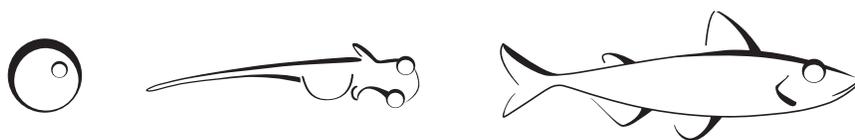


Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Bilan de l'utilisation des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean

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. (2023). Bilan de l'utilisation des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, produit pour la Corporation de L'Activité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP). Université du Québec à Chicoutimi. 43 p.

Rapport de recherche

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Université du Québec à Chicoutimi

**Bilan de l'utilisation des îlots rocheux aménagés pour la fraie de
l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean**

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

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

En partenariat avec :



RioTinto

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 techniciens stagiaires William Dulac et Florian Hoarau.

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 reproduction 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 troisième et dernier suivi au printemps 2021, le premier ayant eu lieu en 2017 et le second en 2019. 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. Deux-cent-sept (207) œufs d'éperlan, répartis sur 19 des 25 frayères aménagées, ont été récoltés du 27 avril au 17 mai 2021. Des œufs d'éperlan ont été récoltés à chaque année de suivi sur les frayères aménagées, ce qui confirme leur utilisation par l'éperlan lors de la fraie. Les frayères sont toujours en bon état cinq ans après leur construction. Tout comme dans les suivis précédents, la distribution de l'abondance des larves capturées du 7 au 29 mai 2021 montre que le foyer de production se trouvait au centre du secteur aménagé et dans ses environs rapprochés. L'abondance des larves vésiculées (stade A) est, depuis la mise en place des aménagements, plus élevée que les valeurs observées avant la construction des frayères (2013, 2014 et 2016). En outre, les aménagements semblent contribuer à une certaine vigueur du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel face aux évènements hydrologiques intenses des printemps 2017, 2018 et 2019, ainsi qu'à la forte pression de prédation de 2021.

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	7
INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX	7
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	8
IDENTIFICATION ET DÉNOMBREMENT DES ŒUFS ET DES LARVES.....	8
RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES ŒUFS D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL	9
PORTRAIT DE L'UTILISATION DES FRAYÈRES	14
RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES LARVES D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL.....	18
PORTRAIT DE L'ABONDANCE DES LARVES D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL DEPUIS L'AMÉNAGEMENT DE FRAYÈRES	23
Facteurs influençant le recrutement larvaire de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.....	26
L'hydrologie.....	27
La prédation	29
INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX	31
CONCLUSION	32
RÉFÉRENCES.....	33
ANNEXES	35

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 2021. Les stations d'échantillonnage des œufs, à l'aide de capteurs, sont identifiées par un point noir si associées 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..... 5
- 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 2 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..... 11
- Figure 3 : Évolution temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹ · capteur⁻¹) au printemps 2021 sur les 25 frayères aménagées et les deux 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). 12
- 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 (bleu), 2019 (jaune) et 2021 (rouge). La taille du cercle est proportionnelle à l'abondance cumulée des œufs pour ces trois années. Les frayères sur lesquelles aucun œuf n'a été capturé sont indiquées par un cercle barré. 17
- Figure 5 : Abondance quotidienne des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) par stade au lac Saint-Jean du 29 avril au 29 mai 2021. 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 ou l'alternance avec le suivi des œufs (le nombre de stations échantillonnées est indiqué). 19
- Figure 6 : Distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) en 2021 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. 22
- Figure 7 : Les foyers de production de l'éperlan arc-en-ciel en 2017 (bleu), 2019 (jaune) et 2021 (rouge), déterminés d'après la distribution des fortes abondances de larves de stade A âgées de moins de 2 jours (>120 larves · 1000 m⁻³), correspondent au secteur aménagé à l'hiver 2017 (délimité par le polygone pointillé). 25
- Figure 8 : Fluctuations de l'abondance des jeunes éperlans de l'année en fin d'été de 1995 à 2021 (données du MFFP). La construction des aménagements, indiquée par la section grise, a eu lieu à

- l'hiver 2017, alors que les suivis printaniers du dépôt des œufs et de l'éclosion des larves ont eu lieu aux printemps 2017, 2019 et 2021. 27
- Figure 9 : Abondance des jeunes éperlans arc-en-ciel de l'année en fin d'été (0+; $n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) 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 (Lévesque *et al.* 2018). Les débits de la rivière Péribonka proviennent du site Internet d'Énergie Électrique de Rio Tinto. Les points noirs représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (1995 à 2016), alors que les points gris représentent les valeurs après leur aménagement (années indiquées sur le graphique). 28
- Figure 10 : Relation entre l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel de l'année (0+) en fin d'été et l'indice d'abondance des saumoneaux (tirés des données du MFFP). Les points noirs représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (1995 à 2016), alors que les points gris représentent les valeurs après leur aménagement (années indiquées sur le graphique). Noter l'échelle logarithmique pour l'abondance des éperlans. 30
- Figure 11 : Photographies démontrant l'état des frayères à leur cinquième été depuis la construction. Il n'y a pas d'accumulation de sédiments visible sur les frayères (A; frayère 1), ni d'accumulations sur leurs marges (B; frayère 7). 31

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 2021. Dans les conditions idéales, l'objectif quotidien était de relever et déployer les 27 capteurs pendant l'échantillonnage des œufs (du 27 avril au 17 mai 2021) et d'effectuer un trait de filet dans les 15 secteurs d'échantillonnage des larves (du 7 au 29 mai 2021)..... 6
- Tableau 2 : Identification et dénombrement des œufs et des larves de poisson capturés au lac Saint-Jean du 27 avril au 29 mai 2021. Les œufs et les larves ont été identifiés à l'espèce. Lorsqu'il était impossible d'atteindre cette précision, des groupes au genre ou à la famille ont été créés. Le stade de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel a été déterminé d'après Cooper (1978). 8
- Tableau 3 : Distribution temporelle de la récolte des œufs au cours du printemps 2021 au lac Saint-Jean sur l'ensemble des stations échantillonnées (25 sites aménagés et 2 non-aménagés). Le nombre d'œufs sur les sites non-aménagés est indiqué entre parenthèses Au total, 207 œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés dans 21 stations différentes au cours d'une période de fraie de 18 jours. 13
- Tableau 4 : Comparaison des différents paramètres liés à la fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean pour les trois années de suivi des 25 frayères aménagées..... 16
- Tableau 5 : 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. La ligne pointillée indique la construction des frayères à l'hiver 2017..... 23

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Coordonnées des sites de déploiement des capteurs à œufs en 2021.	36
Annexe 2: Coordonnées du centre des unités d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel en 2021.	37
Annexe 3: Température de l'eau dans le périmètre aménagé au printemps, pendant les trois suivis de l'utilisation des frayères par l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. La couleur de la courbe et le type de marqueurs varient selon l'année de suivi : bleue avec cercles pleins en 2017, orange avec cercles vides en 2019 et verte avec triangles pleins en 2021. La période de la fraie de l'éperlan est indiquée pour chacune de ces années.	38
Annexe 4: Niveau du lac Saint-Jean au printemps, pendant les trois suivis de l'utilisation des frayères par l'éperlan arc-en-ciel. La couleur de la courbe et le type de marqueurs varient selon l'année de suivi : bleue avec cercles pleins en 2017, orange avec cercles vides en 2019 et verte avec triangles pleins en 2021. La période de la fraie de l'éperlan est indiquée pour chacune de ces années. Les courbes lisses en dégradés de gris représentent les débits minimums (gris pâle), médians (noir) et maximums (gris foncé) des données historiques de 1986 à 2020, selon le Centre d'expertise hydrique du Québec.	39
Annexe 5: Débit de la rivière Mistassini au printemps, pendant les trois suivis de l'utilisation des frayères par l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. La couleur de la courbe et le type de marqueurs varient selon l'année de suivi : bleue avec cercles pleins en 2017, orange avec cercles vides en 2019 et verte avec triangles pleins en 2021. 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 2021, selon le Centre d'expertise hydrique du Québec. La période de la fraie de l'éperlan arc-en-ciel est indiquée pour chacune de ces années.....	40
Annexe 6a : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A ($n = 1000 \text{ m}^{-3}$) du 14 au 29 mai 2021 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.....	41
Annexe 6b : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade B ($n = 1000 \text{ m}^{-3}$) du 14 au 29 mai 2021 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.....	42
Annexe 6c : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade C et plus ($n = 1000 \text{ m}^{-3}$) du 14 au 29 mai 2021 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.	43

INTRODUCTION

La pêche sportive au lac Saint-Jean est une activité d'importance économique et patrimoniale. 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 arc-en-ciel 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 pourrait plutôt être 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 arc-en-ciel du lac Saint-Jean fraie principalement sur le haut-fond sablonneux du nord-ouest du plan d'eau (Lévesque et Sirois 2013; 2015; 2017; 2020). L'amélioration des habitats de fraie de l'éperlan par l'aménagement d'îlots rocheux dans ce secteur a été retenue comme une approche prometteuse 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 cinquième année de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean à la suite de l'implantation des îlots rocheux et la dernière année de suivi des frayères aménagées à l'hiver 2017.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le suivi du printemps 2021 a repris le secteur à l'étude employé pour le suivi de 2017 et 2019, ainsi que les mêmes méthodes d'échantillonnage et de traitement des données (Lévesque et Sirois 2017; 2020). Seules les modifications à ce protocole, ou encore les paramètres d'échantillonnage propres au suivi 2021, 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 2021 sont presque identiques à ceux de 2019 (figure 1; coordonnées aux annexes 1 et 2). La différence réside dans l'absence de la station Extra2, un site non aménagé de déploiement de capteur à œufs. Cette station était peu propice à l'échantillonnage en raison du faible niveau du lac pendant la période de ponte des éperlans.

TEMPÉRATURE DE L'EAU

Le thermographe (Starmon TD, Star-Oddi) a été déployé du 27 avril au 29 mai 2021, à environ 2 m de profondeur, à proximité des frayères des plus faibles élévations (figure 1; 48,67806° N; 72,28517° O).

ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES ŒUFS

Les capteurs à œufs doivent être déployés pour un minimum d'une journée avant d'être relevés, inspectés et remis en place. Ils ont été employés pendant une période de 21 jours au cours de laquelle la température de l'eau était favorable à la fraie de l'éperlan. L'optimum de température pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel se situe entre 6 et 10 C (Lévesque 2012), mais les données du lac Saint-Jean montrent que la fraie peut avoir lieu entre 5 et 14 C (tableau 4). Les capteurs ont été maintenus en place jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'œufs pendant quelques jours consécutifs. Au cours de cette période, il y a eu 245 vérifications de capteurs sur les 27 stations (une par îlot et deux sur des sites non-aménagés; 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 pour deux raisons : d'abord à cause de conditions météorologiques difficiles rencontrées certains jours d'échantillonnage (vents forts et vagues), ensuite à cause du chevauchement des deux méthodes d'échantillonnage. En se basant strictement sur la température de l'eau du lac, la fraie de l'éperlan aurait pu débuter directement après le dégel du lac, le 16 avril. Il s'agissait d'une date excessivement hâtive et l'alternance entre les capteurs à œufs et les traits de push-net à partir du 7 mai visait à détecter les éclosions de larves attendues s'il y avait effectivement eu fraie de l'éperlan suivant le dégel.

Pour pallier à ces pauses dans 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 2 sites non-aménagés a été illustré sous forme d'histogramme (figure 3).

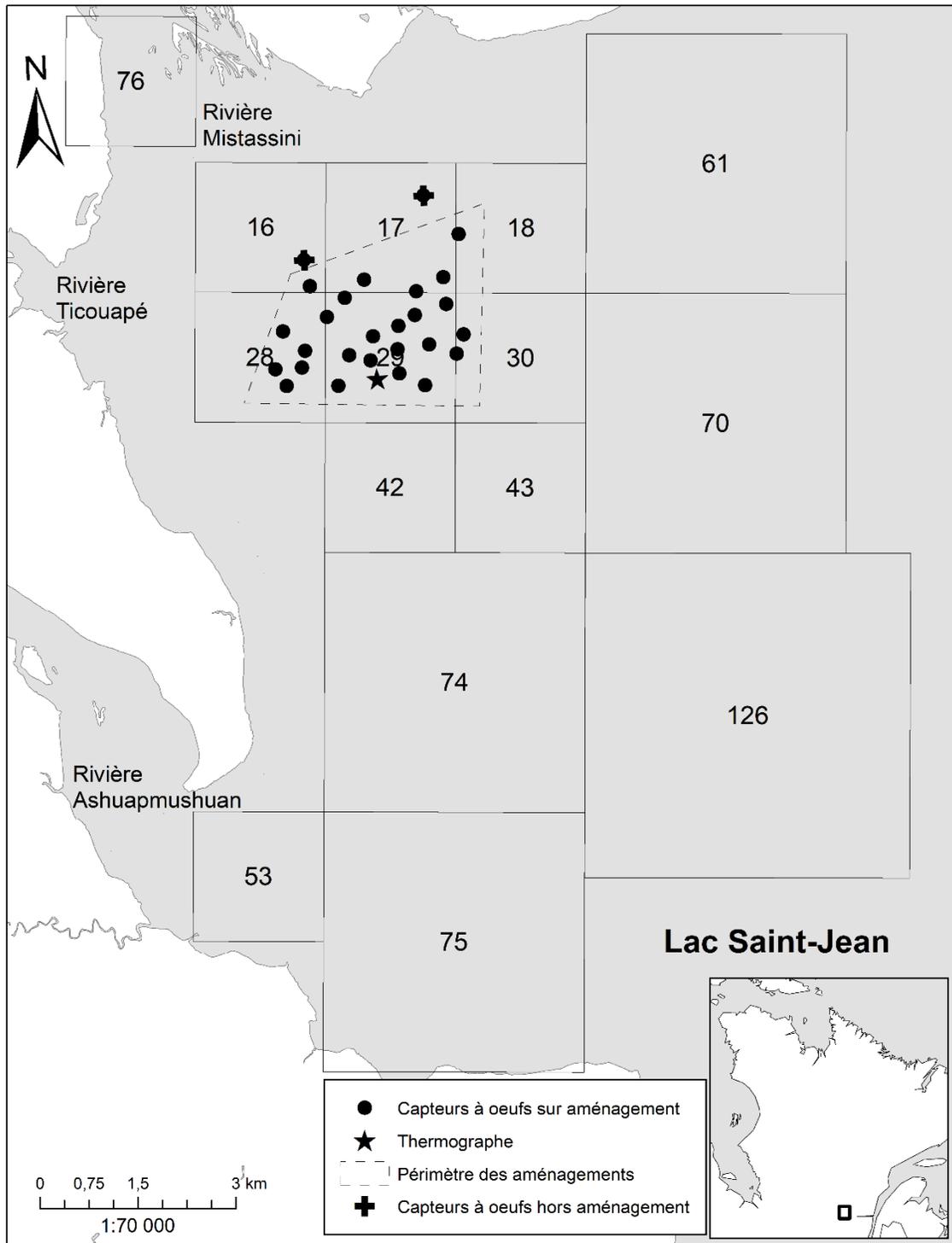


Figure 1 : Grille de suivi des îlots rocheux aménagés pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean, au printemps 2021. Les stations d'échantillonnage des œufs, à l'aide de capteurs, sont identifiées par un point noir si associées à un aménagement ou une croix lorsque sur un site non-aménagé. 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 2021. Dans les conditions idéales, l'objectif quotidien était de relever et déployer les 27 capteurs pendant l'échantillonnage des œufs (du 27 avril au 17 mai 2021) et d'effectuer un trait de filet dans les 15 secteurs d'échantillonnage des larves (du 7 au 29 mai 2021).

Date	Capteurs à œufs		Push-net Traits
	Relève	Pose	
27 avril 2021	0	20	
28 avril 2021	13	16	
29 avril 2021	23	25	
30 avril 2021	21	23	2
1 ^{er} mai 2021	0	0	
2 mai 2021	0	0	
3 mai 2021	27	27	2
4 mai 2021	26	26	2
5 mai 2021	0	0	
6 mai 2021	0	0	
7 mai 2021			15
8 mai 2021	27	27	
9 mai 2021			15
10 mai 2021	27	27	
11 mai 2021			15
12 mai 2021	27	27	
13 mai 2021	0	0	
14 mai 2021			15
15 mai 2021	27	27	
16 mai 2021			15
17 mai 2021	27	0	
18 mai 2021			1
19 mai 2021			15
20 mai 2021			15
21 mai 2021			15
22 mai 2021			15
23 mai 2021			6
24 mai 2021			15
25 mai 2021			0
26 mai 2021			1
27 mai 2021			0
28 mai 2021			7
29 mai 2021			15
33 jours d'échantillonnage	245 relèves	245 poses	186 traits

ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES LARVES

Du 30 avril au 4 mai 2021, les unités d'échantillonnage 53 et 29 (respectivement à l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan et au centre du secteur aménagé) ont fait l'objet d'un échantillonnage de veille étant donné leur importance stratégique pour le suivi de l'éclosion des larves d'éperlan arc-en-ciel (figure 1 et tableau 1). L'échantillonnage de la grille complète (15 unités d'échantillonnage) a d'abord débuté en alternance avec la relève des capteurs à œufs du 7 au 17 mai, pour devenir un suivi quotidien du 18 au 29 mai 2021. Au total, 186 traits de filet (push-net) ont été effectués au cours des 33 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 23 juillet 2021 (niveau du lac à 101,18 m) afin de constater l'état de la sédimentation sur des frayères après quatre ans et demi d'implantation. Une sélection de 6 frayères aménagées sur les 25 existantes a été retenue pour l'inspection (les frayères 1, 6, 7, 9, 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 27 avril au 29 mai 2021. Elle a été divisée en deux phases : l'échantillonnage des œufs et celui des larves. Au total, 215 œufs ont été récoltés en 245 déploiements de capteurs du 27 avril au 17 mai (tableaux 1 et 2). La grande majorité d'entre eux étaient des œufs d'éperlan arc-en-ciel (207). Les 8 autres œufs appartenaient vraisemblablement à une même espèce, mais n'ont pu être formellement identifiés. Il s'agissait d'œufs de grande taille (2,4 mm de diamètre en moyenne), qui ressemblaient aux œufs d'espèces autres rapportés en 2017 et 2019.

Tableau 2 : Identification et dénombrement des œufs et des larves de poisson capturés au lac Saint-Jean du 27 avril au 29 mai 2021. Les œufs et les larves ont été identifiés à l'espèce. Lorsqu'il était impossible d'atteindre cette précision, des groupes au genre ou à la famille 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		215
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	207
Autre espèce		8
Nombre de larves capturées		4012
Éperlan arc-en-ciel		3286
Stade A		916
Stade B		1050
Stade \geq C		747
Non-stadés (mauvais état)		573
Autres espèces		726
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	548
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	135
Grand Corégone et/ou Cisco de lac	<i>Coregonus sp.</i>	21
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>	13
Lotte	<i>Lota lota</i>	2
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>	2
Cyprinidé	<i>Cyprinidae</i>	1
Meunier noir et/ou meunier rouge	<i>Catostomus sp.</i>	1
Poulamon atlantique	<i>Microgadus tomcod</i>	1
Indéterminé (mauvais état)		2

Les 186 traits de filet effectués du 30 avril au 29 mai 2021 ont permis de récolter 4 012 larves de poisson, dont 82 % étaient des éperlans (tableau 2). Les autres principales espèces présentes dans l'échantillonnage étaient la perchaude, le doré jaune, les corégonidés (grand corégone et/ou cisco de lac) et le fouille-roche zébré, avec respectivement 548, 135, 21 et 13 larves. Certaines espèces étaient moins abondantes, comme la lotte et l'omisco (2 larves de chacune de ces espèces), ainsi que les cyprinidés et les catostomidés (1 larve par regroupement). Enfin, deux larves étaient en trop mauvais état pour être identifiées. Exceptionnellement cette année, une larve de poulamon atlantique a été capturée le 7 mai dans l'unité d'échantillonnage 61 (figure 1), précédant de 9 jours l'apparition des premières larves d'éperlan. Bien que cette espèce soit connue dans le lac Saint-Jean, c'est la première fois qu'un individu de stade larvaire y est capturé. Le poulamon fraie l'hiver à l'embouchure des rivières et les larves éclosent environ un mois après la ponte (Desroches et Picard 2013). L'échantillonnage des larves d'éperlan a débuté très tôt en 2021 étant donné le dégel hâtif du lac et c'est probablement pourquoi il a été possible de détecter ce poulamon de l'année.

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

Des œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés sur 19 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 35 œufs ont été récoltés sur les deux sites non-aménagés (tableau 3).

Les frayères 14, 1 et 11 présentent le plus de captures par unité d'effort (CPUE), avec respectivement 1,7, 1,4 et 1 œuf d'éperlan par jour de pêche (figure 2; coordonnées à l'annexe 1). La forte abondance d'œufs d'éperlan sur la frayère 14 est également observée à la station 20H, ce qui confirme que la fraie de l'éperlan ne se limite pas aux frayères aménagées. Enfin, des œufs ont été capturés dans toute l'étendue des profondeurs échantillonnées, des sites les moins profonds (20H et 11H; élévation 99,5 m) au site le plus profond (24; élévation 98,3 m).

Au printemps 2021, le lac Saint-Jean s'est libéré de ses glaces le 16 avril, devançant de trois semaines la date médiane de dégel (9 mai). Cet événement exceptionnellement hâtif a eu pour conséquence de devancer la fraie de l'éperlan. Fait intéressant, l'amplitude du devancement a été moindre que ce à quoi il aurait été possible de s'attendre en se basant uniquement sur l'atteinte de la température appropriée de l'eau pour le début de la fraie de l'éperlan. En 2017 et 2019, les premiers œufs sur les capteurs ont été relevés à 6 et 5 °C respectivement, alors que les premiers œufs de 2021 ont été récoltés à 8 °C (tableau 4). Ce constat suggère que la température de l'eau peut être utilisée comme indicateur de la fraie seulement lorsque les conditions sont normales. Au final, l'éperlan a profité du refroidissement de l'eau dans les journées suivant la récolte des premiers œufs (figure 3). La fraie a eu lieu sur 18 jours, du 30 avril au 17 mai (température de l'eau entre 7 et 14 °C) et le pic d'activité a été concentré entre le 1^{er} et le 12 mai (température de l'eau entre 7 et 11 °C; tableau 3). La température optimale pour la fraie de l'éperlan arc-en-ciel se situe entre 6 et 10 °C (Lévesque 2012).

Enfin, huit œufs appartenaient vraisemblablement à une espèce autre que l'éperlan ont été capturés sur les aménagements pendant la période de fraie de l'éperlan (tableaux 2 et 3). Il s'agit de gros œufs de 2,4 mm de diamètre en moyenne présents du 8 au 12 mai sur seulement deux frayères (2 et 3). La température de l'eau à cette période variait entre 8 et 11 °C.

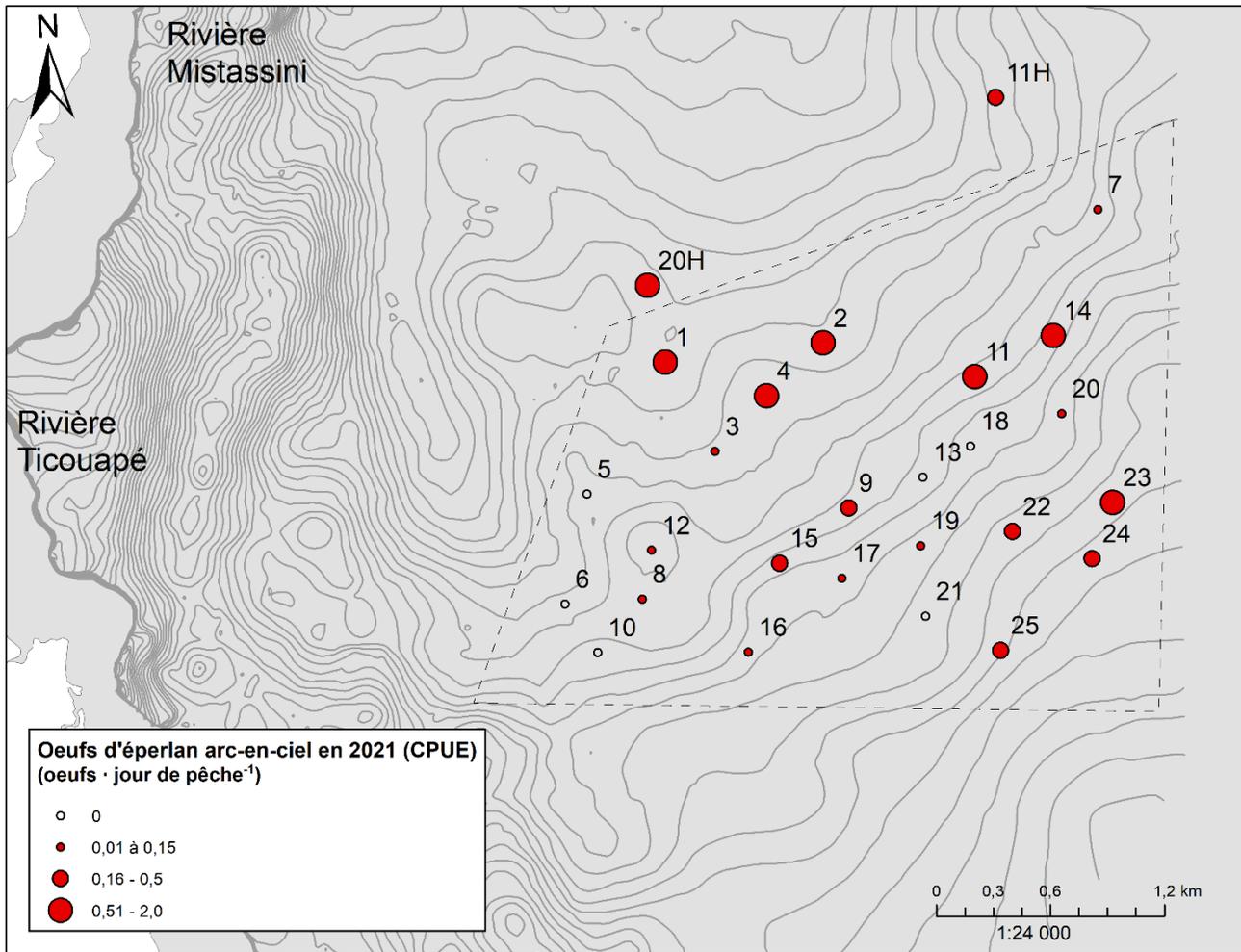


Figure 2 : Répartition spatiale de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹) sur les 25 frayères aménagées (à l'intérieur du périmètre pointillé) et les 2 sites non-aménagés (hors du périmètre pointillé) au lac Saint-Jean. Les cercles vides correspondent aux stations sans œuf, 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.

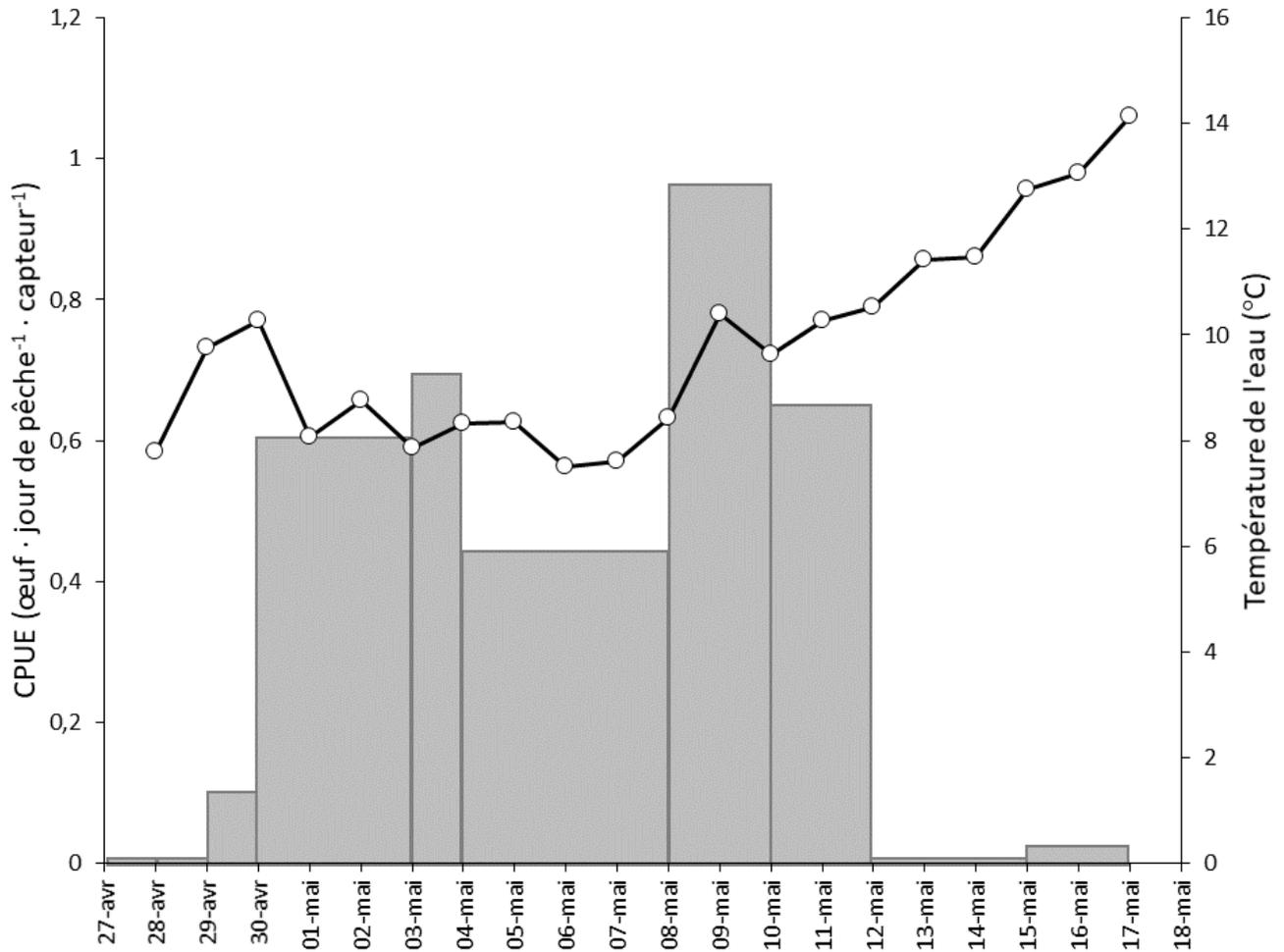


Figure 3 : Évolution temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹ · capteur⁻¹) au printemps 2021 sur les 25 frayères aménagées et les deux sites non-aménagés au lac Saint-Jean (barres grises). La température de l'eau pendant le déploiement des capteurs a varié de 5 à 14 °C (cercles blancs reliés par un trait noir).

Tableau 3 : Distribution temporelle de la récolte des œufs au cours du printemps 2021 au lac Saint-Jean sur l'ensemble des stations échantillonnées (25 sites aménagés et 2 non-aménagés). Le nombre d'œufs sur les sites non-aménagés est indiqué entre parenthèses. Au total, 207 œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés dans 21 stations différentes au cours d'une période de fraie de 18 jours.

Date de relève des capteurs	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			
28 avril	0	0	13	0	13	7,8	Pose du 27 avril au 3 mai
29 avril	0	0	23	0	30	9,7	
30 avril	2	0	21	2	21	10,3	
1 ^{er} mai			0			8,1	Vents forts
2 mai			0			8,8	Vents forts
3 mai	51(22)	0	27	7	85	7,9	
4 mai	18(2)	0	26	5	26	8,3	
5 mai			0			8,4	Vents forts
6 mai			0			7,5	Vents forts
7 mai						7,6	Éch. larves
8 mai	48(7)	4	27	13	109	8,4	
9 mai						10,4	Éch. larves
10 mai	52(1)	0	27	6	54	9,6	
11 mai						10,3	Éch. larves
12 mai	35(3)	4	27	10	54	10,5	
13 mai			0			11,4	Vents forts
14 mai						11,5	Éch. larves
15 mai	0	0	27	0	81	12,7	
16 mai						13,1	Éch. larves
17 mai	1	0	27	1	54	14,1	Relève
Fraie sur 18 jours	207 œufs d'éperlan arc-en-ciel	8 œufs d'autres espèces	245 relèves	19 sites aménagés et 2 sites non-aménagés	527 jours · capteurs	Entre 7 et 14 °C	

PORTRAIT DE L'UTILISATION DES FRAYÈRES

Les trois années de suivi, échelonnées entre la première et la cinquième saison de reproduction depuis l'aménagement des frayères, ont mis en évidence la variabilité des paramètres associés à la fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (tableau 4). Ces paramètres sont tous liés, puisque le dégel annonce le réchauffement de l'eau du lac, la crue des rivières et la montée rapide du niveau du réservoir. Le dégel du lac Saint-Jean en 2017 a eu lieu le 9 mai, soit la date médiane (données depuis 1916¹), alors qu'il a été très tardif en 2019 (19 mai) et très hâtif en 2021 (16 avril; tableau 4). Par conséquent, la fraie de l'éperlan en 2017 a calqué la trajectoire attendue, c'est-à-dire le début de la fraie une semaine après le dégel alors que l'eau atteint 6 °C (Lévesque 2012; annexe 3). La fraie de 2019 a débuté dès le dégel tardif avec une eau plus fraîche que la température de fraie optimale (5,1 °C), alors que la fraie de 2021 a débuté deux semaines après le dégel alors que le réchauffement de l'eau était déjà bien amorcé (10,3 °C). La fraie a pris fin alors que l'eau a atteint 12 à 14 °C, pour une durée de 11 à 22 jours selon les années. Cette durée correspond à ce qui a été observé pour des populations d'éperlan dulcicole ailleurs dans le monde (Lévesque 2012). Enfin, le niveau du lac Saint-Jean pendant la fraie de l'éperlan a atteint des sommets pendant la fraie de 2017 et la première moitié de celle de 2019 (annexe 4). Le niveau du lac en 2021 était plus bas qu'à l'habitude pendant la fraie de l'éperlan. Paradoxalement, comme la fraie a eu lieu environ deux semaines avant la date habituelle étant donné le printemps exceptionnellement hâtif, les niveaux enregistrés pendant cette période étaient nettement au-dessus de la médiane pour le début du mois de mai.

Un plus grand nombre d'œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés en 2021, que lors des suivis précédents de 2017 et 2019. Cependant les œufs de 2021 ont été obtenus à l'issue d'un effort plus grand que celui fourni au printemps 2017. Par conséquent, les œufs d'éperlan étaient plus abondants au printemps 2021 qu'au printemps 2019, mais moins abondants qu'au printemps 2017 (respectivement 0,39, 0,20 et 0,47 œuf · jour-captateur⁻¹; tableau 4). Le succès de récolte des œufs demeure en moyenne dix fois meilleur qu'en 2014 lors de la recherche des sites de fraie dans le même secteur (0,03 œuf · jour-captateur⁻¹; Lévesque et Sirois 2015). Ces résultats confirment encore une fraie importante sur les îlots rocheux et dans leurs environs.

¹ Un amalgame de sources citoyennes historiques rassemblées sur le site www.departdesglaces.org. Depuis les années 1970, le dégel du lac est confirmé par Air Roberval, lorsque 70% de la surface du lac est libre de glace.

Le nombre d'œufs déposés doit être interprété comme un indicateur plutôt qu'une estimation fiable de la déposition, 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 4). Plus d'aménagements ont été utilisés par les éperlans reproducteurs en 2021 et 2019 qu'en 2017. Aussi, une plus grande proportion de ces aménagements a été utilisée de manière récurrente en 2021 et 2019. C'est-à-dire que des œufs d'éperlan ont été récoltés à une reprise ou plus sur 18 et 19 des 25 frayères aménagées en 2019 et 2021, contre 11 en 2017. Bref, après une première année d'acclimatation en 2017, il semble que la fréquentation des aménagements par les éperlans ait augmenté en 2019 et se soit stabilisée depuis.

La figure 4 illustre la répartition spatiale des œufs d'éperlan arc-en-ciel sur les 25 frayères et les trois sites non-aménagés (seulement 2 en 2021) de 2017 à 2021. Les frayères les plus à l'ouest du périmètre aménagé ont été généralement moins fréquentées que les autres. L'hypothèse initiale était que ce secteur du périmètre aménagé avait été sous l'influence de plus forts courants qu'à l'habitude en raison des débits exceptionnellement élevés de la rivière Mistassini au moment de la fraie de l'éperlan² de 2017 et 2019, ce qui aurait pu rendre le secteur moins attractif. Or cette situation a perduré en 2021, alors que les débits de la rivière Mistassini étaient cette fois exceptionnellement bas lors de la fraie (annexe 5). Par conséquent, le débit de la rivière Mistassini ne semble pas être le facteur influençant la fréquentation de ce secteur par l'éperlan lors de la fraie.

²Données historiques du débit de la rivière Mistassini du Centre d'expertise hydrique du Québec au cehq.gouv.qc.ca.

Tableau 4 : Comparaison des différents paramètres liés à la fraie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean pour les trois années de suivi des 25 frayères aménagées.

	2017	2019	2021
<i>Date du dégel</i>	9 mai	19 mai	16 avril
<i>Début de la fraie</i>			
Date	16 mai	19 mai	30 avril
Température de l'eau (°C)	6,5*	5,1	10,3
Niveau du lac (m)	101,66	101,23	100,80
<i>Fin de la fraie</i>			
Date	27 mai	10 juin	17 mai
Température de l'eau (°C)	12,0	13,9	13,5
Niveau du lac (m)	101,39	101,53	101,08
<i>Durée de la fraie (jours)</i>	11	22	17
<i>Nombre d'oeufs</i>			
N total	217	314	215
N osmo	186	144	207
N autres	31	170	8
N osmo sur frayère	135	127	172
N autres sur frayère	30	169	8
<i>Effort (jour-capteur)</i>	396	720	527
<i>CPUE ($n \cdot \text{jour-capteur}^{-1}$)**</i>	0,47	0,20	0,39
<i>Fréquence d'utilisation des frayères**</i>			
N frayères non utilisées	14	7	6
N frayères utilisées 1 fois	7	7	7
N frayères utilisées 2 fois	4	5	8
N frayères utilisées 3 fois	0	5	3
N frayères utilisées 4 fois	0	1	1
<i>Fréquence d'utilisation des sites non-aménagés**</i>			
N site non utilisés	2	0	0
N sites utilisés 1 fois	0	0	0
N sites utilisés 2 fois	1	2	1
N sites utilisés 3 fois	0	1	0
N sites utilisés 4 fois	0	0	1

* Estimé, la température réelle était probablement plus basse.

** Œufs d'éperlan arc-en-ciel seulement.

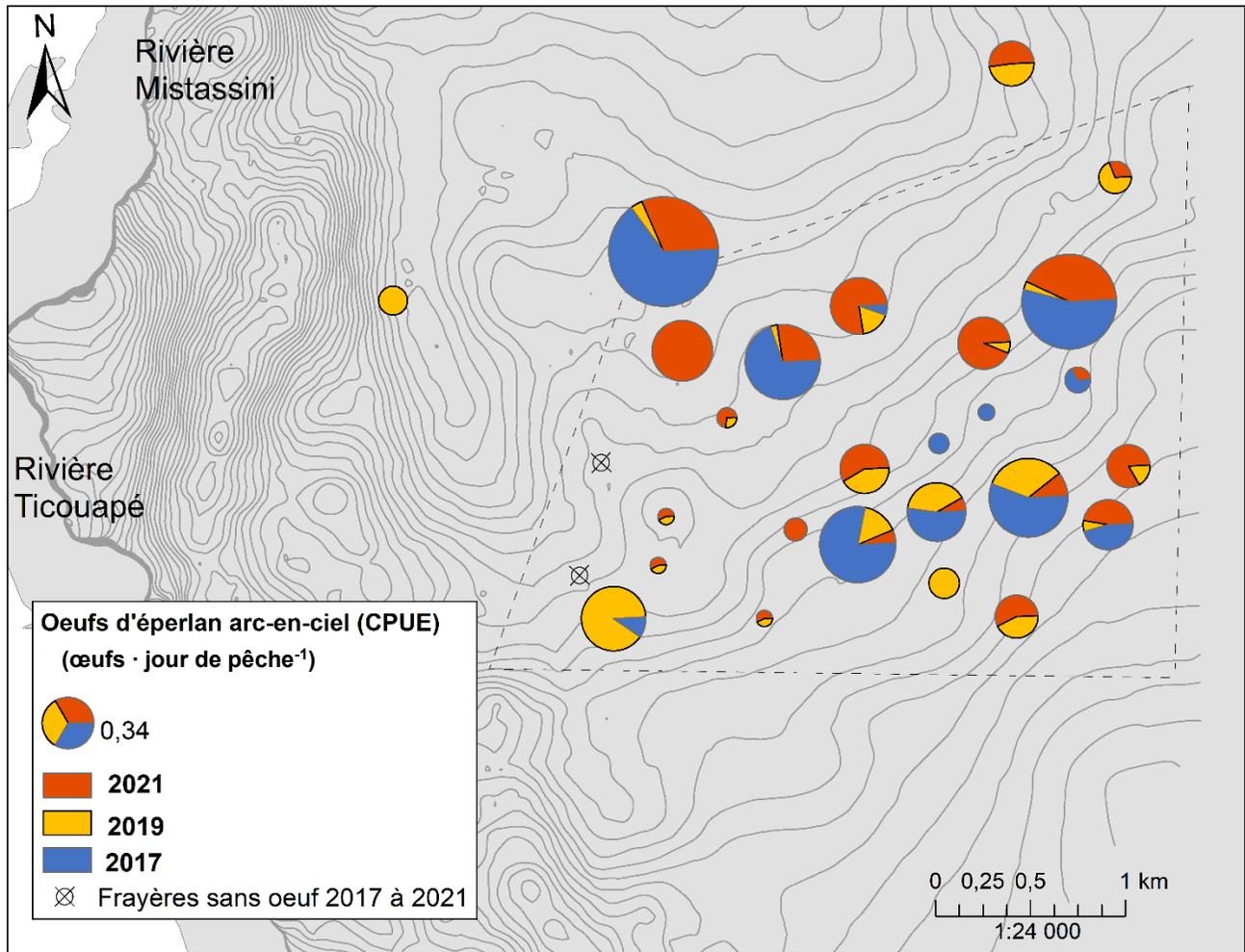


Figure 4 : Répartition spatiale de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel (œufs · jour de pêche⁻¹) sur les 25 frayères et les 3 stations non-aménagées au lac Saint-Jean au cours des fraies des printemps 2017 (bleu), 2019 (jaune) et 2021 (rouge). La taille du cercle est proportionnelle à l'abondance cumulée des œufs pour ces trois années. Les frayères sur lesquelles aucun œuf n'a été capturé sont indiquées par un cercle barré.

Finalement, seulement huit œufs d'espèce autre que l'éperlan ont été récoltés en 2021, ce qui représentait 2 % du total des œufs dénombrés. Étant donnée leur faible occurrence, il n'a pas été possible de procéder à l'incubation de plusieurs spécimens afin de déterminer une fois pour toutes à quelle(s) espèce(s) appartenaient les œufs catégorisés dans autre.

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

Tel que mentionné plus tôt, le dégel du lac Saint-Jean a été hâtif en 2021 et l'eau du lac a atteint des températures propices à la fraie de l'éperlan arc-en-ciel dès le 18 avril (6,1 °C à la prise d'eau de la ville de Roberval, comm. pers.). Pour s'assurer de pas manquer l'éclosion, l'échantillonnage de veille des larves dans la rivière Ashuapmushuan et au centre du secteur aménagé a débuté très tôt et des journées d'échantillonnage des larves ont été intercalées avec celles des œufs d'éperlan. À posteriori, il est cependant possible de confirmer que les dates d'éclosion des larves sont cohérentes avec celles de la ponte observée (152 degrés-jours entre les premiers œufs récoltés et les premières larves capturées alors qu'il faut en moyenne 156 degrés-jours aux œufs d'éperlan pour éclore; Gagnon 2005). Il n'y a donc pas eu de ponte dès le dégel.

Les premières larves d'éperlan de stade A (moins de 2 jours de vie) ont été capturées le 16 mai 2021, soit 16 jours après la détection des premiers œufs, au centre et directement au sud du secteur aménagé ainsi qu'à l'embouchure des rivières Ashuapmushuan et Mistassini (figure 5; annexe 6a). Le même jour, quelques larves de stade B (environ 2 jours de vie) ont aussi été récoltées dans les stations de rivières ainsi que dans la station juste au sud du secteur aménagé (annexe 6b). Il est donc fort probable que l'éclosion ait débuté dès le 15 mai, mais les données ne sont pas disponibles pour le confirmer étant donné l'alternance entre l'échantillonnage des œufs et des larves pendant la période du 7 au 17 mai (tableau 3; figure 5). Il n'y avait cependant aucune larve d'éperlan dans l'ensemble des 15 stations échantillonnées le 14 mai.

La figure 5 montre le pic d'éclosion des larves du 19 au 21 mai, cependant il est plausible que ce pic ait débuté dès le 18 mai. Ce jour-là, une seule station a pu être échantillonnée (station 28) à cause des forts vents, mais les larves y étaient très abondantes (234 larves · 1000 m⁻³). De plus, les larves de stade B étaient à leur apogée les 19 et 20 mai, contribuant ainsi à appuyer l'hypothèse d'une forte éclosion de larves dès le 18 mai (et peut-être même le 17, sans donnée de larve car journée d'échantillonnage des œufs).

Les larves de stade A ont à toute fins pratiques disparu des échantillons à partir du 22 mai, à l'exception de deux stations : la station 29 le 22 mai et la station 75 le 24 mai (figure 5; annexe 6a). La station 29 correspond à la dernière détection de larves dans le périmètre aménagé et ses alentours et la station 75 à l'arrivée en lac des dernières larves produites dans la rivière Ashuapmushuan. Les dernières larves d'éperlan de stade B ont été capturés le 24 mai et les stades C étaient présents jusqu'au dernier jour de l'échantillonnage, le 29 mai.

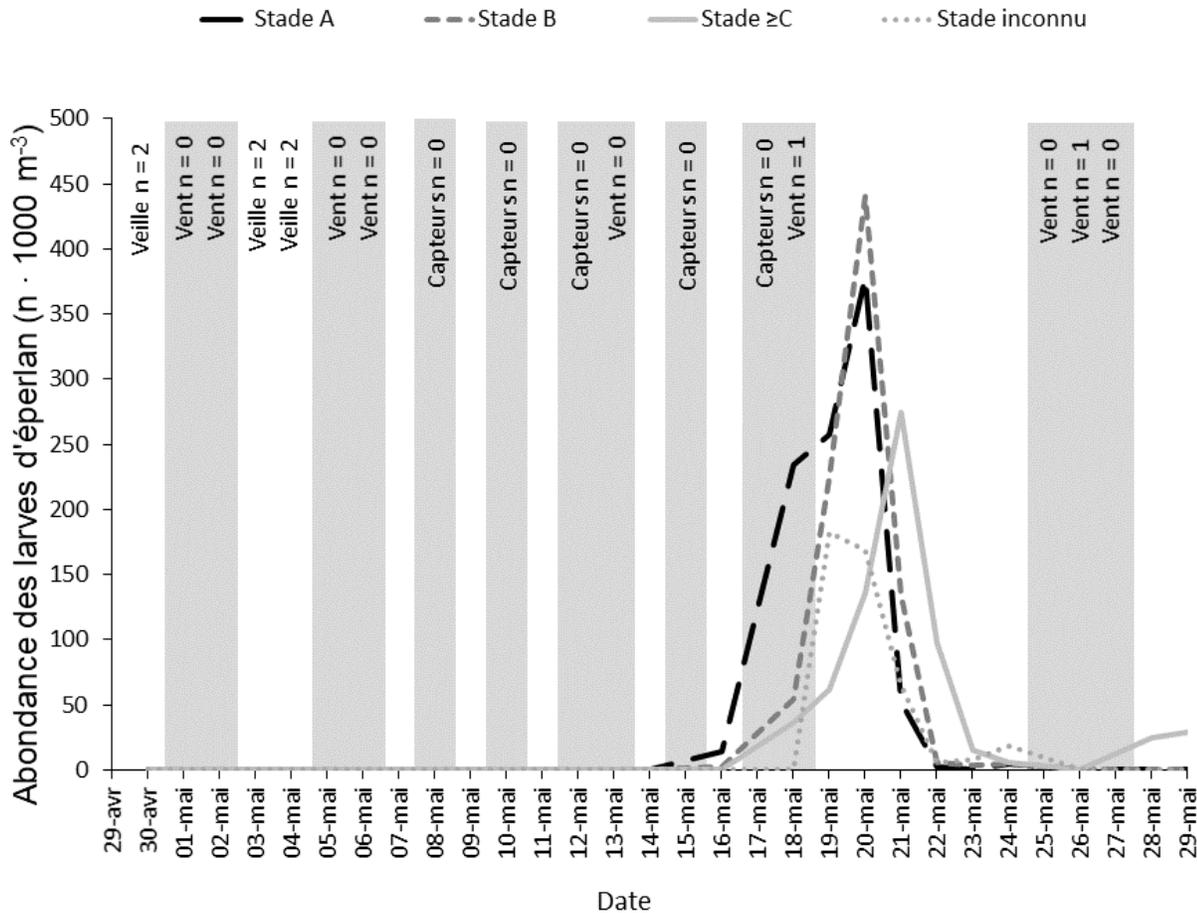


Figure 5 : Abondance quotidienne des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) par stade au lac Saint-Jean du 29 avril au 29 mai 2021. Le trait discontinu noir correspond à l'abondance des larves de stade A, le trait discontinu gris à celle des larves de stades B, le trait plein gris à celle des 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 ou l'alternance avec le suivi des œufs (le nombre de stations échantillonnées est indiqué).

La distribution de l'abondance des larves d'éperlan de stade A durant la période d'échantillonnage confirme les deux foyers de production de l'éperlan arc-en-ciel dans le nord-ouest du lac Saint-Jean : le secteur aménagé et la rivière Ashuapmushuan (figure 6A). Les plus fortes abondances se situaient au centre du secteur aménagé et ses alentours, reflétant l'effet combiné de la direction du vent et des courants le jour de l'échantillonnage. Les patrons de dérive larvaire dans le secteur étudié ont été conceptualisés dans le rapport précédent (Lévesque et Sirois 2020). Plus spécifiquement, les vents ont passé du nord-ouest, au sud-ouest, et encore au nord-ouest³ pendant la période d'éclosion de 2021. L'effet de rétention créé par les vents du sud-ouest pendant le pic d'éclosion a contribué à repousser des larves A dans la station 17 tout juste au nord du centre du secteur aménagé, ainsi qu'à étendre la dispersion des larves A un peu plus à l'ouest qu'à l'habitude (stations 28), hors de la dérive nord-sud attribuable aux courants dominants. Les fortes abondances de larves A dans la station 43, juste au sud-est du secteur aménagé, étaient quant à elles attribuables à la poussée du vent du nord-ouest pendant le pic d'éclosion. La distribution de l'abondance des larves B était similaire à celle des larves de stade A, alors que la distribution des larves C témoignait de la dérive des larves avec les courants, du nord vers le sud de la région échantillonnée.

Il est intéressant de noter la présence importante des larves d'éperlan en rivière en 2021. Cette année encore, la rivière Ashuapmushuan constituait un foyer de production de larves d'éperlan. De plus, plusieurs larves A ont été récoltées dans la rivière Mistassini, alors que leur présence y était anecdotique dans les suivis de 2017 et 2019. Enfin, un échantillonnage exploratoire dans la rivière Péribonka le 24 mai, a rapporté une abondance très élevée de larves A. Cette situation était exceptionnelle puisque les larves d'éperlan étaient rares dans la rivière Péribonka lors de la recherche des foyers de fraie dans tout le nord du lac Saint-Jean (Lévesque et Sirois 2013), ainsi que lors de visites exploratoires subséquentes (2014, 2017 et 2019). Cette présence importante des larves d'éperlan en rivières pourrait être attribuable aux très faibles débits qui ont caractérisé le printemps 2021 (annexe 5).

Enfin, il importe de rappeler que la figure 6 et les annexes 6a, 6b et 6c 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

³Données de la station de Roberval tirées des données climatiques historiques d'Environnement et Changement climatique Canada au climat.meteo.gc.ca.

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.

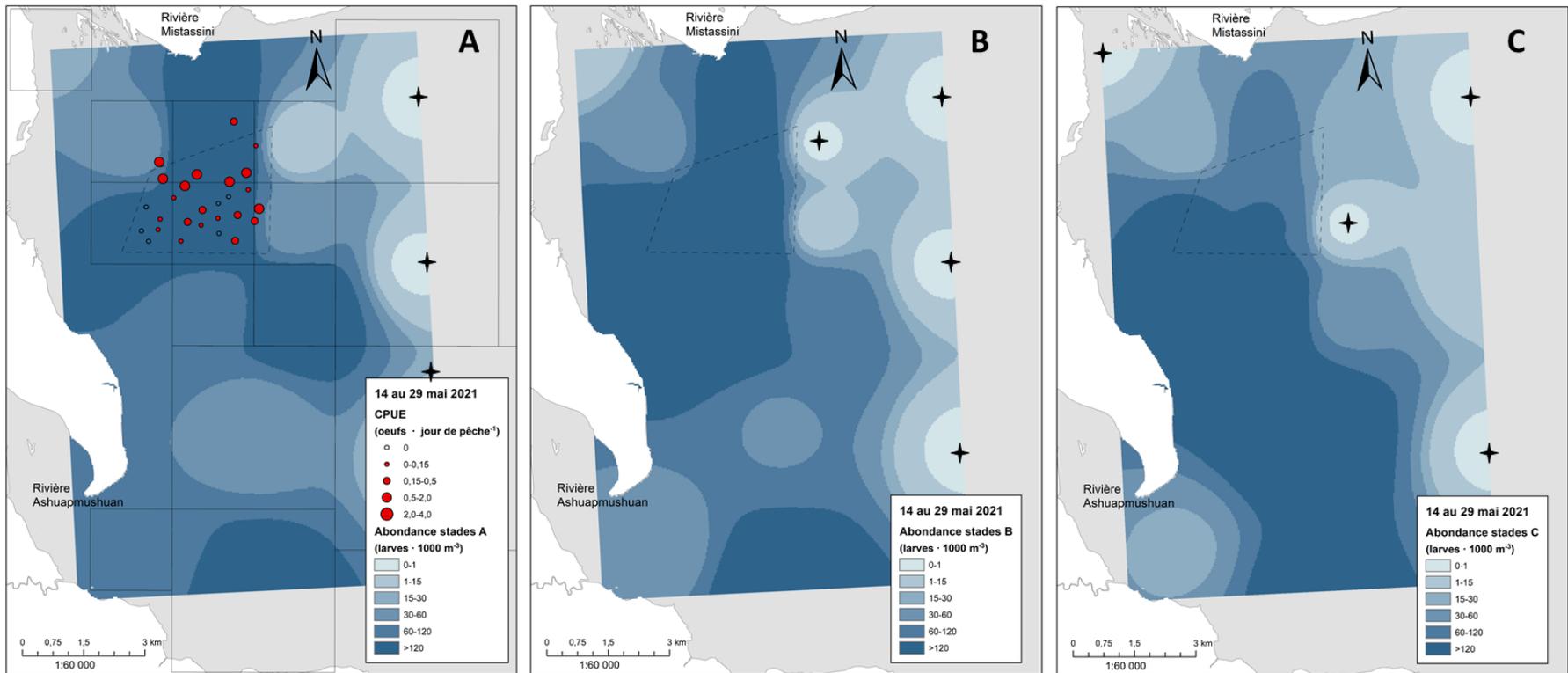


Figure 6 : Distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m⁻³) en 2021 au lac Saint-Jean selon leur stade de développement durant l'ensemble de la période d'échantillonnage des larves : (A) les larves de stade A âgées de moins de 2 jours, (B) les stades B d'environ 2 jours 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 ARC-EN-CIEL DEPUIS L'AMÉNAGEMENT DE FRAYÈRES

Les larves d'éperlan arc-en-ciel de stades A étaient plus abondantes dans les trois suivis après l'aménagement des frayères (2017 à 2021) que dans les trois campagnes d'échantillonnage qui ont précédé les travaux (2013 à 2016; tableau 5). Pour arriver à ce constat, seules les stations des échantillonnages de 2013, 2014, 2016, 2017, 2019 et 2021 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; 2017; 2020). Cette région correspond aux secteurs échantillonnés dans le cadre du suivi des aménagements (figure 1). Le printemps 2021 se démarque avec des abondances élevées de larves d'éperlan, que ce soit des stades A ou tous les stades confondus (tableau 5 et figure 7).

Tableau 5 : 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. La ligne pointillée indique la construction des frayères à l'hiver 2017.

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
2021	13	116	109,9	400,1	82

La distribution des grandes abondances de larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A dans le lac Saint-Jean est utilisée comme indicateur des foyers de production de l'éperlan en lac. Cette méthode a d'abord permis de mettre en évidence les foyers existant avant l'implantation des aménagements, le principal sur les hauts-fonds de sable du nord-ouest et un secondaire dans la rivière Ashuapmushuan (Lévesque et Sirois 2013). Il était alors primordial de situer ces foyers parce que la proximité de frayères existantes maximiserait les chances de réussites des aménagements envisagés. Les foyers de production de l'éperlan exposés par les suivis de 2017, 2019 et 2021 sont cohérents avec ceux identifiés en 2013. Comme souligné dans le tableau 5, l'abondance des larves dans le foyer de production des hauts-fonds est plus marquée depuis la construction des frayères. D'une année à l'autre depuis les aménagements, ce foyer se retrouve au centre du secteur aménagé et ses environs, selon le régime de vent prévalant lors de l'éclosion des larves (figure 7; Lévesque et Sirois 2017; 2020).

Trois constats positifs peuvent donc être tirés du suivi des aménagements : d'abord les frayères sont utilisées par les éperlans, ensuite la production de larves d'éperlan épouse le secteur aménagé et enfin l'abondance des larves fraîchement écloses dans ce secteur est en augmentation depuis la construction des frayères.

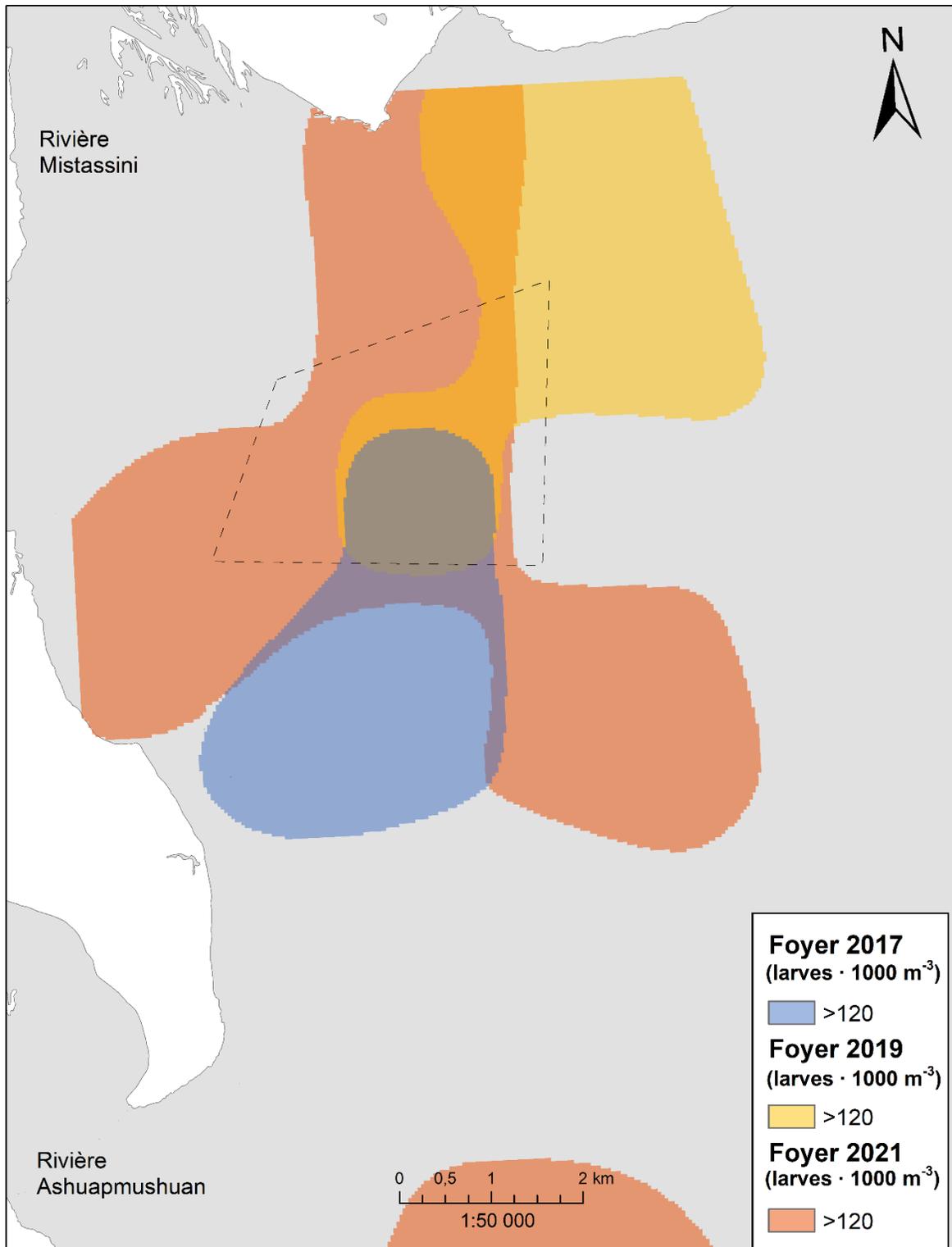


Figure 7 : Les foyers de production de l'éperlan arc-en-ciel en 2017 (bleu), 2019 (jaune) et 2021 (rouge), déterminés d'après la distribution des fortes abondances de larves de stade A âgées de moins de 2 jours (>120 larves · 1000 m⁻³), correspondent au secteur aménagé à l'hiver 2017 (délimité par le polygone pointillé).

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

L'augmentation de la productivité de l'éperlan arc-en-ciel mesurée au printemps ne se répercute pas directement sur l'abondance de l'éperlan de l'année (0+) mesurée en fin d'été dans le cadre du suivi annuel de la ressource réalisé par le MFFP (figure 8; méthode décrite dans Legault 1998). Trois cycles d'abondance de l'éperlan sont apparents depuis le début du suivi en 1995. Les frayères ont été aménagées à l'hiver 2017, pendant le troisième cycle. L'étendue de ce dernier cycle, bien qu'encore en cours, s'annonce similaire à celle des deux précédents, c'est-à-dire d'environ dix ans. Son amplitude est cependant moindre. Dans les deux cycles précédents, l'abondance maximale a été atteinte en début de cycle (1996 et 2006). L'abondance maximale du troisième cycle a donc été atteinte en 2016, soit l'été précédant la mise en place des aménagements.

Les fluctuations de la figure 8 témoignent du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean, c'est-à-dire du nombre de jeunes individus qui s'ajoutent à la population à chaque année. Si les aménagements n'ont pas influencé à la hausse le nombre de recrues en fin d'été, ils semblent cependant avoir contribué à une certaine vigueur du système face aux deux principales variables reconnues pour influencer négativement le recrutement de l'éperlan du lac Saint-Jean : l'hydrologie et la prédation (Lévesque *et al.* 2018).

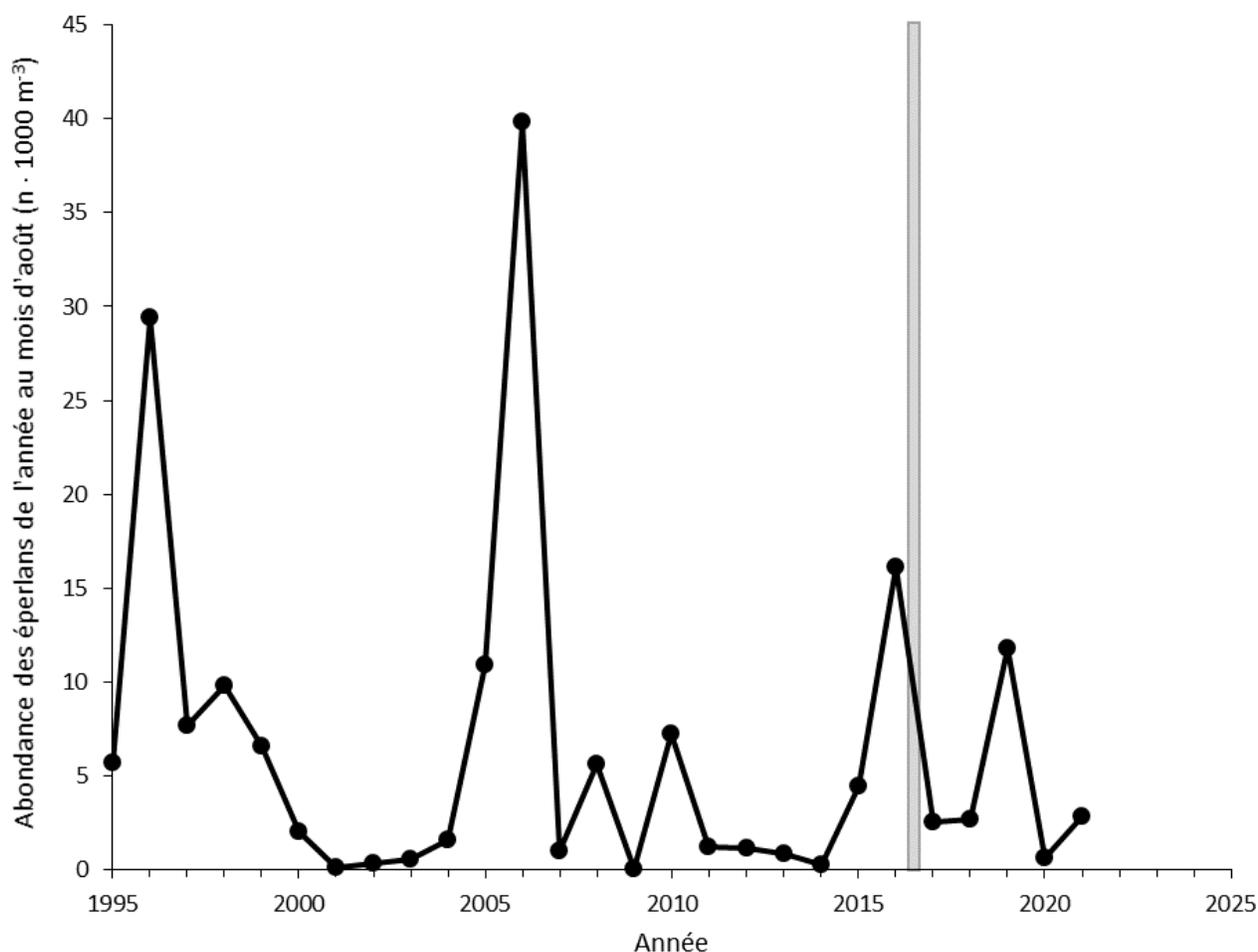


Figure 8 : Fluctuations de l'abondance des jeunes éperlans de l'année en fin d'été de 1995 à 2021 (données du MFFP). La construction des aménagements, indiquée par la section grise, a eu lieu à l'hiver 2017, alors que les suivis printaniers du dépôt des œufs et de l'éclosion des larves ont eu lieu aux printemps 2017, 2019 et 2021.

L'hydrologie

Le débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin est un indicateur hydrologique de la portion nord du lac Saint-Jean au printemps. Le mécanisme précis par lequel cet indicateur influence le recrutement de l'éperlan demeure inconnu, cependant le modèle de recrutement de l'éperlan a démontré une abondance systématiquement faible des éperlans de l'année au mois d'août lorsque le débit moyen de la rivière dépasse le seuil de $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Lévesque *et al.* 2018). Or ce seuil a été dépassé pour trois années sur les cinq depuis la mise en place des aménagements, sans effet majeur sur le recrutement de l'éperlan (figure 9). En fait, le recrutement de 2019 a été excellent malgré un débit élevé. Ce résultat suggère qu'il pourrait être probable que les frayères aménagées, en procurant un ancrage résistant pour les œufs adhésifs de l'éperlan, diminue l'influence négative des forts débits printaniers sur le recrutement.

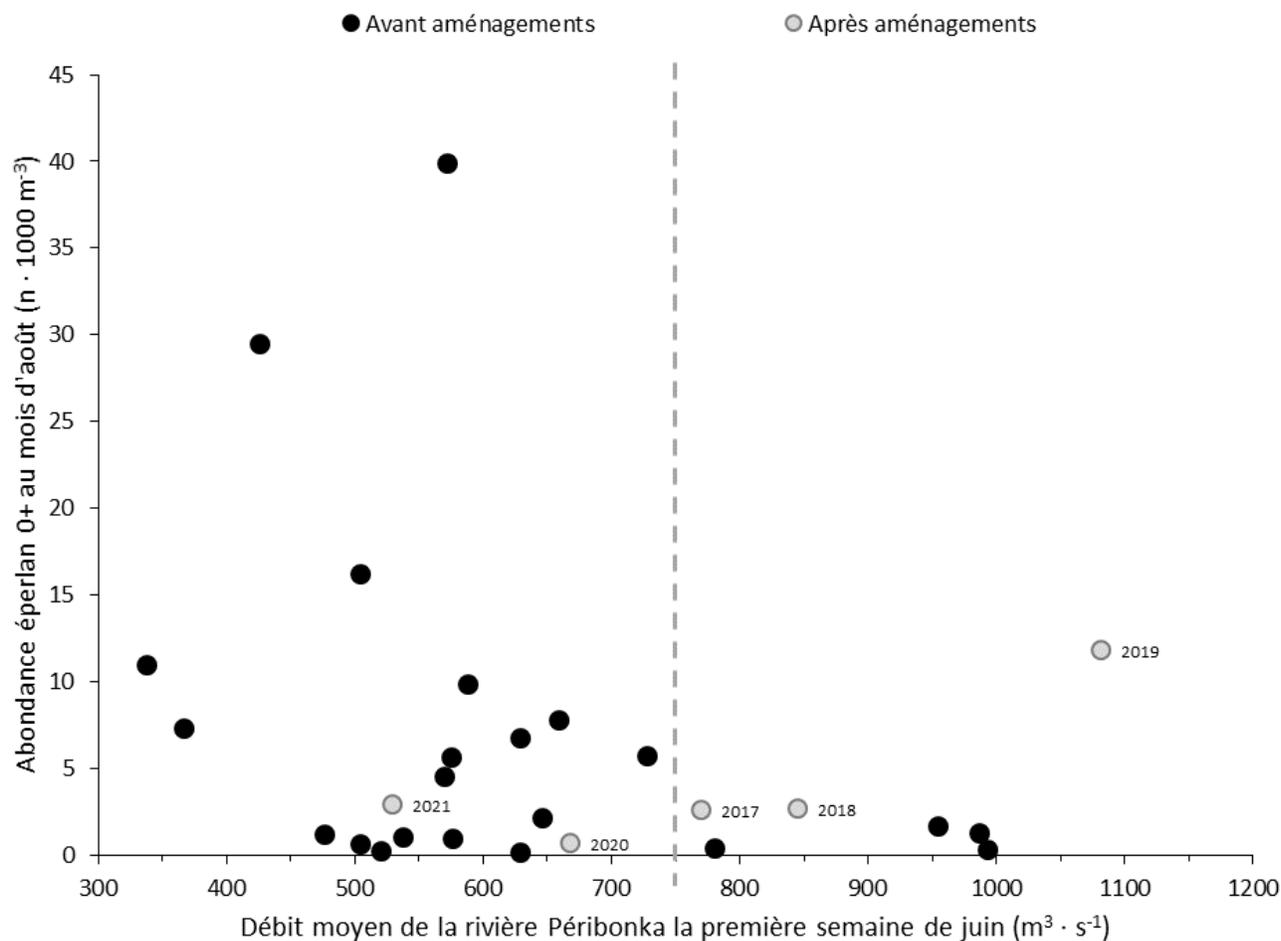


Figure 9 : Abondance des jeunes éperlans arc-en-ciel de l'année en fin d'été (0+; $n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) en fonction du débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). La ligne verticale pointillée indique le seuil de $750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à partir duquel le recrutement de l'éperlan est négativement influencé (Lévesque *et al.* 2018). Les débits de la rivière Péribonka proviennent du site Internet d'Énergie Électrique de Rio Tinto⁴. Les points noirs représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (1995 à 2016), alors que les points gris représentent les valeurs après leur aménagement (années indiquées sur le graphique).

⁴ energie.riotinto.com

La prédation

La ouananiche est le principal prédateur de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean : elle consomme à elle seule une proportion importante des jeunes éperlans produits annuellement. Les saumoneaux, ces jeunes ouananiches qui dévalent la rivière pour aller se nourrir dans le lac Saint-Jean, ingèrent beaucoup d'éperlan car ils réalisent 69 % de leur croissance lors de leur premier été en lac (Tremblay 2004). Leur abondance constitue la variable qui influence le plus fortement le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (Lévesque *et al.* 2018).

L'abondance des saumoneaux est un indice basé sur le calcul du nombre d'individus en dévalaison reconstitué à partir du nombre de reproducteurs observés dans la rivière Mistassini (la méthode est décrite dans Lévesque *et al.* 2018). Cet indice, calculé depuis 1984, a atteint sa valeur maximale à l'été 2021 à la suite de très grandes montaisons de reproducteurs en 2017. Le recrutement de l'éperlan en 2021 aurait dû être très faible sous l'effet de cette énorme pression de prédation. Pourtant, ce n'est pas ce qui a été observé (figures 8 et 10). L'abondance des éperlans de l'année en fin d'été était certes moindre que celle annoncée par les très fortes abondances de larves au printemps (tableau 5), mais bien meilleure que celle attendue en regard de l'abondance des saumoneaux (figure 10). La forte production d'éperlan du printemps semble avoir amorti la pression de prédation substantielle des saumoneaux.

Enfin, il importe de souligner que l'été 2020 a été une année record du nombre de ouananiches capturées par la pêche sportive⁵, un indicateur de la forte abondance des ouananiches de classes d'âge autres que saumoneau en lac. Leur grand nombre, combiné à un indice d'abondance élevé des saumoneaux, pourrait constituer une piste d'explication au très faible recrutement de l'éperlan en 2020 (figures 8 et 10).

⁵ Rapport annuel de la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean au claplacsaintjean.com.

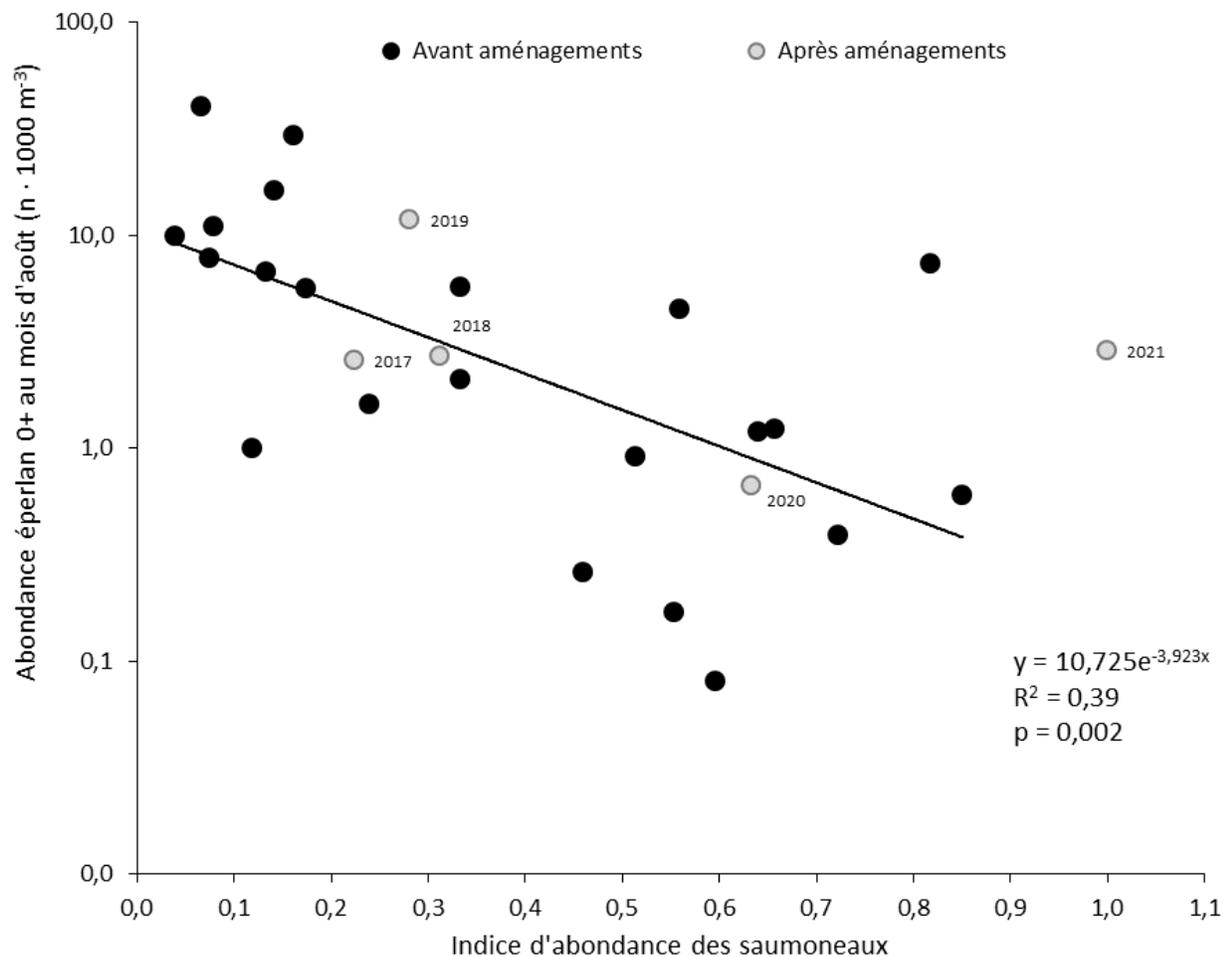


Figure 10 : Relation entre l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel de l'année (0+) en fin d'été et l'indice d'abondance des saumoneaux (tirés des données du MFFP). Les points noirs représentent les valeurs avant la mise en place des frayères (1995 à 2016), alors que les points gris représentent les valeurs après leur aménagement (années indiquées sur le graphique). Noter l'échelle logarithmique pour l'abondance des éperlans.

INSPECTION VISUELLE DES ÎLOTS ROCHEUX

Les frayères ont été inspectées en août 2020 (année sans suivi de la production d'éperlan) et le 23 juillet 2021. Des problèmes techniques ont limité la qualité des images prises en 2020, cependant les images suffisamment claires montrent des pierres propres, c'est-à-dire sans dépôt visible de sédiments ni d'accumulations quelconques. La visibilité était nettement meilleure en 2021 et les images saisies montrent des frayères en bon état, avec à l'occasion un peu de périphyton sur les galets (figure 11A). Contrairement à ce qui avait été observé en 2017 et 2019, il n'y avait pas de matière organique fine (feuilles, écorce, filaments) accumulés au pied de certains îlots (figure 11B). Après cinq années d'implantation, les frayères sont exemptes d'ensablement.

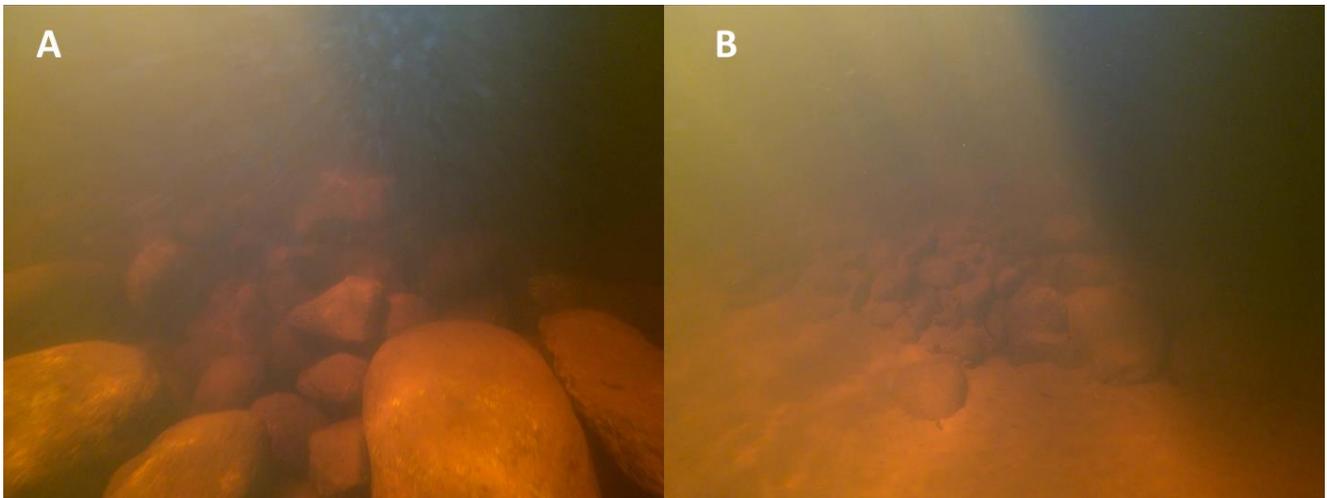


Figure 11 : Photographies démontrant l'état des frayères à leur cinquième été depuis la construction. Il n'y a pas d'accumulation de sédiments visible sur les frayères (A; frayère 1), ni d'accumulations sur leurs marges (B; frayère 7).

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 à l'hiver 2017 dans un secteur de reproduction connu de l'éperlan visait à améliorer la qualité de l'habitat de fraie et la survie des œufs de la proie préférentielle de la ouananiche. Les îlots rocheux aménagés ont fait l'objet d'un suivi aux printemps 2017, 2019 et 2021, avec pour objectifs de valider leur utilisation par l'éperlan et de mesurer la production larvaire dans le secteur aménagé.

Après ces trois printemps de suivi échelonnés sur cinq ans, les résultats sont concluants. Les éperlans reproducteurs fréquentent la quasi-totalité des frayères, mais des œufs sont plus rarement trouvés sur les frayères du sud-ouest du secteur aménagé. Le succès de récolte des œufs demeure en moyenne dix fois plus élevé qu'en 2014 lors de la recherche des sites de fraie dans le même secteur. La distribution des larves d'éperlan vésiculées (stade A) en 2021 se trouvait au centre du secteur aménagé et ses environs, tout comme c'était le cas dans les suivis de 2017 et 2019. De plus, leur abondance était plus élevée depuis la construction des aménagements.

Les années post-aménagements ont été caractérisées par des événements hydrologiques printaniers intenses et une pression de prédation marquée, deux variables hautement défavorables au recrutement de l'éperlan du lac Saint-Jean. Dans ces circonstances, l'abondance des éperlans en fin d'été a souvent été meilleure qu'attendue. Les aménagements semblent avoir contribué à améliorer la robustesse du recrutement 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.
- Desroches J.-F. et Picard I. 2013. Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes. Éditions Michel Quintin, 471 p.
- 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.
- Legault M. 1998. Élaboration d'une méthode d'évaluation de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du Lac Saint-Jean., Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Québec, 43 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. 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, pour la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP). 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.
- 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.
- Tremblay G. 2004. Impact de la prédation sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 83 p.

ANNEXES

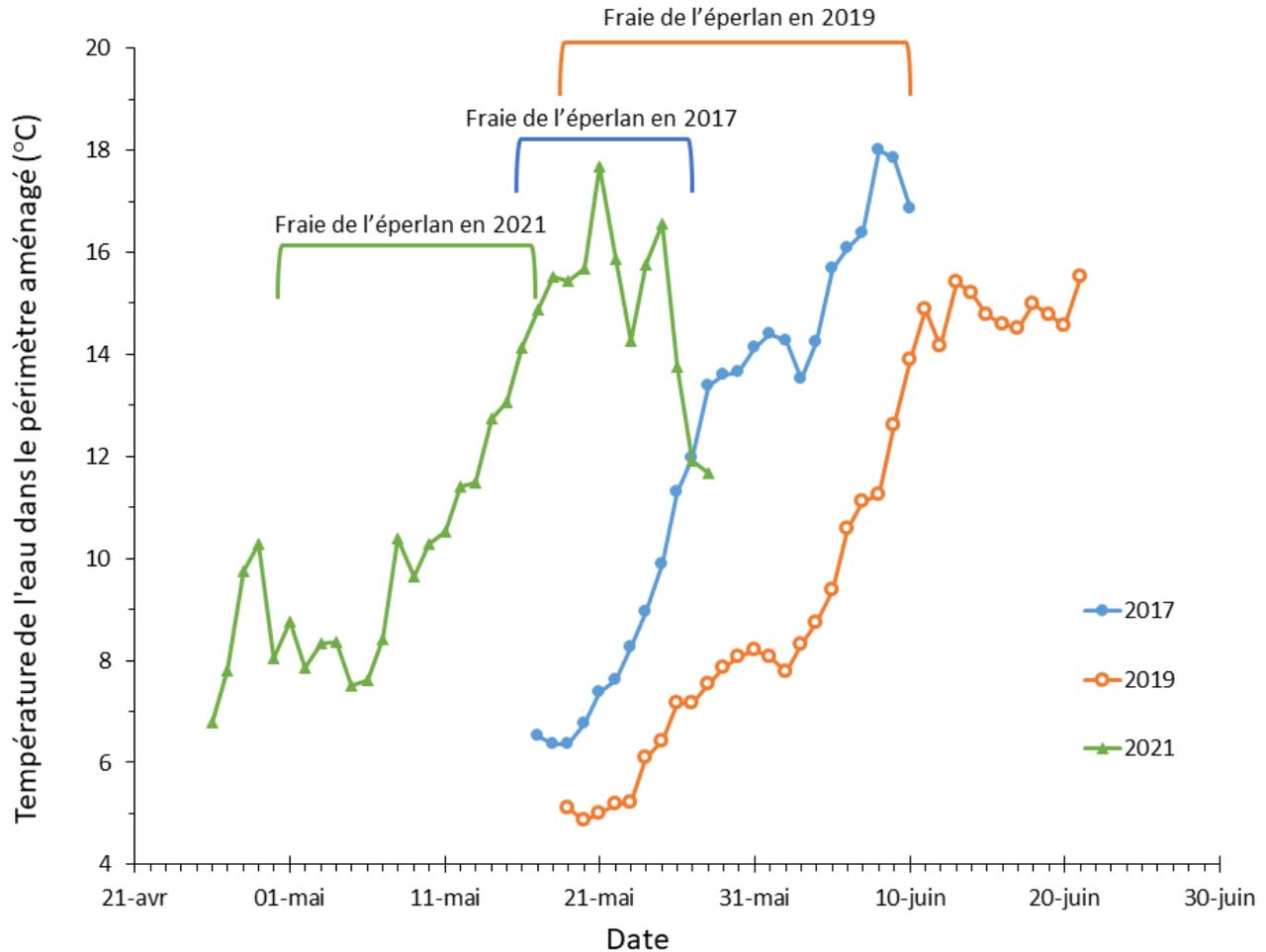
Annexe 1: Coordonnées des sites de déploiement des capteurs à œufs en 2021.

Coordonnées des stations d'échantillonnage		
	Latitude	Longitude
Frayères aménagées		
F1	48,690849	-72,299221
F2	48,691791	-72,287885
F3	48,686623	-72,295619
F4	48,689274	-72,291926
F5	48,684575	-72,304811
F6	48,679341	-72,306356
F7	48,698161	-72,268185
F8	48,679586	-72,300818
F9	48,683953	-72,286016
F10	48,67705	-72,304004
F11	48,690211	-72,276988
F12	48,681907	-72,300165
F13	48,685419	-72,280698
F14	48,692173	-72,271369
F15	48,681316	-72,290967
F16	48,67708	-72,293188
F17	48,680603	-72,286492
F18	48,686906	-72,277284
F19	48,682161	-72,280849
F20	48,688455	-72,270741
F21	48,678811	-72,280482
F22	48,682853	-72,274256
F23	48,684251	-72,26707
F24	48,681578	-72,268537
F25	48,6772	-72,275083
Stations sans frayère aménagée		
11H	48,70348	-72,27555
20H	48,6945	-72,3005

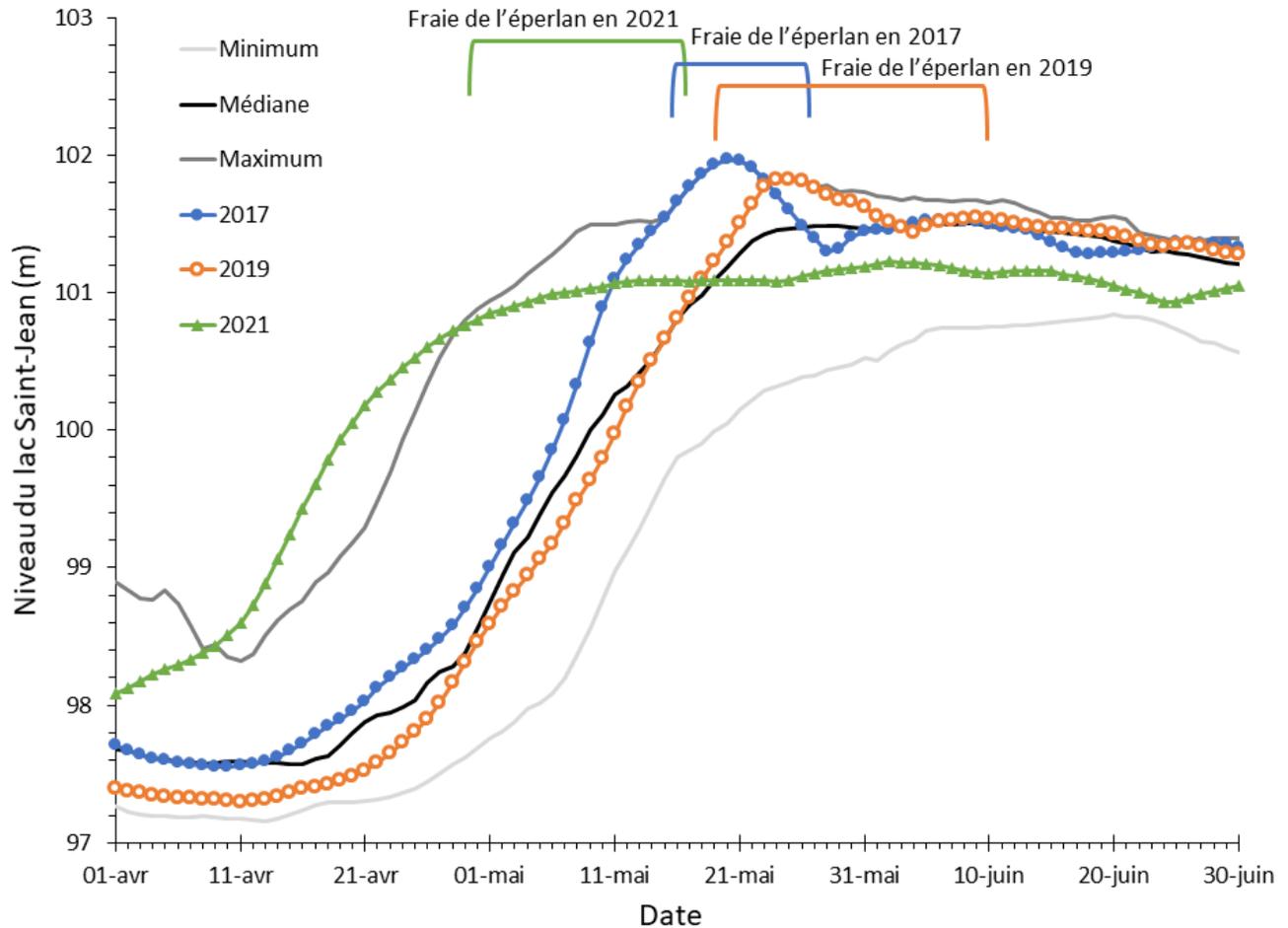
Annexe 2: Coordonnées du centre des unités d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel en 2021.

Unité d'échantillonnage	Latitude	Longitude
16	48,69899	-72,309565
17	48,69899	-72,282355
18	48,69899	-72,25516
28	48,681005	-72,309565
29	48,681005	-72,282355
30	48,681005	-72,25516
42	48,663015	-72,282355
43	48,663015	-72,25516
53	48,609085	-72,309565
61	48,70797	-72,21443
70	48,672	-72,21443
74	48,63604	-72,26875
75	48,6001	-72,26875
76	48,719168	-72,336755
126	48,6315339	-72,207636

Annexe 3: Température de l'eau dans le périmètre aménagé au printemps, pendant les trois suivis de l'utilisation des frayères par l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. La couleur de la courbe et le type de marqueurs varient selon l'année de suivi : bleue avec cercles pleins en 2017, orange avec cercles vides en 2019 et verte avec triangles pleins en 2021. La période de la fraie de l'éperlan est indiquée pour chacune de ces années.

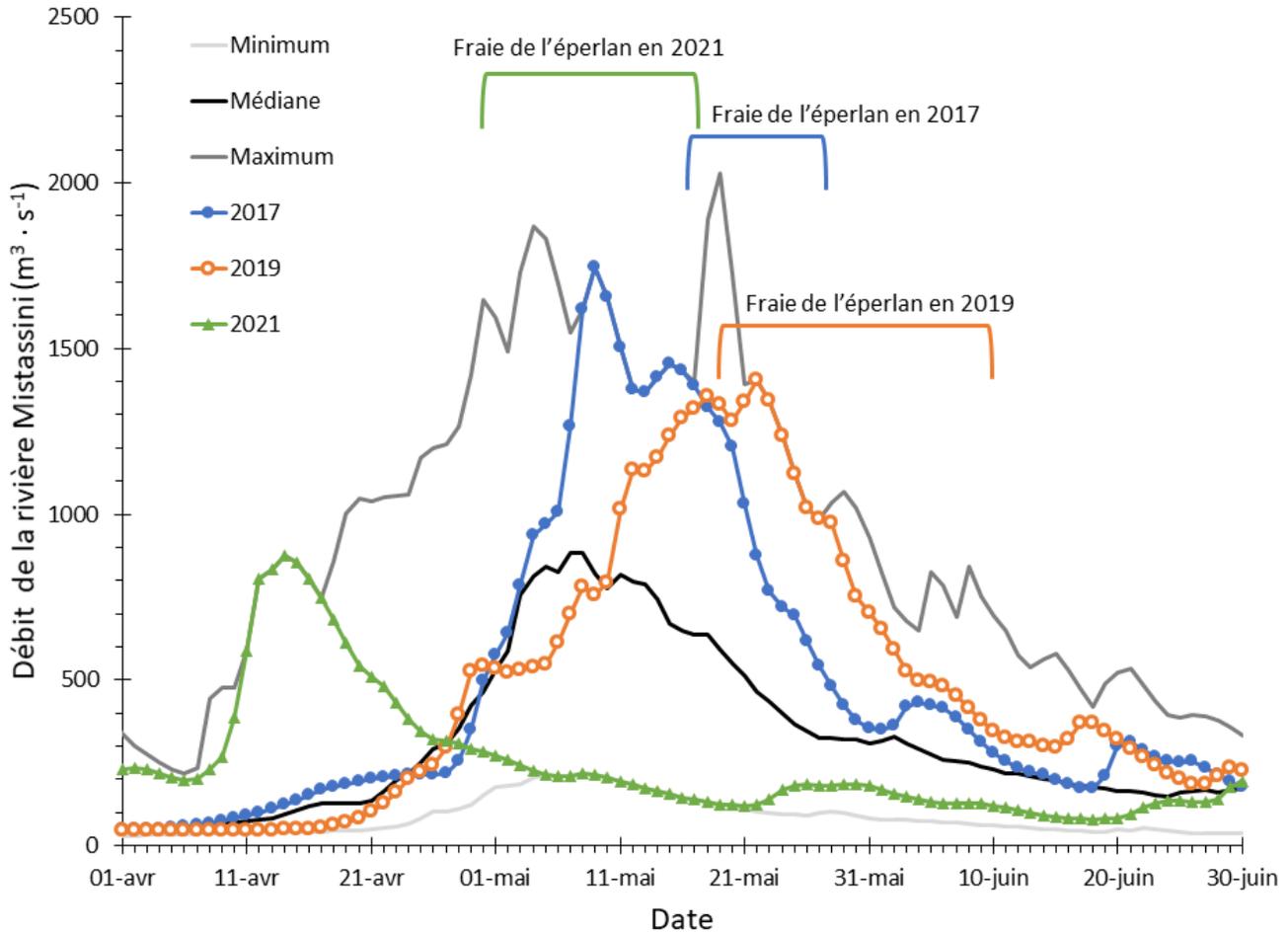


Annexe 4: Niveau du lac Saint-Jean au printemps, pendant les trois suivis de l'utilisation des frayères par l'éperlan arc-en-ciel. La couleur de la courbe et le type de marqueurs varient selon l'année de suivi : bleue avec cercles pleins en 2017, orange avec cercles vides en 2019 et verte avec triangles pleins en 2021. La période de la fraie de l'éperlan est indiquée pour chacune de ces années. Les courbes lisses en dégradés de gris représentent les débits minimums (gris pâle), médians (noir) et maximums (gris foncé) des données historiques de 1986 à 2020, selon le Centre d'expertise hydrique du Québec⁶.



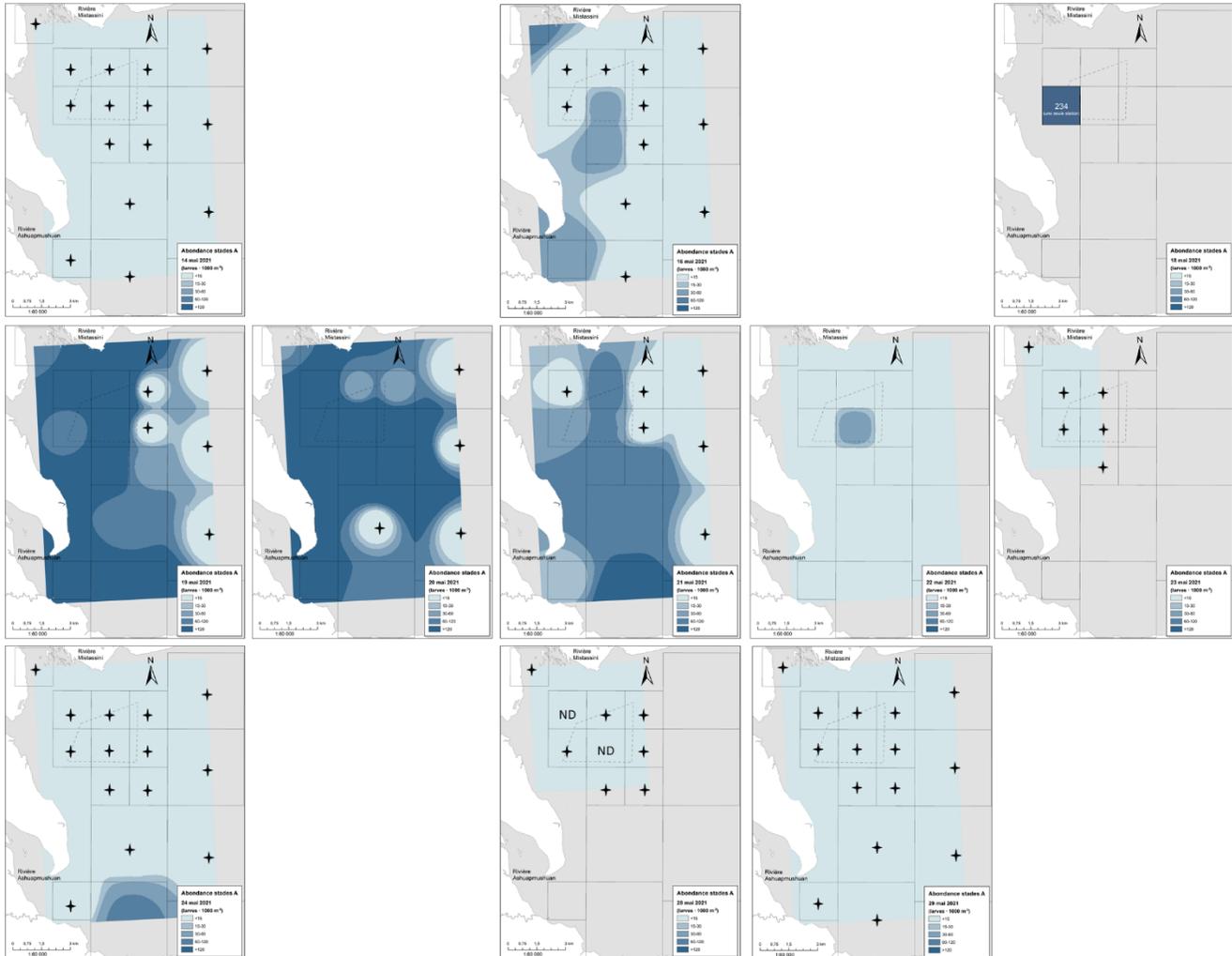
⁶Données historiques du niveau du lac Saint-Jean du Centre d'expertise hydrique du Québec au cehq.gouv.qc.ca.

Annexe 5: Débit de la rivière Mistassini au printemps, pendant les trois suivis de l'utilisation des frayères par l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. La couleur de la courbe et le type de marqueurs varient selon l'année de suivi : bleue avec cercles pleins en 2017, orange avec cercles vides en 2019 et verte avec triangles pleins en 2021. 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 2021, selon le Centre d'expertise hydrique du Québec⁷. La période de la fraie de l'éperlan arc-en-ciel est indiquée pour chacune de ces années.

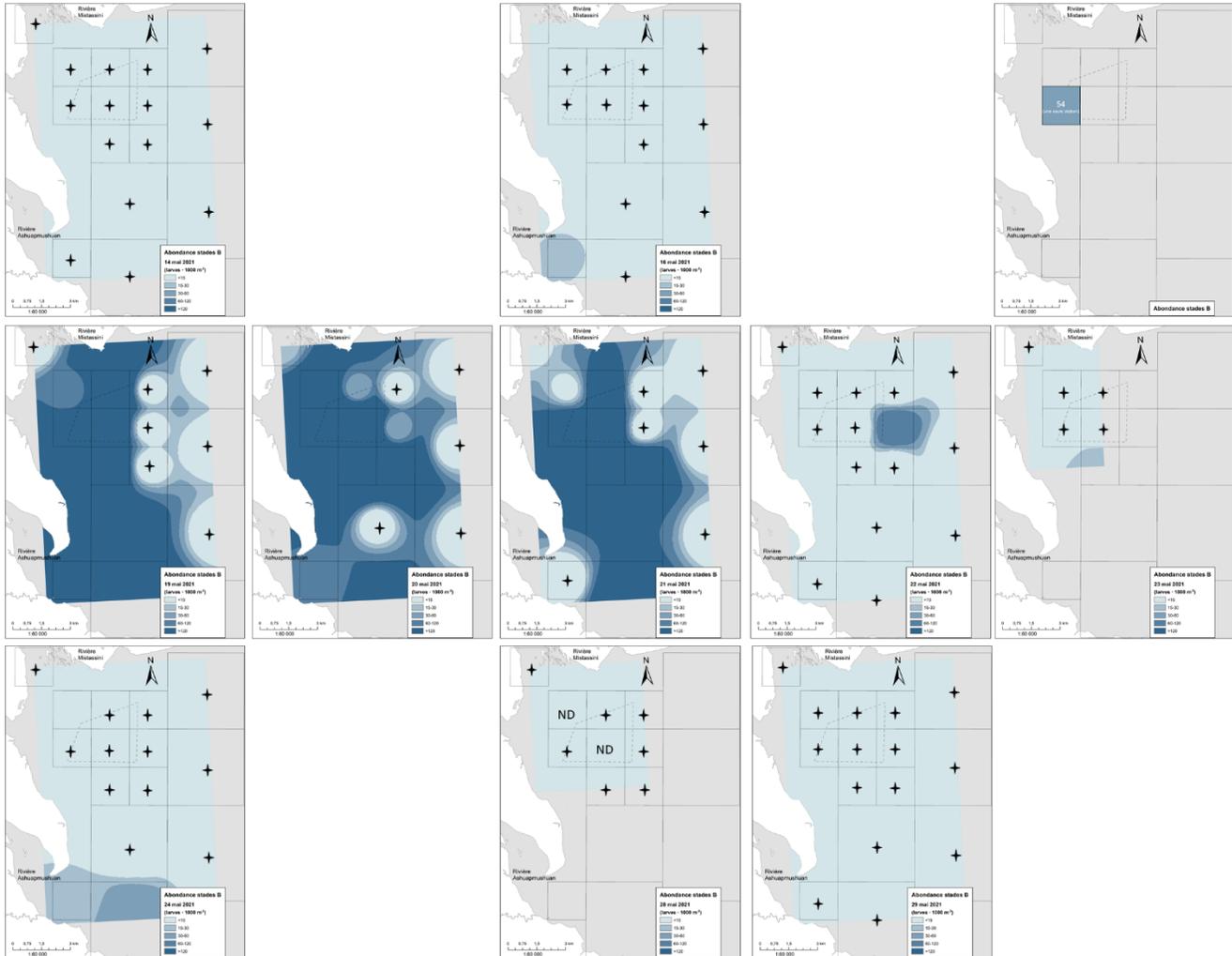


⁷ Données historiques du débit de la rivière Mistassini du Centre d'expertise hydrique du Québec au cehq.gouv.qc.ca.

Annexe 6a : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A ($n = 1000 \text{ m}^{-3}$) du 14 au 29 mai 2021 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 6b : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade B ($n = 1000 \text{ m}^{-3}$) du 14 au 29 mai 2021 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 6c : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade C et plus ($n = 1000 \text{ m}^{-3}$) du 14 au 29 mai 2021 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.

