

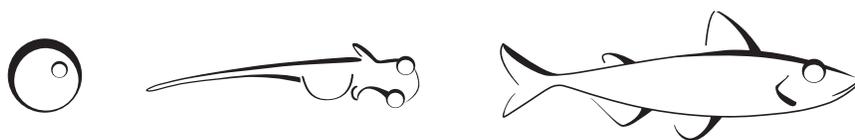
2020

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Utilisation par l'éperlan arc-en-ciel des îlots rocheux aménagés pour la fraie au lac Saint-Jean, troisième saison de reproduction

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

Pour la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP)



UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Référence à citer :

Lévesque S. et Sirois P. (2020). Utilisation par l'éperlan arc-en-ciel des îlots rocheux aménagés pour la fraie au lac Saint-Jean, troisième saison de reproduction. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, produit pour la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP). Université du Québec à Chicoutimi.

Rapport de recherche

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Université du Québec à Chicoutimi

**Utilisation par l'éperlan arc-en-ciel des îlots rocheux aménagés pour la
fraie au lac Saint-Jean, troisième saison de reproduction**

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

Pour la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP)

En partenariat avec :



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

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP), Hydro-Québec, les MRC du Domaine-du-Roy, de Lac-Saint-Jean-Est et de Maria-Chapdelaine, Produits forestiers Résolu et Rio Tinto pour leur contribution financière au suivi des îlots rocheux aménagés pour l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean.

Les ressources de la CLAP, du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) et de la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées (CREAE) de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) ont été sollicitées aux différentes étapes du travail. Nous remercions tous ceux qui ont participé à l'une ou l'autre de ces étapes. Pour la CLAP, Marc Archer, Fabien Gagné-Gaudreault et Mikael Tapp. Pour la Chaire, Anne-Lise Fortin, ainsi que les techniciennes stagiaires Émilie Guérin et Ariel Jacques.

Enfin, Sonya Lévesque remercie la CREAE de lui donner accès à un environnement de travail stimulant et à des ressources humaines et techniques précieuses.

RÉSUMÉ

Une étroite relation lie réciproquement l'abondance de la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean à celle de sa proie préférentielle, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*). Conséquemment, la gestion de la ouananiche dans ce plan d'eau est directement reliée à celle de l'éperlan. Vingt-cinq (25) îlots rocheux y ont été aménagés durant l'hiver 2017 afin de favoriser la production naturelle de l'éperlan et de contribuer à sa productivité pour la ouananiche. Ces frayères artificielles ont été réparties sur le vaste haut-fond de sable au large de l'embouchure de la rivière Mistassini, qui correspond au principal habitat de fraie de l'espèce au lac Saint-Jean. Les frayères ont fait l'objet d'un second suivi au printemps 2019, le premier ayant eu lieu en 2017. Les objectifs du suivi étaient (1) de valider l'utilisation des îlots rocheux par les éperlans reproducteurs et (2) d'estimer leur contribution à partir de la production larvaire observée dans le secteur aménagé. Cent quarante-quatre (144) œufs d'éperlan, répartis sur 18 des 25 frayères aménagées, ont été récoltés du 15 mai au 10 juin 2019. Ces œufs confirment l'utilisation des îlots de fraie par l'éperlan. La distribution de l'abondance des larves capturées du 5 au 21 juin 2019 montre que le foyer de production se trouvait au centre du secteur aménagé. L'abondance des larves de stade A a atteint des valeurs records en 2017 et 2019 comparativement aux valeurs pré-aménagements (2013, 2014 et 2016), malgré un stock de reproducteurs stable et des débits très élevés de la rivière Péribonka (deux facteurs ayant un impact sur le recrutement de l'éperlan du lac Saint-Jean). Ce constat tend à confirmer que les frayères aménagées contribuent à améliorer les conditions naturelles de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES ANNEXES.....	vii
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
SECTEUR DE L'ÉTUDE.....	3
TEMPÉRATURE DE L'EAU.....	3
ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES ŒUFS.....	3
ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES LARVES	6
INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX	6
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	7
IDENTIFICATION ET DÉNOMBREMENT DES ŒUFS ET DES LARVES.....	7
RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES ŒUFS D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL	8
PORTRAIT DE L'UTILISATION DES FRAYÈRES	12
RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES LARVES D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL.....	15
PORTRAIT DE L'ABONDANCE DES LARVES D'ÉPERLAN DEPUIS L'AMÉNAGEMENT DE FRAYÈRES.....	19
Facteurs influençant le recrutement larvaire de l'éperlan au lac Saint-Jean.....	20
Patrons de dérive larvaire.....	23
INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX	25
CONCLUSION	26
RÉFÉRENCES.....	27
ANNEXES	29

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Grille de suivi des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean au printemps 2019. Les stations d'échantillonnage des œufs, à l'aide de capteurs, sont identifiées par des points noirs si associés à un aménagement ou une croix lorsque sur un site non-aménagé. Les larves ont été échantillonnées par un trait de filet à l'intérieur des unités d'échantillonnage délimitées par les carrés. L'étoile correspond à l'emplacement du thermographe..... 4
- Figure 2 : Répartition spatiale de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹) sur les 25 frayères aménagées (à l'intérieur du périmètre pointillé) et les 3 sites non-aménagés (hors du périmètre pointillé) au lac Saint-Jean. Les cercles vides correspondent aux stations sans œuf, alors que les cercles rouges indiquent la présence d'œufs. La taille du cercle est fonction du nombre d'œufs capturés par unité d'effort pour chaque station (CPUE, quantité d'œufs récoltés par jour de déploiement) durant la période d'échantillonnage. L'effort de pêche (la durée de déploiement des capteurs) était relativement uniforme entre les stations..... 9
- Figure 3 : Évolution temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹ · capteur⁻¹) au printemps 2019 sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non-aménagés au lac Saint-Jean (barres grises). La température de l'eau pendant le déploiement des capteurs a varié de 5 à 14 °C (cercles blancs reliés par un trait noir). 10
- Figure 4 : Répartition spatiale de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹) sur les 25 frayères et les 3 stations non-aménagées au lac Saint-Jean au cours des fraies des printemps 2017 (blanc) et 2019 (noir). La taille du cercle est proportionnelle à l'abondance cumulée des œufs pour ces deux années. Les frayères sur lesquelles aucun œuf n'a été capturé sont indiquées par un cercle barré. 14
- Figure 5 : Abondance quotidienne des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) par stade au lac Saint-Jean du 5 au 21 juin 2019. Le trait discontinu noir correspond à l'abondance des larves de stade A, le trait discontinu gris à celle des larves de stades B, le trait plein gris à celle des larves de stade C et plus, et le trait pointillé gris à l'abondance des larves dont le stade n'a pu être déterminé. Les zones grises indiquent un effort d'échantillonnage réduit ou annulé en raison de mauvaises conditions climatiques les 5, 7, 9, 11, 14 et 15 juin (le nombre de stations échantillonnées est indiqué). 16
- Figure 6 : Distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) en 2019 au lac Saint-Jean selon leur stade de développement durant l'ensemble de la période d'échantillonnage des larves : (A) les larves de stade A âgées de moins de 2 jours, (B) les stades B d'environ 2 jours et (C) les stades plus âgés (C et plus). L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve. Les stations avec des œufs (ronds rouges dont la taille varie selon le nombre de captures par unité d'effort), le secteur aménagé délimité par le polygone pointillé et les unités d'échantillonnage des larves (carrés en ligne continue) ont été ajoutés comme repères. 18
- Figure 7 : Abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean au printemps ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) en fonction de l'abondance des éperlans d'un an et plus au mois d'août précédent ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$), représentant le potentiel reproducteur du printemps suivant. Les points gris représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (2013, 2014 et 2016), alors que les points noirs représentent les valeurs après leur aménagement (2017 et 2019). 21

- Figure 8 : Abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean au printemps ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) en fonction du débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). La ligne verticale pointillée indique le seuil de $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à partir duquel le recrutement de l'éperlan est négativement influencé. Les données de débit sont issues de valeurs mesurées pour 2013 à 2016, alors qu'elles sont estimées d'après la relation avec le débit de la rivière Ashuapmushuan pour 2017 et 2019. Les points gris représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (2013, 2014 et 2016), alors que les points noirs représentent les valeurs après leur aménagement (2017 et 2019). 22
- Figure 9 : Dérive conceptuelle des larves d'éperlan arc-en-ciel (tous les stades) au lac Saint-Jean par rapport au secteur des îlots rocheux représenté par le polygone pointillé. Les trois patrons de dérive sont : une dérive marquée du nord vers le sud, une dérive hors de la rivière Ashuapmushuan et une dérive de l'ouest vers l'est. 24
- Figure 10 : Photographies démontrant l'état des frayères à leur troisième été depuis la construction. Il n'y a pas d'accumulation de sédiments visible sur les frayères (A; frayère 1). Cependant de la matière organique fine s'accumule sur le côté de certains îlot (B; frayère 16). 25

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Effort d'échantillonnage du suivi des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean au printemps 2019. Dans les conditions idéales, l'objectif quotidien était de relever et déployer les 28 capteurs pendant l'échantillonnage des œufs (du 15 mai au 10 juin 2019) et d'effectuer un trait de filet dans les 15 secteurs d'échantillonnage des larves (du 5 au 21 juin 2019). 5
- Tableau 2 : Identification et dénombrement des œufs et des larves de poisson capturés au lac Saint-Jean du 15 mai au 21 juin 2019. Les œufs et les larves ont été identifiés à l'espèce. Lorsqu'il était impossible d'atteindre cette précision, des groupes au genre ont été créés. Le stade de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel a été déterminé d'après Cooper (1978). 7
- Tableau 3 : Distribution temporelle de la récolte des œufs au cours du printemps 2019 au lac Saint-Jean sur l'ensemble des stations échantillonnées (25 sites aménagés et 3 non-aménagés). Le nombre d'œufs sur les sites non-aménagés est indiqué entre parenthèses Au total, 144 œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés dans 21 stations différentes au cours d'une période de fraie de 22 jours. 11
- Tableau 4 : Comparaison de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel récoltés avant et après l'aménagement des îlots rocheux dans le lac Saint-Jean, ainsi que dans deux secteurs des hauts-fonds de Beaumont, la portion fluviale de l'habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent. 12
- Tableau 5 : Comparaison de la fréquentation par les éperlans arc-en-ciel, en 2017 et 2019, des 25 frayères aménagées. Pour chaque année, le nombre indiqué correspond à la somme des aménagements sur lesquels aucun œuf d'éperlan n'a été capturé, sur lesquels des œufs ont été capturés une seule fois, deux fois, trois fois et quatre fois. 13
- Tableau 6 : Comparaison interannuelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean. Le nombre de stations retenues et le nombre de traits de filet correspondants sont indiqués. Trois mesures complémentaires de l'abondance des larves d'éperlan sont présentées : l'abondance des stades A seulement (< 2 jours), l'abondance de tous les stades confondus et la proportion d'éperlan dans les captures totales. 19

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Coordonnées des sites de déploiement des capteurs à œufs.....	30
Annexe 2 : Coordonnées du centre des unités d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel.....	31
Annexe 3 : Débit de la rivière Mistassini au printemps, entre le 1 ^{er} mai et le 30 juin. Les courbes lisses en dégradés de gris représentent les débits minimums (gris pâle), médians (noir) et maximums (gris foncé) des données historiques de 2000 à 2019, selon le Centre d'expertise hydrique du Québec. Les courbes de 2017 et 2019 sont représentées par les courbes de couleur avec les points (respectivement bleue et orange). La période de la fraie de l'éperlan arc-en-ciel est indiquée pour chacune de ces années.	32
Annexe 4a : Tableau résumant l'état des connaissances sur les courants de surface du lac Saint-Jean en fonction des vents dominants. Les études de Leclerc (1985) et de Nutz <i>et al.</i> (2015) sont le fruit de modélisation de la circulation des masses d'eau, alors que l'étude de Lévesque et Sirois (2013) rapporte les courants moyens observés <i>in situ</i>	33
Annexe 4b : Tableau résumant l'état des connaissances sur les courants en profondeur du lac Saint-Jean en fonction des vents dominants. Les études de Leclerc (1985) et de Nutz <i>et al.</i> (2015) sont le fruit de modélisation de la circulation des masses d'eau, alors que l'étude de Lévesque et Sirois (2013) rapporte les courants moyens observés <i>in situ</i>	34
Annexe 5a : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 8 au 21 juin 2019 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves : les fortes abondances sont représentées en bleu foncé, alors que les faibles abondances sont en bleu clair. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve.....	35
Annexe 5b : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade B ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 8 au 21 juin 2019 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves : les fortes abondances sont représentées en bleu foncé, alors que les faibles abondances sont en bleu clair. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve.....	36
Annexe 5c : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade $\geq C$ ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 8 au 21 juin 2019 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves : les fortes abondances sont représentées en bleu foncé, alors que les faibles abondances sont en bleu clair. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve.....	37

INTRODUCTION

La pêche sportive au lac Saint-Jean est une activité d'importance patrimoniale, touristique et économique. Deux principales espèces de poisson sont ciblées par cette activité : la ouananiche (*Salmo salar*) et le doré jaune (*Sander vitreus*). L'abondance des stocks de ouananiche du lac Saint-Jean repose sur la disponibilité de sa proie préférentielle, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*; Fortin *et al.* 2009; Lévesque *et al.* 2018). Par conséquent, la gestion des stocks de ouananiche est directement reliée à l'abondance de l'éperlan. Cette approche novatrice a été développée sur mesure pour le lac Saint-Jean, à partir des recherches scientifiques menées sur le terrain depuis plusieurs années. À moyen terme, cette gestion écosystémique vise à assurer la qualité et la quantité des ouananiches disponibles pour la pêche en fonction de la capacité de support du lac. Un des objectifs visés par cette approche consiste à augmenter la production naturelle de l'éperlan par l'aménagement de frayères artificielles, afin de favoriser la disponibilité de ce poisson fourrage. Les recherches ont démontré que l'éperlan, contrairement à son prédateur, n'est pas limité par la disponibilité de sa nourriture en lac (Sirois *et al.* 2011). Sa faible productivité serait plutôt attribuable à la nature sablonneuse des frayères existantes, le sable n'offrant pas de bonnes conditions de survie aux œufs pondus (Lévesque 2012; Lévesque et Sirois 2015).

L'éperlan du lac Saint-Jean fraie principalement sur le haut-fond sablonneux du nord-ouest du lac (Lévesque et Sirois 2013; 2015; 2017). L'amélioration des habitats de fraie de l'éperlan par l'aménagement d'îlots rocheux dans ce secteur a été retenue comme une mesure réaliste qui pourrait favoriser la fraie naturelle, en augmentant la survie des œufs qui y sont déposés. Vingt-cinq (25) frayères ont été aménagées durant l'hiver 2017 sur le haut-fond au large de l'embouchure de la rivière Mistassini. Ces îlots rocheux sont situés à proximité des sites de fraie normalement fréquentés par les reproducteurs. Les larves qui y sont produites suivent les patrons habituels de dérive, ce qui leur permet d'atteindre les aires d'alevinage usuelles (Jones *et al.* 2003; Dumont *et al.* 2011).

Les frayères aménagées ont été réparties sur une superficie de 8 km² de manière à couvrir le secteur utilisé par l'éperlan lors de la fraie, à maximiser leur chance de détection par les reproducteurs et pour tenir compte des variations de niveau du lac en période de fraie. La description des îlots a été faite dans le rapport du premier suivi (Lévesque et Sirois 2017).

Les objectifs du suivi des aménagements sont (1) de valider l'utilisation des îlots rocheux par les éperlans reproducteurs et (2) d'estimer leur contribution à partir de la production larvaire observée dans le secteur aménagé. Il s'agit de la troisième année de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean à la suite de l'implantation des îlots rocheux.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le suivi du printemps 2019 a repris le secteur à l'étude employé pour le suivi de 2017, ainsi que les mêmes méthodes d'échantillonnage et de traitement des données (Lévesque et Sirois 2017). Seules les modifications à ce protocole, ou encore les paramètres d'échantillonnage propres au suivi 2019, sont détaillés dans cette section.

SECTEUR DE L'ÉTUDE

Les sites de déploiement des capteurs à œufs ainsi que la grille d'échantillonnage utilisés en 2019 sont quasiment identiques à ceux de 2017, si ce n'est du léger déplacement de quelques sites de déploiement de capteurs à œufs, de même que l'ajout d'un secteur d'échantillonnage des larves plus au large (figure 1; coordonnées aux annexes 1 et 2).

TEMPÉRATURE DE L'EAU

Le thermographe (Starmon TD, Star-Oddi) a été déployé du 19 mai au 21 juin 2019, à environ 1,3 m de profondeur, à proximité des frayères des plus faibles élévations (figure 1; 48,67802° N; 72,28578° O).

ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES ŒUFS

Les capteurs à œufs ont été déployés pour un minimum d'une journée avant d'être relevés, inspectés et remis en place. Ils ont été employés pendant les 26 jours de la période attendue de la fraie de l'éperlan, c'est-à-dire lorsque l'eau du lac est entre 6 et 10 °C (Lévesque 2012). Au cours de cette période, il y a eu 374 vérifications de capteurs sur les 28 stations (une par îlot et trois sur des sites non-aménagés), pour une moyenne de 13 stations relevées par jour (tableau 1). Les œufs d'éperlan ont été identifiés sur la base de leur petite taille (0,9 à 1,3 mm de diamètre) et la présence d'un pédoncule adhésif, d'après Cooper (1978).

Les capteurs à œufs n'ont pas toujours été vérifiés quotidiennement, principalement à cause de conditions difficiles rencontrées en cours d'échantillonnage (vents et vagues). Pour pallier à ces pauses aléatoires de la prise de données, l'évolution temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non-aménagés a été présentée dans une figure ressemblant à un histogramme à fréquence irrégulière : les barres indiquent le nombre d'œufs capturés par unité d'effort par périodes pour lesquelles un portrait de toutes les stations était complet (figure 3).

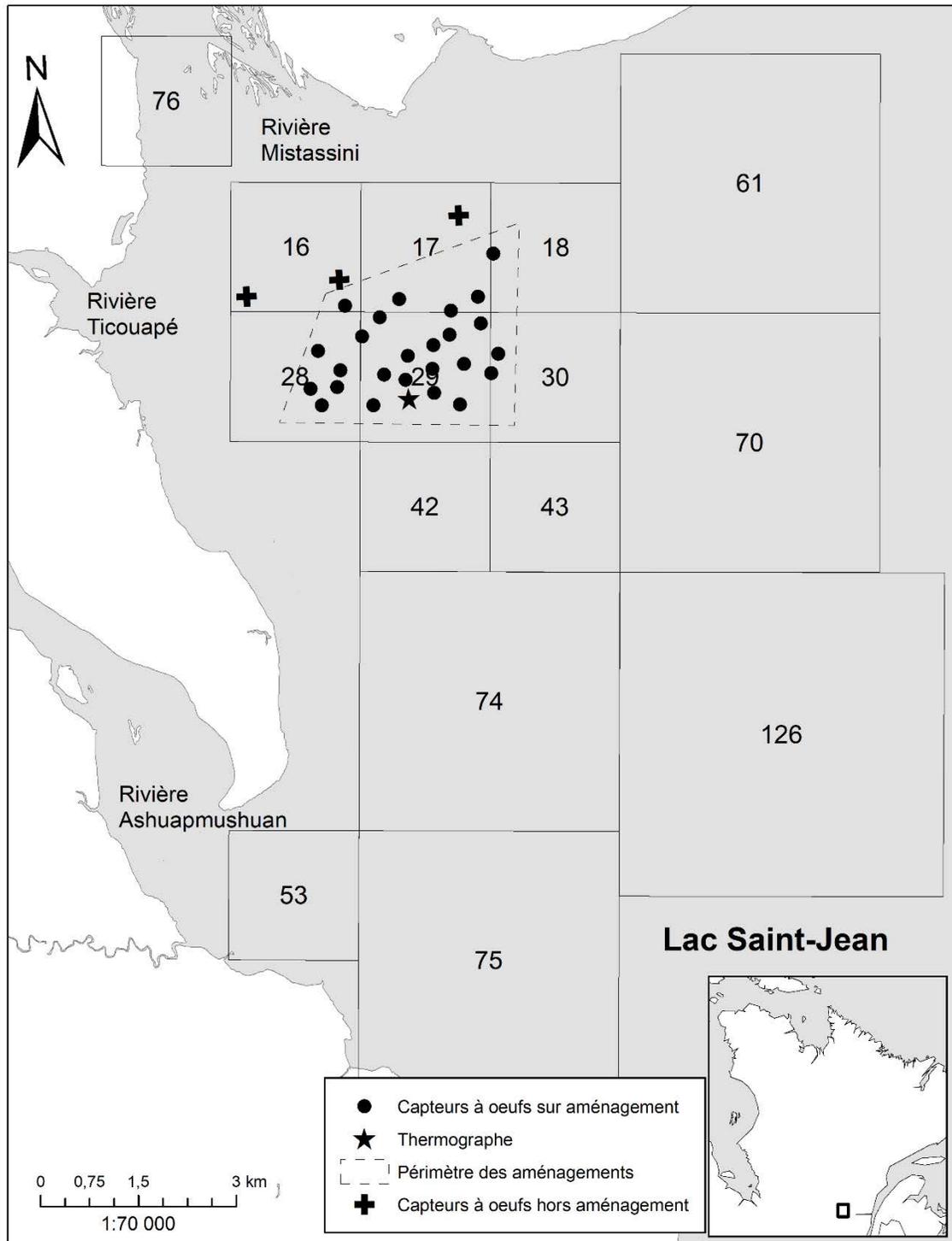


Figure 1 : Grille de suivi des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean au printemps 2019. Les stations d'échantillonnage des oeufs, à l'aide de capteurs, sont identifiées par des points noirs si associés à un aménagement ou une croix lorsque sur un site non-aménagé. Les larves ont été échantillonnées par un trait de filet à l'intérieur des unités d'échantillonnage délimitées par les carrés. L'étoile correspond à l'emplacement du thermographe.

Tableau 1 : Effort d'échantillonnage du suivi des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean au printemps 2019. Dans les conditions idéales, l'objectif quotidien était de relever et déployer les 28 capteurs pendant l'échantillonnage des œufs (du 15 mai au 10 juin 2019) et d'effectuer un trait de filet dans les 15 secteurs d'échantillonnage des larves (du 5 au 21 juin 2019).

Date	Capteurs à œufs		Push-net Traits
	Relève	Pose	
15 mai 2019		26	
16 mai 2019	0	0	
17 mai 2019	10	12	
18 mai 2019	28	28	
19 mai 2019	27	27	
20 mai 2019	0	0	
21 mai 2019	0	0	
22 mai 2019	28	28	
23 mai 2019	14	14	
24 mai 2019	28	28	
25 mai 2019	28	28	
26 mai 2019	0	0	
27 mai 2019	0	0	
28 mai 2019	28	28	
29 mai 2019	3	3	
30 mai 2019	28	28	
31 mai 2019	0	0	
1 juin 2019	27	27	
2 juin 2019	7	7	
3 juin 2019	14	14	
4 juin 2019	0	0	
5 juin 2019	28	28	1
6 juin 2019	20	20	
7 juin 2019	0	0	
8 juin 2019	28	28	4
9 juin 2019	4	0	
10 juin 2019	24		
11 juin 2019			3
12 juin 2019			13
13 juin 2019			10
14 juin 2019			6
15 juin 2019			0
16 juin 2019			9
17 juin 2019			14
18 juin 2019			15
19 juin 2019			14
20 juin 2019			14
21 juin 2019			5
37 jours d'échantillonnage	374 relèves	374 poses	108 traits

ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES LARVES

L'échantillonnage des larves a débuté le 5 juin 2019, en parallèle avec l'échantillonnage des œufs, et il s'est terminé le 21 juin. Au total, 108 traits de filet (push-net) ont été effectués au cours des 17 jours d'échantillonnage (tableau 1). La très grande superficie et la faible profondeur du lac Saint-Jean rendent l'échantillonnage périlleux et moins efficace dès que les vents dépassent $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Dans ces conditions, le nombre de stations visitées est réduit ou l'échantillonnage est annulé selon la direction des vents et l'amplitude des vagues. Les larves de poisson ont été identifiées à l'aide d'Auer (1982) et un stade a été attribué aux larves d'éperlan d'après Cooper (1978). Les larves d'éperlan de stade A sortent tout juste de l'œuf et, dans le sac vitellin, le vitellus occupe plus d'espace que la gouttelette lipidique; les larves de stade B ont un vitellus qui occupe un espace similaire à la gouttelette lipidique dans le sac vitellin; enfin les larves de stade C ont un vitellus en voie d'être résorbé ou encore n'ont plus de sac vitellin apparent. Les larves de stade A sont âgées de moins de 2 jours, les stades B d'environ 2 jours et les stades C et plus de 3 jours et plus (Gagnon 2005).

INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX

Une inspection visuelle des îlots rocheux aménagés a eu lieu le 24 juillet 2019 (niveau du lac à 101,13 m) afin de constater l'état de la sédimentation sur des frayères après deux ans. Une sélection de 6 frayères aménagées sur les 25 existantes a été retenue pour l'inspection (les frayères 6, 7, 9, 11, 16 et 25). Les frayères choisies sont représentatives de leur dispersion spatiale et du gradient de profondeur du secteur aménagé. Les images ont été prises à l'aide d'une caméra submersible (GoPro Black 7) jumelée à une lumière d'appoint submersible à DEL (Andoer) et fixés sur une longue tige de métal.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

IDENTIFICATION ET DÉNOMBREMENT DES ŒUFS ET DES LARVES

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée du 15 mai au 21 juin 2019. Elle a été divisée en deux phases : l'échantillonnage des œufs et celui des larves. Au total, 314 œufs ont été récoltés en 374 déploiements de capteurs du 15 mai au 10 juin (tableaux 1 et 2). La moitié d'entre eux sont des œufs d'éperlan arc-en-ciel (144). L'autre moitié (169) sont des œufs de grande taille en comparaison (2,4 mm de diamètre en moyenne), qui appartiendrait à la même espèce et qui n'ont pas pu être identifiés. Enfin, un œuf d'omisco (*Percopsis omiscomaycus*) a été récolté dans les derniers jours d'échantillonnage (la larve a été identifiée après l'éclosion de l'œuf incubé).

Tableau 2 : Identification et dénombrement des œufs et des larves de poisson capturés au lac Saint-Jean du 15 mai au 21 juin 2019. Les œufs et les larves ont été identifiés à l'espèce. Lorsqu'il était impossible d'atteindre cette précision, des groupes au genre ont été créés. Le stade de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel a été déterminé d'après Cooper (1978).

Nombre d'œufs capturés		314
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	144
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>	1
Autre espèce		169
Nombre de larves capturées		1387
Éperlan arc-en-ciel		1287
Stade A		599
Stade B		209
Stade \geq C		229
Non-stadées (mauvais état)		250
Autres espèces		100
Grand Corégone et/ou Cisco de lac	<i>Coregonus sp.</i>	55
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	27
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	13
Meunier noir et/ou meunier rouge	<i>Catostomus sp.</i>	1
Omisco		1
Indéterminée (mauvais état)		3

Les 108 traits de filet effectués du 5 au 21 juin 2019 ont permis de récolter 1 387 larves de poisson, dont 93 % étaient des éperlans (tableau 2). Les autres espèces présentes dans l'échantillonnage sont les corégonidés (grand corégone et/ou cisco de lac), la perchaude, le doré jaune, les catostomidés (meunier noir et/ou meunier rouge) et l'omisco, avec respectivement 55, 27, 13, 1 et 1 larves. Trois (3) larves étaient en trop mauvais état pour être identifiées.

RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES ŒUFS D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL

Des œufs d'éperlan ont été récoltés sur 18 des 25 frayères aménagées, dont plus de la moitié d'entre elles ont été utilisées à plus d'une reprise, ce qui confirme l'utilisation des frayères par les reproducteurs (figure 2). Les éperlans ne se limitent cependant pas qu'aux frayères aménagées, puisque 17 œufs ont été récoltés sur les trois sites non-aménagés (tableau 3).

Les frayères 10, 19 et 22 présentent le plus de captures par unité d'effort (CPUE), avec respectivement 1,2, 0,5 et 0,8 œuf d'éperlan par jour de pêche (figure 2). Des œufs ont été capturés dans toute l'étendue des profondeurs échantillonnées, du site le moins profond (Extra 2; élévation 99,8 m) au site le plus profond (24; élévation 98,3 m).

Le printemps 2019 a été globalement froid, entraînant un réchauffement de l'eau plus lent qu'à l'habitude. Par conséquent, la période de fraie de l'éperlan s'est étendue sur près d'un mois, du 18 mai au 10 juin (figure 3; tableau 3), alors que la température de l'eau est passée de 5 à 14 °C. Le pic de la fraie est survenu entre le 26 mai et le 1^{er} juin, alors que la température de l'eau se situait entre 7 et 8 °C, une fenêtre de température correspondant aux habitudes de fraie de l'éperlan au lac Saint-Jean (Lévesque 2012).

Enfin, une proportion importante des œufs capturés sur les aménagements appartenait à une (ou plusieurs) espèce(s) autre(s) que l'éperlan (tableau 3). Il s'agit de gros œufs de 2,4 mm de diamètre en moyenne dont le pic de la fraie, du 18 au 24 mai, précédait celui de l'éperlan (température de l'eau entre 5 et 6 °C). Un œuf d'omisco (*Percopsis omiscomaycus*) a aussi été capturé le 5 juin sur un site non-aménagé (Extra 2). La température de l'eau était de 9 °C.

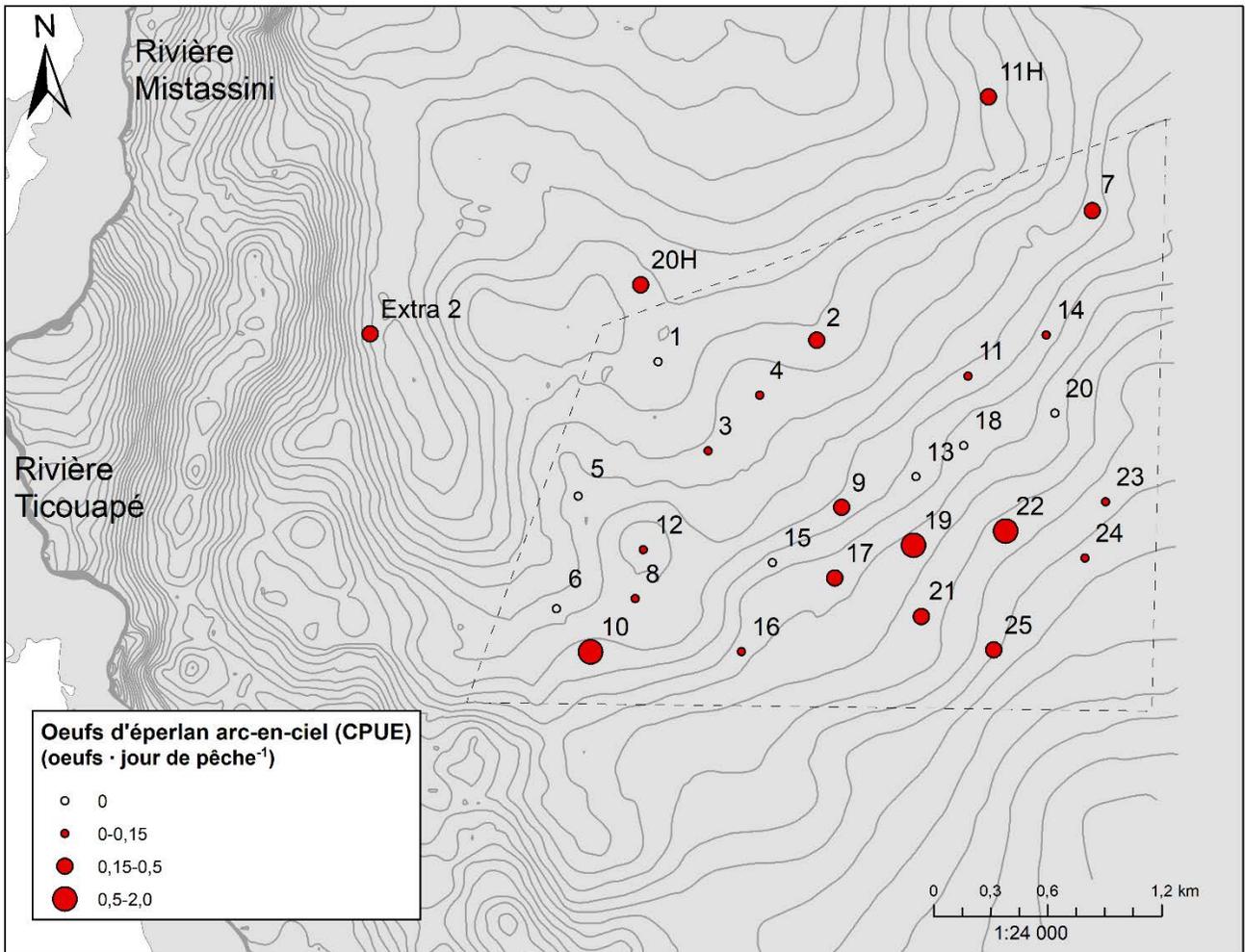


Figure 2 : Répartition spatiale de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹) sur les 25 frayères aménagées (à l'intérieur du périmètre pointillé) et les 3 sites non-aménagés (hors du périmètre pointillé) au lac Saint-Jean. Les cercles vides correspondent aux stations sans œuf, alors que les cercles rouges indiquent la présence d'œufs. La taille du cercle est fonction du nombre d'œufs capturés par unité d'effort pour chaque station (CPUE, quantité d'œufs récoltés par jour de déploiement) durant la période d'échantillonnage. L'effort de pêche (la durée de déploiement des capteurs) était relativement uniforme entre les stations.

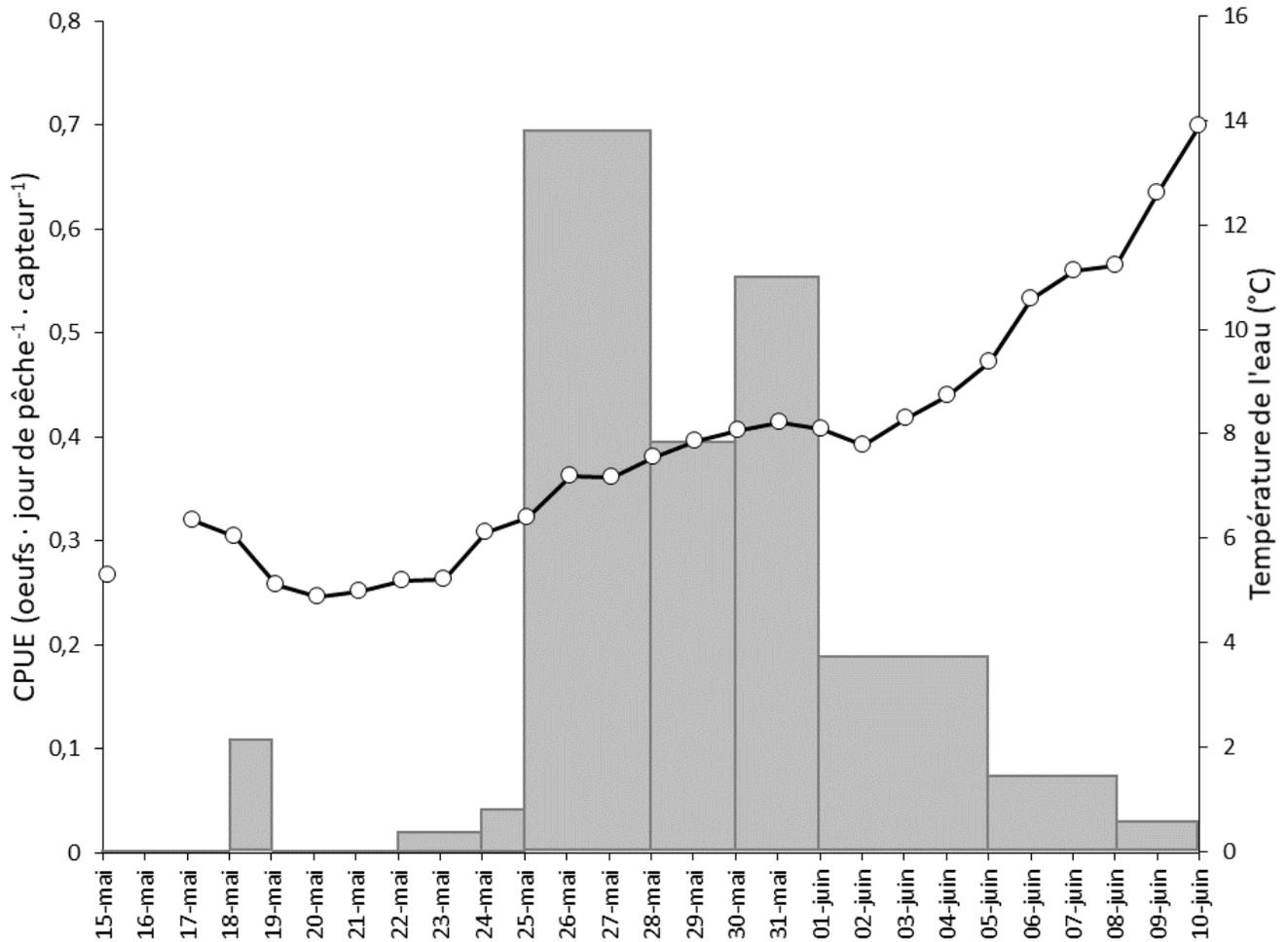


Figure 3 : Évolution temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹ · capteur⁻¹) au printemps 2019 sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non-aménagés au lac Saint-Jean (barres grises). La température de l'eau pendant le déploiement des capteurs a varié de 5 à 14 °C (cercles blancs reliés par un trait noir).

Tableau 3 : Distribution temporelle de la récolte des œufs au cours du printemps 2019 au lac Saint-Jean sur l'ensemble des stations échantillonnées (25 sites aménagés et 3 non-aménagés). Le nombre d'œufs sur les sites non-aménagés est indiqué entre parenthèses. Au total, 144 œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés dans 21 stations différentes au cours d'une période de fraie de 22 jours.

Date de relève	Nombre d'œufs		Nombre de stations		Effort de pêche (jour · capteur)	Température de l'eau (°C)	Remarque
	Éperlan arc-en-ciel	Autres	Relevées	Avec œufs d'éperlan			
17 mai	0	0	10	0	20	6,3	Pose le 15 mai
18 mai	0	0	28	0	60	6,0	
19 mai	3(2)	41	27	2	27	5,1	
20 mai			0			4,9	Vents forts
21 mai			0			5,0	Vents forts
22 mai	0	3	28	0	85	5,2	
23 mai	0	2	14	0	14	5,2	
24 mai	1	104	28	1	42	6,1	
25 mai	1(1)	0	28	1	28	6,4	
26 mai			0			7,2	Vents forts
27 mai			0			7,2	Vents forts
28 mai	58(1)	3	28	8	81	7,5	
29 mai	0	0	3	0	3	7,9	
30 mai	22(3)	15	28	7	56	8,1	
31 mai			0			8,2	Vents forts
1 ^{er} juin	31	0	27	8	54	8,1	
2 juin	6	0	7	4	9	7,8	
3 juin	3(2)	0	14	2	28	8,3	
4 juin			0			8,7	Vents forts
5 juin	12(3)	1(1)*	28	7	77	9,4	
6 juin	6(5)	0	20	2	20	10,6	
7 juin			0			11,1	Vents forts
8 juin	0	0	28	0	64	11,2	
9 juin	0	0	4	0	4	12,6	Relève
10 juin	1	1	24	1	48	13,9	Relève
Fraie sur 22 jours	144 œufs d'éperlan arc-en-ciel	170 œufs d'autres espèces	374 relèves	18 sites aménagés et 3 sites non-aménagés	720 jours · capteurs	Entre 5 et 14 °C	

*Œuf d'omisco

PORTRAIT DE L'UTILISATION DES FRAYÈRES

Le succès de la récolte d'œufs d'éperlan arc-en-ciel à l'aide de capteurs a été moindre en 2019 qu'en 2017 sur les îlots rocheux aménagés et leurs environs, bien qu'il soit toujours d'un ordre de grandeur supérieur qu'en 2014 lors de la recherche des sites de fraie dans le même secteur (respectivement 0,20, 0,47 et 0,03 œuf · jour⁻¹ · capteur⁻¹; tableau 4). Ces résultats confirment encore une fraie importante sur les îlots rocheux et dans leurs environs. Les mêmes capteurs ont été utilisés sur les hauts-fonds de Beaumont dans le fleuve Saint-Laurent, pour identifier la portion fluviale de l'habitat de fraie de l'éperlan du sud de l'estuaire (Legault et Lecomte 2011; Lecomte données non publiées). La densité des œufs déposés sur les hauts-fonds de Beaumont varie grandement dans le temps et dans l'espace. Ainsi, le taux mesuré dans le secteur aménagé du lac Saint-Jean est comparable à celui mesuré en 2011 dans la portion des hauts-fonds de Beaumont s'étendant de la hauteur du ruisseau de l'Église au secteur en aval (0,19 œuf · jour⁻¹ · capteur⁻¹), mais il est plus faible que celui mesuré en 2010 dans la portion des hauts-fonds de Beaumont s'étendant de la hauteur du ruisseau de l'Église au secteur en amont (3,10 œufs · jour⁻¹ · capteur⁻¹).

Tableau 4 : Comparaison de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel récoltés avant et après l'aménagement des îlots rocheux dans le lac Saint-Jean, ainsi que dans deux secteurs des hauts-fonds de Beaumont, la portion fluviale de l'habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent.

Secteur	Récolte d'œufs (n)	Effort (jours-capteurs)	CPUE (œufs · jour ⁻¹ · capteur ⁻¹)
Lac Saint-Jean			
<i>Avant aménagements</i>			
Foyer de fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean en 2014 (Lévesque et Sirois 2015)	12	436	0,03
<i>Après aménagements</i>			
Foyer de fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean en 2017 (Lévesque et Sirois 2017)	186	396	0,47
Foyer de fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean en 2019	144	720	0,20
Fleuve Saint-Laurent (hauts-fonds de Beaumont)			
Ruisseau de l'Église et <u>amont</u> en 2010 (Legault et Lecomte 2011)	818	264	3,10
Ruisseau de l'Église et <u>aval</u> en 2011 (Lecomte données non publiées)	96	516	0,19

Moins d'œufs d'éperlan ont été capturés en 2019 qu'en 2017, bien que l'effort d'échantillonnage ait presque doublé, entraînant le rendement de 2019 à la baisse (tableau 4). La fraie de l'éperlan s'est échelonnée sur une plus longue durée en 2019, conséquence du plus lent réchauffement de l'eau au printemps. Le nombre d'œufs déposés devrait être envisagé comme un indicateur plutôt que comme une valeur absolue, considérant la petite surface échantillonnée par les capteurs relativement à la superficie des frayères (0,5 à 0,8% selon le modèle de frayère), la forte hétérogénéité attendue de la répartition des œufs, ainsi que les difficultés liées à la fixation des œufs sur les plaques d'acier satiné (résumé dans Legault et Lecomte 2011).

Une mesure complémentaire au rendement s'ajoute à l'évaluation du succès des frayères : la fréquentation des aménagements (tableau 5). Plus d'aménagements ont été utilisés par les éperlans reproducteurs en 2019 qu'en 2017 et une plus grande proportion de ces aménagements ont été utilisés de manière récurrente en 2019. C'est-à-dire que des œufs d'éperlan ont été récoltés à une reprise ou plus sur 18 des 25 frayères aménagées en 2019, contre 11 en 2017. La proportion de ces aménagements qui ont été utilisés à plus d'une reprise est passée de 36 % en 2017 à 61 % en 2019. La plus longue période de fraie en 2019 (22 jours contre 12 en 2017; Lévesque et Sirois 2017) pourrait avoir joué un rôle dans l'augmentation de la fréquentation des aménagements.

Tableau 5 : Comparaison de la fréquentation par les éperlans arc-en-ciel, en 2017 et 2019, des 25 frayères aménagées. Pour chaque année, le nombre indiqué correspond à la somme des aménagements sur lesquels aucun œuf d'éperlan n'a été capturé, sur lesquels des œufs ont été capturés une seule fois, deux fois, trois fois et quatre fois.

Occurrence	Nombre d'aménagements	
	2017	2019
Jamais	14	7
Une reprise	7	7
Deux reprises	4	5
Trois reprises	0	5
Quatre reprises	0	1
<i>Total</i>	25	25

La figure 4 illustre la répartition spatiale des œufs d'éperlan arc-en-ciel sur les 25 frayères en 2017 et 2019. Les frayères les plus à l'ouest du périmètre aménagé ont été beaucoup moins fréquentées et, par conséquent, moins productives que celles du centre ou de l'est. La forte crue de la rivière Mistassini au moment de la fraie de l'éperlan demeure la principale hypothèse pour expliquer cette différence. Les débits quotidiens de cette rivière ont atteint des valeurs maximales pendant la fraie de l'éperlan en 2019, tout comme en 2017¹ (données de 2000 à 2019 entre le 13 mai et le 10 juin, à l'annexe 3). Dans ces conditions, il est probable que le panache d'eau de la rivière à son arrivée dans le lac déborde de son chenal habituel et entraîne de plus forts courants qu'à l'habitude sur cette portion du secteur aménagé.

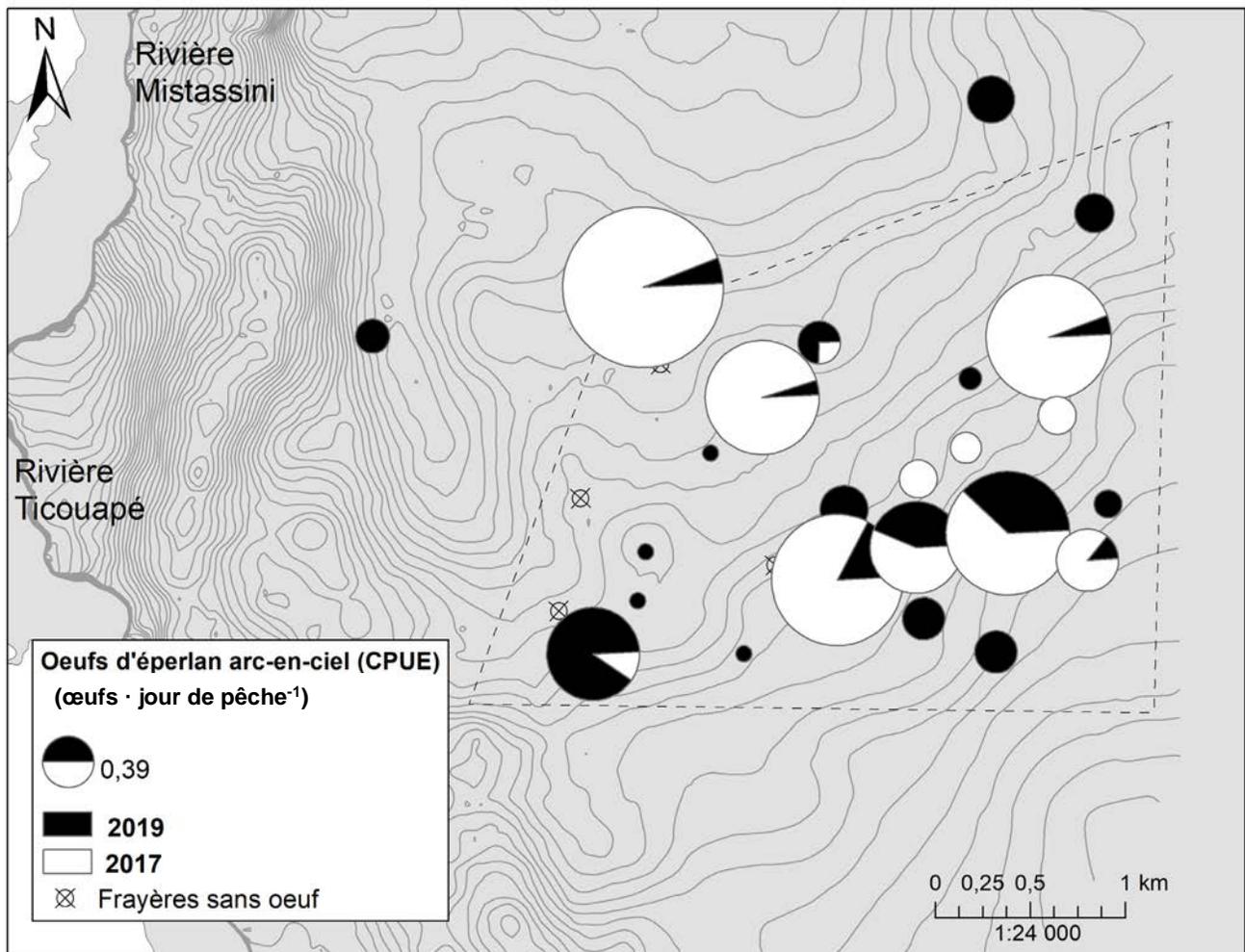


Figure 4 : Répartition spatiale de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹) sur les 25 frayères et les 3 stations non-aménagées au lac Saint-Jean au cours des fraies des printemps 2017 (blanc) et 2019 (noir). La taille du cercle est proportionnelle à l'abondance cumulée des œufs pour ces deux années. Les frayères sur lesquelles aucun œuf n'a été capturé sont indiquées par un cercle barré.

¹ https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/fiche_station.asp?NoStation=062102

Enfin, une proportion importante (54 %) des œufs récoltés au printemps 2019 était constituée d'œufs plus gros que ceux de l'éperlan arc-en-ciel (tableau 2). Leur identification reste incertaine. Un seul de ces œufs a pu être incubé (une larve étant plus facilement identifiable qu'un œuf), qui s'est avéré être un omisco. Il est cependant hasardeux de conclure que tous ces œufs étaient des œufs d'omisco. L'œuf incubé n'était peut-être pas représentatif des autres, puisqu'il a été récolté dix jours après la fin du pic de la ponte des gros œufs : il s'agit soit d'une fraie tardive, soit d'une espèce distincte. De plus, il n'avait pas été mesuré afin de limiter les manipulations qui auraient pu l'endommager.

RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES LARVES D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL

Le réchauffement plus lent qu'à l'habitude des eaux du lac a fait en sorte que le suivi de la ponte a chevauché le suivi de l'éclosion des larves. L'échantillonnage des larves a débuté le 5 juin, cependant le portrait des premières éclosions de larves obtenu est fragmentaire en raison des forts vents et de l'alternance avec la relève des capteurs à œufs (figure 5). Ce n'est qu'à partir du 12 juin, au début du pic d'éclosion des larves, que la plupart des stations ont pu être échantillonnées. Le suivi de l'éclosion des larves s'est terminé le 21 juin. À cette date, les éperlans de stade A n'étaient plus détectés dans les échantillons sur le terrain (en trop faible abondance pour être visibles à l'œil nu) et les 156 degrés-jours nécessaires à l'incubation des œufs étaient dépassés depuis la récolte du dernier œuf sur les capteurs (Gagnon 2005).

La distribution de l'abondance des larves d'éperlan de stade A durant la période d'échantillonnage permet de distinguer deux foyers de fraie conformément aux attentes : le secteur aménagé et la rivière Ashuapmushuan (figure 6). Les plus fortes abondances se situaient au centre du secteur aménagé et ses alentours. L'abondance des stades A était particulièrement élevée juste au nord-est du secteur aménagé (secteur 18) sous l'effet des vents du sud-ouest² au début du pic d'éclosion des larves. Les vents du sud-est durant la seconde moitié du pic d'éclosion des larves sont responsables de la dérive vers le nord et nord-ouest des larves produites dans le secteur aménagé, ainsi que de la rétention des larves produites dans ces secteurs (secteurs 16 et 17; Leclerc 1985; Nutz *et al.* 2015; résumé dans les annexes 4a et 4b). Enfin, la forte abondance des larves A dans le secteur 75 résulte de la dérive des larves portées par la

² <https://climat.meteo.gc.ca/>

rivière Ashuapmushuan. La distribution de l'abondance des larves des stades B et C reflètent des patrons généraux de dérive et de rétention associés au régime des vents dominants lors du pic d'abondance de ces stades les 13 et 14 juin, c'est-à-dire des vents du sud-ouest suivis par des vents du sud-est, ainsi que d'évènements ponctuels.

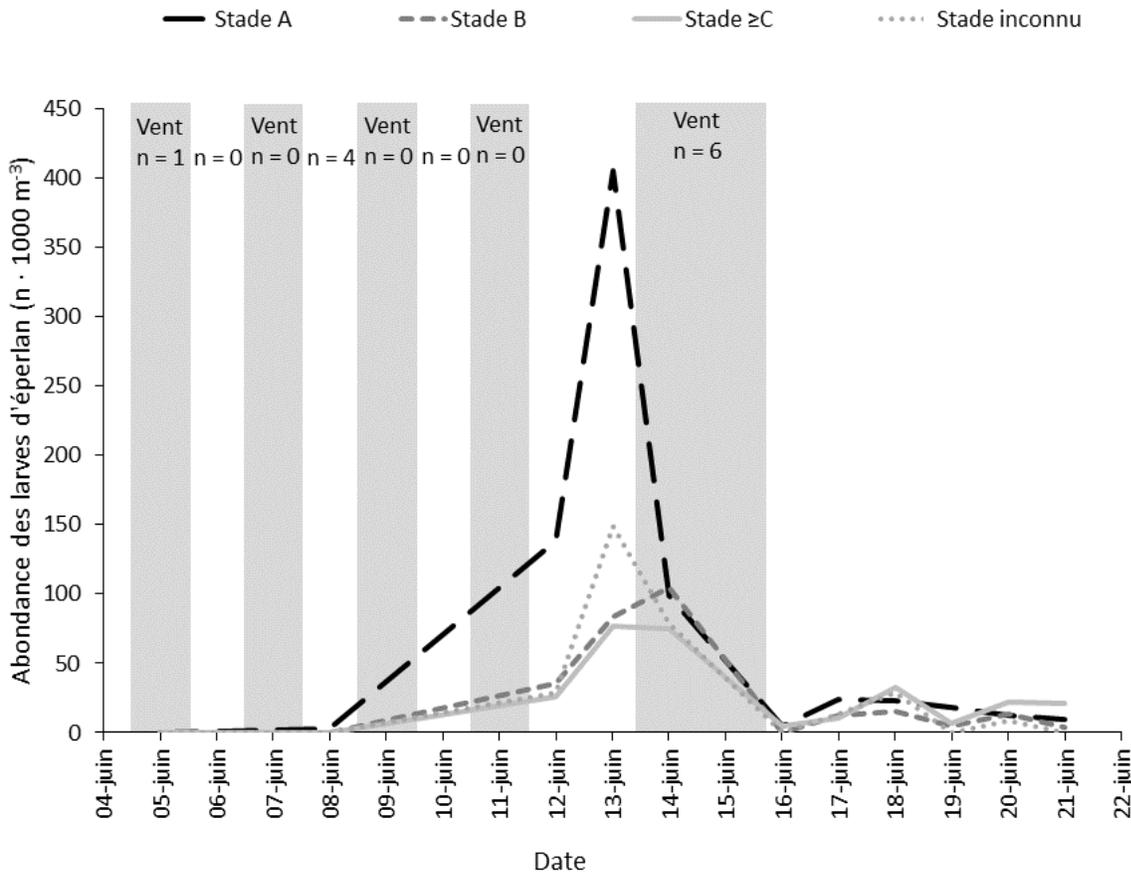


Figure 5 : Abondance quotidienne des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) par stade au lac Saint-Jean du 5 au 21 juin 2019. Le trait discontinu noir correspond à l'abondance des larves de stade A, le trait discontinu gris à celle des larves de stades B, le trait plein gris à celle des larves de stade C et plus, et le trait pointillé gris à l'abondance des larves dont le stade n'a pu être déterminé. Les zones grises indiquent un effort d'échantillonnage réduit ou annulé en raison de mauvaises conditions climatiques les 5, 7, 9, 11, 14 et 15 juin (le nombre de stations échantillonnées est indiqué).

La répartition spatiale quotidienne des différents stades larvaires d'éperlan apporte une définition plus fine de la distribution de l'abondance des larves (annexes 5a, 5b et 5c). Par exemple, les vents forts du nord-ouest le 11 juin sont vraisemblablement responsables des fortes abondances de larves de tous les stades retrouvées dans le secteur 70 le lendemain matin 12 juin. Aussi, de petits foyers de fraie en périphérie du secteur aménagé ont été mis en évidence par la distribution quotidienne des larves A le 17 juin. Ce jour-là, l'ensemble des secteurs ont été échantillonnés et plusieurs larves de stade A ont été capturées dans les secteurs 16 et 61, alors que les vents dominants provenaient du nord-ouest. Ce constat est appuyé par la distribution des larves B secteur 61 les 17 et 18 juin, ainsi que dans le secteur 16 le 18 juin.

Le portrait général de la distribution de l'abondance des éperlans est incomplet étant donné le mauvais temps des 11, 14 et 15 juin (figure 5). Ceci est particulièrement important, puisque les forts vents du 14 juin ont entraîné la suspension de l'échantillonnage en plein pic d'abondance des larves (stades A, B et, dans une certaine mesure, C et plus). Par conséquent, le secteur 18 est surreprésenté par rapport aux autres, puisqu'il est le seul à avoir été échantillonné pendant les trois jours du pic des larves de stade A (12 au 14 juin) et les deux jours du pic des larves de stade B (13 et 14 juin). Néanmoins, ce secteur se distingue puisqu'on y a trouvé une abondance de 1933 larves de stade A par 1000 m⁻³ le 13 juin, alors que la moyenne était d'environ 400 larves par 1000 m⁻³ pour la même période dans les secteurs environnants (16, 17, 18, 28, 29, 30).

Enfin, il importe de rappeler que la figure 6 et les annexes 5a, 5b et 5c doivent être interprétées avec discernement : certaines régions des distributions interpolées de l'abondance de l'éperlan méritent plus d'attention que d'autres. Par exemple, plus il y a de stations d'échantillonnage à proximité d'un site (voir la grille d'échantillonnage, figure 1), plus grande peut être la confiance en l'abondance interpolée pour ce site. À l'inverse, moins il y a de stations d'échantillonnage à proximité d'un site, moins grande doit être la confiance en l'abondance interpolée pour ce site.

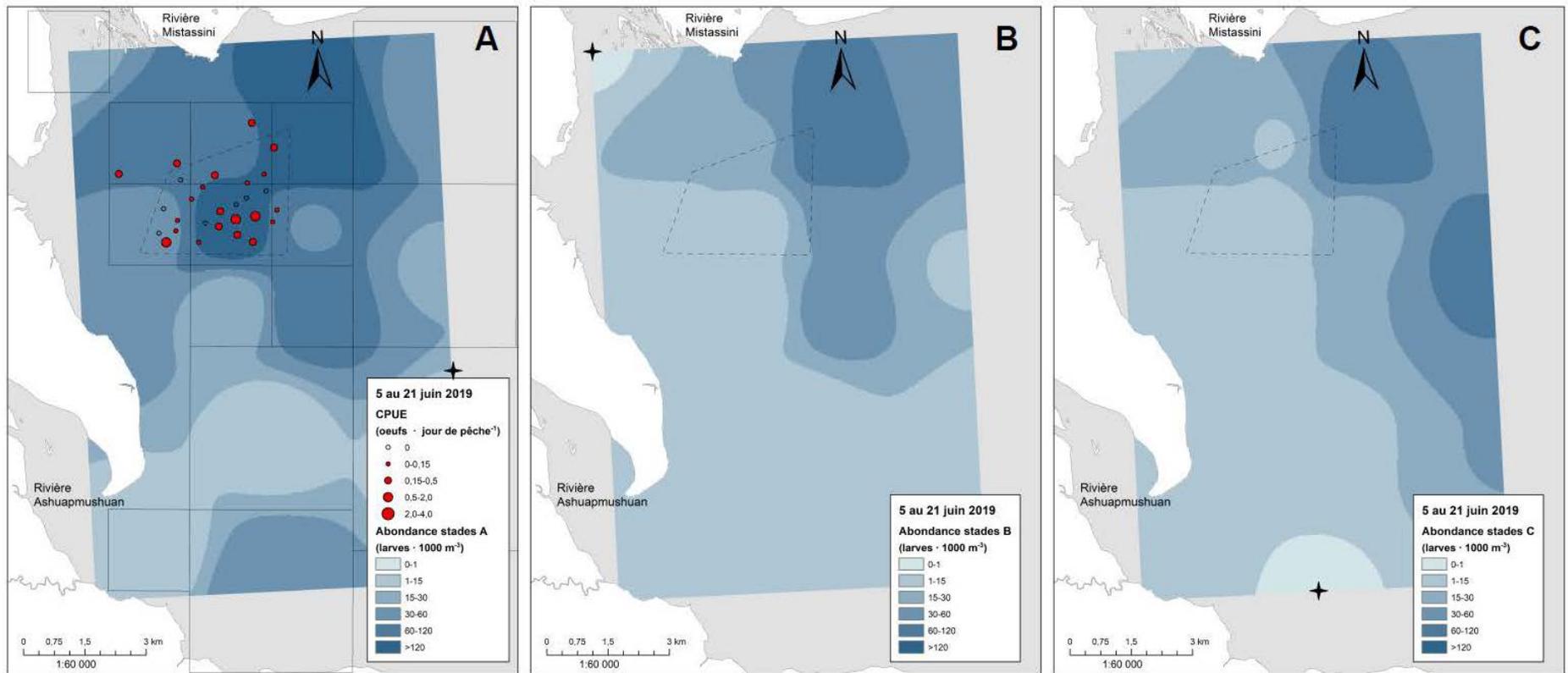


Figure 6 : Distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) en 2019 au lac Saint-Jean selon leur stade de développement durant l'ensemble de la période d'échantillonnage des larves : (A) les larves de stade A âgées de moins de 2 jours, (B) les stades B d'environ 2 jours et (C) les stades plus âgés (C et plus). L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve. Les stations avec des œufs (ronds rouges dont la taille varie selon le nombre de captures par unité d'effort), le secteur aménagé délimité par le polygone pointillé et les unités d'échantillonnage des larves (carrés en ligne continue) ont été ajoutés comme repères.

PORTRAIT DE L'ABONDANCE DES LARVES D'ÉPERLAN DEPUIS L'AMÉNAGEMENT DE FRAYÈRES

Les larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A étaient plus abondantes dans l'échantillonnage du suivi des frayères aménagées que dans toute autre campagne d'échantillonnage depuis 2013 (tableau 6). Pour arriver à ce constat, seules les stations des échantillonnages de 2013, 2014, 2016, 2017 et 2019 réparties dans le secteur nord-ouest du lac Saint-Jean ont été retenues, afin d'obtenir des échelles spatiales et temporelles comparables (respectivement Lévesque et Sirois 2013; 2015; non publié; Lévesque et Sirois 2017). Cette région correspond aux secteurs échantillonnés dans le cadre du suivi des aménagements (figure 1).

Tableau 6 : Comparaison interannuelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean. Le nombre de stations retenues et le nombre de traits de filet correspondants sont indiqués. Trois mesures complémentaires de l'abondance des larves d'éperlan sont présentées : l'abondance des stades A seulement (< 2 jours), l'abondance de tous les stades confondus et la proportion d'éperlan dans les captures totales.

Année	Nombre de stations	Nombre de traits de filet	Abondance des larves d'éperlan (n · 1000 m ⁻³)		Proportion d'éperlan dans les captures totales (%)
			Stades A seulement	Tous les stades confondus	
2013	23	167	11,1	35,29	48
2014	16	103	22,1	71,87	73
2016	7	51	39,2	165,8	84
2017	13	102	54,7	151,6	95
2019	13	97	73,6	156,4	93

Facteurs influençant le recrutement larvaire de l'éperlan au lac Saint-Jean

Le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean est, entre autres, influencé positivement par l'abondance du stock reproducteur et négativement par le débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin (Lévesque *et al.* 2018). Ces deux facteurs exercent leur influence au tout début de la vie de l'éperlan, du stade œuf au stade de larve vitellée. Un nombre plus élevé de reproducteurs a le potentiel de produire plus d'œufs et ces œufs (ainsi que les larves qui vont éclore) tireront un meilleur bénéfice de conditions hydrologiques normales indiquées par le débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin. Les frayères aménagées favorisent la fraie naturelle en offrant un substrat de meilleure qualité lors de la ponte, c'est-à-dire favorable à la fixation des œufs et à leur survie (résumé dans Lévesque 2012 et Lévesque et Sirois 2015).

L'abondance des éperlans d'un an et plus au mois d'août se situe autour de la moyenne ou plus élevée depuis la construction des aménagements (données non publiées, MFFP). Ces éperlans deviendront les reproducteurs du printemps suivant. La relation positive entre l'abondance des éperlans d'un an et plus et l'abondance des larves d'éperlan de stade A au printemps suivant montre que l'abondance des stades A est plus élevée depuis les aménagements, même pour des valeurs similaires de stock reproducteur (figure 7). Cette relation gagnera cependant à être réévaluer puisque le nombre d'observations est pour l'instant limité.

Le débit de la rivière Péribonka la première semaine de juin en 2019 peut être estimé à $911 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, grâce à la relation entre les débits des rivières Ashuapmushuan et Péribonka pour la même période ($R^2 = 0,63$; $p < 0,001$; Lévesque et Sirois 2017). Par le passé (données de 1984 à 2015), le recrutement de l'éperlan, mesuré comme l'abondance des jeunes de l'année (0+) au mois d'août, était systématiquement faible lorsqu'associé à des débits moyens de la Péribonka excédant $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ la première semaine de juin (Lévesque *et al.* 2018). Pour la première fois en 2019, le recrutement de l'éperlan a été très bon malgré un débit élevé. Or les jeunes de l'année capturés au mois d'août représentent les recrues ayant survécu à la période larvaire, donc ayant subi les impacts de la dispersion par les vents et la prédation par les saumoneaux. Par conséquent, l'abondance des éperlans subissant les effets de l'hydrologie au printemps (les stade A) a plutôt été utilisée comme variable pour comparer les valeurs avant et après aménagements. Les débits estimés de la rivière Péribonka dépassaient le seuil de $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ la première semaine de juin lors des suivis de 2017 et 2019, cependant les abondances des éperlans de stade A au mois de juin pour ces deux années étaient plus élevées que les autres (figure 8).

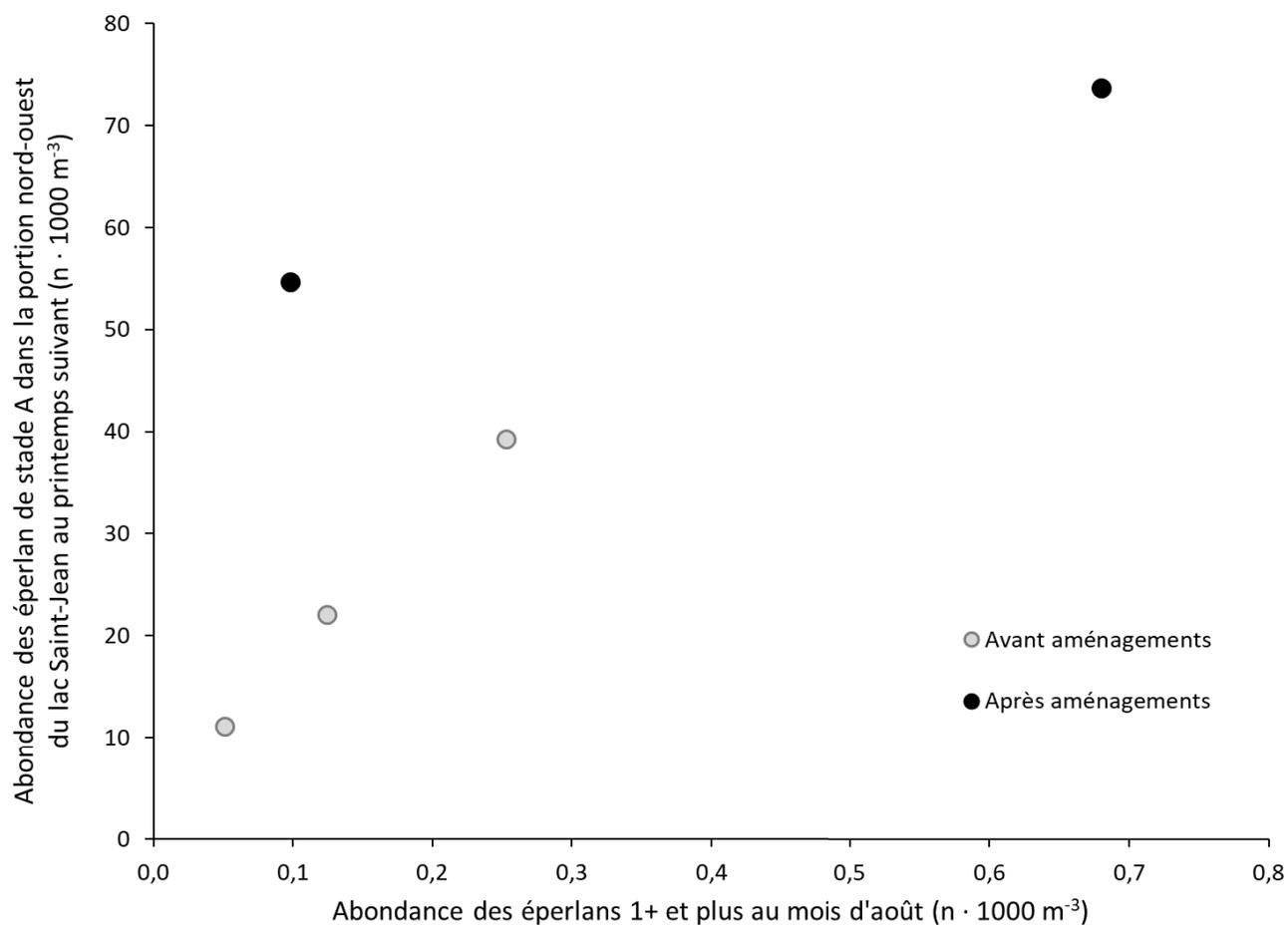


Figure 7 : Abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean au printemps ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) en fonction de l'abondance des éperlans d'un an et plus au mois d'août précédent ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$), représentant le potentiel reproducteur du printemps suivant. Les points gris représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (2013, 2014 et 2016), alors que les points noirs représentent les valeurs après leur aménagement (2017 et 2019).

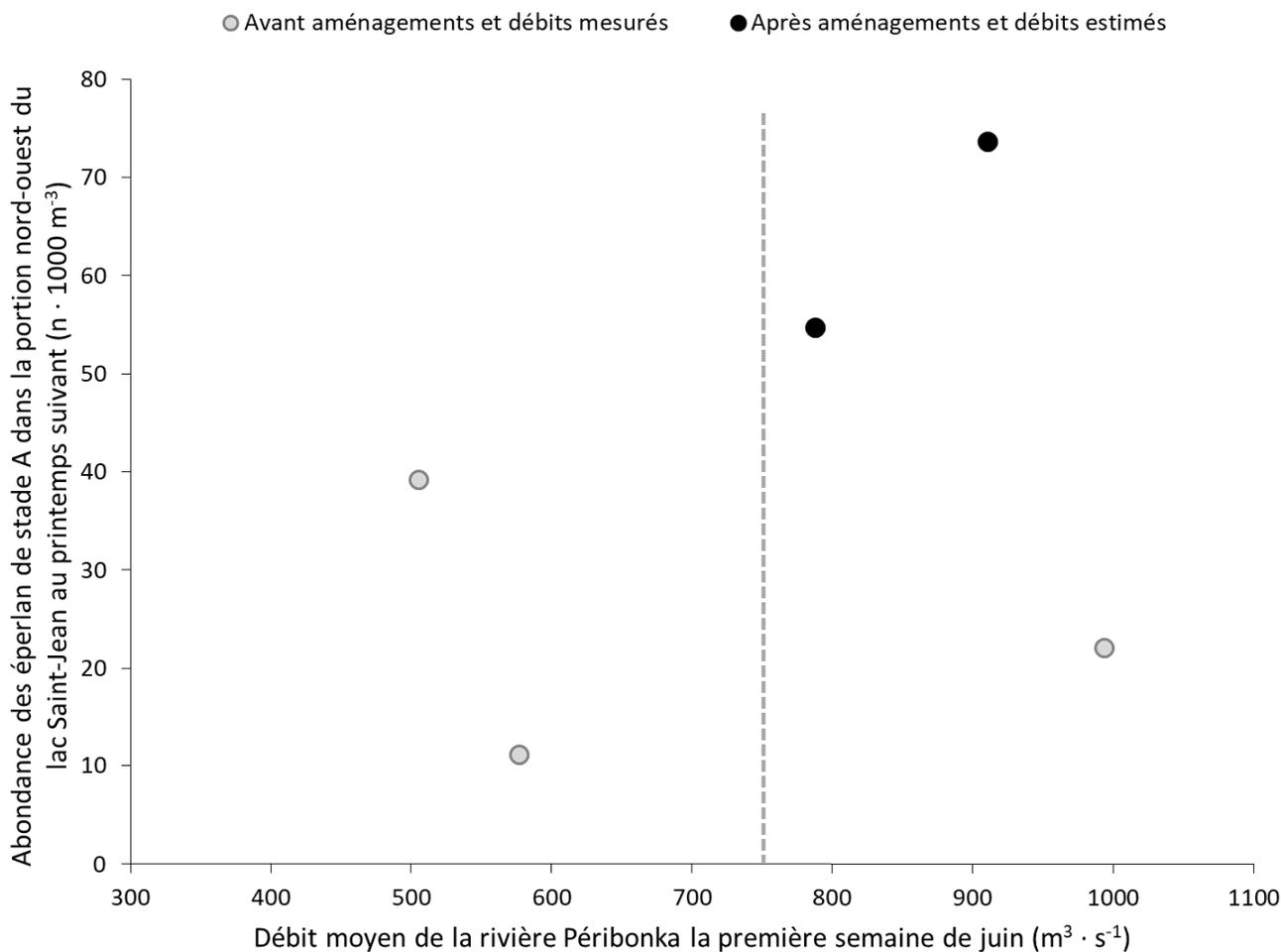


Figure 8 : Abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean au printemps ($\text{n} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) en fonction du débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). La ligne verticale pointillée indique le seuil de $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à partir duquel le recrutement de l'éperlan est négativement influencé. Les données de débit sont issues de valeurs mesurées pour 2013 à 2016, alors qu'elles sont estimées d'après la relation avec le débit de la rivière Ashuapmushuan pour 2017 et 2019. Les points gris représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (2013, 2014 et 2016), alors que les points noirs représentent les valeurs après leur aménagement (2017 et 2019).

Patrons de dérive larvaire

Des tendances communes aux différentes années d'échantillonnage sont observées dans les distributions de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel issues du secteur aménagé et des environs en 2013, 2017 et 2019 (voir Lévesque et Sirois 2013; 2017). Malgré les différentes combinaisons de vents dominants entre les années, on retrouve : une dérive marquée du nord vers le sud au large de la pointe de Saint-Méthode, une dérive hors de la rivière Ashuapmushuan et une dérive de l'ouest vers l'est à la hauteur du secteur aménagé ou un peu en-dessous (figure 9). Ces tendances communes dans les patrons de dérive suggèrent que le régime des vents n'est pas le seul facteur déterminant la circulation des courants du lac Saint-Jean à cette période de l'année.

Les vents sont reconnus comme les principaux responsables des patrons de circulation des eaux dans le lac Saint-Jean, étant donné sa vaste étendue et sa faible profondeur (Leclerc 1985; Nutz *et al.* 2015). Par conséquent, les études de modélisation des courants du lac Saint-Jean font abstraction de l'apport hydrologique, ou encore n'utilisent que les débits estivaux moyens des principales rivières (annexes 4a et 4b). Cet apport pourrait néanmoins devenir important lors de la crue printanière, alors que les débits peuvent atteindre trois à quatre fois les débits moyens estivaux (Nutz 2013). La dérive des larves d'éperlan a lieu vers la fin de la crue : les débits sont plus faibles que dans les semaines précédentes, mais ils restent plus élevés que ceux rencontrés au cœur de l'été (annexe 3). Les patrons de dérive observés pourraient être le résultat de l'action des vents combinée aux apports hydrologiques.

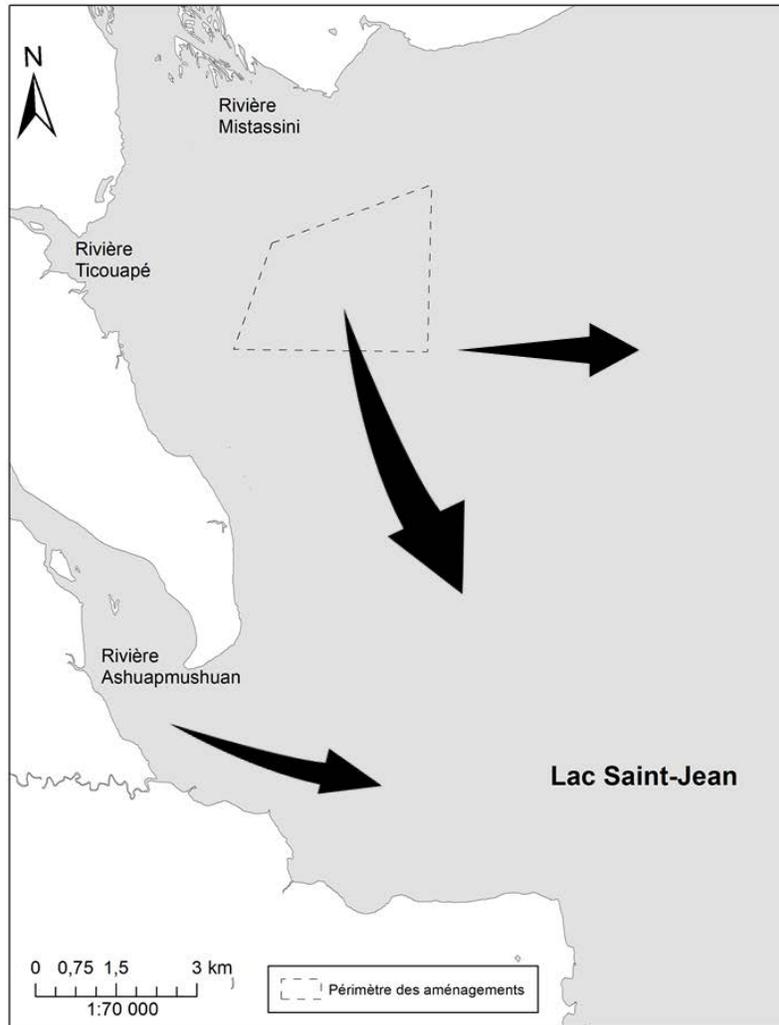


Figure 9 : Dérive conceptuelle des larves d'éperlan arc-en-ciel (tous les stades) au lac Saint-Jean par rapport au secteur des îlots rocheux représenté par le polygone pointillé. Les trois patrons de dérivation sont : une dérivation marquée du nord vers le sud, une dérivation hors de la rivière Ashuapmushuan et une dérivation de l'ouest vers l'est.

INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX

Les frayères inspectées le 24 juillet semblaient en parfaite condition, sans dépôt visible de sédiments, mais à l'occasion un peu de périphyton sur les galets (figure 10a). On retrouvait parfois des amas de matière organique fine (feuilles, écorce, filaments) accumulés au pied de certains îlots (figure 10b). Ces débris sont vraisemblablement charriés par les courants sur le fond de sable durci et sont retenus par le premier obstacle rencontré jusqu'à ce qu'un changement dans la direction des courants les emporte ailleurs. Ce type de débris peut aussi se retrouver dans le creux des vaguelettes de sable durci du lit du lac.

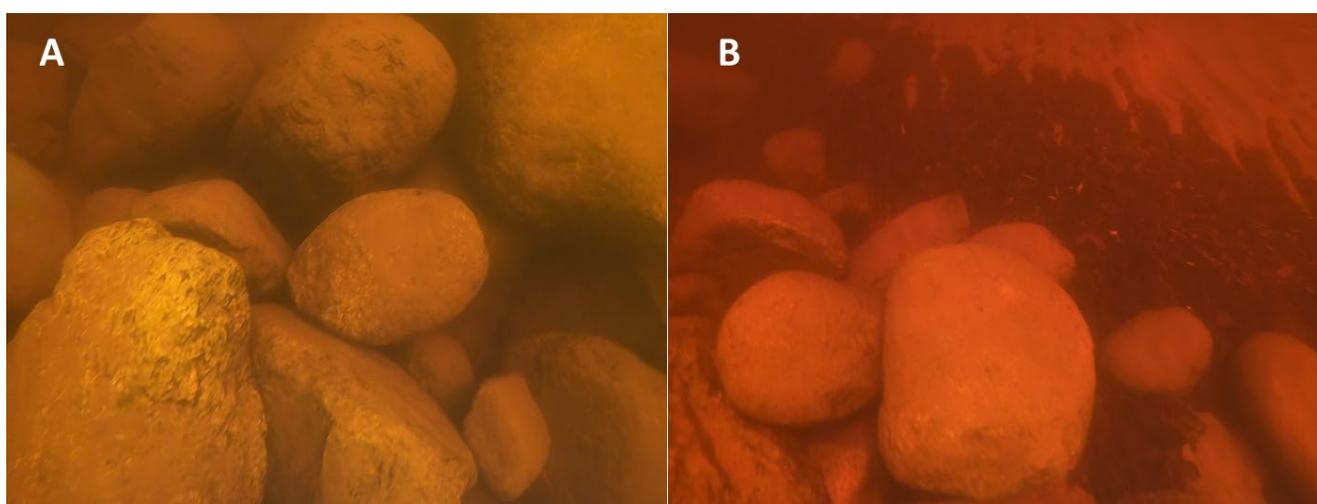


Figure 10 : Photographies démontrant l'état des frayères à leur troisième été depuis la construction. Il n'y a pas d'accumulation de sédiments visible sur les frayères (A; frayère 1). Cependant de la matière organique fine s'accumule sur le côté de certains îlot (B; frayère 16).

La principale surprise en regard des aménagements concerne le déplacement de certains îlots remarqué lors du repérage printanier précédant le second suivi de la fraie de l'éperlan. Nous avons constaté que six frayères ont été déplacées de 8 à 40 m de leur site d'origine depuis la construction (coordonnées à l'annexe 1). Il semble que dans certaines circonstances, le couvert de glace englobe l'îlot sur lequel il repose durant l'hiver et le déplace avec lui lors du rehaussement du lac. Il n'y a pas eu d'échantillonnage au printemps 2018, mais les aménagements ont été balisés. Si des déplacements avaient eu lieu à l'hiver 2018, ils auraient probablement été constatés au moment du balisage. On peut donc penser que des conditions particulières de l'hiver 2019 ont engendré les déplacements observés. Les frayères déplacées ont vraisemblablement été transportées en un seul bloc : le sonar n'indique pas de monticule isolé sur les sites de construction et un transect vidéo au-dessus d'un ancien site ne montre qu'une étendue de sable durci, comme s'il n'y avait jamais rien eu sur les lieux.

CONCLUSION

La production limitée de l'éperlan arc-en-ciel est au cœur de la gestion de la ouananiche, le poisson sportif emblématique du lac Saint-Jean. L'aménagement de 25 îlots rocheux dans un secteur de reproduction connu de l'éperlan durant l'hiver 2017 visait à améliorer la qualité de l'habitat de fraie et la survie des œufs de la proie préférentielle de la ouananiche. L'impact des îlots rocheux aménagés a fait l'objet d'un suivi dès le printemps 2017 et 2019, avec pour objectifs de valider leur utilisation par l'éperlan et de mesurer la production larvaire dans le secteur aménagé. Ce suivi sera répété au printemps 2021, au terme duquel il sera possible de qualifier la contribution des frayères aménagées à la production de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean.

Après deux années de suivi, les résultats sont concluants. Les éperlans reproducteurs fréquentent les frayères, avec une préférence pour celles dans la portion est du secteur aménagé. Cette préférence est vraisemblablement liée aux crues importantes des printemps 2017 et 2019. Le rendement de récolte des œufs d'éperlan du lac Saint-Jean en 2017 et 2019 est comparable à celui retrouvé dans l'habitat de fraie de la population d'éperlan du sud de l'estuaire du Saint-Laurent (hauts-fonds de Beaumont).

La distribution des larves d'éperlan au printemps 2019 montre que le foyer de production se trouvait au centre du secteur aménagé et ses environs, un constat similaire au suivi de 2017. Avant l'implantation des îlots rocheux, l'abondance des larves de stade A était influencée positivement par l'abondance du stock reproducteur et négativement par le débit de la rivière Péribonka, un indicateur de l'intensité des variables hydrologiques du printemps (Lévesque *et al.* 2018). Pourtant, Elle a atteint des abondances records en 2017 et 2019 comparativement aux valeurs pré-aménagements (2013, 2014 et 2016), malgré un stock de reproducteurs similaire au valeurs pré-aménagements et des débits très élevés de la rivière Péribonka. Ce constat tend à confirmer que les frayères aménagées contribuent à améliorer les conditions naturelles de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

RÉFÉRENCES

- 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.
- Cooper J.E. 1978. Identification of eggs, larvae, and juveniles of the rainbow smelt, *Osmerus mordax*, with comparisons to larval alewife, *Alosa pseudoharengus*, and gizzard shad, *Dorosoma cepedianum*. Transactions of the American Fisheries Society, 107: 56-62.
- Dumont P., D'Amours J., Thibodeau S., Dubuc N., Verdon R., Garceau S., Bilodeau P., Mailhot Y. et Fortin R. 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.
- 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, 137 p.
- Gagnon K. 2005. Distribution et abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au lac Saint-Jean. Mémoire présenté à l'UQAC comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables, Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 98 p.
- Jones M.L., Netto J.K., Stockwell J.D. et Mion J.B. 2003. Does the value of newly accessible spawning habitat for walleye (*Stizostedion vitreum*) depend on its location relative to nursery habitats? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 60: 1527-1538.
- Leclerc M. 1985. Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis : application au lac Saint-Jean (Québec). Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur-ingénieur, Université de technologie de Compiègne, 294 p.
- Legault M. et Lecomte F. Ghost hunting; quantifying and localizing alternative spawning grounds used by anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*). Dans : Enterline C., *et al.*, Proceedings of the Fourth North American workshop on rainbow smelt, Portland, Maine, 2011. Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish and Game and Massachusetts Division of Marine Fisheries, p. 37-43.
- Lévesque S. 2012. La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole: étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 111 p.
- Lévesque S. et Sirois P. 2013. Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 46 p.
- Lévesque S. et Sirois P. 2015. Confirmation d'un habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 27 p.

- Lévesque S. et Sirois P. 2017. Utilisation par l'éperlan arc-en-ciel des îlots rocheux aménagés pour la fraie au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 37 p.
- Lévesque S., Plourde-Lavoie P. et Sirois P. 2018. Révision du modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 45 p.
- Nutz A. 2013. La déglaciation du bassin du Lac Saint-Jean (Wisconsinien/Holocène, Québec, Canada): enregistrement d'une régression forcée glacio-isostatique et de l'hydrodynamique d'un système fermé contrôlé par le vent. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 302 p.
- Nutz A., Schuster M., Ghienne J.-F., Roquin C., Hay M.B., Rétif F., Certain R., Robin N., Raynal O., Cousineau P.A., Team S. et Bouchette F. 2015. Wind-driven bottom currents and related sedimentary bodies in Lake Saint-Jean (Québec, Canada). *GSA Bulletin*, 127: 1194-1208.
- Sirois P., Marion A., Plourde J., Plourde S. et Legault M. Carrying capacity of Lake Saint-Jean for rainbow smelt. Dans : Enterline C., *et al.*, Proceedings of the Fourth North American workshop on rainbow smelt, Portland, Maine, 2011. Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish and Game and Massachusetts Division of Marine Fisheries, p. 47-48.

ANNEXES

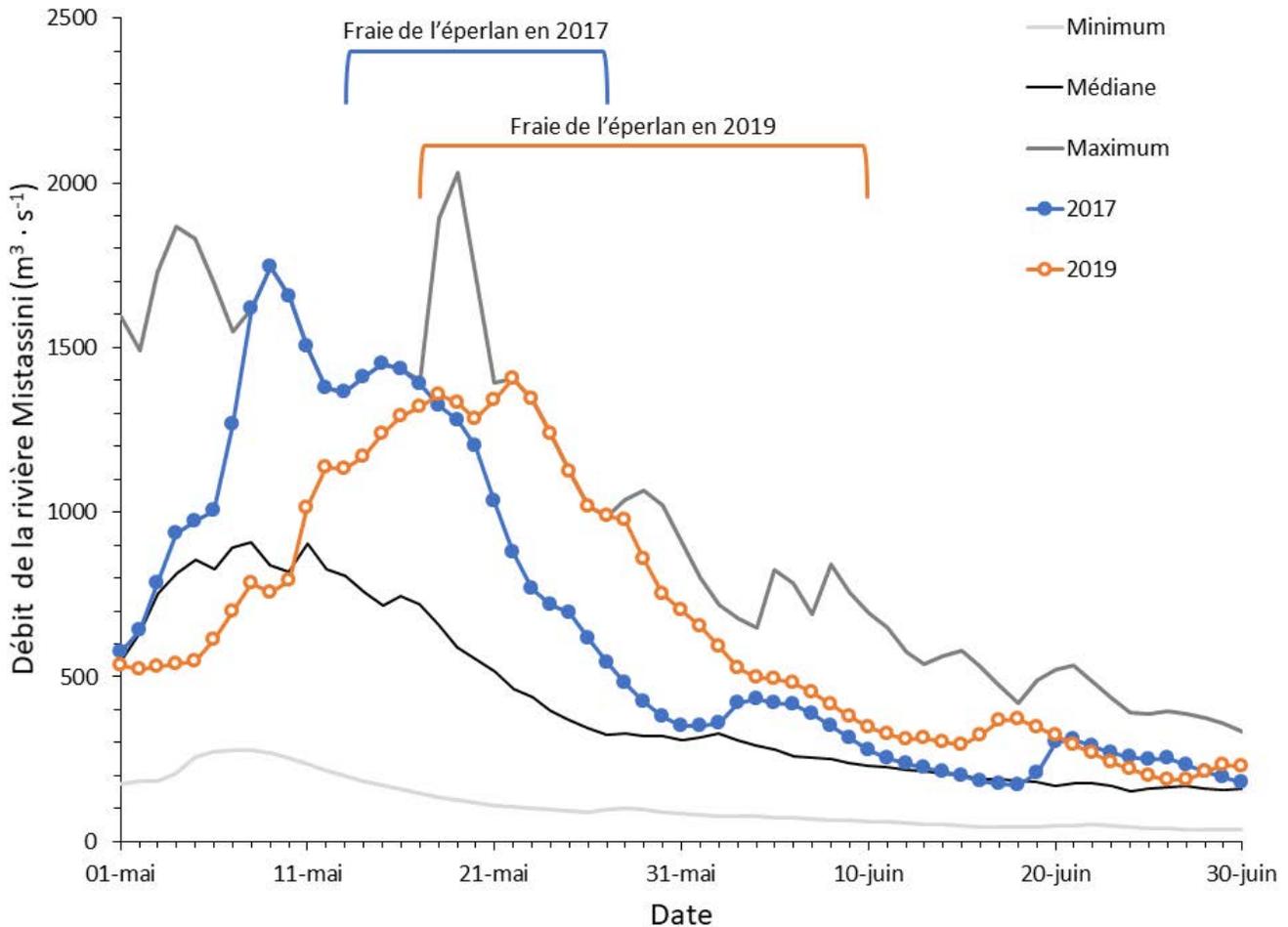
Annexe 1 : Coordonnées des sites de déploiement des capteurs à œufs.

	Coordonnées de construction		Déplacement 2019	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Frayères aménagées				
F1	48,690849	-72,299221		
F2	48,691896	-72,287838	48,691791	-72,287885
F3	48,686623	-72,295619		
F4	48,689274	-72,291926		
F5	48,684460	-72,304943	48,684575	-72,304811
F6	48,679098	-72,306471	48,679341	-72,306356
F7	48,698088	-72,268098	48,698161	-72,268185
F8	48,679586	-72,300818		
F9	48,683953	-72,286016		
F10	48,677050	-72,304004		
F11	48,690211	-72,276988		
F12	48,681913	-72,300260	48,681907	-72,300165
F13	48,685419	-72,280698		
F14	48,692173	-72,271369		
F15	48,681316	-72,290967		
F16	48,677080	-72,293188		
F17	48,680603	-72,286492		
F18	48,686906	-72,277284		
F19	48,682161	-72,280849		
F20	48,688455	-72,270741		
F21	48,678776	-72,280283	48,678811	-72,280482
F22	48,682853	-72,274256		
F23	48,684251	-72,267070		
F24	48,681578	-72,268537		
F25	48,677200	-72,275083		
Stations sans frayère aménagée				
11H	48,70348	-72,27555		
20H	48,69450	-72,30050		
Extra 2	48,69213	-72,31991		

Annexe 2 : Coordonnées du centre des unités d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel.

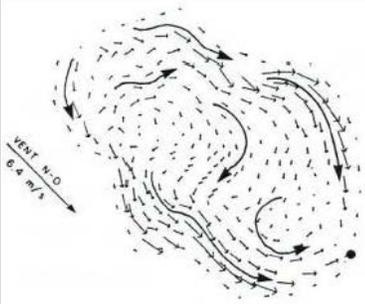
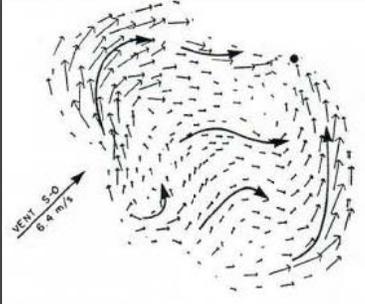
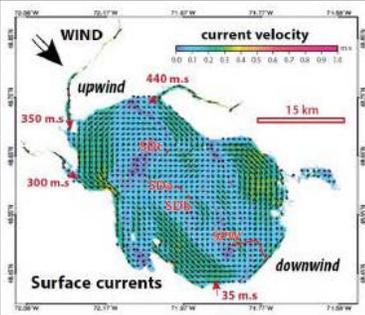
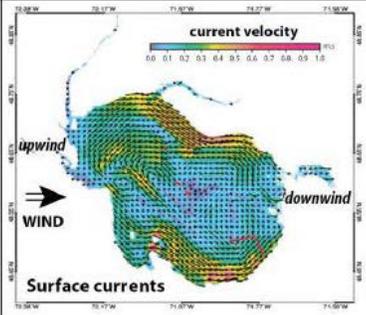
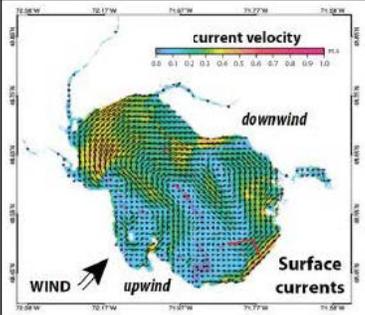
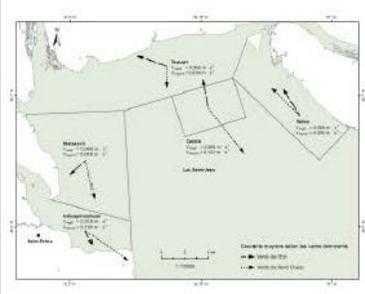
Unité d'échantillonnage	Latitude	Longitude
16	48,698990	-72,309565
17	48,698990	-72,282355
18	48,698990	-72,255160
28	48,681005	-72,309565
29	48,681005	-72,282355
30	48,681005	-72,255160
42	48,663015	-72,282355
43	48,663015	-72,255160
53	48,609085	-72,309565
61	48,707970	-72,214430
70	48,672000	-72,214430
74	48,636040	-72,268750
75	48,600100	-72,268750
76	48,719168	-72,336755
126	48,631534	-72,207636

Annexe 3 : Débit de la rivière Mistassini au printemps, entre le 1^{er} mai et le 30 juin. Les courbes lisses en dégradés de gris représentent les débits minimums (gris pâle), médians (noir) et maximums (gris foncé) des données historiques de 2000 à 2019, selon le Centre d'expertise hydrique du Québec³. Les courbes de 2017 et 2019 sont représentées par les courbes de couleur avec les points (respectivement bleue et orange). La période de la fraie de l'éperlan arc-en-ciel est indiquée pour chacune de ces années.



³ https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/fiche_station.asp?NoStation=062102

Annexe 4a : Tableau résumant l'état des connaissances sur les courants de surface du lac Saint-Jean en fonction des vents dominants. Les études de Leclerc (1985)⁴ et de Nutz *et al.* (2015)⁵ sont le fruit de modélisation de la circulation des masses d'eau, alors que l'étude de Lévesque et Sirois (2013)⁶ rapporte les courants moyens observés *in situ*.

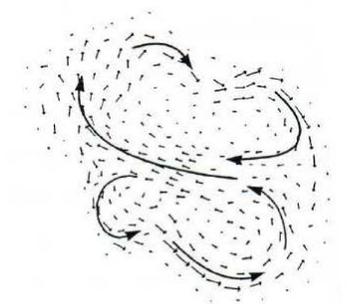
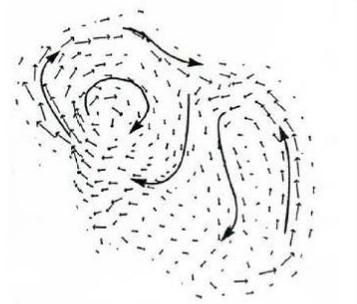
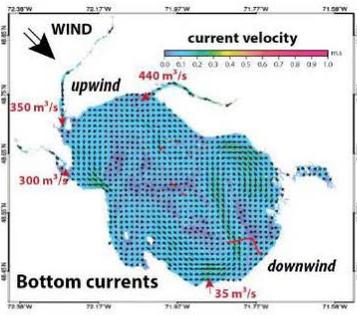
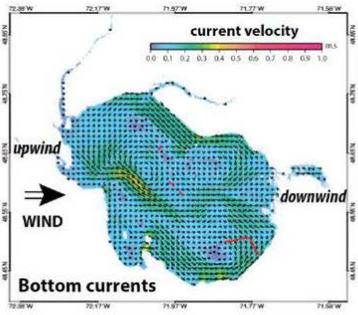
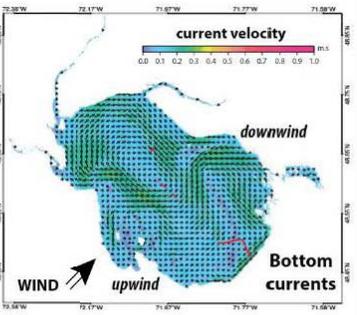
COURANTS DE SURFACE			
	Origine du vent dominant		
Description	Nord-ouest	Ouest	Sud-ouest
Modélisation Vitesse des vents: 6,4 m/s (23 km/h) Sans tenir compte des rivières (Leclerc 1985)			
Modélisation Vitesse des vents: NO 10 m/s (36 km/h) En considérant l'apport des rivières O et SO 15 m/s (54 km/h) Sans tenir compte des rivières (Nutz <i>et al.</i> 2015)			
Mesures <i>in situ</i> Vents du NO et de l'E illustrés sur la même figure Courants moyens rencontrés lors de l'échantillonnage (petits tirets NO, grands tirets E) (Lévesque et Sirois 2013)			

⁴ Leclerc M. 1985. Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis : application au lac Saint-Jean (Québec). Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur-ingénieur, Université de technologie de Compiègne, 294 p.

⁵ Nutz A., Schuster M., Ghienne J.-F., Roquin C., Hay M.B., Rétif F., Certain R., Robin N., Raynal O., Cousineau P.A., Team S. et Bouchette F. 2015. Wind-driven bottom currents and related sedimentary bodies in Lake Saint-Jean (Québec, Canada). GSA Bulletin, 127: 1194-1208.

⁶ Lévesque S. et Sirois P. 2013. Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 46 p.

Annexe 4b : Tableau résumant l'état des connaissances sur les courants en profondeur du lac Saint-Jean en fonction des vents dominants. Les études de Leclerc (1985)⁷ et de Nutz *et al.* (2015)⁸ sont le fruit de modélisation de la circulation des masses d'eau, alors que l'étude de Lévesque et Sirois (2013)⁹ rapporte les courants moyens observés *in situ*.

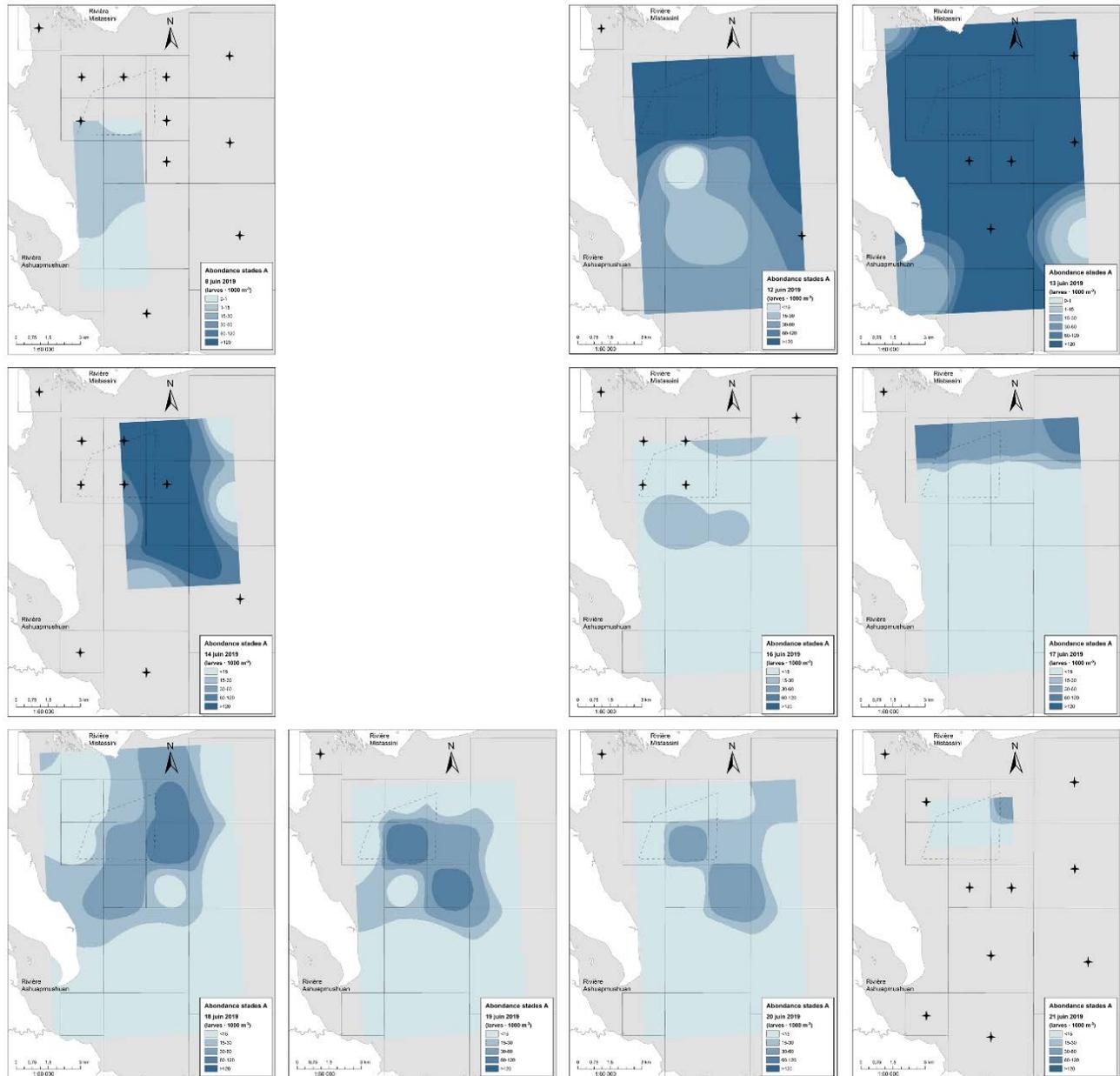
COURANTS EN PROFONDEUR			
	Origine du vent dominant		
Description	Nord-ouest	Ouest	Sud-ouest
Modélisation Vitesse des vents: 6,4 m/s (23 km/h) Sans tenir compte des rivières (Leclerc 1985)			
Modélisation Vitesse des vents: NO 10 m/s (36 km/h) En considérant l'apport des rivières O et SO 15 m/s (54 km/h) Sans tenir compte des rivières (Nutz <i>et al.</i> 2015)			

⁷ Leclerc M. 1985. Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis : application au lac Saint-Jean (Québec). Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur-ingénieur, Université de technologie de Compiègne, 294 p.

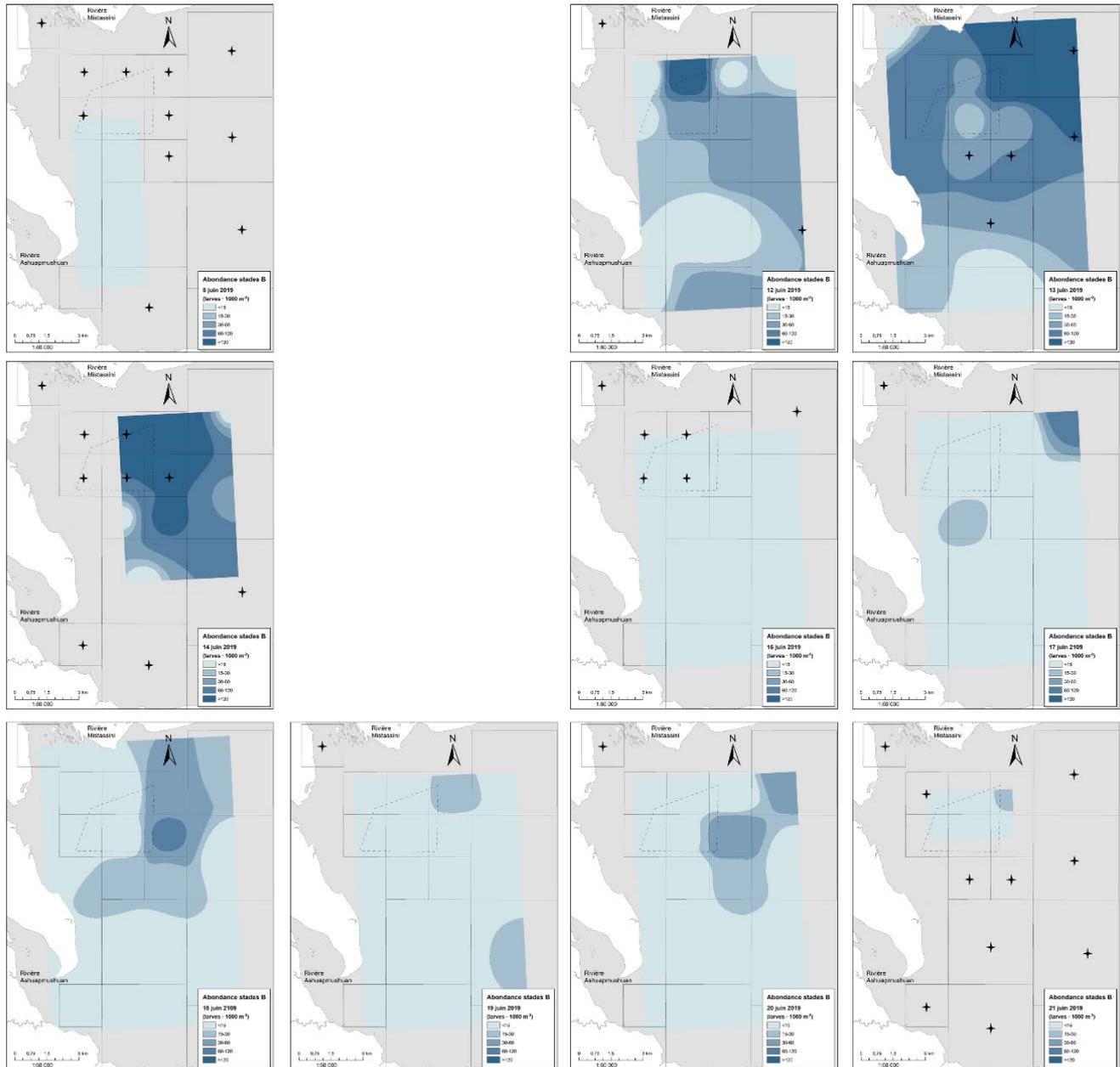
⁸ Nutz A., Schuster M., Ghienne J.-F., Roquin C., Hay M.B., Rétif F., Certain R., Robin N., Raynal O., Cousineau P.A., Team S. et Bouchette F. 2015. Wind-driven bottom currents and related sedimentary bodies in Lake Saint-Jean (Québec, Canada). GSA Bulletin, 127: 1194-1208.

⁹ Lévesque S. et Sirois P. 2013. Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 46 p.

Annexe 5a : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 8 au 21 juin 2019 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves : les fortes abondances sont représentées en bleu foncé, alors que les faibles abondances sont en bleu clair. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve.



Annexe 5b : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade B ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 8 au 21 juin 2019 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves : les fortes abondances sont représentées en bleu foncé, alors que les faibles abondances sont en bleu clair. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve.



Annexe 5c : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade $\geq C$ ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 8 au 21 juin 2019 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance des larves : les fortes abondances sont représentées en bleu foncé, alors que les faibles abondances sont en bleu clair. Les étoiles à quatre branches représentent les stations sans larve.

