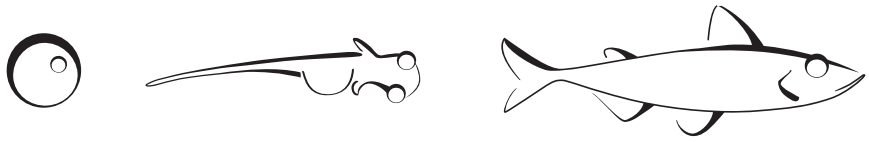
2020

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Abondance des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean en 2019

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

Pour le Conseil de gestion durable du lac Saint-Jean (CGDLSJ)



UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

Référence à citer :

Lévesque S. et Sirois P. (2020). Abondance des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean en 2019. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, produit pour le Conseil de gestion durable du lac Saint-Jean (CGDLSJ). Université du Québec à Chicoutimi.

Rapport de recherche

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Université du Québec à Chicoutimi

Abondance des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean en 2019

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

Pour le Conseil de gestion durable du lac Saint-Jean (CGDLSJ)

En partenariat avec :

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier du gouvernement du Canada.
This project was undertaken with the financial support of the Government of Canada.

Département des sciences fondamentales
Université du Québec à Chicoutimi
555, boulevard de l'Université, Chicoutimi, Québec, G7H 2B1

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Conseil de gestion durable du lac Saint-Jean (CGDLSJ) pour son rôle de premier plan dans la concrétisation du projet en regroupant les acteurs du milieu ainsi que les ressources financières et techniques. Nous soulignons notamment les efforts de Nathalie Audet, Danny Bouchard et Johnatan Doucet des MRC du lac Saint-Jean. Nous remercions aussi Joëlle Guérin, la coordonnatrice du CGDLSJ, d'assurer une communication facile et efficace entre les différents intervenants, ainsi qu'avec le public.

Nous saluons les différents partenaires pour leur contribution au suivi, notamment le Fonds pour dommages à l'environnement d'Environnement et Changements climatiques Canada et Rio Tinto (RT) pour leurs contributions financières. La Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP), le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP), les MRC du Domaine-du-Roy, de Lac-Saint-Jean-Est et de Maria-Chapdelaine, l'Organisme de bassin versant Lac-Saint-Jean (OBVLSJ), ainsi que le Pekuakamiulnuatsh Takuhikan ont quant à eux contribué en nature au projet.

Nous soulignons aussi la collaboration des membres du comité scientifique du CGDLSJ à la mise au point du protocole du suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean : Marc Archer (CLAP), David Cleary (Pekuakamiulnuatsh Takuhikan), Karine Gagnon (MFFP), Caroline Jolette (RT) Anne Malamoud (OBVLSJ), Claude Pelletier (Société des établissements de plein air du Québec), Véronique Tremblay (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) et enfin Tommy Tremblay (Conseil régional de l'environnement et du développement durable du Saguenay–Lac-Saint-Jean). À ce groupe s'ajoute Martin Larose (WSP), consultant invité à la demande de RT.

Nous remercions aussi les partenaires et leurs employés qui ont participé à la sélection des stations d'échantillonnage en assurant le transport tout autour du lac à bord de leurs embarcations : Marc Archer, Vincent Brown, Isabelle Gariépy, Olivier de Lorgeril et Stéphanie Tremblay (CLAP), ainsi que David Cleary (Pekuakamiulnuatsh Takuhikan).

De plus, un énorme merci aux gens des différentes affiliations qui ont participé à l'effort d'échantillonnage : Olivier Flamand, Daniel Girard, Émilie Guérin, Ariel Jacques, Louis Landry-Massicotte, Félix Lauzon, Patrick Plourde-Lavoie, Jean-François Simard et Félix Tremblay-Gagnon. Vous avez accompli un travail magnifique, avec bonne humeur et entrain.

Enfin, Sonya Lévesque remercie la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées de l'Université du Québec à Chicoutimi de lui donner accès à un environnement de travail stimulant et à des ressources humaines et techniques précieuses, notamment Anne-Lise Fortin.

RÉSUMÉ

Les poissons fourrages littoraux constituent un maillon essentiel, quoique souvent méconnu, des réseaux trophiques aquatiques. Ce terme rassemble tous les petits poissons (jeunes de l'année et adultes) qui nourrissent les poissons piscivores, dont plusieurs sont ciblés par la pêche sportive. Au lac Saint-Jean, il s'agit d'espèces comme l'éperlan arc-en-ciel, le méné émeraude, le méné à tache noire, le naseux des rapides, la ouitouche, l'omisco, le fouille-roche zébré et les jeunes de l'année de catostomidés (meunier rouge et meunier noir) et de la perchaude. Le projet d'acquisition de connaissances sur les poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean est porté par les intervenants du milieu régional et a pour but de mesurer les variations interannuelles de l'abondance de ces différentes espèces. En 2019, un pré-échantillonnage a été réalisé afin de sélectionner la méthode de capture optimale des poissons fourrages littoraux et de caractériser les 162 stations réparties sur le pourtour du lac Saint-Jean. Cette étape a ainsi permis de retenir la seine de rivage de 15 m déployée parallèlement au rivage comme la méthode d'échantillonnage répondant aux besoins du projet. L'échantillonnage des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean a été effectué par deux équipes de trois échantillonneurs entre le 3 et le 23 juillet 2019, entre 05:00 et 13:00. La turbidité (NTU) et la température (˚C) de l'eau étaient mesurées à chaque station suivant le coup de seine. Au cours de cet effort, 133 940 poissons (129 460 jeunes de l'année et 4 480 poissons d'un an et plus) ont été capturés, pour une abondance relative moyenne calculée d'après la moyenne géométrique de 66 poissons par coup de seine. Les espèces présentant les indices d'abondance les plus élevés sont les catostomidés et la perchaude (jeunes de l'année), ainsi que le méné émeraude, le méné à tache noire et le fouille-roche zébré (poissons d'un an et plus). L'indice d'occurrence révèle que les jeunes de l'année de catostomidés, du mené à tache noire et de perchaude, ainsi que le fouille-roche zébré adulte sont les espèces présentes dans le plus grand nombre des 162 stations échantillonnés. Les indices d'abondance de plusieurs espèces de poissons fourrages littoraux étaient statistiquement corrélées à la turbidité de l'eau, bien que faiblement, la corrélation la plus élevée étant avec les jeunes ménés à tache noire de l'année ($\rho = 0,40$; $p < 0,0001$). Aucune corrélation notable n'a été mise en évidence entre les indices d'abondance et la température de l'eau. L'échantillonnage des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean réalisé en 2019 constitue la première année d'un projet qui s'échelonnera

pendant neuf ans. Les résultats à venir permettront de mettre en évidence et de comprendre les variations interannuelles de ce maillon essentiel de l'écosystème lacustre du lac Saint-Jean.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS i
RÉSUMÉ iii
TABLE DES MATIÈRES v
LISTE DES FIGURES vii
LISTE DES TABLEAUX ix
LISTE DES ANNEXES x
INTRODUCTION 1
PROBLÉMATIQUE 1
ÉTAT DES CONNAISSANCES 2
SECTION 1 : PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE 4
MATÉRIEL ET MÉTHODE DU PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE 5
Choix et caractérisation des stations d'échantillonnage 5
Sélection de la méthode d'échantillonnage avec la seine de rivage 6
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS DU PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE 9
Choix et caractérisation des stations d'échantillonnage 9
Sélection de la méthode d'échantillonnage à la seine 10
SECTION 2 :ÉCHANTILLONNAGE DES POISSONS FOURRAGES LITTORAUX 12
MATÉRIEL ET MÉTHODE 13
Site à l'étude 13
Traitement des poissons 15
Physico-chimie de l'eau 18
Traitement et analyse des données 18
Indice d'abondance relative 18
Indice d'occurrence 19
Analyse de corrélations 19
RÉSULTATS 20
Espèces de poissons capturées 20
Abondance relative des poissons fourrages 22
Indice d'abondance relative par espèce 25
Variables environnementales 28

DISCUSSION ET CONCLUSION 33
Les espèces indicatrices 33
Comparaison des indices d'abondance relative 34
Turbidité et température de l'eau 35
RÉFÉRENCES 36
ANNEXES 39

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Techniques de seine utilisées en combinaison avec différentes longueurs de seine afin de déterminer la combinaison optimale pour le suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. La technique en parallèle (A) a été testée avec une seine de 15 m et une seine de 22 m. La technique perpendiculaire avec fermeture en quart de cercle (B) n'a été testée qu'avec une seine de 15 m. 8

Figure 2 : Caractéristiques des 162 stations d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean selon (A) la nature de la rive adjacente, (B) la présence de plantes aquatiques dans la station, (C) le substrat dominant du site, ainsi que (D) la pente du littoral sur laquelle est située la station. L'abréviation ND indique l'absence de donnée pour cette caractéristique. 10

Figure 3 : Coefficients de variation de l'abondance des poissons capturés selon les combinaisons de longueur de seine et technique de déploiement mises à l'essai. La variation entre les combinaisons (Inter), ainsi que la variation à l'intérieur de chacune des combinaison (Intra) ont été testées. Les barres horizontales des boîtes à moustaches représentent les 10^{e}, 25^{e}, 50^{e}, 75^{e} et 90^{e} centiles. 11

Figure 4 : Distribution des 162 stations d'échantillonnage autour du lac Saint-Jean (cercles gris) en fonction de la profondeur de l'eau en été en mètres (Service hydrographique du Canada; dégradé de gris). Les numéros de stations ne sont pas indiqués pour alléger la figure, cependant les coordonnées peuvent être trouvées à l'annexe 4. La section d'exclusion du Parc de la Pointe-Taillon est indiquée par deux traits noirs. 14

Figure 5 : Schéma décrivant le traitement des poissons selon le stade et l'espèce, une fois le coup de seine effectué. 17

Figure 6 : Distribution de fréquence de l'abondance des poissons fourrages littoraux toutes espèces confondues selon le stade (0+ en gris et ≥1+ en blanc). La distribution des fréquences d'abondance des 0+ est plus étendue que celle des ≥1+ et elle présente deux valeurs exceptionnelles. 22

Figure 7 : Abondance relative par station de tous les poissons fourrages littoraux capturés en juillet 2019 au lac Saint-Jean détaillé selon le stade (A) jeunes de l'année, et (B) poissons d'un an et plus. L'abondance relative correspond au nombre de poisson capturés dans un coup de seine standardisé. Les stations sans poisson ne sont pas indiquées dans le but d'alléger les figures. Noter le changement d'échelle de l'abondance entre les deux graphiques. 24

Figure 8 : Indices d'abondance relative (nombre de poissons par coup de seine ± intervalle de confiance à 95%) des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean échantillonnés au cours du mois de juillet 2019. Les espèces indicatrices sont les catostomidés et la perchaude de l'année (CASP et PEFL 0+), ainsi que le méné émeraude, le méné à tache noire, l'éperlan arc-en-ciel, le fouille-roche zébré, l'omisco, le naseux des rapides et la ouitouche d'un an et plus (respectivement NOAT, NOHU, OSMO, PECA, PEOM, RHCA et SECO ≥1+; voir le tableau 3 pour les abréviations). 26

Figure 9 : Indice d'occurrence (± intervalle de confiance à 95 %) de l'ensemble des espèces de poissons échantillonnées en zone littorale au lac Saint-Jean en juillet 2019, selon le stade (0+ en gris et ≥1+ en blanc). Voir le tableau 3 pour la liste des abréviations. 27

Figure 10 : Représentation de la température de l'eau dans les stations échantillonnées au cours du mois de juillet 2019, dans le cadre du suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Les cercles gris clairs indiquent les sites dont l'eau est plus chaude qu'attendue (résidus positifs, ˚C), alors que les cercles gris foncé décrivent les sites dont l'eau est plus froide qu'attendue (résidus négatifs). Plus le cercle est grand, plus la température mesurée s'éloigne de la température attendue..... 29

Figure 11 : Turbidité de l'eau (NTU) mesurée dans les stations échantillonnées au cours du mois de juillet 2019, dans le cadre du suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Plus le cercle est grand, plus la turbidité est élevée. Les zones pointillées indiquent un substrat de sable alors que les zones hachurées montrent les secteurs rocheux (André Marsan & Associés 1983). 30

Figure 12 : L'abondance relative du méné à tache noire de l'année (n · coup de seine^{-1}) est positivement corrélée à la turbidité de l'eau de la station (NTU; $\rho = 0{,}40$; $p<0{,}0001$). Prendre note de l'échelle logarithmique de l'axe de l'abondance. 32

Figure 13 : Comparaison de l'indice d'abondance de l'ensemble des poissons fourrages littoraux en juillet au lac Saint-Jean entre l'échantillonnage de 2019 (en noir) et ceux de 1989 à 1991 (tons de gris). Le nombre moyen de poissons capturés par coup de seine uniformisé (± intervalle de confiance à 95 %) est indiqué pour chaque année selon trois catégories : le total des poissons capturés (Tous), le total des jeunes de l'année (0+) et le total des poissons d'un an et plus (≥1+). 34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des quatre tests menés afin de sélectionner la combinaison de longueur de seine et de technique de déploiement optimale pour le suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Le test 1 mesurait la variation entre les différentes combinaison (inter combinaison), alors que les autres tests mesuraient la variation entre deux coups de la même combinaison (intra combinaison; test 2 pour la combinaison 15 m parallèle, test 3 pour 15 m perpendiculaire et test 4 pour 22 m parallèle). 7

Tableau 2 : Récapitulatif de l'effort d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean du 3 au 23 juillet 2019 en nombre de coups de seine par jour par équipe. Les 162 stations ont été divisées entre deux équipes de travail. 15

Tableau 3 : Identification et dénombrement des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean selon leur stade, du 3 au 23 juillet 2019. Les jeunes poissons de l'année sont regroupés sous le terme 0+, ce qui souligne qu'ils en sont à leurs premiers mois de vie. Les poissons adultes et certains juvéniles sont regroupés sous le terme ≥1+, indiquant qu'ils ont au moins un an de vie. Les nombres soulignés correspondent aux espèces indicatrices et à leur stade (voir l'annexe 6). 21

Tableau 4 : Sommaire de l'étendue des données abiotiques mesurées aux stations d'échantillonnage littorales du lac Saint-Jean, entre le 3 et le 23 juillet 2019. La température de l'eau est mesurée en degrés Celsius (˚C) alors que la turbidité est exprimée en Unité de Turbidité Néphélométrique (NTU). 28

Tableau 5 : Corrélations de Spearman significatives entre l'abondance des différentes espèces capturées et les variables abiotiques mesurées dans le cadre du suivi de l'abondance des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean en juillet 2019… 31

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Arbre de décision utilisé pour évaluer les stations lors de la visite sur le terrain. À noter qu'une station peut être située dans un secteur valide, bien que la station elle-même ne soit pas située à l'emplacement idéal. Par exemple, une station doit être déplacée de quelques mètres pour éviter un obstacle à la seine. 40

Annexe 2 : Coordonnées des sites utilisés pour les tests des combinaisons longueur-technique de seine lors de la phase de pré-échantillonnage. 41

Annexe 3 : Protocoles de déploiement de la seine de rivage suivant la technique en parallèle (A) et la technique perpendiculaire (B). Ces protocoles sont adaptés du protocole non-publié de l'échantillonnage pour le suivi du recrutement des bars rayés du fleuve Saint-Laurent. 42

Annexe 4 : Coordonnées des 162 stations d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux autour du lac Saint-Jean. 46

Annexe 5 : Protocole de dénombrement par sous-échantillon, lorsque plus de 1000 jeunes poissons de l'année (0+) sont capturés dans un même coup de seine. 51

Annexe 6 : Liste des espèces indicatrices et de leur stade, telles qu'identifiées par Plourde-Lavoie et Sirois (2016c) d'après les données des échantillonnages des poissons fourrages littoraux du début des années 1990. 52

Annexe 7 : Abondance relative des espèces indicatrices de poissons fourrages littoraux capturées en juillet 2019 dans les stations d'échantillonnage au lac Saint-Jean. L'abondance relative correspond au nombre de poissons capturés dans un coup de seine standardisé pour (A) les catostomidés de l'année, (B) la perchaude de l'année, (C) le méné à tache noire d'un an et plus, (D) le méné émeraude d'un an et plus, (E) l'éperlan arc-en-ciel d'un an et plus, (F) le fouille-roche zébré d'un an et plus, (G) l'omisco d'un an et plus, (H) le naseux des rapides d'un an et plus et (I) la ouitouche d'un an et plus. Les stations sans poisson de l'espèce visée ne sont pas indiquées dans le but d'alléger les figures. Noter le changement de l'échelle de l'abondance entre les différents graphiques. 53

Annexe 8 : Indice d'abondance relative des poissons fourrages littoraux (nombre de poissons par coup de seine ± intervalle de confiance à 95 %) par espèces et stades au lac Saint-Jean au cours du mois de juillet 2019. Ce graphique ajoute les indices d'abondance relative du méné émeraude (NOAT), du méné à tache noire (NOHU) et du complexe cyprins (NOSP) de l'année avec à ceux des espèces indicatrices. Le complexe cyprins est un ensemble de poissons de l'année pouvant inclure le mulet de lac, le méné à nageoires rouges, le méné jaune, le méné émeraude et le méné à tache noire. 55

Annexe 9 : Relation entre la température moyenne quotidienne de l'eau des stations littorales mesurée entre 5 :00 et 13 :00 en juillet 2019 au lac Saint-Jean et celle de l'air, pour la même période, mesurée à l'aéroport de Roberval (Archives météorologiques d'Environnement Canada). 56

INTRODUCTION

PROBLÉMATIQUE

Depuis plusieurs années, des préoccupations ont été soulevées par plusieurs citoyens et organisations sur l'abondance et la qualité des habitats des poissons fourrages littoraux au lac Saint-Jean. Ces préoccupations ont été décrites dans le rapport d'enquête et d'audience publique sur le programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026 (Bureau d'audiences publiques sur l'environnement 2017), ainsi que dans le rapport d'analyse environnementale pour le même projet (Ministère du Développement durable de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques 2017) .

Dans ce contexte, la réalisation d'un projet d'acquisition de connaissances sur les espèces de poissons fourrages littoraux favorisant la participation et la concertation de la communauté régionale figurait au décret concernant la délivrance d'un certificat d'autorisation à Rio Tinto Alcan inc. (RTA) pour le programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 (décret 6-2018, Gazette officielle du Québec, partie II).

Par conséquent, plusieurs intervenants du milieu, regroupés au sein du Conseil de gestion durable du lac Saint-Jean (CGDLSJ), ont convenu de s'associer à la réalisation d'un tel projet. En vertu de la condition 4 du décret, RTA dut contribuer financièrement au projet dont les modalités ont été préalablement approuvées par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques (MELCC) et par le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). La Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées de l'Université du Québec à Chicoutimi a été retenue comme mandataire de l'élaboration et la réalisation du projet par le CGDSLJ qui agit comme promoteur du projet.

ÉTAT DES CONNAISSANCES

Les poissons fourrages regroupent plusieurs espèces de petite taille et les jeunes stades de vie de plusieurs espèces de plus grande taille. Leur rôle est fondamental au sein des écosystèmes aquatiques puisqu'ils servent de proies aux poissons prédateurs, qui sont souvent ciblés par la pêche sportive. Au lac Saint-Jean, il s'agit des petits poissons qui nourrissent le doré jaune (*Sander vitreus*), la ouananiche (*Salmo salar*), le grand brochet (*Esox lucius*), la lotte (*Lota lota*) et la perchaude (*Perca flavescens*). L'écologie du principal poisson fourrage pélagique du lac Saint-Jean, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), est maintenant bien connue, tout comme sa relation particulière avec la ouananiche (Fortin *et al.* 2009). Cependant, les connaissances sur les poissons fourrages littoraux sont plus limitées. Elles se résument à quelques inventaires de la fin des années 1980 et du début des années 1990 (Lefebvre 1988; Lefebvre 1989; Valentine 1989; Valentine 1990; Valentine 1991; Bouchard et Plourde 1995).

La réalisation de ce projet va enrichir les connaissances sur plusieurs espèces de poissons fourrages fréquentant la zone littorale du lac Saint-Jean, dont l'éperlan arc-en-ciel, le méné émeraude (*Notropis atherinoides*), le méné à tache noire (*Notropis hudsonius*), le naseux des rapides (*Rhinichthys cataractae*), la ouitouche (*Semotilus corporalis*), les catostomidés juvéniles (0+; meunier rouge et meunier noir; *Catostomus catostomus* et *Catostomus commersoni* respectivement), l'omisco (*Percopsis omiscomaycus*), le fouille-roche zébré (*Percina caprodes*) et la perchaude juvénile (0+). Les caractéristiques écologiques de ces espèces au lac Saint-Jean, en termes de reproduction et d'habitat, ont fait l'objet d'une synthèse par Plourde-Lavoie et Sirois (2016a) et ont été cartographiées dans une seconde publication (Plourde-Lavoie et Sirois 2016b).

Le principal objectif du projet est de mesurer les variations interannuelles de l'abondance des populations de poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean pendant une période de neuf ans (2019-2027). Plus spécifiquement, le projet permettra de :

- Calculer un indice d'abondance des poissons fourrages et le comparer avec les données des études antérieures;
- Établir la tendance temporelle de l'indice d'abondance des populations de poissons fourrages littoraux entre 2019 et 2027;
- Examiner si les variations de l'indice d'abondance des poissons fourrages littoraux peuvent être reliées aux conditions environnementales de l'habitat.

L'été 2019 était la première année du projet de neuf ans. Pour cette raison, des travaux de pré-échantillonnage ont été réalisés au cours du mois de juin afin de valider les paramètres du plan d'échantillonnage comme le choix des 162 stations sur le pourtour du lac Saint-Jean, le type de seine de rivage à préconiser et la méthode de seinage. L'échantillonnage des poissons fourrages littoraux s'est déroulé au mois de juillet. Ce rapport est donc divisé en deux sections : la section 1 porte sur les méthodes et résultats relatifs au pré-échantillonnage, alors que la section 2 présente les méthodes et résultats de la première année d'échantillonnage de ce projet d'étude des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean.

SECTION 1 : PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE

MATÉRIEL ET MÉTHODE DU PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE

Choix et caractérisation des stations d'échantillonnage

Les stations, au nombre de 167 au départ, ont été sélectionnées en laboratoire à l'aide d'outils cartographiques et de photos aériennes. Par conséquent, il était impératif d'en faire une validation sur le terrain avant le début de l'échantillonnage des poissons fourrages littoraux. Ces visites sur le terrain se sont échelonnées sur six journées en juin 2019 au cours desquelles chacune des 167 stations initiales ont été vérifiées suivant un arbre de décision (annexe 1). Les stations devaient répondre aux exigences d'un coup de seine de qualité pour être retenues, c'est-à-dire qu'elles devaient présenter une pente douce à modérée et il ne devait pas y avoir d'obstacle à la seine sous l'eau. Conséquemment, plusieurs stations ont dû être éliminées et d'autres relocalisées. Le niveau du lac se situait entre 101,36 et 101,51 m lors du repérage des stations en juin, alors qu'il était en moyenne de 101,22 m en juillet pendant l'échantillonnage des poissons fourrages littoraux.

Les caractéristiques physiques de chaque station ont été décrites : les coordonnées finales de la station, la nature de la rive (agricole, urbaine, boisée ou encore à vocation de villégiature), la présence d'une bande riveraine végétale hétérogène, le type de substrat dominant (vase, sable, cailloux, galets ou rochers), la présence de plantes aquatiques, ainsi que la description de la pente du littoral (douce, moyenne, marquée). Enfin, une photo était prise ainsi qu'une note sur le positionnement de la station par rapport aux structures fixes de la rive afin de servir de référence complémentaire aux coordonnées géographiques des stations. Ces repères vont faire que, d'une année à l'autre, les équipes de terrain arriveront facilement à positionner leur coup de seine au même endroit.

Au final, 26 stations ont été déplacées au cours de l'échantillonnage pour des raisons diverses. Leurs coordonnées et description ont été actualisés.

Sélection de la méthode d'échantillonnage avec la seine de rivage

Les données d'abondance de poisson obtenues avec une seine de rivage sont très variables (Plourde-Lavoie et Sirois 2016c). Néanmoins, la seine demeure le meilleur outil pour récolter des poissons fourrages littoraux. Par conséquent, plusieurs combinaisons de longueur de seine (15 et 22 m) et de technique de déploiement (parallèle et perpendiculaire) ont été testées dans le but de retenir celle qui génère la plus faible variabilité statistique. Ainsi, quatre tests ont été menés afin de comparer la variation entre différentes combinaisons longueur-technique (variation inter combinaison) et la variation pour une même combinaison longueur-technique (variation intra combinaison; tableau 1) à l'aide du coefficient de variation (*CV*) de l'abondance des poissons capturés. Pour chaque répétition d'un test, une valeur de *CV* a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$CV = 100 \times \frac{s}{\bar{y}}$$

où le coefficient de variation se calcule comme le ratio de l'écart-type de l'échantillon (s) sur sa moyenne ($\bar{y}$), d'après Quinn et Keough (2003). Tous les coups de seine d'un même réplicat étaient séparés d'une dizaine de mètre au plus, afin d'être le plus représentatifs possible du même endroit, tout en limitant l'effet de perturbation. Les tests ont été répétés sept fois chacun, pour un total de 63 coups de seine.

Tableau 1 : Description des quatre tests menés afin de sélectionner la combinaison de longueur de seine et de technique de déploiement optimale pour le suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Le test 1 mesurait la variation entre les différentes combinaison (inter combinaison), alors que les autres tests mesuraient la variation entre deux coups de la même combinaison (intra combinaison; test 2 pour la combinaison 15 m parallèle, test 3 pour 15 m perpendiculaire et test 4 pour 22 m parallèle).

	Type de variation mesurée	Combinaisons longueur-technique	N coups de seine par répétition	N de répétition	**N total de coups de seine**
Test 1	Inter	15 m parallèle 15 m perpendiculaire 22 m parallèle	3	7	**21**
Test 2	Intra	15 m parallèle	2	7	**14**
Test 3	Intra	15 m perpendiculaire	2	7	**14**
Test 4	Intra	22 m parallèle	2	7	**14**
				Total	**63**

Les tests de combinaison longueur-technique ont été menés sur différentes plages de la moitié sud du lac Saint-Jean, entre la Pointe de Saint-Méthode et Saint-Gédéon (coordonnées des stations à l'annexe 2). Les tests ont eu lieu par temps calme, entre 5 :00 et 13 :00. Les seines en filet polytressé (1,8 m de hauteur par 15 ou 22 m de longueur selon le cas) étaient dotées d'une poche centrale (1,2 m x 1,2 m x 0,9 m). L'ouverture de maille était de 9,5 mm dans les ailes et de 6,3 mm dans la poche

Deux longueurs de seine ont été testées (15 m et 22 m), en combinaison avec deux techniques de déploiement : la technique en parallèle et la technique perpendiculaire avec fermeture en quart de cercle (tableau 1; figure 1). La technique en parallèle consiste à déployer la seine parallèlement à la rive, à une distance de 12,5 m (corde graduée) avant de la ramener vers le rivage (figure 1A). Cette technique a été utilisée avec la seine de 15 m ainsi qu'avec la seine de 22 m. La technique perpendiculaire avec fermeture en quart de cercle consiste à déployer la seine sur toute sa longueur de la rive vers le large, pour ensuite avancer sur 15 m (figure 1B). Une fois la distance atteinte, l'échantillonneur du côté rive

reste fixe et celui au large rabat la seine vers la rive en décrivant un arc de cercle. Cette technique n'a été combinée qu'avec la seine de 15 m. Les techniques détaillées sont fournies en annexe 3.

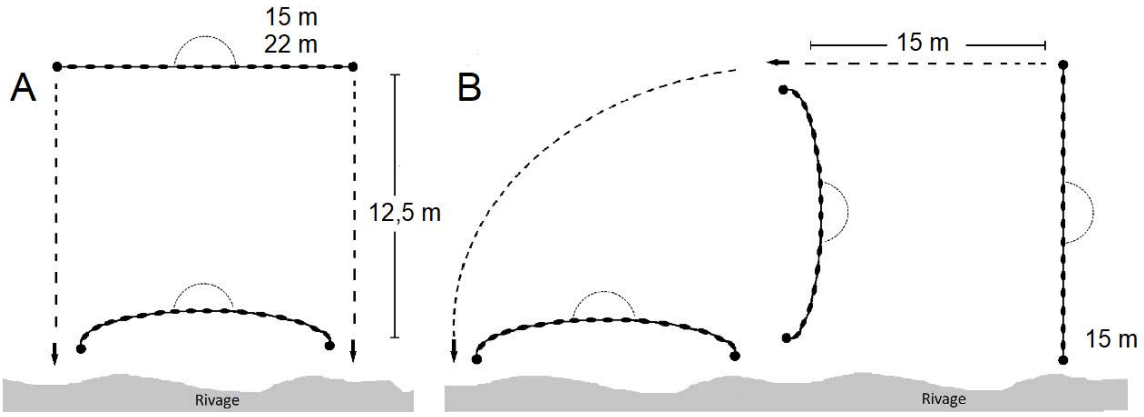


Figure 1 : Techniques de seine utilisées en combinaison avec différentes longueurs de seine afin de déterminer la combinaison optimale pour le suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. La technique en parallèle (A) a été testée avec une seine de 15 m et une seine de 22 m. La technique perpendiculaire avec fermeture en quart de cercle (B) n'a été testée qu'avec une seine de 15 m.

Les poissons capturés ont été comptés sur les lieux (tous stades et espèces confondus) et remis à l'eau vivants. Pour chaque coup de seine, le nombre de poissons capturés a été reporté sur la surface échantillonnée en mètre carré (m^2). Cette dernière a été estimée comme suit selon la technique utilisée :

$$superficie\ technique\ parallèle = longueur\ seine \times longueur\ corde$$

ou selon le cas,

$$superficie\ technique\ perpendiculaire\ avec\ fermeture\ en\ quart\ de\ cercle$$
$$= longueur\ seine \times distance + (\pi \times longueur\ seine^2)/4$$

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS DU PRÉ-ÉCHANTILLONNAGE

Choix et caractérisation des stations d'échantillonnage

Au final, 162 stations ont été retenues et décrites pour procéder au suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Les stations sont pour la plupart situées le long de rives vouées aux activités de villégiature (63 %), alors que le tiers sont situées à proximité de rives boisées ou sauvages (32 %; figure 2A). Une petite portion de stations sont près de rives en milieu agricole (1 %) ou encore en zone urbaine (4 %). Les plantes aquatiques sont généralement absentes des sites échantillonnés (93 %; figure 2B) et le substrat prédominant est le sable (86 %; figure 2C). Enfin la pente du littoral s'étend de douce à moyenne (88 %), mais certaines stations présentent une pente marquée (11 %; figure 2D). Enfin, les deux tiers des stations se situent devant une rive dotée d'une bande riveraine (64 %), c'est-à-dire une lisière de végétation permanente naturelle ou ornementale composée d'un mélange de plantes herbacées, d'arbustes et d'arbres.

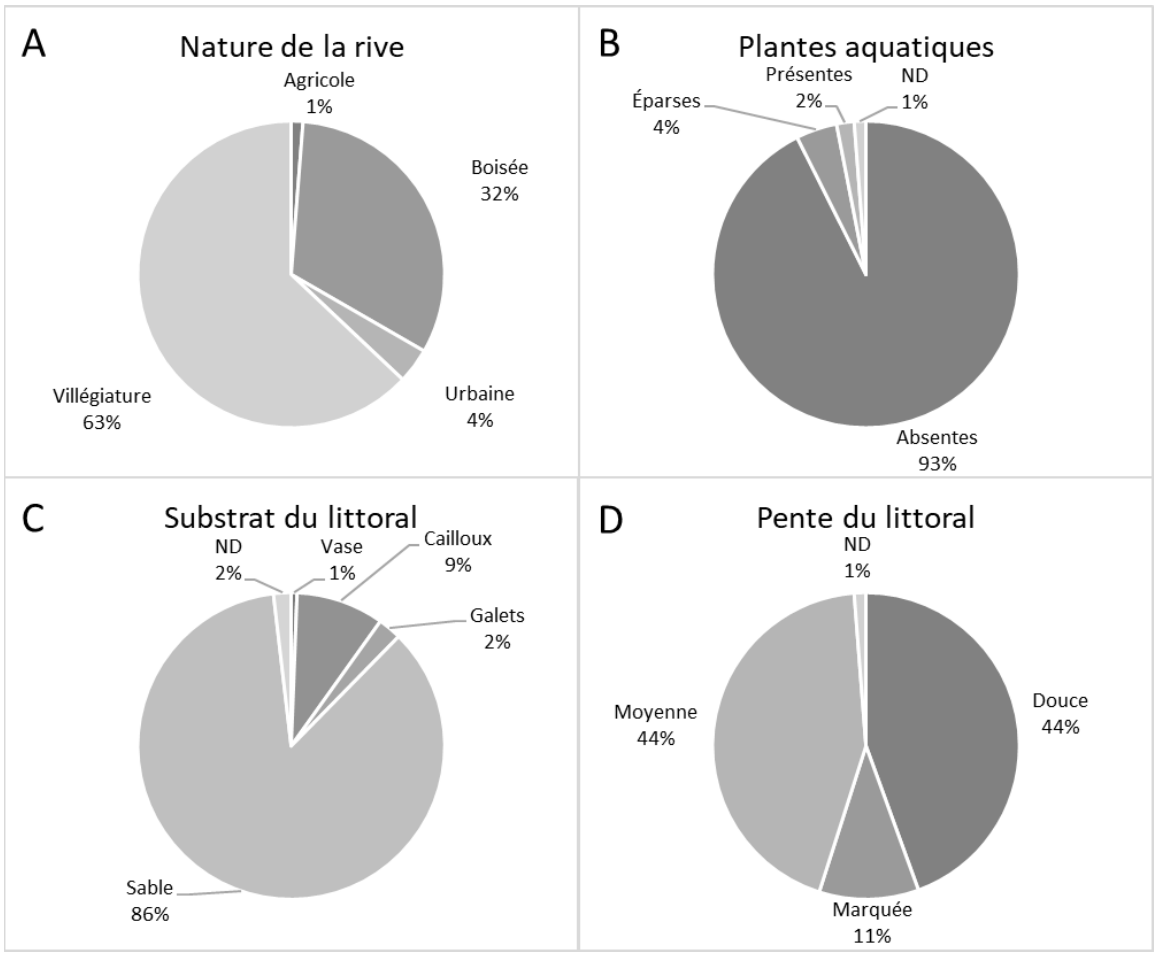


Figure 2 : Caractéristiques des 162 stations d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean selon (A) la nature de la rive adjacente, (B) la présence de plantes aquatiques dans la station, (C) le substrat dominant du site, ainsi que (D) la pente du littoral sur laquelle est située la station. L'abréviation ND indique l'absence de donnée pour cette caractéristique.

Sélection de la méthode d'échantillonnage à la seine

La distribution des coefficients de variation (*CV*) montre que la seine de 15 m déployée en parallèle a une valeur médiane de *CV* plus petite qu'avec les autres combinaisons longueur-technique (Intra 15 m parallèle; figure 3). De manière générale, la variation entre les coups de seine utilisant différentes combinaisons longueur-technique (inter) est similaire à la variation retrouvée entre les coups de seine d'une même combinaison (intra).

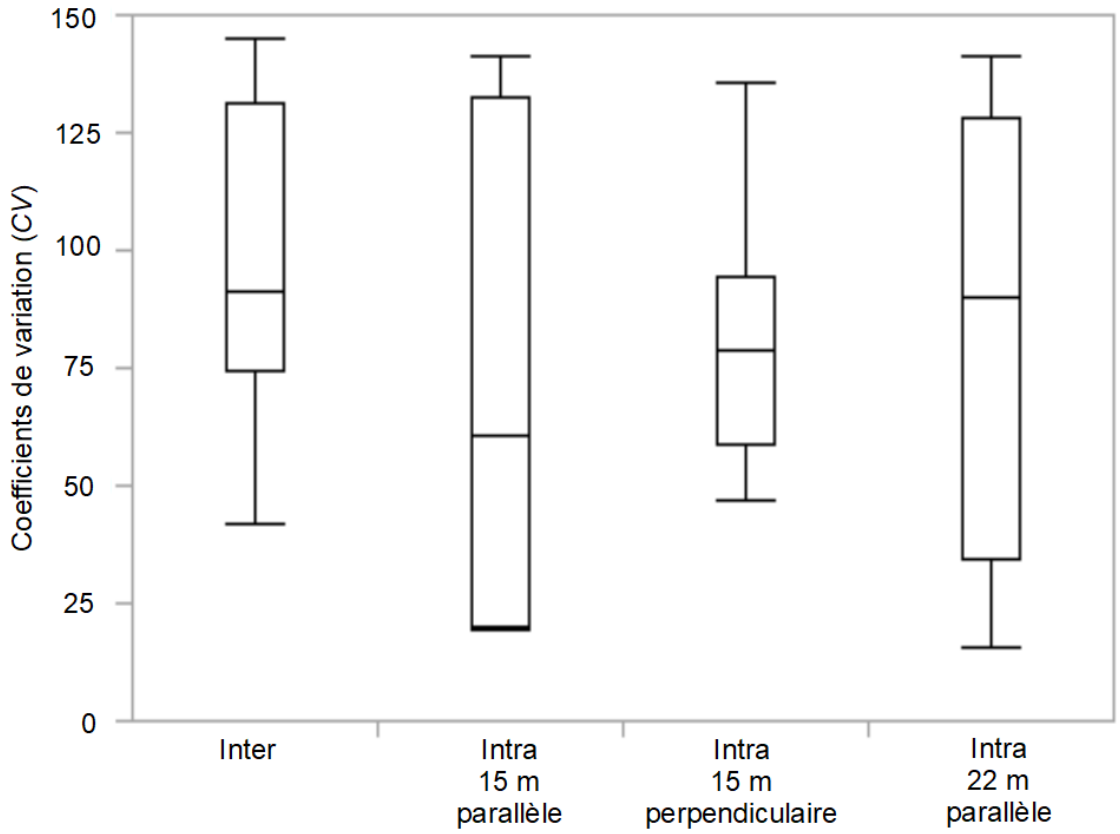


Figure 3 : Coefficients de variation de l'abondance des poissons capturés selon les combinaisons de longueur de seine et technique de déploiement mises à l'essai. La variation entre les combinaisons (Inter), ainsi que la variation à l'intérieur de chacune des combinaison (Intra) ont été testées. Les barres horizontales des boîtes à moustaches représentent les 10^{e}, 25^{e}, 50^{e}, 75^{e} et 90^{e} centiles.

Cette période de tests sur le terrain a mis en évidence les limitations de certaines combinaisons. Par exemple, le déplacement de la seine de 15 m perpendiculairement à la rive avant de la refermer demande beaucoup d'effort à l'échantillonneur au large, les mouvements de ce dernier se trouvent du même coup fortement ralentis par l'eau.

Au final, la combinaison retenue est celle formée par la seine de 15 m déployée en parallèle avec la rive. Il s'agit de la méthode optimale testée puisqu'elle présente à la fois la valeur médiane de *CV* la plus faible, et des qualités liées à la réalité du travail sur le terrain en étant plus courte (donc plus légère et compacte).

SECTION 2 : ÉCHANTILLONNAGE DES POISSONS FOURRAGES LITTORAUX

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Site à l'étude

Les 162 stations d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux sont réparties sur l'ensemble du pourtour du lac Saint-Jean, dans l'embouchure de ses principaux tributaires et sur quelques îles (figure 4; coordonnées à l'annexe 4). Néanmoins, certains secteurs sont moins propices à l'échantillonnage à la seine de rivage compte tenu des caractéristiques du littoral. Par exemple, la côte sud, entre Roberval et Métabetchouan, présente par endroits une pente marquée et rocheuse. Ailleurs, on retrouve parfois des structures faisant obstacles au coup de seine : des arbres abattus par l'érosion le long de la Pointe-Taillon, ou encore des billes de bois submergées dans le secteur de la baie Ptarmigan. Enfin, une section du littoral du Parc national de la Pointe-Taillon a été exclue de l'échantillonnage à la demande des autorités du Parc, afin de préserver la quiétude des visiteurs-campeurs.

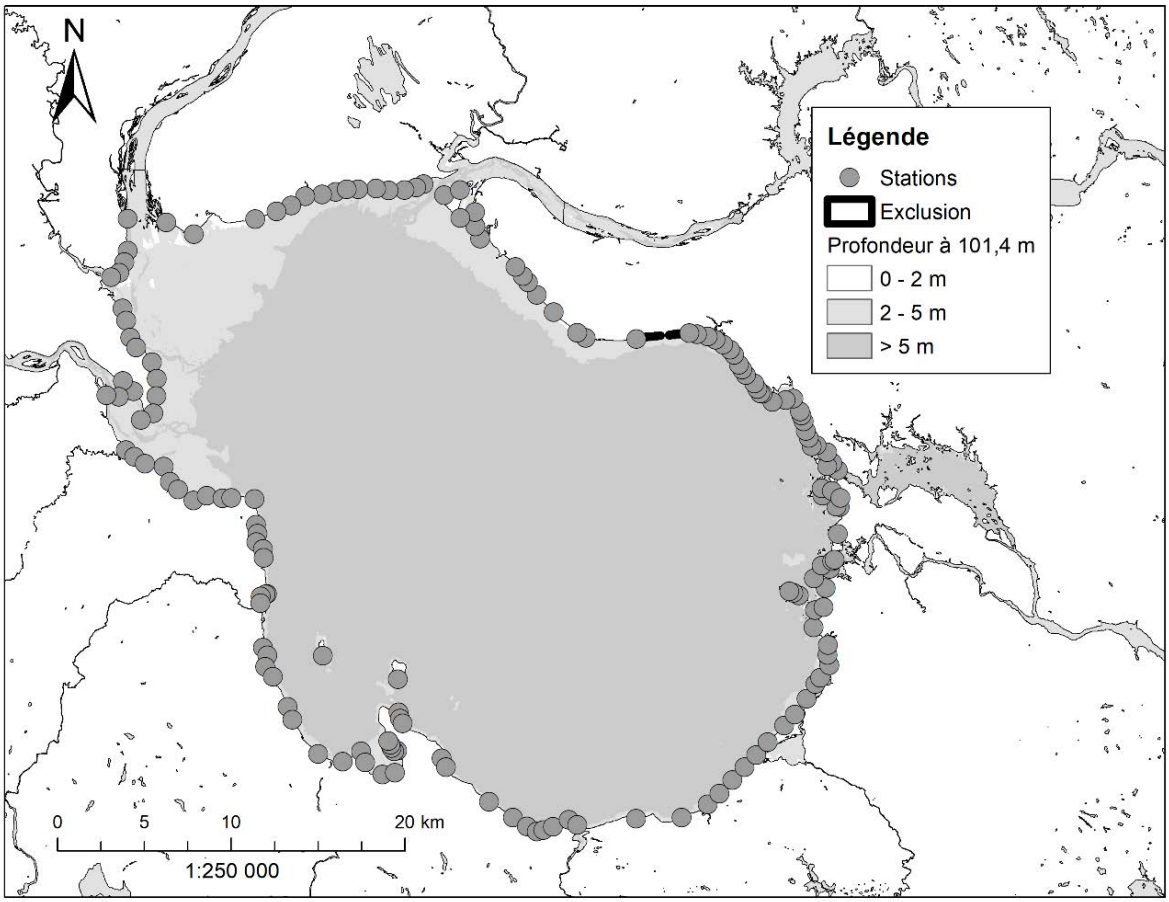


Figure 4 : Distribution des 162 stations d'échantillonnage autour du lac Saint-Jean (cercles gris) en fonction de la profondeur de l'eau en été en mètres (Service hydrographique du Canada; dégradé de gris). Les numéros de stations ne sont pas indiqués pour alléger la figure, cependant les coordonnées peuvent être trouvées à l'annexe 4. La section d'exclusion du Parc de la Pointe-Taillon est indiquée par deux traits noirs.

Deux équipes de trois échantillonneurs se sont partagées les 162 stations (tableau 2). L'échantillonnage à la seine devait avoir lieu par temps calme, entre 5 :00 et 13 :00. La seine en filet polytressé (1,8 m de hauteur par 15 m de longueur) est dotée d'une poche centrale (1,2 m x 1,2 m x 0,9 m). L'ouverture de maille est de 9,5 mm dans les ailes et 6,3 mm dans la poche. La technique en parallèle a été préconisée. Elle consiste à déployer la seine parallèlement à la rive, à 12,5 m, ou moins selon la profondeur de l'eau, avant de la ramener vers le rivage (voir la technique détaillée à l'annexe 3A). La superficie standard échantillonnée par cette combinaison longueur-technique est de 187,5 m^2.

Tableau 2 : Récapitulatif de l'effort d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean du 3 au 23 juillet 2019 en nombre de coups de seine par jour par équipe. Les 162 stations ont été divisées entre deux équipes de travail.

Date	Nombre de coups de seine		
	Équipe 1	Équipe 2	**Total**
3 juillet 2019	5	5	**10**
4 juillet 2019	8	6	**14**
5 juillet 2019	4	6	**10**
8 juillet 2019	6		**6**
9 juillet 2019	10	4	**14**
10 juillet 2019	7	8	**15**
11 juillet 2019	5	9	**14**
12 juillet 2019	4	7	**11**
15 juillet 2019	8	5	**13**
16 juillet 2019	7	5	**12**
17 juillet 2019	2	7	**9**
18 juillet 2019	10	9	**19**
19 juillet 2019	1		**1**
22 juillet 2019	2	8	**10**
23 juillet 2019		4	**4**
15 jours d'échantillonnage	**79**	**83**	**162 coups de seine**

Traitement des poissons

Les poissons ont été divisés en deux stades : les 0+, ou jeunes de l'année, comprenant les stades larvaires et juvéniles; et les ≥1+, ou poissons d'un an et plus, comprenant les juvéniles de certaines espèces et les adultes. Un ensemble de caractères morphologiques ont été pris en considération afin de départager les jeunes de l'année des autres poissons : leur petite taille (généralement <5 cm), la présence de sac vitellin, la transparence du poisson permettant de voir sa vessie natatoire, l'absence d'écaille, la présence de mélanophores (gros pigments), ainsi que des nageoires en formation (présence d'un pli médian autour du corps du poisson où se développent les nageoires dorsales, anales et caudales; absence de rayon de nageoire; etc.).

Le traitement réservé aux poissons diffère selon leur stade (figure 5). Les poissons de l'année (0+) ont été récoltés et conservés dans l'éthanol 95 % afin d'être comptés et

identifiés en laboratoire à l'aide de la *Clé d'identification des larves de poisson des Grands Lacs* (Auer 1982). Cependant, les 0+ dont l'identification est aisée sur le terrain ont généralement été remis à l'eau (par exemple, les rayures apparentes sur la perchaude de 2 cm et plus).

Plus gros, les poissons d'un an et plus (≥1+) ont été comptés et identifiés directement sur le terrain en vue de les remettre à l'eau vivants. Ils ont été identifiés à l'aide de la *Clé des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean*, un outil créé pour les besoins spécifiques de ce projet selon des références reconnues (Scott et Crossman 1974; Auer 1982; Massé et Leclerc 2015). Par conséquent, les poissons ont été traités avec diligence, de manière à limiter le stress généré par les manipulations. Les individus dont l'identification était incertaine, tout comme les poissons morts en cours de manipulation, ont été euthanasiés par surdose d'anesthésiques (MS-222) au besoin, congelés et conservés.

À l'occasion, il est arrivé que le coup de seine capture un nombre très important de poissons, surtout des 0+. Dans ces rares cas, un sous-échantillon représentant une proportion mesurée du coup de seine était alors conservé et le reste du coup de seine était remis à l'eau sans délai supplémentaire (protocole détaillé à l'annexe 5). Le nombre de poissons capturés par espèce peut être estimé par la suite en laboratoire, à partir du sous-échantillon. Soixante-seize pourcent (76 %) des poissons de l'année capturés en juillet ont été remis à l'eau grâce à cette méthode.

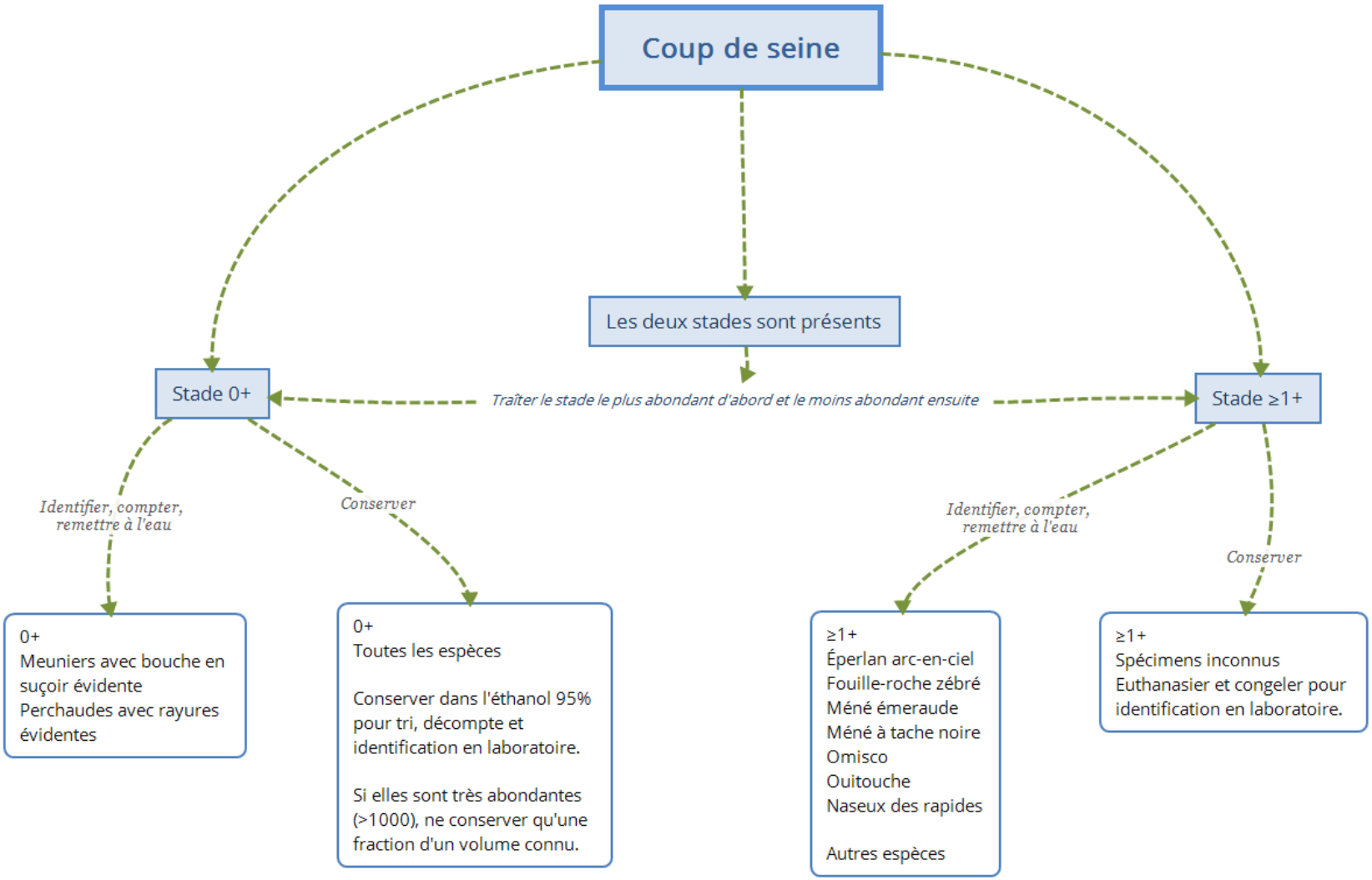


Figure 5 : Schéma décrivant le traitement des poissons selon le stade et l'espèce, une fois le coup de seine effectué.

Physico-chimie de l'eau

La température (˚C) et la turbidité (NTU) de l'eau étaient mesurées à chaque station, à l'extérieur du milieu perturbé par le seinage, à l'aide d'une sonde RBRduo^3 T.Tu (RBR Ltd.).

La température de l'eau du milieu littoral peut varier d'une journée à l'autre, ainsi qu'au cours d'une même journée en fonction de la température de l'air. Ainsi, pour représenter la température à chacune des stations, les résidus ont été calculés, c'est-à-dire l'écart entre la valeur mesurée à une station donnée et la valeur attendue d'après la pente quotidienne de la température (température de l'air à l'aéroport de Roberval, Archives météorologiques d'Environnement Canada). Cette procédure faire permet d'éliminer les effets de la variation de température à l'intérieur d'une même journée ou entre les différentes journées du mois.

Traitement et analyse des données

Indice d'abondance relative

L'abondance des poissons a été reportée en nombre de poissons par coup de seine (CPUE), où un coup de seine correspond à la surface standard échantillonnée de 187,5 m^2. Elle est obtenue à partir de la formule suivante :

$$CPUE = \frac{n \cdot 187{,}5\ m^2}{superficie}$$

où *n* correspond au nombre de poissons capturés lors d'un coup de seine et *superficie* à la superficie échantillonnée lors de ce coup de seine.

L'indice d'abondance relative des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean a été, quant à lui, calculé en utilisant la moyenne géométrique des CPUE. La moyenne géométrique a pour avantage d'être moins sensible aux valeurs exceptionnelles que la moyenne arithmétique. Cet indice est utilisé pour les suivis annuels des jeunes bars rayés (*Morone saxatilis*) à la seine de rivage sur la côte est américaine et canadienne (Gallagher *et al.* 2018; Durell et Weedon 2019). Il a été calculé avec la formule suivante :

$$Indice\ d'abondance = e^{(\ln(CPUE+1)} - 1$$

où *ln (CPUE+1)* est la moyenne des CPUE de poissons fourrages littoraux transformés en logarithme naturel.

Indice d'occurrence

Un second indice a été calculé. Il s'agit d'un indice d'occurrence visant à représenter la proportion des stations échantillonnées où au moins un poisson d'une espèce ou d'un stade donné a été capturé. Il a été calculé avec la formule suivante :

$$Indice\ d'occurence = \frac{nb\ stations\ avec\ présence}{162}$$

où *nb stations avec présence* correspond au nombre de station présentant au moins un poisson de l'espèce ou du stade à l'étude. Le nombre 162 correspond au nombre total de stations. Un indice d'occurrence de 1 pour une espèce donnée indiquerait que cette espèce est présente dans toutes les stations échantillonnées.

Analyse de corrélations

Un sous-objectif visait à relier les variations de l'indice d'abondance des poissons fourrages aux conditions environnementales de l'habitat. Puisqu'il s'agit de la première année d'échantillonnage, ce sont plutôt les variations d'abondance des différentes espèces, ainsi que les variations de la température et de la turbidité qui ont été explorées par des corrélations de Spearman en utilisant le logiciel JMP Pro 14.0.0. La corrélation non-paramétrique de Spearman a été retenue puisque plus robuste que la corrélation paramétrique de Pearson (Quinn et Keough 2003). Les abondances de poissons fourrages ont été transformées en logarithme naturel au préalable.

RÉSULTATS

Espèces de poissons capturées

Un total de 133 940 poissons fourrages littoraux ont été capturés dans les 162 stations réparties autour du lac Saint-Jean entre le 3 et le 23 juillet 2019 (tableau 3). La très grande majorité de ces poissons (129 460; 97%) étaient des 0+, c'est-à-dire des jeunes de l'année. Les espèces retrouvées en plus grand nombre, tous stades confondus, étaient le méné émeraude (54%) et le méné à tache noire (33%). Pour les stades 0+, ces deux espèces sont suivies par les meuniers, alors que, chez les poissons d'un an et plus, le troisième rang revient au fouille-roche zébré. Certaines espèces ont été regroupées afin de faciliter l'identification des 0+ : les catostomidés (meunier rouge et meunier noir), les corégonidés (cisco de lac et grand corégone; *Coregonus artedi* et *Coregonus clupeaformis*), les cyprinidés (complexe d'espèces pouvant inclure les stades 0+ de mulet de lac, de méné à nageoires rouges, de méné jaune, de méné émeraude et de méné à tache noire; respectivement *Couesius plumbeus*, *Luxilus cornutus*, *Notemigonus crysoleucas*, *Notropis atherinoides* et *Notropis hudsonius*) et les percidés (complexe d'espèces pouvant inclure les stades 0+ de perchaude, fouille-roche zébré et doré jaune). Enfin, il s'agit de la première observation répertoriée du méné jaune dans le lac Saint-Jean. Cette espèce était cependant déjà présente ailleurs dans le bassin versant du Piékouagami (Lapointe 2013).

Tableau 3 : Identification et dénombrement des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean selon leur stade, du 3 au 23 juillet 2019. Les jeunes poissons de l'année sont regroupés sous le terme 0+, ce qui souligne qu'ils en sont à leurs premiers mois de vie. Les poissons adultes et certains juvéniles sont regroupés sous le terme ≥1+, indiquant qu'ils ont au moins un an de vie. Les nombres soulignés correspondent aux espèces indicatrices et à leur stade (voir l'annexe 6).

Espèce de poisson			Stade			
			0+	≥1+	**Total**	**Pourcent.**
Méné émeraude	NOAT	*Notropis atherinoides*	70 536	2 108	**72 644**	**54,24%**
Méné à tache noire	NOHU	*Notropis hudsonius*	42 427	1 278	**43 705**	**32,63%**
Catostomidés	CASP	*Catostomus sp.*	7 485	10	**7 495**	**5,60%**
Perchaude	PEFL	*Perca flavescens*	2 580	133	**2 713**	**2,03%**
Cyprinidés*	NOSP		2 403	*0*	**2 403**	**1,79%**
Fouille-roche zébré	PECA	*Percina caprodes*	468	393	**861**	**0,64%**
Méné de lac	COPL	*Couesius plumbeus*	857	0	**857**	**0,64%**
Éperlan arc-en-ciel	OSMO	*Osmerus mordax*	171	163	**334**	**0,25%**
Naseux des rapides	RHCA	*Rhinichtys cataractae*	177	54	**231**	**0,17%**
Ouitouche	SECO	*Semotilus corporalis*	17	173	**190**	**0,14%**
Percidés**			153	*0*	**153**	**0,11%**
Omisco	PEOM	*Percopsis omiscomaycus*	12	119	**131**	**0,10%**
Doré jaune	SAVI	*Sander vitreus*	37	5	**42**	**0,03%**
Méné jaune	NOCR	*Notemigonus crysoleucas*	*0*	16	**16**	**0,01%**
Barbotte brune	AMNE	*Ameiurus nebulosus*	3	6	**9**	**0,01%**
Chabot tacheté	COBA	*Cottus bairdi*	3	3	**6**	**0,00%**
Méné à nageoires rouges	LUCO	*Luxilus cornutus*	6	0	**6**	**0,00%**
Grand brochet	ESLU	*Esox lucius*	1	4	**5**	**0,00%**
Corégonidés	COSP	*Coregonus sp.*	0	4	**4**	**0,00%**
Indéterminé			2 125	11	**2 136**	**1,59%**
		Total	**129 460**	**4 480**	**133 940**	**100%**

*Complexe pouvant inclure le mulet de lac, le méné à nageoires rouges, le méné jaune, le méné émeraude et le méné à tache noire.
**Complexe pouvant inclure la perchaude, le fouille-roche zébré et le doré jaune.

Abondance relative des poissons fourrages

Dans la majorité des sites échantillonnés, un coup de seine ramenait entre 0 et 100 poissons fourrages de l'année (0+) et entre 0 et 100 individus d'un an et plus (≥1+; figure 6). Deux coups de seine ont rapporté des abondances exceptionnelles de poissons de l'année avec 6020 et 94 079 individus. À elles seules, ces deux stations comptent pour 71 % des poissons capturés, entraînant une surreprésentation du méné émeraude et du méné à tache noire 0+ (tableau 3). La distribution de fréquence du nombre de poissons fourrages par coup de seine est asymétrique, ce qui justifie l'utilisation de la moyenne géométrique pour calculer l'indice d'abondance relative.

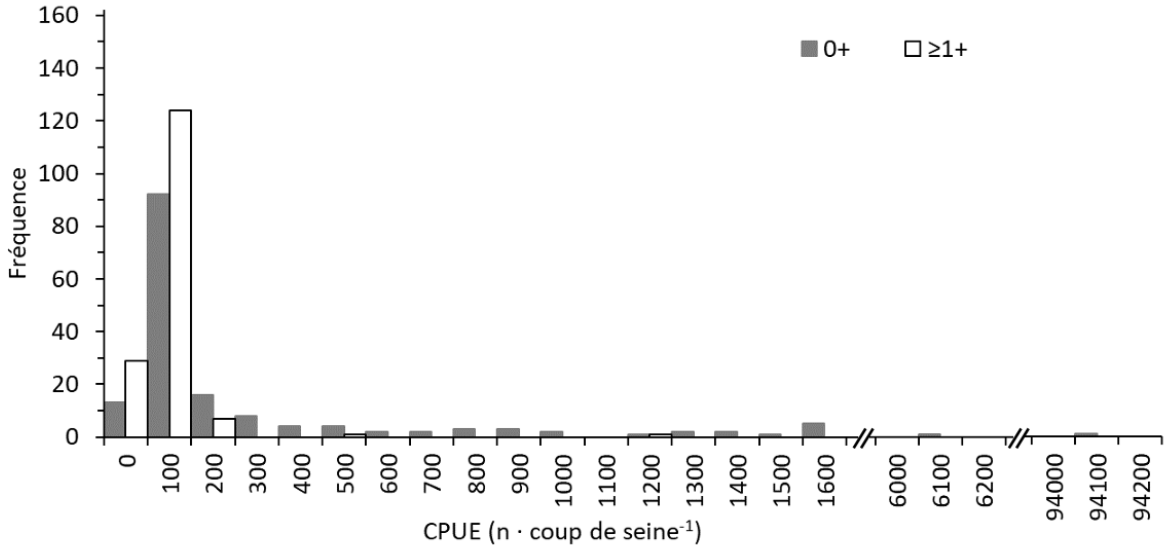


Figure 6 : Distribution de fréquence de l'abondance des poissons fourrages littoraux toutes espèces confondues selon le stade (0+ en gris et ≥1+ en blanc). La distribution des fréquences d'abondance des 0+ est plus étendue que celle des ≥1+ et elle présente deux valeurs exceptionnelles.

La stratégie évolutive des poissons fourrages implique la production d'un grand nombre de jeunes pour faire face à une mortalité élevée et un cycle de vie court, c'est-à-dire la stratégie r décrite par MacArthur et Wilson (1967). Ce qui explique la prévalence des poissons de l'année dans les captures (97 % des poissons capturés). Les poissons fourrages littoraux de l'année ont été retrouvés dans presque toutes les stations (149 sur 162), mais ils étaient plus abondants dans certaines régions du pourtour du lac : la Pointe de Saint-

Méthode, la côte de Roberval et Mashteuiatsh, la baie Doré de Chambord, la côte entre Saint-Gédéon et Alma, certains secteurs de la Pointe-Taillon et la côte de Vauvert (figure 7A). L'abondance des poissons d'un an et plus est plus faible, mais moins variable d'une station à l'autre et d'une année à l'autre (Plourde-Lavoie et Sirois 2016d). Les poissons fourrages littoraux d'un an et plus ont été retrouvés dans 133 des 162 stations échantillonnées. Ils étaient plus abondants le long de la côte nord-ouest du lac, entre l'embouchure de la rivière Mistassini et celle de l'Ashuapmushuan, ainsi que dans les stations du sud du lac, entre la Pointe de Chambord et Saint-Gédéon (figure 7B, noter la diminution d'ordre de grandeur d'abondance). Les répartitions de l'abondance relative pour chaque espèce de poisson fourrage indicatrice sont présentées à l'annexe 7.

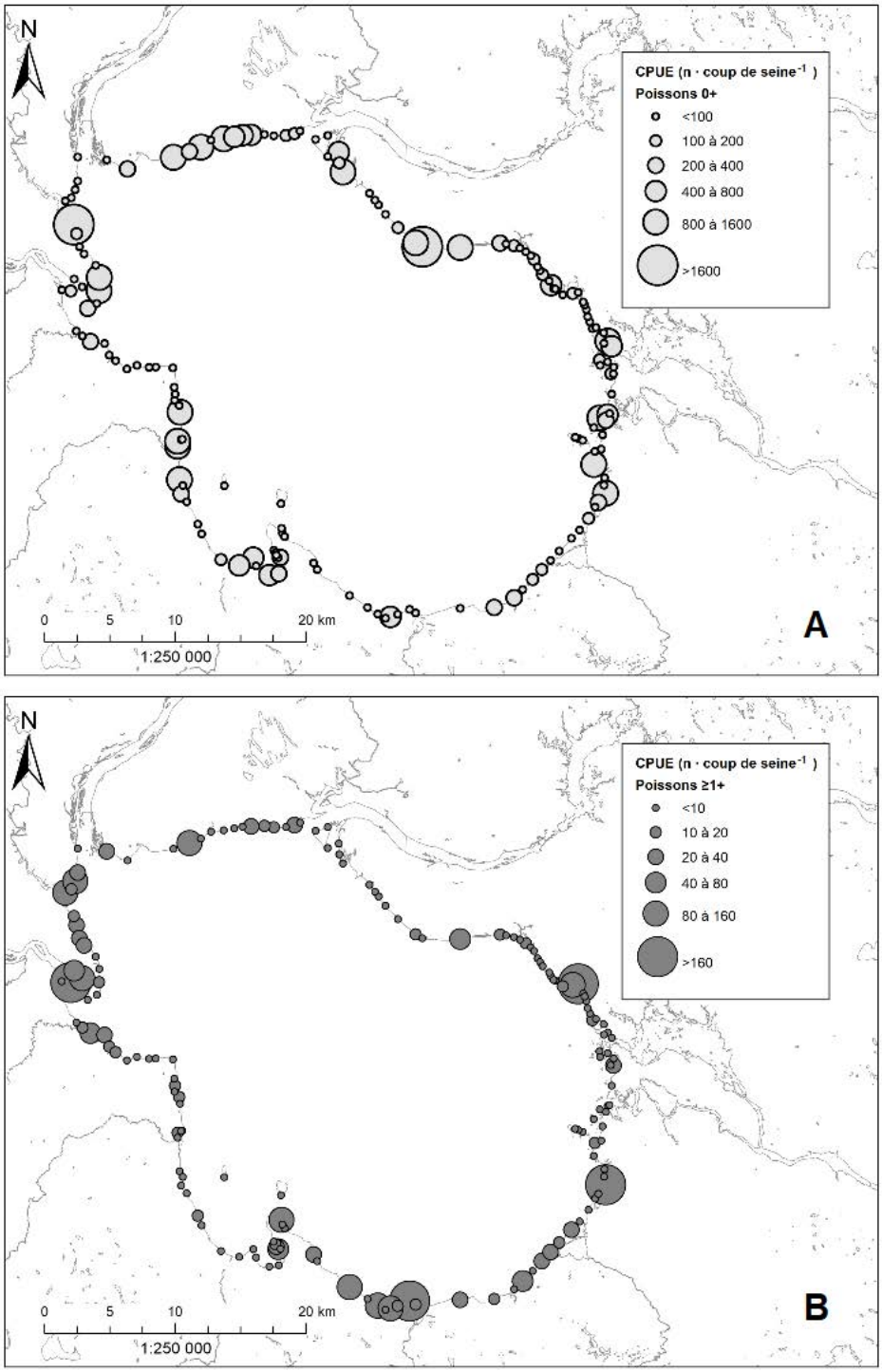


Figure 7 : Abondance relative par station de tous les poissons fourrages littoraux capturés en juillet 2019 au lac Saint-Jean détaillé selon le stade (A) jeunes de l'année, et (B) poissons d'un an et plus. L'abondance relative correspond au nombre de poisson capturés dans un coup de seine standardisé. Les stations sans poisson ne sont pas indiquées dans le but d'alléger les figures. Noter le changement d'échelle de l'abondance entre les deux graphiques.

Indice d'abondance relative par espèce

Les ménés émeraudes et les ménés à tache noire 0+ ont été très abondants dans l'échantillonnage de 2019 (indice d'abondance relative de 1,8 et 6,2 individus par coup de seine respectivement, annexe 8). Cependant, dans une étude préparatoire au suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean, Plourde-Lavoie et Sirois (2016c) ont recommandé de ne retenir que les données d'abondance des poissons fourrages adultes pour le suivi, ces dernières étant moins variables que celles des jeunes de l'année. Une exception devant être faite pour de tenir compte des perchaudes et des catostomidés, puisque ce sont principalement les jeunes de ces espèces qui fréquentent la zone littorale.

Les indices d'abondance relative des meuniers et de la perchaude sont plus élevés que ceux des autres espèces de poissons fourrages, puisqu'il s'agit d'un stade de vie différent (les jeunes de l'année, respectivement 4,0 et 1,9 individus par coup de seine; figure 8). Les poissons font face à des taux de mortalité très élevés dans leur première année de vie, ce qui explique cet écart entre les stades de vie (Houde 1987). Suivent ensuite le méné émeraude, le méné à tache noire et le fouille-roche zébré d'un an et plus (respectivement 1,05, 0,98 et 1,01 individus par coup de seine). Les abondances relatives moyennes de l'éperlan arc-en-ciel, de l'omisco, du naseux des rapides et de la ouitouche sont relativement faibles (entre 0,1 et 0,4 individus par coups de seine).

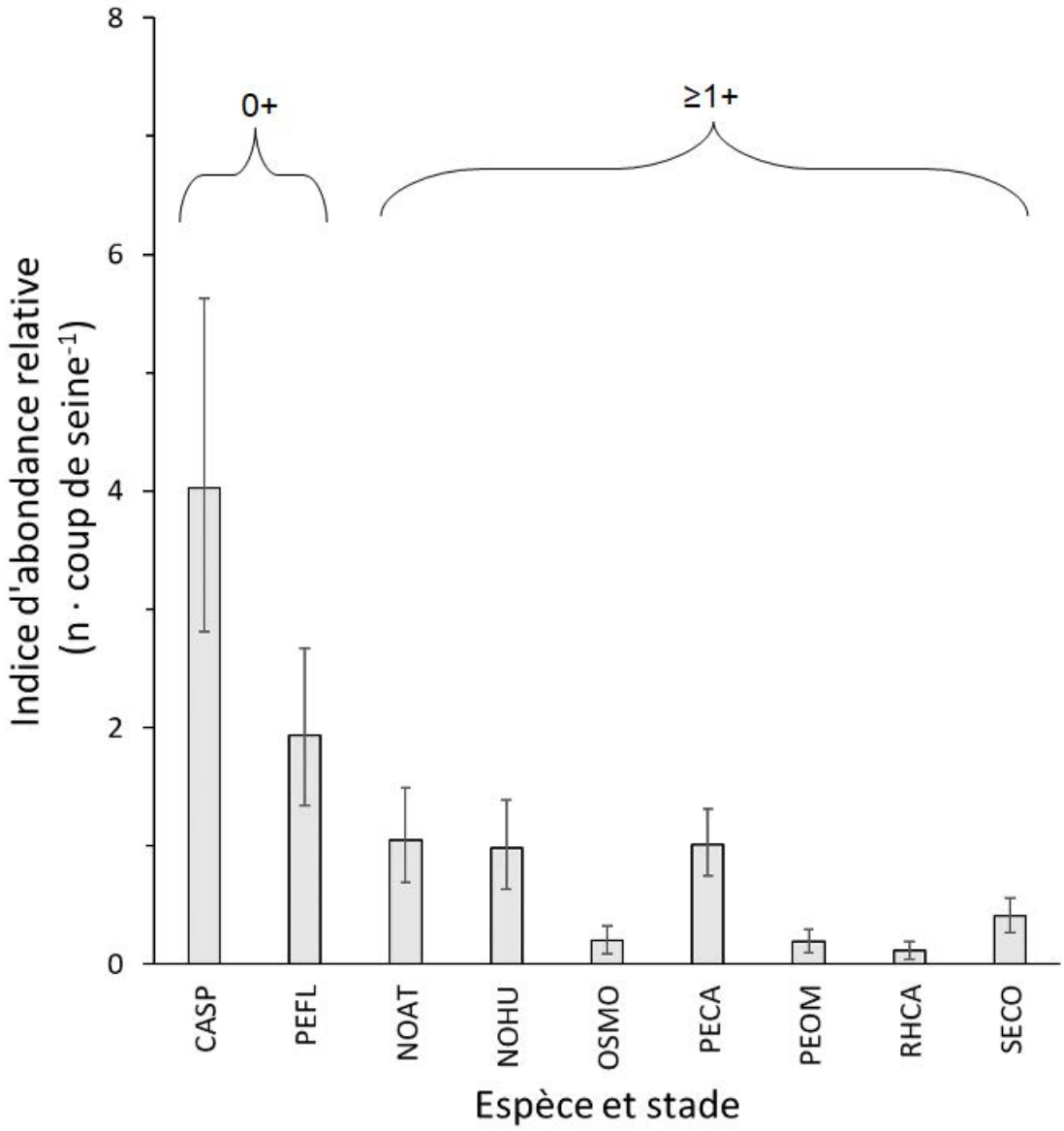


Figure 8 : Indices d'abondance relative (nombre de poissons par coup de seine ± intervalle de confiance à 95%) des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean échantillonnés au cours du mois de juillet 2019. Les espèces indicatrices sont les catostomidés et la perchaude de l'année (CASP et PEFL 0+), ainsi que le méné émeraude, le méné à tache noire, l'éperlan arc-en-ciel, le fouille-roche zébré, l'omisco, le naseux des rapides et la ouitouche d'un an et plus (respectivement NOAT, NOHU, OSMO, PECA, PEOM, RHCA et SECO ≥1+; voir le tableau 3 pour les abréviations).

Répartition des espèces de poissons fourrages

L'indice d'occurrence des espèces de poissons capturées à la seine en zone littorale au lac Saint-Jean offre un portrait légèrement différent, quoique complémentaire, à celui dressé par l'indice d'abondance relative de chacune des espèces. La figure 9 montre que les catostomidés et le méné à tache noire de l'année sont retrouvés dans les deux tiers des stations (0,67 et 0,64 respectivement), alors que la moitié des station échantillonnées comportent de la perchaude de l'année et du fouille-roche zébré d'un an et plus (0,51 et 0,50 respectivement). Le fouille-roche zébré est l'espèce la plus répandue pour les poissons d'un an et plus. La quasi-totalité des stations présentaient des poissons de l'année (0,92) et des poissons d'un an et plus (0,82).

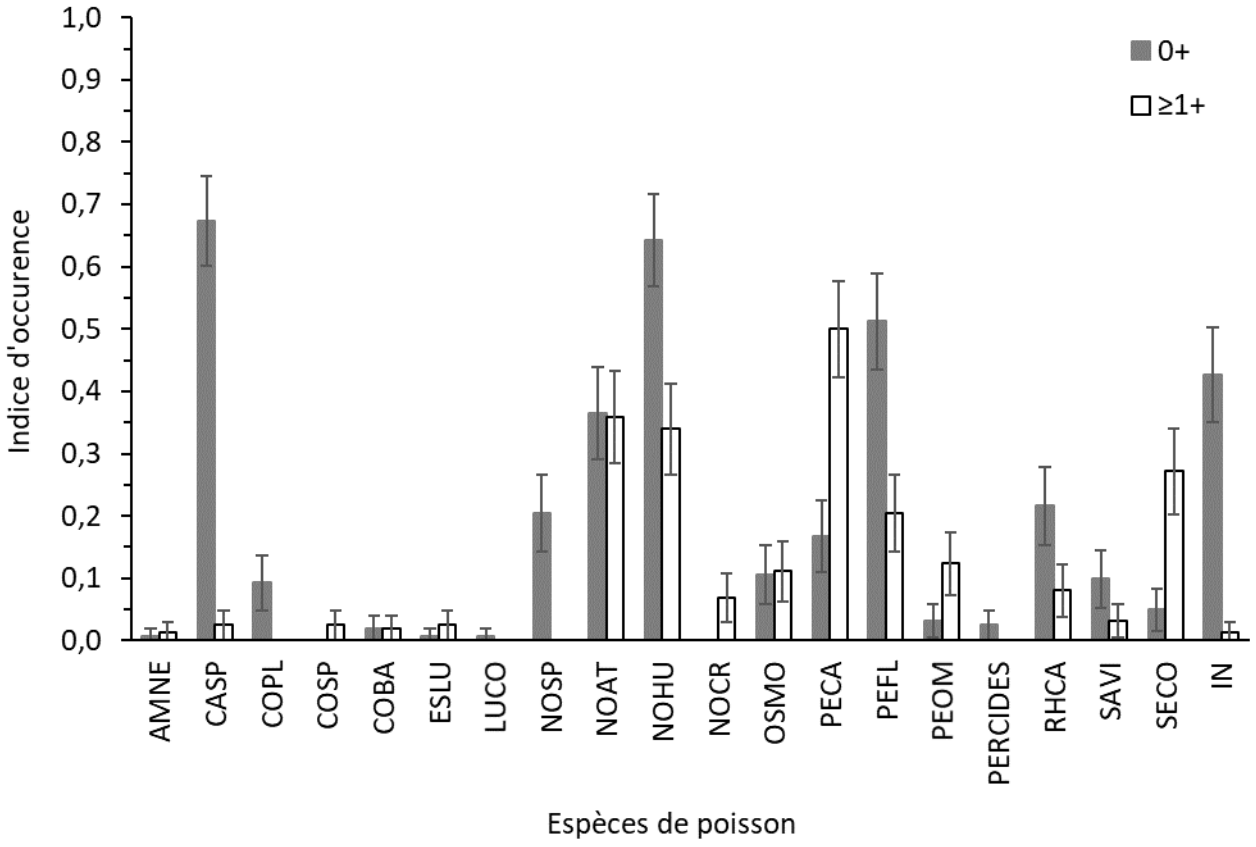


Figure 9 : Indice d'occurrence (± intervalle de confiance à 95 %) de l'ensemble des espèces de poissons échantillonnées en zone littorale au lac Saint-Jean en juillet 2019, selon le stade (0+ en gris et ≥1+ en blanc). Voir le tableau 3 pour la liste des abréviations.

Variables environnementales

La température moyenne de l'eau mesurée par la sonde dans la zone littorale du lac Saint-Jean en juillet 2019 était de 21˚C, avec une étendue de valeurs variant entre 13 et 26˚C (tableau 4). Il s'agit d'une température comparable à celle de l'air entre 5 :00 et 13 :00 à l'aéroport de Roberval pour la même période (Archives météorologiques d'Environnement Canada, annexe 9). La figure 10 montre la répartition des résidus de la température pour chacune des stations échantillonnées. Les résidus mettent en évidence les stations dont la température s'éloigne des valeurs attendues. Les stations plus froides sont situées dans l'embouchure de la rivière Péribonka et ses environs, ainsi que dans la région menant à la Grande Décharge; alors que les plus chaudes sont situées dans la baie Doré.

Tableau 4 : Sommaire de l'étendue des données abiotiques mesurées aux stations d'échantillonnage littorales du lac Saint-Jean, entre le 3 et le 23 juillet 2019. La température de l'eau est mesurée en degrés Celsius (˚C) alors que la turbidité est exprimée en Unité de Turbidité Néphélométrique (NTU).

	Température (˚C)	Turbidité (NTU)
Moyenne	20,64	6,55
Écart type	1,90	7,10
Minimum	13,22	-0,88
Maximum	26,17	30,66

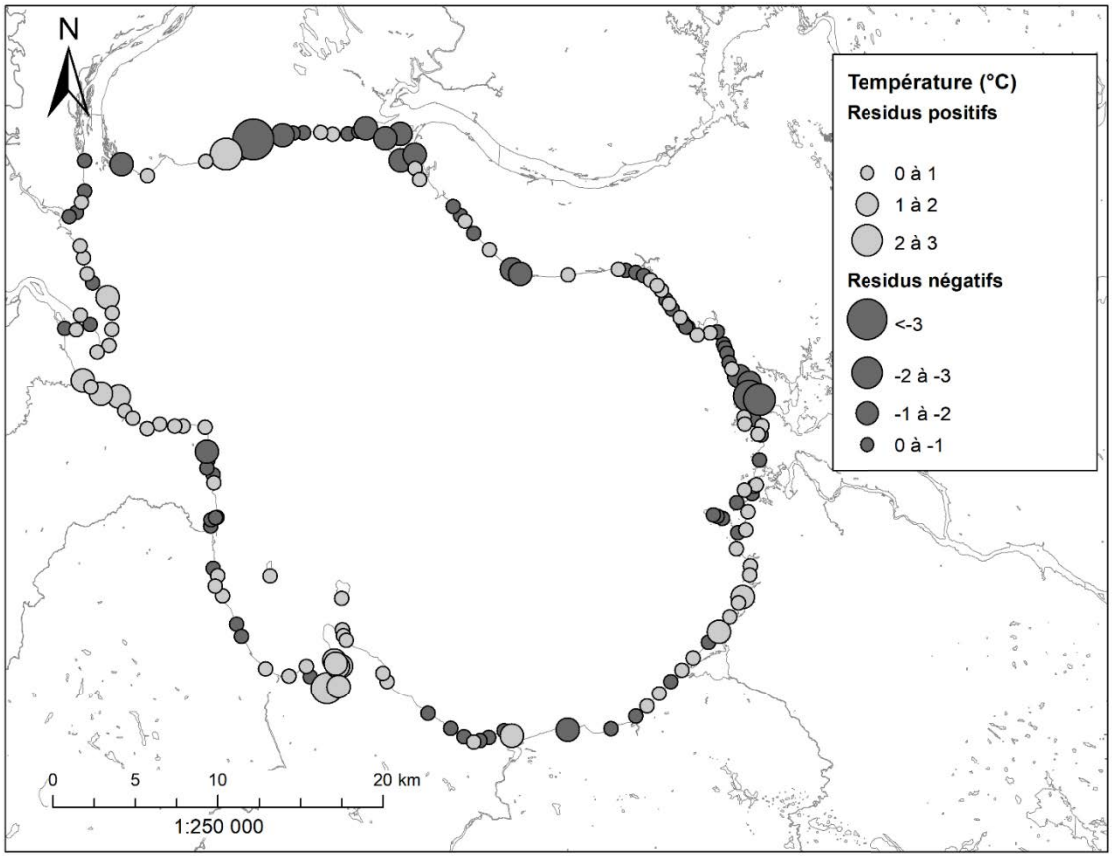


Figure 10 : Représentation de la température de l'eau dans les stations échantillonnées au cours du mois de juillet 2019, dans le cadre du suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Les cercles gris clairs indiquent les sites dont l'eau est plus chaude qu'attendue (résidus positifs, ˚C), alors que les cercles gris foncé décrivent les sites dont l'eau est plus froide qu'attendue (résidus négatifs). Plus le cercle est grand, plus la température mesurée s'éloigne de la température attendue.

La turbidité montre une grande étendue et variabilité des données autour du lac Saint-Jean (tableau 4). La majorité des stations présentaient une eau claire avec une turbidité de moins de 10 NTU, mais on retrouve aussi une quinzaine de stations plus turbides, se situant entre 20 et 30 NTU. L'eau des stations échantillonnées était généralement plus turbide dans la moitié nord du lac Saint-Jean (figure 11).

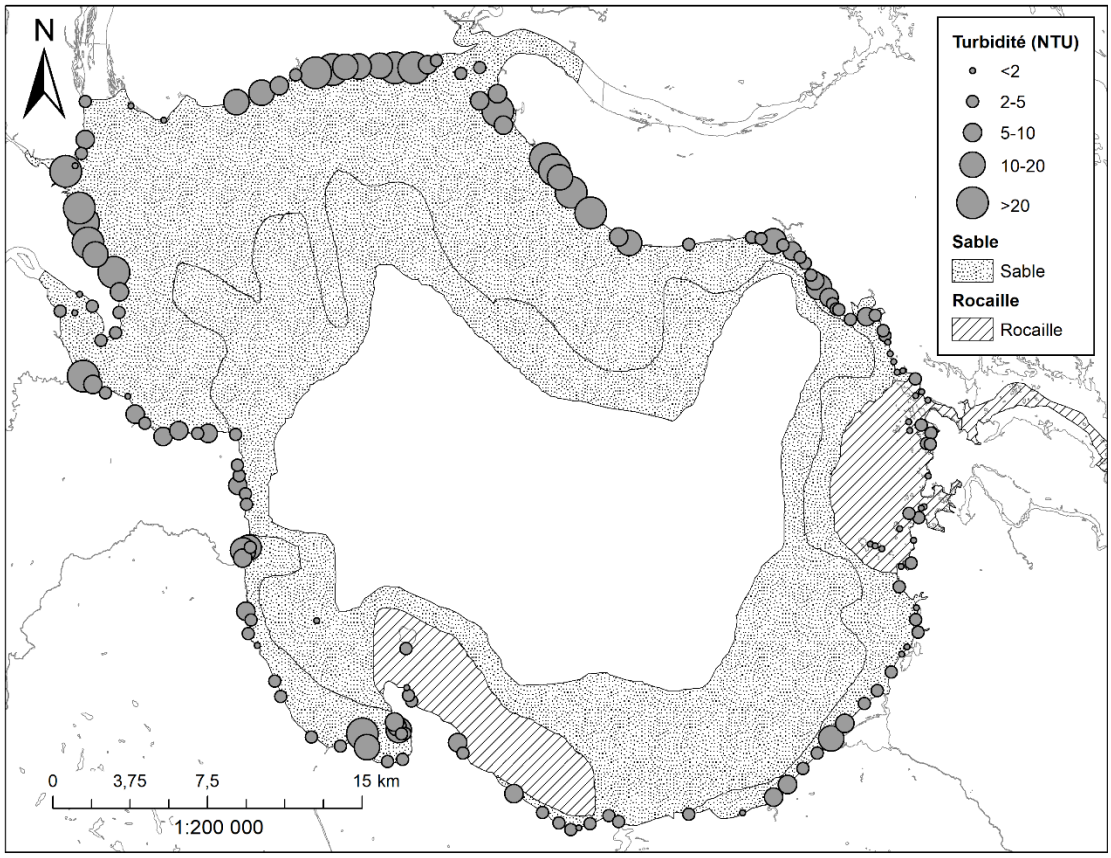


Figure 11 : Turbidité de l'eau (NTU) mesurée dans les stations échantillonnées au cours du mois de juillet 2019, dans le cadre du suivi des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean. Plus le cercle est grand, plus la turbidité est élevée. Les zones pointillées indiquent un substrat de sable alors que les zones hachurées montrent les secteurs rocheux (André Marsan & Associés 1983).

Les variables environnementales mesurées sont en général faiblement corrélées à l'abondance des différentes espèces de poissons et stades capturés (tableau 5). La grande majorité des corrélations significatives impliquent la turbidité et la plus forte d'entre elles lie la turbidité à l'abondance du méné à tache noire de l'année ($\rho = 0,40$; $p < 0,0001$; figure 12). Les plus faibles abondances de méné à tache noire de l'année sont associées aux turbidités de moins de 15 NTU, alors qu'il est très abondant, lorsque présent, dans les stations dont la turbidité des stations dépasse 15 NTU. La corrélation est moins évidente pour les autres espèces et stades listés dans le tableau 5, à l'exception du doré jaune et de la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*) de plus d'un an, ainsi que le chabot tacheté (*Cottus*

bairdi) de l'année. Ces dernières espèces ont été capturées dans quelques stations seulement (respectivement 5, 2 et 3 stations). Les stations où ont été capturés le doré jaune et la barbotte brune de plus d'un an présentent toutes une turbidité plus élevée que la moyenne (7 à 31 NTU; tableau 4). À l'opposé, le chabot tacheté de l'année n'a été retrouvé que dans deux stations de faible turbidité (1 à 2 NTU).

Pour terminer, la forte corrélation négative entre la température de l'eau et la date (ρ = - 0,64; p <0,0001) confirme qu'il était nécessaire de procéder à la transformation des données de température de façon à y diminuer l'influence de la date d'échantillonnage (voir la section *Matériel et méthode*). Seule l'abondance de l'omisco de l'année est corrélée aux résidus de température (la température transformée afin d'éliminer l'effet du temps). Cette corrélation négative est cependant très faible, bien que significative (ρ = -0,16; p = 0,05).

Tableau 5 : Corrélations de Spearman significatives entre l'abondance des différentes espèces capturées et les variables abiotiques mesurées dans le cadre du suivi de l'abondance des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean en juillet 2019.

Variable X	Variable Y	ρ de Spearman	p
Corrélations entre abondance et variable environnementale			
Méné à tache noire 0+	Turbidité	0,4026	<0,0001
Fouille-roche 0+	Turbidité	0,3754	<0,0001
Méné à tache noire ≥1+	Turbidité	0,3495	<0,0001
Perchaude ≥1+	Turbidité	0,2951	0,0001
Omisco ≥1+	Turbidité	0,2683	0,0006
Méné émeraude ≥1+	Turbidité	0,2374	0,0024
Doré jaune ≥1+	Turbidité	0,2347	0,0026
Perchaude 0+	Turbidité	0,2208	0,0047
Éperlan arc-en-ciel 0+	Turbidité	0,2096	0,0074
Percidés 0+	Turbidité	0,1951	0,0128
Barbotte brune ≥1+	Turbidité	0,1556	0,0481
Omisco 0+	Résidus température	-0,1577	0,045
Chabot tacheté 0+	Turbidité	-0,1687	0,0319
Corrélations entre autres variables			
Température	Date	-0,6388	<0,0001

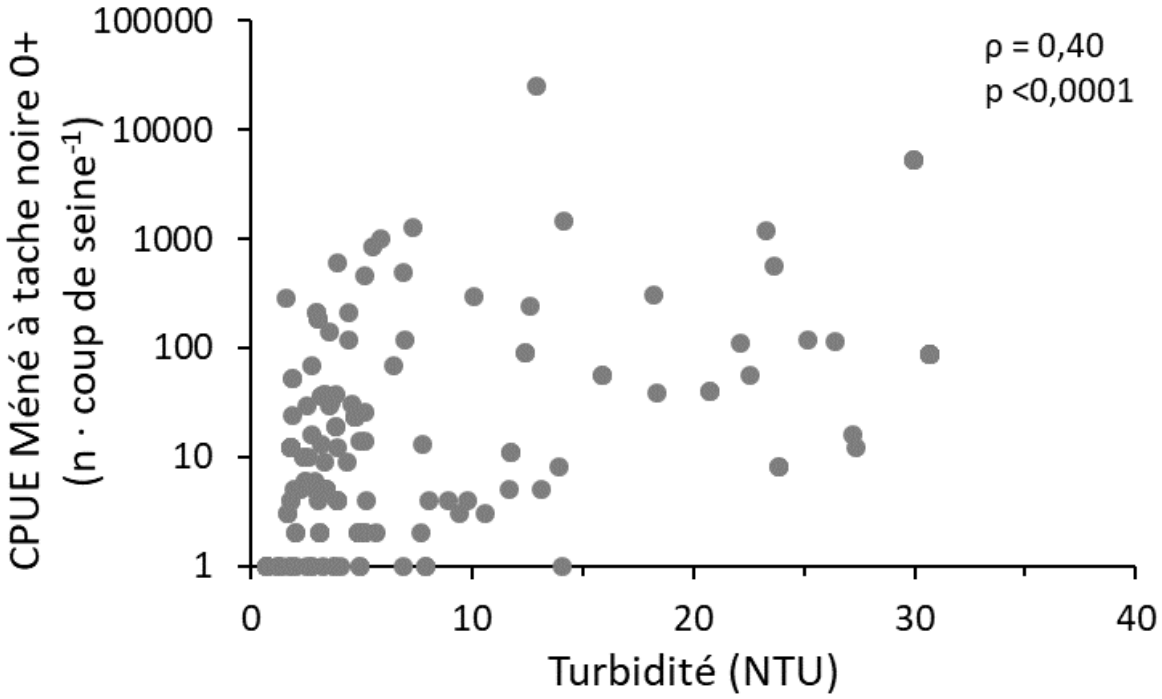


Figure 12 : L'abondance relative du méné à tache noire de l'année (n · coup de seine^{-1}) est positivement corrélée à la turbidité de l'eau de la station (NTU; $\rho = 0,40$; $p<0,0001$). Prendre note de l'échelle logarithmique de l'axe de l'abondance.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les espèces indicatrices

Les espèces indicatrices (liste à l'annexe 6) ont été définies dans Plourde-Lavoie et Sirois (2016c) sur la base des espèces les plus abondantes et/ou dont l'occurrence était élevée dans les échantillonnages des poissons littoraux du lac Saint-Jean ayant eu lieu de 1989 à 1995 (Valentine 1989; Valentine 1990; Valentine 1991; Bouchard et Plourde 1995). Dans un idéal statistique, il était recommandé de ne comptabiliser pour ces espèces que l'abondance des poissons d'un an et plus, puisque moins variable que celle des jeunes de l'année. Cependant, une exception a été faite pour les catostomidés et la perchaude car ce sont surtout les jeunes stades de ces espèces qui fréquentent la zone littorale.

Les résultats de 2019 confirment cette décision. Les espèces indicatrices sont conservées puisqu'elles demeurent plus abondantes et/ou occurrentes (tableau 3; figures 8 et 9). Ce même tableau confirme qu'il est nécessaire de retenir les jeunes de l'année pour ne pas sous-estimer l'abondance des meuniers et, dans une moindre mesure, celle de la perchaude. Les catostomidés et la perchaude sont les 3^{e} et 4^{e} espèces les plus nombreuses chez les jeunes de l'année, alors qu'ils se classent aux 10^{e} et 6^{e} rangs du nombre de captures chez les poissons d'un an et plus.

Comparaison des indices d'abondance relative

L'indice d'abondance relative de l'ensemble des poissons capturés en 2019 est du même ordre de grandeur que ceux des échantillonnages du début des années1990 (figure 13). Le constat est similaire en ce qui concerne l'indice d'abondance des jeunes de l'année et celui des poissons d'un an et plus. Cependant, la valeur de l'indice de 2019 est la plus élevé dans la catégorie des jeunes de l'année alors qu'elle est la plus faible dans la catégorie des poissons d'un an et plus. Les prochaines années d'échantillonnage permettront de préciser la tendance et la variabilité interannuelle de l'abondance des poissons fourrages littoraux du lac Saint-Jean.

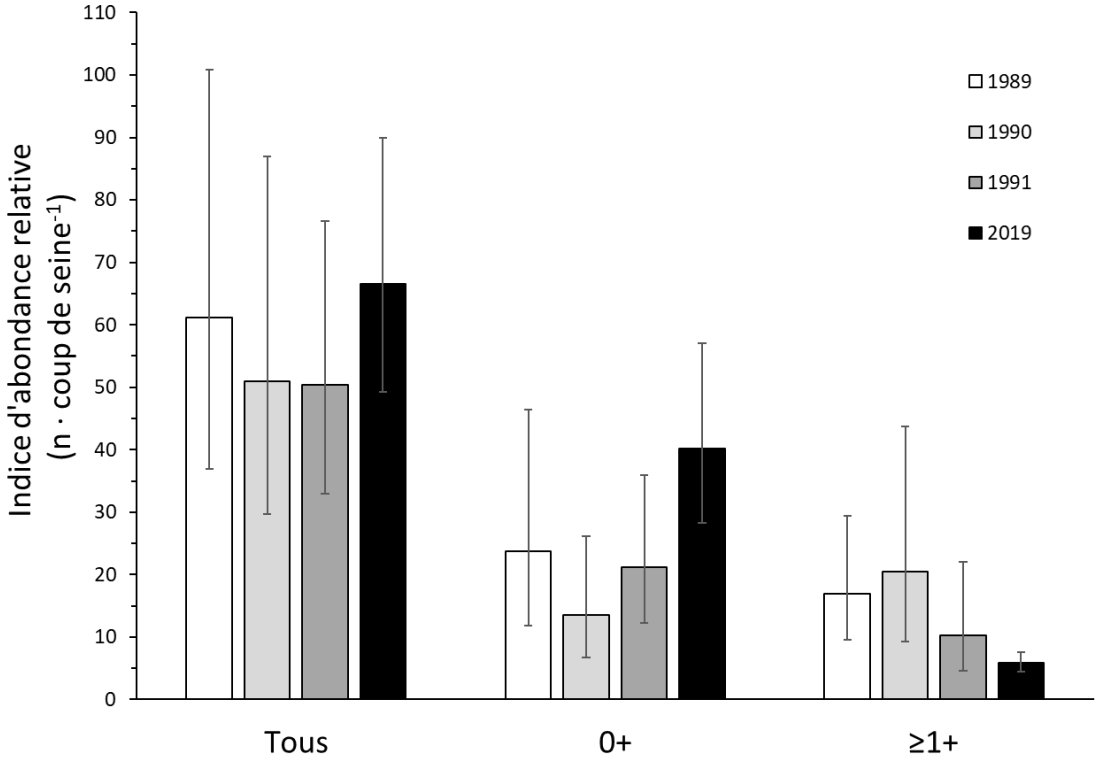


Figure 13 : Comparaison de l'indice d'abondance de l'ensemble des poissons fourrages littoraux en juillet au lac Saint-Jean entre l'échantillonnage de 2019 (en noir) et ceux de 1989 à 1991 (tons de gris). Le nombre moyen de poissons capturés par coup de seine uniformisé (± intervalle de confiance à 95 %) est indiqué pour chaque année selon trois catégories : le total des poissons capturés (Tous), le total des jeunes de l'année (0+) et le total des poissons d'un an et plus (≥1+).

Turbidité et température de l'eau

La turbidité et la température avaient été retenues comme les paramètres de la physico-chimie de l'eau ayant le plus d'impact sur les poissons. La turbidité a un effet double sur les poissons fourrages : elle peut protéger les jeunes de l'année des prédateurs (Carreon-Martinez *et al.* 2014), en plus d'avoir un impact sur la capacité de chasser des poissons fourrages eux-mêmes, qui utilisent leur vue pour traquer les petits invertébrés (Manning *et al.* 2014; Nieman et Gray accepté). L'abondance de certaines espèces et stades de poissons fourrages du lac Saint-Jean est liée à la turbidité mesurée sur leur lieu de capture. Les corrélations les plus élevées sont obtenues avec le méné à tache noire, ainsi qu'avec le fouille-roche zébré de l'année. Le lac Saint-Jean présente somme toute des turbidités faibles à moyennes qui pourraient être avantageuses pour ces deux espèces.

La température influence directement le métabolisme des poissons (Clarke et Johnston 1999), ainsi que la quantité d'oxygène dissous dans l'eau (Lampert et Sommer 1997). Par conséquent, l'absence de corrélation entre l'abondance des différentes espèces de poissons fourrages et la température de l'eau des stations surprend. Seule une légère corrélation négative entre l'abondance de l'omisco de l'année et la température de l'eau a été identifiée. Il est possible que la variation de température entre les stations soit trop éphémère pour induire une réponse physiologique de la part des poissons.

RÉFÉRENCES

André Marsan & Associés. 1983. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean. Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social. Rapport synthèse Tome 1. Le milieu, le phénomène d'érosion et l'analyse de diverses options de gestion des niveaux du lac. Aluminium du Canada Ltée (Alcan). 262 p.

Auer N.A. 1982. Identification of larval fishes of the Great Lakes basin with emphasis on the Lake Michigan drainage. Great Lakes fishery commission, Michigan, 744 p.

Bouchard L. et Plourde Y. 1995. Suivi de l'impact des travaux de rechargement sur les communautés de poissons fourrages du lac Saint-Jean, résultats des pêches de 1995. Centre écologique du lac Saint-Jean inc., pour Sécal, Programme de stabilisation des berges, 64 p.

Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. 2017. Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2017-2026. Québec, 170 p.

Carreon-Martinez L.B., Wellband K.W., Johnson T.B., Ludsin S.A. et Heath D.D. 2014. Novel molecular approach demonstrates that turbid river plumes reduce predation mortality on larval fish. Molecular Ecology, 23: 5366-5377.

Clarke A. et Johnston N.M. 1999. Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. Journal of Animal Ecology, 68: 893-905.

Durell E.Q. et Weedon C. 2019. Striped bass seine survey juvenile index web page. https://dnr.maryland.gov/fisheries/Pages/striped-bass/juvenile-index.aspx

Fortin A.-L., Sirois P. et Legault M. 2009. Synthèse et analyse des connaissances sur la ouananiche et l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi, Laboratoire des sciences aquatiques, et Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, Québec, 137 p.

Gallagher B.K., Fabrizio M.C. et Tyckey T.D. 2018. Estimation of juvenile stiped bass relative abundance in the Virginia portion of Chesapeake Bay, Annual progress report: 2017-2018. Virginia Institute of Marine Science (VIMS), 56 p.

Houde E.D. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. American Fisheries Society Symposium, 2: 17-29.

Lampert W. et Sommer U. 1997. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, Oxford, 382 p.

Lapointe A. 2013. Distribution connue des espèces de poissons de certains lacs, rivières et ruisseaux du bassin hydrographique du lac Saint-Jean. Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'expertise Énergie-Faune-Forêts-Mines-Territoire du Saguenay-Lac-Saint-Jean, 107 p.

Lefebvre R. 1988. Utilisation de la zone de marnage du lac Saint-Jean par la faune aquatique en 1987. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale du Saguenay-Lac Saint-Jean, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la Faune, Jonquière, 44 p.

Lefebvre R. 1989. Utilisation de la zone de marnage du lac Saint-Jean par la faune aquatique en 1988. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale du Saguenay-Lac Saint-Jean, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la Faune, Jonquière, 44 p.

MacArthur R.H. et Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton.

Manning N.F., Bossenbroek J.M., Mayer C.M., Bunnell D.B., Tyson J.T., Rudstam L.G. et Jackson J.R. 2014. Modeling turbidity type and intensity effects on the growth and starvation mortality of age-0 yellow perch. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 71: 1544-1553.

Massé H. et Leclerc J. 2015. Clef d'identification des cyprinidés du Québec. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Longueuil, Québec, 24 p.

Ministère du Développement durable de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques. 2017. Rapport d'analyse environnementale pour le programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean 2018-2027 sur le territoire des municipalités régionales de comté de Lac-Saint-Jean-Est, Maria-Chapdelaine et Le Domaine-du-Roy. Dossier 3211-02-001. Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique. Direction de l'évaluation environnementale des projets hydriques et industriels, Québec, 57 p.

Nieman C.L. et Gray S.M. accepté. Elevated algal and sedimentary turbidity alter prey consumption by emerald shiner (*Notropis atherinoides*). Ecology of Freshwater Fish, n/a.

Plourde-Lavoie P. et Sirois P. 2016a. Revue et synthèse de la littérature scientifique sur la reproduction et les habitats des poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 124 p.

Plourde-Lavoie P. et Sirois P. 2016b. Cartographie des habitats de fraie potentiels des poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi.

Plourde-Lavoie P. et Sirois P. 2016c. Suivi des poissons fourrages en zone littorale au lac Saint-Jean : analyses de puissance à partir des données des échantillonnages de 1989 à 1995. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi.

Plourde-Lavoie P. et Sirois P. 2016d. Impacts des travaux de rechargement des plages sur les poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean : analyse de la méthodologie et de la puissance statistique des échantillonnages de 1989 à 1995. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi.

Quinn G.P. et Keough M.J. 2003. Experimental design and data analysis for biologists. Cambridge University Press, 537 p.

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

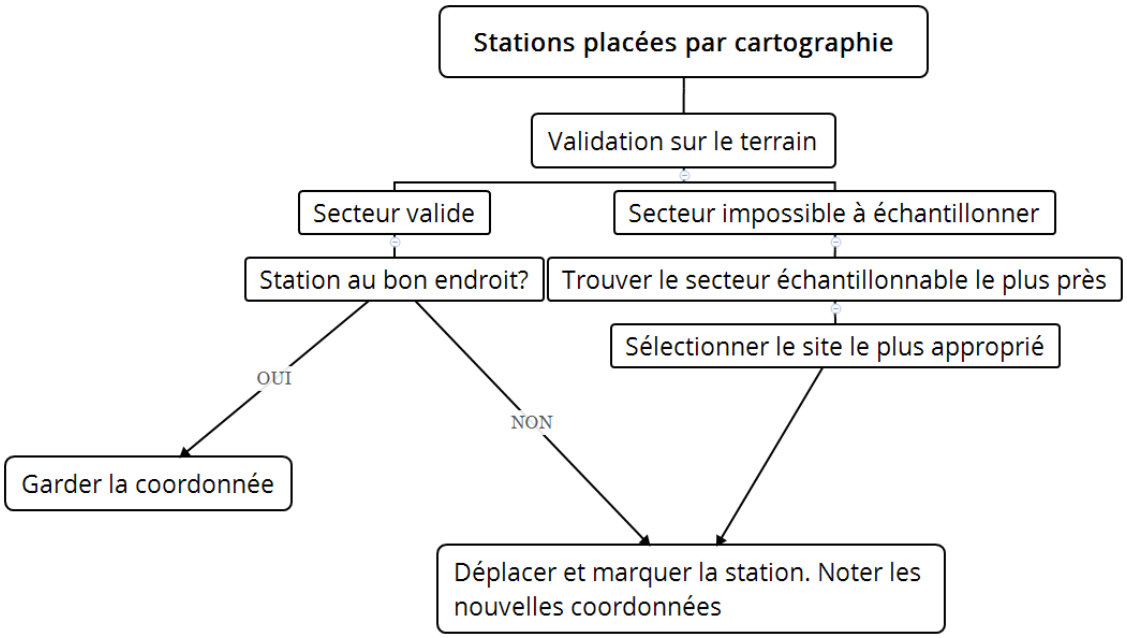
Valentine M. 1989. Étude de la densité et de la répartition de la faune ichtyenne et benthique du lac St-Jean. Le Centre Écologique du Lac St-Jean inc., Saint-Félicien, 49 p.

Valentine M. 1990. Étude de la densité et de la répartition de la faune ichtyenne et benthique du lac St-Jean. Centre Écologique du Lac St-Jean inc., Saint-Félicien, 47 p.

Valentine M. 1991. Étude de la densité et de la répartition de la faune ichtyenne du lac Saint-Jean 1991. Le Centre Écologiques du lac St-Jean inc., Saint-Félicien, 39 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Arbre de décision utilisé pour évaluer les stations lors de la visite sur le terrain. À noter qu'une station peut être située dans un secteur valide, bien que la station elle-même ne soit pas située à l'emplacement idéal. Par exemple, une station doit être déplacée de quelques mètres pour éviter un obstacle à la seine.



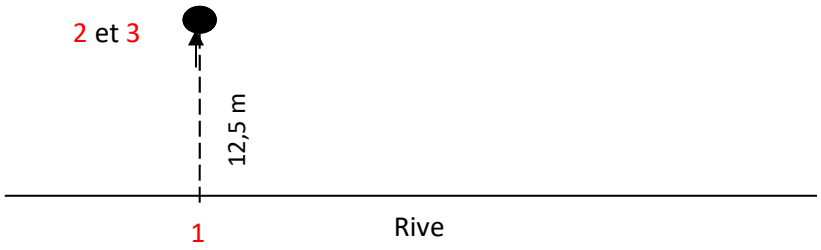
Annexe 2 : Coordonnées des sites utilisés pour les tests des combinaisons longueur-technique de seine lors de la phase de pré-échantillonnage.

Site	Latitude	Longitude
T68	48,62335	-72,31609
T69	48,62277	-72,31722
T70	48,62214	-72,31817
T71	48,62175	-72,31886
T72	48,48179	-71,80202
T73	48,48263	-71,80144
T74	48,48246	-71,80245
T75	48,48220	-71,80278
T76	48,58178	-72,25149
T77	48,58197	-72,25086
T78	48,58230	-72,24947
T79	48,58189	-72,25179
T80	48,58188	-72,25154
T81	48,60028	-72,32467
T82	48,60045	-72,32574
T83	48,60086	-72,32705
T84	48,60049	-72,32592
T85	48,72492	-72,34315
T86	48,41934	-71,98757
T87	48,41983	-71,98583
T88	48,42005	-71,98515
T89	48,58192	-72,25122
T90	48,58237	-72,24980
T91	48,58187	-72,25190
T92	48,58191	-72,25250
T93	48,58192	-72,25336
T94	48,58176	-72,25422
T95	48,58205	-72,25312
T96	48,58195	-72,25254

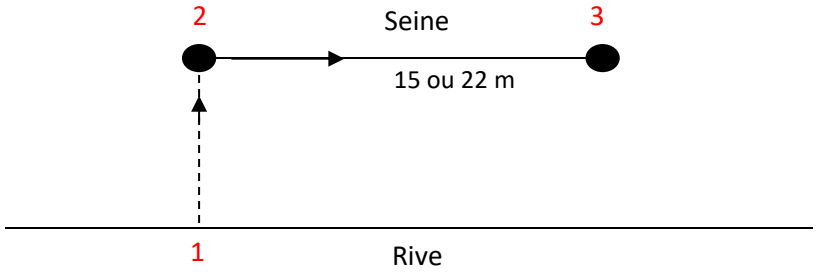
Annexe 3 : Protocoles de déploiement de la seine de rivage suivant la technique en parallèle (A) et la technique perpendiculaire (B). Ces protocoles sont adaptés du protocole non-publié de l'échantillonnage pour le suivi du recrutement des bars rayés du fleuve Saint-Laurent.

A) Technique en parallèle

- *A.1)* Cette technique demande trois manipulateurs. Un premier manipulateur (1) demeure sur la rive en tenant une corde située à une extrémité de la seine, tandis que deux autres manipulateurs (2, 3) se rendent à 12,5 m au large avec la seine placée dans un bac. Si la corde graduée n'a pas été étirée jusqu'au bout (par exemple, l'eau est trop profonde pour aller plus loin), la distance à laquelle la seine a été déployée doit être inscrite sur la feuille terrain.

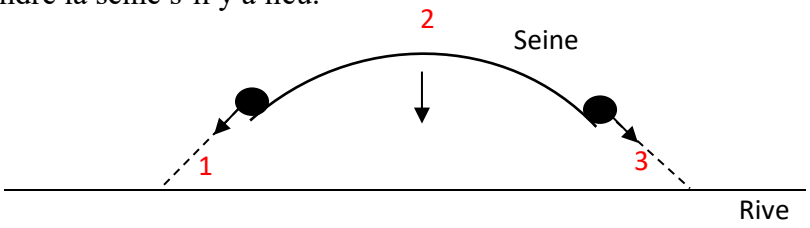


- *A.2)* La deuxième personne (2) demeure en position et maintient la seine fixe afin que le troisième manipulateur (3) puisse l'étirer complètement parallèlement au rivage.



- *A.3)* Par la suite, le troisième (3) manipulateur revient vers la rive en prenant soin d'amener la corde de 12,5 m et le bac vide avec lui.

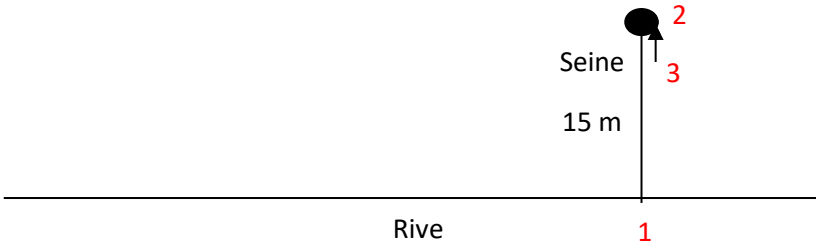
- *A.4)* Le premier (1) et le troisième (3) manipulateur ramènent lentement la seine vers la rive, jusqu'à ce que les ailes de la seine soient remontées sur la rive et que la ralingue plombée arrive tout près du bord. Le filet doit toujours demeurer au fond de l'eau sans être soulevé. La deuxième personne (2) accompagne la poche de la seine dans l'eau et aide à déprendre la seine s'il y a lieu.



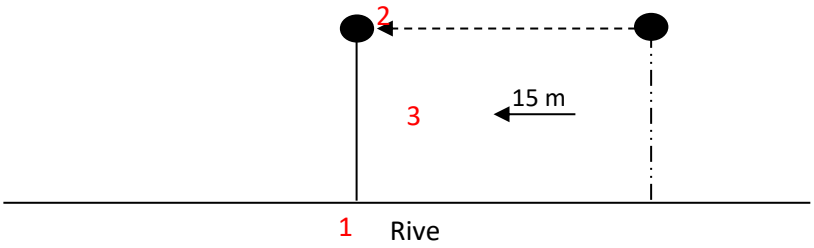
- *A.5)* Une fois que les ailes de la seine sont remontées sur la rive, le premier et le troisième manipulateurs (1 et 3) s'assurent que tous les poissons se dirigent vers la poche de la seine avant de glisser la ralingue plombée sur la rive, hors de l'eau. À ce moment, les poissons sont tous concentrés dans la poche et il est possible de relever le pourtour de la poche afin d'y prélever les poissons.

B) Technique perpendiculaire

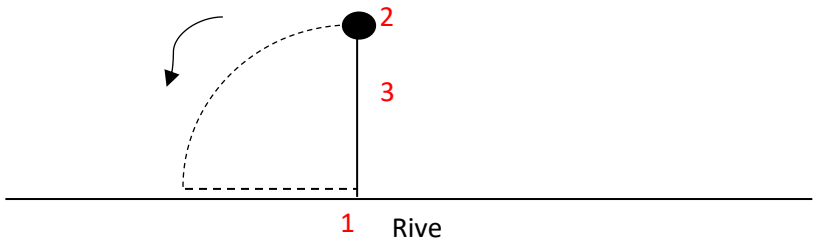
- *B.1)* Un premier manipulateur (1) demeure sur la rive en tenant une extrémité de la seine de 15 m, tandis qu'un second manipulateur se dirige vers le large de manière à dérouler complètement la seine (2) et qu'un troisième manipulateur se tient au centre vis-à-vis la poche (3). Si la seine ne peut être entièrement déployée, la distance doit être notée.



- *B.2)* Les manipulateurs (1, 2, 3) se déplacent de 15 m, face au courant s'il y a lieu, de manière à déplacer la seine perpendiculairement à la rive. Le troisième manipulateur (3) suit en s'assurant que la ralingue plombée du filet reste au fond de l'eau et aide à déprendre le filet au besoin.



- *B.3)* Par la suite, le deuxième (2) manipulateur revient à la rive en décrivant un arc-de-cercle. Le premier et le second manipulateurs (1 et 2) ramènent lentement la seine vers la rive, jusqu'à ce que les ailes de la seine soient remontées sur la rive et que la ralingue plombée arrive tout près du bord. Le filet doit toujours demeurer au fond de l'eau sans être soulevé. La troisième personne (3) accompagne la poche de la seine dans l'eau et aide à déprendre le filet s'il y a lieu.



- *B.4)* Une fois que les ailes de la seine sont remontées sur la rive, le premier et le troisième manipulateurs (1 et 3) s'assurent que tous les poissons se dirigent vers la poche de la seine avant de glisser la ralingue plombée sur la rive, hors de l'eau. À ce moment, les poissons sont tous concentrés dans la poche et il est possible de relever le pourtour de la poche afin d'y prélever les poissons.

Annexe 4 : Coordonnées des 162 stations d'échantillonnage des poissons fourrages littoraux autour du lac Saint-Jean.

Station	Latitude	Longitude
FF001	48,72448	-72,34222
FF002	48,7078805	-72,3409428
FF003	48,7017715	-72,3430034
FF004	48,69617	-72,3466
FF005	48,69361	-72,35271
FF006	48,67778	-72,34246
FF007	48,6715014	-72,3390583
FF008	48,6627548	-72,3353774
FF009	48,6579	-72,33017
FF010	48,6505505	-72,3173476
FF011	48,6421334	-72,3128268
FF012	48,6331072	-72,3123813
FF013	48,62419	-72,31401
FF014	48,62037	-72,32347
FF015	48,63514	-72,33036
FF016	48,64008	-72,33908
FF017	48,63187	-72,34175
FF018	48,63224	-72,35147
FF019	48,60437	-72,33396
FF020	48,60105	-72,32714
FF021	48,59766	-72,31849
FF022	48,5966994	-72,303704
FF023	48,589	-72,29823
FF024	48,58529	-72,29139
FF025	48,57994	-72,27902
FF026	48,58286	-72,26892
FF027	48,58198	-72,25624
FF028	48,58236	-72,24934
FF029	48,58244	-72,23132
FF030	48,56904	-72,22894
FF031	48,56449	-72,22754
FF032	48,56014	-72,228
FF033	48,55666	-72,22264
FF034	48,55221	-72,22167
FF035	48,5335065	-72,217723
FF036	48,53328	-72,21875
FF037	48,53198	-72,22244

Station	Latitude	Longitude
FF038	48,5285311	-72,2223392
FF039	48,50548	-72,21855
FF040	48,50166	-72,21472
FF041	48,50294	-72,17147
FF042	48,49575	-72,21606
FF043	48,49063	-72,20967
FF044	48,47554	-72,19702
FF045	48,46894	-72,19258
FF046	48,4519	-72,17113
FF047	48,44853	-72,15171
FF048	48,45435	-72,13768
FF049	48,44877	-72,13427
FF050	48,44285	-72,12007
FF051	48,44415	-72,11043
FF052	48,45555	-72,10952
FF053	48,45525	-72,11182
FF054	48,45687	-72,1139
FF055	48,4584638	-72,1150163
FF056	48,46028	-72,11684
FF057	48,49263	-72,11176
FF058	48,47554	-72,10987
FF059	48,4722569	-72,1086273
FF060	48,46985	-72,10626
FF061	48,45274	-72,07465
FF062	48,44826	-72,07073
FF063	48,43156	-72,03592
FF064	48,42396	-72,01666
FF065	48,41971	-72,00547
FF066	48,41715	-71,99734
FF067	48,4181162	-71,9922134
FF068	48,42017	-71,98497
FF069	48,4240918	-71,9728408
FF070	48,42167	-71,96621
FF071	48,4263895	-71,9204432
FF072	48,4280539	-71,8850925
FF073	48,4355396	-71,8650614
FF074	48,4414354	-71,8563638
FF075	48,44876	-71,8467223
FF076	48,4557558	-71,8377057
FF077	48,4624147	-71,8289578

Station	Latitude	Longitude
FF078	48,46928	-71,82042
FF079	48,47834	-71,80834
FF080	48,48435	-71,80019
FF081	48,49274	-71,79161
FF082	48,50063	-71,78519
FF083	48,50397	-71,78189
FF084	48,51067	-71,77495
FF085	48,51612	-71,77698
FF086	48,52124	-71,77682
FF087	48,53008	-71,7888
FF088	48,539	-71,7882
FF089	48,54076	-71,78169
FF090	48,54637	-71,8014
FF091	48,54751	-71,80591
FF092	48,54816	-71,80912
FF093	48,55078	-71,78077
FF094	48,55548	-71,79034
FF095	48,56076	-71,77811
FF096	48,5624	-71,78457
FF097	48,56487	-71,77659
FF098	48,56566	-71,77483
FF099	48,57917	-71,77317
FF100	48,59313	-71,77268
FF101	48,59328	-71,7752
FF102	48,59857	-71,78672
FF103	48,60244	-71,78755
FF104	48,60132	-71,7793
FF105	48,59798	-71,77254
FF106	48,61226	-71,7755
FF107	48,61579	-71,77993
FF108	48,61399	-71,78387
FF109	48,62129	-71,78457
FF110	48,62459	-71,79297
FF111	48,62389	-71,79663
FF112	48,62837	-71,79944
FF113	48,6318479	-71,8019838
FF114	48,63681	-71,8039
FF115	48,639719	-71,8059416
FF116	48,64183	-71,8073
FF117	48,64834	-71,81294

Station	Latitude	Longitude
FF118	48,6475	-71,81875
FF119	48,6460826	-71,829167
FF120	48,65002	-71,83724
FF121	48,65025	-71,83893
FF122	48,65249	-71,84155
FF123	48,65519	-71,844
FF124	48,6595	-71,85103
FF125	48,66228	-71,85388
FF126	48,6646095	-71,8566567
FF127	48,6696086	-71,8607541
FF128	48,67213	-71,86429
FF129	48,67479	-71,86989
FF130	48,67711	-71,87604
FF131	48,67862	-71,88241
FF132	48,67951	-71,89073
FF133	48,6798846	-71,8969947
FF134	48,67553	-71,93832
FF135	48,67481	-71,97794
FF136	48,67718	-71,98489
FF137	48,68721	-72,00424
FF138	48,69584	-72,01791
FF139	48,70215	-72,02558
FF140	48,70517	-72,02961
FF141	48,70988	-72,03587
FF142	48,7236656	-72,0646975
FF143	48,729794	-72,0688684
FF144	48,73723	-72,06985
FF145	48,7337761	-72,0812169
FF146	48,7453	-72,09477
FF147	48,7483	-72,08247
FF148	48,7503779	-72,1113284
FF149	48,74848	-72,11702
FF150	48,7467911	-72,1259801
FF151	48,74626	-72,13858
FF152	48,74688	-72,14844
FF153	48,74605	-72,16248
FF154	48,74561	-72,17131
FF155	48,74414	-72,17992
FF156	48,7423672	-72,1907095
FF157	48,7410054	-72,2038441

Station	Latitude	Longitude
FF158	48,7358927	-72,2142921
FF159	48,7323785	-72,2258275
FF160	48,72778	-72,24219
FF161	48,718171	-72,289616
FF162	48,72365	-72,31174

Annexe 5 : Protocole de dénombrement par sous-échantillon, lorsque plus de 1000 jeunes poissons de l'année (0+) sont capturés dans un même coup de seine.

Sur le terrain,

1) Conserver temporairement les jeunes de l'année (0+) dans un bac rempli d'eau.
2) Mélanger doucement les 0+ pour créer un échantillon homogène. Pour que ce soit possible, les poissons doivent être de très petite taille et être facilement désorientées par le brassage**.**
3) Prendre rapidement un sous-échantillon d'environ 250 ml du mélange (tremper la tasse graduée directement dans le bac rempli de 0+). Noter le volume en prenant soin d'indiquer qu'il s'agit du volume du sous-échantillon.
4) Calculer le volume contenu dans le gros bac initial sans oublier d'ajouter le volume du sous-échantillon prélevé dans le décompte final. Noter ce volume en prenant soin d'indiquer qu'il s'agit du volume initial.
5) Conserver les larves du sous-échantillon dans l'éthanol 95 %.
6) Remettre les autres larves à l'eau.
7) Changer l'éthanol après 24 heures.

En laboratoire,

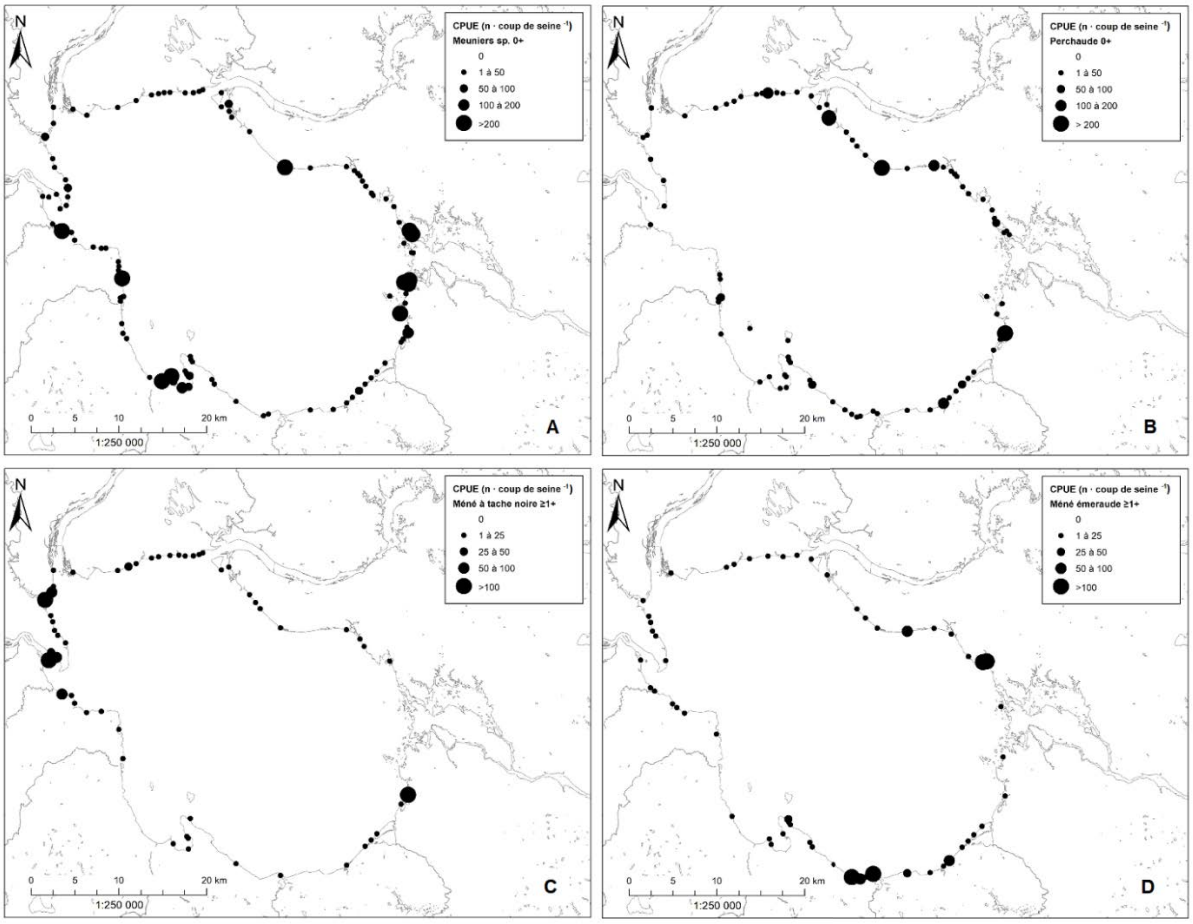
8) Compter et identifier les larves du sous-échantillon.
9) Faire un produit croisé pour obtenir le nombre initial de larves. S'il y avait plusieurs espèces dans le sous-échantillon, on assume qu'elles y étaient représentées dans les mêmes proportions que dans l'échantillon initial.

$$\frac{Nb\ larves\ sous\ échantillon \times Volume\ initial}{Volume\ sous\ échantillon} = Nb\ larves\ initial$$

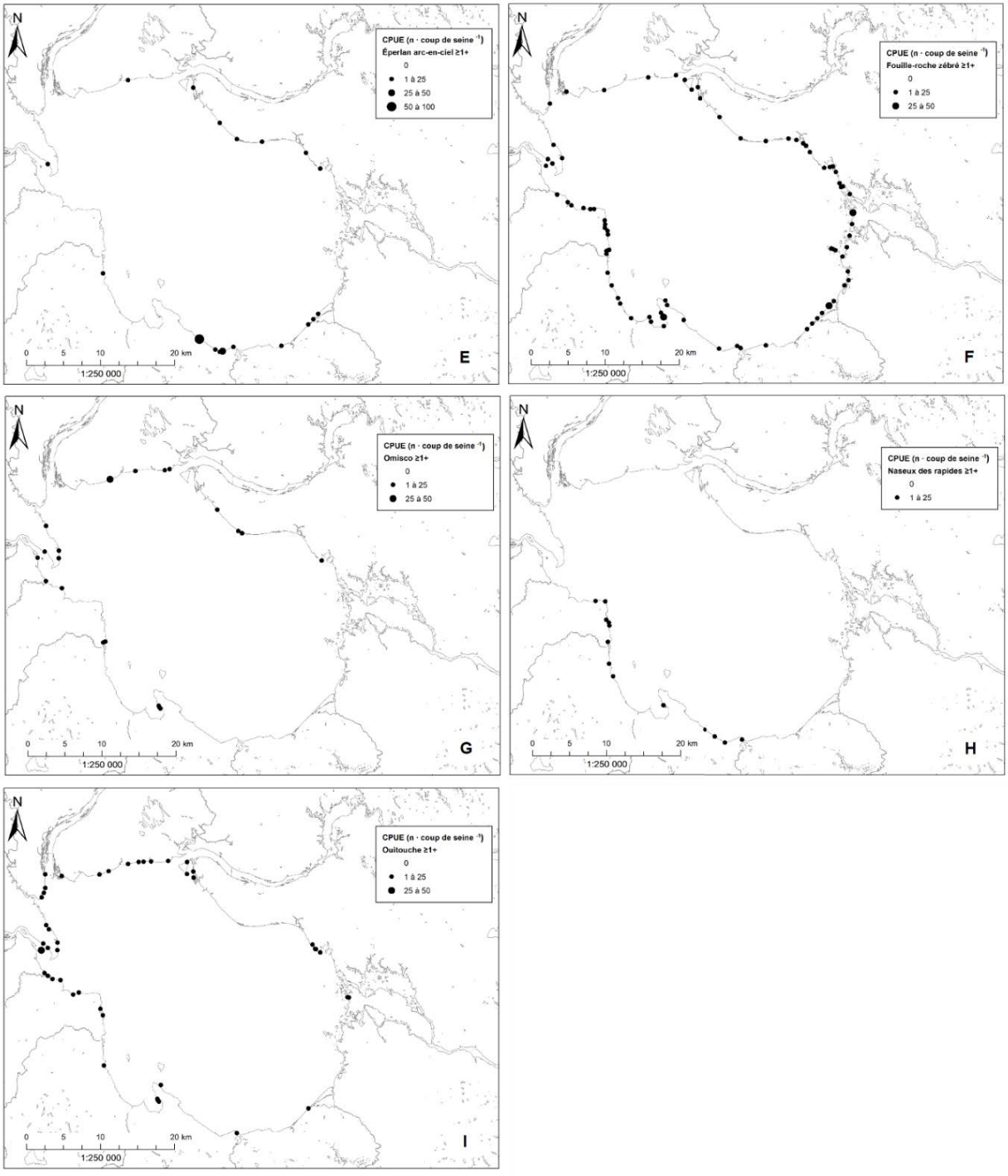
Annexe 6 : Liste des espèces indicatrices et de leur stade, telles qu'identifiées par Plourde-Lavoie et Sirois (2016c) d'après les données des échantillonnages des poissons fourrages littoraux du début des années 1990.

Abréviation	**Latin**	**Nom commun**	**Stades**	
			0+	**≥1+**
CASP	*Catostomus sp.*	Catostomidés	Oui	
PEFL	*Perca flavescens*	Perchaude	Oui	
NOAT	*Notropis atherinoides*	Méné émeraude		Oui
NOHU	*Notropis hudsonius*	Méné à tache noire		Oui
OSMO	*Osmerus mordax*	Éperlan arc-en-ciel		Oui
PECA	*Percina caprodes*	Fouille-roche zébré		Oui
PEOM	*Percopsis omiscomaycus*	Omisco		Oui
RHCA	*Rhinichthys cataractae*	Naseux des rapides		Oui
SECO	*Semotilus corporalis*	Ouitouche		Oui

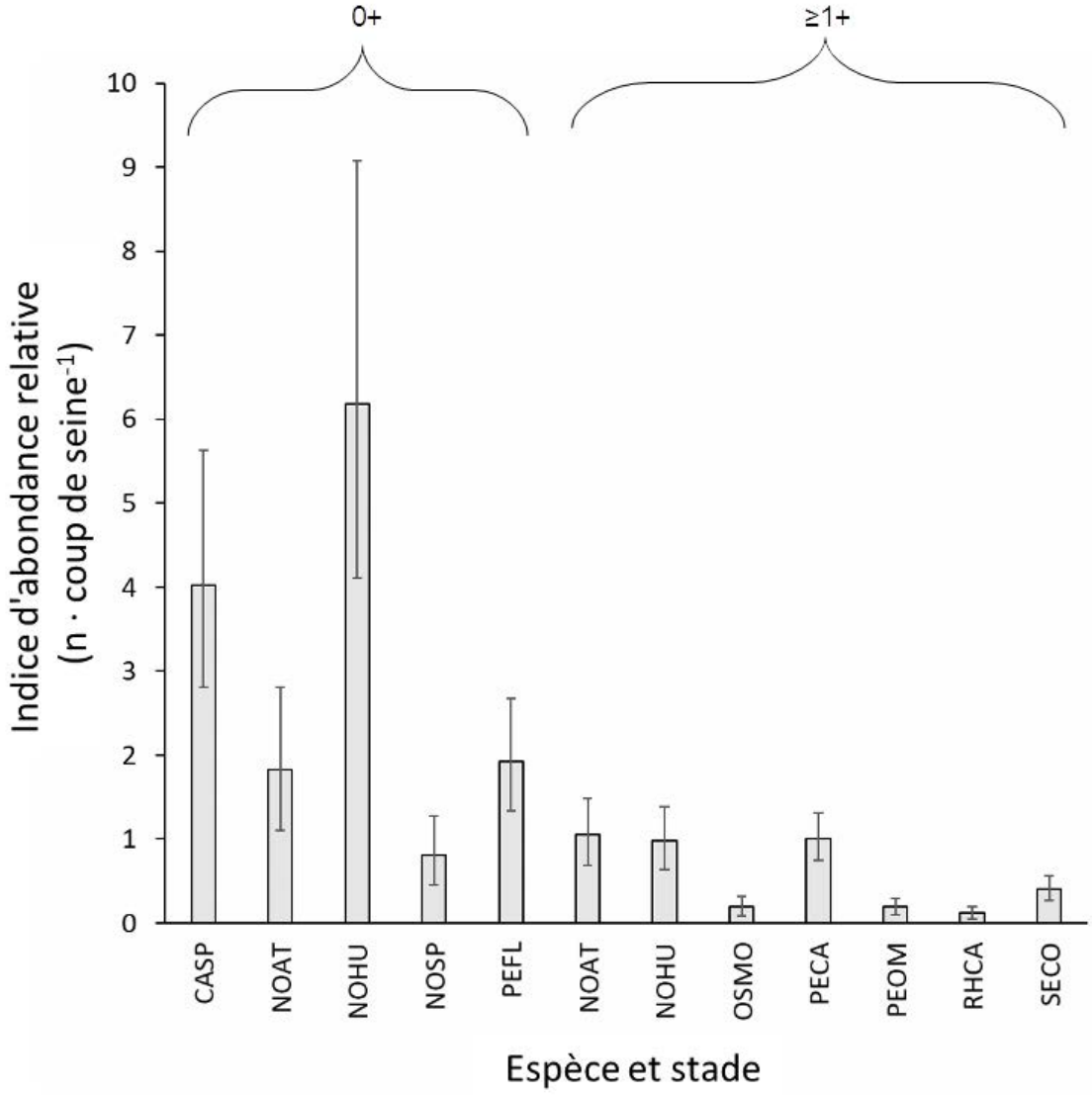
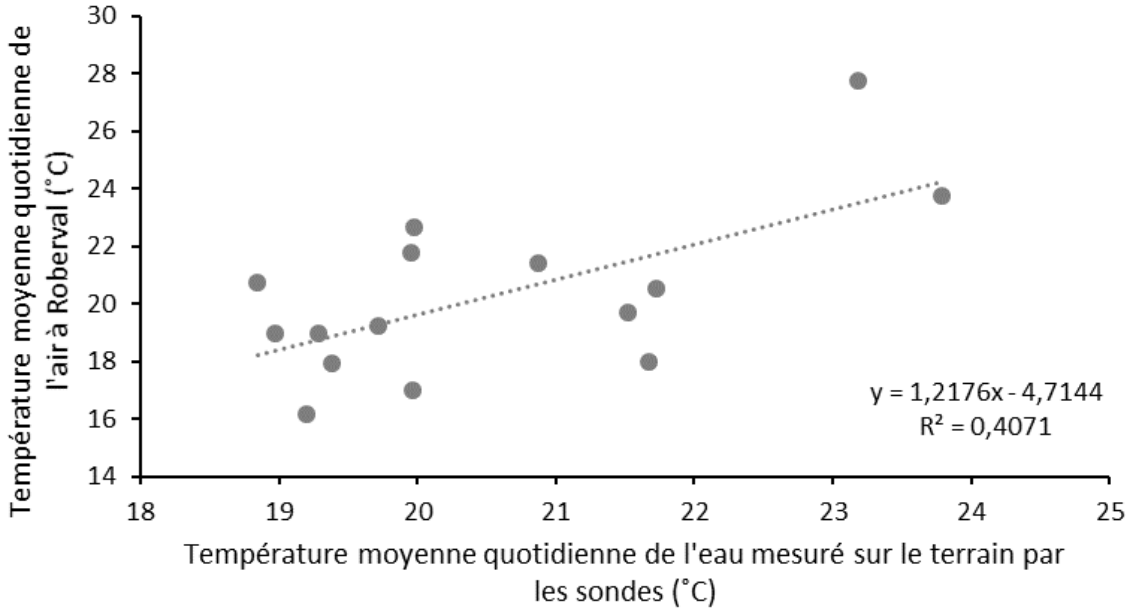
Annexe 7 : Abondance relative des espèces indicatrices de poissons fourrages littoraux capturées en juillet 2019 dans les stations d'échantillonnage au lac Saint-Jean. L'abondance relative correspond au nombre de poissons capturés dans un coup de seine standardisé pour (A) les catostomidés de l'année, (B) la perchaude de l'année, (C) le méné à tache noire d'un an et plus, (D) le méné émeraude d'un an et plus, (E) l'éperlan arc-en-ciel d'un an et plus, (F) le fouille-roche zébré d'un an et plus, (G) l'omisco d'un an et plus, (H) le naseux des rapides d'un an et plus et (I) la ouitouche d'un an et plus. Les stations sans poisson de l'espèce visée ne sont pas indiquées dans le but d'alléger les figures. Noter le changement de l'échelle de l'abondance entre les différents graphiques.



Annexe 7 (suite) :



Annexe 8 : Indice d'abondance relative des poissons fourrages littoraux (nombre de poissons par coup de seine ± intervalle de confiance à 95 %) par espèces et stades au lac Saint-Jean au cours du mois de juillet 2019. Ce graphique ajoute les indices d'abondance relative du méné émeraude (NOAT), du méné à tache noire (NOHU) et du complexe cyprins (NOSP) de l'année avec à ceux des espèces indicatrices. Le complexe cyprins est un ensemble de poissons de l'année pouvant inclure le mulet de lac, le méné à nageoires rouges, le méné jaune, le méné émeraude et le méné à tache noire.



Annexe 9 : Relation entre la température moyenne quotidienne de l'eau des stations littorales mesurée entre 5 :00 et 13 :00 en juillet 2019 au lac Saint-Jean et celle de l'air, pour la même période, mesurée à l'aéroport de Roberval (Archives météorologiques d'Environnement Canada).