

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

Sonya Lévesque et Pascal Sirois



UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Référence à citer :

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.

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**

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

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, Rémi Guay et Mikael Tapp; à la Direction régionale du MFFP, Karine Gagnon; à la Direction de la Faune aquatique du MFFP, Michel Legault et Denis Fournier; Anne-Lise Fortin de la CREAE et Stevens Gagné, étudiant au baccalauréat en Biologie de l'UQAC.

Enfin, Sonya Lévesque remercie le Laboratoire des sciences aquatiques de l'UQAC 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 du lac Saint-Jean à celle de sa proie préférentielle, l'éperlan arc-en-ciel. 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 bonifier la production naturelle de l'éperlan et de favoriser sa disponibilité 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 nouvelles frayères ont fait l'objet d'un suivi au printemps 2017, avec pour objectifs (1) de valider leur utilisation par les éperlans reproducteurs, et (2) d'estimer leur contribution à partir de la production larvaire observée dans le secteur aménagé. Plus d'une centaine d'œufs d'éperlan, répartis sur un peu moins de la moitié des frayères aménagées, ont été récoltés du 13 au 28 mai 2017. Ces œufs confirment l'utilisation des îlots de fraie par l'éperlan. La distribution de l'abondance des larves capturées du 29 mai au 10 juin 2017 montre que le foyer de production se trouve au centre du secteur aménagé. La forte production de larves en juin ne semble pas reliée à l'abondance relative des éperlans juvéniles estimée en août. Les conditions climatiques peu favorables au recrutement de l'éperlan rencontrées en cours d'été pourraient expliquer cette observation.

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.....	4
ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES ŒUFS.....	4
Récolte des échantillons.....	4
Traitement en laboratoire.....	7
ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES LARVES.....	9
Récolte des échantillons.....	9
Traitement en laboratoire.....	11
Analyse de la distribution spatiale des larves.....	12
ÉVALUATION PHYSIQUE DES ÎLOTS ROCHEUX.....	12
RÉSULTATS.....	13
IDENTIFICATION ET DÉNOMBREMENT DES ŒUFS ET DES LARVES.....	13
RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES ŒUFS ET DES LARVES.....	14
Œufs.....	14
Larves.....	18
ÉTAT PHYSIQUE DES ÎLOTS ROCHEUX.....	22
DISCUSSION.....	23
PRODUCTION DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL.....	23
Œufs.....	23
Larves.....	24
CONCLUSION.....	27
RÉFÉRENCES.....	29
ANNEXES.....	31

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Grille de suivi des îlots rocheux aménagés pour l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Les stations d'échantillonnage des œufs, à l'aide de capteurs, sont identifiées par des points noirs. Les larves ont été échantillonnées par un trait de filet à l'intérieur des secteurs délimités par les carrés. L'étoile correspond à l'emplacement du thermographe. 3
- Figure 2 : Un capteur à œufs est constitué de dix plaques d'acier satiné de 30 X 30 cm, reliées entre elles par des cordes de 5 m. Chaque extrémité du capteur est maintenue en place par une ancre et identifiée par une bouée. 5
- Figure 3 : Différents stades de développement de l'œuf d'éperlan arc-en-ciel. Le pédoncule adhésif, une caractéristique unique aux œufs d'éperlan, est mis en évidence par les flèches. Il se forme à partir de la membrane externe de l'œuf, dès que ce dernier entre en contact avec un substrat. Tiré de Cooper (1978). 8
- Figure 4 : Filet de type push-net utilisé pour la capture des larves de poisson. Le filet de 50 cm de diamètre et 500 μm d'ouverture de maille est tracté sur le côté de l'embarcation pendant 10 minutes, de manière à échantillonner dans le premier mètre de la colonne d'eau. 10
- Figure 5 : Développement des larves d'éperlan arc-en-ciel et critères d'attribution du stade de développement. (A) Stade A, larve à la sortie de l'œuf, le vitellus occupe plus d'espace dans le sac vitellin que la gouttelette lipidique; (B) stade B, larve, le vitellus occupe un espace similaire à la gouttelette lipidique dans le sac vitellin; (C) stade C, larve, le vitellus est résorbé ou en voie de l'être. Adapté de Cooper (1978). 11
- Figure 6 : Répartition spatiale des œufs d'éperlan arc-en-ciel sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non aménagés 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. 15
- Figure 7 : Répartition temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel au printemps 2017 sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non aménagés au lac Saint-Jean. Il ne s'agit pas d'un histogramme à proprement parler (fréquence irrégulière), puisque les barres regroupent les périodes pour lesquelles un portrait de toutes les stations était complet. Aucun œuf n'a été récolté le 25 mai, bien que tous les capteurs aient été vérifiés ce jour-là. À titre de référence, la température de l'eau pour cette période est passée de 5 à 13,4 °C (cercles blancs reliés par un trait noir). 16
- Figure 8 : Distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) 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. 19
- Figure 9 : Abondance quotidienne des larves d'éperlan arc-en-ciel ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$), par stade, au lac Saint-Jean, du 29 mai au 10 juin 2017. 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 barres grises indiquent un effort d'échantillonnage réduit ou annulé en raison de mauvaises conditions climatiques les 29 et 30 mai, ainsi que les 2 et 5 juin (le nombre de stations échantillonnées est indiqué). 21

Figure 10 : Modèle conceptuel révisé du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean (Lévesque *et al.* 2018). 25

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Effort d'échantillonnage du suivi des 25 îlots rocheux aménagés pour l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean au printemps 2017. Dans les conditions idéales, l'objectif quotidien était de relever et déployer les 28 capteurs pendant l'échantillonnage des œufs (du 13 au 28 mai 2017), et d'effectuer un trait de filet dans les 14 secteurs d'échantillonnage des larves (du 29 mai au 10 juin 2017)..... 6
- Tableau 2 : Caractéristiques des œufs des espèces de poisson à fraie printanière présentes dans le lac Saint-Jean. Tiré de Leim et Scott (1972), Scott et Crossman (1974) et Auer (1982) 7
- Tableau 3 : Identification et dénombrement des œufs et des larves de poisson capturés au lac Saint-Jean du 13 mai au 10 juin 2017. 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)..... 13
- Tableau 4 : Distribution temporelle de la récolte des œufs au printemps 2017 au lac Saint-Jean. Au total, 186 œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés dans 12 stations différentes sur une période de 12 jours..... 17
- Tableau 5 : 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 de la portion fluviale de l'habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent. 23
- 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 correspondant 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..... 24

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Plan tel que construit de l'entrepreneur indiquant l'emplacement des îlots de fraie rocheux, incluant les coordonnées modifiées de l'îlot 25. 32
- Annexe 2a : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 29 mai au 10 juin 2017 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. Les ronds rouges indiquent les stations avec œufs. 33
- Annexe 2b : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade B ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 29 mai au 10 juin 2017 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. Les ronds rouges indiquent les stations avec œufs. 34
- Annexe 2c : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade $\geq C$ ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 29 mai au 10 juin 2017 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. Les ronds rouges indiquent les stations avec œufs. 35
- Annexe 3 : Fluctuations de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel juvénile dans le lac Saint-Jean. Les valeurs de 1984 à 1994 (ligne discontinue) ont été estimées à l'aide de la relation entre l'abondance des éperlans 0+ et la croissance moyenne de l'écaille des ouananiches durant la première année en lac, alors que les valeurs de 1995 à 2017 (ligne continue) proviennent du suivi annuel de l'abondance de l'éperlan qui a lieu à chaque fin d'été (Legault 1998). L'abondance des juvéniles en 2017 ne suit pas la phase ascendante du cycle de l'éperlan attendue. Figure modifiée de Lévesque *et al.* 2018. 36
- Annexe 4 : Débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin en fonction du débit moyen de la rivière Ashuapmushuan pour la même période. La donnée extrême de 1976 (cercle vide) n'a pas été considérée dans le calcul de la relation. 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).

L'éperlan du lac Saint-Jean fraie principalement sur le haut-fond sablonneux du nord-ouest du lac (Lévesque et Sirois 2013; Lévesque et Sirois 2015). 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 bonifier 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 seront produites suivront les patrons habituels de dérive, ce qui leur permettront 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 (annexe 1). Il existe deux modèles d'îlots de fraie selon la profondeur du site retenu : les îlots situés plus en profondeur font 1 m d'épaisseur, alors que les îlots les moins profonds ont une épaisseur de 0,5 m. Ces îlots faits de pierre ronde de calibre 150-300 mm possèdent une base de forme elliptique et présentent un diamètre maximal variant entre 13 et

17 m, selon le modèle, et couvrent entre 112 et 198 m². La construction de chaque îlot a nécessité un volume de 83 m³ de pierre (150 tonnes métriques).

L'objectif de ce rapport est (1) de valider l'utilisation par l'éperlan arc-en-ciel des frayères nouvellement construites, et (2) d'estimer leur contribution à partir de la production larvaire observée dans le secteur aménagé.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SECTEUR DE L'ÉTUDE

Le secteur étudié est situé dans la portion nord-ouest du lac Saint-Jean, au sud-est des vestiges de l'Île aux Pins, à l'est du chenal de la rivière Mistassini (figure 1; les coordonnées au centre du secteur aménagé sont 48,684021°N et 72,285707°O). Cette région a été identifiée comme le principal foyer de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean en 2013, 2014 et 2016 (Lévesque et Sirois 2013; Lévesque et Sirois 2015; LASA, données non publiées).

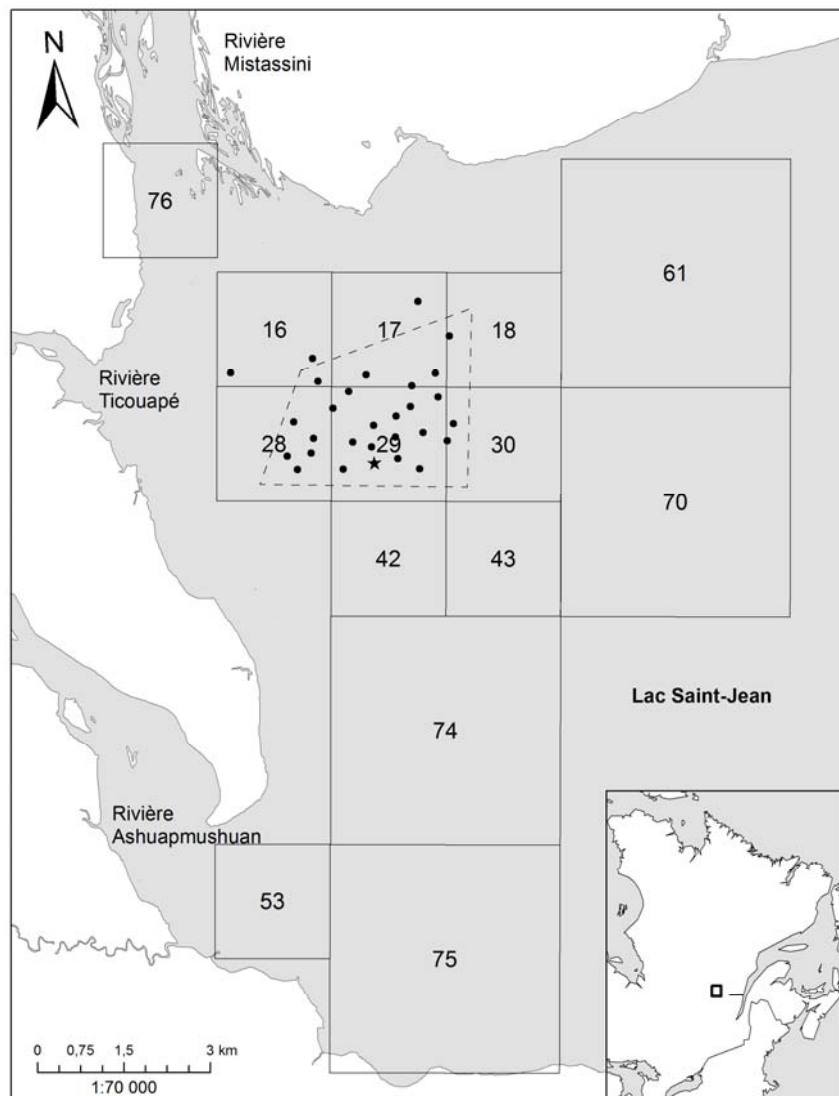


Figure 1 : Grille de suivi des îlots rocheux aménagés pour l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Les stations d'échantillonnage des œufs, à l'aide de capteurs, sont identifiées par des points noirs. Les larves ont été échantillonnées par un trait de filet à l'intérieur des secteurs délimités par les carrés. L'étoile correspond à l'emplacement du thermographe.

TEMPÉRATURE DE L'EAU

La température de l'eau joue un rôle prépondérant dans la modulation des processus physiologiques qui régissent la vie des poissons (Fry 1971). Elle constitue un indicateur précis et facile à mesurer qui permet d'estimer le début des étapes importantes de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel : le début de la fraie, la durée de l'incubation des œufs et l'éclosion des larves. Ces données proviennent de sources diversifiées selon le degré de précision requis. Les températures à la prise d'eau de la Ville de Roberval et celles mesurées par le sonar du bateau ont permis de suivre le déroulement de la fraie en cours d'échantillonnage, alors que les données récoltées par les thermographes de haute précision ont été utilisées pour l'analyse des résultats. Deux thermographes ont été utilisés (Starmon TD, Star-Oddi). Un premier thermographe a été déployé du 17 mai au 10 juin 2017, à environ 1,3 m de profondeur, à proximité des frayères des plus faibles élévations (figure 1). Un second thermographe a été fixé sur la structure du filet servant à échantillonner les larves (filet push-net), du 29 mai au 10 juin 2017. Celui-ci mesurait la température des masses d'eau dans lesquelles les larves étaient capturées.

ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES ŒUFS

Récolte des échantillons

Les 25 frayères aménagées ont été disposées suivant certains critères de conception, justifiés par la biologie de l'éperlan arc-en-ciel, la dynamique du réservoir et les considérations de faisabilité technique. Les îlots rocheux ne devaient pas être situés sous plus de 3 m d'eau au moment de la fraie, ils devaient circonscrire le secteur de l'Île aux Pins, utiliser une variété d'élévations en visant particulièrement à maximiser le nombre de frayères submergées pendant la ponte, et éviter les élévations non sécuritaires lors de la construction.

Les capteurs à œufs ont été déployés pendant la fraie de l'éperlan sur toutes les frayères afin de valider leur utilisation, ainsi que sur trois sites hors du périmètre des frayères, où des œufs d'éperlan avaient été récoltés en 2014 lors de la recherche des sites de fraie.

Un capteur à œufs est constitué de dix plaques d'acier satiné de 30 X 30 cm et 3,2 mm d'épaisseur, reliées entre elles par des cordes de 5 m. Une bouée et une ancre sont attachées à chaque extrémité du capteur (figure 2). Les capteurs étaient déployés pour un minimum d'une journée avant d'être relevés, inspectés et remis en place. Ils ont été déployés pendant les 16 jours de la période attendue de la fraie de l'éperlan,

c'est-à-dire quelques jours avant que l'eau du lac n'atteigne 6°C, et les déploiements ont pris fin après que l'eau ait atteint 10°C (Lévesque 2012). Au cours de cette période, les capteurs ont été relevés 206 fois sur les 28 stations, pour une moyenne de 17 stations relevées par jour (tableau 1). L'effort de pêche a ainsi totalisé 396 jours · capteurs. La température et la profondeur de l'eau au-dessus de la frayère, mesurées par le sonar de l'embarcation, étaient notées à chaque relève et déploiement.

Lors de la relève, les plaques étaient examinées une à une, des deux côtés. Les œufs d'éperlan sont petits (1 mm de diamètre), transparents et adhésifs. Ils se fixent au premier substrat rencontré. Étant donné leur faible taille, la lecture des plaques demandait minutie et attention. Lorsque présents, les œufs étaient prélevés à l'aide de pinces et conservés dans l'éthanol 95 %.

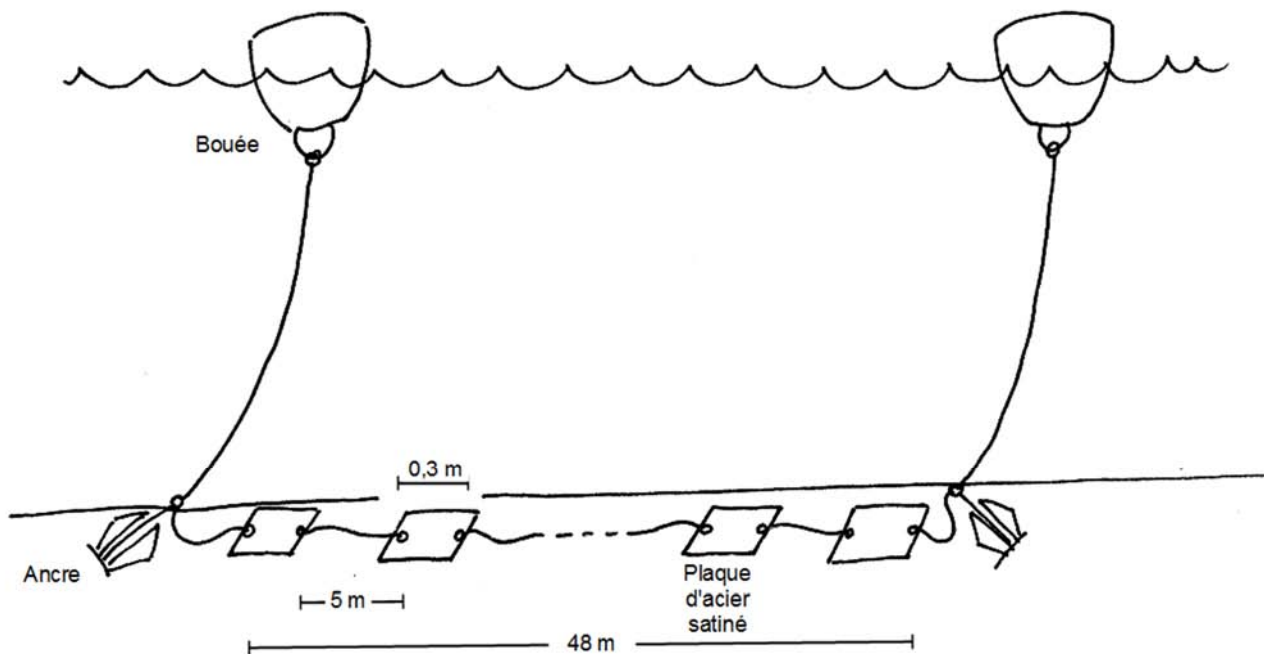


Figure 2 : Un capteur à œufs est constitué de dix plaques d'acier satiné de 30 X 30 cm, reliées entre elles par des cordes de 5 m. Chaque extrémité du capteur est maintenue en place par une ancre et identifiée par une bouée.

Tableau 1 : Effort d'échantillonnage du suivi des 25 îlots rocheux aménagés pour l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean au printemps 2017. Dans les conditions idéales, l'objectif quotidien était de relever et déployer les 28 capteurs pendant l'échantillonnage des œufs (du 13 au 28 mai 2017), et d'effectuer un trait de filet dans les 14 secteurs d'échantillonnage des larves (du 29 mai au 10 juin 2017).

Date	Nombre de capteurs à œufs		Push-net Traits
	Relève	Pose	
13 mai 2017		28	
14 mai 2017	0	0	
15 mai 2017	15	15	
16 mai 2017	13	13	
17 mai 2017	16	16	
18 mai 2017	24	24	
19 mai 2017	0	0	
20 mai 2017	4	4	
21 mai 2017	28	28	
22 mai 2017	5	5	
23 mai 2017	0	0	
24 mai 2017	28	28	
25 mai 2017	28	28	
26 mai 2017	17	17	
27 mai 2017	24		
28 mai 2017	4		
29 mai 2017			4
30 mai 2017			0
31 mai 2017			11
1 juin 2017			14
2 juin 2017			2
3 juin 2017			11
4 juin 2017			14
5 juin 2017			1
6 juin 2017			14
7 juin 2017			14
8 juin 2017			14
9 juin 2017			4
10 juin 2017			6
29 jours d'échantillonnage	206 relèves	206 poses	109 traits

Traitement en laboratoire

Il existe très peu d'information sur les caractéristiques des œufs des poissons qui fraient au printemps dans le lac Saint-Jean. Le tableau 2 résume les espèces qui peuvent fraier pendant cette période. Néanmoins, l'identification des œufs d'éperlan arc-en-ciel est simple puisqu'ils présentent une caractéristique unique : un pédoncule adhésif (figure 3, tirée de Cooper 1978). L'identification et le décompte des œufs ont été faits directement sur le terrain, puis validés par la suite en laboratoire.

Tableau 2 : Caractéristiques des œufs des espèces de poisson à fraie printanière présentes dans le lac Saint-Jean. Tiré de Leim et Scott (1972), Scott et Crossman (1974) et Auer (1982) .

Espèce	Date de fraie	Diamètre de l'œuf (mm)	Habitat de fraie	Caractéristiques
Doré jaune (<i>Sander vitreus</i>)	Avril-mai	1,5-2,3	Secteurs rocheux peu profonds des rives et cours d'eau.	Démersal, adhésif, transparent et rosé avec une seule gouttelette lipidique.
Éperlan arc-en-ciel (<i>Osmerus mordax</i>)	Mai-juin	0,9-1,3	Rochers, gravier, sable, vase, débris et végétation.	Adhésif, pédoncule, incolore avec plusieurs gouttelettes lipidiques.
Fouille-roche zébré (<i>Percina caprodes</i>)	Juin	1,1-1,3	Secteurs sablonneux très peu profonds.	Démersal, adhésif, enterré dans un « nid », incolore avec une seule gouttelette lipidique.
Grand brochet (<i>Esox lucius</i>)	Avril-mai	2,2-3,0	Secteurs très peu profonds avec végétation submergée et vase, incluant marais inondés, fossés de drainage et fondrières	Démersal, adhésif, clair et ambré.
Meunier rouge (<i>Catostomus catostomus</i>)	Mai	3	Gravier de taille moyenne (0,5-1 mm) en ruisseaux.	Démersal, adhésif, blanc, sans gouttelette lipidique.
Perchaude (<i>Perca flavescens</i>)	Mai-juillet	1,9-2,8 (max 3,5)	Sable, gravier, blocaille, végétation ou débris dans les baies peu profondes ou les rives.	Semi-démersal, transparent, en longs rubans gélatineux.

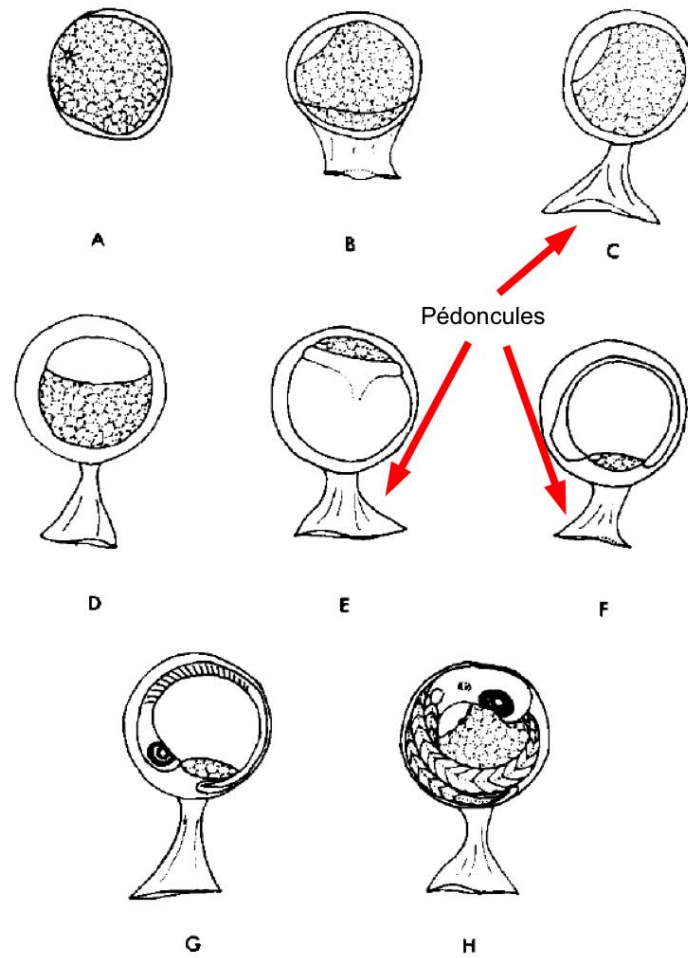


Figure 3 : Différents stades de développement de l'œuf d'éperlan arc-en-ciel. Le pédoncule adhésif, une caractéristique unique aux œufs d'éperlan, est mis en évidence par les flèches. Il se forme à partir de la membrane externe de l'œuf, dès que ce dernier entre en contact avec un substrat. Tiré de Cooper (1978).

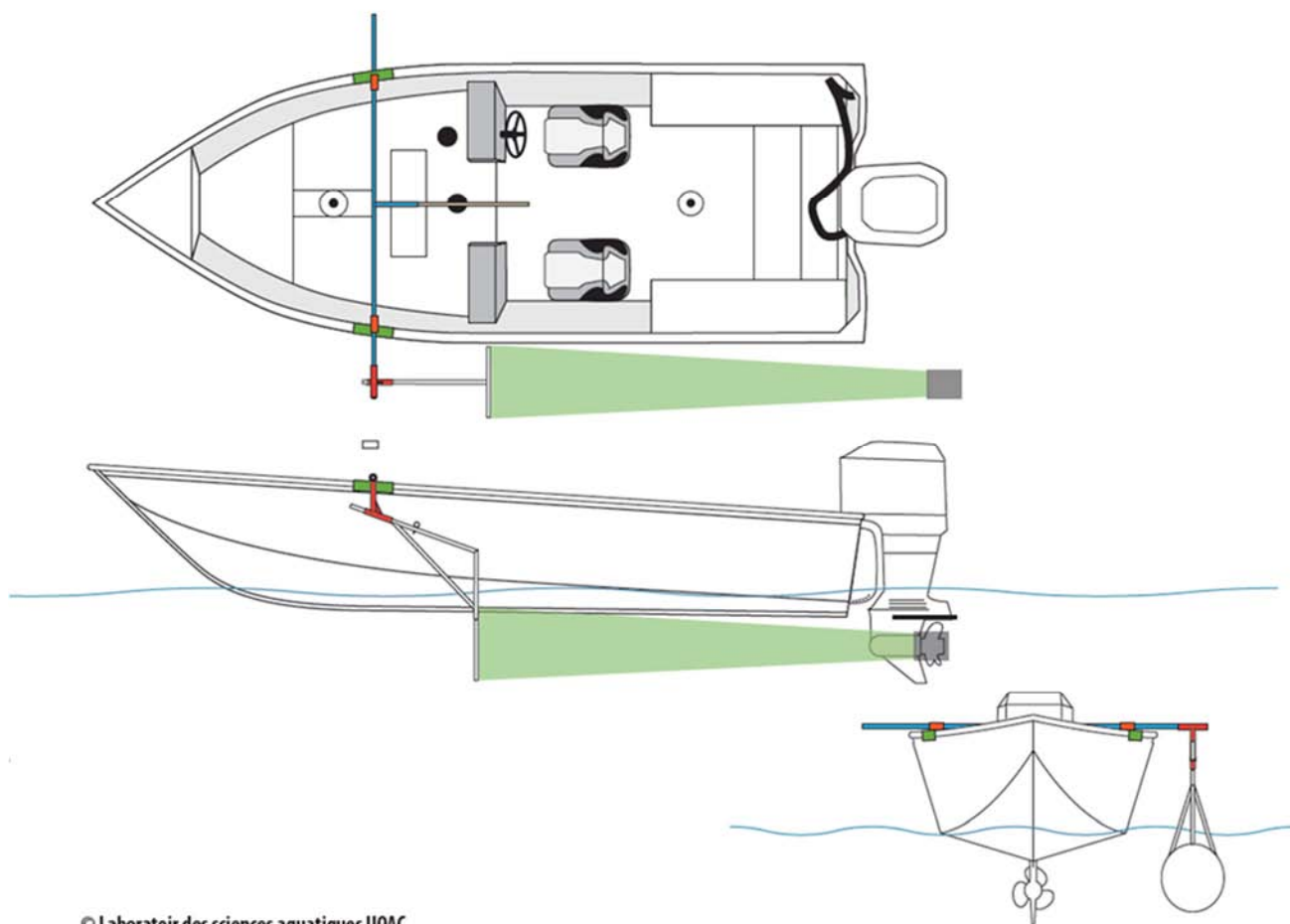
ÉCHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES LARVES

Récolte des échantillons

L'échantillonnage des larves a été effectué suivant le même protocole qu'aux printemps 2013, 2014 et 2016 (Lévesque et Sirois 2013; Lévesque et Sirois 2015; LASA, données non publiées). Cependant, la disposition des stations échantillonnées variait d'une année à l'autre selon l'objectif qui était alors visé. Les 14 stations d'échantillonnage ont été déterminées de manière à offrir une résolution fine de la distribution spatiale des larves dans la zone aménagée (des secteurs de 4 km²) et une résolution plus grande dans les zones adjacentes (des secteurs de 16 km²; figure 1). L'utilisation de secteurs d'échantillonnage, c'est-à-dire une aire délimitée à l'intérieur de laquelle le trait doit être fait, plutôt qu'un trait fixe prédéterminé ajoute une flexibilité à l'échantillonnage, puisque le filet doit être tracté face au vent ou au courant. Une homogénéité de l'abondance des larves est assumée à l'intérieur de chaque secteur.

Un trait de filet push-net quotidien dans chaque station a permis de récolter les larves de poisson qui ont ensuite été identifiées en laboratoire. Un filet conique fixé sur le côté de la chaloupe était tracté pendant dix minutes dans le premier mètre de la colonne d'eau (figure 4). De cette manière, le filet n'est précédé d'aucun obstacle ou turbulence. Le filet utilisé avait un diamètre de 50 cm et une ouverture de maille de 500 µm. Le volume filtré a été mesuré à l'aide d'un débitmètre (modèle 2030R, General Oceanics) installé au centre de l'embouchure du filet. L'échantillon récolté était conservé dans l'éthanol 95 %.

L'échantillonnage des larves a débuté le 29 mai 2017, dès la fin de l'échantillonnage des œufs, et il s'est terminé le 10 juin. Au total, 109 traits de filet (push-net) ont été effectués, durant 12 jours d'échantillonnage (tableau 1). Avec sa très grande superficie et sa faible profondeur, le lac Saint-Jean rend l'échantillonnage particulièrement difficile dès que les vents dépassent 20 km · 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.



© Laboratoire des sciences aquatiques UQAC

Figure 4 : Filet de type push-net utilisé pour la capture des larves de poisson. Le filet de 50 cm de diamètre et 500 μm d'ouverture de maille est tracté sur le côté de l'embarcation pendant 10 minutes, de manière à échantillonner dans le premier mètre de la colonne d'eau.

Traitement en laboratoire

Les échantillons de larves de poisson ont été triés en laboratoire au retour de l'échantillonnage. Les larves ont été identifiées à l'espèce (hormis les espèces du genre *Coregonus*) à l'aide de la clé d'identification des larves d'Auer (1982), couplée à la liste des espèces de poisson répertoriées dans le lac Saint-Jean (Plourde-Lavoie et Sirois 2016). Un stade a été attribué, selon Cooper (1978), à toutes les larves d'éperlan arc-en-ciel, sauf celles en très mauvais état et celles dont le sac vitellin était arraché, suivant le même protocole qu'aux printemps 2013, 2014 et 2016 (Lévesque et Sirois 2013; Lévesque et Sirois 2015; LASA, données non publiées). Selon les critères de Fortin 2002, une larve dont le vitellus couvre plus d'espace dans le sac vitellin que la gouttelette lipidique était classée stade A, une larve dont le vitellus occupe un espace équivalent ou moindre que celui de la gouttelette lipidique se voyait attribuer un stade B, alors qu'une larve avec un vestige de vitellus était cotée C et plus (figure 5). En termes d'âge, les stades A ont moins de 2 jours, les stades B environ 2 jours, et les stades $\geq C$ plus de 2 jours (Gagnon 2005).

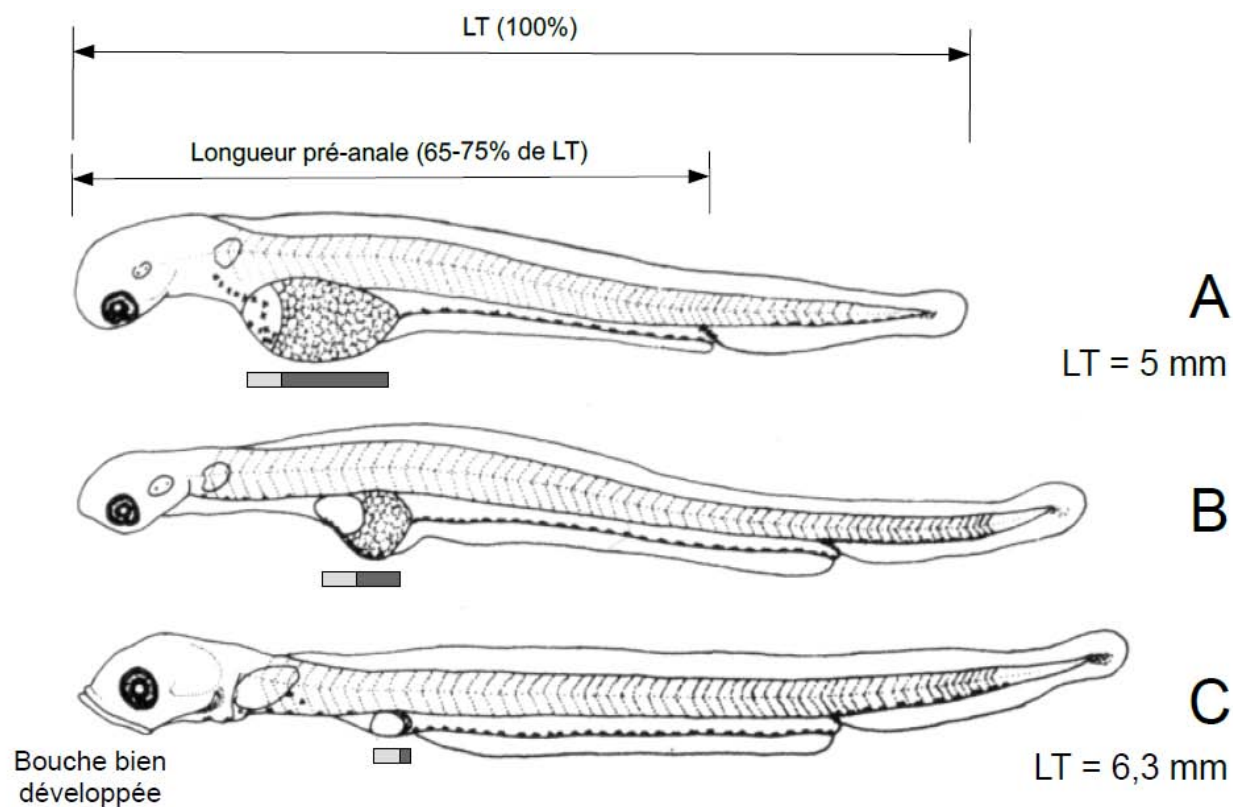


Figure 5 : Développement des larves d'éperlan arc-en-ciel et critères d'attribution du stade de développement. (A) Stade A, larve à la sortie de l'œuf, le vitellus occupe plus d'espace dans le sac vitellin que la gouttelette lipidique; (B) stade B, larve, le vitellus occupe un espace similaire à la gouttelette lipidique dans le sac vitellin; (C) stade C, larve, le vitellus est résorbé ou en voie de l'être. Adapté de Cooper (1978).

Analyse de la distribution spatiale des larves

Les données d'abondance des larves dans chaque zone ont été interpolées de manière à estimer la valeur pour un point d'intérêt non échantillonné, à partir des observations disponibles à proximité de ce point. Cette façon de faire permet de simplifier la représentation des fluctuations d'une variable sur une carte. La méthode de pondération par l'inverse de la distance (inverse distance weighted, IDW) a été retenue pour interpoler la distribution de l'abondance des stades larvaires durant la période échantillonnée, car elle est avantageuse lorsque les sites d'échantillonnages sont réguliers. L'abondance estimée pour un point est égale à la moyenne pondérée des abondances mesurées à l'intérieur d'une zone définie (Legendre et Legendre 1998). Les interpolations ont été réalisées avec les outils Spatial Analyst d'ArcGIS 10.

Exceptionnellement, des données supplémentaires d'abondance des larves d'éperlan, provenant d'une étude sur l'ichthyoplancton du lac Saint-Jean menée par une équipe de la CREA de l'UQAC (Valcourt, mémoire à venir), ont été ajoutées à l'ensemble de données afin d'augmenter la précision de l'interpolation à l'intersection des secteurs 70 et 74 (figure 1). Ce secteur (la station 126 de Valcourt) a été échantillonné à deux reprises durant le suivi de l'éclosion et de la dérive des larves d'éperlan, les 1^{er} et 7 juin 2017.

ÉVALUATION PHYSIQUE DES ÎLOTS ROCHEUX

Une inspection visuelle des îlots rocheux aménagés a eu lieu le 28 août 2017 afin de constater l'état des frayères après une saison sous l'eau. Cette journée présentait des conditions idéales pour la prise d'images sous-marines : ensoleillé et calme (vents de moins de $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Un échantillon de 6 frayères aménagées sur les 25 existantes a été retenu pour la visite (les frayères 7, 11, 9, 3, 16 et 25; annexe 1 et figure 6). Les frayères choisies sont représentatives de la dispersion spatiale et du gradient de profondeur du secteur aménagé. Les images (photos et vidéos) ont été prises à l'aide d'une caméra GoPro (Hero 1) fixée sur une longue tige de métal. Une fois la frayère détectée par le sonar du bateau, la tige était descendue dans la colonne d'eau pour procéder à l'inspection. Il a été impossible de prendre des images satisfaisantes de la frayère à plus basse élévation (îlot 25) : la pénétration de la lumière était insuffisante et la tige supportant la caméra était trop courte.

RÉSULTATS

IDENTIFICATION ET DÉNOMBREMENT DES ŒUFS ET DES LARVES

La campagne d'échantillonnage s'est déroulée du 13 mai au 10 juin 2017. Elle a été divisée en deux phases : l'échantillonnage des œufs et celui des larves. Au total, 220 œufs ont été récoltés en 206 déploiements de capteurs du 13 au 28 mai (tableaux 1 et 3). Il s'agit principalement d'œufs d'éperlan arc-en-ciel (186), mais aussi de doré jaune (31) ainsi que 3 œufs non identifiables.

Les 109 traits de filet effectués du 29 mai au 10 juin 2017 ont permis de récolter 1 557 larves de poisson, dont 95 % étaient des éperlans (tableau 3). Les autres espèces de poisson présentes dans l'échantillonnage sont les corégonidés (grand corégone et/ou cisco de lac), la perchaude, le doré jaune et la lotte, avec respectivement 50, 21, 10 et 1 larves.

Tableau 3 : Identification et dénombrement des œufs et des larves de poisson capturés au lac Saint-Jean du 13 mai au 10 juin 2017. 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 récoltés		220
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	186
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	31
Indéterminé (mauvais état)		3
Nombre de larves capturées		1557
Éperlan arc-en-ciel		1475
Stade A		529
Stade B		433
Stade \geq C		214
Non stadées (mauvais état)		299
Autres espèces		85
Grand Corégone et/ou Cisco de lac	<i>Coregonus sp.</i>	50
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	21
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	10
Lotte	<i>Lota lota</i>	1
Indéterminé (mauvais état)		3

RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES OEUFES ET DES LARVES

Œufs

L'objectif premier de l'échantillonnage était de valider l'utilisation des frayères par les éperlans arc-en-ciel reproducteurs. La campagne d'échantillonnage des œufs a mené à la récolte de 186 œufs d'éperlan, dont 135 répartis sur 11 des 25 frayères aménagées. Des œufs d'éperlan ont été retrouvés sur les frayères aménagées à toutes les profondeurs. Ils étaient cependant plus rares dans la portion sud-ouest du secteur aménagé (figure 6). Les débits exceptionnellement élevés de la rivière Mistassini au printemps 2017 pourraient expliquer cette observation : le débit moyen pendant l'échantillonnage était de $1037 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, alors que le débit moyen pour la même période est de $502 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Centre d'expertise hydrique du Québec¹). Il est probable que le panache d'eau de la rivière à son arrivée dans le lac ait débordé de son chenal habituel et entraîné de plus forts courants qu'à l'habitude sur cette portion du secteur aménagé. Dans l'ensemble, la présence de nombreux œufs sur les îlots de fraie aménagés permet de confirmer leur utilisation par l'éperlan.

La répartition des œufs sur les frayères aménagées est étendue dans l'espace et le temps : les œufs ont été capturés à une seule reprise sur sept frayères différentes et à deux reprises sur quatre autres. De plus, il n'y a pas de patron de distribution des œufs à l'échelle du capteur. Par exemple, les œufs peuvent aussi bien être tous sur la même plaque, sur des plaques adjacentes ou sur des plaques éloignées.

Un nombre important d'œufs d'éperlan (51) a aussi été récolté sur un seul des trois sites d'échantillonnage situés hors du secteur aménagé. Ces stations ont été ajoutées à l'échantillonnage puisque ces sites avaient été utilisés par les éperlans en 2014. Aucune frayère n'y a cependant été construite puisque ce secteur est couramment exondé au moment de la fraie de l'éperlan. Ce résultat démontre que l'effort de fraie ne se limite pas aux îlots rocheux aménagés.

Tous les œufs récoltés sur les capteurs ont été déposés entre le 13 et le 27 mai 2017, période durant laquelle la température de l'eau est passée de 5 °C à 12 °C (figure 7). Cette fenêtre de température correspond aux habitudes de fraie de l'éperlan au lac Saint-Jean (Lévesque 2012). Les capteurs ont été

¹ https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/index.asp

déployés dans la journée du 13 mai, mais le premier portrait du secteur n'a pu être complété avant le 17 mai. Les premiers œufs ont été détectés le 16 mai et ont donc été pondus entre le 13 et le 16 mai (tableau 4). Le pic de la fraie est probablement survenu autour du 21 mai. Des épisodes de forts vents ont coïncidé avec cette période (18, 19, 22 et 23 mai), ce qui a réduit grandement notre capacité d'échantillonnage et limité la définition temporelle de la fraie de l'éperlan en 2017.

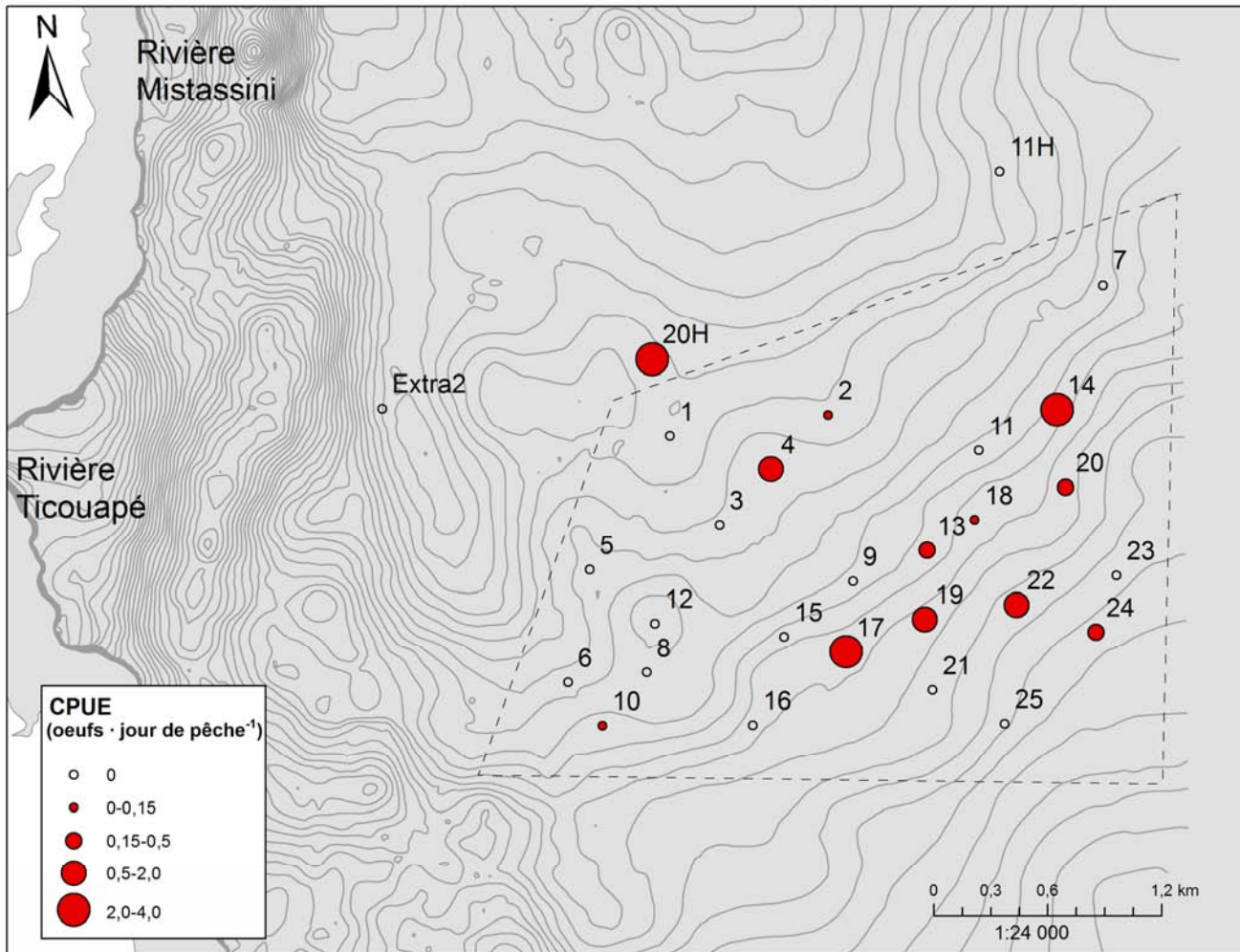


Figure 6 : Répartition spatiale des œufs d'éperlan arc-en-ciel sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non aménagés au lac Saint-Jean. Les cercles vides correspondent aux stations sans œuf, alors que les cercles rouges indiquent la présence d'œufs. La taille du cercle est fonction du nombre d'œufs 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.

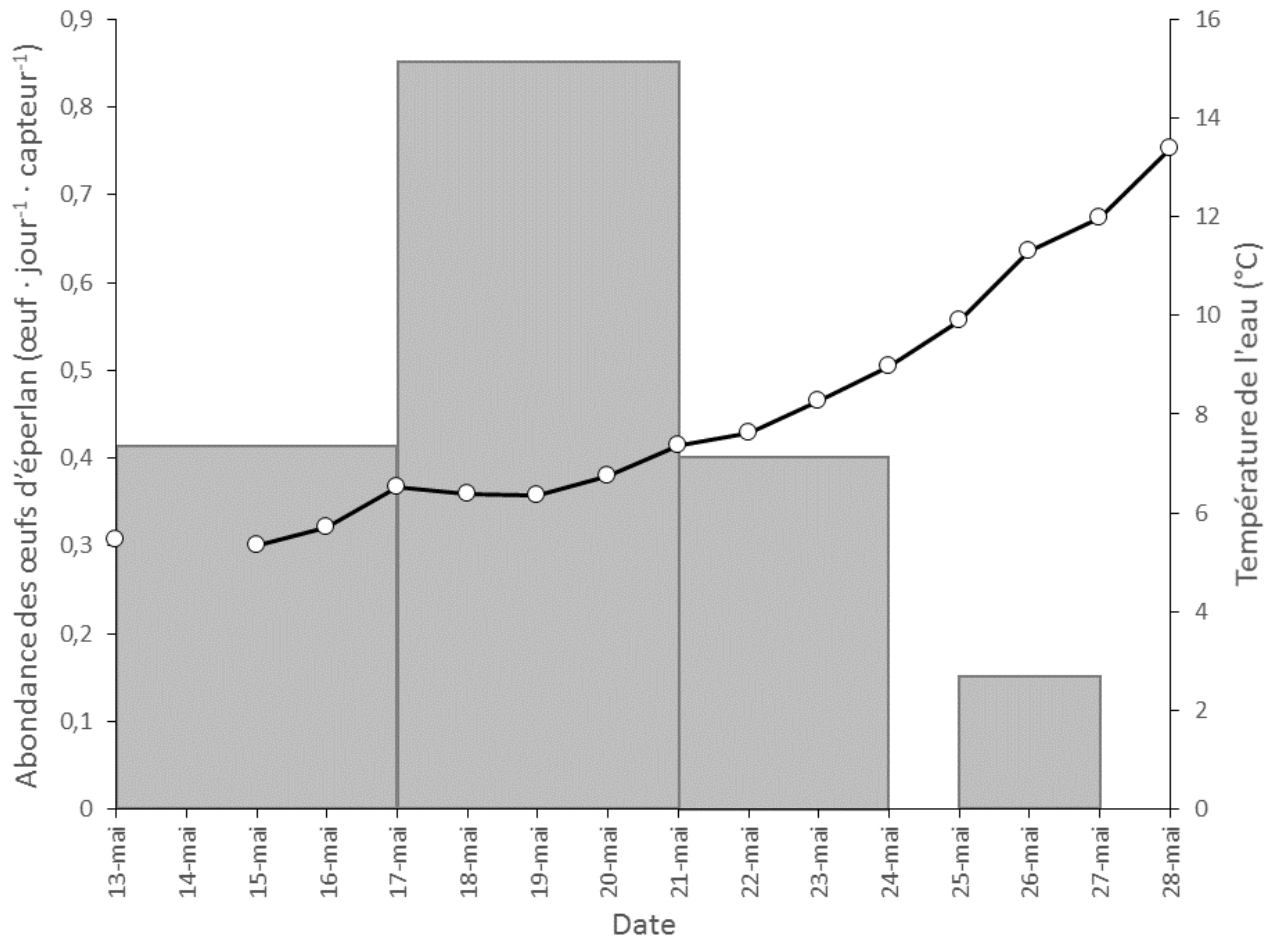


Figure 7 : Répartition temporelle de l'abondance des œufs d'éperlan arc-en-ciel au printemps 2017 sur les 25 frayères aménagées et les 3 sites non aménagés au lac Saint-Jean. Il ne s'agit pas d'un histogramme à proprement parler (fréquence irrégulière), puisque les barres regroupent les périodes pour lesquelles un portrait de toutes les stations était complet. Aucun œuf n'a été récolté le 25 mai, bien que tous les capteurs aient été vérifiés ce jour-là. À titre de référence, la température de l'eau pour cette période est passée de 5 à 13,4 °C (cercles blancs reliés par un trait noir).

Tableau 4 : Distribution temporelle de la récolte des œufs au printemps 2017 au lac Saint-Jean. Au total, 186 œufs d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltés dans 12 stations différentes sur une période de 12 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	Doré jaune	Relevées	Avec œufs d'éperlan arc-en-ciel			
13 mai						5,5	Pose
14 mai							
15 mai	0		15	0	30	5,3	
16 mai	33		13	3	39	5,7	Vents forts
17 mai	14		16	3	27	6,5	
18 mai	2	1	24	2	40	6,4	
19 mai						6,4	Vents forts
20 mai	6		4	1	10	6,8	Vents forts
21 mai	88	30	28	3	78	7,4	
22 mai	0		5	0	5	7,6	Vents forts
23 mai						8,3	Vents forts
24 mai	34		28	3	79	9,0	
25 mai	0		28	0	28	9,9	
26 mai	0		17	0	17	11,3	
27 mai	9		24	2	34	12,0	Relève finale
28 mai	0		4	0	9	13,4	Relève finale
Fraie sur 12 jours	186 œufs d'éperlan arc-en-ciel	31 œufs de doré jaune	206 stations relevées	17 stations, dont 12 différentes	396 jours · capteurs	Entre 5,5 et 12 °C	

Larves

L'échantillonnage des larves a débuté le 29 mai 2017 et a pris fin le 10 juin. Durant cette période, les plus fortes abondances de larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A, âgées de moins de deux jours, se retrouvaient respectivement au centre et juste au sud du secteur aménagé (figure 8a). Des larves récemment écloses ont aussi été retrouvées dans l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan. Les larves de stade B, âgées d'environ deux jours, étaient principalement distribuées au sud et à l'est du secteur aménagé (figure 8b). La répartition des larves de stade C et plus, âgées de plus de deux jours, est demeurée similaire à celle des stades A et B (figure 8c). Elles étaient présentes presque partout sur le haut-fond et un peu plus abondantes au sud du secteur aménagé. La grille d'échantillonnage ne permet pas de documenter adéquatement la dérive de la majorité des larves de stade C et plus, puisque ce n'était pas un objectif du suivi. Cependant, un échantillonnage distinct de l'ichthyoplancton du lac Saint-Jean, effectué lui aussi au printemps 2017, a montré une progression des stades C et plus vers le sud-est et le centre du lac (Valcourt, mémoire à venir). Ce portrait, combiné à celui des courants de surface en fonction des vents les plus fréquents (Lévesque et Sirois 2013), confirme que le principal foyer de production des larves d'éperlan du lac Saint-Jean se situe au centre du secteur aménagé.

Il est pertinent de rappeler que la figure 8 et les annexes 2a, 2b et 2c 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, 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.

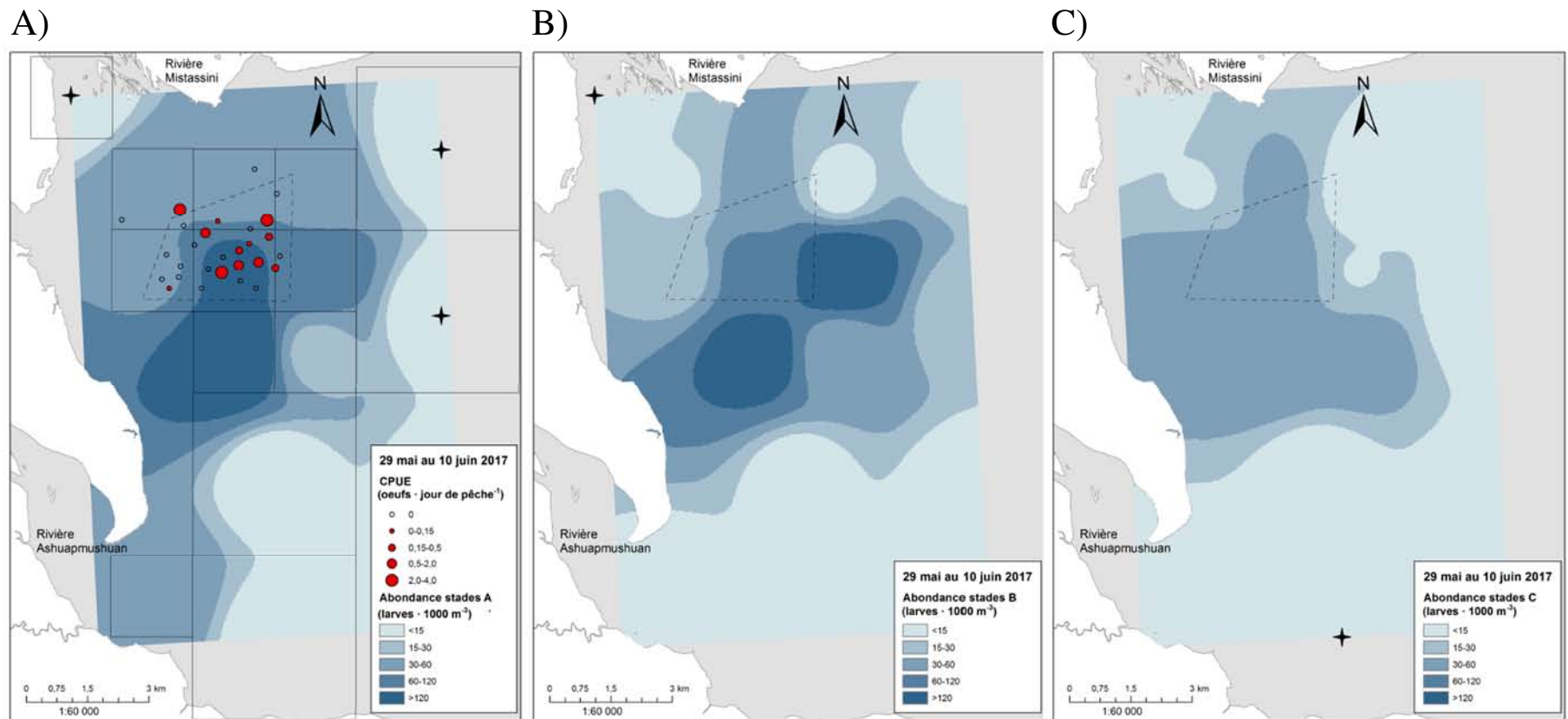


Figure 8 : Distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) selon leur stade de développement durant l'ensemble de la période d'échantillonnage des larves : (A) les larves de stade A âgées de moins de 2 jours, (B) les stades B d'environ 2 jours et (C) les stades 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.

Tout comme l'échantillonnage des œufs, l'échantillonnage des larves a été marqué par le mauvais temps, ce qui a laissé des lacunes dans le portrait de leur répartition spatio-temporelle. Bien que l'échantillonnage ait officiellement débuté le 29 mai, seules quatre stations ont pu être échantillonnées ce jour-là et aucune le jour suivant (tableau 1; figure 9). L'échantillonnage des larves n'a donc été effectif qu'à partir du 31 mai. Les larves A ont connu deux pics d'abondance : un premier le 2 juin et un second le 4 juin. Seulement deux stations ont été échantillonnées le 2 juin et elles présentaient de très fortes concentrations de larves de stade A. Cependant, les pics d'abondance des stades B observés le lendemain et le surlendemain, ainsi que le pic d'abondance des stades C le 4 juin, confirment ce premier pic d'abondance des stades A. On obtient une situation inverse pour le second pic d'abondance de larves A : alors que de fortes abondances de larves A ont été échantillonnées dans plusieurs stations le 4 juin (toutes les stations ont été échantillonnées ce jour-là), les liens avec l'abondance des autres stades larvaires dans les jours suivants sont faibles. Ce constat laisse penser que les fortes abondances de larves de stade A ne se sont pas prolongées le 5 juin, comme le suggère à prime abord la figure 9. Le mauvais temps du 5 juin a probablement masqué le pic d'abondance des stades B, mais une trace de ce pic devrait subsister le 6 juin. La mortalité et/ou la dispersion rapide des larves pourraient expliquer cette observation. Par exemple, on retrouve à cette date une forte proportion de larves dont le stade n'a pu être déterminé. Enfin, le petit pic de larves C et plus le 6 juin pourrait être le vestige du second pic d'éclosion.

La répartition spatiale quotidienne des différents stades larvaires d'éperlan apporte des informations supplémentaires. Les premières larves de stade A et B ont été capturées dans la rivière Ashuapmushuan le 31 mai (annexe 2a). D'après la température de l'eau à cette période et la présence de stades B dès la première visite, l'éclosion des larves en rivière a débuté un peu avant cette date. Les plus fortes dévalaisons de larves A de la rivière Ashuapmushuan ont eu lieu les 1^{er} et 2 juin. Le portrait est légèrement décalé sur le haut-fond en lac. Les premières larves de stade A ont été capturées le 1^{er} juin dans le secteur aménagé (stations 17, 18, 29 et 30). Les stades B ont fait leur apparition le même jour, aux mêmes stations que pour les stades A (annexe 2b). Étrangement, ces stades B n'ont été précédés la veille d'aucun stade A dans les mêmes secteurs, ce qui soulève la possibilité d'une éclosion hors du secteur échantillonné. Les stades C ont fait leur apparition le jour suivant, le 2 juin, dans une portion du secteur aménagé et dans la rivière Ashuapmushuan, soit les deux seules stations ayant pu être échantillonnées cette journée-là étant donné les forts vents (stations 28 et 53; annexe 2c). Le pic d'abondance de larves A du 4 juin se démarque clairement, avec de fortes abondances dans la majorité des stations. L'abondance des larves A a ensuite graduellement diminué jusqu'à la fin de

l'échantillonnage le 10 juin. La fin de l'échantillonnage a été décrétée lorsque des larves A n'étaient plus détectées dans les échantillons sur le terrain (en trop faible abondance pour être visibles à l'œil nu) et que les 156 degrés-jours nécessaires à l'éclosion des œufs d'éperlan (Gagnon 2005) étaient bien dépassés depuis la récolte du dernier œuf sur les capteurs.

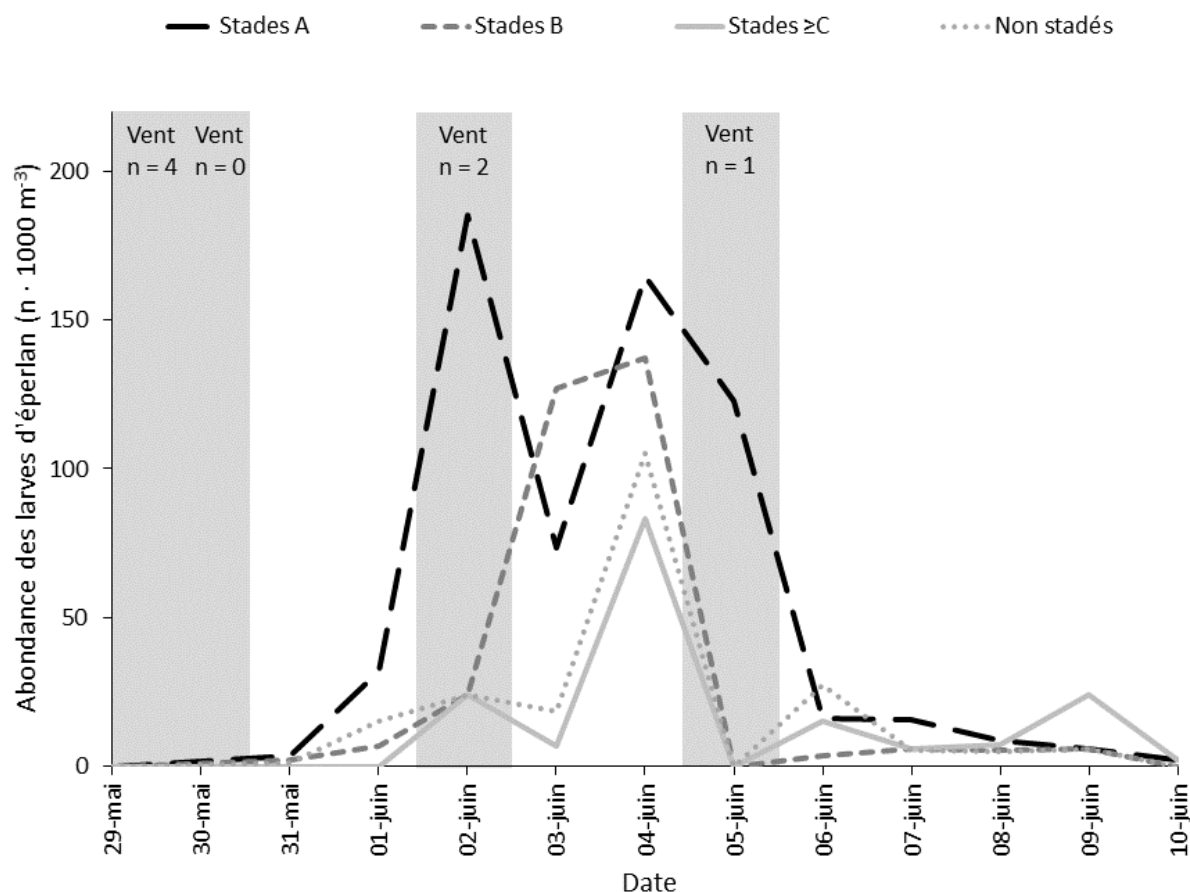


Figure 9 : Abondance quotidienne des larves d'éperlan arc-en-ciel ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$), par stade, au lac Saint-Jean, du 29 mai au 10 juin 2017. Le trait discontinu noir correspond à l'abondance des larves de stade A, le trait discontinu gris à celle des larves de stades B, le trait plein 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 barres grises indiquent un effort d'échantillonnage réduit ou annulé en raison de mauvaises conditions climatiques les 29 et 30 mai, ainsi que les 2 et 5 juin (le nombre de stations échantillonnées est indiqué).

ÉTAT PHYSIQUE DES ÎLOTS ROCHEUX

Les frayères visitées semblaient en parfaite condition : sans dépôt visible de sédiments, ni déplacement apparent de pierres par les glaces au printemps. On retrouvait cependant des amas de matière organique fine (feuilles, écorce, filaments) accumulés au pied de certains îlots. 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.

DISCUSSION

PRODUCTION DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL

Œufs

Le succès de la récolte d'œufs d'éperlan arc-en-ciel à l'aide de capteurs a été d'un ordre de grandeur supérieur en 2017 sur les îlots rocheux aménagés et leurs environs qu'en 2014 lors de la recherche des sites de fraie dans le même secteur (0,47 et de 0,03 œuf · jour⁻¹ · capteur⁻¹; tableau 5). Ces résultats confirment une fraie importante sur les îlots rocheux et dans leurs environs. Il s'agit d'un rendement comparable à celui mesuré avec les mêmes capteurs sur les hauts-fonds du fleuve Saint-Laurent, dans la portion fluviale de l'habitat de fraie de l'éperlan du sud de l'estuaire du Saint-Laurent à la hauteur de Beaumont (Legault et Lecomte 2011; Lecomte données non publiées). Le taux mesuré dans le secteur aménagé du lac Saint-Jean est plus faible que dans le foyer de fraie du sud de l'estuaire, où il atteint 3,10 œufs · jour⁻¹ · capteur⁻¹, mais meilleur que dans la portion légèrement en aval, avec un taux de 0,19 œuf · jour⁻¹ · capteur⁻¹.

Tableau 5 : 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 de 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			
Foyer de fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean avant l'aménagement des îlots rocheux (Lévesque et Sirois 2015)	12	436	0,03
Foyer de fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean après l'aménagement des îlots rocheux	186	396	0,47
Fleuve Saint-Laurent (hauts-fonds)			
Foyer de fraie de l'éperlan du sud de l'estuaire (Legault et Lecomte 2011)	818	264	3,10
Habitat de fraie de l'éperlan du sud de l'estuaire (Lecomte données non publiées)	96	516	0,19

Larves

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 et 2017 réparties dans le secteur nord-ouest du lac Saint-Jean ont été retenues, afin d'obtenir des échelles spatiales et temporelles comparables. Cette région correspond aux secteurs échantillonnés en 2017 (figure 1). Les échantillonnages antérieurs à 2013 n'ont pu être utilisés, car ils comportent peu de stations échantillonnées dans le secteur étudié et leur fréquence d'échantillonnage est faible. L'abondance de l'éperlan a constamment augmenté depuis 2013 au lac Saint-Jean, ce qui correspond à la phase ascendante du cycle de l'éperlan (annexe 3). Il est cependant impossible pour l'instant de déterminer si la production de larves d'éperlan en 2017 est meilleure qu'attendue suivant ce cycle.

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 correspondant 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

Il est aussi intéressant de constater l'importance grandissante de l'éperlan dans les échantillons récoltés : une larve sur deux était un éperlan en 2013, alors que cette espèce représentait la presque totalité des larves capturées en 2017 (tableau 6). Non seulement l'éperlan se retrouve en plus grande quantité depuis 2013, mais les larves des autres espèces se font plus rares.

La production de l'éperlan en 2017 peut être remise en contexte à l'aide du modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean (Lévesque *et al.* 2018; figure 10). Cet exercice est d'autant plus pertinent que le fort signal de production de l'éperlan au mois de juin n'a pas eu l'effet attendu dans le suivi annuel de l'abondance des juvéniles au mois d'août.

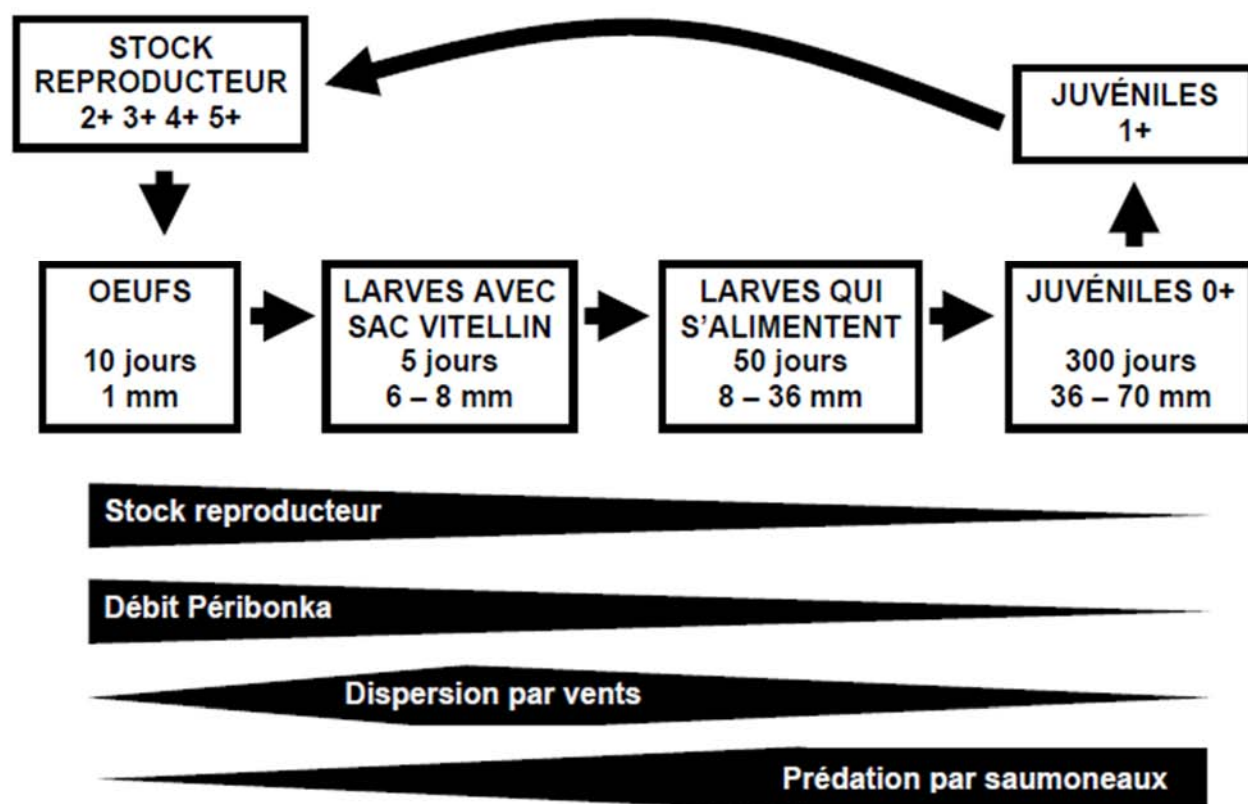


Figure 10 : Modèle conceptuel révisé du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean (Lévesque *et al.* 2018).

L'abondance des larves d'éperlan récoltées en juin 2017 correspond sensiblement à ce qui était attendu à partir de la relation stock-recrutement existante (Lévesque *et al.* 2018).

Les conditions de la saison estivale 2017 ont ensuite été difficiles pour les larves d'éperlan. La crue printanière a été exceptionnelle dû à des apports d'eau plus élevés que la normale (couvert de neige et précipitations). Les médias ont rapporté qu'il s'agissait du plus gros volume de crue depuis 1976 (Le Quotidien, 10 mai 2017²). Le débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin a été

² <https://www.lequotidien.com/actualites/lac-saint-jean-du-jamais-vu-en-40-ans-e45c776e6090b1b3b68c4bee56be319e>

estimé à $788 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, grâce à la relation entre les débits des rivières Ashuapmushuan et Péribonka pour la même période ($R^2 = 0,63$; $p < 0,001$; annexe 4; données du Centre d'expertise hydrique du Québec³). Le recrutement de l'éperlan est 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 et 2017 n'y fait pas exception (Lévesque *et al.* 2018). À cela s'ajoute la forte proportion de rafales de vent provenant du nord-ouest⁴, un autre facteur défavorable au recrutement de l'éperlan. La moitié (50%) des rafales provenait du nord-ouest en 2017⁵, ce qui correspond à la deuxième plus forte fréquence de rafales du nord-ouest depuis 1984.

Enfin, les saumoneaux n'étaient pas suffisamment abondants pour avoir un impact significatif sur le recrutement (MFFP, données non publiées). Ce sont donc les variables abiotiques qui ont modulé le recrutement de l'éperlan en 2017.

³ https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/index.asp.

⁴ La direction de la rafale maximale journalière ($\geq 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) a été utilisée pour calculer la proportion de rafales provenant du nord-ouest.

⁵ <http://climat.meteo.gc.ca/>

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 bonifier la survie des œufs de la proie préférentielle de la ouananiche, en améliorant la qualité de son habitat de fraie. L'impact des îlots rocheux aménagés a fait l'objet d'un suivi dès le printemps 2017, avec pour objectifs de valider leur utilisation par l'éperlan et de mesurer la production larvaire dans le secteur aménagé. Ce suivi sera répété aux printemps 2019 et 2020, 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.

Près de deux cents œufs d'éperlan ont été récoltés du 13 au 28 mai 2017. Plus d'une centaine d'entre eux étaient répartis sur près de la moitié des frayères aménagées, ce qui confirme leur utilisation par l'éperlan. La présence d'une cinquantaine d'œufs sur un site d'échantillonnage hors du secteur aménagé démontre cependant que l'effort de fraie s'étend au-delà des frayères aménagées. Le rendement de récolte des œufs d'éperlan du lac Saint-Jean en 2017 est comparable à celui retrouvé dans l'habitat de fraie de la population d'éperlan du sud de l'estuaire du Saint-Laurent (sur les hauts-fonds du fleuve, à la hauteur de Beaumont).

La distribution des larves d'éperlan capturées du 29 mai au 10 juin 2017 montre que le foyer de production des larves se trouve au centre du secteur aménagé. Les plus fortes abondances de larves de stade A (âgées de moins de deux jours) sont associées à la station du centre du secteur aménagé et aux stations limitrophes au sud et à l'est de ce secteur, qui correspondent aux patrons de dérive attendus en fonction des courants et vents dominants.

La forte production de larves d'éperlan en juin au lac Saint-Jean n'a pas produit une forte cohorte de juvéniles selon le suivi annuel réalisé au mois d'août. Cette différence entre l'abondance des larves en juin et les juvéniles en août s'explique par des conditions climatiques peu favorables au recrutement de l'éperlan au début de l'été : le débit moyen de la rivière Péribonka lors de la première semaine de juin a dépassé le seuil associé au faible recrutement et il y a eu une forte proportion de rafales du nord-ouest en juin (Lévesque *et al.* 2018).

Enfin, l'abondance des larves d'éperlan de stade A dans le nord-ouest du lac Saint-Jean augmente depuis 2013, avec la remontée du cycle de l'éperlan. Les prochains suivis permettront de déterminer si l'augmentation observée est influencée par l'aménagement des frayères.

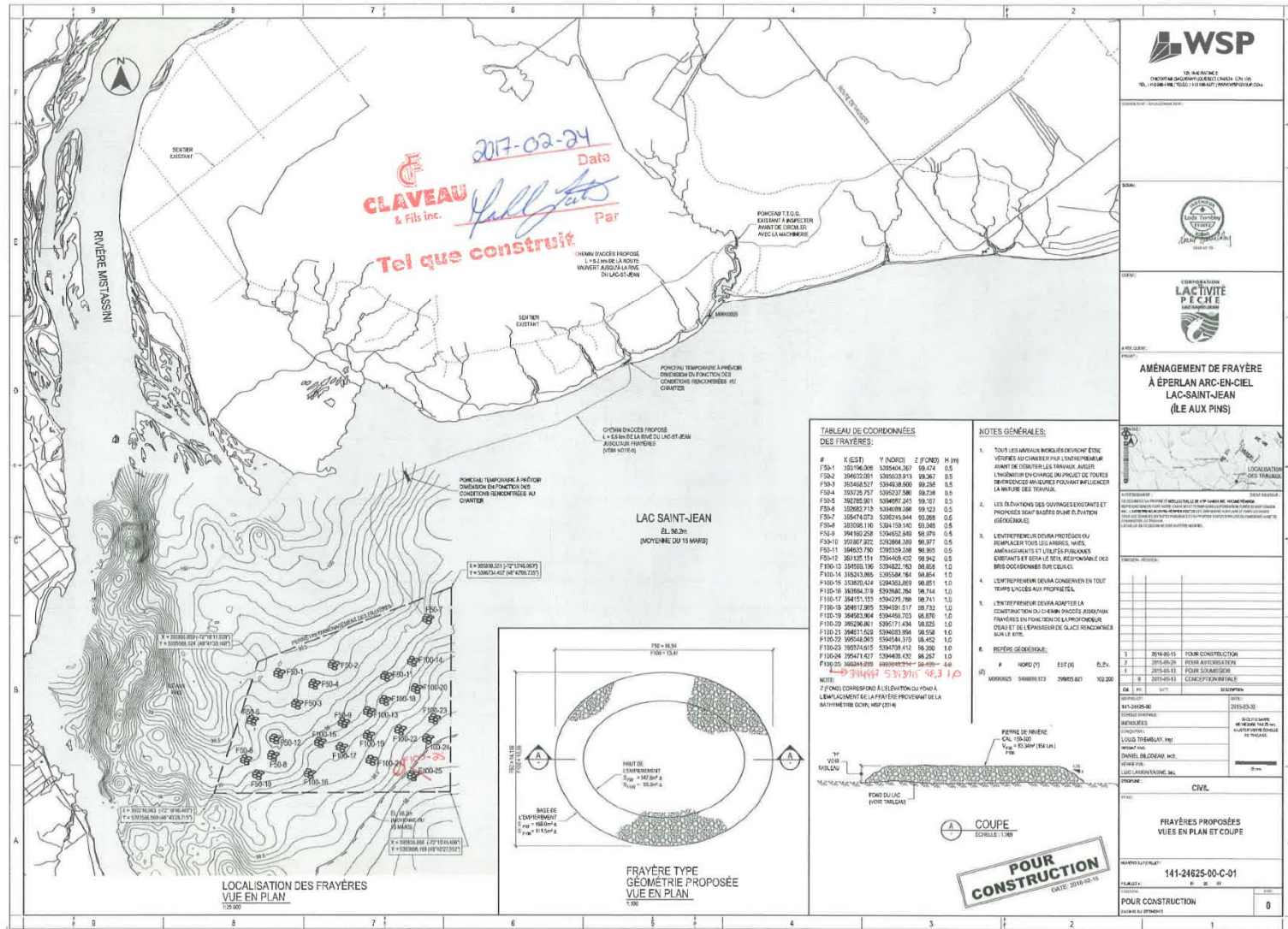
RÉFÉRENCES

- 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. 2002. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des jeunes éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 107 p.
- 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.
- Fry F.E.J. 1971. The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish. Dans : Hoar W.S. et Randall D.J. éds. Fish Physiology. Academic Press, p. 1-98.
- 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, 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. 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.
- Legendre P. et Legendre L. 1998. Numerical Ecology. Elsevier Scientific Publishing Compagny, Amsterdam, 853 p.
- Leim A.H. et Scott W.B. 1972. Poissons de la côte Atlantique du Canada. Office des recherches sur les pêcheries du Canada, Ottawa, 527 p.

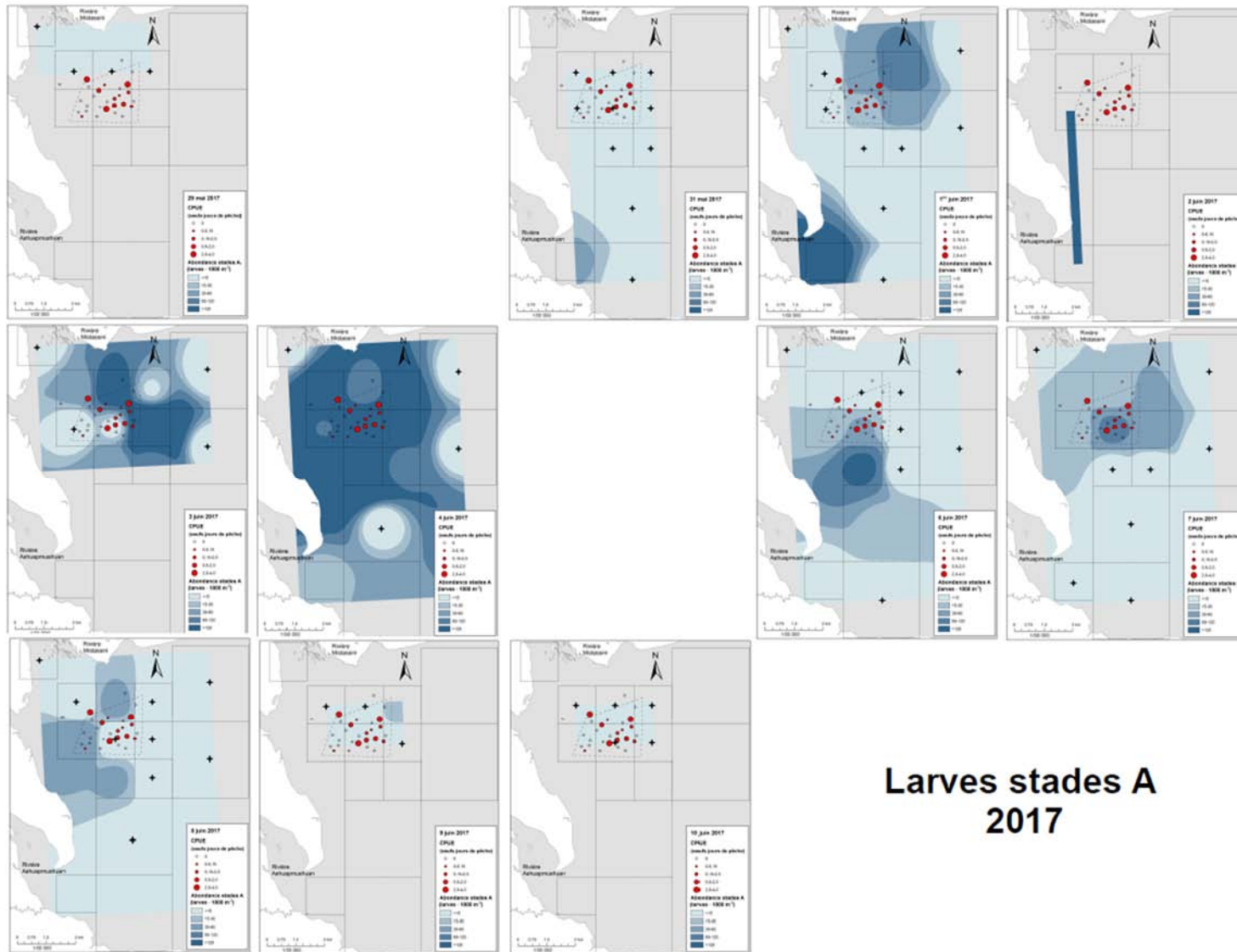
- Lévesque S. 2012. La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole: étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi, 111 p.
- Lévesque S. et Sirois P. 2013. Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel 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., 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.
- Plourde-Lavoie P. et Sirois P. 2016. Revue et synthèse de la littérature scientifique sur la reproduction et les habitats des poissons fourrages de la zone littorale du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 124 p.
- Scott W.B. et Crossman E.J. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Ottawa, 1026 p.
- 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 : Plan tel que construit de l'entrepreneur indiquant l'emplacement des îlots de fraie rocheux, incluant les coordonnées modifiées de l'îlot 25.

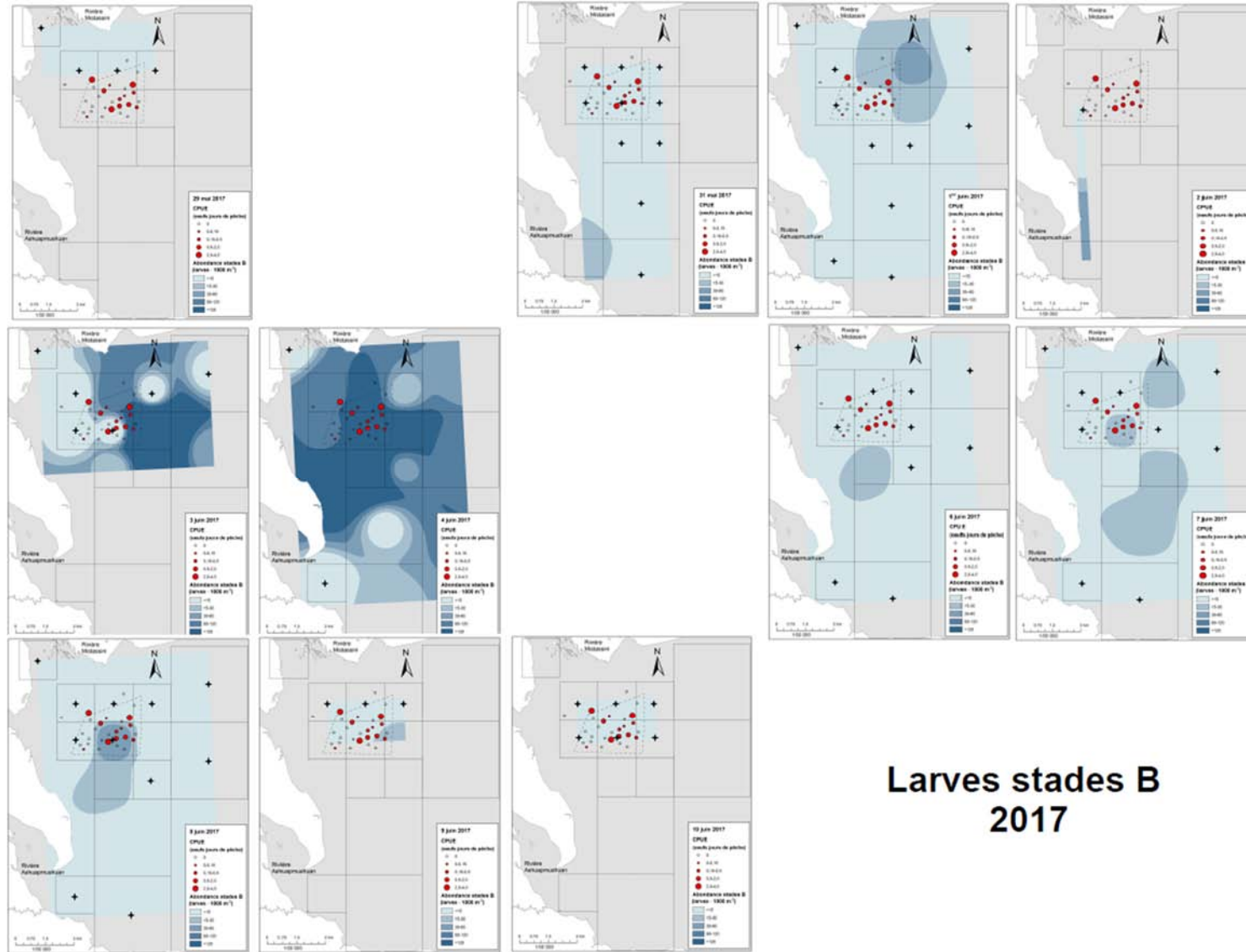


Annexe 2a : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade A ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 29 mai au 10 juin 2017 dans le lac Saint-Jean. Le secteur aménagé est indiqué par le polygone pointillé. L'intensité de la couleur augmente en fonction de l'abondance 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. Les ronds rouges indiquent les stations avec œufs.



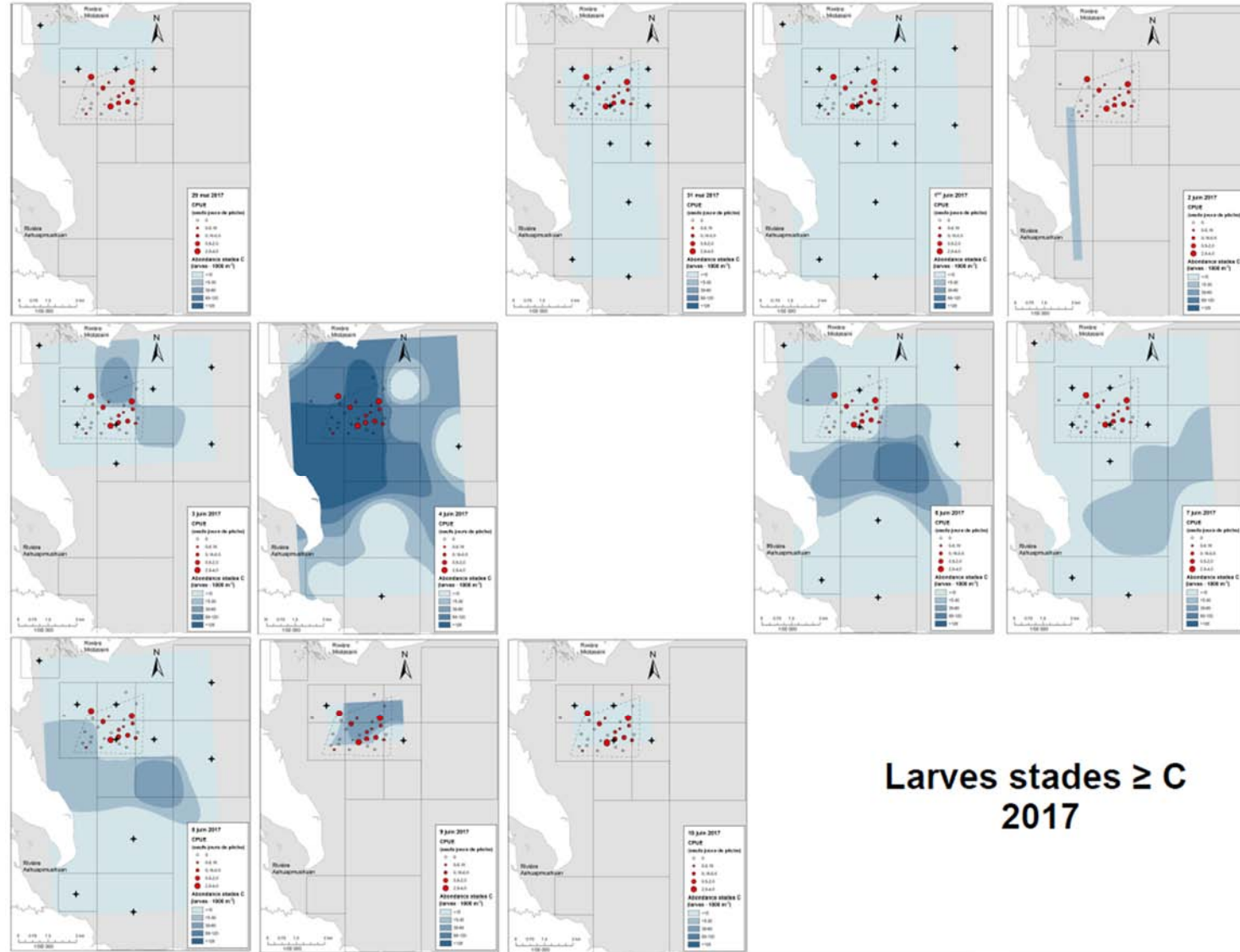
**Larves stades A
2017**

Annexe 2b : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade B ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 29 mai au 10 juin 2017 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. Les ronds rouges indiquent les stations avec œufs.



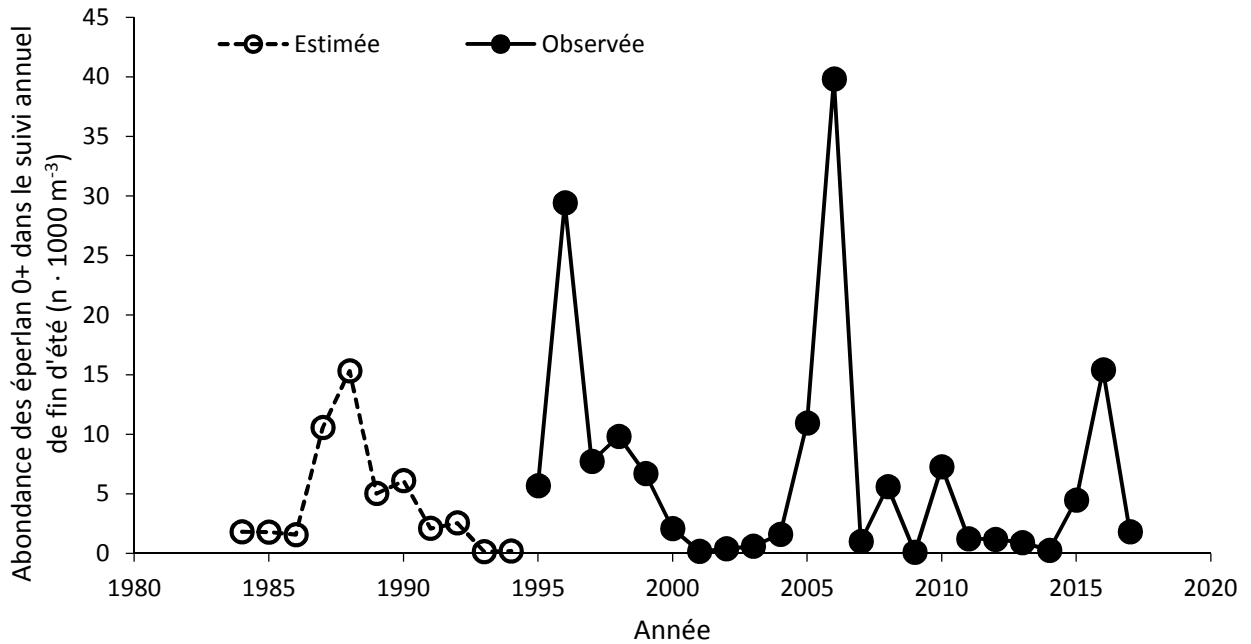
**Larves stades B
2017**

Annexe 2c : Distribution spatiotemporelle de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel de stade $\geq C$ ($n \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$) du 29 mai au 10 juin 2017 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. Les ronds rouges indiquent les stations avec œufs.



**Larves stades $\geq C$
2017**

Annexe 3 : Fluctuations de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel juvénile dans le lac Saint-Jean. Les valeurs de 1984 à 1994 (ligne discontinue) ont été estimées à l'aide de la relation entre l'abondance des éperlans 0+ et la croissance moyenne de l'écaille des ouananiches durant la première année en lac, alors que les valeurs de 1995 à 2017 (ligne continue) proviennent du suivi annuel de l'abondance de l'éperlan qui a lieu à chaque fin d'été (Legault 1998). L'abondance des juvéniles en 2017 ne suit pas la phase ascendante du cycle de l'éperlan attendue. Figure modifiée de Lévesque *et al.* 2018.



Annexe 4 : Débit moyen de la rivière Péribonka la première semaine de juin en fonction du débit moyen de la rivière Ashuapmushuan pour la même période. La donnée extrême de 1976 (cercle vide) n'a pas été considérée dans le calcul de la relation.

