

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR

DAVID CLEARY

ÉVALUATION DE LA CONTRIBUTION DES ENSEMENCEMENTS DE LARVES  
D'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL DANS L'ESTUAIRE MOYEN DU SAINT-LAURENT ET  
DANS LE LAC SAINT-JEAN

AOÛT 2013

## Résumé

L'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) est un poisson-fourrage important dans plusieurs écosystèmes aquatiques. Au Lac-Saint-Jean, la pêche sportive à la ouananiche est un moteur économique considérable. Depuis le début des années 2000, les stocks de l'espèce se sont effondrés. Puisque la proie préférentielle de la ouananiche est l'éperlan arc-en-ciel, ces observations coïncident avec la baisse importante des stocks d'éperlans observés. Afin de rétablir les stocks d'éperlans du Lac Saint-Jean, des incubateurs ont été installés sur la rivière Métabetchouan à Desbiens depuis 2003 produisant en moyenne 20 millions de larves annuellement.

Dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, le récent déclin de la population d'éperlans arc-en-ciel de la rive sud du Saint-Laurent a incité le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune à l'inclure sur la liste provinciale des espèces vulnérables en 2005. Depuis 1992, des incubateurs ont été installés dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, au ruisseau de l'Église à Beaumont produisant environ 28 millions de larves annuellement.

L'objectif général de ce projet est d'évaluer la contribution des larves d'éperlans arc-en-ciel issues des incubateurs aux populations naturelles du lac Saint-Jean et à celles de la population de la rive sud de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Pour atteindre cet objectif, les otolithes de plusieurs millions d'embryons ont été marqués à l'alizarine rouge S dans les incubateurs de la rivière Métabetchouan en 2005-2006 et du ruisseau de l'Église de 2004 à 2007. Le temps d'immersion des larves a été de 24h à une concentration de 150 mg L<sup>-1</sup> et après 12h le tiers de la concentration initiale d'alizarine a été ajouté. Le succès de marquage a été de 100% et le taux d'éclosion était similaire aux années précédentes, lorsqu'il n'y

avait pas de marquage (autour de 90%). L'échantillonnage des larves d'éperlans arc-en-ciel a été réalisé à trois reprises dans chacun des écosystèmes. Le premier échantillonnage avait lieu en mai, pendant l'éclosion et les deux autres avaient lieu au cours de l'été. Toutefois, en 2007, dans l'estuaire du Saint-Laurent, l'échantillonnage de mai s'est concentré en grande partie en amont de l'incubateur.

Au lac Saint-Jean, les résultats démontrent que pendant la dérive (mai, période d'éclosion) les larvesensemencées représentaient 57,25% et 5,88% des captures en 2005 et 2006 respectivement. En 2005, 2/3 des larves avaient été marquées tandis qu'en 2006 toutes les larves ont été immergées dans la solution d'alizarine. Il n'y a pas eu de différence significative entre la proportion de larves marquées obtenue et celle attendue ( $\chi^2 = 1,933$ ;  $p = 0,1644$ ), en 2005, contrairement à 2006 (5,8% de larves marquées capturées). Dans l'estuaire du Saint-Laurent, elles représentent 4,50%, 2,25% et 2,46% des individus capturés pendant la dérive de 2005; 2006 et 2007 respectivement. Les larves produites par les incubateurs ne sont plus détectables un mois après éclosion dans les deux écosystèmes. La faible proportion de larves marquées capturées au Lac Saint-Jean en 2006 pourrait être expliquée par deux facteurs : 1) une reproduction en lac pourrait avoir lieu dans le secteur de la rivière Métabetchouan 2) des larvesensemencées en 2003 et 2004 auraient pu venir se reproduire dans la rivière Métabetchouan. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, en 2007, un apport massif de larves a été observé en amont de l'incubateur, entre la pointe de l'Île d'Orléans et Beaumont, avant le début de l'éclosion de l'incubateur. Ces résultats suggèrent donc qu'il y ait présence d'une fraysère entre la pointe de l'Île d'Orléans et Beaumont. L'analyse génétique démontre que la quasi-totalité des larves dérivant dans le chenal sud du

Saint-Laurent appartiennent à la population de la rive nord (94,54% des larves dont le PCR a réussi son issue de la population de la rive nord). Ainsi, l'abondance très importante de larves de la PRN masque la quasi-totalité de la production de la PRS. La population d'éperlans de la rive sud n'est donc pas très productive par rapport à la population de la rive. Bien que les quantités de larvesensemencées semblent très importantes (plusieurs millions), les résultats de cette étude suggèrent qu'il serait fort utile de connaître l'ordre de grandeur de la production naturelle de larves d'éperlans arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean et l'estuaire moyen du Saint-Laurent. De cette façon, il serait plus facile d'estimer le nombre de larves à ensemenecer pour supporter réellement les populations naturelles.

## Remerciements

En premier lieu j'aimerais remercier mon directeur Pascal Sirois qui a eu confiance en moi et qui m'a donné l'opportunité de réaliser un projet de maîtrise. Je tiens également à le remercier pour son soutien et pour m'avoir transmis une partie de ses connaissances et de sa passion pour l'écologie aquatique. Je tiens également à remercier Michel Legault, un collaborateur indispensable à la réalisation de ce travail, pour sa disponibilité et pour l'aide qu'il m'a apporté. Je leur serai toujours reconnaissant et redevable d'avoir répondu à mes questions et pour leur encadrement notoire. Je les remercie également de m'avoir donné la chance de participer à divers colloques et séminaires, ce fut des expériences très instructives pour moi.

Je veux également dire un grand merci aux équipes de terrain. En particulier, les capitaines Gilles Mercier et Patrick Nadeau avec qui j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler, peu importe les conditions météo. Également, Laurier Coulombe, Conrad Groleau, François Hudon Benoît Langevin et Véronique Gravel. Je veux aussi remercier Guy Trencia et Guy Verreault pour avoir répondu à mes questions et à mes demandes et pour leur participation aux travaux de terrain. Merci aussi à Chantale Girard et Julie Brassard pour avoir participé au montage d'otolithes ainsi que Mélissa Sanikopoulos et Jean-François Martin pour les données de 2004 et 2007. Je souhaite également remercier le cœur du Labo Anne-Lise Fortin pour ses judicieux conseils, son support et ses précieux services. Je tiens également à remercier la troupe du laboratoire d'écologie aquatique, qui sans leur présence, ma motivation aurait été parfois plus difficile à trouver. Je tiens particulièrement à exprimer ma

reconnaissance à Véronique Leclerc, Gabriel Diab, Isabelle Tremblay-Rivard, Annick Drouin, Isabelle Poirier et Véronique Gravel. Mon passage au laboratoire et les amitiés que j'y ai développés sont de merveilleux souvenirs gravés dans ma mémoire. Un merci spécial à Joëlle pour son support moral, ses encouragements et surtout pour son amour. Merci de m'avoir poussé à terminer ce mémoire quand je ne trouvais pas le temps d'y replonger et qu'il y avait toujours quelque chose d'autre à faire. Je veux aussi dire merci à Suzette, Jacques, Rémy-James, Martin et Pierre-Simon Cleary pour leur présence, leur encouragement et pour m'avoir supporté moralement, spirituellement et de temps à autre financièrement (mes parents) au cours de mes études. Ils se sont toujours montrés intéressés à ce que je faisais et je leur en suis reconnaissant.

Pour terminer, je remercie les organismes qui m'ont appuyés financièrement, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MNRFP), le Conseil des Montagnais du Lac-Saint-Jean, et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) sans qui ce projet de recherche n'aurait pas été possible.

## Table des matières

RÉSUMÉ .....	II
REMERCIEMENTS.....	V
TABLE DES MATIÈRES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX .....	IX
LISTE DES FIGURES .....	X
<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Matériel et méthode .....</b>	<b>7</b>
2.1 Sites d'études .....	7
2.1.1 Lac Saint-Jean.....	7
2.1.2 L'estuaire moyen du Saint-Laurent .....	7
2.2 Incubation et marquage de masse .....	10
2.3 Conditions d'incubations .....	14
2.4 Estimation de la mortalité et quantité de larves déversés .....	15
2.5 Échantillonnage.....	16
2.5.1 Lac Saint-Jean.....	16
2.5.2 Fleuve Saint-Laurent .....	18
2.6 Traitement des échantillons .....	22
2.7 Analyse génétique .....	24
<b>3. Résultats .....</b>	<b>25</b>
3.1 Efficacité du marquage de masse.....	25
3.2 Abondance et dispersion .....	26
3.2.1 Lac Saint-Jean.....	26
3.2.2 Fleuve Saint-Laurent .....	28
3.3 Contribution desensemencements.....	34

3.3.1 Lac Saint-Jean.....	34
3.3.2 Fleuve Saint-Laurent .....	37
3.4 Analyse génétique des larves capturées dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2007 .....	38
.....	38
<b>4. Discussion.....</b>	<b>40</b>
4.1 Efficacité du marquage de masse.....	40
4.2 Abondance et dispersion .....	42
4.2.1 Lac Saint-Jean.....	42
4.2.2 Fleuve Saint-Laurent .....	46
4.3 Contribution des incubateurs .....	49
4.3.1 Lac Saint-Jean.....	49
4.3.2 Fleuve Saint-Laurent .....	50
<b>5. Conclusion.....</b>	<b>55</b>
RÉFÉRENCES .....	60



## Liste des tableaux

Tableau 1. Années, secteurs et dates d'échantillonnages pour l'estuaire moyen du Saint-Laurent .....	22
Tableau 2. Nombre de larves analysées et pourcentage de larves marquées obtenu lors du marquage au lac Saint-Jean en 2005 et 2006 et pour le fleuve Saint-Laurent de 2004 à 2007 .....	26
Tableau 3. Stade de développement lors des échantillonnages, nombres de larves capturées et analysées et pourcentage de larves marquées capturées au lac Saint-Jean en 2005 et 2006 .....	35
Tableau 4. Nombre de larves capturées et analysées et pourcentage de larves marquée capturées dans le fleuve Saint-Laurent en 2005, 2006 et 2007 .....	38
Tableau 5. Caractéristique des échantillons ré-analysés pour identifier le clade (A ou B) des larves capturées en 2007 (tiré de Lecomte et al. <i>in prep</i> ) .....	40

## Liste des figures

Figure 1. Localisation des sites d'étude.....	9
Figure 2. Installation amovible des incubateurs à la rivière Métabetchouan pendant le marquage avec schéma représentant par où transite l'eau provenant de la rivière ( ...➤ ) et lorsque le circuit fermé est en fonction ( ➔ ) .....	11
Figure 3. (A) Schématisation du fonctionnement d'une jarre d'incubation (basé sur Larose et Bouchard 1997) et (B) jarres retrouvés au ruisseau de l'Église et (C) à la rivière Métabetchouan.....	12
Figure 4. Stations d'échantillonnage au lac Saint-Jean. Les traits représentent (A) la localisation des stations d'échantillonnages de mai (larves en dévalaison) et (B) la localisation des stations d'échantillonnages des mois de juillet (larves) et août (préjuvéniles) .....	18
Figure 5. Transects et stations d'échantillonnage dans l'estuaire du Saint-Laurent (A) lors de la dévalaison larvaire de 2004 - 2006 (B) de 2007 et (C) lors des campagnes d'échantillonnages des mois de juillet 2005 - 2006 .....	20
Figure 6. Photo du même otolithe marqué à l'alizarine rouge S observé (A) sous lumière blanche (on peut voir la marque colorée laissée sur le noyau de l'otolithe par l'alizarine) et (B) sous lumière UV où l'on voit bien la fluorescence du noyau.....	23
Figure 7. Les cinq premiers stades de développement d'une larve d'éperlan arc-en-ciel (tiré de Cooper 1978).....	24
Figure 8. Abondance moyenne de larves par transect et dispersion des larves capturées lors de la dévalaison larvaire au lac Saint-Jean en (A) mai 2005 et (B) en mai 2006 .....	28
Figure 9. Abondance et dispersion des larves capturées lors de la dévalaison larvaire de mai 2004 dans le fleuve Saint-Laurent .....	29
Figure 10. Abondance et dispersion des larves capturées (A, B) lors de la dévalaison larvaire dans le fleuve Saint-Laurent en mai 2005 et (C) en mai 2006 .....	31
Figure 11. Abondance et dispersion des larves capturées lors de la dévalaison larvaire dans le fleuve Saint-Laurent en mai 2007 .....	33
Figure 12. Répartition des larves marquées et non marquées capturées au lac Saint-Jean en A) 2005 et B) 2006. ....	36

Figure 13. Une simulation simple de la dérive d'une larve d'éperlan arc-en-ciel en fonction de la vitesse des vents est réalisée à partir du modèle de distribution des courants selon la vitesse des vents dominants montre le parcours selon deux scénarios de vitesse du vent (Leclerc, 1985) (des vents de 6,4 m/s (23 km/h) produisent des courants de dérive dans la zone littorale d'une vitesse variant entre 0,1 et 0,2 m/s (0,36 km/h ○ et 0,72 km/h ☆ ).....

## 1. Introduction

L'éperlan arc-en-ciel joue un rôle clé au sein des communautés biologiques dans plusieurs écosystèmes aquatiques. C'est une espèce fourrage très importante pour les mammifères marins, les oiseaux aquatiques et plusieurs espèces de poissons prédateurs comme les salmonidés (Scott et Crossman 1974; Smith et Wells 1977, Clayton et al. 1978, Nadon 1991, Ewins 1994, Dehn et al. 2007). On reconnaît que l'éperlan a deux types de cycles vitaux, soit un cycle vital anadrome et un cycle vital dulcicole (Scott et Crossman 1974; Nellbring 1989). Par exemple, on retrouve dans le lac Saint-Jean des populations vivant exclusivement en eau douce et dans l'estuaire du Saint-Laurent des populations anadromes.

L'aire de répartition naturelle de l'éperlan s'étend de la Virginie aux côtes canadiennes. La pêche à l'éperlan a occupé une place importante dans de nombreuses communautés côtières jusqu'à la seconde moitié du 20e siècle. Les populations du sud de son aire de distribution ont progressivement diminué et semblent avoir récemment disparues (Wood et al. 2012). Dans le fleuve Saint-Laurent, l'éperlan arc-en-ciel anadrome occupe une position importante dans la pyramide trophique. Avec sa croissance rapide et sa maturité sexuelle hâtive, ce poisson permet de transformer efficacement la biomasse de zooplancton et de la rendre disponible aux organismes de niveaux trophiques supérieurs (Mongeau *et al.* 1980). Au lac Saint-Jean, le suivi annuel des populations d'éperlans effectué depuis 1996 par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) a montré qu'au cours des années, l'éperlan arc-en-ciel représentait en moyenne 60% des

récoltes dans les filets (Données non publiées). Son abondance indique qu'il occuperait, là aussi, une position importante de la pyramide trophique.

Le lac Saint-Jean possède la plus importante population naturelle de ouananiche (*Salmo salar*) en Amérique du Nord (Legault et Gouin 1985). La pêche sportive à ce salmonidé a une importance culturelle et économique significative pour la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean. Au début des années 1990 et 2000, les stocks de ouananiche se sont effondrés ce qui a incité les gestionnaires à se pencher sur la problématique. Il est reconnu depuis au moins 35 ans que la proie préférentielle de la ouananiche est l'éperlan arc-en-ciel (Mahy 1975; Desjardins 1989; Nadon 1991; Tremblay 2004) et que les effondrements de stocks de ouananiche coïncident avec une baisse importante des stocks d'éperlans (Lefebvre 2003; Fortin et al. 2009). L'échantillonnage des juvéniles 0+ réalisé annuellement depuis 1996 au lac Saint-Jean par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) démontre que les stocks d'éperlans peuvent varier entre 0,17 et 29,40 larves par 1 000 m<sup>3</sup>. Il est bien connu que les populations d'éperlans connaissent de fortes fluctuations d'abondance (Kircheis et Stanley 1981; Henderson et Napszy 1989) au détriment de leur prédateur, la ouananiche. Ainsi, ces fluctuations d'abondance ont des répercussions non seulement sur la croissance de la ouananiche, mais également sur sa survie et sa fécondité (Warner et Inerpi 1969; Bridges et Hambly 1971; Havey 1973) ce qui engendre une diminution de la qualité de pêche.

Le lac Saint-Jean compte au moins quatre populations d'éperlans arc-en-ciel soit deux populations de forme naine et deux populations de forme normale (Saint-Laurent 2002; Saint-Laurent et al. 2003; Bernatchez et Saint-Laurent 2003). Une population de

chacun des écotypes se reproduit dans deux secteurs. Deux populations (une population naine et une population normale) utilisent le secteur nord-ouest qui se localise entre l'embouchure de la rivière Mistassini et celle de la rivière Ashuapmushuan. Les deux autres populations (une population naine et une population normale) se reproduisent dans la rivière Péribonka (Gagnon 2005a; Fortin et al. 2009). De ces quatre populations, Bernatchez et Saint-Laurent (2003) ont démontré que les ouananiches se nourrissaient principalement d'éperlans provenant de la rivière Péribonka. D'ailleurs, selon les observations de Gagnon (2005a), la population d'éperlans de la rivière Péribonka semble être la plus importante, en termes de production de larves. Après éclosion, les larves dérivent vers le lac et leur déplacement est fonction des courants du lac, qui eux sont fonction des vents dominants.

Plusieurs études ont démontré l'existence de deux populations sympatriques d'éperlans arc-en-ciel dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, à savoir, la population de la rive nord et la population de la rive sud (Bernatchez et al. 1995; Bernatchez et Martin 1996; Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005). Ces deux populations présentent des divergences écologiques marquées. Les éperlans de la rive nord fraient environ deux semaines plus tôt que ceux de la rive sud. La fraie à lieu dans un secteur du fleuve près de Neuville localisé à environ 100 km en amont de la partie salée de l'estuaire (Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005; Trencia et al. 2005a). Après éclosion, les larves associées à cette population dévalent vers l'estuaire moyen. Ces dernières se maintiennent dans la zone de turbidité maximum en effectuant des migrations verticales avec les marées et la circulation estuarienne (Dodson et al. 1989; Laprise et Dodson 1989). Ces migrations leur permettent

de profiter de l'abondance de nourriture présente dans cette zone de l'estuaire (Laprise et Dodson 1989).

De l'autre côté, la population de la rive sud, elle fraie dans de petits tributaires le long de la rive sud de l'estuaire et également dans l'estuaire même (Ouellet et Dodson 1985; Trencia et al. 2005a; Legault et Lecomte 2012; Lecomte et al. *in prep*). Après éclosion, les larves sont transportées dans des zones de rétentions (baies peu profondes) situées le long de la rive sud où elles se développent au cours de l'été (Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005). Ces zones de rétention sont le banc de la rivière du Loup et l'Anse de Sainte-Anne (Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005). L'effondrement de cette population au cours des dernières décennies a eu des conséquences importantes sur la pêche commerciale et sportive de cette espèce. En effet, sur la rive sud, les débarquements associés aux secteurs de Kamouraska et de Rivière-du-Loup sont passés annuellement de plus de 50 000 tonnes métriques en 1964 à moins de 10 tonnes en 1975 (Robitaille et Vigneault 1990). En 2002, sur la rive sud de l'estuaire, les prises commerciales déclarées étaient inférieures à une tonne métrique (M. Binet, comm. pers. 2003, tiré de Trencia et al. 2005a). Autrefois, la pêche récréative dans la région de Québec était une activité automnale très prisée par les pêcheurs sportifs (Vladykov et Michaud 1957). Actuellement, la pêche sportive automnale et hivernale pour cette espèce se pratique encore dans le Bas-Saint-Laurent, mais son importance a fortement diminué (Robitaille et al. 1994; Robitaille et al. 1995; Trencia et al. 2005a). Le déclin dramatique de cette population a incité le gouvernement à l'inscrire sur la liste des espèces menacées en mars 2005. Une des causes premières de son déclin est la perte d'habitats de reproduction. Des sept frayères autrefois

fréquentées, seulement quatre d'entre elles continuent d'être utilisées (ruisseau de l'Église, rivière Ouelle, rivière Fouquette et la rivière du Loup). Les rivières Boyer et Trois-Pistoles ont été abandonnées (Robitaille et Vigneault 1990; Trecia et al 1990; Trecia 1991). Jusqu'au milieu des années 80, la rivière Boyer était celle qui était la plus utilisée par la population de la rive sud de l'estuaire (Trecia et al. 2005a). La rivière Kamouraska à quant à elle été recolonisée à partir de 2010 (Boutin 2011).

Avec pour objectif de supporter les populations d'éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean la Corporation de Pêche Lac-Saint-Jean (CLAP) et le MRNF ont entrepris d'implanter une nouvelle population d'éperlans dans la rivière Métabetchouan à Desbiens. Afin d'y parvenir, des incubateurs portatifs (3) ont été installés entre 2003 et 2005 sur la rive d'un chenal de frai artificiel aménagé en bordure de la rivière Métabetchouan.

Dans le cadre du rétablissement de la population d'éperlans arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, un incubateur artificiel a été implanté sur la rive du ruisseau de l'Église en 1992 (Équipe de rétablissement de l'éperlan arc-en-ciel du Québec 2008). Les systèmes d'incubateurs opérés par le MRNF à la rivière Métabetchouan et au ruisseau de l'Église sont alimentés d'œufs fécondés provenant de géniteurs capturés en milieu naturel. Les individusensemencés sont en contact avec le milieu récepteur dès l'éclosion (fleuve Saint-Laurent) ou quelques heures après (lac Saint-Jean) et qui proviennent du milieu naturel. De ce fait, il n'y a pas de possibilité d'inadaptation pouvant découler de la pression sélective favorisant la survie en milieu artificiel de poissons issus d'aquaculture et favorisant l'inadaptation en milieu naturel (Olla et al. 1994; Masuda et Tsukamoto 1998).



Selon Rupp (1965), le taux de survie des œufs d'éperlans arc-en-ciel jusqu'à l'éclosion peut varier entre 0% et 2% pour la population du lac Branch (Maine, États-Unis) qui fraye dans la zone littorale. McKenzie (1947) suggère le même taux de survie dans son étude sur l'effet de l'abondance des œufs sur la production de larves. Pouliot et Verreault (2000) évaluent quant à eux le taux de survie des œufs en milieu naturel à 6,6%.

L'implantation d'incubateur artificiel permet d'améliorer de façon importante les taux de survie des œufs jusqu'à l'éclosion, en diminuant l'effet des principaux facteurs de mortalité : le faible taux de fécondation des œufs, l'empilement excessif, l'asphyxie des œufs par les sédiments fins, les infections fongiques et la prédation (Bouchard et Larose 1999). Par exemple, le taux d'éclosion moyen des œufs dans les incubateurs du lac Saint-Jean et du fleuve Saint-Laurent est d'environ 90%. Depuis 2000, une moyenne annuelle de 28,1 millions (entre 16,6 et 38,0 millions) de larves a été produite dans les incubateurs du fleuve Saint-Laurent. Au lac Saint-Jean, ce sont en moyenne 20 millions (entre 10,5 et 29,0 millions) de larves qui ont été produites annuellement depuis 2003. Malgré des investissements importants consacrés au support des populations d'éperlans arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean et dans le fleuve Saint-Laurent, nous ne savons pas si les ensemencements de larves contribuent réellement aux populations naturelles.

L'objectif du projet de recherche est d'établir l'évolution de la dispersion des larves et d'évaluer la contribution des ensemencements de larves d'éperlans arc-en-ciel aux populations naturelles du lac Saint-Jean et de l'estuaire moyen du fleuve Saint-Laurent.

## **2. Matériel et méthode**

### **2.1 Sites d'études**

#### **2.1.1 Lac Saint-Jean**

Le lac Saint-Jean est l'un des plus vastes plans d'eau du Québec méridional avec une superficie de 1 053 km<sup>2</sup> et un bassin versant couvrant approximativement 73 000 km<sup>2</sup> (Jones et al. 1979). En 1927, ce dernier a été transformé en réservoir hydroélectrique. Il est localisé à la latitude 48°35' N et à la longitude 72°03' W (figure 1). C'est un lac peu profond avec une profondeur moyenne de 11,3 m et une profondeur maximale de 63 m. Près de 25 % de sa superficie totale ne dépasse pas les 3 m de profondeur et 40 % les 6 m de profondeur. Ses principaux tributaires sont les rivières Ashuapmushuan, Mistassini et Péribonka et ses eaux se renouvellent très rapidement soit plus de 4 fois par année (Leclerc 1978). Le niveau de ses eaux diminue en moyenne de 3,5 m de janvier à avril ce qui entraîne un assèchement relatif des berges et la mise en contact du substrat avec le gel et la glace. Son statut trophique se situe entre l'oligotrophie et la mésotrophie, mais on peut retrouver des zones eutrophes, reflétant l'influence de certains tributaires riches en éléments nutritifs. Le comportement thermique des eaux du lac est caractéristique des systèmes fortement exposés aux vents.

#### **2.1.2 L'estuaire moyen du Saint-Laurent**

L'estuaire moyen du Saint-Laurent s'étend de la pointe est de l'Île d'Orléans jusqu'à l'embouchure du Saguenay soit une distance d'environ 150 km (figure 1). L'estuaire moyen est généralement peu profond, d'une profondeur de 15 m dans sa partie

amont il atteint 50 à 100 m à la hauteur du Fjord du Saguenay (Rossignol 1998). Son eau est saumâtre. Ce mélange d'eau douce et d'eau salée est provoqué par des courants de forte intensité jumelés à l'influence des marées, entraîne la remise en suspension des sédiments, ce qui engendre une forte turbidité des eaux entre l'Île d'Orléans et l'Île aux Coudres (SLC 1996). C'est dans ce secteur que l'on retrouve la zone de turbidité maximale qui se déplace en fonction de la marée et du débit d'eau douce. Le gradient de salinité de l'estuaire moyen passe pratiquement de 0 ‰ (Île d'Orléans) à 25 ‰ (Tadoussac). Son débit à la hauteur de Québec est en moyenne de  $12\,600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  et l'amplitude des marées atteint près de 7 m lors des grandes marées du printemps, mais en moyenne elles ont entre 3 m et 5 m d'amplitude (SLC 1996; Rossignol 1998). L'estuaire est séparé en trois chenaux principaux : celui de la rive nord, du milieu et de la rive sud. Le chenal du nord est plus profond (15 à 100 m) et est caractérisé par des berges rocheuses et escarpées. Moins creux que le chenal nord, le chenal moyen et celui du sud sont des secteurs marqués de hauts-fonds et de baies peu profondes.

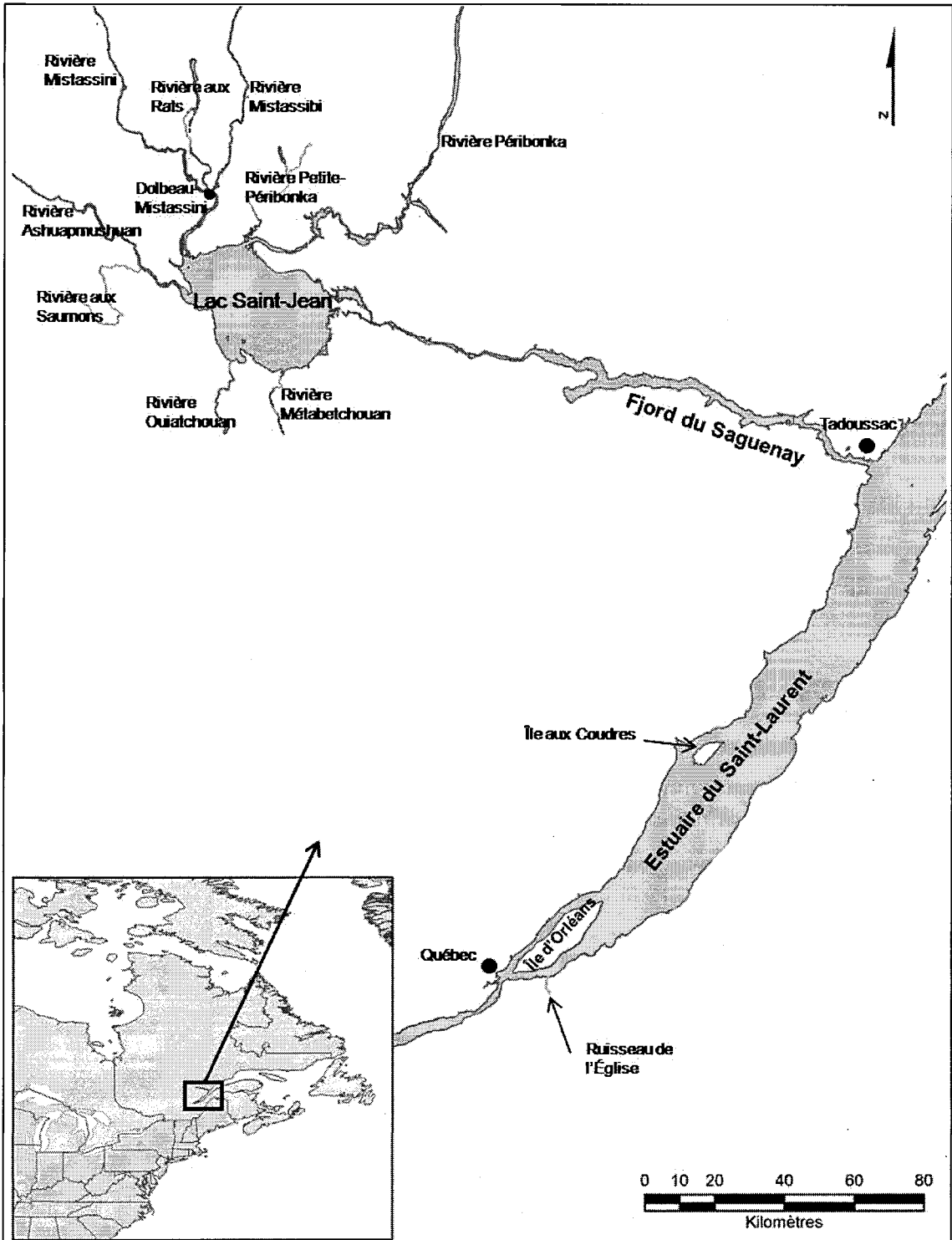
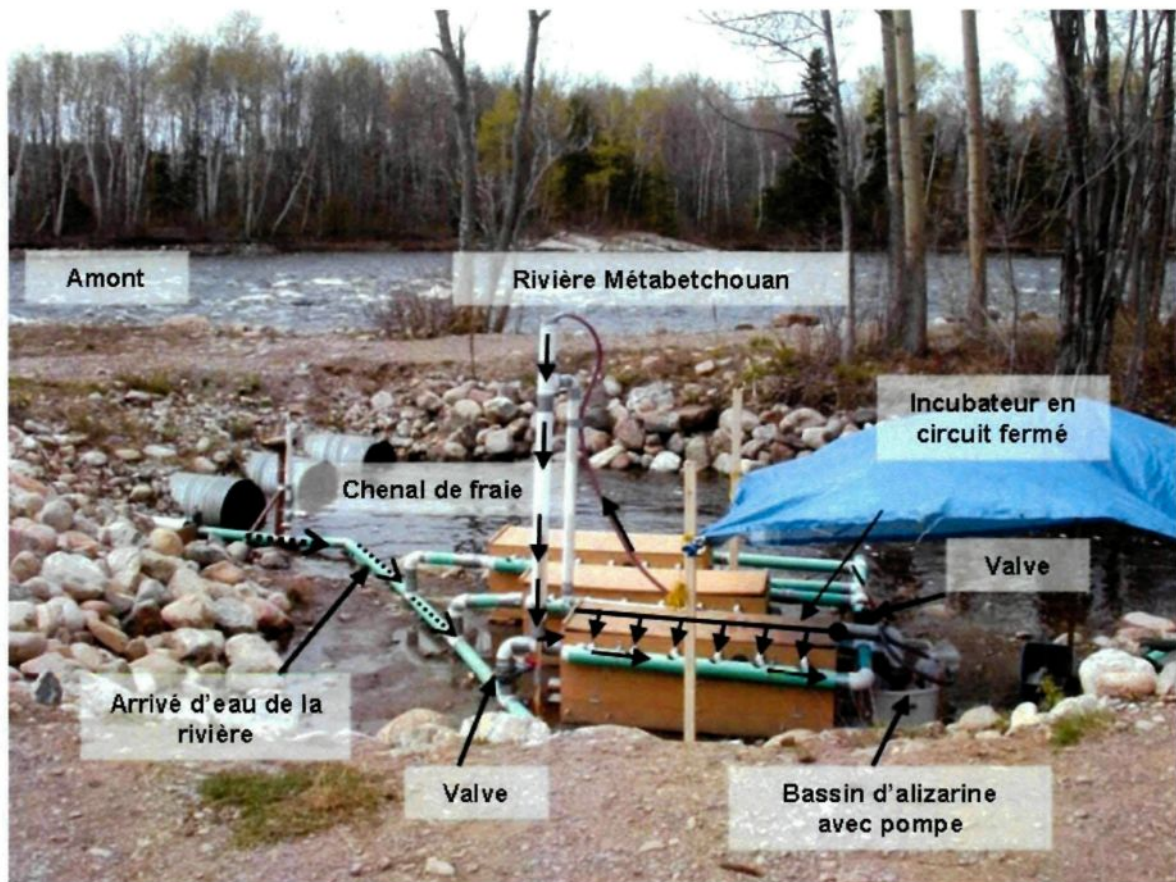


Figure 1. Localisation des sites d'étude

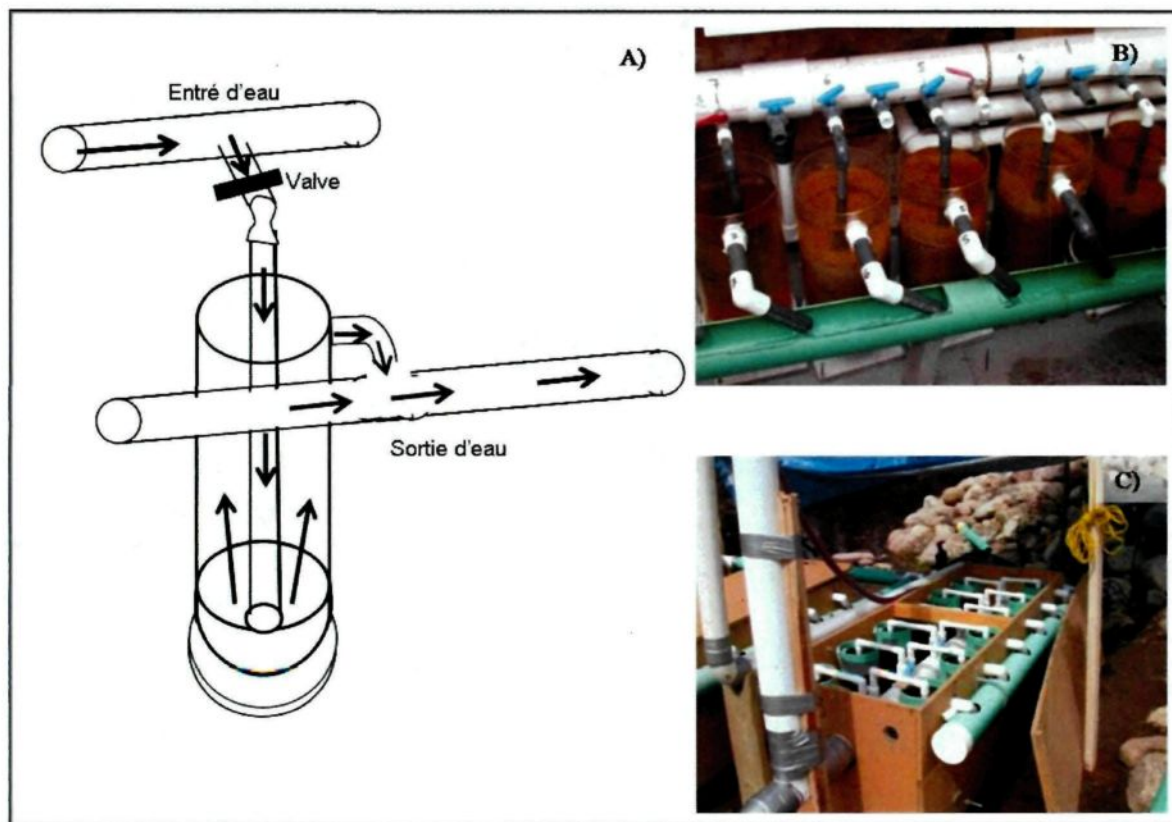
## 2.2 Incubation et marquage de masse

Au Lac-Saint-Jean, les œufs d'éperlans arc-en-ciel utilisés pour l'ensemencement de 2005 provenaient de géniteurs capturés dans la rivière aux Rats situés au nord du lac Saint-Jean, à environ 45 kilomètres au nord de Dolbeau-Mistassini (figure 1). En 2006, les œufs d'éperlans utilisés pour l'ensemencement étaient issus de géniteurs du lac Saint-Jean capturés dans la rivière Péribonka. Pour les détails complets sur la capture des géniteurs et la récolte d'œufs, se référer aux rapports produits par la CLAP (Gagnon 2005b, 2006). Lors de la capture des géniteurs de la rivière aux Rats en 2005, les éperlans ont été gardés dans des cages de rétention pour ensuite être acheminés aux modules de fraie. Dans la rivière Péribonka en 2006, les éperlans capturés étaient directement transférés aux modules de fraie.

Le système utilisé pour l'incubation des œufs est constitué d'incubateurs dans lesquels sont disposés 12 jarres de 7 litres (figure 2 et 3). Les incubateurs sont alimentés par gravité d'eau provenant de la rivière Métabetchouan. L'eau est détournée vers les incubateurs à partir d'un tuyau de 10 cm de diamètre et circule dans chacune des jarres pour ensuite être redirigé dans le chenal de fraie aménagé en marge de la rivière Métabetchouan (figure 2). Afin d'éviter un choc thermique, les œufs ont été graduellement acclimatés à l'eau de la rivière Métabetchouan avant d'être introduits dans les incubateurs. À leur éclosion, les larves remontent à la surface des jarres et sont aussitôt dispersées dans le milieu naturel (figure 3). Le taux d'éclosion a été évalué lorsque toutes les larves avaient quitté les incubateurs. Les larves et les œufs morts ont été récoltés pour évaluer le taux d'éclosion et la production de larves.



**Figure 2.** Installation amovible des incubateurs à la rivière Métabetchouan pendant le marquage avec schéma représentant par où transite l'eau provenant de la rivière (  $\cdots\rightarrow$  ) et lorsque le circuit fermé est en fonction (  $\rightarrow$  )



**Figure 3.** (A) Schématisation du fonctionnement d'une jarre d'incubation (basé sur Larose et Bouchard 1997) et (B) jarres retrouvées au ruisseau de l'Église et (C) à la rivière Métabetchouan

Les œufs utilisés pour l'ensemencement dans le fleuve Saint-Laurent provenaient de géniteurs capturés à l'embouchure du ruisseau de l'Église au bord du fleuve Saint-Laurent. Les éperlans capturés étaient transportés au bâtiment d'incubation situé à quelques mètres du lieu de capture. Les détails complets sur la capture des géniteurs, la fécondation, la récolte des œufs et l'incubation sont disponibles dans les rapports produits par le MRNF, direction de l'aménagement de la faune de la région de Chaudière-Appalaches (Trencia et Langevin 2005b, 2006a, 2006b, 2007).

Les œufs recueillis ont été déposés dans les jarres d'incubation conçue à cet effet (figure 3b). Contrairement au lac Saint-Jean, le site d'incubation du ruisseau de l'Église est permanent et est constitué de 20 jarres contenant 12 litres chacune. Le système d'alimentation en eau des incubateurs de Beaumont est similaire à celui décrit au lac Saint-Jean.

Afin de pouvoir évaluer la contribution desensemencements et distinguer les larves ensemencées de celles issues du milieu naturel, il est essentiel d'avoir recours à une méthode de marquage massif. Le marquage de masse est souvent préféré au marquage individuel puisqu'il est rapidement appliqué et réduit les risques de stress lié aux manipulations (Bashey 2004). Plusieurs études ont démontré qu'il était possible d'inscrire une marque sur l'otolithe de poisson pendant le développement embryonnaire (Tsukamoto 1985; Dabrowski et Tsukamoto 1986; Blom et al. 1994; Nagata et al. 1995; Iglesias et Rodríguez-Ojea 1997; Eckmann et al. 1998; Eckmann 2003; Bourque et al. 2003). Plusieurs types de marqueurs chimiques par immersion sont utilisés comme la calcéine, la tétracycline, l'alizarine, le strontium et les lanthanides. L'alizarine rouge S (ARS) a donné de bons résultats lors d'expériences de marquage de masse (Tsukamoto et al. 1989; Secor et al. 1995; Eckmann et al. 1998; Bourque et al. 2003). Certaines de ces études ont également démontré que la marque produite reste très bien lisible sur une période allant d'au moins cinq mois à près de deux ans (Blom et al. 1994; Beckman et Schulz 1996; Eckmann et al. 1998; Eckmann 2003).

Les embryons d'éperlans ont été marqués à l'alizarine rouge S (ARS) lorsqu'environ 50 % des larves avaient atteint le stade oillé du développement



embryonnaire. Ce stade de développement correspond au moment où l'œil commence à être apparent dans l'œuf. Un circuit fermé avait été installé à partir du circuit d'alimentation des incubateurs (figure 2). Ainsi, l'alimentation des jarres à partir de la rivière a été arrêtée pour la durée du marquage. À l'aide d'une pompe, le circuit fermé alimentait les jarres du produit d'ARS. L'eau de la rivière a été utilisée pour le mélange d'alizarine. Aucun ajustement du pH n'a été nécessaire. Une concentration de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  a été utilisée pour un temps d'immersion de 24 heures avec l'addition du tiers de la concentration initiale ajoutée après 12 heures. Ce dernier ajout a été fait afin de compenser l'absorption du produit par les parois et les matières en suspension. Le volume des tuyaux et du bassin d'alizarine où était plongée la pompe a bien été comptabilisé dans le calcul des concentrations utilisées. Les traitements au vert de malachite, utilisés pour maîtriser le développement des champignons, ont été arrêtés au moins 2 heures avant de procéder au marquage.

L'efficacité du marquage a été évaluée à partir d'un échantillon de larves prélevée à l'éclosion dans les incubateurs.

### **2.3 Conditions d'incubations**

À la rivière Métabetchouan, la température de l'eau des incubateurs pendant le marquage à l'alizarine s'est maintenue entre 7 et 14 C en 2005 et entre 10 et 14 C en 2006. La température de la solution d'alizarine circulant dans les jarres était plus élevée de 1 à 2 C que la température de l'eau de la rivière pour les deux années. Cette différence de température a été causée par le réchauffement de la solution d'alizarine dans le système d'incubation par la pompe utilisée pour la circulation de celle-ci. En 2005 une seule donnée

de pH a été prise dans la rivière et elle était à 5,9. Lors du marquage de 2005, le pH s'est maintenu entre 5,7 et 6,2 dans les incubateurs. En 2006, le pH a varié entre 4,8 et 6,8 dans la rivière et entre 4,1 et 5,8 dans les jarres pendant le marquage. La concentration d'oxygène s'est maintenue en 2005 entre 13,3 mg L<sup>-1</sup> et 19,6 mg L<sup>-1</sup> dans le système d'incubation et elle était à 16,3 mg L<sup>-1</sup> dans la rivière.

Au ruisseau de l'Église, la température de l'eau de la rivière s'est maintenue entre 3 C et 17 C de 2004 à 2007 lors de la période d'incubation. Le pH s'est maintenu entre 6,14 et 7,45 au cours du marquage et l'oxygène entre 9,38 mg L<sup>-1</sup> et 11,99 mg L<sup>-1</sup> en 2005 et 2007. En 2006, en raison du bris de la pompe les jarres ont été alimentées en oxygène avec des bulleurs et aucun enregistrement n'a été fait. En 2007, un rehaussement progressif de la température (max. 2,6 C) pendant le début des opérations de marquage a été noté et s'est ensuite inversées pendant la nuit (-0,6 C). En 2005 et 2007, le pH et l'oxygène dissous ont été pris aux heures lors du marquage sauf au début où elle était prise toutes les dix minutes.

#### **2.4 Estimation de la mortalité et quantité de larves déversés**

Le nombre d'œufs par ml a été estimé à partir d'un échantillon d'œufs de 2 à 3 ml prélevé de 3 à 4 reprises lors de la période de récupération des œufs dans les modules de fraies et compté de façon indépendante par une à trois personnes. Pour obtenir une estimation de la mortalité, un maximum d'eau était retiré des jarres au début de l'éclosion et un échantillon de 300 à 2000 œufs, était prélevé avec une paille sur toute la colonne d'eau. Au préalable, les jarres étaient brassées délicatement afin de bien mélanger les œufs morts et vivants.

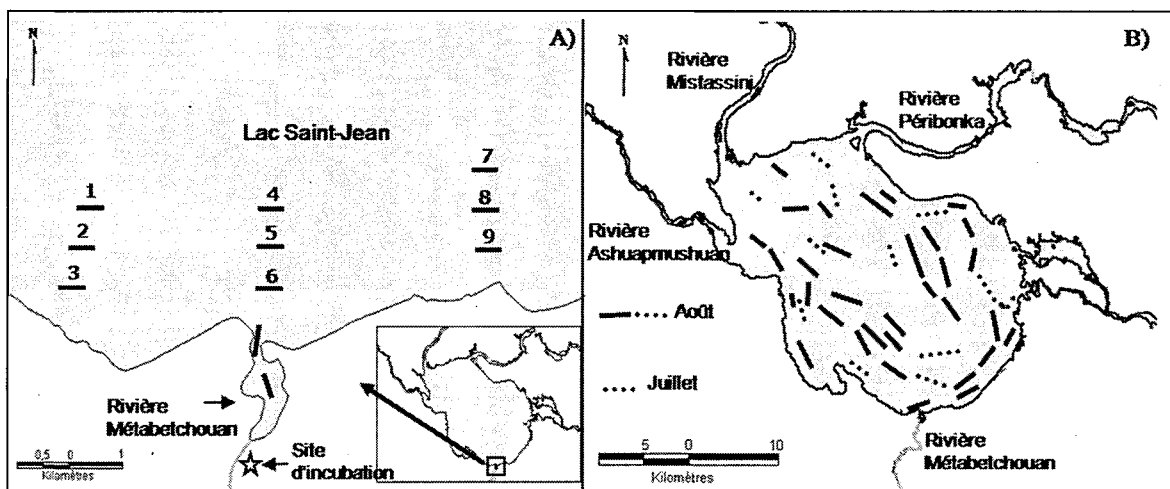
Ce sont 16,9 et 10,8 millions d'œufs qui ont été mis en charge dans les incubateurs de la rivière Métabetchouan en 2005 et en 2006 respectivement. En 2004, 2005, 2006 et 2007 respectivement 53,57, 18,54, 40,71 et 21,58 millions d'œufs ont été mis en charge dans l'incubateur du ruisseau de l'Église. Au Lac Saint-Jean ce sont 15,7 et 10,2 millions de larves qui ont été déversées dans l'écosystème en 2005 et 2006. Dans le Saint-Laurent ce sont 38,06, 16,63, 34,80 et 17,90 millions de larves qui ont été relâchées lors de 2004 à 2007.

## 2.5 Échantillonnage

### 2.5.1 Lac Saint-Jean

L'échantillonnage au lac Saint-Jean s'est déroulé à trois reprises au cours de l'été 2005 et 2006. Le premier échantillonnage a eu lieu pendant l'éclosion des œufs et la dévalaison des larves vers le lac. Le second en juillet (larves) et le dernier en août (préjuvénile). Lors de la dévalaison larvaire en mai, neuf stations ont été échantillonnées à l'embouchure de la rivière Métabetchouan aux isobathes de 2, 5 et 10 mètres (figure 4a). De plus, deux stations supplémentaires ont été échantillonnées dans la rivière en 2005 et seulement celle la plus en aval en 2006 (figure 4a). En 2005, les filets utilisés étaient deux *push net* de 75 cm de diamètres avec une ouverture de maille de 500  $\mu\text{m}$ . Pour 2006 un *push net* de 50 cm (maille de 500  $\mu\text{m}$ ) a été utilisé. La durée des traits de filet était de 10 minutes. L'échantillonnage de ces larves a eu lieu le 30 mai 2005 et le 25 mai 2006. L'échantillonnage des larves en juillet a été fait à 10 stations réparties afin de couvrir les différentes strates de profondeur du plan d'eau (figure 4b). Un filet Tucker de 1,00 m x

1,44 m (maille de 500  $\mu\text{m}$ ) a été utilisé en 2005. En 2006, un filet bongo de 50 cm de diamètre (maille de 500  $\mu\text{m}$ ) a été utilisé. Des traits doubles obliques de 10 minutes ont été effectués avec ces engins (Tucker et bongo) d'échantillonnage lors de ces deux années. Ces échantillonnages ont eu lieu le 6 juillet 2005 et le 28 juillet 2006. Les préjuvéniles ont été échantillonnées par le MRNF au début août dans le cadre de l'évaluation de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel et effectuée selon la méthode développée par Legault 1998 (figure 4b). La technique consiste à chaluter la nuit, par pallier et en continu, une partie de la colonne d'eau en relation avec la thermocline. Cet échantillonnage est en cours depuis 1996. Ainsi, 34 stations sont échantillonnées à différentes profondeurs et les traits réalisés ont une durée de 20 à 60 minutes, selon la profondeur. L'engin de pêche utilisé est un chalut de 8,5 m de longueur monté sur un cadre rigide de 2,00 m X 2,00 m. Il est composé de quatre sections; celle la plus près de l'ouverture à 7,6 cm (maille étirée) suivis de sections de 6,7 cm, 3,8 cm et de 1,9 cm. La dernière section est doublée à l'intérieur d'un filet seine (maille étirée de 0,6 cm) sur une longueur de 2,0 m. L'échantillonnage de 2005 a été réalisé du 1<sup>er</sup> au 7 août et celle de 2006 du 31 juillet au 4 août. Afin de calculer le volume d'eau filtré lors des campagnes d'échantillonnages de 2005 et 2006, les engins d'échantillonnages étaient munis d'un débitmètre (General Oceanics modèle 2030R). Tous les échantillons ont été conservés dans de l'éthanol 95 % afin d'être traités en laboratoire.

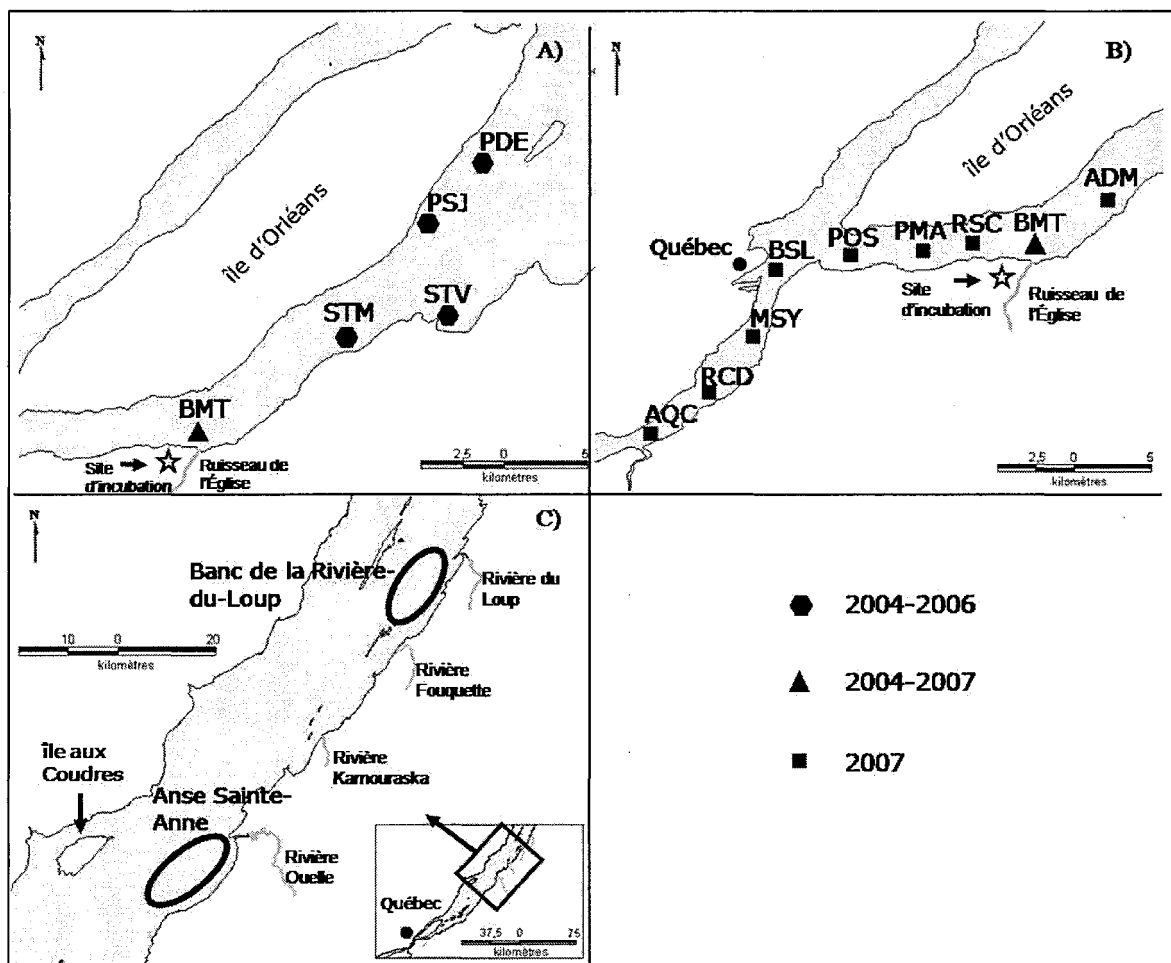


**Figure 4.** Stations d'échantillonnage au lac Saint-Jean. Les traits représentent (A) la localisation des stations d'échantillonnages de mai (larves en dévalaison) et (B) la localisation des stations d'échantillonnages des mois de juillet (larves) et août (préjuvéniles)

### 2.5.2 Fleuve Saint-Laurent

L'échantillonnage dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent a été réalisé à trois reprises au cours des quatre années d'étude. De 2004 à 2006, le premier échantillonnage a été réalisé durant la période d'éclosion des larves (tableau 1) de l'incubateur sur trois transects perpendiculaires à la rive (Beaumont (BMT), Saint-Michel (STM), Saint-Vallier (STV) (figure 5a)). Les transects étaient composés de trois stations, chacun correspondant aux isobathes de 2, 5 et >10 mètres perpendiculaire à la rive débutant du sud (2 m) vers le nord (>10m). Deux autres stations pointe Saint-Jean (PSJ) et pointe Dauphine (PDE) étaient situées plus en aval dans le chenal dont la profondeur est de plus de 10 m (figure 5a). Lorsqu'il sera question d'une quantité de larves capturées par transect ceci comprend l'addition des captures faites aux stations de ce transect. Les stations situées aux isobathes

de 2 m et 5 m étaient échantillonnées avec deux *push net* de 75 cm de diamètres (maille de 500  $\mu\text{m}$ ). Le dessus de l'engin était maintenu à environ 30 cm sous la surface. Un chalut d'un mètre de diamètre (maille de 500  $\mu\text{m}$ ) était utilisé pour les stations dont la profondeur du fleuve était de 10 m et plus. À ces stations, un trait oblique était effectué sur toute la hauteur de la colonne d'eau.



**Figure 5.** Transects et stations d'échantillonnage dans l'estuaire du Saint-Laurent (A) lors de la dévalaison larvaire de 2004 - 2006 (B) de 2007 et (C) lors des campagnes d'échantillonnages des mois de juillet 2005 - 2006

L'échantillonnage de 2007 a été fait sur cinq transects perpendiculaires à la rive entre Beaumont et l'aquarium de Québec (Beaumont (BMT), Ruisseau Saint-Claude(RSC), Pointe Maranda (PMA), pointe Orléans (POS), bassin Louise (BSL)) (figure 5b). Chaque transect était composé de trois stations : une de part et d'autre du fleuve (nord et sud), dans la zone riveraine et une troisième dans le chenal (pélagique). Une station était également située dans la zone riveraine à la hauteur de l'Anse du Moulin (ADM), en aval de

l'incubateur. Trois autres stations ont aussi été échantillonnées en amont du bassin Louise; marina Sillery (MSY), rivière Chaudière (RCD) et aquarium Québec (AQC) (figure 5b). En 2007, toutes les stations ont été échantillonnées en surface à l'aide de deux *push net* de 75 cm de diamètres (maille de 500  $\mu\text{m}$ ). Le temps d'échantillonnage était de 10 minutes par station de 2004 à 2007. Les stations ont été échantillonnées à marée montante et à marée descendante, lorsque c'était possible, de 2004 à 2007. Pour toutes les années d'échantillonnages (2004-2007), le volume d'eau filtré a été calculé à l'aide d'un débitmètre (Général Oceanics, modèle 2030R).

Les deuxième et troisième périodes d'échantillonnages ont été faites au début et à la fin de juillet (tableau 1) et dans les deux zones de rétention larvaire connue pour l'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire moyen du Saint-Laurent (figure 5c). Dans l'Anse de Sainte-Anne, quatre stations ont été échantillonnées de 2004 à 2007 alors que dans le Banc de la Rivière-du-Loup cinq stations ont été échantillonnées pour la même période. Un chalut pélagique de 3 m de longueur, pourvu de mailles de 500  $\mu\text{m}$  et d'un diamètre de 1 m a été utilisé. Chacune des stations était chahutée pendant 10 minutes. Le filet était maintenu entre 5 cm et 10 cm sous la surface. Le volume d'eau filtré a été calculé à l'aide d'un débitmètre modèle 2030R de la compagnie General Oceanics. Tous les échantillons ont été conservés dans de l'éthanol 95 % afin d'être traités en laboratoire.



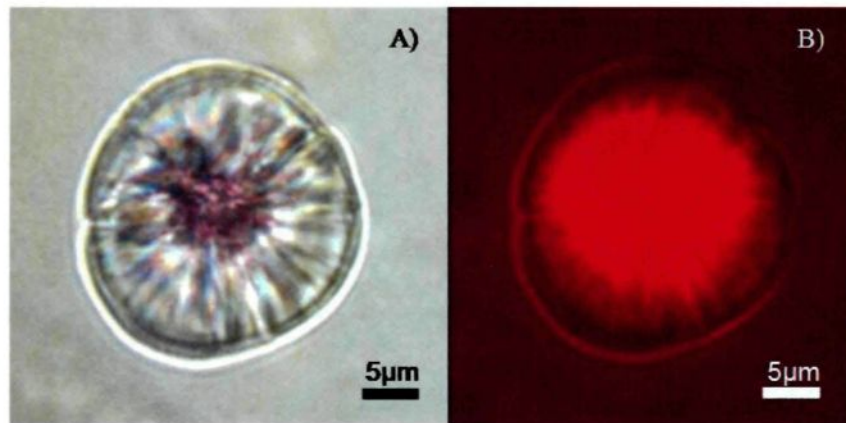
**Tableau 1.** Années, secteurs et dates d'échantillonnages pour l'estuaire moyen du Saint-Laurent

Année	Secteur	Date
2004	Secteur Beaumont	19, 20 et 21 mai
	Anse Sainte-Anne	7 et 21 juillet
	Banc de la Rivière-du-Loup	8 et 19 juillet
2005	Secteur Beaumont	19-20 mai
	Anse Sainte-Anne	7 et 22 juillet
	Banc de la Rivière-du-Loup	5, 6 et 18 juillet
2006	Secteur Beaumont	16-mai
	Anse Sainte-Anne	11 et 26 juillet
	Banc de la Rivière-du-Loup	5 et 19 juillet
2007	Secteur Beaumont	15, 18, 22, 25, 28 mai
	Anse Sainte-Anne	3 et 16 juillet
	Banc de la Rivière-du-Loup	4 et 17 juillet

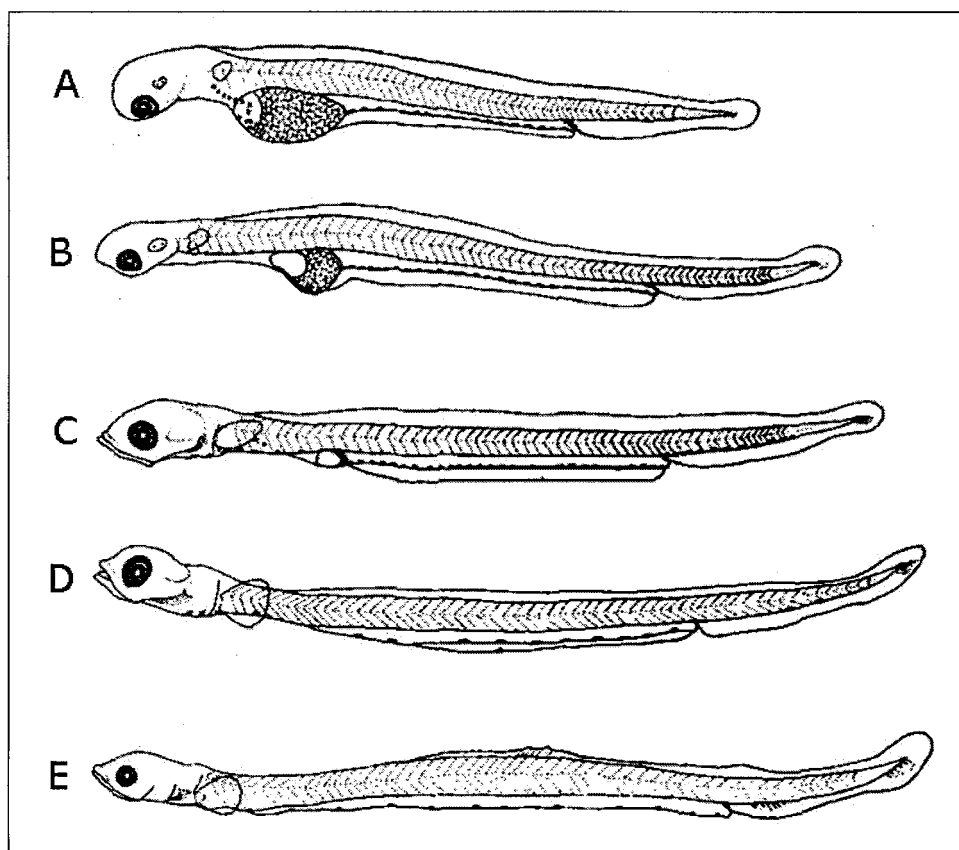
## 2.6 Traitement des échantillons

Les échantillons ont été apportés en laboratoire afin de trier, d'identifier et dénombrer les larves d'éperlans arc-en-ciel. L'identification a été réalisée en se basant sur les caractéristiques décrites par Cooper (1978). Par la suite, elles ont été dénombrées. Les otolithes saggitae des larves et des préjuvéniles ont été prélevées et montées sur lame de verre avec de la colle thermoplastique (Crystal bond) selon le protocole décrit par Sirois et al. (1998). Afin de distinguer la présence de la marque fluorescente au centre de l'otolithe (figure 6), entre 21 et 54 larves par incubateur (provenant de différentes jarres) ont été prélevées et observées sous microscope UV à un grossissement de 400-1000X, dépendamment du stade de développement de la larve. Le microscope UV utilisé avait un

filtre d'excitation de 546 nm et un filtre d'émission de 590 nm. Les otolithes étaient sablés lorsque nécessaire, de manière à pouvoir discerner le noyau. Les larves capturées au mois de mai ont été âgées à partir des otolithes. Les otolithes de larves d'éperlans montrent des accroissements journaliers clairs et distincts (Sirois et al. 1998) ce qui permet de les âgés sans difficulté. En 2007, l'âge des larves d'éperlans n'a pas été lu, mais le stade de développement a été déterminé selon Cooper (1978) (figure 7). En 2006, aucune larve capturée à la station BMT-2m n'a pu être analysée dû à une mauvaise conservation des échantillons. Les otolithes s'effritaient au moment de les monter sur lame de verre.



**Figure 6.** Photo du même otolithe marqué à l'alizarine rouge S observé (A) sous lumière blanche (on peut voir la marque colorée laissée sur le noyau de l'otolithe par l'alizarine) et (B) sous lumière UV ou l'on voit bien la fluorescence du noyau



**Figure 7.** Les cinq premiers stades de développement d'une larve d'éperlan arc-en-ciel (tiré de Cooper 1978)

## 2.7 Analyse génétique

Une analyse génétique des individus capturés en 2007 a été effectuée afin de déterminer l'appartenance à l'une des deux populations du fleuve Saint-Laurent des larves issues de la production naturelle (larves non marquées). Ainsi, une analyse de restriction sur un fragment de l'ADN mitochondrial a été réalisée. La méthode utilisée est celle décrite par Pigeon et al. (1998) puis adaptée et décrite par Lecomte et Dodson (2004). Le clade ancestral a été identifié chez les larves d'éperlans arc-en-ciel provenant de 11 échantillons

récoltés dans le fleuve Saint-Laurent en 2007. Entre 29 et 62 individus ont été analysés, par échantillon, pour un total de 420 individus. L'analyse a été réalisée au laboratoire de Julian J. Dodson, du département de biologie de l'Université Laval (Brisson-Bonenfant 2008).

Toutefois, les résultats de ces analyses allaient à l'encontre des résultats obtenus antérieurement (Pigeon 1997; Pigeon et al. 1998; Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005) et ont été repris par Lecomte et al. (*in prep*). Conséquemment, un lot d'une centaine de larves (93 larves) provenant de neuf sites échantillonnés en 2007 furent analysés en utilisant la méthodologie décrite dans Côté et Bernatchez (2009). Pour trois sites, la qualité de préservation des échantillons fut suffisante pour obtenir de l'ADN de qualité suffisante pour effectuer les tests génétiques (tiré de Lecomte et al. *in prep*).

### 3. Résultats

#### 3.1 Efficacité du marquage de masse

Au lac Saint-Jean, en 2005, les deux tiers (11,4 millions) des œufs ont été marqués alors que la totalité de ces derniers ont été marquée en 2006. Le succès du marquage a été de 100 % lors de ces deux années d'ensemencement (tableau 2). L'éclosion des œufs s'est déroulée du 28 au 31 mai en 2005 et du 20 au 25 mai en 2006. Le taux de survie de l'œuf jusqu'à éclosion a été de 93 % et de 94 % en 2005 et 2006 respectivement, se traduisant par le déversement de 10,6 et 10,2 millions de larves marquées ces deux années. En 2005, il n'y avait pas de différence entre le taux de mortalité des larves marquées et non marquées.

Pour le fleuve Saint-Laurent, le succès du marquage pour 2005 et 2006 a également été de 100 % (tableau 2). Puisque la méthode de marquage lors des deux premières années

de marquage a montré une efficacité de 100%, il a été présumé que le succès de marquage serait semblable pour les larves déversées dans le fleuve Saint-Laurent en 2007. L'éclosion des œufs s'est étalée du 16 au 21 mai en 2004, du 14 au 26 mai en 2005, du 14 au 19 mai en 2006 et du 21 au 26 mai en 2007. Le taux de survie jusqu'à éclosion a été de 71, 90, 85, et 83 % de 2004 à 2007 respectivement. Ainsi, les quantités de larvesensemencées ajustées avec le taux de mortalité donnent 38,06, 16,63, 34,80 et 17,90 millions de larves marquées et relâchées lors de ces quatre années consécutives.

**Tableau 2.** Nombre de larves analysées et pourcentage de larves marquées obtenu lors du marquage au lac Saint-Jean en 2005 et 2006 et pour le fleuve Saint-Laurent de 2004 à 2007

Lac Saint-Jean			
Année	Provenance	Nb. larves analysées	Nb. de larves marquées
2005	Jarres	21	100%
2006	Jarres	22	100%
Fleuve Saint-Laurent			
2005	Jarres	50	100%
2006	Jarres	57	100%
2007	Jarres	—	—

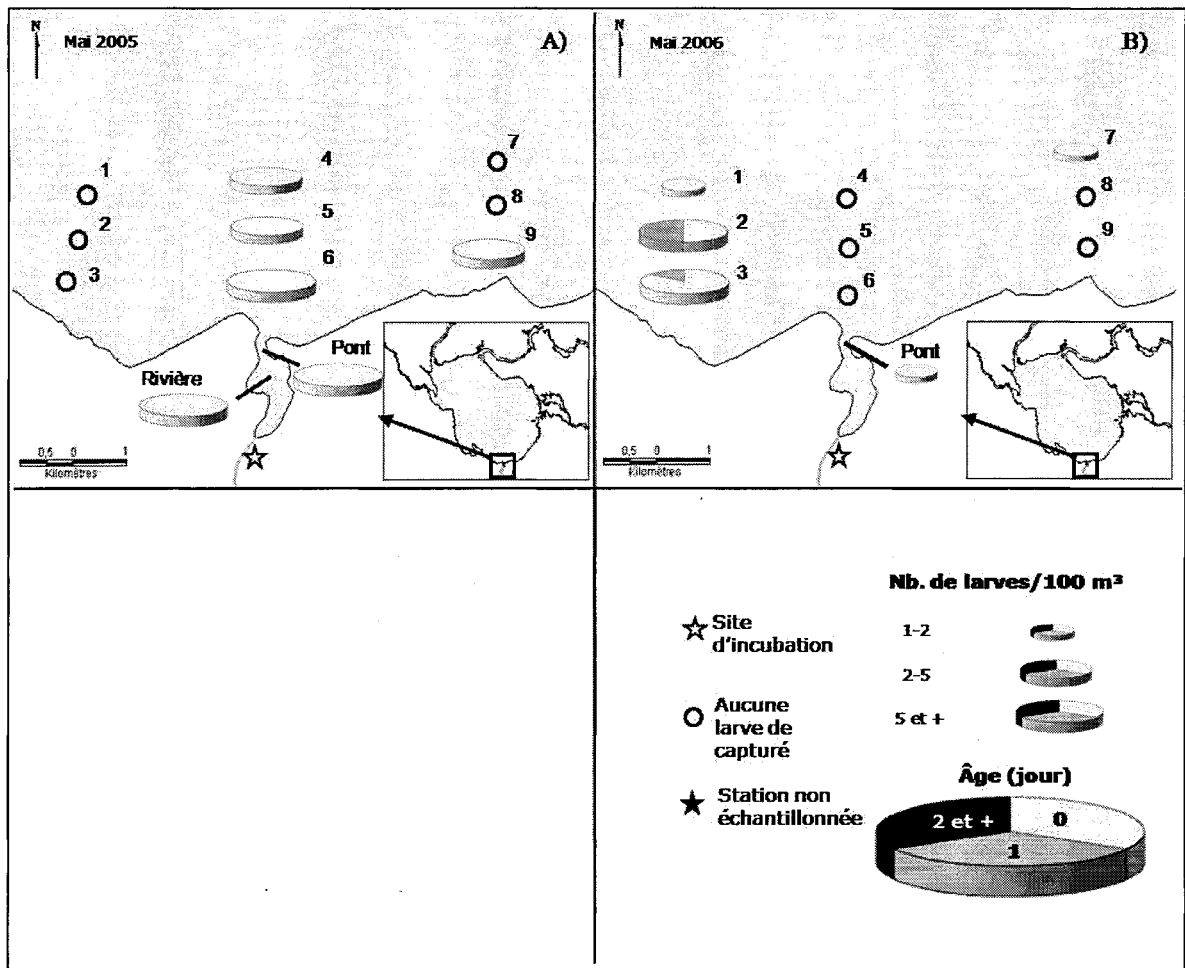
## 3.2 Abondance et dispersion

### 3.2.1 Lac Saint-Jean

Lors de la dévalaison larvaire de 2005, pour les stations où des larves ont été capturées, entre 0,53 et 5,32 larves par 100 m<sup>3</sup> ont été capturées par station. Les larves ont été capturées dans l'embouchure, en face et à l'est de l'embouchure de la rivière Métabetchouan (Figure 8a). Aucune larve n'a été capturée à l'ouest de l'embouchure. Elles

étaient toutes âgées de zéro jour. C'est à la station 6 située le plus près de l'embouchure que le plus d'individus (19) ont été capturés.

Entre 0,42 et 5,53 larves par 100 m<sup>3</sup> ont été capturées aux stations où des captures ont été faites en 2006. La majorité des larves capturées lors de la dérive provenaient des échantillons situés à l'ouest de l'embouchure de la rivière Métabetchouan (figure 8b). Une seule larve a été capturée dans la rivière et aucune n'a été capturée à son embouchure (station 4, 5, 6). La même quantité de larve par 100 m<sup>3</sup> a été capturée en 2005 et 2006. La majorité des larves capturées étaient âgées de zéro jour, mais cinq d'entre elles avaient un jour et ont toutes été capturées à l'ouest de l'embouchure de la rivière Métabetchouan.

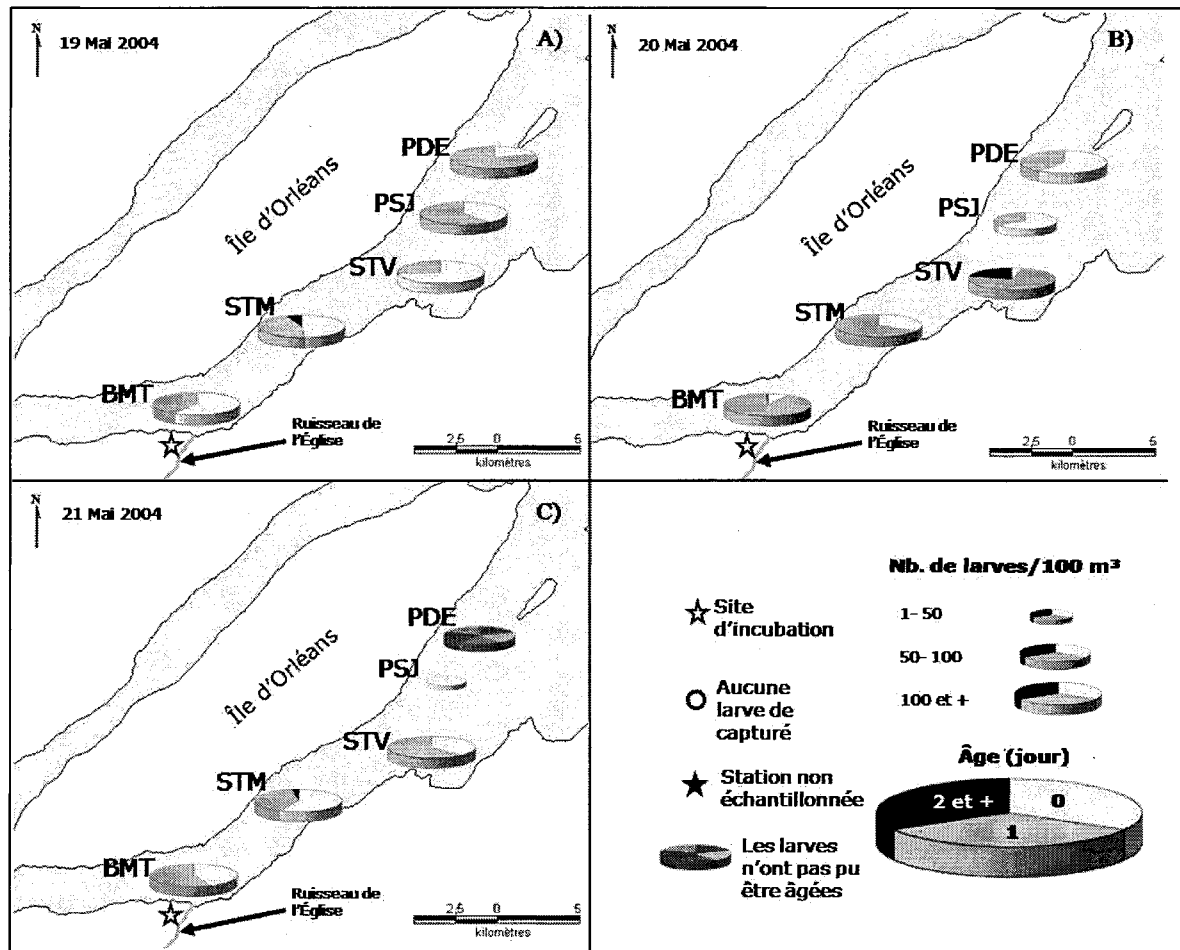


**Figure 8.** Abondance moyenne de larves par transect et dispersion des larves capturées lors de la dévalaison larvaire au lac Saint-Jean en (A) mai 2005 et (B) en mai 2006

### 3.2.2 Fleuve Saint-Laurent

En 2004, dans le fleuve Saint-Laurent, l'abondance moyenne des larves d'éperlans arc-en-ciel était de 45,75 larves par 100 m<sup>3</sup> dont un peu plus de 200 larves par 100 m<sup>3</sup> le 20 mai à la station STM-2m (figure 9). La dispersion et l'abondance des larves sont demeurées constantes lors des trois journées d'échantillonnages sauf le 21 mai pour les deux stations les plus à l'est où l'abondance est beaucoup plus faible. Presque la totalité des larves

capturées étaient âgées de zéro et un jour. On remarque aussi que les larves capturées à la station Saint-Vallier le 20 mai sont presque toutes âgées de moins d'un jour.



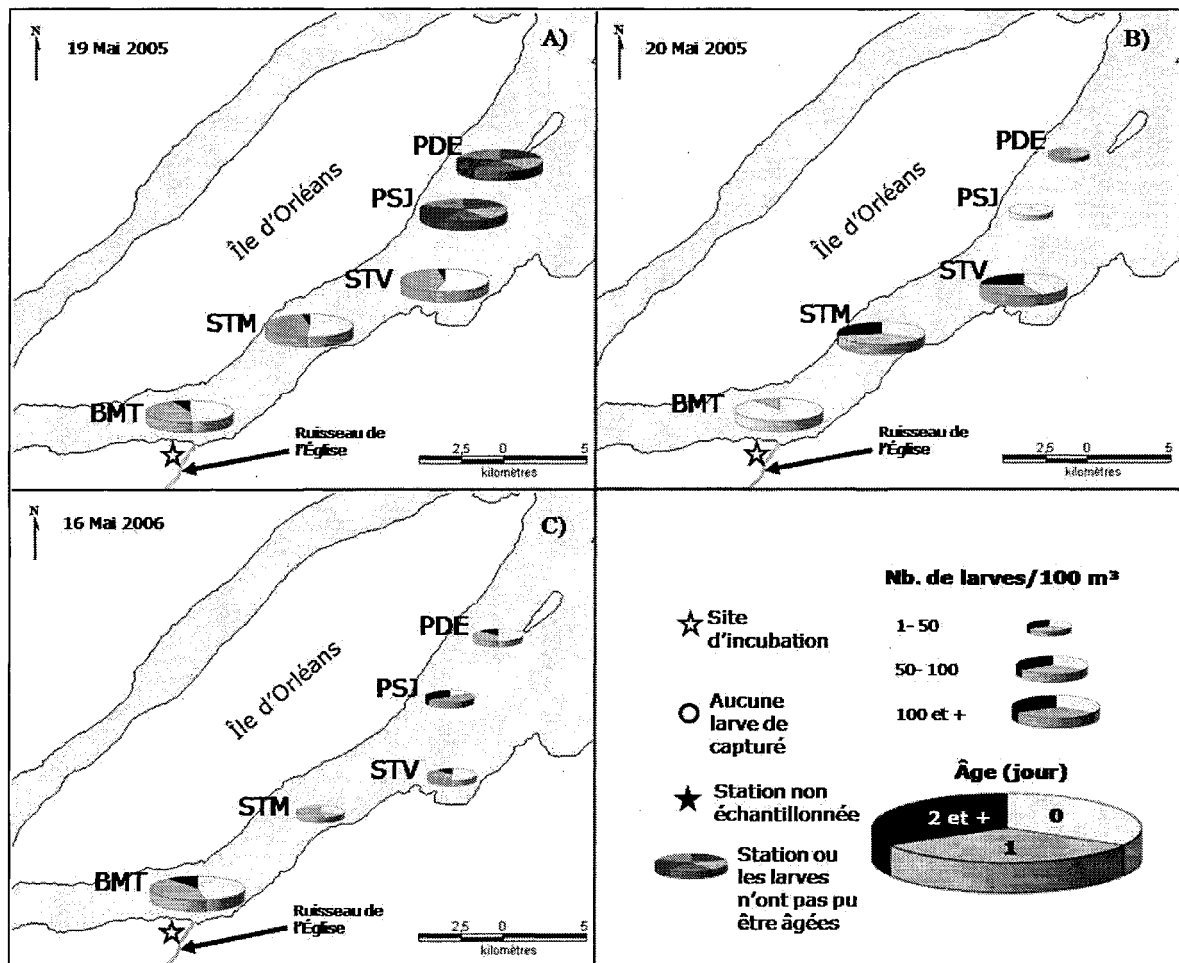
**Figure 9.** Abondance et dispersion des larves capturées lors de la dévalaison larvaire de mai 2004 dans le fleuve Saint-Laurent

En 2005, comme en 2004 plusieurs larves ont été capturées à l'embouchure du ruisseau de l'Église aux transects BMT et STM (Figure 10). Plus de 100 larves par 100 m<sup>3</sup> ont également été capturées aux stations PSJ et PDE lors de la première journée



d'échantillonnage. Toutefois, les otolithes de ces dernières n'ont pas pu être montés sur lame de verre, ils s'effritaient. Lors de la deuxième journée d'échantillonnage encore un nombre important de larves a été capturé à l'embouchure du ruisseau de l'Église. La majorité des larves capturées étaient âgées de zéro jour, mais on remarque qu'une partie plus importante de larves âgées de deux jours et plus ont été capturées le 20 mai 2005. Aucune larve âgée de deux jours et plus n'a été capturée à la sortie des incubateurs lors de cette journée d'échantillonnage. L'abondance moyenne des larves était de 44 larves par 100 m<sup>3</sup> et l'abondance la plus importante a été capturée à la station BMT-2m le 20 mai avec 307 larves par 100 m<sup>3</sup>. Le total des captures pour le transect Beaumont était de 333 larves par 100 m<sup>3</sup>.

En 2006, à cause des mauvaises conditions météorologiques, l'échantillonnage n'a pu être effectué qu'une seule journée soit le 16 mai 2006. C'est à la station BMT-2m que la plus forte abondance de larves a été capturée avec 210 larves par 100 m<sup>3</sup>. Il demeure tout de même que l'abondance moyenne (22,3 larves par 100 m<sup>3</sup>) de larves capturées est plus faible que ce qui a été capturé les années précédentes (figure 10c). En comparant l'âge des larves capturées en 2005 à celles de 2006, on constate que les larves âgées d'un jour occupent une place plus importante en 2006 qu'en 2005.



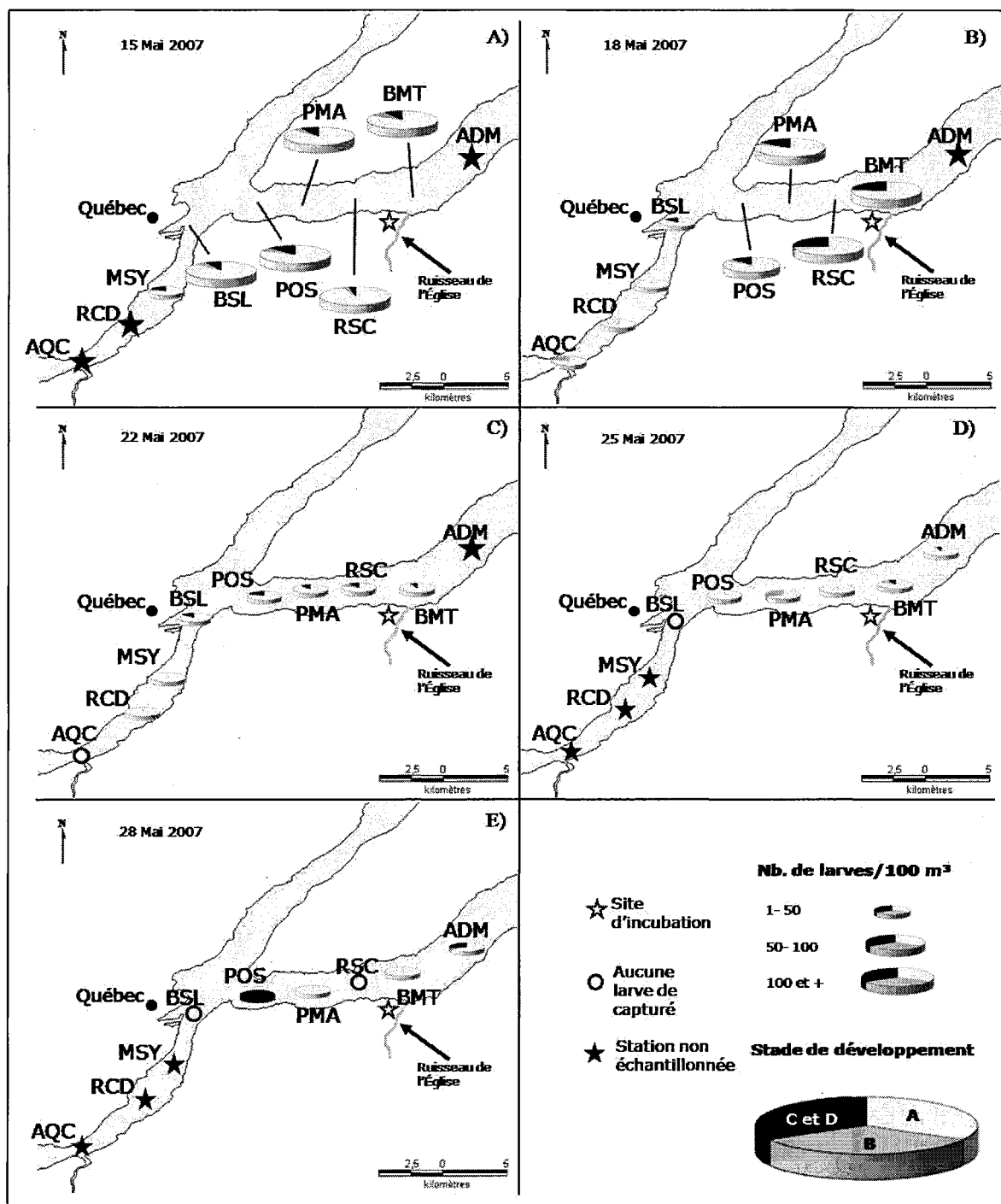
**Figure 10.** Abondance et dispersion des larves capturées (A, B) lors de la dévalaison larvaire dans le fleuve Saint-Laurent en mai 2005 et (C) en mai 2006

Toutes années confondues, c'est lors de l'échantillonnage du 15 mai 2007 que le plus de larves pour une seule station ont été récoltées soit jusqu'à 338 larves par 100 m<sup>3</sup> à la station BMT-sud. On remarque particulièrement qu'à cette date les fortes abondances de larves ont été capturées entre la pointe ouest de l'Île d'Orléans et le ruisseau de l'Église (figure 11a). Ce même jour, trois stations n'ont pas été échantillonnées, à savoir la station ADM et les deux stations les plus en amont (RCD et AQC). La majorité des larves

capturées étaient au stade A de développement. Il faut se rappeler que pour 2007 les larves n'étaient pas âgées, mais identifiées au stade de développement correspondant.

Le 18 mai 2007, toutes les transects et stations en amont du ruisseau de l'Église ont été échantillonnées. La plus forte abondance de larve (239 larves par 100 m<sup>3</sup>) a été capturée à l'embouchure du ruisseau de l'Église au transect BMT (figure 11b). Entre le ruisseau de l'Église et la pointe Maranda 100 larves et plus par 100 m<sup>3</sup> ont été capturées. À la Pointe-Ouest de l'Île d'Orléans, entre 50 et 100 larves ont été capturées. Finalement, des abondances de larves plus faibles ont été récoltées en amont de l'Île d'Orléans. Les larves capturées étaient presque toutes au stade A de développement.

Les échantillonnages du 22, 25 et 28 mai n'ont pas été aussi fructueux que les deux sorties précédentes (figure 11c, d, e). Le 22 mai 2007, l'abondance de larves récoltées était inférieure à six larves par 100 m<sup>3</sup>. Le 25 et le 28 mai c'est à la station ADM que les captures ont été les plus importantes avec 45,78 et 26,72 larves par 100 m<sup>3</sup> capturées respectivement. Le nombre de larves capturées aux autres stations variait entre 0,00 et 5,95 larves par 100 m<sup>3</sup> au cours de ces trois journées d'échantillonnages, excepté à la station BMT-sud le 25 mai (11,61 larves par m<sup>3</sup>).



**Figure 11.** Abondance et dispersion des larves capturées lors de la dévalaison larvaire dans le fleuve Saint-Laurent en mai 2007

### 3.3 Contribution des ensemencements

#### 3.3.1 Lac Saint-Jean

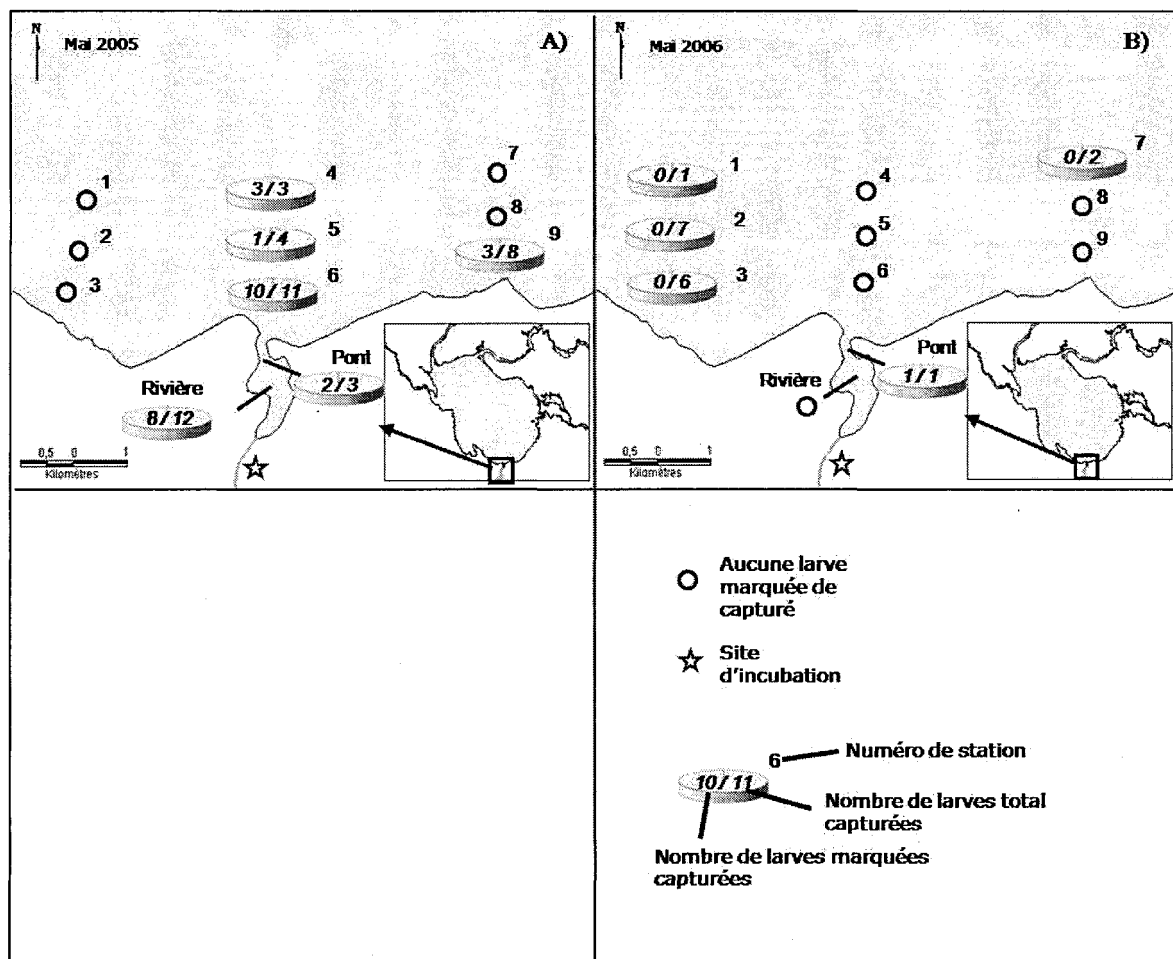
En 2005, toutes les larves capturées lors de la dérive larvaire ont été analysées. Au total, 57,25 % des larves analysées étaient marquées (tableau 3). Il n'y avait pas de différence significative entre la proportion obtenue de 57,25 % et celle attendue de 67 % ( $\chi^2 = 1,933$ ;  $p = 0,1644$ ). Ce qui laisse supposer que toutes les larves capturées proviennent de l'incubateur. Dix larves marquées ont été capturées à la station 6, huit à la station située le plus en amont dans la rivière, trois aux stations 4 et 9, deux à la station située le plus en aval dans la rivière et une à la station 5 (figure 12). Aucun patron particulier de dispersion ne peut être décelé entre les larves marquées et non marquées.

Lors de l'échantillonnage de début juillet 2005, sept larves ont été capturées et aucune d'entre elles n'était marquée. Au cours de l'échantillonnage des préjuvéniles du mois d'août, plus de 16 000 individus ont été capturés et 257 d'entre elles ont été analysées. Aucune de ces dernières ne portait de marque.

Parmi les larves capturées (17 individus) lors de la dérive de 2006, une seule larve (5,88 %) était marquée (tableau 3). Elle était âgée de 1 jour et a été capturée dans l'embouchure de la rivière (figure 12). Lors de l'échantillonnage des larves de juillet 2006, 329 larves ont été capturées et 173 d'entre elles ont été analysées dont aucune n'a été trouvée marquée. En août 2006, près de 21 000 préjuvéniles ont été capturées dont 319 ont été analysées et aucune d'entre elles ne s'est avérée portée de marque.

**Tableau 3.** Stade de développement lors des échantillonnages, nombres de larves capturées et analysées et pourcentage de larves marquées capturées au lac Saint-Jean en 2005 et 2006

Année	Stade	Nb. larves capturées	Nb. larves analysées	Larves marquées capturées
2005	Larves (dérive mai)	49	48	57,25%
	Larves (juillet)	7	7	0%
	Préjuvénile (août)	16 251	257	0%
2006	Larves (dérive mai)	17	17	5,88%
	Larves (juillet)	329	173	0%
	Préjuvénile (août)	20 890	319	0%



**Figure 12.** Répartition des larves marquées et non marquées capturées au lac Saint-Jean en A) 2005 et B) 2006.

### 3.3.2 Fleuve Saint-Laurent

En 2005 un peu plus de 4 500 larves ont été capturées en mai et 440 d'entre elles ont été analysées. De ces dernières 4,77% étaient marquées (tableau 4). La majorité des larves marquées (19/21) ont été prises à deux stations situées à l'isobathe de 2 mètres sur la rive sud du Saint-Laurent soit à la station BMT-2m (15 larves) et STM-2m (4 larves). Les deux seules autres larves marquées ont été capturées aux stations STM+10m et à la station STV+10m. Lors de l'échantillonnage des larves du début juillet 2005 près de 1 400 larves ont été capturées et 129 d'entre elles ont été analysées dont aucune ne portait de marque. Des 600 préjuvéniles capturées, 61 ont été analysées et encore une fois aucun otolithe ne portait de marque.

Parmi les larves capturées lors de la dérive de 2006, 178 ont été analysées et 2,25 % d'entre elles étaient marquées (tableau 4). Quatre larves marquées ont été capturées soit deux à la station BMT-5m, une à la station STM-10m et une à la station STV-10m. En juillet, 2102 larves ont été capturées dont 100 ont été analysées et aucune d'entre elles n'était marquée. Tous les préjuvéniles capturés en 2006 ont été analysés et aucun ne portait de marque. De façon générale, 10 larves par stations ont été observées pour vérifier la fluorescence des otolithes (présence d'une marque). Les stations où un nombre inférieur à dix larves était capturées ont toutes été vérifiées. Dans la plus part des cas, 10% des captures réalisées dans le fleuve Saint-Laurent ont été analysées.

À la suite des résultats obtenus les années précédentes, en 2007, toutes les larves capturées à l'Anse du Moulin, une zone de rétention potentielle des larves après éclosion, située juste en aval du ruisseau de l'Église, ont été analysées. Ainsi, 82 larves ont été



capturées le 25 et le 28 mai après le début de l'éclosion des œufs de l'incubateur. Ces dernières ont toutes été analysées et trois d'entre elles étaient marquées. En réponse aux résultats de la dévalaison de 2007, similaire aux deux années précédentes, l'analyse des larves capturées à l'Anse Sainte-Anne et au Banc de la Rivière-du-Loup, en juillet, n'a pas été réalisée.

**Tableau 4.** Nombre de larves capturées et analysées et pourcentage de larves marquée capturées dans le fleuve Saint-Laurent en 2005, 2006 et 2007

Année	Stade	Nb. larves capturées	Nb. larves analysées	Larves marquées capturées
2005	Larves (dérive fin mai)	4581	440	4,77%
	Larves (rétention début juillet)	1374	129	0
	Préjuvénile (rétention fin juillet)	601	61	0
2006	Larves (dérive fin mai)	403	178	2,25%
	Larves (rétention début juillet)	2102	100	0
	Préjuvénile (rétention fin juillet)	48	48	0
2007	Larves (dérive)	82	82	2,46%

#### 3.4 Analyse génétique des larves capturées dans l'estuaire du Saint-Laurent en 2007

L'analyse génétique réalisée par Brisson-Bonenfant en 2008 sur les larves capturées en 2007, révélait que le clade ancestral A (Acadien) a été identifié chez 87,8 % des individus analysés. Dépendamment des échantillons, la fréquence de la race acadienne oscillait entre 63 et 100 % (la contribution de la PRS dans chacun des échantillons variait entre 72,9 et 128,1 %). Toutefois, Brisson-Bonenfant (2008) émettait certaines réserves concernant les résultats de son analyse. En effet, ces résultats sont surprenants puisque

toutes les autres études (Pigeon 1997; Pigeon et al. 1998; Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005) ayant analysé des larves issues des sites localisés dans la zone profonde (> 5 m) du Fleuve sont dominées par la population de la rive nord. Un document de synthèse rassemblant les données moléculaires réalisé sur des jeunes stades de vie recueillis dans l'estuaire fluvial du Fleuve Saint-Laurent a été réalisé par Lecomte et al. (*in prep*). Ce dernier inclut une ré-analyse des résultats de l'analyse génétique des données de Brisson-Bonnenfant (2008).

Les résultats de Lecomte et al. (*in prep*) révèlent effectivement que les analyses réalisées par Brisson-Bonnenfant (2008) étaient biaisées. Sur les 93 larves analysées 55 avaient encore de l'ADN en quantité et qualité suffisante pour permettre d'effectuer l'analyse du fragment de 287 pb. Dans le détail, il apparaît que pour les sites pour lesquels la préservation fut de qualité, 85,9% des larves ont pu être identifiés. Pour les autres six sites, aucune larve n'a fourni de résultat (tiré de Lecomte et al. *in prep*). La nouvelle analyse démontre que la quasi-totalité des larves dérivant dans le chenal sud du Saint-Laurent en 2007 appartenaient à la population de la rive nord (tableau 5).

**Tableau 5.** Caractéristique des échantillons ré-analysés pour identifier le clade (A ou B) des larves capturées en 2007 (tiré de Lecomte et al. *in prep* )

Transect-station	Date	Nombre d'individus pour lesquels l'ADN fut extrait		Clade (nombre)	
		<i>Essayé</i>	PCR réussi	A	B
Pointe île Orléans-pélagique	2007-05-15	22	18	2	16
Beaumont-pélagique	2007-05-15	20	16	0	16
Beaumont-pélagique	2007-05-18	22	21	1	20
Beaumont-nord	2007-05-22	5	0	-	-
Beaumont- pélagique	2007-05-22	3	0	-	-
Beaumont- sud	2007-05-22	7	0	-	-
Pointe île Orléans-nord	2007-05-22	7	0	-	-
Pointe île Orléans-pélagique	2007-05-22	2	0	-	-
Pointe île Orléans-sud	2007-05-22	5	0	-	-
Total		93	55	3	52

## 4. Discussion

### 4.1 Efficacité du marquage de masse

Les résultats démontrent que la technique de marquage utilisée fonctionne très bien puisque l'efficacité de marquage obtenu est de 100 % aux deux sites d'incubation (rivière Métabetchouan et ruisseau de l'Église). L'alizarine rouge S est un moyen facile, rapide et peu dispendieux pour faire du marquage de masse. Une concentration de 150 mg L<sup>-1</sup> pour un temps d'immersion de 24 heures avec l'addition du tiers de la concentration après 12 heures est adéquate pour le marquage d'embryons d'éperlans arc-en-ciel. La technique a, entre autres, permis de marquer 128,14 millions de larves dans le cadre de cette étude.

Beckman et Schulz (1996) recommandaient d'utiliser une concentration de 200-300 mg L<sup>-1</sup> d'ARS pour un temps d'immersion de 12-24 heures afin d'obtenir un succès de

marquage de 100% et un faible taux de mortalité pour le meunier noir (*Catostomus commersoni*). Ces concentrations et temps d'immersion ont été utilisés pour plusieurs expériences de marquage à l'ARS (Blom et al. 1994; Bashey 2004; Simon et Dorner 2005). D'autre part, Eckmann (2003) propose d'utiliser une concentration de 1000 mg L<sup>-1</sup> dans un ratio œuf : solution de 1 : 10. Selon Eckmann (2003), lorsque le ratio œuf : solution n'est pas connu il est difficile d'utiliser les résultats pour réaliser un programme de marquage de masse puisque des tests additionnels seraient nécessaires. Les ratios moyens œufs : solution pour le lac Saint-Jean étaient de 1 :3 et de 1 :6 pour le fleuve Saint-Laurent. Le ratio œufs : solution de notre marquage était donc supérieur à ce qui était recommandé par Eckmann (2003) et le succès de marquage est tout de même excellent avec une concentration de 150 mg L<sup>-1</sup>. Les jarres dans lesquelles étaient maintenus les œufs pour l'expérience de Eckmann (2003) étaient alimentées en air afin de maintenir les œufs en circulation. Dans notre cas, la solution d'alizarine circulait dans les incubateurs. Les concentrations et ratios différent dans ces deux cas pourraient dépendre du type d'apport en oxygène et de l'intensité du mouvement des œufs.

Tel qu'indiqué par plusieurs auteurs, le marquage des embryons à un stade avancé du développement embryonnaire, équivalent au stade oillé, permet généralement d'obtenir des résultats convaincants (Tsukamoto 1985; Dabrowski et Tsukamoto 1986; Nagata et al. 1995; Rojas-Beltran et al. 1995). Les taux de mortalité obtenus ont été également très acceptables, soit de 6 % à 7 % au lac Saint-Jean et de 17 % à 29 % dans le fleuve Saint-Laurent. Ces résultats sont similaires aux expériences réalisées sur la morue franche *Gadus morhua* (L.) (Blom et al. 1994), le bar rayé *Morone saxatilis* (Secor et al. 1995), le meunier

noir *Catostomus commersoni* (Beckman et Schulz 1996), le corégone lavaret *Coregonus larvetus* (Eckmann 2003) et l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (Simon et Dörner 2005). Par ailleurs, Eckmann et al. (1998) ont obtenu des taux de mortalité allant de <10 % à 100 % avec des larves de *Coregonus albula* (L.) immergées dans une solution d'ARS pour une période de 3 à 6 heures à des concentrations de 150 mg L<sup>-1</sup> et plus. Ces derniers attribuent cette réponse aux diminutions de pH, au-dessous de 7,5, occasionné par l'addition de l'ARS. Pour notre part, la concentration d'alizarine rouge S utilisée n'a pas semblé avoir eu d'incidence majeure sur le pH et le taux de survie.

## 4.2 Abondance et dispersion

### 4.2.1 Lac Saint-Jean

L'abondance des larves observées au lac Saint-Jean est similaire aux deux années de l'étude puisqu'elle varie entre 0,53 et 5,32 larves par 100 m<sup>3</sup> en 2005 et de 0,42 et 5,53 larves par 100 m<sup>3</sup> en 2006. Les plus fortes abondances de larves (stade A) observées par Gagnon (2005a) dans les secteurs de reproduction naturelle de l'éperlan du lac Saint-Jean étaient de 150 et 13 larves par 100 m<sup>3</sup> pour 1998 et 1999 respectivement. Par conséquent, les abondances maximales de larves observées à l'embouchure de la rivière Métabetchouan semblent nettement inférieures à ce qui est produit par les populations naturelles.

Le patron spatial de la dispersion des larves observé en 2005 correspondait à ce qu'on pourrait s'attendre selon les courants de surface occasionnés par la force et l'orientation des vents dominants lors de la période de dérive des larves et précédent la période d'échantillonnage. En effet, avant le début de l'échantillonnage de 2005 les vents

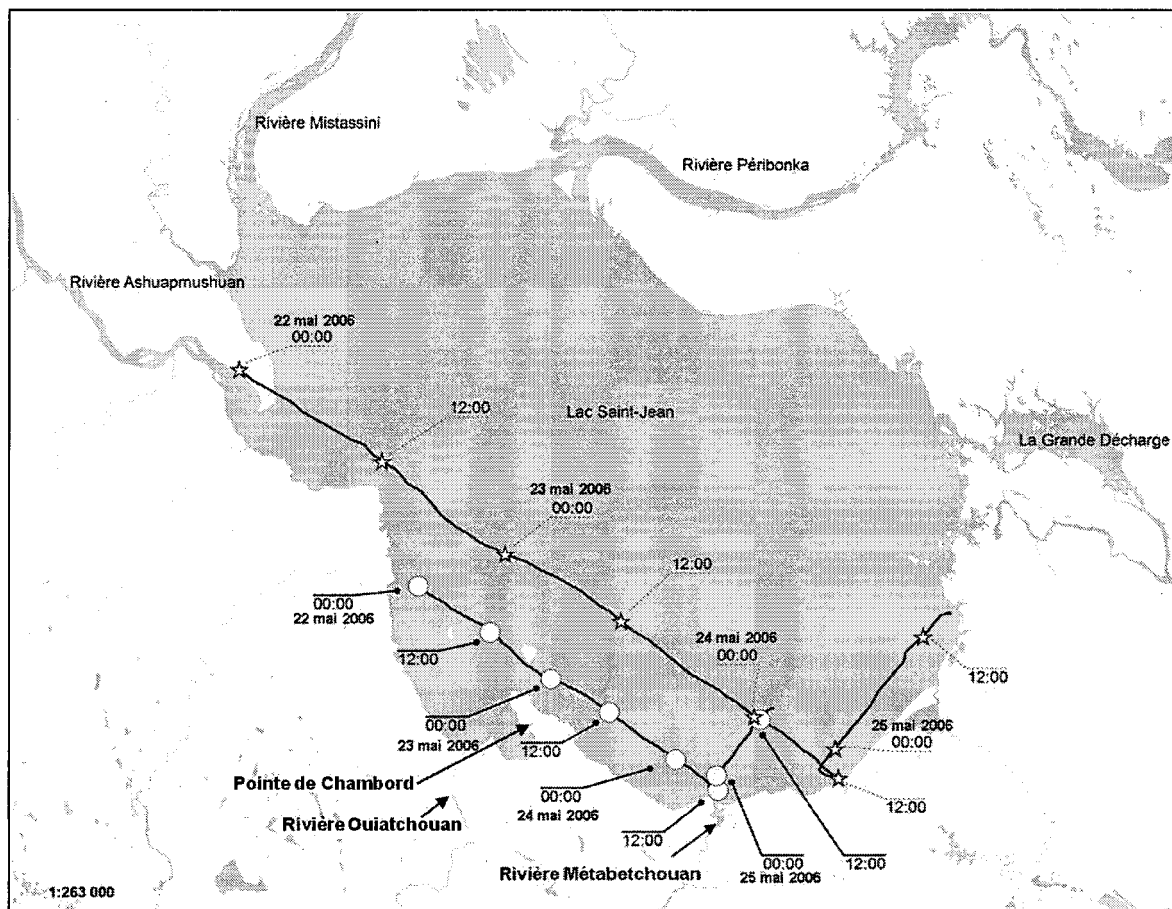
ont soufflé en moyenne à  $4,4 \text{ km h}^{-1}$  en direction nord-ouest (provenait du sud-est) pendant près de 24 heures.

Au lac Saint-Jean, Leclerc (1985) a établi, par modélisation, les patrons de distribution des courants de surface selon la direction des vents dominants. En général, la direction des écoulements de surface est semblable à celle du vent : les courants les plus forts sont près du littoral, en zone peu profonde et ils convergent vers un point en opposition à la direction du vent (point de convergence superficielle) (Leclerc, comm. pers. tiré de Gagnon 2005a). Les larves capturées à l'embouchure de la rivière (station 4, 5, 6) arrivaient directement de la rivière. Quelques larves (5 individus) ont été capturées à l'est de l'embouchure. Toutefois, des vents soufflants en direction est-nord-est ont soufflé pendant 4 heures à  $4 \text{ km h}^{-1}$  au cours de la nuit précédant l'échantillonnage. La direction général des vents au cours des 24 heures précédant l'échantillonnage de 2005 provenait de la direction sud-est et n'a pas été modélisée par Leclerc (1985), et c'est de cette direction que provenaient les vents, en moyenne. Finalement, pour mai 2005, les vents soufflants en direction ouest nord-ouest combinés au courant de la rivière (débit moyen de  $41 \text{ m s}^{-1}$ ) ont possiblement poussé les larves vers le large ce qui expliquerait le fait qu'aucune larve ne fût capturée à l'ouest de l'embouchure. La station la plus au large, à l'ouest de l'embouchure, était situé à un peu plus d'un kilomètre du littoral, ce qui n'est pas très au large au lac Saint-Jean.

En 2006, une seule larve marquée a été capturée dans le secteur de la rivière Métabetchouan représentant 5,88% des larves capturées. Ceci suggère que les larves issues d'une reproduction naturelle s'y sont retrouvées. On sait que les populations d'éperlans du

lac Saint-Jean se reproduisent principalement dans la rivière Péribonka et dans le secteur nord-ouest (secteur de l'embouchure des rivières Ashuapmushuan et Mistassini) (Gagnon 2005a, Fortin et al. 2009). On pourrait ainsi supposer que des larves issues des sites de reproduction situées dans le secteur nord-ouest aient migré vers l'embouchure de la rivière Métabetchouan. Durant les jours précédents l'échantillonnage (23 et 24 mai), les vents ont soufflés en direction est-sud-est à une moyenne de  $20 \text{ km h}^{-1}$  ce qui aurait pu transporter des larves du secteur nord-ouest et de la rivière Péribonka vers l'embouchure de la rivière Métabetchouan dans un délai de plus de 24 heures (figure 13). Toutefois, au cours des 16 heures précédant l'échantillonnage, les vents ont soufflé en direction nord-est à une vitesse moyenne de  $19,67 \text{ km h}^{-1}$ . Ce qui aurait fait migrer les larves au large des sites échantillonnés à la rivière Métabetchouan. Les larves capturées à l'embouchure de la rivière Métabetchouan étaient toutes âgées d'un jour et moins. Vraisemblablement, les larves non marquées, capturées à l'embouchure de la rivière ne sont pas issues des sites de reproduction connus de l'éperlan au lac Saint-Jean.

Les connaissances actuelles de l'hydrodynamique du lac Saint-Jean ne permettent pas de démontrer que des larves issues de la population nord-ouest se seraient rendues à l'embouchure de la rivière Métabetchouan ou s'y seraient maintenues. Le modèle actuellement disponible (Leclerc 1985) est une ébauche et ne comprend pas tous les courants engendrés par les vents provenant de toutes les directions. Puisque ces dernières n'étaient âgées que d'un jour et moins elles pourraient peut-être aussi provenir d'une reproduction en lac dans le secteur de la rivière Métabetchouan.



**Figure 13.** Une simulation simple de la dérive d'une larve d'éperlan arc-en-ciel en fonction de la vitesse des vents est réalisée à partir du modèle de distribution des courants selon la vitesse des vents dominants montre le parcours selon deux scénarios de vitesse du vent (Leclerc, 1985) (des vents de 6,4 m/s (23 km/h) produisent des courants de dérive dans la zone littorale d'une vitesse variant entre 0,1 et 0,2 m/s (0,36 km/h ○ et 0,72 km/h ☆ )

Des activités de fraie pourraient également avoir lieu en lac à des endroits qui varieraient d'une année à l'autre, selon les conditions qui prévalent au moment de la reproduction (Rupp 1965) Une activité de reproduction a été observée en 1996 à l'embouchure de la rivière Ouiatchouan (Legault comm. Pers.) et selon Gagnon (2005a) il serait possible qu'une reproduction ait eu lieu en périphérie de la rivière Ouiatchouan.



Par ailleurs, puisque l'éperlan commence à se reproduire vers l'âge de deux à quatre ans il serait également possible que des larvesensemencées en 2003 et 2004 aient pu venir se reproduire dans la rivière Métabetchouan. Un rapport produit par Tessier et al. (2008) sur la caractérisation génétique des éperlans arc-en-ciel dans le cadre du projet d'ensemencement de la rivière Métabetchouan (Lac Saint-Jean) démontre qu'aucun, éperlan provenant des ensemencements étaient présents lors de la période de fraye dans la rivière Métabetchouan en 2006 et 2007. Cependant, ces résultats ne permettent pas d'établir hors de tout doute qu'il n'y a pas eu de succès du programme d'ensemencement avec la souche de la rivière aux Rats. Les auteurs mentionnent qu'il serait donc important d'effectuer d'autres périodes de capture, et ce, à des moments différents durant la période de fraye. Ceci permettrait de tenir compte de la possibilité d'une période différente de fraye pour les éperlans du lac Saint-Jean et ceux de la rivière aux Rats.

#### **4.2.2 Fleuve Saint-Laurent**

Le fleuve Saint-Laurent est un milieu très dynamique où les courants, les marées et les vents créent un mélange important de la colonne d'eau. Aucun patron de répartition des larves d'éperlans arc-en-ciel n'a été décelé selon les marées, les isobathes ou l'âge des individus. De 2004 à 2006, les plus fortes abondances de larves ont été capturées aux transects Beaumont et Saint-Michel. En 2007, un apport massif de larves a été observé entre la pointe ouest de l'Île d'Orléans et Beaumont. On distingue également un patron de distribution longitudinal d'abondance des larves en fonction des dates, en 2007. La plus importante abondance de larves capturées depuis 2004 (338 larves par 100 m<sup>3</sup>) a été faite le

15 mai 2007 à la station Beaumont sud, pratiquement en face du ruisseau de l'Église, avant le début de l'éclosion dans les incubateurs.

L'éclosion des œufs dans l'incubateur du ruisseau de l'Église a débuté le 21 mai 2007. Le 22 mai 2007, l'abondance de larves récoltées était autour de 2 larves par 100 m<sup>3</sup> à cette même station. Des larves ont aussi été capturées à presque toutes les stations sauf à celle la plus en amont (aquarium de Québec). La plupart des larves étaient au stade de développement A. Le 25 mai aucune larve n'a été capturée en face de Québec et la plus importante abondance de larves a été observée à la station Anse du Moulin avec 45,78 larves par 100 m<sup>3</sup>. Lors de l'échantillonnage du 28 mai 2007, aucune larve n'ont été capturées aux transects ruisseau Saint-Claude et bassin Louise. Une fois de plus, c'est à la station Anse du Moulin que le plus de larves ont été capturées avec une abondance de 26,72 larves par 100 m<sup>3</sup>. Les autres transects avaient une abondance de larve inférieure à une larve par 100 m<sup>3</sup>. En 2004 l'éclosion dans l'incubateur a débuté le 16 mai et s'est terminé le 21 mai, en 2005 l'éclosion a débuté le 14 mai et s'est terminé le 26 mai, en 2006 l'éclosion a débuté le 14 mai et s'est terminé le 20 mai.

L'abondance importante de larve capturée en 2007, avant le début de l'éclosion des incubateurs, indique donc qu'il existe une production naturelle de larves d'éperlans très importante et inattendue dans le secteur de Beaumont. Conséquemment, ces résultats mettent en évidence la présence d'une frayère d'éperlans dans ce secteur de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Les résultats de Legault et Lecomte (2012) démontrent clairement la présence de frayères dans l'estuaire moyen avec la collecte d'œufs effectuée et les analyses génétiques qui ont été réalisées en 2010. Les analyses génétiques ont également

révélé qu'il s'agissait d'œufs appartenant à la PRS. La société en commandite GENIVAR, qui a réalisé des travaux de vérification d'indice de reproduction de l'éperlan-arc-en-ciel dans le secteur Lévis-Beaumont de l'estuaire du Saint-Laurent, confirme également la présence d'œufs et de jeunes larves dans ce secteur (GENIVAR 2007, 2008). Ces derniers ont aussi identifiés des sites de fraie dans l'estuaire même et les analyses génétiques réalisées sur les larves capturées démontrent également qu'elles proviennent à 75% de la population de la rive sud (Thériault 2007). L'analyse génétique réalisée par Legault et Lecomte (2012) sur les œufs capturés en 2008 par GENIVAR démontre également qu'ils appartiennent à la PRS.

Ainsi, la population d'éperlans arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent semble non seulement se reproduire dans les tributaires, mais également dans l'estuaire lui-même. Tel que mentionné par Lecomte (2012) «la reproduction alternative de l'éperlan sur les hauts-fonds est rarement documenté chez l'éperlan anadromes, mais nous ne savons pas si ce phénomène est réellement rare ou si c'est en raison des difficultés de détection que nous obtenons ce constat».

Les plus fortes abondances de larves observées par Lecomte et Dodson (2004) au moment de l'éclosion étaient de 226 larves par 100 m<sup>3</sup> en amont de Québec, en 1997. En 2007 l'abondance maximale était de 338 larves par 100 m<sup>3</sup>, issues majoritairement de la PRN. Malgré l'existence de larges sites de déposition d'œufs de la population de la rive sud dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Legault et Lecomte 2012; Lecomte 2012), la très grande abondance de larves de la PRN masque la quasi-totalité de la production de la PRS. La population d'éperlan de la rive sud n'est donc pas très productive par rapport à la

population de la rive nord. Somme toute, ce résultat est en accord avec les études publiées (Pigeon 1997; Pigeon et al. 1998; Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005; Thériault 2007; Côté et Bernatchez 2009; Côté et Bernatchez 2010; Lecomte 2012; Lecomte et al. *in prep*; Legault et Lecomte 2012).

Cette situation n'empêcherait toutefois pas les larves de démontrer un patron de dispersion clairement identifié à la population de la rive sud et par la suite d'atteindre les zones de rétention associée à cette population qui sont nettement distinctes de celle de la population de la rive nord. Puisque les deux populations se reproduisent dans l'estuaire même nous pourrions penser que les larves des deux populations devraient se retrouver tant dans la zone de turbidité maximum que dans les bancs peu profonds de la rive sud. On trouve des proportions très différentes de larves des deux populations dans ces milieux (Lecomte et Dodson 2004; Lecomte 2005). Dépendamment du moment d'éclosion et de la localisation des œufs, les caractéristiques dynamiques de l'estuaire moyen du Saint-Laurent pourraient avoir un impact sur la dispersion des larves.

### **4.3 Contribution des incubateurs**

#### **4.3.1 Lac Saint-Jean**

Les déversements de larves au lac Saint-Jean n'ont pas contribué aux populations naturelles en 2005 et 2006. Lors de la dévalaison de 2005, les larves marquées capturées correspondaient à la proportion attendue et provenaient donc des incubateurs. Ce qui n'a pas été observé en 2006. Tel que discuté précédemment, un seul individu marqué a été capturé pour cette dernière année. Les résultats de juin 2005, de juillet 2006 et d'août pour

ces deux années n'indiquent aucune contribution des larvesensemencées aux populations naturelles d'éperlans arc-en-ciel, et ce, même quelques semaines après l'éclosion.

Le faible taux de capture pour 2006 pourrait laisser sous-entendre que les larves provenant des incubateurs auraient un patron de dérive entraînant une faible dilution de ses dernières dans la masse d'eau. Toutefois, en 2005, les larves capturées semblaient toutes s'être bien diluées dans la masse d'eau. Le courant de la rivière Métabetchouan, en 2006, pourrait les avoir concentrées à un ou des endroits dans la rivière et dans le lac par la suite, mais cette hypothèse reste à vérifier.

#### 4.3.2 Fleuve Saint-Laurent

Les résultats indiquent une très faible contribution des larvesensemencées aux populations naturelles d'éperlans arc-en-ciel, et ce, même quelques heures après l'éclosion. Seulement, entre 4,77% et 2,46% des larves capturées lors de la dérive à la sortie des incubateurs entre 2005 et 2007 étaient marquées. L'échantillonnage des larves et des préjuvéniles du mois de juillet ne révèlent aucune contribution des ensemencements. La proportion de larves marquées capturés de 2004 à 2007 est tout de même surprenante puisque l'éclosion dans l'incubateur a eu lieu à la fin de la dérive des larves produites en milieu naturel. Les constats fait par Trencia et Langevin (2008) ont permis de détecter que l'éclosion des larves dans le Saint-Laurent se faisait plus rapidement en raison de la stabilité et de la régularité de la température du fleuve. Ceci permet un développement embryonnaire plus régulier contrairement au ruisseau de l'Église (l'incubateur) où les variations quotidiennes peuvent atteindre 9°C et où la température descend souvent en-

dessous de 5°C (valeur où le calcul de degré-jours à l'éclosion est nul). La présence de larges sites de déposition d'œufs de la population de la rive sud dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Legault et Lecomte 2012; Lecomte 2012) et la très grande abondance de larves de la PRN seraient susceptible de diluer la production de larves issues de l'incubateur. Ceci malgré l'éclosion des larves de l'incubateur qui se déroule à la fin de la production naturelle. Ce qui attesterait de l'importance de la production de larves dans le secteur de Beaumont.

Il serait également possible que la dilution (mélange) des larvesensemencées dans le milieu, s'effectue d'une façon encore inconnue. Ainsi, les sites échantillonnés ne correspondraient pas au patron de dérive emprunté par les larves du ruisseau de l'Église ce qui limiterait leur mixité avec les larves naturelles et donc leurs présences dans les échantillons. Cette hypothèse pourrait expliquer la faible contribution des ensemencements obtenus dans le fleuve Saint-Laurent, mais cela reste à vérifier.

Certaines études réalisées sur les ensemencements de larves de différentes espèces de poissons révèlent des taux de contribution aux populations naturelles variant entre 5% et 45% dépendamment de la densité ensemencée, du moment, du lieu d'ensemencement et de l'objectif d'ensemencement (restauration, introduction, rehaussement, réintroduction, etc.) (Secor et al. 1995; Secor et Houde 1998; Brown et St.Sauver 2002). Selon la situation, pour une contribution de 5% aux populations naturelles, le nombre d'individus ensemencés contribuant aux populations naturelles, au cours d'une année, peut être supérieur à une année où la contribution des ensemencements serait plus importante. Par exemple, un ensemencement de 10 millions de larves pourrait contribuer à 15% de la population

naturelle pour une année tandis que l'année suivante le même ensemencement contribuerait à 4 % aux populations naturelles. Selon Secor et Houde (1998), la variabilité de la contribution des larves ensemencées peut être justifiée par les variations entre les années de forte ou de faible production larvaire et les conditions dans les aires d'alevinage. Ainsi, pour un même nombre de larves ensemencées : lors d'une année de forte production naturelle la contribution en pourcentage de larve peut être faible, mais en période de faible production naturelle la contribution en pourcentage de larve serait plus élevée, mais représenterait le même nombre de larves qu'en période de forte production.

On pourrait aussi croire qu'il y a mortalité massive des larves marquées, mais les marquages à l'alizarine rouge S réalisé sur plusieurs autres espèces démontrent une très faible mortalité pour des concentrations d'ARS semblables à celles utilisées pour cette étude (Blom et al. 1994; Beckman et Schulz 1996; Eckmann et al. 1998; Eckmann 2003; Bashey 2004; Simon et Dorner 2005). La fiche signalétique de l'alizarine rouge S (Sigma aldrich 2012) mentionne que la CL50 (concentration létale pour que 50% des organismes meurent) pour *Oryzias latipes* est de 170 mg L<sup>-1</sup> pour exposition de 48 heures. Dans notre cas, la concentration et le temps d'exposition n'atteignent pas ces niveaux. De plus, les taux d'éclosions observés sont similaires à ceux obtenus au cours des années précédentes lorsqu'il n'y avait pas eu de marquage réalisé sur les larves ensemencées.

Bourque et al. (2003), qui ont réalisé plusieurs expériences de marquage à divers concentration de larves d'éperlans et de marqueurs (tétracycline, alizarine complexone et alizarine rouge S), et qui ont aussi été les précurseurs de notre protocole de marquage, mentionnent qu'à de forte concentration d'individus (10 000 et 50 000 ind.) les taux de

mortalité lors du marquage sont importants. Ces derniers soulignent également que les fortes doses de colorants ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ) jumelé à de fortes concentrations de larves sont à proscrire. Les mortalités reliées aux manipulations à des concentrations faibles ont aussi eu une importance considérable au cours de leur expérience. Dans notre cas, aucune manipulation des larves n'avait lieu lors du marquage. Les résultats les plus prometteurs au cours de leurs différentes expériences ont démontré que l'alizarine rouge S était le marqueur le plus efficace avec un taux de rétention de la marque chez la larve de 80%. Avec les renseignements et les modifications apportées, suite aux expériences de Bourque et al. (2003), nous avons obtenu un taux de rétention de la marque de 100%.

Le faible taux de capture de larves marquées pourrait aussi être dû à une mortalité post-traitement. Ceci, en raison du ratio œuf : solution supérieure à celui recommandé (Bourque et al. 2003; Eckmann 2003) ou à une concentration de ARS trop importante. Cependant, la concentration d'ARS recommandée par Eckmann (2003) est cinq fois plus élevé ( $1000 \text{ mg L}^{-1}$ ) que la forte dose proscrire par Bourque et al. (2003). De plus, les taux d'éclosions dans les deux systèmes étaient similaires aux années où il n'y avait pas de marquage. Les fortes mortalités enregistrées par Bourque et al. (2003) sont survenues lors du marquage des œufs ou des larves dépendamment des expériences réalisées. Aucune information concernant une mortalité post-traitement n'a été noté dans leur rapport.

On peut également écarter la possibilité que la marque n'ait pas persisté puisque Blom et al. (1994) mentionnent que la marque reste clairement visible après cinq mois, Beckman et Schulz (1996) au moins 160 jours et Eckmann et al. (1998) jusqu'à près de deux ans. Cette rétention de la marque suggère également que les individus marqués ont pu



au moins survivre au-delà de 160 jours. Toutefois, tel que supposé par Laird et Stott (1978), les rayons du soleil pourraient désactiver la rétention des marques de tétracycline et d'alizarine complexone. Cependant, Muth et Bestgen (1991) qui ont fait une étude sur la rétention de la marque de tétracycline suite à l'exposition au soleil viennent à la conclusion qu'il n'y a pas d'effet détectable des rayons UV sur la rétention de la marque. La calcification des otolithes par l'addition de couche de carbonate de calcium semble suffisante pour couvrir et protéger la marque (Tsukamoto 1988; Muth et Bestgen 1991). Tsukamoto (1988) soutient même que ces additions de couches de carbonate de calcium permettraient de maintenir la marque jusqu'à la mort de l'animal. De plus, les embryons de notre étude ne sont pas expulsés des incubateurs immédiatement après le marquage, car ils doivent éclore et les jarres dans lesquels ils ont été marqués sont placés dans un endroit à l'abri des rayons UV.

Dans le cas du fleuve Saint-Laurent, puisqu'on ne retrouve aucune larve marquée dans l'estuaire moyen malgré l'échantillonnage qui a été fait dans les aires d'alevinages connues des éperlans arc-en-ciel de la rive sud du Saint-Laurent, il pourrait être possible que les zones de rétentions spécifiques aux larves du ruisseau de l'Église soient encore inconnues. Cette possibilité n'est toutefois pas en contradiction avec le fait qu'il y aurait une importante frayère à éperlan arc-en-ciel dans le fleuve Saint-Laurent, en face de Beaumont ou un peu en amont.

## 5. Conclusion

La technique de marquage développée fonctionne très bien avec une efficacité de marquage de 100% et un taux de survie comparable à ce que l'on obtient en incubateur lorsqu'aucune procédure de marquage n'est appliquée. L'alizarine rouge S est un moyen facile, rapide et peu dispendieux de réaliser un marquage de masse. Une concentration de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  pour un temps d'immersion de 24 h avec l'addition du tiers de la concentration après 12 heures est adéquate pour le marquage d'embryons d'éperlans arc-en-ciel. Les marquages de masse réalisés ont permis de marquer plusieurs dizaines de millions de larves sans avoir à les manipuler.

Au Lac Saint-Jean, la dérive des larves démontre que la proportion de larves marquées capturées à proximité de l'embouchure de la rivière Métabetchouan provient des incubateurs en 2005, mais pas en 2006. On explique ce résultat par 1) une reproduction en lac pourrait avoir lieu dans un rayon de 7 à 14 km de l'embouchure de la rivière Métabetchouan (l'embouchure de la rivière Péribonka et le secteur sud-ouest étant situé à une distance variant entre 36 et 38 kilomètre) 2) il pourrait y avoir un retour des larves d'éperlansensemencées en 2003 et 2004 ce qui signifie qu'il y aurait une fraie dans la rivière Métabetchouan. Les abondances maximales capturées à l'embouchure de la rivière Métabetchouan sont inférieures à ce qui avait été capturé par Gagnon (2005a) au nord du lac Saint-Jean, ce qui laisse croire que la production des incubateurs est beaucoup moins importante que ce qui est produit naturellement malgré les millions de larves qui y ont été produites.

Dans l'estuaire du Saint-Laurent, aucun patron de répartition des larves d'éperlans n'a été décelé entre les marées, les isobathes ou l'âge des larves. De fortes abondances de larves ont été capturées sur le tronçon fluvial au sud de l'Île d'Orléans, un peu en amont de l'incubateur et avant le début de l'éclosion. Ces résultats indiquent donc qu'il existe une production naturelle de larves d'éperlans très importante dans le secteur de Beaumont dans l'estuaire même. La ré-analyse génétique des échantillons de 2007 (Lecomte et al. *in prep*) démontre que la quasi-totalité (94,54% des échantillons dont le PCR a réussi) des larves dérivant dans le chenal sud du Saint-Laurent appartient à la population de la rive nord. L'abondance très importante de larves de la PRN masque la quasi-totalité de la production de la PRS. La population d'éperlan de la rive sud n'est donc pas très productive par rapport à la population de la rive nord. Toutefois, les nouvelles études ont permis de mettre en lumière l'utilisation des hauts fonds de l'estuaire moyen du Saint-Laurent pour la reproduction de l'éperlan (Legault et Lecomte 2012; Lecomte 2012). Ce nouvel apport de connaissances ne permet toutefois pas de revoir le statut de la population d'éperlan du sud de l'estuaire du Saint-Laurent.

Lesensemencements réalisés au lac Saint-Jean et dans l'estuaire du Saint-Laurent n'auraient pas contribué ou très peu aux populations naturelles. Au Lac Saint-Jean, la contribution des incubateurs n'est plus perceptible quelques semaines après éclosion. Dans le Saint-Laurent, les résultats indiquent une très faible contribution des larves ensemencées aux populations naturelles d'éperlans arc-en-ciel, et ce, même quelques heures après l'éclosion. Bien que l'éclosion des larves de l'incubateur se déroule à la fin de la production naturelle, la présence de larges sites de déposition d'œufs de la population de la rive sud

dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Legault et Lecomte 2012; Lecomte 2012) et la très grande abondance de larves de la PRN dilueraient la production de larves issues de l'incubateur. Ce qui démontrerait l'importance de la production de larves dans le secteur de Beaumont. Il serait également possible que la dilution (mélange) des larvesensemencées dans le milieu s'effectue d'une façon encore inconnue.

La persistance de la marque, la mortalité que pourrait occasionner l'alizarine rouge S ainsi que la dégradation de cette dernière en raison de l'exposition au rayon UV ne peuvent être considérées comme des éléments permettant d'expliquer l'insuccès de ces programmes d'ensemencement. On pourrait par contre supposer que les aires de rétentions spécifiques aux larves du ruisseau de l'Église puissent être encore inconnues, et ce, malgré toutes les recherches qui ont été réalisées sur la dispersion des éperlans de l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

Plusieurs facteurs (abiotique, biotique) influencent le succès de l'ensemencement comme la température, les caractéristiques physiques et chimiques, la condition des individus, la manipulation, le transport, la structure de taille de la communauté de proie, l'abondance, la composition, et la prédation (Johnson et al. 1996). Le maintien des œufs jusqu'à l'éclosion dans des incubateurs, l'apport en eau qui provient directement du milieu dans lequel les larves sont relâchées, les manipulations et le transport quasi inexistant et l'éclosion qui se fait à peu près, sinon en même temps que celle des populations naturelles permet de croire que plusieurs des facteurs énumérés précédemment ne devraient pas avoir d'effet sur la survie et la qualité des larvesensemencées.

Peu de stratégie d'ensemencement semble se tourner vers les poissons-fourrages. Les ensemencements sont principalement axés sur les poissons sportifs et commerciaux. Peu importe le type de poissons ensemencés, l'ensemencement doit être considéré et conjugué avec d'autres outils de gestion et ne doit pas être considéré comme l'unique moyen d'aider une population ou d'améliorer une pêcherie (Molony 2003; Van Zyll de Jong 2004). Par exemple, il pourrait être utile de concentrer les ensemencements les années de faible recrutement (Secor et Houde 1998). L'ensemencement n'est donc pas la panacée, d'autres outils de gestion doivent être conjugués aux ensemencements afin de supporter les populations. La limitation des quotas, de la taille des individus conservés, la restriction des périodes de pêche, la protection et la réhabilitation des habitats essentiels à leur croissance, l'exclusion de certain secteur à la pêche, la limitation du nombre d'engins de pêche utilisés, la remise à l'eau obligatoire ou l'arrêt de certaine pêcherie telle que la pêche commerciale sont tous des moyens qui permettent d'aider les populations de poissons, comme celle de l'éperlan de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, à se maintenir et se réhabilité. Il ne faut pas oublier que l'ensemencement est un moyen technique d'intervenir dans des milieux aquatiques complexes. Les conséquences engendrées par cette action doivent être calculées avant de procéder et mesurées après coup, on ne devrait pas se borner à augmenter le rendement et le taux de capture.

Au lac Saint-Jean et dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, les ensemencements de larves d'éperlans arc-en-ciel ont été utilisés comme stratégie de support aux populations naturelles, mais ils ont également été jumelés à d'autres stratégies de gestion et de suivi des populations existantes. Malgré les efforts infructueux de ces ensemencements, les

populations d'éperlans arc-en-ciel de ces deux écosystèmes se sont maintenues. Encore une fois, on peut voir que la nature est souvent beaucoup plus puissante que l'humain. Bien que les quantités de larvesensemencées semblent très importantes (plusieurs millions), les résultats de cette étude suggèrent qu'il serait fort utile de connaître l'ordre de grandeur de la production naturelle de larves d'éperlans arc-en-ciel dans le lac Saint-Jean et l'estuaire moyen du Saint-Laurent. De cette façon, il serait plus facile d'estimer le nombre de larves à ensemenecer pour supporter réellement les populations naturelles.

## Références

- Bashey, F. (2004). A comparison of the suitability of alizarin red S and calcein for inducing a nonlethally detectable mark in juvenile guppies. *Transactions of the American Fisheries Society* 133, 1516-1523.
- Beckman, D. W. et Schulz, R. G. (1996). A simple method for marking fish otoliths with alizarin compounds. *Transactions of the American Fisheries Society* 125, 146-149.
- Bernatchez, L., Martin, S., Bernier, A., Tremblay, S., Trecia, G., Verreault, G. et Vigneault, Y. (1995). Conséquences de la structure génétique de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) pour la réhabilitation de l'espèce dans l'estuaire du Saint-Laurent Ministère des Pêches et des Océans. Direction de la gestion de l'habitat du poisson. 46p.
- Bernatchez, L. et Martin, S. (1996). Mitochondrial DNA diversity in anadromous rainbow smelt, *Osmerus mordax* Mitchill: A genetic assessment of the member-vagrant hypothesis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53 (2), 424-433.
- Bernatchez, L. et Saint-Laurent, R. (2003). Détermination de l'importance relative des populations d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax* Mitchill) dans l'alimentation de la ouananiche du lac Saint-Jean. Université Laval. Québec. 36p.
- Blom, G., Nordeide, J. T., Svaasand, T., et Borge, A. (1994). Application of two fluorescent chemicals, alizarin complexone and alizarin red S to mark otoliths of Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture and Fisheries Management* 25 (9 (suppl. 1)), 229-243.
- Bouchard, L. et Larose, M. (1999). Système d'incubation d'œufs d'éperlan arc-en-ciel en milieu naturel. Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec 21-23 février 1999. pp. 13-19.
- Bourque, J.-F., Foy-Guitard, M., Dodson, J. J. et Trecia, G. (2003). Marquage par la tétracycline et l'alizarine des larves d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de l'incubateur du Ruisseau de l'Église, Beaumont, Québec. Université Laval. Québec. 29 p.

- Boutin, P. (2011). Suivi de la reproduction de l'éperlan sur la rivière Kamouraska, bilan de projet. Cégep de La Pocatière. 14p
- Bridges, C.H. et Hambly, L.S. (1971). A summary of eighteen years of salmonid management at Quabbin Reservoir, Massachusetts. American Fisheries Society special publication. 8. pp. 243-254 dans Hall G. E., éd., Reservoir Fisheries and Limnology. Special Publication No. 8, American Fisheries Society, Washington, D. C.
- Brisson-Bonenfant, C. 2008. Identification génétique des éperlans arc-en-ciel capturés dans le fleuve Saint-Laurent en 2007. Université Laval. Québec. 6p.
- Brown, M. L. et St.Sauver, T. (2002). An assessment of yellow perch, *Perca flavescens*, stocking contributions in eastern South Dakota Lakes. Fisheries Management and Ecology 9, 225–234.
- Clayton, G. R., Cole, C. F., Murawski, S. A. et Parrish, J. D. (1978). Common marine fishes of coastal Massachusetts. Cooperative Extension Service, University of Massachusetts. 231p.
- 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, G. et L. Bematchez. 2009. Identification génétique des larves d'éperlans arc-en-ciel capturées dans le fleuve Saint-Laurent en 2008. Université Laval, Québec. 9 p.
- Dabrowski, K. et Tsukamoto, K. (1986). Tetracycline tagging in coregonid embryos and larvae. Journal of Fish Biology 29 (6), 691-698.
- Dehn, L.-A., Sheffield, G.G., Follmann, E.H., Duffy, L.K., Thomas, D.L. et O'Hara, T.M. (2007) Feeding ecology of phocid seals and some walrus in the Alaskan and Canadian Arctic as determined by stomach contents and stable isotope analysis. Polar Biology 30, 167–181
- Desjardins, R. (1989). Régime alimentaire de différentes espèces de poissons du lac St-Jean. Centre Écologique du Lac St-Jean Inc. 16p.



- Dodson, J. J., Dauvin, J.-C., Ingram, R. G. et D'Anglejan, B. (1989). Abundance of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in relation to the maximum turbidity zone and associated macroplanktonic fauna of the middle St. Lawrence estuary. *Estuaries* 12 (2), 66-81.
- Eckmann, R., Czerkies, P., Helms, C. et Kleibs, K. (1998). Evaluating the effectiveness of stocking vendace (*Coregonus albula* (L.)) eleutheroembryos by alizarin marking of otoliths. *Archiv für Hydrobiologie, Special Issues Advances in Limnology* 50, 457–463.
- Eckmann, R. (2003). Alizarin marking of whitefish, *Coregonus lavaretus* otoliths during egg incubation. *Fisheries Management and Ecology* 10, 233-239.
- Ewins, P.J, Weseloh, D.V, Groom, J.H., Dobos, R.Z. et Mineau, P. (1994). The diet of Herring Gulls (*Larus argentatus*) during winter and early spring on the lower Great Lakes. *Hydrobiologia* 279 (1), 39-55.
- Équipe de rétablissement de l'éperlan arc-en-ciel du Québec. (2008). Plan de rétablissement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au Québec, population du sud de l'estuaire du Saint-Laurent – mise à jour 2008-2012. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Faune Québec. 48p.
- Fortin A.-L., Sirois P. et Legault M. (2009). Synthèse et analyse des connaissances sur la ouananiche et l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi, Laboratoire des sciences aquatiques et Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats. Québec. 137p.
- Gagnon, K. (2005a) Distribution et abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 98p.
- Gagnon, K. (2005b). Production d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean en 2005 au moyen d'incubateurs. (Dolbeau-Mistassini: Corporation LACTivité Pêche Lac Saint-Jean), 17p.
- Gagnon, K. (2006). Production d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean au moyen d'incubateurs et suivi des retours à Desbiens en 2006. (Dolbeau-Mistassini:

- Corporation LACTivité Pêche Lac Saint-Jean), 14p.
- Genivar. 2007. Projet RABASKA - Vérification d'indices de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent en 2007, secteur de Lévis-Beaumont - Rapport Final. Rapport de GENIVAR Société en commandite à SNC-Lavalin et à RABASKA. 12 p.
- Genivar. 2008. Vérification d'indices de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent en 2008, Secteur de Lévis-Beaumont - Rapport Final. Rapport de GENIVAR Société en commandite à SNC-Lavalin et à RABASKA. 15 p.
- Havey, K. A. (1973). Effects of a smelt introduction on growth of landlocked at Schoodic Lake, Maine. *Transactions of the American Fisheries Society* 2, 392-397.
- Henderson, B. A. et Nepszy, S. J. (1989). Factors affecting recruitment and mortality rates of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in lake Erie, 1963-85. *Journal of Great Lakes Research* 15 (2), 357-366.
- Iglesias, J. et Rodriguez-Ojea, G. (1997). The use of alizarin complexone for immersion marking of the otoliths of embryos and larvea of the turbot, *Scophthalmus maximus* (L.): dosage and treatment time. *Fisheries Management and Ecology* 4, 405-417.
- Johnson, B. M., Vogelsang, M. et Stewart, S.R. (1996). Enhancing a walleye population by stocking: Effectiveness and constraints on recruitment. *Annales Zoologici Fennici* 33, 577-588.
- Jones, H. G., Leclerc, M., Ouellet, M., Potvin, L., Couture, P., Cluis, D., Sochanska, W. et Sochanski, J. (1979). Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. 500p.
- Kircheis, F. W. et Stanley, J. G. (1981). Theory and practice of forage-fish management in New England. *Transactions of the American Fisheries Society* 110, 729-737.
- Laird, L.M. et Stott, B. (1978). Methods for assessment of fish production in fresh waters. Ed. T Bagenal, IBP Handbook No. 3, Blackwell scientific publication, Oxford, pp. 84-100.
- Laprise, R. et Dodson, J. J. (1989). Ontogeny and importance of tidal vertical migrations in the retention of larval smelt *Osmerus mordax* in a well-mixed estuary. *Marine*

- Ecology Progress Series 55, 101-111.
- Larose, M. et L. Bouchard. (1997). Incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel en jarre au ruisseau de l'Église, Manuel d'opération. Rapport du Centre Écologique du Lac Saint-Jean inc. 22p.
- Leclerc, M. (1978). Quelques caractéristiques limno-physiques du lac Saint-Jean. Rapport sur la productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. 49p.
- Leclerc, M. (1985). Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par élément finis : Application au lac Saint-Jean (Québec) Université de technologie de Compiègne. 232p.
- Lecomte, F. et Dodson, J.J. (2004). Role of early life-history constraints and resource polymorphism in the segregation of sympatric populations of an estuarine fish. *Evolutionary Ecology Research* 6, 631–658.
- Lecomte, F. (2005). Déterminisme écologique de la ségrégation génétique des populations sympatriques d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Département de Biologie, Université Laval, Québec. 273 p.
- Lecomte F (2012). Spawning strategies and dynamics among anadromous smelts, are we aware of only the tip of the iceberg? pp. 26-35 *dans*: Fourth North American Workshop on Rainbow Smelt: Extended Abstract Proceedings (January 2011). (Enterline, C., Wood, C., Mills, K., Chase, B.C., Verreault, G., Fischer, J. et Ayer, M.H. éds). The Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish & Games, Massachusetts Division of Marine Fisheries.
- Lecomte, F., Bernatchez, L., Brisson-Bonenfant, C., Côté, G., Dodson, J.J., et Legault, M. (*in prep*). Synthèse des résultats portant sur l'identification génétique des jeunes stades de vie d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) capturés dans l'estuaire fluvial. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats, Service de la faune aquatique. xx p.
- Lefebvre, R. (2003). Régime alimentaire de la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean (1997-2002). Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune du Saguenay-Lac-Saint-Jean. 57p.

- Legault, M. et Gouin, H. (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, Jonquière. 19p.
- Legault, M. (1998). Élaboration d'une méthode d'évaluation de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du lac Saint-Jean. Ministère de l'environnement et de la faune. Direction de la faune et des habitats, Québec. 43p.
- Legault, M. et Lecomte, F. (2012). Ghost hunting; quantifying and localizing alternative spawning grounds used by anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*). pp. 36-40 dans: Fourth North American Workshop on Rainbow Smelt: Extended Abstract Proceedings (January 2011). (Enterline, C., Wood, C., Mills, K., Chase, B.C., Verreault, G., Fischer, J. et Ayer, M.H. éd.). The Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish & Games, Massachusetts Division of Marine Fisheries.
- Mahy, G. (1975). Étude comparée des régimes alimentaires de la ouananiche, du doré et du brochet. Centre de recherche du Moyen-Nord, contribution à la biologie de la ouananiche. Rapport mimeographié. Université du Québec à Chicoutimi. 143p.
- Masuda, R. et Tsukamoto, K. (1998). Stock enhancement in Japan: Review and perspective. *Bulletin of marine science* 62 (2), 337-358.
- McKenzie, R. A. (1947). The effect of crowding of smelt eggs on the production of larvae. Fisheries Research Board of Canada, Progress Report 39, Atlantic Coast Stations. pp. 11-13.
- Molony, B. W., Lenanton, R., Jackson, G. et Norriss, J. (2003). Stock enhancement as a fisheries management tool. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 134, 409-432.
- Mongeau, J.-R., Legendre, V., Leclerc, J. et Brisebois, J. (1980). Les salmonidés des eaux de la plaine de Montréal. 2. Biométrie, biogéographie, 1970-1975, et registre des pêches, 1941-1976. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. Rapport technique 06-28. 139p.

- Muth, R.T. et Bestgen, K.R. (1991). Effect of sunlight on tetracycline marks in otoliths of Colorado squawfish larvae. *Transactions of the American Fisheries Society* 120, 666-668.
- Nadon, L. (1991) Régime alimentaire et croissance de la ouananiche (*Salmo salar* L.) du lac Saint-Jean., Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 97p.
- Nagata, M., Nakajima, M. et Okada, H. (1995). Growth differences between wild and domestic juvenile masu salmon, *Oncorhynchus masou*, as determined by otolith marking of domestic fish at the eyed egg stage. *Dans: Recent Developments in Fish Otolith Research*, D. H. Secor, Dean, J.M. et Campana, S.E., eds. Columbia, University of South Carolina Press, pp.445–454.
- Nellbring, S. (1989). The ecology of smelts (Genus *Osmerus*): A literature review. *Nordic Journal of Freshwater Research* 65, 116-145.
- Olla, B. L., Davis, M. W. et Ryer, C. H. (1994). Behavioural deficits in hatchery-reared fish: potential effects on survival following release. *Aquaculture and Fisheries Management*, 25 (Supplement 1), 19-34.
- Ouellet, P. et Dodson, J. J. (1985). Dispersion and retention of anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae in the middle estuary of the St. Lawrence river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42 (2), 332-341.
- Pigeon, D. (1997). Analyse génétique de la ségrégation spatiale des larves de deux populations sympatriques d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Mémoire de Maîtrise, Université Laval. Québec. 75p.
- Pigeon, D., Dodson, J. J. et Bernatchez, L. (1998). A mtDNA analysis of spatiotemporal distribution of two sympatric larval populations of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence River estuary, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (7), 1739-1747.
- Pouliot, G. et Verreault, G. (2000). Suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 2000, Faune et Parcs Québec, Direction de l'aménagement de la région du Bas Saint-Laurent, Rivière-du-Loup. 15p.

- Robitaille, J. A. et Vigneault, Y. (1990). L'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome de l'estuaire du Saint-Laurent: Synthèse des connaissances et problématique de la restauration des habitats de fraie dans la rivière Boyer. Ministère des Pêches et des Océans, Ministère de la gestion des pêches et de l'habitat, Division de l'habitat du poisson, Québec, Cap Diamant. Rapport No 2057. 56p.
- Robitaille, J. A., Choinière, L., Trecia, G. et Verrault, G. (1994). Pêches portive de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) sur la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 1991. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Directions régionales de Québec et du Bas-Saint-Laurent—Gaspésie—Îles-de-le- Madeleine. Rapport technique 69 p.
- Robitaille, J. A., Choinière, L., Trecia, G. et Verrault, G. (1995). Pêche sous la glace de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) à l'Île-Verte pendant l'hiver 1991-1992. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Directions régionales de Québec et du Bas-Saint-Laurent—Gaspésie—Îles-dela- Madeleine. Rapport technique 27 p.
- Rojas Beltran, R., Champigneulle, A. et Vincent, G. (1995). Mass-marking of bone tissue of *Coregonus lavaretus* L. and its potential application to monitoring the spatio-temporal distribution of larvae, fry and juveniles of lacustrine fishes. *Hydrobiologia* 300 (1), 399-407.
- Rossignol, A. (1998). L'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent. Carnet d'océanographie. Institut national de la recherche scientifique-océanologie, Rimouski, Québec. 64p.
- Rupp, R. S. (1965). Shore-spawning and survival of eggs of the American smelt. *Transactions of the American Fisheries Society* 94, 160-168.
- Saint-Laurent, R. (2002) Sélection divergente et flux génétique : le cas des écotypes sympatriques d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax* Mitchill) du lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise, Université Laval. Québec. 48p.
- Saint-Laurent, R. Legault, M., et Bernatchez, L. (2003). Divergent selection maintains adaptive differentiation despite high gene flow between sympatric rainbow smelt ecotypes (*Osmerus mordax* Mitchill). *Molecular Ecology* 12 (2): 315-330.

- Scott, W. B. et Crossman, E. J. (1974). Les poissons d'eau douce du Canada. (Ottawa: Ministère de l'environnement, Services des pêches et des sciences de la mer, Bulletin 184). 1026p.
- Secor, D. H., Houde, E. D. et Monteleone, D. M. (1995). A mark-release experiment on larval striped bass *Morone saxatilis* in a Chesapeake Bay tributary. *ICES Journal of Marine Science* 52 (1), 87-101.
- Secor, D. H. et Houde, E. D. (1998). Use of larval stocking in restoration of Chesapeake Bay striped bass. *ICES Journal of Marine Science* 55, 228-239.
- Sigma-Aldrich. (2012) Fiche de Données de Sécurité / Fiche Signalétique Version 4.2. Date de révision 2012/09/19. Date d'impression 2012/11/01. *sigma-aldrich.com*
- Simon, J. et Dörner, H. (2005). Marking the European eel with oxytetracycline, alizarin red and coded wire tags: an evaluation of methods. *Journal of Fish Biology* 67 (5), 1486-1491.
- Sirois, P., Lecomte, F. et Dodson, J. J. (1998). An otolith-based back-calculation method to account for time-varying growth rate in rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 2662-2671.
- SLC – St. Lawrence Center. (1996). State of the Environment Report on the St. Lawrence River. Vol. 1: The St. Lawrence Ecosystems. Environment Canada, Québec Region. Éditions MultiMondes, Montréal (Québec). 500p.
- Smith, W. G. et Wells, A. (1977). Biological and fisheries data on striped bass (*Morone saxatilis*). Sandy Hook Laboratory Northeast Fisheries Center, National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce. Highlands, New Jersey. Technical Series Report No. 4. 42p.
- Tessier, N., Rioux-Paquette, S. et Lapointe, F.-J. (2008). Caractérisation génétique des éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans le cadre du projet d'ensemencement de la rivière Métabetchouane (Lac-Saint-Jean). (Montréal: ConservAction ACGT inc. et Département de sciences biologiques, Université de Montréal. 27p.
- Thériault, V. (2007). Identification génétique des éperlans arc-en-ciel capturés à la station

- #95. Université Laval. Rapport d'analyses effectuées pour le Consortium Rabaska. 4p.
- Tremblay, G. (2004). Impact de la prédation sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au Lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 77p.
- Trencia, G. 1991. Vérification de la fraye de l'éperlan arc-en-ciel dans les tributaires du Saint-Laurent dans la région de Québec en 1989. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, 7 p.
- Trencia, G. Verrault, G. et Carrier, D. 1990. Le passé, le présent et le futur de l'éperlan de l'estuaire; une histoire de disparition ou de restauration. Symposium sur le St-Laurent, un fleuve à récupérer. Collection Environnement et Géologie, Vol 11, Ass. Biol. Québec, pp. 472-496.
- Trencia, G., Verreault, G., Legault, M. et Tremblay, V. (2005a). L'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome du sud de l'estuaire du Saint-Laurent : une population en voie de désignation comme espèce vulnérable. Le Naturaliste canadien 129 (1), 86-94.
- Trencia, G. et Langevin, B. (2005b). Incubation d'œufs d'éperlan arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 2004. (Charny: Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Chaudière-Appalaches). 12 p.
- Trencia, G. et Langevin, B. (2006a). Incubation d'œufs d'éperlan arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 2005. (Charny: Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Chaudière-Appalaches). pp. 11 p.
- Trencia, G. et Langevin, B. (2006b). Incubation d'œufs d'éperlan arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 2006 (Charny: Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs, secteur Faune Québec, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Chaudière-Appalaches). pp. 11 p.



- Trencia, G. et Langevin, B. (2007). Incubation d'oeufs d'éperlan arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 2007 (Charny: Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs, secteur Faune Québec, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Chaudière-Appalaches). pp. 11 p.
- Trencia, G. et B. Langevin. 2008. Chronologie de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans le secteur de Beaumont. Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Direction de l'Aménagement de la Faune, Région de la Chaudière-Appalache. Charny. 7p.
- Tsukamoto, K. (1985). Mass-marking of Ayu eggs and larvea by tetracycline tagging. Nippon Suisan Gakkaishi: The Japanese Society of Fisheries Sciences 51, 903-911.
- Tsukamoto K (1988). Otolith tagging of ayu embryo with fluorescent substances. Nippon Suisan Gakkaishi: The Japanese Society of Fisheries Sciences 54, 1289-1295
- Tsukamoto, K., Kuwada, H., Hirokawa, J., Oya, M., Sekiya, S., Fujimoto, H. et Imaizumi, K. (1989). Size-dependent mortality of red sea bream, *Pagrus major*, juveniles released with fluorescent otolith-tags in News Bay, Japan. Journal of Fish Biology 35 (Supplement A), 59-69.
- van Zyll de Jong, M. C., Gibson, R. J. et Cowx, I. G. (2004). Impacts of stocking and introductions on freshwater fisheries of Newfoundland and Labrador, Canada. Fisheries Management and Ecology. 11 (3-4), 183-193.
- Vladykov, V.D. et Michaud, A. (1957) Les voyages de l'éperlan. Actualités marines 1 (1), 15-19.
- Warner, K. et Incerpi, A. (1969). Current status of the salmon, *Salmo salar*, fisheries of two fish River Lakes, Maine. Transactions of the American Fisheries Society 98 (1), 45-51.

Wood, C.H., Chase, B. C. et Ayer, M.H. (2012) A historical view of anadromous rainbow smelt populations and fisheries in the eastern United States. pp. 65-69 *dans* : Fourth North American Workshop on Rainbow Smelt: Extended Abstract Proceedings (January 2011). (Enterline, C., Wood, C., Mills, K., Chase, B.C., Verreault, G., Fischer, J. et Ayer, M.H. éds). The Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish & Games, Massachusetts Division of Marine Fisheries.