

2013

Chaire de recherche  
sur les espèces  
aquatiques exploitées

# Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean

Sonya Lévesque et Pascal Sirois



**UQAC**

Université du Québec  
à Chicoutimi

**Référence à citer :**

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.

Rapport de recherche

Chaire de recherche  
sur les espèces  
aquatiques exploitées

Université du Québec à Chicoutimi

## Production et dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean

Sonya Lévesque et Pascal Sirois

En partenariat avec :



Développement durable,  
Environnement,  
Faune et Pêches  
Québec



RioTinto Alcan

---

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, la Conférence régionale des élus du Saguenay-Lac-Saint-Jean, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine, la MRC du Domaine-du-Roy, Produits forestiers Résolu, Rio Tinto Alcan et la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées de l'Université du Québec à Chicoutimi pour leur contribution financière à la recherche des foyers de production de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

Les membres du comité scientifique ont été d'une aide précieuse lors de la conception et la mise en place du plan d'échantillonnage. Des remerciements particuliers vont à Michel Legault pour la mise au point de la grille d'échantillonnage.

Nous remercions Marc Archer pour son support et sa contribution à la logistique de terrain. Les ressources de la CLAP ainsi que celles de la Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées de l'Université du Québec à Chicoutimi ont été sollicitées à toutes les étapes du travail de terrain : que ce soit au moment de la préparation des équipements, au cours de l'échantillonnage printanier sur le lac, ou encore lors du traitement des échantillons en laboratoire. Nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé à l'une ou l'autre de ces étapes : Caroline Caron, Anne-Lise Fortin, Luc Girard, Rémi Guay, Olivier Guillemain, Maxime L.-Larouche, Patrick Plourde-Lavoie, Dave Tremblay et Lucie Vanalderweireldt.

Nous tenons à souligner l'importante contribution de Daniel Bourgault et de Simon Senneville, de l'Institut des Sciences de la Mer, Université du Québec à Rimouski, qui ont supervisé la collecte des données de courants au lac Saint-Jean à partir des bouées dérivantes et qui ont réalisé le traitement de ces données.

Merci à Patrick Plourde-Lavoie et Caroline Caron pour leur aide afin d'appivoiser ArcGIS.

Merci aux réviseurs du document : Marc Archer, David Cleary, Anne-Lise Fortin, et Jérôme Plourde.

Enfin, Sonya Lévesque remercie le Laboratoire des sciences aquatiques de l'Université du Québec à Chicoutimi de lui donner accès à un environnement de travail stimulant et à des ressources humaines et techniques précieuses.

Les membres du comité scientifique sont, par ordre alphabétique :

M. Marc Archer, Biologiste Directeur	Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean
M. David Cleary, M. Sc. Biologiste Conseiller en gestion de la faune et de l'environnement	Pekuakamiulnuatsh Takuhikan
Mme Karine Gagnon, M. Sc. Biologiste	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
M. Stéphane Gauthier Conseiller principal Environnement	Rio Tinto Alcan
Mme Ursula Larouche Biologiste Conseillère en développement	Conférence régionale des élus du Saguenay – Lac- Saint-Jean (CRRNT/CRE)
M. Michel Legault, M. Sc. Biologiste	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
M. Jérôme Plourde, M. Sc. Biologiste	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
M. Pascal Sirois, Ph. D. Professeur	Université du Québec à Chicoutimi

## RÉSUMÉ

Les recherches des quinze dernières années au lac Saint-Jean ont démontré que la production d'éperlans arc-en-ciel limite l'abondance des ouananiches, leur principal prédateur (Fortin *et al.* 2009). Par contre, la production d'éperlans n'est pas limitée par l'abondance de leurs proies, le zooplancton (Sirois *et al.* 2011). Ce serait plutôt la disponibilité des habitats de reproduction de qualité qui freinerait la production des éperlans du lac Saint-Jean. Dans cet ordre d'idée, le comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêche dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean a jugé essentiel de fournir une base solide pour la réalisation d'aménagements visant à favoriser la production naturelle d'éperlans. Les zones de fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean n'avaient jamais été directement localisées. Par conséquent, une synthèse des connaissances sur l'écologie reproductive de l'éperlan dulcicole a été produite afin de rassembler, d'intégrer et de comparer les caractéristiques de l'éperlan du lac Saint-Jean à ce qui est documenté ailleurs dans le monde (Lévesque 2012). La synthèse posait l'hypothèse que les principaux foyers de production d'éperlans sont situés dans le secteur nord-ouest du lac Saint-Jean, dans les grandes rivières et à proximité de leur embouchure, et sur les hauts-fonds sablonneux environnants.

La campagne d'échantillonnage des larves d'éperlan du printemps 2013 présentée dans ce rapport s'inscrit dans ce processus. Il est primordial de situer les foyers de fraie parce que la proximité de frayères existantes maximise les chances de réussite d'un aménagement. L'échantillonnage avait pour objectifs : (1) d'identifier les zones de production larvaire de l'éperlan du lac Saint-Jean en procédant au suivi de l'émergence des larves au printemps; (2) de recréer la dérive larvaire de l'éperlan en mettant en relation la distribution des larves avec le portrait de la circulation des courants au lac Saint-Jean, et (3) d'apporter des recommandations dans une perspective d'aménagements à proximité des secteurs de production identifiés.

L'échantillonnage a eu lieu du 12 mai au 13 juin 2013 dans le secteur nord-ouest du lac Saint-Jean. Les larves d'éperlan ont été détectées du 28 mai au 11 juin dans la région à l'étude, avec la grande majorité des larves capturées sur une période de six jours entre le 28 mai et le 2 juin. La saison 2013 s'inscrit comme une année de creux du cycle d'abondance de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

En 2013, il y avait globalement plus de larves issues de la production en lac que de larves issues de la production en rivière. Une production importante de larves en lac a eu lieu sur les hauts-fonds à

l'embouchure de la rivière Mistassini. Ce constat est intéressant puisque d'après les données disponibles, il était attendu que le principal effort de fraie aurait plutôt lieu sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka. Il a été impossible de localiser un foyer de production aux alentours de la rivière Péribonka, étant donné la très faible production de larves de la population des éperlans de l'est. Les données de 2013 ne remettent pas en cause l'utilisation de ce secteur par les éperlans lors de la fraie, mais elles mettent en évidence l'importance de la diversité des stratégies de fraie dans le maintien d'une espèce comme l'éperlan au lac Saint-Jean.

Les jeunes larves d'éperlan sont transportées au gré des courants. Les courants de surface à un endroit donné au lac Saint-Jean sont fonction des vents et de la localisation. Le portrait de la circulation des masses d'eau pour deux scénarios de vents fréquents au printemps (nord-ouest et est) a été dressé en couplant les mesures de vents aux mesures de courants lors du déploiement de bouées dérivantes. Il s'agit des premiers patrons de circulation de l'eau au lac Saint-Jean issus de données empiriques. L'eau de surface entreprend un mouvement giratoire antihoraire sous l'action des vents de l'est, alors que les vents du nord-ouest génèrent des courants avec une nette tendance vers le sud-est.

Les travaux menés sur les larves d'éperlan arc-en-ciel au printemps 2013 ont ajouté une nouvelle dimension à la compréhension de l'écologie reproductive de l'éperlan dulcicole du lac Saint-Jean. La création d'aménagements visant à améliorer la qualité du substrat disponibles pour la fraie devrait d'abord être envisagée sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini. Cette recommandation est différente de la recommandation précédente qui suggérait de concentrer les efforts sur la population de l'est uniquement (Lévesque 2012). Les données du printemps 2013 n'ont pas permis d'identifier de foyer de production de larves à l'est. Par contre, elles ont démontré qu'il est primordial de partager les efforts d'aménagement sur plusieurs habitats de fraie, plutôt que de miser seulement sur un seul. Si deux grandes populations d'éperlan présentant des stratégies de reproduction différentes ont évolué en sympatrie au lac Saint-Jean, c'est que leurs stratégies de reproduction respectives sont toutes deux avantageuses et complémentaires.

# TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	i
RÉSUMÉ.....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
LISTE DES ANNEXES.....	x
INTRODUCTION.....	1
MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	4
TRAVAIL SUR LE TERRAIN .....	4
Échantillonnage des larves de poisson .....	4
<i>Échantillonnage de veille</i> .....	5
<i>Échantillonnage régulier</i> .....	6
Mesure des courants de surface .....	7
TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE .....	10
Tri des larves.....	10
ANALYSE DES DONNÉES.....	12
Distribution spatiale de l'abondance des larves d'éperlan et de la température de l'eau .....	12
Relations entre les mesures morphologiques et le stade des larves.....	12
Traitement des données de vent.....	12
Modélisation des courants .....	13
RÉSULTATS .....	14
DESCRIPTION DES LARVES D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL .....	14
Espèces et dénombrement.....	14
Distribution temporelle.....	15
Distribution spatiale.....	16
Caractéristiques morphométriques des larves selon leur stade.....	18
VARIABLES ABIOTIQUES .....	20
Température de l'eau .....	20
Vents .....	22
Courants .....	24
<i>Trajectoires des bouées</i> .....	24
<i>Modèles de régressions simples et multiples</i> .....	25



DISCUSSION .....	27
PRODUCTION LARVAIRE.....	27
Morphométrie .....	28
Répartition spatiale de l'abondance des éperlans.....	28
Stratégies reproductives des deux grandes populations d'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean.....	30
Caractéristiques environnementales associées à la présence de larves d'éperlan.....	31
DÉRIVE LARVAIRE DES ÉPERLANS ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN .....	33
Relation entre les vents et les courants .....	33
Relation entre les courants et la distribution des larves.....	36
PERSPECTIVE DE GESTION DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN.....	37
CONCLUSION .....	40
RÉFÉRENCES.....	42
ANNEXES .....	45

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Tiré de Fortin *et al.* 2009. ....2
- Figure 2: Grille d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean au printemps 2013. Le secteur à l'étude a été divisé en 57 pixels de 4 km<sup>2</sup>. L'échantillonnage des stations de veille (étoiles) a précédé l'échantillonnage régulier, jusqu'à la détection d'une première larve. Le suivi des stations de veille en rivière a été maintenu quotidiennement pendant l'échantillonnage régulier. La totalité de la grille était échantillonnée aux deux jours, à raison de la moitié des pixels par jour en alternance (une journée pixels gris, les pixels blancs le lendemain). ....5
- Figure 3: Schéma d'une bouée dérivante utilisée pour mesurer les courants de surface au lac Saint-Jean au printemps 2013. La bouée est ancrée dans la couche d'eau à l'étude à l'aide du croisillon de métal. Le GPS enregistre les déplacements de la bouée, alors que la balise SPOT permet la récupération de la bouée au terme du déploiement. ....9
- Figure 5: Développement des larves d'éperlan arc-en-ciel. (A) Stade A, protolarve à la sortie de l'œuf; (B) stade B, protolarve; (C) stade C, protolarve; (D) stade D, protolarve; (E) stade E, mesolarve; et (F) stade F, mesolarve. Tiré de Cooper (1978). .... 11
- Figure 6: Description des mesures morphologiques prises sur une sélection aléatoire de larves vésiculées d'éperlan arc-en-ciel capturées au lac Saint-Jean, au printemps 2013. Hauteur à l'anus (HA), hauteur de la gouttelette lipidique (HGL), hauteur du sac vitellin (HSV), longueur de la gouttelette lipidique (LGL), longueur du sac vitellin (LSV), longueur pré-anale (LPA) et longueur standard (LS). .... 11
- Figure 7: Abondance moyenne des éperlans arc-en-ciel (larves · 1000 m<sup>-3</sup>), par stades, au lac Saint-Jean lors du printemps 2013. Le trait discontinu noir correspond aux fluctuations de l'abondance des larves de stade A, le trait hachuré gris foncé représente l'abondance des larves de stade B, et le trait continu gris celle des larves de stades C et plus. .... 15
- Figure 8: Répartition interpolée de l'abondance cumulée des larves d'éperlan arc-en-ciel suivant l'éclosion dans le nord-ouest du lac Saint-Jean (larves · 1000 m<sup>-3</sup>) suivant le stade de développement des larves (A) stade A, (B) stade B, et (C) stades C (D, E, F). .... 17
- Figure 9: Analyse de la variance de la longueur standard des larves d'éperlan arc-en-ciel capturées au printemps 2013 au lac Saint-Jean en fonction de leur stade de développement. Le test de Tukey HSD indique que la longueur standard moyenne des larves stades C (D, E, F) est différente de celle des stades A ( $p < 0,001$ ) et des stades B ( $p < 0,001$ ). .... 18
- Figure 10: Fluctuations temporelles de la température de l'eau de surface pour différents secteurs du lac Saint-Jean au printemps, du 12 mai au 13 juin 2013. La fenêtre de présence des larves d'éperlan arc-en-ciel, du 28 mai au 11 juin 2013, est définie par la zone en pointillés. .... 21
- Figure 11: Carte interpolée des fluctuations spatiales de la température moyenne (°C) de l'eau de surface au lac Saint-Jean pendant la période de présence des larves d'éperlan arc-en-ciel, du 28 mai au 11 juin 2013. La température des zones bleues est en moyenne plus basse que celle des zones en rouge. .... 22

- Figure 12: Comparaison de la direction d'origine ( $^{\circ}$ ) et la vitesse des vents ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) mesurés à l'aéroport de Roberval sur une base horaire pendant le suivi régulier des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (du 29 mai au 13 juin 2013, les « x »), avec les valeurs mesurées lors du déploiement des bouées dérivantes (plusieurs périodes entre le 20 mai et le 13 juin 2013, les cercles pleins). Les vents nuls ne sont pas représentés. ....23
- Figure 13: Fréquence des vents mesurés à l'aéroport de Roberval sur une base horaire selon leur direction d'origine pendant la fenêtre de présence des larves d'éperlan de stade A et B au lac Saint-Jean. La fenêtre de temps a été divisée de façon à mettre en évidence les différents régimes de vents au cours de cette période. ....24
- Figure 14: Trajectoires suivies par les bouées dérivantes lors des 63 déploiements dans la région nord-ouest du lac Saint-Jean, entre le 20 mai et le 13 juin 2013. Les flèches indiquent la direction du déplacement. ....25
- Figure 15: Variations annuelles de l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ au lac Saint-Jean ( $\text{larve} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ ). Les carrés noirs reliés par un trait plein correspondent à la racine carrée de l'abondance des éperlans 0+ au mois de juin (larves), alors que les losanges gris reliés par un pointillé retracent les fluctuations d'abondance des éperlans 0+ au mois d'août (jeunes de l'année). ....27
- Figure 16: Abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel ( $\text{larves} \cdot 1000 \text{ m}^{-3}$ ) tous stades confondus en fonction (A) de la température en degrés Celsius, et (B) de la profondeur en mètres, de l'eau pour tous les sites échantillonnés au lac Saint-Jean au cours du printemps 2013. ....33
- Figure 17: Représentation des courants moyens dans différents secteurs du lac Saint-Jean en fonction de l'origine des vents les plus fréquents. L'échelle des vecteurs de courants est indépendante de celle de la carte. Les tirets longs montrent les courants associés aux vents de l'est alors que les tirets fins montrent les courants associés aux vents du nord-ouest. ....35
- Figure 18: Modélisation théorique des courants de la couche d'eau à la surface du lac Saint-Jean lorsque le vent dominant provient (A) du nord-est ou (B) du nord-ouest (tiré de Leclerc 1985). Le modèle est mis au point selon un vent moyen de  $6,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , pour les deux scénarios de vents. .36

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1: Récapitulatif de l'effort d'échantillonnage au cours des 28 jours de sorties sur le terrain. Dans les conditions idéales, 7 traits par jour étaient prévus lors de la veille, alors que 31 traits étaient prévus par jour d'échantillonnage régulier des pixels blancs, et 35 traits par jour d'échantillonnage régulier des pixels gris. ....7
- Tableau 2: Larves de poissons capturées au lac Saint-Jean, du 12 mai au 13 juin 2013. Les larves ont été identifiées à l'espèce. Lorsqu'il était impossible d'atteindre cette précision, des groupes au genre ou à la famille ont été créés (le nombre d'espèces par groupe est indiqué entre parenthèses). Le stade de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel a été déterminé d'après Cooper (1978). ....14
- Tableau 3: Détail de la fenêtre de présence des larves d'éperlan arc-en-ciel, selon l'habitat, pendant l'échantillonnage printanier des larves de poissons au lac Saint-Jean, du 12 mai au 13 juin 2013. ....16
- Tableau 4: Mesures morphologiques moyennes d'une sélection aléatoire de larves vésiculées d'éperlan arc-en-ciel capturées au lac Saint-Jean au printemps 2013 pour différents stades de développement. Hauteur à l'anus (HA), longueur pré-anale (LPA), longueur standard (LS), hauteur de la gouttelette lipidique (HGL), longueur de la gouttelette lipidique (LGL), hauteur du sac vitellin (HSV), et longueur du sac vitellin (LSV). L'écart-type est indiqué en italique. ....19
- Tableau 5: Résumé des paramètres des modèles de régression linéaire simple et multiple des composantes est et nord des courants au lac Saint-Jean au printemps 2013. ....26
- Tableau 6: Reconstitution chronologique de la période de reproduction des éperlans arc-en-ciel au lac Saint-Jean, au printemps 2013. Les dates d'éclosion correspondent aux dates où des larves de stade A ont été capturées alors que les dates de la fraie ont été estimées pour chaque secteur. ....28

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Carte bathymétrique du lac Saint-Jean (Service hydrographique du Canada, 1979-81, 1986), et compléments d'information géographique.....	46
---	----

## INTRODUCTION

La pêche sportive au lac Saint-Jean est un moteur économique important pour la région et elle contribue à l'offre touristique régionale. Elle revêt aussi une importance culturelle. Le lac Saint-Jean abrite de grandes populations de ouananiche (*Salmo salar*), une des espèces de poissons sportifs les plus recherchées par les pêcheurs (Legault et Gouin, 1985). Or, les stocks de ouananiches ont grandement fluctués depuis la fin des années 70. La quantité et la qualité des ouananiches prises par les pêcheurs sportifs varient en fonction de l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), un poisson fourrage jouant un rôle primordial dans l'alimentation de ce saumon atlantique d'eau douce.

Les recherches des quinze dernières années au lac Saint-Jean ont démontré que la production de ouananiches est limitée par l'abondance de ses proies de prédilections, les éperlans arc-en-ciel. Ce constat a remis en question le mode de gestion de la ouananiche, auparavant calqué sur la gestion du saumon atlantique anadrome dont l'abondance est limitée par la capacité de reproduction (Fortin *et al.*, 2009). Dorénavant, les efforts de gestion de la ouananiche impliquent la gestion de l'éperlan arc-en-ciel. Contrairement à la ouananiche, l'éperlan arc-en-ciel n'est pas limité par l'abondance de sa nourriture, le zooplancton (Sirois *et al.* 2011). Et ce, malgré le fait que le lac Saint-Jean soit considéré comme un réservoir faiblement productif (Jones *et al.*, 1979; Côté *et al.*, 2002). Selon le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (figure 1), le recrutement de l'éperlan varierait en fonction d'une combinaison de facteurs biotiques et abiotiques, la contribution relative de chacun des facteurs variant d'une année à l'autre (Fortin *et al.* 2009). D'après ce modèle, le gestionnaire de la ressource pourrait favoriser le recrutement de l'éperlan en agissant sur les stocks d'éperlans géniteurs, sur le débit de la rivière Péribonka au printemps (régulée par un barrage), ou encore sur la prédation par les smolts (jeunes ouananiches à leur arrivée en lac). Des actions agissant sur les stocks de géniteurs, comme l'amélioration de la qualité des sites de fraie, ont été privilégiées, en combinaison avec l'adoption de cibles de gestion de la ouananiche visant à limiter les événements extrêmes de prédation par les smolts. La disponibilité de ces leviers de gestion a été revue dans Lévesque (2012).

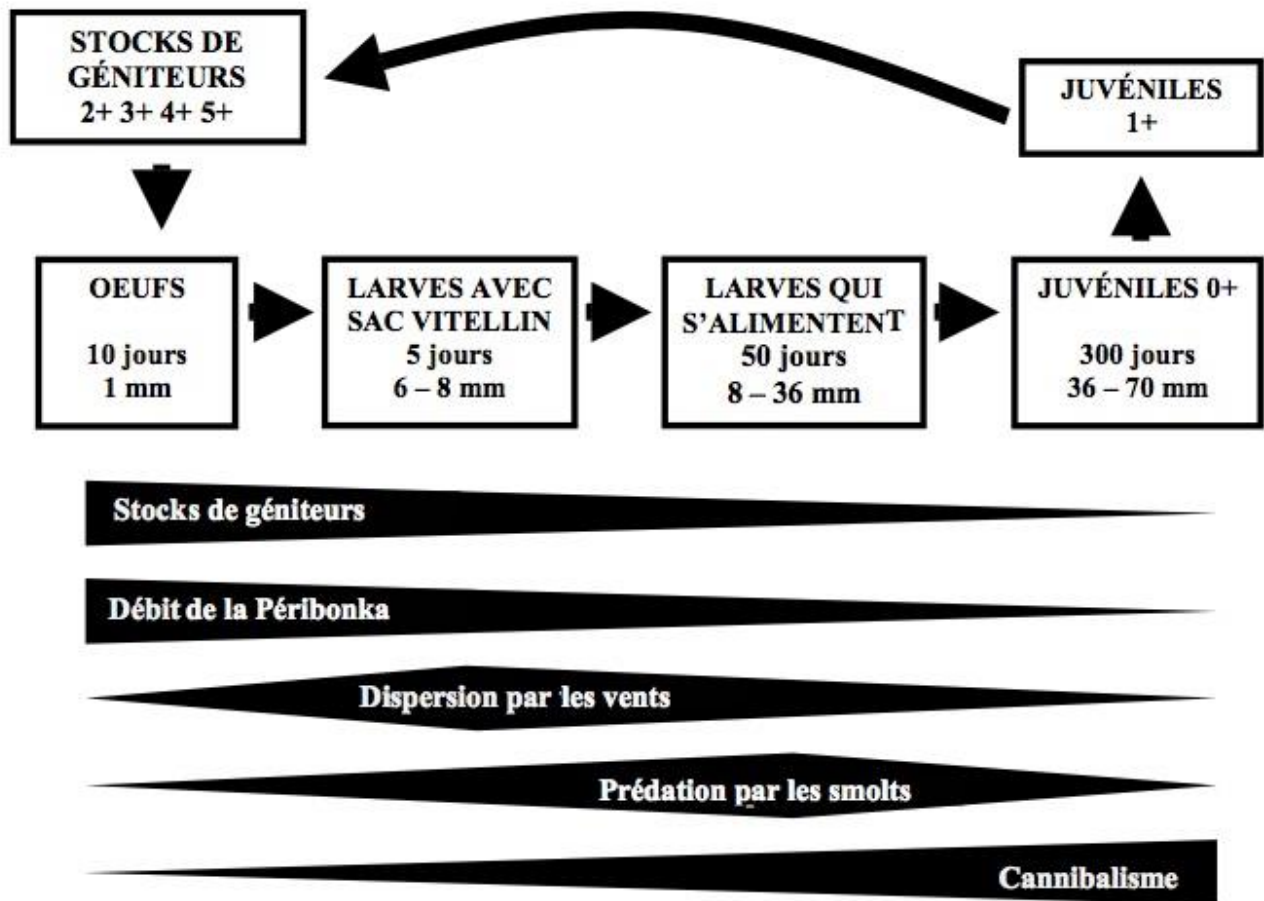


Figure 1: Le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Tiré de Fortin *et al.* 2009.

La rareté des habitats de reproduction de qualité freine vraisemblablement la production des éperlans, puisque jeunes larves d'éperlan au lac Saint-Jean sont généralement associées à un substrat de sable. Dans cet ordre d'idée, le comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêche dans l'aire faunique communautaire du lac Saint-Jean a jugé essentiel de fournir une base solide pour la réalisation d'aménagements afin d'améliorer la qualité et la disponibilité des sites de fraie visant à favoriser la production naturelle d'éperlans. Pour y arriver, une synthèse des connaissances sur l'écologie reproductive de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole a été produite en 2012 afin de rassembler, d'intégrer et de comparer les caractéristiques de l'éperlan du lac Saint-Jean à ce qui est documenté ailleurs dans le monde (Lévesque 2012).

Cette synthèse des connaissances et des données disponibles sur l'éperlan du lac Saint-Jean a permis de situer leur comportement de fraie dans le contexte des observations faites ailleurs dans le monde. La reproduction des éperlans est généralement rapportée dans les petits ruisseaux de gravier et de galets,

mais on sait qu'ils arrivent à s'accommoder d'une très grande variété de sites de fraie. En réalité, les indices laissent penser que l'utilisation de sites alternatifs est probablement plus courante qu'initialement considérée. Les frayères n'avaient jamais été directement localisées au lac Saint-Jean. Par contre, l'étude des données disponibles sur la distribution des reproducteurs et des larves d'éperlan, les données sur la génétique des populations, le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan, ainsi que la quantification des larves d'éperlan produites dans la rivière Péribonka ont permis de formuler une hypothèse. Selon ces indices, les principaux foyers de production des éperlans du lac Saint-Jean sont situés dans le secteur nord-ouest du lac, dans les grandes rivières et à proximité de leur embouchure, et sur les hauts-fonds sablonneux qu'on y retrouve (annexe 1).

Il est primordial de situer les foyers de fraie parce que la proximité de frayères existantes maximise les chances de réussite d'un aménagement. Les reproducteurs vont plus facilement trouver et utiliser un aménagement à proximité du secteur de fraie habituel. De plus, la dispersion des larves produites en secteur aménagé va calquer celle des larves produites naturellement et permettre aux larves d'atteindre facilement les zones d'alevinage habituelles.

Le présent rapport fait le point sur les activités de recherche des foyers de production d'éperlans-arc-en-ciel menées au printemps 2013. L'échantillonnage avait pour objectifs : (1) d'identifier les zones de production larvaire de l'éperlan du lac Saint-Jean en procédant au suivi de l'émergence des larves au printemps; (2) de recréer la dérive larvaire de l'éperlan en mettant en relation la distribution des larves avec le portrait de la circulation des courants au lac Saint-Jean, et (3) d'apporter des recommandations dans une perspective d'aménagements à proximité des secteurs de production identifiés.



## **MATÉRIEL ET MÉTHODE**

### **TRAVAIL SUR LE TERRAIN**

#### **Échantillonnage des larves de poisson**

L'échantillonnage a été prévu de façon à permettre le suivi de l'éclosion des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean et de leur dérive suivant leurs premiers jours de vie. Les données existantes avaient permis de circonscrire un large secteur à l'étude en lac, à proximité de l'embouchure des grandes rivières du nord-ouest du lac Saint-Jean (Lévesque 2012). Un quadrillage de 57 pixels de 4 km<sup>2</sup> a été mis en place de façon à ce qu'un pixel sur deux soit échantillonné à tous les jours, ce qui assurait une couverture complète du secteur aux deux jours avec trois embarcations (figure 2). La taille retenue pour les pixels offrait le meilleur compromis entre une bonne résolution spatiale et temporelle, tout en tenant compte des contraintes logistiques associées à l'étendue du territoire à échantillonner. La région d'origine des larves peut par la suite être définie d'après l'âge des larves capturées, et la direction des courants en fonction des vents pendant cette période. L'échantillonnage a été conçu de façon à dresser le portrait des foyers de production des larves d'éperlan des populations associées au nord-ouest du lac et au secteur de la rivière Péribonka sans tenir compte de l'écotype puisqu'il n'est pas possible de distinguer l'écotype nain de l'écotype normal tel que défini dans Saint-Laurent *et al.* (2003) chez les larves d'éperlan arc-en-ciel. Par conséquent, le terme population de l'ouest sera utilisé dans ce rapport pour regrouper les deux écotypes associés au nord-ouest, alors que le terme population de l'est sera utilisé pour regrouper les deux écotypes associés à la région de la rivière Péribonka (Fortin *et al.* 2009).

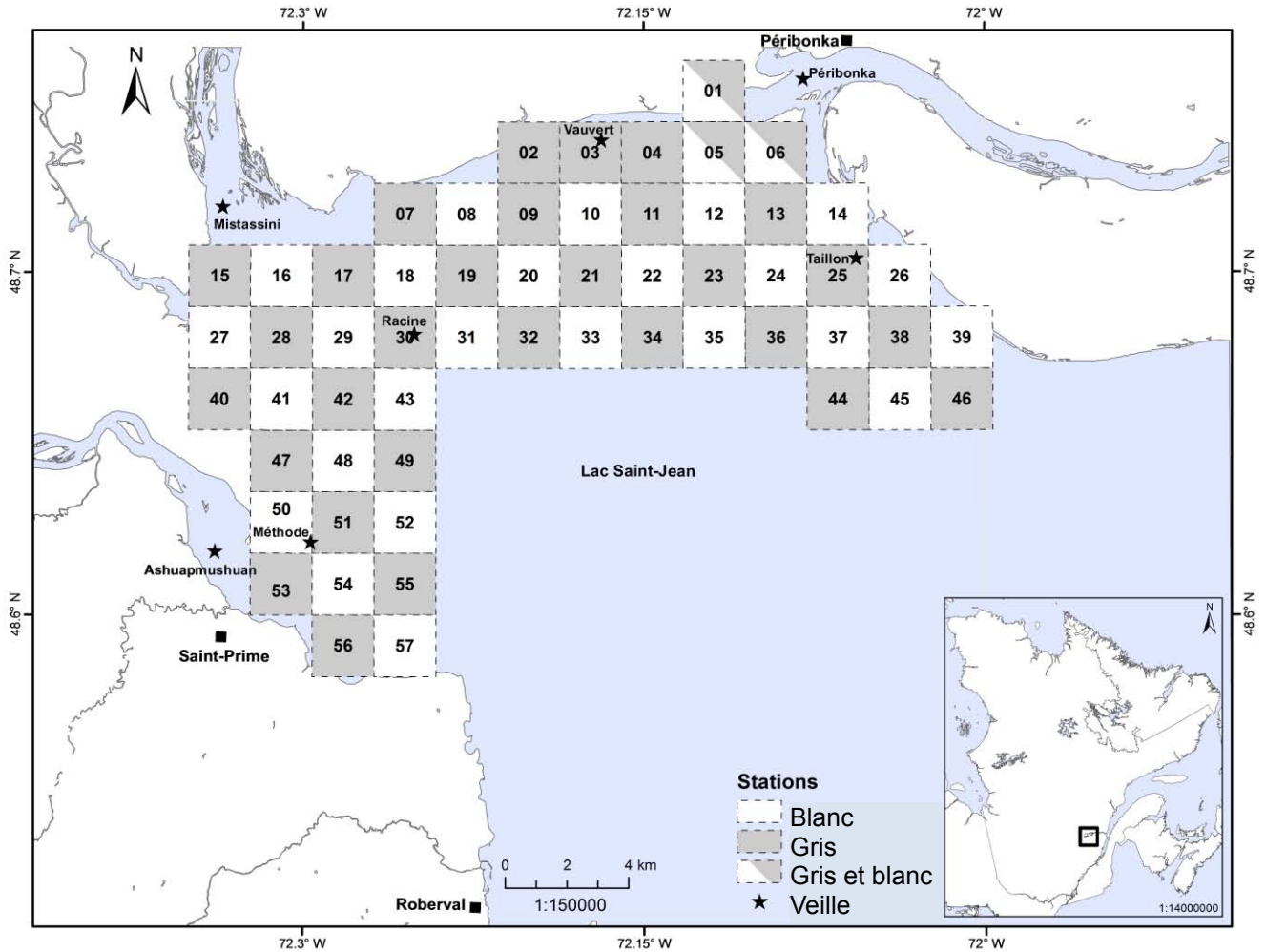


Figure 2: Grille d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean au printemps 2013. Le secteur à l'étude a été divisé en 57 pixels de 4 km<sup>2</sup>. L'échantillonnage des stations de veille (étoiles) a précédé l'échantillonnage régulier, jusqu'à la détection d'une première larve. Le suivi des stations de veille en rivière a été maintenu quotidiennement pendant l'échantillonnage régulier. La totalité de la grille était échantillonnée aux deux jours, à raison de la moitié des pixels par jour en alternance (une journée pixels gris, les pixels blancs le lendemain).

L'échantillonnage sur le terrain s'est déroulé en deux phases : l'échantillonnage de veille et le suivi régulier.

### *Échantillonnage de veille*

L'échantillonnage de veille a débuté le 12 mai 2013, soit un peu moins d'une semaine suivant le dégel du lac Saint-Jean, le 6 mai 2013. Les stations de veille sont indiquées par une étoile sur la grille d'échantillonnage (figure 2). La tournée quotidienne des trois stations en rivière et des quatre stations en lac, suivie d'une vérification sous stéréomicroscope du contenu des échantillons a permis d'identifier le jour exact de l'apparition des premières larves d'éperlan. Le trait de veille débute à l'endroit indiqué

par la station et se poursuit en ligne droite face au vent ou au courant. Un trait (push-net) était défini, dans le cadre de cet échantillonnage, comme la traction d'un filet conique sur le côté d'une embarcation durant 10 minutes dans le premier mètre d'eau. De cette manière, le filet n'est précédé d'aucun obstacle ou turbulence. Les filets utilisés avaient un diamètre de 50 cm et une ouverture de maille de 500  $\mu\text{m}$ . Le volume filtré a été mesuré à l'aide d'un débitmètre installé au centre de l'embouchure du filet. Un thermographe fixé à la structure de chaque filet a mesuré en continu la température de l'eau dans la strate échantillonnée. L'échantillon récolté a été conservé dans l'éthanol 95%.

L'échantillonnage de veille en rivière a été maintenu tout au long de l'échantillonnage régulier de façon à bien décrire la contribution des grandes rivières.

### *Échantillonnage régulier*

L'échantillonnage régulier a débuté le 29 mai 2013, le jour suivant la détection des premières larves dans un trait de veille. Pour des questions de logistique, le quadrillage a été divisé en trois grands secteurs selon l'autonomie de l'embarcation qui en faisait l'échantillonnage. Les pixels ont été distribués en damier à l'intérieur de ces secteurs de façon à maximiser la couverture quotidienne. La totalité des pixels était échantillonnée en deux jours, les pixels blancs étaient échantillonnés une journée, alors que les pixels gris étaient échantillonnés le lendemain (figure 2). Les pixels portant les deux couleurs étaient échantillonnés quotidiennement. Un échantillonnage quotidien permettait d'obtenir la garantie d'une bonne résolution temporelle des stations sensibles. Les filets utilisés ainsi que la méthode de déploiement étaient les mêmes que pour l'échantillonnage de veille. Le trait de filet devait avoir lieu à l'intérieur des limites du pixel, face au vent.

Au total, 527 traits ont été effectués sur un potentiel de 612, au cours de 28 jours de sortie sur le terrain (tableau 1). Les sorties d'échantillonnage étaient annulées lors de risques pour la sécurité de l'équipage ou du matériel (forts vents, présence de nombreux débris à la dérive) ou encore suivant un bris matériel.

Tableau 1: Récapitulatif de l'effort d'échantillonnage au cours des 28 jours de sorties sur le terrain. Dans les conditions idéales, 7 traits par jour étaient prévus lors de la veille, alors que 31 traits étaient prévus par jour d'échantillonnage régulier des pixels blancs, et 35 traits par jour d'échantillonnage régulier des pixels gris.

Échantillonnage	Date	Traits faits	
		Nb	%
Veille	12 mai 2013	7	100
Veille	13 mai 2013	5	71
Veille	14 mai 2013	4	57
Veille	15 mai 2013	4	57
Veille	16 mai 2013	7	100
Veille	18 mai 2013	7	100
Veille	20 mai 2013	7	100
Veille	22 mai 2013	7	100
Veille	23 mai 2013	3	43
Veille	24 mai 2013	3	43
Veille	27 mai 2013	5	71
Veille	28 mai 2013	8	114
Régulier blanc	29 mai 2013	31	100
Régulier gris	30 mai 2013	29	83
Régulier blanc	31 mai 2013	31	100
Régulier gris	1 <sup>er</sup> juin 2013	35	100
Régulier blanc	2 juin 2013	31	100
Régulier gris	3 juin 2013	22	63
Régulier blanc	4 juin 2013	25	81
Régulier gris	5 juin 2013	20	57
Régulier blanc	6 juin 2013	31	100
Régulier gris	7 juin 2013	36	103
Régulier blanc	8 juin 2013	30	97
Régulier gris	9 juin 2013	35	100
Régulier blanc	10 juin 2013	32	103
Régulier gris	11 juin 2013	35	100
Régulier blanc	12 juin 2013	18	58
Régulier gris	13 juin 2013	19	54
<b>Au total</b>	<b>28 jours</b>	<b>527 traits</b>	
<b>En moyenne</b>			<b>84% des pixels ciblés par jour</b>

## Mesure des courants de surface

Les courants de surface du lac Saint-Jean ont été mesurés à l'aide de bouées dérivantes. Ces dernières sont faites d'un grand croisillon de métal permettant « d'ancrer » la bouée dans la masse d'eau et d'une mince bouée sur laquelle sont insérés un GPS Garmin et une balise SPOT (figure 3). La longueur du câble a été ajustée de façon à ce que les données récoltées reflètent les mouvements du premier mètre d'eau, puisque les larves d'éperlan se retrouvent près de la surface (1,5 m; Gagnon 2005). La partie flottante de la bouée est conçue de façon à limiter l'emprise du vent. Les bouées ont été déployées à dix

reprises, pour des durées variées (1 à 18 heures), à coup de 3 à 11 bouées par déploiement. Les bouées ont été réparties sur la zone d'échantillonnage de manière à couvrir l'ensemble du territoire étudié sous plusieurs régimes de vents. Lors du déploiement, le GPS Garmin en mode « tracé » enregistrait la position de la bouée aux 30 secondes. La balise SPOT permettait de suivre à distance la trajectoire des bouées, mais surtout de retrouver la bouée à la fin du déploiement. Les données récoltées lors des 63 déploiements ont été traitées par Daniel Bourgault et Simon Senneville de l'Université du Québec à Rimouski. Pour calculer les vitesses des courants, il faut calculer les différences entre deux positions GPS (exprimées en mètres) successives divisées par le temps. On applique ce calcul selon les deux axes horizontaux standards afin d'obtenir les composantes est ( $u$ ) et nord ( $v$ ) du courant. Alternativement, les courants peuvent aussi être exprimés en intensité et en direction relative au nord géographique. La période d'échantillonnage des GPS était de 30 secondes, mais les données furent par la suite réduites par moyennage à une résolution temporelle de 15 minutes afin de réduire l'incertitude sur les mesures ponctuelles. L'incertitude sur ces mesures ainsi moyennées est estimée à  $\pm 0,001 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Cet intervalle, au lac Saint-Jean, correspond à un bon compromis pour avoir une incertitude acceptable tout en conservant une bonne résolution temporelle. La méthode est décrite en détail dans St-Onge-Drouin *et al.* (sous presse). Les bouées utilisées dans cet article diffèrent légèrement de celles utilisées au lac Saint-Jean, mais la méthode demeure la même.

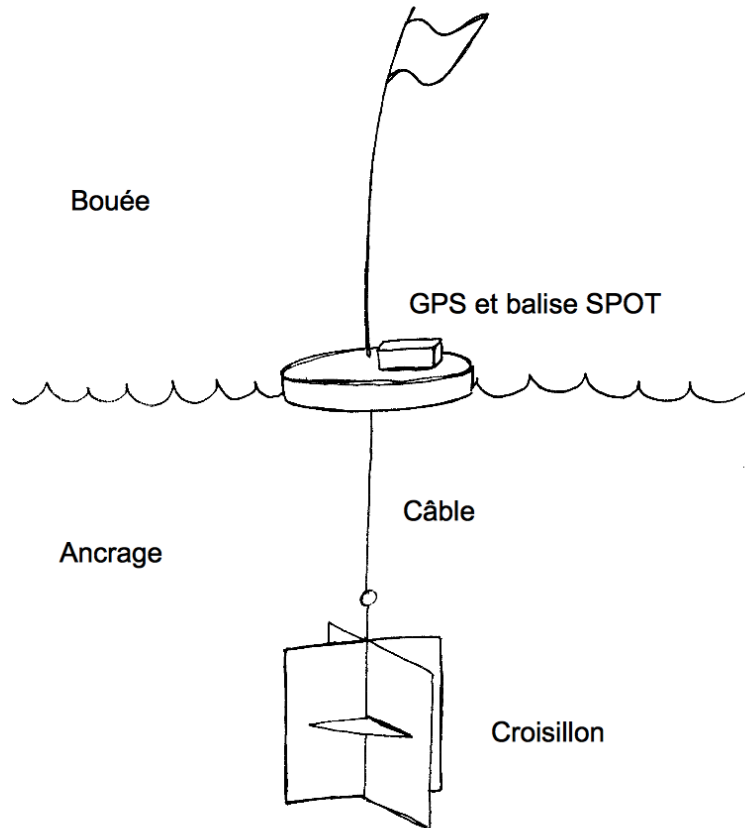


Figure 3: Schéma d'une bouée dérivante utilisée pour mesurer les courants de surface au lac Saint-Jean au printemps 2013. La bouée est ancrée dans la couche d'eau à l'étude à l'aide du croisillon de métal. Le GPS enregistre les déplacements de la bouée, alors que la balise SPOT permet la récupération de la bouée au terme du déploiement.

## TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE

### Tri des larves

Les échantillons ont été triés en laboratoire au retour de l'échantillonnage. Les larves ont été identifiées à l'espèce (hormis les espèces du genre *Coregonus* et celles du genre *Catostomus* et les espèces de la famille des Cyprinidés) à l'aide de la clé d'identification des larves de Auer (1982) couplée à la liste des espèces de poissons répertoriées dans le lac Saint-Jean. Un stade a été attribué, selon Cooper (1978), pour toutes les larves d'éperlan, sauf celles en très mauvais état, ou encore celles dont le sac vitellin était arraché. Selon ces critères, 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 à celui de la gouttelette lipidique se voyait attribué un stade B, alors qu'une larve avec très peu ou plus du tout de vitellus était cotée C et plus. Ce dernier groupe rassemble une majorité de larves de stade C, mais vraisemblablement des stades D, quelques stades E et une larve de stade F si l'on se réfère à la longueur des larves (figure 4; Cooper 1978; Gagnon 2005). Un sous-échantillon de 162 larves, regroupant des larves de chaque trait jusqu'à concurrence de 10 larves par échantillon, a été assemblé afin de procéder à des mesures morphologiques (figure 5). Les larves ont été mesurées à un grossissement de 16X à l'aide d'un stéréomicroscope muni d'un réticule.

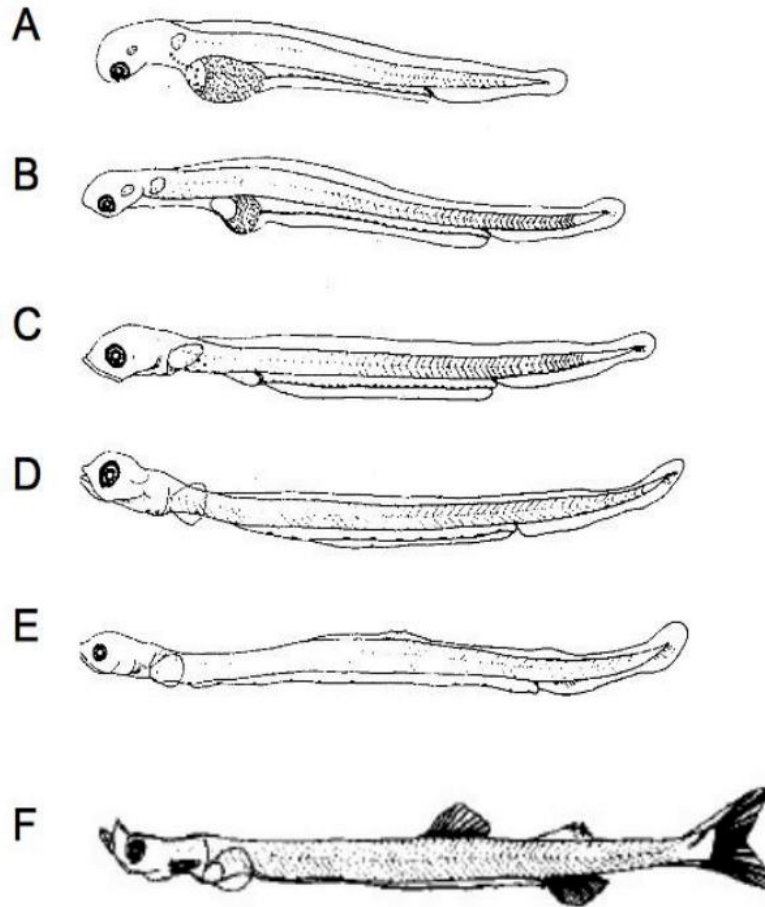


Figure 4: Développement des larves d'éperlan arc-en-ciel. (A) Stade A, protolarve à la sortie de l'œuf; (B) stade B, protolarve; (C) stade C, protolarve; (D) stade D, protolarve; (E) stade E, mesolarve; et (F) stade F, mesolarve. Tiré de Cooper (1978).

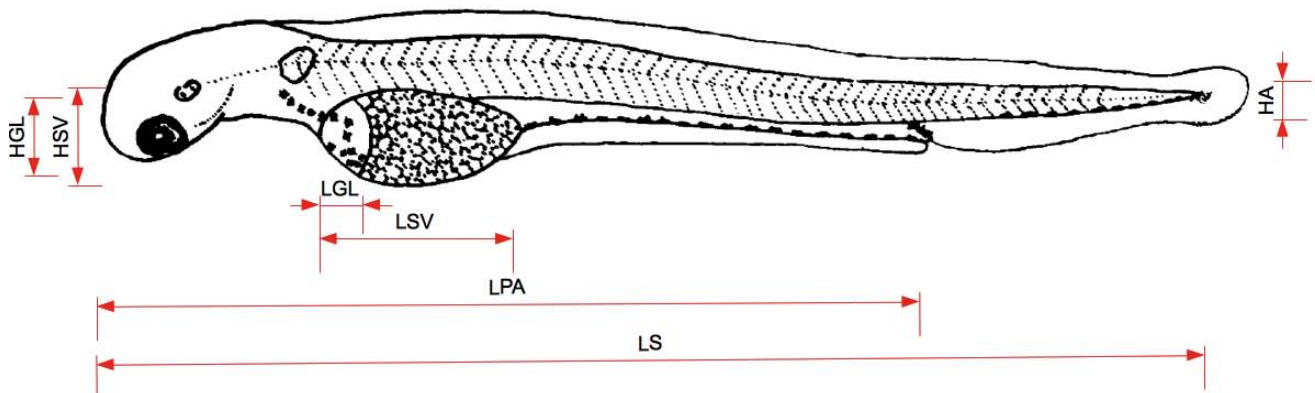


Figure 5: Description des mesures morphologiques prises sur une sélection aléatoire de larves vésiculées d'éperlan arc-en-ciel capturées au lac Saint-Jean, au printemps 2013. Hauteur à l'an (HA), hauteur de la gouttelette lipidique (HGL), hauteur du sac vitellin (HSV), longueur de la gouttelette lipidique (LGL), longueur du sac vitellin (LSV), longueur pré-anale (LPA) et longueur standard (LS).



## **ANALYSE DES DONNÉES**

### **Distribution spatiale de l'abondance des larves d'éperlan et de la température de l'eau**

L'interpolation permet d'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 de l'éperlan arc-en-ciel au cours de 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). Il existe plusieurs techniques d'interpolation. Une technique peut être plus appropriée qu'une autre, selon les particularités de la variable à estimer. Par exemple, la carte présentant la variabilité spatiale de la température de l'eau au lac Saint-Jean a été produite par krigeage. Globalement, l>IDW et le krigeage produisent un résultat similaire, mais la représentation du krigeage dans ce cas-ci est plus réaliste pour les données de température de l'eau. Les interpolations ont été réalisées avec les outils Spatial Analyst d'ArcGIS 10.

### **Relations entre les mesures morphologiques et le stade des larves**

La valeur moyenne de chaque critère morphométrique a été calculée pour chaque stade. La différence entre la longueur standard des larves de stades A, B, C et plus a été mesurée par analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel R version 2.11.1 (2010-05-31). Le test de Tukey a été calculé afin de déterminer le groupe significativement différent des autres.

### **Traitement des données de vent**

Les mesures horaires de l'orientation et de la vitesse du vent proviennent de la station météorologique de l'aéroport de Roberval. Ces données sont disponibles en ligne sur le site des archives climatiques du gouvernement du Canada (<http://climat.meteo.gc.ca/>). Les coordonnées polaires des vents (orientation et vitesse) ont été transformées en données cartésiennes (composante est et composante nord) de façon à utiliser le même système que les données de courants.

## **Modélisation des courants**

Des modèles de régression linéaire simple et multiple ont été mis au point afin de quantifier l'impact de différents facteurs sur les courants. Les courants et les vents ont été analysés en composantes est et nord. Cette méthode intègre à la fois les informations sur la vitesse et la direction des courants et des vents. Les composantes des courants ont d'abord été décrites en fonction des composantes des vents à l'aéroport de Roberval. Ce modèle a par la suite été bonifié en ajoutant les facteurs longitude et latitude. Les régressions ont été calculées avec le logiciel R. Dans le cas des régressions multiples, l'apport de chaque nouveau facteur a été mesuré en comparant le nouveau modèle avec l'ancien modèle par une ANOVA.

Une fois les facteurs d'importance identifiés, les courants moyens en fonction des scénarios de vents dominants ont été calculés pour les différents secteurs de la région à l'étude. Les données de courants pour chaque bouée ont été arrimées aux données de vents à Roberval sur la base de mesures horaires. Deux types de vitesse moyenne des courants ont été mesurés. La vitesse moyenne des courants au sens familier équivaut à la moyenne des vitesses absolues des courants. Elle correspond à la moyenne des vitesses de déplacement en assumant qu'ils ont tous lieu dans une même orientation et dans un même sens. Elle a été utilisée pour décrire la vitesse moyenne atteinte par les courants au lac Saint-Jean. La vitesse moyenne des courants la plus utilisée dans le présent rapport est obtenue en calculant la norme du vecteur correspondant à la moyenne des composantes est et la moyenne des composantes nord de la vitesse des courants. La vitesse moyenne ainsi calculée tient compte des changements dans l'orientation et le sens des courants.

## RÉSULTATS

### DESCRIPTION DES LARVES D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL

#### Espèces et dénombrement

La campagne d'échantillonnage a eu lieu du 12 mai au 13 juin 2013. Au total, 1944 larves de poisson ont été capturées en 527 traits de filet au cours de cette période (tableau 2). Les éperlans comptaient pour le tiers des captures (706 larves). Les espèces les plus représentées dans l'échantillonnage, hormis l'éperlan arc-en-ciel, sont la perchaude, les espèces du genre *Coregonus* (grand corégone et/ou cisco de lac) et le doré jaune, avec respectivement 576, 502 et 109 larves au cours de la période d'échantillonnage. Le présent rapport ne portera que sur le cas de l'éperlan arc-en-ciel. L'information relative aux autres espèces échantillonnées sera traitée dans un document distinct (Lévesque, en préparation).

Tableau 2: Larves de poissons capturées au lac Saint-Jean, du 12 mai au 13 juin 2013. Les larves ont été identifiées à l'espèce. Lorsqu'il était impossible d'atteindre cette précision, des groupes au genre ou à la famille ont été créés (le nombre d'espèces par groupe est indiqué entre parenthèses). Le stade de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel a été déterminé d'après Cooper (1978).

Nombre de larves capturées		1944
<b>Éperlan arc-en-ciel</b>		<b>706</b>
Stade A		219
Stade B		150
Stade C (D, E, F)		227
Stade indéterminé (mauvais état)		110
<b>Autres</b>		<b>1238</b>
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>	576
Grand Corégone et/ou Cisco de lac	<i>Coregonus sp.</i> (2)	502
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	109
Lotte	<i>Lota lota</i>	24
Cyprins	<i>Cyprinidae</i> (8)	11
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>	7
Meunier rouge et/ou Meunier noir	<i>Catostomus sp.</i> (2)	6
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>	2
Indéterminé (mauvais état)		1

## Distribution temporelle

Les premières larves d'éperlan ont été détectées le 28 mai 2013 après 16 jours de veille, 22 jours après le dégel du lac. On observe deux pics d'abondance rapprochés des larves de stade A, les 29 et 31 mai. Par contre, seulement un pic d'abondance des stades B a été détecté le 31 mai. Enfin, l'abondance des larves de stades C (D, E, F) fluctue dans les journées qui suivent le pic d'abondance observé le 31 mai (figure 6). Les larves de stade A ont été pour la plupart capturées sur une période de 6 jours entre le 28 mai et le 2 juin 2013. L'abondance des larves était nettement plus élevée dans le pixel 16 qu'ailleurs. Par conséquent, l'abondance moyenne des éperlans était plus élevée les journées incluant l'échantillonnage du pixel 16. Ainsi, il faut interpréter la figure 6 comme la succession de 3 pics d'abondance. Le pic véritable de l'abondance des larves de stade A a probablement eu lieu le 30 mai, alors que celui des stades B a eu lieu le 31 mai, et celui des stades C le 1<sup>er</sup> juin. Les petits pics supplémentaires de C correspondent en partie à l'apparition de larves de stade C et plus provenant de l'extérieur de la région échantillonnée.

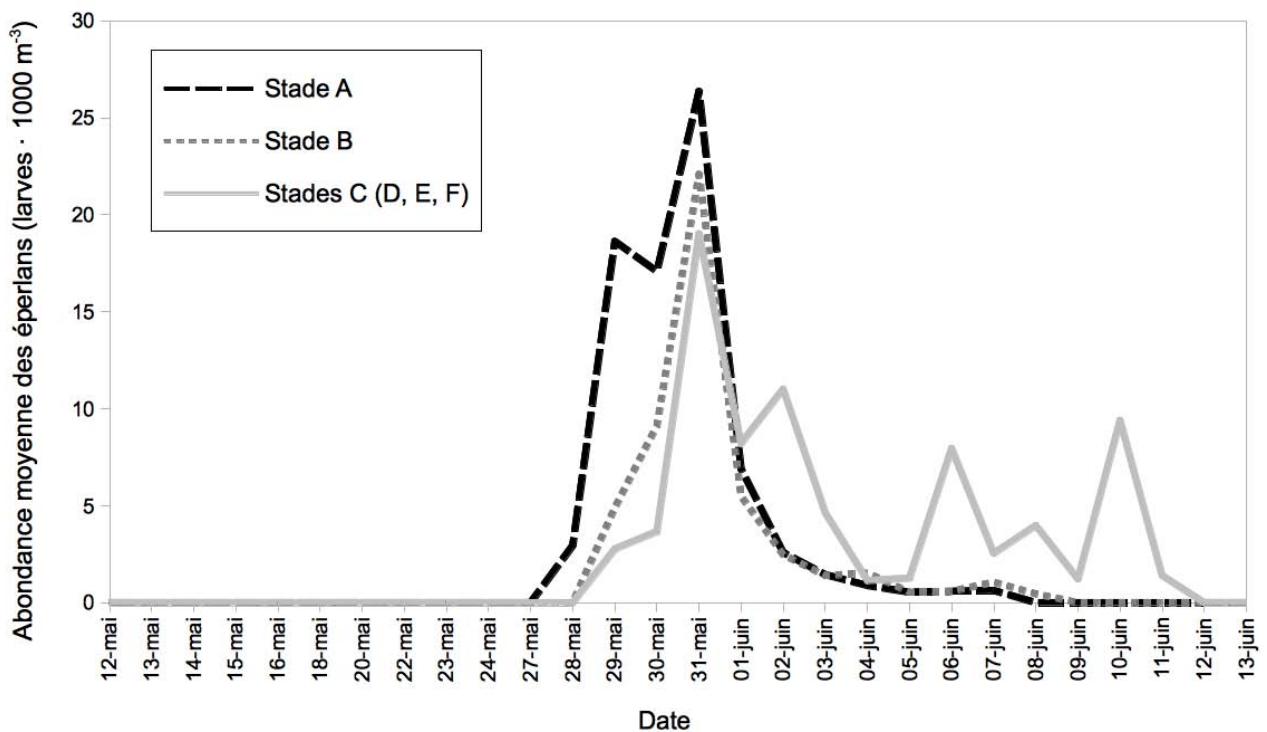


Figure 6: Abondance moyenne des éperlans arc-en-ciel (larves · 1000 m<sup>-3</sup>), par stades, au lac Saint-Jean lors du printemps 2013. Le trait discontinu noir correspond aux fluctuations de l'abondance des larves de stade A, le trait hachuré gris foncé représente l'abondance des larves de stade B, et le trait continu gris celle des larves de stades C et plus.

En 2013, les premières larves d'éperlan arc-en-ciel rivière ont été capturées dans l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan le 28 mai, et le lendemain en lac. Les larves de stade A ont cessé d'être capturées en rivière le 2 juin, alors qu'il a été possible d'en capturer en lac jusqu'au 7 juin. Les dernières larves de stade plus avancé ont été capturées en lac le 11 juin (tableau 3). Des éperlans de stade A étaient présents en faible abondance en lac pendant près d'une semaine suivant la fin du signal des stades A en rivière.

Tableau 3: Détail de la fenêtre de présence des larves d'éperlan arc-en-ciel, selon l'habitat, pendant l'échantillonnage printanier des larves de poissons au lac Saint-Jean, du 12 mai au 13 juin 2013.

	Habitat	
	En rivière (veille)	En lac
Premières larves (stade A)	28 mai 2013	29 mai 2013
Dernières larves		
Stade A	1 juin 2013	7 juin 2013
Autres stades	2 juin 2013	11 juin 2013

## Distribution spatiale

Les jeunes stades larvaires d'éperlan arc-en-ciel ont été capturés en majorité dans la moitié ouest du lac Saint-Jean (figure 7). Deux secteurs se distinguent par leur importance. D'abord de très fortes abondances de larves de stade A et B ont été capturées dans une région à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini, tout juste à l'est du chenal de la rivière. De plus, des abondances élevées de larves d'éperlan stades A ont été capturées dans la rivière Ashuapmushuan et à proximité de son embouchure en lac. Les larves de stades B sont réparties de manière similaire aux stades A, avec un très léger déplacement des pics d'abondance vers le sud-est. Ce déplacement est nettement plus marqué dans la distribution de l'abondance des larves de stades C (D, E, F) de la moitié ouest de la région à l'étude. À l'est, des stades C et plus ont été capturés à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka et tout le long de la Pointe-Taillon, alors que les abondances des stades A et B dans ce secteur étaient négligeables.

L'interpolation est une technique mathématique qui permet d'estimer une donnée d'abondance en un point non échantillonné, d'après celles des stations échantillonnées à proximité. Cette technique ne tient pas compte des réalités géographiques du secteur à l'étude, telles que la présence des rives du lac. Ainsi, les patrons d'abondance des différents stades larvaires des éperlans présentés dans la figure 7 sont une représentation globalement exacte de la répartition réelle des larves d'éperlan au lac Saint-Jean au printemps 2013. Par contre, ils ne peuvent servir à tirer des conclusions pour un secteur plus restreint

que la résolution de l'échantillonnage. Par exemple, les abondances plutôt élevées de larves dans le secteur en amont de la rivière Mistassini sont des artéfacts de la méthode d'interpolation. Elles résultent de l'influence de la zone de très forte abondance plus au sud qui contrebalance l'effet de l'absence de larves dans le chenal de la Mistassini en lac, nonobstant la barrière physique de la côte entre les deux régions.

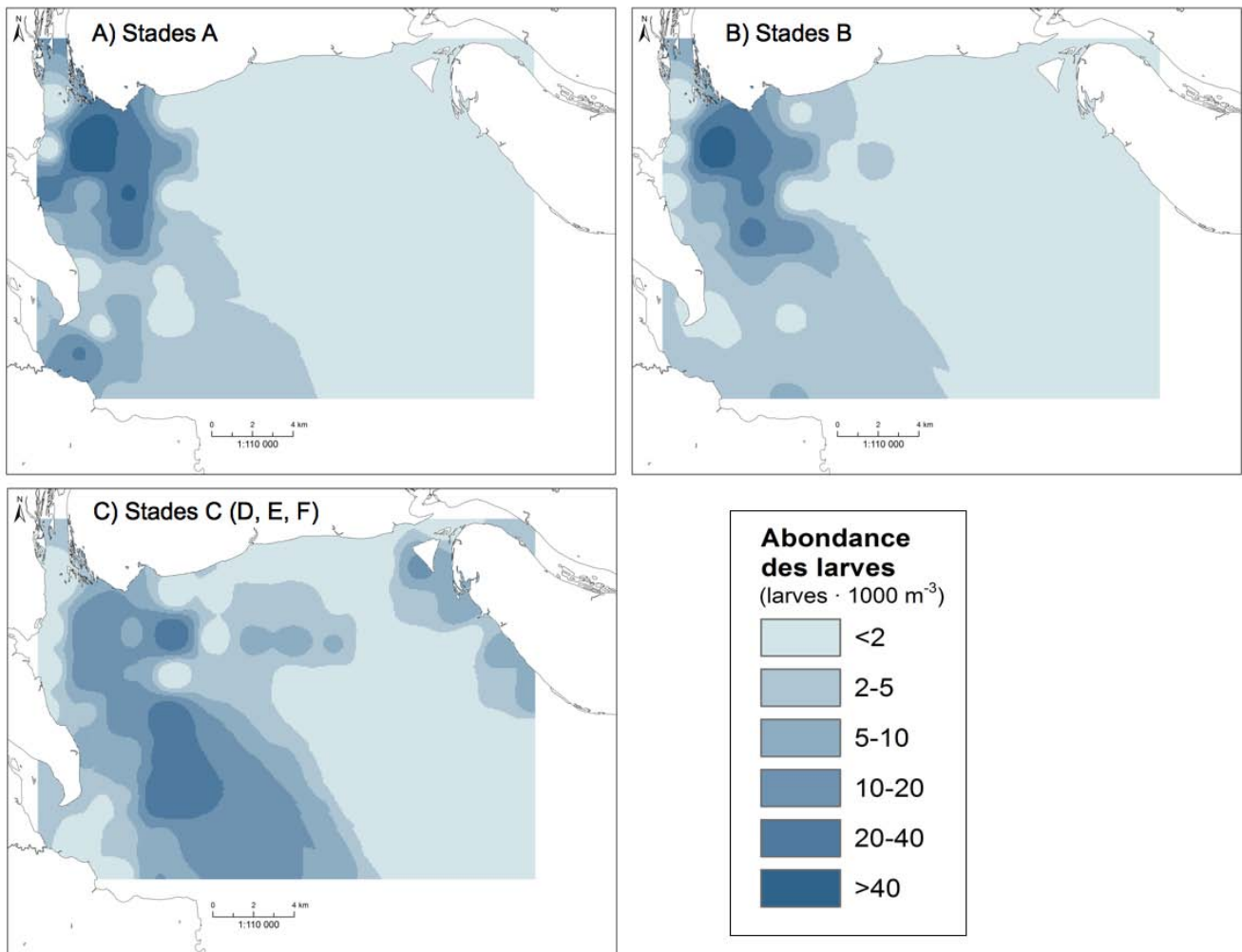


Figure 7: Répartition interpolée de l'abondance cumulée des larves d'éperlan arc-en-ciel suivant l'éclosion dans le nord-ouest du lac Saint-Jean (larves · 1000 m<sup>-3</sup>) suivant le stade de développement des larves (A) stade A, (B) stade B, et (C) stades C (D, E, F).

## Caractéristiques morphométriques des larves selon leur stade

Les mesures morphologiques offrent une description détaillée des larves capturées (tableau 4). Il n'y a pas de différence de longueur standard entre les larves de stade A et B, mais il en existe une entre la longueur standard des larves de ces deux stades et celles des stades C et plus (ANOVA suivi de Tukey HSD,  $F = 22,296$  et  $p < 0,001$ ; figure 8). Ce graphique met aussi en évidence les différents stades inclus dans le groupe des stades C et plus. Ainsi en référant uniquement à leur longueur standard, près du quart des larves groupées sous C et plus seraient des stades E, puisque leur longueur standard se situe entre 8 et 10 mm, et la larve exceptionnellement longue de presque 14 mm serait de stade F.

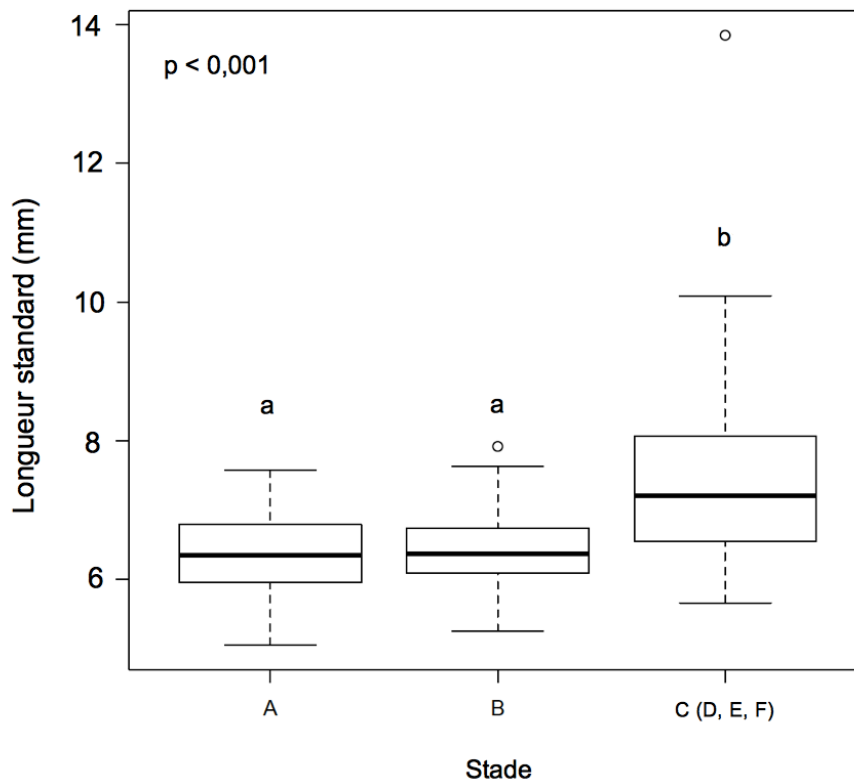


Figure 8: Analyse de la variance de la longueur standard des larves d'éperlan arc-en-ciel capturées au printemps 2013 au lac Saint-Jean en fonction de leur stade de développement. Le test de Tukey HSD indique que la longueur standard moyenne des larves stades C (D, E, F) est différente de celle des stades A ( $p < 0,001$ ) et des stades B ( $p < 0,001$ ).

Tableau 4: Mesures morphologiques moyennes d'une sélection aléatoire de larves vésiculées d'éperlan arc-en-ciel capturées au lac Saint-Jean au printemps 2013 pour différents stades de développement. Hauteur à l'anus (HA), longueur pré-anale (LPA), longueur standard (LS), hauteur de la gouttelette lipidique (HGL), longueur de la gouttelette lipidique (LGL), hauteur du sac vitellin (HSV), et longueur du sac vitellin (LSV). L'écart-type est indiqué en italique.

	Stade A		Stade B		Stade C (D, E, F)		Stade indéterminé		Toutes les larves	
Morphométrie de la larve ( $\mu\text{m}$ )										
HA	212,2	<i>25,8</i>	209,6	<i>21,9</i>	250,3	<i>60,8</i>	180,3		224,9	<i>45,3</i>
LPA	4750,0	<i>450,8</i>	4787,0	<i>421,1</i>	5654,3	<i>1166,3</i>	4626,6	<i>556,3</i>	5084,4	<i>886,7</i>
LS	6367,1	<i>581,9</i>	6429,7	<i>562,1</i>	7500,0	<i>1457,0</i>	5843,3	<i>557,5</i>	6760,3	<i>1115,0</i>
Morphométrie du sac vitellin ( $\mu\text{m}$ )										
HGL	201,1	<i>75,6</i>	181,5	<i>66,0</i>	68,3	<i>69,6</i>			147,2	<i>92,2</i>
LGL	170,5	<i>67,6</i>	223,7	<i>86,7</i>	132,5	<i>151,0</i>			173,5	<i>115,4</i>
HSV	369,3	<i>87,4</i>	235,1	<i>56,9</i>	69,1	<i>71,8</i>			219,3	<i>144,7</i>
LSV	818,3	<i>159,4</i>	644,4	<i>161,6</i>	213,3	<i>223,9</i>			546,2	<i>318,7</i>
<b>n</b>	<b>51</b>		<b>49</b>		<b>56</b>		<b>6</b>		<b>162</b>	



## VARIABLES ABIOTIQUES

### Température de l'eau

La température joue un rôle déterminant sur la biologie des poissons (Fuiman et Werner 2002). Elle influence le moment de la ponte, la durée d'incubation des œufs et le métabolisme des larves d'éperlan arc-en-ciel (McKenzie 1964). La température moyenne de l'eau de surface a subi une augmentation de 6 à 10 °C au cours du mois suivant le départ des glaces du lac Saint-Jean au printemps 2013 (figure 9). Au départ, la température de l'eau de surface des trois grandes rivières (correspondant à la température de l'eau mesurée à chaque station en rivière) et du lac Saint-Jean (d'après la température moyenne des stations en lac) était plutôt similaire entre les régions. Globalement, la température de l'eau varie de la même manière pour les différentes régions. Par contre, le régime de température n'est pas le même d'une région à l'autre. En quelques semaines, la température de la rivière Mistassini a rejoint celle de la rivière Ashuapmushuan, après quoi elles ont suivi des fluctuations similaires dans une gamme de températures plus élevées que les autres régions. La rivière Péribonka présente un régime de températures plus froides que ce qui a été observé dans les autres régions, alors que la température moyenne des stations du lac Saint-Jean se maintient entre les deux régimes de température.

La différence entre les régimes de température des grandes rivières implique que la répartition de la température de l'eau n'est pas uniforme dans le lac Saint-Jean. En effet, la température moyenne de l'eau du secteur ouest du lac au cours de l'échantillonnage est plus élevée de quelques degrés comparativement à celle du centre (figure 10). La masse d'eau longeant la Pointe-Taillon est en moyenne plus chaude que la masse d'eau du centre de la région à l'étude, mais légèrement plus froide que la masse d'eau de l'ouest. Ainsi, les masses d'eau plus chaudes sont étroitement associées aux régions de faibles profondeurs (moins de cinq mètres de profond), alors que la masse d'eau plus froide s'étend du nord au sud, depuis la rivière Péribonka jusqu'au centre du lac, où la profondeur dépasse les cinq mètres.

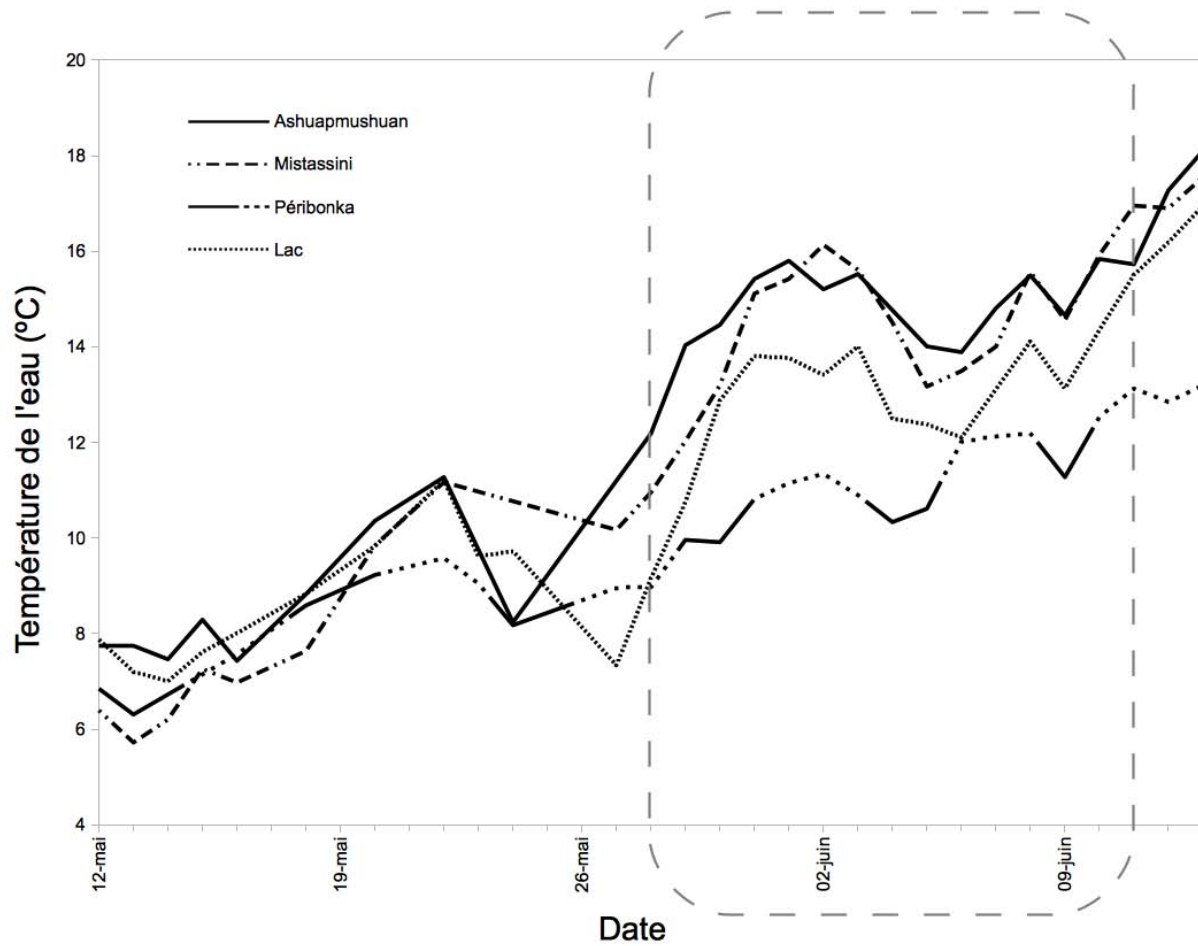


Figure 9: Fluctuations temporelles de la température de l'eau de surface pour différents secteurs du lac Saint-Jean au printemps, du 12 mai au 13 juin 2013. La fenêtre de présence des larves d'éperlan arc-en-ciel, du 28 mai au 11 juin 2013, est définie par la zone en pointillés.

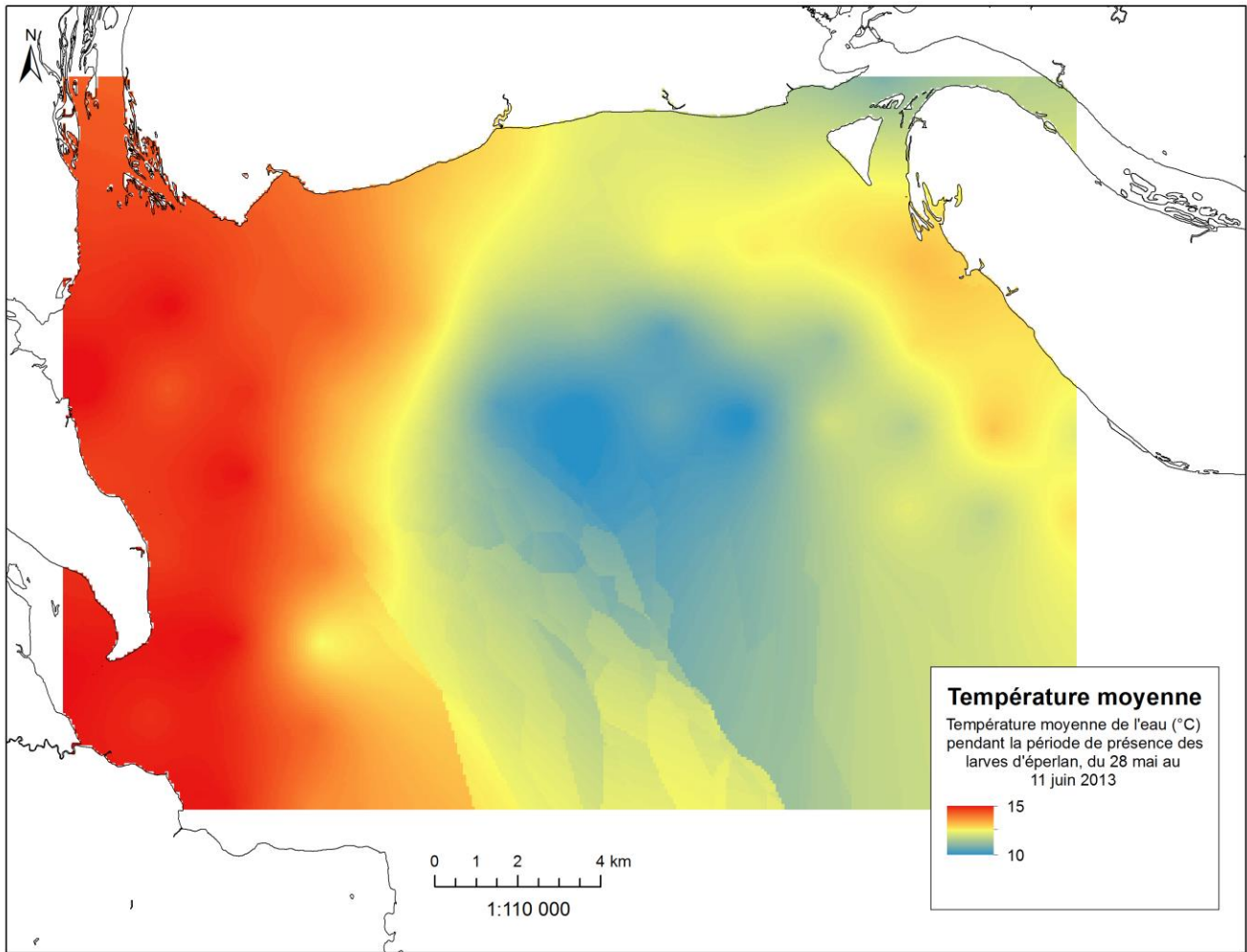


Figure 10: Carte interpolée des fluctuations spatiales de la température moyenne (°C) de l'eau de surface au lac Saint-Jean pendant la période de présence des larves d'éperlan arc-en-ciel, du 28 mai au 11 juin 2013. La température des zones bleues est en moyenne plus basse que celle des zones en rouge.

## Vents

Différents régimes de vents ont été enregistrés à l'aéroport de Roberval au cours de la période du suivi régulier (du 29 mai au 13 juin 2013). Des vents de toutes les directions ont été enregistrés sur une base horaire au cours de cette période. Globalement, les vents forts provenaient du nord-ouest (figure 11). Les vents ont été catégorisés selon leur origine, dans le but de créer des scénarios de circulation des courants en fonction des directions les plus fréquentes des vents. Ces derniers provenaient essentiellement de l'est et du nord-ouest lors de tous les déploiements de bouées dérivantes. Conséquemment les catégories de vent retenues sont nord-ouest (entre 270° et 20°), est (entre 70° et 140°), autre (toutes les autres origines) et nul (figures 11 et 12).

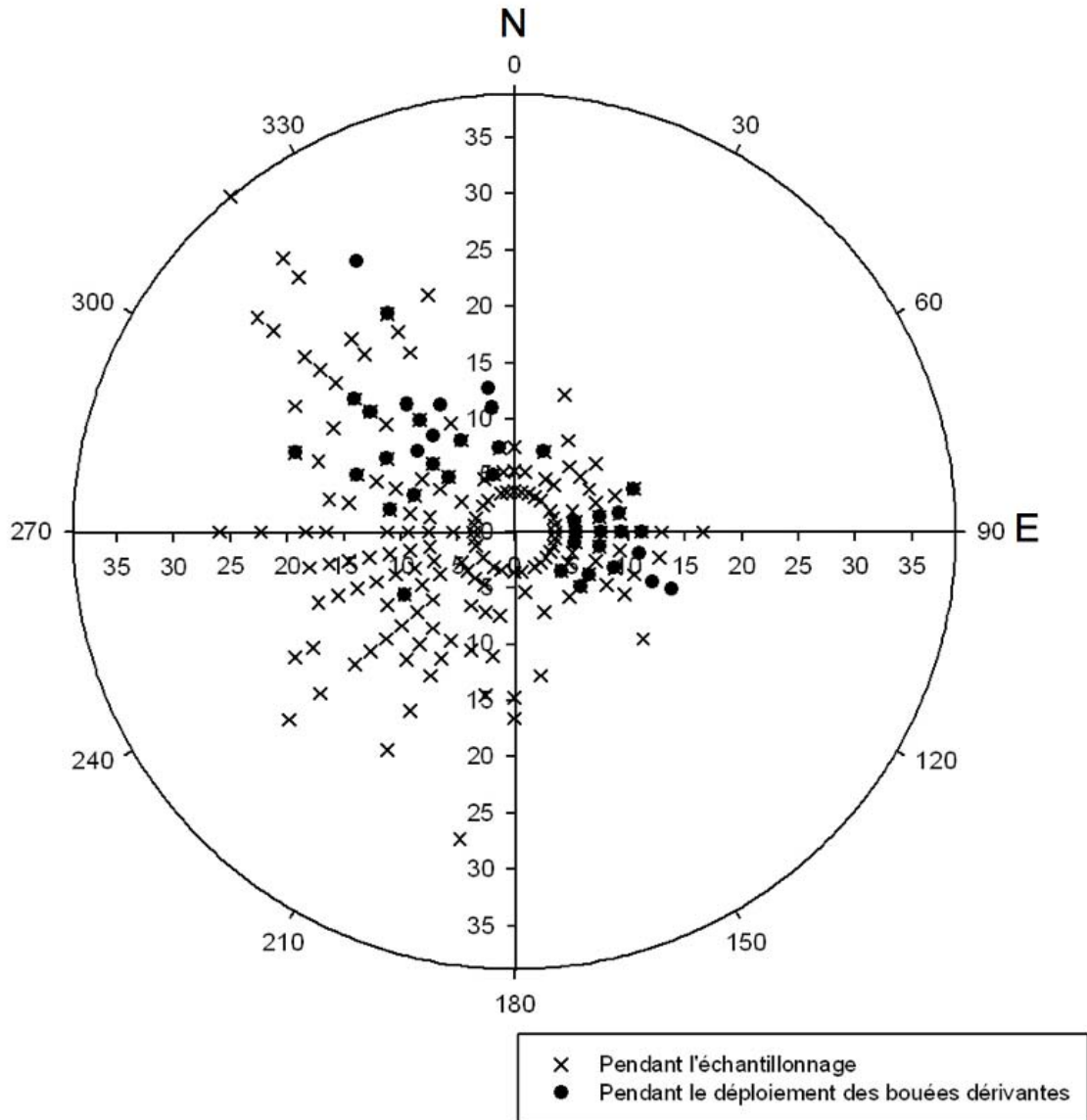


Figure 11: Comparaison de la direction d'origine ( $^{\circ}$ ) et la vitesse des vents ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) mesurés à l'aéroport de Roberval sur une base horaire pendant le suivi régulier des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (du 29 mai au 13 juin 2013, les « x »), avec les valeurs mesurées lors du déploiement des bouées dérivantes (plusieurs périodes entre le 20 mai et le 13 juin 2013, les cercles pleins). Les vents nuls ne sont pas représentés.

Au moment du pic d'abondance des larves de stade A (du 29 mai au 2 juin 2013), les vents de l'est étaient les plus fréquents. Par la suite (du 3 au 5 juin 2013), ce sont les vents du nord-ouest qui ont dominé, pour revenir à un régime de vents de l'est et du sud-ouest vers la fin de la période d'échantillonnage (6 au 10 juin 2013; figure 12). La période du 11 au 13 juin 2013 n'a pas été considérée, puisqu'aucune larve d'éperlan n'a été capturée après le 11 juin.

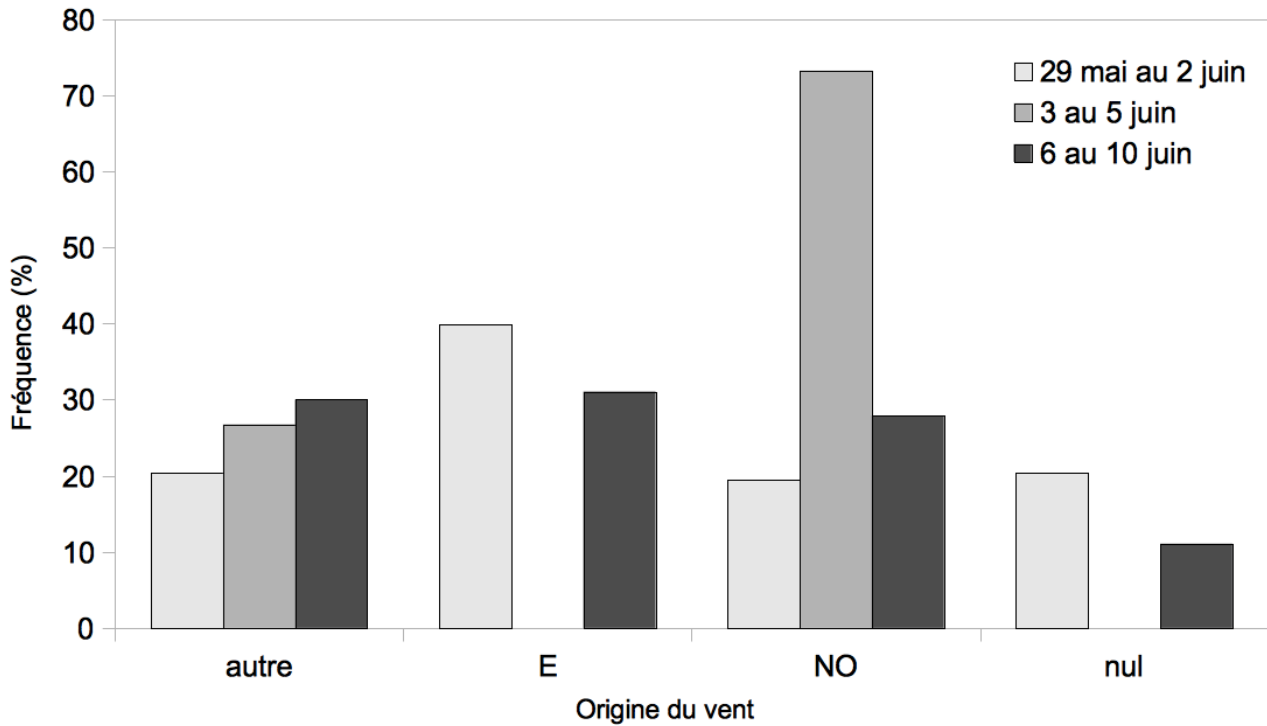


Figure 12: Fréquence des vents mesurés à l'aéroport de Roberval sur une base horaire selon leur direction d'origine pendant la fenêtre de présence des larves d'éperlan de stade A et B au lac Saint-Jean. La fenêtre de temps a été divisée de façon à mettre en évidence les différents régimes de vents au cours de cette période.

## Courants

### *Trajectoires des bouées*

Les trajectoires de l'ensemble des bouées dérivantes déployées dans le nord-ouest du lac Saint-Jean laissent deviner un mouvement giratoire antihoraire de la couche d'eau de surface, la couche dans laquelle les larves d'éperlan se maintiennent (figure 13). Cette figure ne représente que le déplacement des bouées, et non la mesure des courants. La trajectoire des bouées suggère que les vents influencent les courants au lac Saint-Jean, puisque des inflexions sont détectables dans les tracés de certaines bouées. Cette figure suggère aussi que l'orientation des courants est variable d'un secteur à l'autre sous l'effet d'un même régime de vents, puisque le lieu de déploiement influence la direction prise par la bouée.

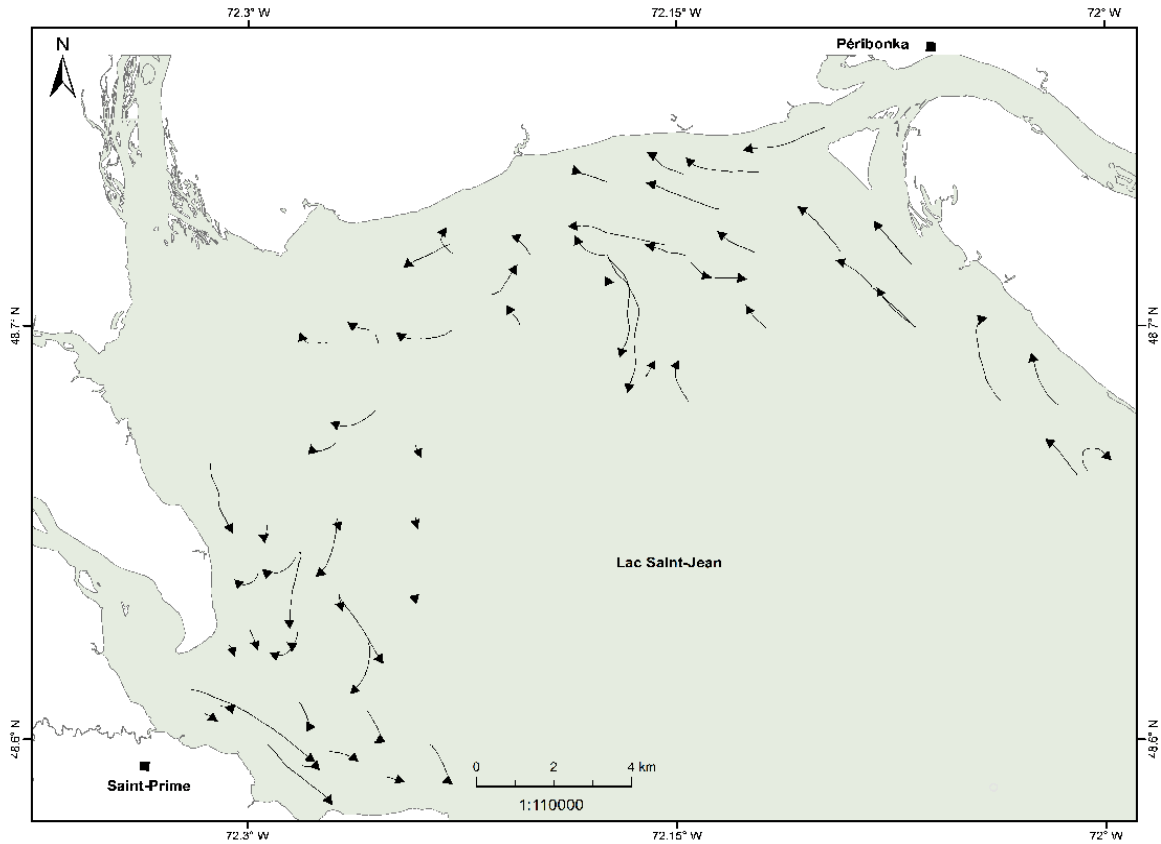


Figure 13: Trajectoires suivies par les bouées dérivantes lors des 63 déploiements dans la région nord-ouest du lac Saint-Jean, entre le 20 mai et le 13 juin 2013. Les flèches indiquent la direction du déplacement.

### *Modèles de régressions simples et multiples*

L'influence des vents et de la localisation sur les courants mesurés par les bouées dérivantes a été analysée à l'aide de modèles régressifs. Les composantes est et nord des vents et des courants ont été manipulées séparément. La variation d'une composante des courants en un site donné est fonction de la composante des vents sur le même axe, de la longitude et de la latitude ( $r^2_{\text{ajusté}} = 0,466$  et  $p < 0,001$ ;  $r^2_{\text{ajusté}} = 0,527$  et  $p < 0,001$ ; respectivement pour la composante est et la composante nord des courants; tableau 5). Le modèle simple entre les composantes des courants et celles des vents ( $r^2_{\text{ajusté}} = 0,308$  et  $p < 0,001$ ;  $r^2_{\text{ajusté}} = 0,347$  et  $p < 0,001$ ; respectivement pour la composante est et la composante nord du courant) est bonifié par l'ajout des facteurs latitude et longitude. Par contre, l'apport des facteurs latitude et longitude aux modèles varie d'une composante à l'autre. Ainsi, la longitude n'ajoute pas de pouvoir explicatif au modèle de la composante est des courants (il n'y a pas de différence entre les modèles 1 et 2;  $F = 1,63$  et  $p = 0,203$ ), alors que la latitude renforce peu le modèle de la composante nord des courants (tableau 5). Tous les modèles testés sont significatifs.

Tableau 5: Résumé des paramètres des modèles de régression linéaire simple et multiple des composantes est et nord des courants au lac Saint-Jean au printemps 2013.

MODÉLISER LA COMPOSANTE <b>EST</b> DES COURANTS																	
FACTEURS	MODÈLE SIMPLE				MODÈLE MULTIPLE 1*				MODÈLE MULTIPLE 2*				MODÈLE MULTIPLE 3				
	Estimé	Erreur Type	t	p	Estimé	Erreur Type	t	p	Estimé	Erreur Type	t	p	Estimé	Erreur Type	t	p	
INTERCEPT	-0,009	0,005	-1,953	0,055	36,237	5,017	7,222	<0,001	30,686	2,498	12,284	<0,001	-10,272	2,382	-5,339	<0,001	
VENT (COMPOSANTE EST)	0,003	0,001	5,789	<0,001	0,003	3,3E-04	9,839	<0,001	-0,003	3,3E-04	9,746	<0,001	0,003	3,9E-04	8,409	<0,001	
LONGITUDE					0,045	0,035	1,275	<0,001					-0,176	0,033	-5,336	<0,001	
LATITUDE					-0,678	0,064	-10,675	<0,001	-0,631	0,051	-12,287	<0,001					
$r^2_{\text{AJUSTÉ}}$ DU MODÈLE				0,308				0,466				0,465				0,270	
p DU MODÈLE				<0,001				<0,001				<0,001				<0,001	
MODÉLISER LA COMPOSANTE <b>NORD</b> DES COURANTS																	
FACTEURS	MODÈLE SIMPLE				MODÈLE MULTIPLE 1				MODÈLE MULTIPLE 2				MODÈLE MULTIPLE 3				
	Estimé	Erreur Type	t	p	Estimé	Erreur Type	t	p	Estimé	Erreur Type	t	p	Estimé	Erreur Type	t	p	
INTERCEPT	-0,004	0,005	-0,729	0,468	4,446	4,908	0,906	0,366	30,900	2,558	12,080	<0,001	25,930	2,056	12,610	<0,001	
VENT (COMPOSANTE NORD)	0,005	0,001	6,305	<0,001	0,005	4,5E-04	10,534	<0,001	-0,004	4,7E-04	-8,735	<0,001	0,005	4,7E-04	10,270	<0,001	
LONGITUDE					0,263	0,034	7,696	<0,001					0,359	0,028	12,610	<0,001	
LATITUDE					0,298	0,062	4,787	<0,001	-0,635	0,053	-12,089	<0,001					
$r^2_{\text{AJUSTÉ}}$ DU MODÈLE				0,347				0,527				0,439				0,493	
p DU MODÈLE				<0,001				<0,001				<0,001				<0,001	

\*Les modèles multiples 1 et 2 de la composante **est** des courants ne sont pas différents ( $F = 1,6259$ ;  $p = 0,2032$ ).

## DISCUSSION

### PRODUCTION LARVAIRE

Les stocks d'éperlans, particulièrement les 1+, étaient bas à la fin de l'été 2012, ce qui laissait envisager un faible contingent de reproducteurs au printemps suivant (MDDEFP, non publié). L'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel capturées au printemps 2013 est conforme à ce qui était attendu. De plus, elle est comparable aux abondances printanières observées dans la même région lors des années de creux de cycle d'abondance de l'éperlan (figure 14).

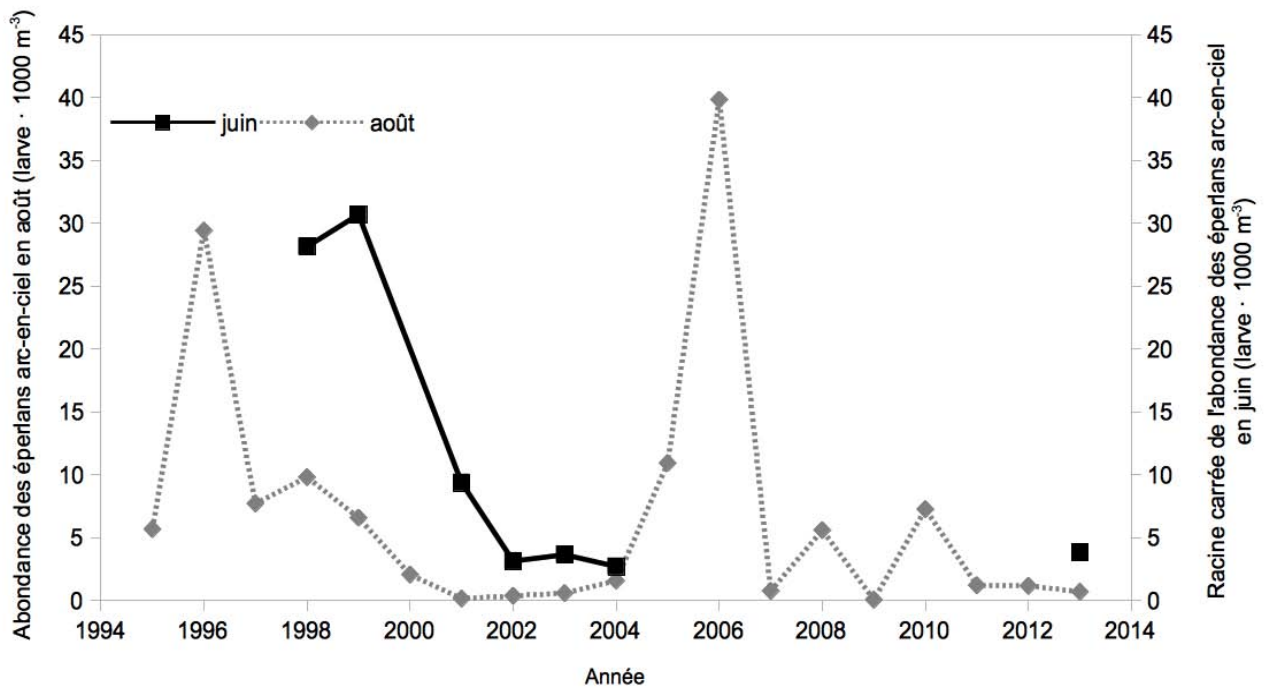


Figure 14: Variations annuelles de l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ au lac Saint-Jean (larve · 1000 m<sup>-3</sup>). Les carrés noirs reliés par un trait plein correspondent à la racine carrée de l'abondance des éperlans 0+ au mois de juin (larves), alors que les losanges gris reliés par un pointillé retracent les fluctuations d'abondance des éperlans 0+ au mois d'août (jeunes de l'année).

Les premières larves d'éperlan arc-en-ciel ont été capturées dans l'intervalle des dates d'éclosion documentées au lac Saint-Jean, c'est-à-dire entre le 18 mai et le 8 juin pour les secteurs à l'ouest, et entre le 25 mai et le 11 juin pour le secteur à l'est, dans la région d'eau froide associée à la rivière Péribonka (Lévesque 2012). La reconstitution chronologique de la période de reproduction dans chacune des régions où des larves de stade A ont été détectées a pu être produite en recoupant les observations de larves avec la série temporelle de la température de l'eau dans ces régions (tableau 6). Certaines assumptions ont été faites sur la base d'informations existantes. Ainsi la durée d'incubation retenue pour les œufs est de 156 degrés jours (Gagnon 2005), et la fraie devait avoir lieu lorsque l'eau



était entre 6 et 10 °C (Lévesque 2012). L'eau plus froide du secteur de la rivière Péribonka ralentit l'incubation des embryons, ce qui explique l'éclosion plus tardive des larves dans ce secteur alors que les œufs ont été pondus à la même période, tous secteurs confondus.

Tableau 6: Reconstitution chronologique de la période de reproduction des éperlans arc-en-ciel au lac Saint-Jean, au printemps 2013. Les dates d'éclosion correspondent aux dates où des larves de stade A ont été capturées alors que les dates de la fraie ont été estimées pour chaque secteur.

	Reproduction (estimée)	Éclosion (observée)
Rivière Ashuapmushuan	12 au 15 mai	28 au 30 mai
Lac Saint-Jean	12 au 21 mai	29 mai au 4 juin
Secteur Péribonka	14 au 22 mai	1 <sup>er</sup> au 7 juin

Note : Le début réel de l'éclosion peut dater jusqu'à deux jours plus tôt que ce qui a été observé puisque les larves de stade A ont entre zéro et deux jours. Par conséquent, une erreur similaire peut s'être glissée dans l'estimation des dates de fraie.

## Morphométrie

Les mesures morphologiques offrent une description détaillée des larves capturées. Elles permettent de comparer les caractéristiques des larves de stades différents. Il est impossible de départager une larve stade A d'une larve stade B sur la base de leur longueur standard, ce qui est conforme avec Gagnon (2005) qui ne trouvait pas de différence de taille entre les larves A à C. En 2013, les stades C et plus incluait des éperlans de stades C à F, ce qui a exacerbé la différence entre les stades C (D, E, F), et les larves de stades A et B.

## Répartition spatiale de l'abondance des éperlans

La répartition des jeunes stades d'éperlan au printemps 2013 permet de distinguer clairement deux foyers de production des larves d'éperlan pour la population de l'ouest du lac Saint-Jean (figure 7). Le foyer le plus productif se retrouve en lac, sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini. Deux observations confirment que ces larves ne proviennent pas toutes de la rivière Mistassini elle-même. D'abord, seulement six larves ont été capturées dans la station de veille de la rivière Mistassini et ce, à une seule reprise durant toute la période d'échantillonnage, ce qui est nettement insuffisant pour fournir les abondances observées sur les hauts-fonds. Ensuite, les abondances d'éperlan de stades A et B sont très faibles dans les pixels du chenal de la rivière Mistassini en lac, comparativement aux abondances mesurées dans les pixels voisins des hauts-fonds. On peut donc conclure que la majeure partie de la production de larves de la population des éperlans de l'ouest a lieu en lac.

Une production moindre de larves pour cette population a lieu dans la rivière Ashuapmushuan. Les larves de stades A dans ce secteur ont été majoritairement capturées dans la station de veille en rivière et dans les pixels à proximité de l'embouchure de la rivière. Le courant a rapidement transporté les larves le long de la côte de Mashteuiatsh. La production d'éperlans associée à la rivière Ashuapmushuan est connue depuis des années au lac Saint-Jean. Les captures d'adultes reproducteurs ainsi que de larves dans l'Ashuapmushuan et à proximité de son embouchure ont été rapportées à plusieurs reprises par le passé (résumé dans Lévesque, 2012). Jusqu'à maintenant, ce secteur était considéré comme le cœur de la production d'éperlans de la population de l'ouest du lac Saint-Jean.

Les données du printemps 2013 amènent une nouvelle perspective à la question du foyer de production de la population de l'ouest du lac Saint-Jean. La production du foyer des hauts-fonds à proximité de la rivière Mistassini surpasse celle du foyer de l'Ashuapmushuan. Ce site n'a pas été directement échantillonné par le passé, mais les observations et les données recueillies près du secteur des hauts-fonds de l'embouchure de la Mistassini suggèrent que ce foyer d'importance perdure dans le temps. Par exemple, des éperlans arc-en-ciel adultes en période de fraie et des larves ont été capturés légèrement au nord du pixel 16 à la fin des années 90 (Michel Legault, comm. pers.; Gagnon 2005). En juin 1999 et 2001, des abondances élevées de larves furent capturées dans le secteur des pixels 30 et 43, tout juste au sud-est de la distribution de la distribution des stades A et B de 2013. On considérait jusqu'à maintenant que ces larves avait dérivé depuis le secteur Péribonka à l'est. Dorénavant, il apparaît probable que ces larves soient issues de la production sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini.

La production de larves de la population est a été virtuellement inexistante au printemps 2013. Cela n'indique pas une absence totale de production, mais plutôt une production très faible par rapport à ce qui a été observé ailleurs dans le lac. Au total, seulement six larves de stade A disséminées dans le secteur est ont été capturées entre le 1<sup>er</sup> et le 7 juin. Il est tout à fait impossible de localiser un foyer de production pour la population est à partir de ces données éparses. L'arrivée de plusieurs stades C et plus le long de la Pointe-Taillon et près de l'île Boulianne soulève quelques questions quant à l'origine de ces larves, d'autant plus que seulement deux larves de stades B ont été capturées et ce, sur la côte opposée (Vauvert). Les vents lors de la fenêtre de présence des larves de stades C et plus à l'est provenaient majoritairement de l'est et en partie du sud. Selon l'étude des courants en fonction des vents (figure 16), le patron de courants associé aux vents de l'est dans ce secteur montre une circulation sud-est vers nord-

ouest le long de la côte de la Pointe-Taillon. Conséquemment, une portion des larves de stade C et plus pourrait provenir d'un site de production situé hors de la grille d'échantillonnage, en direction de St-Henri-de-Taillon. Cette région n'a jamais affiché une production importante de larves dans le passé (Lévesque 2012).

### **Stratégies reproductives des deux grandes populations d'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean**

Les larves d'éperlan de stade A ont été détectées sur une période d'un peu moins de deux semaines, l'abondance maximale étant rencontrée durant la première semaine, entre le 29 mai et le 2 juin. Ce constat constitue une surprise puisqu'il était attendu de documenter deux pics d'abondance à une semaine d'intervalle l'un de l'autre, le premier correspondant à la production de la population de l'ouest du lac et le second, à la population de l'est (Gagnon 2005; MDDEFP, données non-publiées). En 2013, la production de la population de l'est a été quasi-absente, avec quelques larves de stade A détectées entre le 1<sup>er</sup> et le 7 juin seulement. Il est impossible d'expliquer pourquoi il y a eu si peu de larves produites dans le secteur est. Par contre, il est possible d'évoquer quelques pistes d'explication à partir des données existantes.

La quasi-absence de larves dans l'est en 2013 pourrait être attribuable à des conditions influençant soit les embryons, soit le stock reproducteur. En assumant que les reproducteurs ont frayé, les embryons pourraient avoir été éliminés par un fort débit d'eau, mais ce n'est vraisemblablement pas le cas en 2013. Le débit de la rivière Péribonka n'a pas dépassé  $750 \text{ m}^3 \cdot \text{seconde}^{-1}$  la première semaine de juin. Cette valeur est le seuil à partir duquel il existe un lien entre de faibles abondances d'éperlans en août et les forts débits de la rivière Péribonka la première semaine de juin (Fortin *et al.* 2009). Le débit de la rivière Péribonka s'est maintenu en moyenne à  $550 \text{ m}^3 \cdot \text{seconde}^{-1}$  pendant la période de fraie et d'incubation estimée, une valeur sous la moyenne pour cette période. Ni les embryons d'éperlans, ni les reproducteurs n'ont vraisemblablement souffert d'un trop fort débit d'eau venant de la rivière Péribonka. Donc, les faibles abondances de larves d'éperlan de la population est du lac Saint-Jean au printemps 2013 découleraient de stocks reproducteurs particulièrement bas dans la population associée à la rivière Péribonka.

Comme mentionné précédemment, les faibles stocks de 1+ à la fin de l'été 2012 laissaient présager une faible production de larves au printemps 2013. Par contre, cette faible production n'est pas partagée également entre les populations de l'est et de l'ouest. La production d'éperlans en 2013 origine essentiellement de la population de l'ouest du lac. Il est improbable que l'effort d'échantillonnage ait manqué l'éclosion des larves des populations de l'est du lac. L'échantillonnage de veille a débuté la semaine suivant le dégel, alors que la température de l'eau était encore propice à la fraie des éperlans. L'éclosion ne peut pas avoir eu lieu avant. L'échantillonnage régulier a cessé un peu plus d'une semaine après la date estimée pour l'éclosion des larves des populations de l'est. L'estimation a été faite à partir de la température de l'eau et de la tendance des dernières années. De plus, les quelques larves du secteur est sont apparues aux environs de cette date estimée. Enfin, des efforts d'échantillonnage pour des larves d'éperlan ont été menés au cours de l'été par le passé. Ils ont permis de conclure qu'aucune éclosion importante d'éperlans n'avait lieu après la première moitié de juin au lac Saint-Jean (LASA, données non publiées).

Ce constat soulève plusieurs questions quant à la stratégie reproductive des éperlans au lac Saint-Jean. Les données antérieures montrent que la population de l'est associée au secteur de la rivière Péribonka a un meilleur potentiel de production de larves que la population de l'ouest du lac. Le développement plus tardif des embryons en eau froide assurerait une meilleure coïncidence entre le début de l'alimentation des larves et une densité optimale des proies (Fortin 2002; Lévesque 2012). Or, cette stratégie doit aussi comporter certains revers, puisque les deux stratégies reproductives (incubation rapide et incubation ralentie) se sont maintenues au lac Saint-Jean dans deux populations d'éperlan. Il est impossible de préciser la fréquence de cette situation de diminution importante des populations de l'est par rapport aux populations de l'ouest. Par contre, cette situation met en lumière le rôle des différentes stratégies reproductives de l'éperlan dans le maintien de l'espèce au lac Saint-Jean. Une plasticité similaire du cycle biologique au sein d'une même population d'éperlans et ses impacts sur le recrutement ont été documentés au lac Huron (O'Brien *et al.* 2012).

### **Caractéristiques environnementales associées à la présence de larves d'éperlan**

La répartition de l'abondance des larves d'éperlan au lac Saint-Jean en 2013 est fonction de la température de l'eau et de la profondeur (figure 15), deux variables étroitement reliées. La température de l'eau des zones profondes est toujours plus froide de quelques degrés que la température moyenne du lac, alors que l'eau des zones peu profondes est généralement plus chaude de quelques degrés, sauf dans

les secteurs influencés par l'entrée d'eau froide de la rivière Péribonka (figure 10). Les zones peu profondes du secteur ouest se réchauffent plus rapidement que les zones plus au large par l'effet des radiations solaires et de la température de l'air sur la couche d'eau plus mince, ainsi que par l'arrivée d'eau légèrement plus chaude des rivières Ashuapmushuan et Mistassini. La répartition des larves d'éperlan et la répartition des masses d'eau plus chaudes épousent la bathymétrie du lac dans le nord-ouest du lac Saint-Jean. La température influence directement la croissance des larves de poisson : la croissance est lente à basse température, elle augmente jusqu'à l'atteinte d'un maximum à température optimale, et diminue au fur à mesure que la température dépasse l'optimale (Fuiman et Werner 2002).

L'éperlan arc-en-ciel est une espèce associée aux eaux froides, mais les jeunes de l'année et les 1+ ont une température optimale plus élevée que les adultes (Wismer et Christie 1987; Lantry et Stewart 1993). La température préférentielle rapportée pour les larves et les jeunes de l'année au lac Michigan se situe entre 10 et 14 °C (Tin et Jude 1983). Par conséquent, la distribution des larves d'éperlan est étroitement associée aux masses d'eau leur assurant une croissance près de l'optimale (figures 9 et 15). La figure 15 B représente l'abondance des larves des deux populations d'éperlan en fonction de l'écart à la température moyenne de l'eau de surface. Les larves de la population ouest, apparue plus tôt, sont associées aux masses d'eau plus chaude pour cette période, qui correspondent aux températures préférentielles des larves. La température de l'eau augmente rapidement au printemps (figure 9). Par conséquent, les quelques points au dessus de zéro associés à des températures de surface plus froide que la moyenne représentent toutes des larves de la population est, apparues quelques jours plus après les larves de la population ouest. À ce moment, la température de l'eau dans l'est atteint à son tour la fenêtre des températures préférentielles des larves.

Par conséquent, la température de l'eau permet de caractériser les secteurs de fraie des éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Les stratégies de fraie des deux populations d'éperlan exploitent les mêmes fenêtres de température, mais légèrement décalées dans le temps et dans l'espace. On peut par contre s'attendre à ce que les larves de stade A demeurent associées aux eaux de moins de cinq mètres de profondeur, peu importe la stratégie de fraie. Gagnon (2005) avait enregistré les plus fortes densités de larves en lac sur l'isobathe de trois mètres alors que la population de l'est était abondante.

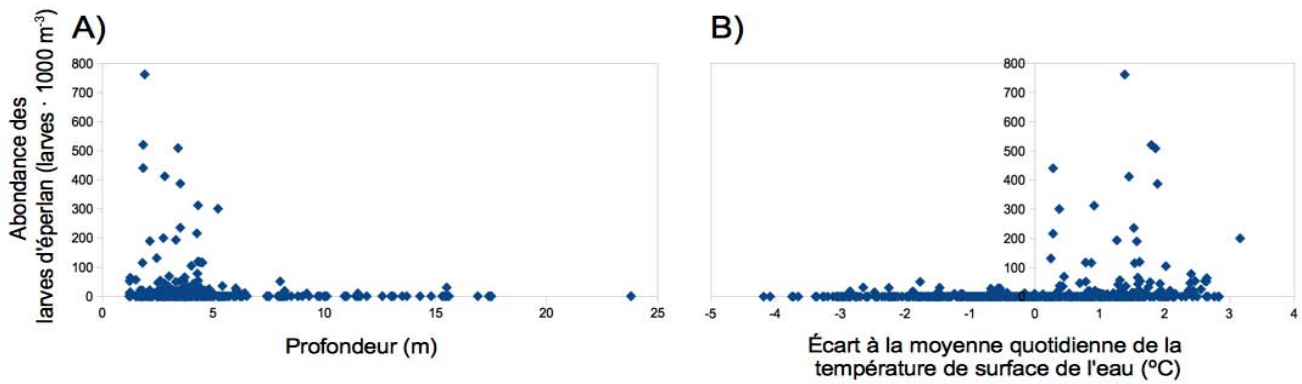


Figure 15: Abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m<sup>-3</sup>) tous stades confondus en fonction (A) de la température en degrés Celsius, et (B) de la profondeur en mètres, de l'eau pour tous les sites échantillonnés au lac Saint-Jean au cours du printemps 2013.

## DÉRIVE LARVAIRE DES ÉPERLANS ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN

### Relation entre les vents et les courants

On observe une relation étroite entre les vents et les courants de surface du lac Saint-Jean (tableau 5). Le tableau 5 montre aussi l'importance des facteurs de localisation spatiale pour affiner l'estimation des courants. La région du lac Saint-Jean à l'étude a été divisée de manière approximative en cinq secteurs, sur la base des ressemblances observées dans les trajectoires des bouées dérivantes (figure 13) et des caractéristiques de ces secteurs. Conséquemment, un portrait global de la circulation des eaux de surface du lac Saint-Jean a été dressé à partir des courants moyens des secteurs Ashuapmushuan, Mistassini, Vauvert, Taillon et Centre en fonction de l'origine des vents les plus fréquent (figure 16). Les scénarios de vents de l'est et de vents du nord-ouest ont été retenus, puisque ces régimes de vents ont accompagné la très grande majorité des déploiements de bouées dérivantes (figure 11).

Les courants générés par le vent d'est s'assemblent pour produire un mouvement giratoire antihoraire sur l'ensemble de la zone à l'étude. De plus, les courants du secteur Centre, associé au large et aux zones plus profondes, remontent vers le nord, en continuité avec le mouvement giratoire. Les vents du nord-ouest produisent des courants avec une nette tendance vers le sud-est dans tous les secteurs, à l'exception de celui de Taillon. Néanmoins, ce vecteur de courant doit être interprété avec prudence puisqu'il est issu d'une seule donnée, une exception dans cet exercice.

Jusqu'à maintenant, l'unique modèle de circulation des masses d'eau au lac provenait du projet de thèse de Leclerc (1985) portant sur la modélisation théorique des écoulements à surface libre en milieu naturel appliquée au lac Saint-Jean. Ce modèle peut être comparé à des mesures terrain pour la première fois. Les observations sur le terrain par vent d'est correspondent généralement bien au modèle de circulation des masses d'eau de surface par vents du nord-est de Leclerc (1985; figure 17A), hormis ce qui concerne l'intensité plus grande en réalité des courants qui suivent la Pointe-Taillon et la remontée vers le nord des masses d'eau du secteur Centre de la région à l'étude. Les observations des courants par vents du nord-ouest correspondent moins bien au modèle de circulation des masses d'eau de surface par vents du nord-ouest de Leclerc (1985; figure 17B). Les courants moyens mesurés à la sortie de la rivière Ashuapmushuan sont plus intenses que ce qui est estimé par le modèle théorique, car la contribution des rivières a été totalement éludée du modèle. De plus, les courants du secteur Centre vont vers le sud-est, alors que le modèle théorique indique plutôt un déplacement de l'ouest vers l'est. Enfin, l'unique mesure de courant le long de la Pointe-Taillon par vent du nord-ouest indique un déplacement en direction opposée à celle obtenue par modélisation théorique.

La vitesse moyenne des courants au sens familier est de  $0,075 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Cette valeur correspond à la moyenne des vitesses absolues des courants mesurés par l'ensemble des bouées dérivantes. Le déplacement potentiel d'une larve passive serait de 6,5 km par jour en assumant que les déplacements ont tous lieu dans la même orientation et dans le même sens. Or ce n'est pas ce qui est observé. La figure 16 montre que bien que les vitesses des courants mesurés soient du même ordre de grandeur, l'orientation et la direction des courants change en fonction des vents et du secteur en lac. Le déplacement net (réel) des larves est donc beaucoup plus limité que ce que suggéré par la vitesse moyenne absolue des courants.

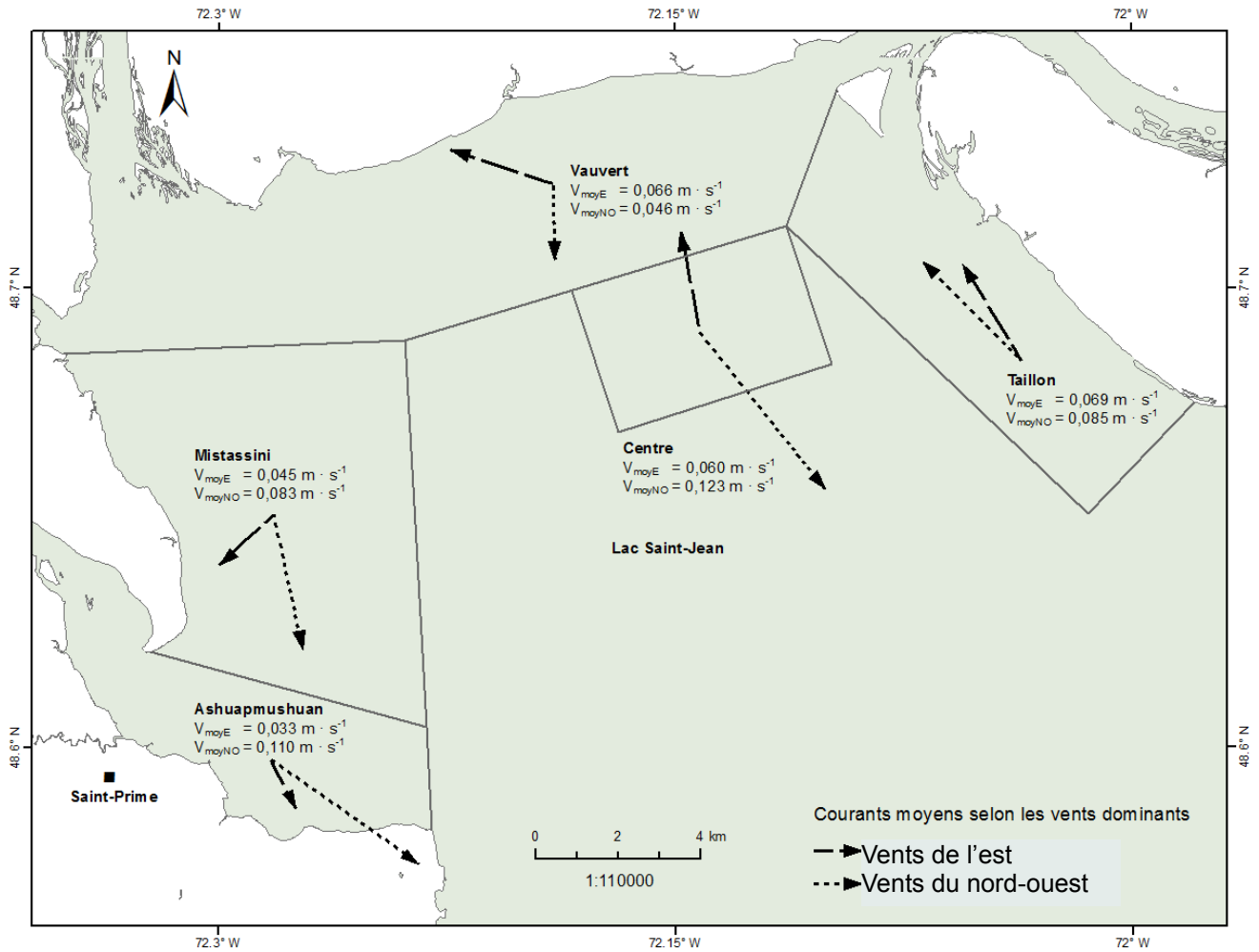


Figure 16: Représentation des courants moyens dans différents secteurs du lac Saint-Jean en fonction de l'origine des vents les plus fréquents. L'échelle des vecteurs de courants est indépendante de celle de la carte. Les tirets longs montrent les courants associés aux vents de l'est alors que les tirets fins montrent les courants associés aux vents du nord-ouest.



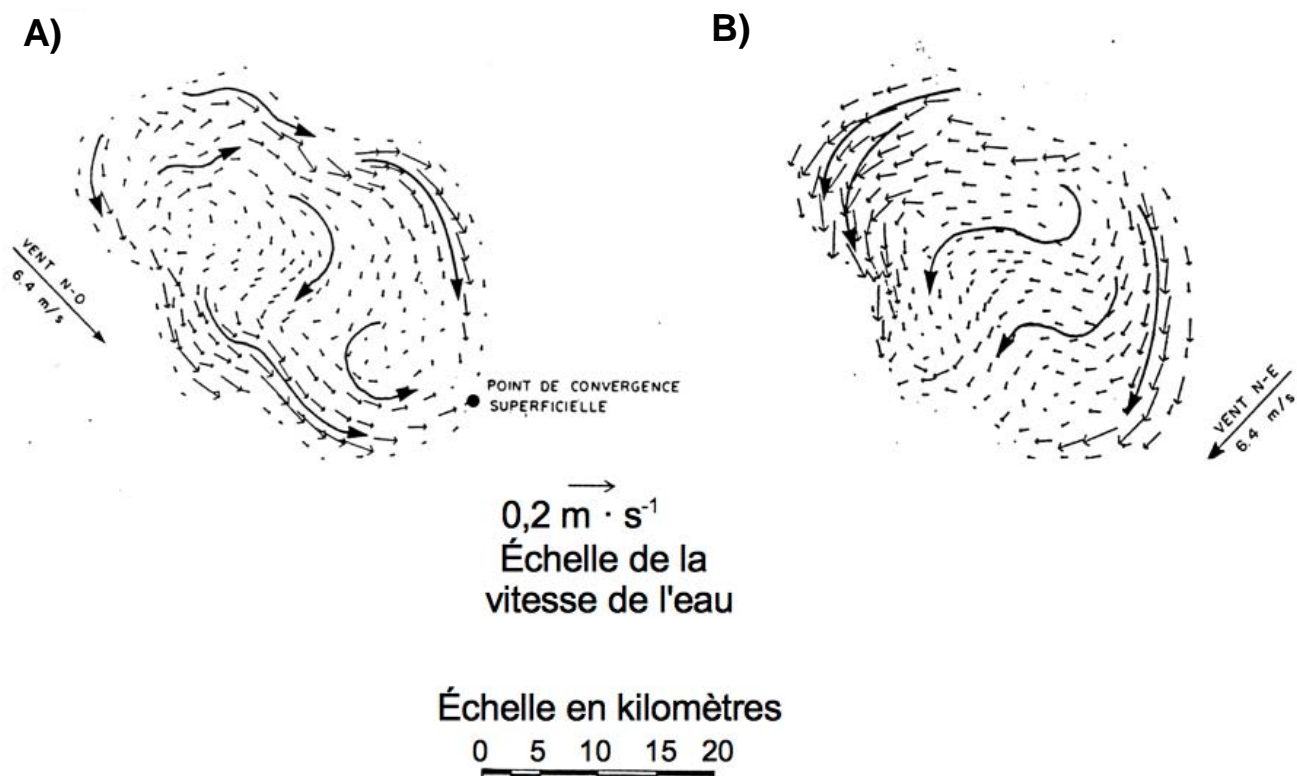


Figure 17: Modélisation théorique des courants de la couche d'eau à la surface du lac Saint-Jean lorsque le vent dominant provient (A) du nord-est ou (B) du nord-ouest (tiré de Leclerc 1985). Le modèle est mis au point selon un vent moyen de  $6,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , pour les deux scénarios de vents.

Dans le contexte de l'étude, une donnée locale, soit la vitesse et la direction du vent aux heures à l'aéroport de Roberval, a été assumée comme représentative de la variable vent sur l'ensemble du territoire à l'étude. Ce choix visait d'abord à alléger la logistique d'échantillonnage sur le terrain. Il permet aussi d'associer des patrons de circulation des courants de surface du lac Saint-Jean à une variable dont les archives temporelles sont disponibles.

### **Relation entre les courants et la distribution des larves**

S'il existe un lien étroit entre les vents et les courants au lac Saint-Jean, il en existe aussi un entre les courants et la répartition des jeunes larves d'éperlan. La figure 7 montre la répartition de l'abondance cumulée des différents stades de larves d'éperlan dans le secteur à l'étude. Elle témoigne de la dérive des larves en lac. Plus de 90% des larves de stades A et B ont été capturées entre le 29 mai et le 2 juin (figure 6). Au cours de cette période, les larves associées au principal foyer de production sont restées dans un même secteur sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini, alors que les fortes abondances des larves associées au foyer de production de l'Ashuapmushuan se sont déplacées vers la pointe de Mashteuiatsh (figure 7). Ce patron correspond parfaitement bien à la

distribution des larves attendue sous l'action des courants générés par des vents de l'est (figure 16), les plus fréquents au cours de cette période (40%; figure 12).

Aucune bouée dérivante n'a été déployée dans le secteur correspondant à la région des fortes abondances de larves d'éperlan sur les hauts-fonds. Par contre, on peut deviner d'après l'apparente immobilité des larves que les patrons de courants de cette région correspondent à ceux du secteur Vauvert. Les forts courants en direction du nord-ouest générés par les vents de l'est ont permis de contrebalancer les déplacements produits par les vents du nord-ouest et d'ailleurs. Les larves ont probablement parcouru plus de distance dans leurs premières journées de vie que ce qu'indique leur déplacement net. Quand on y regarde de plus près, la répartition des larves de stade B chevauche celle des stades A, avec un léger décalage vers le sud-est. Au fil des heures, le décalage se creuse, au point d'atteindre un nouveau secteur de circulation des courants. La répartition des stades C (D, E et F) illustre très bien cette transition. Les grandes abondances de larves de stades C et plus dans l'ouest du lac Saint-Jean ont été capturées entre le 30 mai et le 2 juin, sous le même régime de vents que les stades A et B. Par contre, le déplacement vers le sud-est est beaucoup plus marqué pour les larves de ce stade, dans une période de temps plus courte. Les grandes abondances de stade C et plus à l'ouest se sont donc retrouvées dans la zone de transition entre les courants vers le nord-ouest du secteur Vauvert et les courants vers le sud-ouest du secteur Mistassini, sous un régime de vents de l'est. La rétention des larves dans le secteur nord du lac Saint-Jean par un vent du sud-est a déjà été mise en évidence par Gagnon (2005).

## **PERSPECTIVE DE GESTION DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN**

Un important foyer de production de larves d'éperlan arc-en-ciel en lac a été mis en évidence par la campagne d'échantillonnage du printemps 2013. À l'issue de cet échantillonnage, il y avait globalement plus de larves produites en lac que de larves provenant de la production en rivière. Le printemps 2013 nous a fourni un portrait de la production des deux grandes populations d'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean à l'opposé de ce qui était attendu, avec une très faible production de la population de l'est par rapport à celle de la population de l'ouest du lac. Ces deux constats mènent à deux grandes conclusions. D'abord, ils mettent en évidence l'utilisation par les éperlans des hauts-fonds comme site de fraie au lac Saint-Jean, et que ces sites contribuent largement à la production globale de larves. Dans cet ordre

d'idées, les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka, pourrait aussi s'avérer le siège d'une production de larves d'éperlans lorsqu'elles sont en nombre suffisant pour permettre leur détection (ce qui n'était pas le cas en 2013). Ensuite, ces constats démontrent l'importance de la diversité des stratégies de fraie pour le maintien de l'éperlan au lac Saint-Jean.

Dans une perspective d'aménagement de l'habitat de fraie, deux options s'offrent au gestionnaires de l'éperlan au lac Saint-Jean.

La première option consiste à procéder à la mise en place d'aménagements sans étude biologique supplémentaire. Elle assume que la qualité des sites de fraie limite la production de larves (Lévesque 2012), et que le site exact de la frayère varie d'une année à l'autre (Rothschild 1961; Bruce 1975; Brassard et Verreault 1995). Procéder à l'aménagement de bandes de galets et de gros gravier, ou encore à l'ajout de gabions sur un gradient de profondeurs dans le secteur délimité par la proximité des fortes abondances de larves de stade A au printemps 2013 pourrait s'avérer une stratégie gagnante. Elle comporte tout de même un lot important d'incertitudes, principalement en ce qui a trait à l'étendue du secteur ciblé. Grâce à l'échantillonnage du printemps 2013, il a été possible de réduire l'aire de recherche des foyers de fraie de 228 km<sup>2</sup> à environ 4 km<sup>2</sup> sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini (scénario optimiste correspondant à la surface d'un pixel - le no. 16). L'étude détaillée du substrat à fine échelle préalable à la planification des aménagements pourrait permettre de raffiner cette évaluation.

La seconde option consiste à réduire les incertitudes subsistantes en prévoyant une campagne d'échantillonnage supplémentaire dans un printemps à venir. Les buts visés par cette campagne supplémentaire seraient (1) d'étudier de plus près le substrat réel du foyer de production d'éperlans identifié sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini; (2) de faire le suivi de la dérive des larves à plus fine échelle dans le secteur identifié, en précédant au besoin cet échantillonnage d'une recherche des œufs d'éperlan arc-en-ciel à proximité de sites dont le substrat pourrait s'avérer propice à la fraie des éperlans; et (3) de poursuivre la recherche de larves d'éperlan de la population est en vue d'identifier leurs foyers de production.

Dans les deux cas, il est suggéré que la mise en place d'un aménagement soit d'abord envisagée sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini, malgré ce qui a été recommandé dans

le rapport de Lévesque (2012). Les données du printemps 2013 n'ont pas permis d'identifier de foyers de production de larves à l'est. Par contre, elles ont démontré qu'il est primordial de partager les efforts d'aménagement sur plusieurs habitats de fraie, plutôt que de miser seulement sur un seul. Si les deux stratégies de reproduction des éperlans se sont maintenues dans le temps, c'est qu'elles peuvent toutes deux s'avérer avantageuses.

Le principal foyer de production de l'éperlan arc-en-ciel mis en évidence dans ce rapport est situé à proximité de l'embouchure de la rivière Ticouapé. Cette rivière est reconnue comme fortement polluée par les affluents municipaux, les rejets agricoles et industriels. On y a mesuré des niveaux plus élevés que les normes permises en ce qui a trait aux coliformes fécaux, aux matières en suspension, aux concentrations de phosphore et à la concentration de chlorophylle *a* (signe d'eutrophisation). La pollution par les pesticides est aussi à l'étude (OBV lac Saint-Jean 2012). Des travaux sont menés par l'organisme de bassin versant de la rivière Ticouapé dans le but d'améliorer la qualité de l'eau de cette rivière. Il est impossible de déterminer si ce foyer de pollution a un impact sur les embryons et larves d'éperlan des environs, néanmoins il serait pertinent de considérer cette possibilité.

## CONCLUSION

Une campagne d'échantillonnage des larves d'éperlan arc-en-ciel a été menée au lac Saint-Jean au printemps 2013 afin de vérifier l'hypothèse selon laquelle le principal effort de fraie des éperlans aurait lieu en lac, sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka et, possiblement, de l'embouchure de la rivière Mistassini. L'échantillonnage avait pour objectifs : (1) d'identifier les zones de production larvaire de l'éperlan du lac Saint-Jean en procédant au suivi de l'émergence des larves au printemps; (2) de recréer la dérive larvaire de l'éperlan en mettant en relation la distribution des larves avec le portrait de la circulation des courants au lac Saint-Jean, et (3) d'apporter des recommandations dans une perspective d'aménagements à proximité des secteurs de production identifiés.

L'échantillonnage a eu lieu du 12 mai au 13 juin 2013 dans le nord-ouest du lac Saint-Jean. Des larves d'éperlan ont été détectées du 28 mai au 11 juin dans la région à l'étude, avec la grande majorité des larves capturées sur une période de 6 jours entre le 28 mai et le 2 juin. La saison 2013 s'inscrit comme une année de creux d'abondance de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

Nous avons confirmé que l'éperlan arc-en-ciel dulcicole du lac Saint-Jean ne suit pas les patrons classiques de reproduction en ruisseaux. La campagne d'échantillonnage de 2013 montre qu'il y a globalement plus de larves issues de la production en lac que de larves issues de la production en rivière au lac Saint-Jean. L'utilisation des hauts-fonds comme site de fraie contribue largement à la production globale de larves d'éperlan du lac Saint-Jean. D'après les données disponibles, il était attendu que le principal effort de fraie aurait lieu en lac, sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka et, possiblement, de l'embouchure de la rivière Mistassini. Or l'échantillonnage du printemps 2013 a fourni le portrait opposé. Il a été impossible de localiser un foyer de production aux alentours de la rivière Péribonka, étant donné la très faible production de larves de la population de l'est. Par contre, un important foyer de production a été découvert sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini. Les données de 2013 n'écartent pas l'utilisation possible des hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka, mais elles mettent en évidence l'importance de la diversité des stratégies de fraie dans le maintien d'une espèce comme l'éperlan au lac Saint-Jean.

Les courants de surface à un endroit donné au lac Saint-Jean sont fonction des vents et de la localisation. Le portrait de la circulation des masses d'eau pour deux scénarios de vents communs au

printemps (nord-ouest et est) a été dressé en couplant les mesures de courants aux mesures de vents lors du déploiement des bouées dérivantes. Il s'agit des premiers patrons de circulation de l'eau au lac Saint-Jean issus de données empiriques. La couche d'eau de surface entreprend un mouvement giratoire antihoraire sous l'action des vents de l'est, alors que les vents du nord-ouest génèrent des courants avec une nette tendance vers le sud-est.

Les travaux menés sur les larves d'éperlan arc-en-ciel au printemps 2013 ont ajouté une nouvelle dimension à la compréhension de l'écologie reproductive de l'éperlan dulcicole du lac Saint-Jean. La création d'aménagements visant à améliorer la qualité du substrat disponible pour la fraie devrait d'abord être envisagée sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Mistassini. Cette recommandation est différente de la recommandation précédente qui suggérait de mettre les efforts sur la population de l'est uniquement (Lévesque 2012). Les données du printemps 2013 n'ont pas permis d'identifier de foyer de production de larves à l'est. Par contre, elles ont démontré qu'il est primordial de partager les efforts d'aménagement sur plusieurs habitats de fraie, plutôt que de miser seulement sur un seul. Si les deux populations d'éperlan ont évolué et se sont maintenues dans le temps au lac Saint-Jean avec leur stratégie de reproduction distincte (fraie en eau froide et fraie en eau plus chaude), c'est que ces deux stratégies peuvent s'avérer avantageuses.

## 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.
- Brassard, C. et G. Verreault. 1995. Indice de qualité de l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome de l'estuaire sud du Saint-Laurent. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale du Bas Saint-Laurent, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 33 p.
- Bruce, J. W. 1975. Some aspects of the biology of landlocked smelt, *Osmerus eperlanus mordax* (Mitchill) 1815, in selected Avalon Peninsula lakes. Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Newfoundland Region. Rapport numéro NEW/T-75-2, 129 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(1): 56-62.
- Côté, R., D. Buisson et P. Desgagné. 2002. Distribution spatio-temporelle du phytoplancton et du zooplancton dans le lac Saint-Jean (Québec), un réservoir hydroélectrique. Revue des sciences de l'eau 15(3): 605-622.
- 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. Département des Sciences Fondamentales. 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.

- Fuiman, L. A. et R. G. Werner. 2002. Fishery Science, the unique contributions of early life stages. Blackwell Publishing. 326 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. Département des sciences fondamentales. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 98 p.
- Jones, H.G., M. Leclerc, M. Ouellet, L. Potvin, P. Couture, D. Cluis, W. Sochanska et J. Sochanski. 1979. Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. INRS-eau, Québec. 568 p.
- Lantry, B. F., et D. J. Stewart. 1993. Ecological energetics of rainbow smelt in the Laurentian Great lakes: an interlake comparison. Transactions of the American Fisheries Society 122: 951-976.
- Leclerc, M. 1985. Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis: application au lac Saint-Jean (Québec). Université de technologie de Compiègne. 294 p.
- Legault, M., et H. Gouin. 1985. La ouananiche: fierté du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale du Saguenay/Lac Saint-Jean. 19 p.
- Legendre, P. et Legendre, L. 1998. Numerical Ecology. Second English Edition. Developments in Environmental Modelling, 20. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 853 p.
- Lévesque, S. 2012. La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel : 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.
- McKenzie, R. A. 1964. Smelt life history and fishery in the Miramichi River, New Brunswick. Fisheries Research Board of Canada. 77 p.



- O'Brien, T. P., W. W. Taylor, A. S. Briggs et E. F. Roseman. 2012. Influence of water temperature on rainbow smelt spawning and early life history dynamics in St. Martin Bay, Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research* 38(4): 776-785.
- Organisme de bassin versant Lac-Saint-Jean. 2012. Plan directeur de l'eau du bassin versant du lac Saint-Jean, Partie 2 : L'Analyse de bassin. Normandin, Québec. 231 pages.
- Rothschild, B. J. 1961. Production and survival of eggs of the American Smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), in Maine. *Transactions of the American Fisheries Society* 90(1): 42-48.
- Saint-Laurent, R., M. Legault, et L. Bernatchez. 2003. Divergent selection maintains adaptive differentiation despite high gene flow between sympatric rainbow smelt ecotypes (*Osmerus mordax* Mitchill). *Molecular Ecology* 12(2): 315-330.
- Sirois, P., A. Marion, J. Plourde, S. Plourde et M. Legault. 2011. Carrying capacity of Lake Saint-Jean for rainbow smelt *dans* Proceedings of the Fourth North American workshop on rainbow smelt, C. Enterline, C. Wood, K. Mills, B. C. Chase, G. Verreault, J. Fisher et M. H. Ayers Eds. Portland, Maine. Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish and Game and Massachusetts Division of Marine Fisheries. 84 p.
- St-Onge-Drouin, S., G. Winkler, J.-F. Dumais et S. Senneville (sous presse). Hydrodynamics and spatial separation between two clades of a copepod species complex. *Journal of Marine Systems*.
- Tin, H.T. et D.J. Jude 1983. Distribution and Growth of Larval Rainbow Smelt in Eastern Lake Michigan, 1978-1981. *Transactions of the American Fisheries Society* 112:517-524.
- Wismer, D. A. et A. E. Christie. 1987. Temperature relationship of Great Lakes fishes: a data compilation. Great Lakes Fishery Commission Special Publication. 87-3. 165 p.

## **ANNEXES**

Annexe 1 : Carte bathymétrique du lac Saint-Jean (Service hydrographique du Canada, 1979-81, 1986), et compléments d'information géographique

