2012

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole : étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean

Sonya Lévesque

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

Référence à citer :

Lévesque, S. (2012). La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel : étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean. Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées. Université du Québec à Chicoutimi.

Rapport de recherche

Chaire de recherche
sur les espèces
aquatiques exploitées

Université du Québec à Chicoutimi

La reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole : étude de cas de l'éperlan du lac Saint-Jean

Sonya Lévesque

En partenariat avec :

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

REMERCIEMENTS

L'auteure remercie la Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean, la Conférence régionale des élus du Saguenay-Lac-Saint-Jean, le Ministère des Ressources naturelles, la MRC de Lac-Saint-Jean-Est, la MRC de Maria-Chapdelaine, la MRC du Domaine-du-Roy et Rio Tinto Alcan pour leur contribution financière à la réalisation de cette synthèse. L'auteure remercie également les membres du Comité scientifique sur la pêche au lac Saint-Jean pour leurs précieux conseils et leur collaboration à l'élaboration du document.

De plus, l'auteure tient à remercier les chercheurs et spécialistes de l'éperlan contactés qui ont pris le temps de partager leur perception quant à la gestion et à l'état des stocks d'éperlans dans leur pays/région. L'auteure souligne la contribution du Ministère des Ressources naturelles et du Laboratoire des sciences aquatiques de l'Université du Québec à Chicoutimi, pour le libre accès aux données du lac Saint-Jean, et remercie du même coup les gens qui ont récolté et traité ces données. Elle remercie particulièrement le Laboratoire des sciences aquatiques de l'Université du Québec à Chicoutimi pour l'hébergement fourni dans un contexte scientifique stimulant. Enfin, merci aux réviseurs du document : Marc Archer, directeur général de la CLAP, Anne Lise Fortin, M.Sc. du Laboratoire des sciences aquatiques de l'UQAC et Jérôme Plourde, M.Sc. Biologiste au MRN-02.

Les membres du comité scientifique sont, par ordre alphabétique :

M. Marc Archer, biologiste Directeur	Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean
M. David Cleary, biologiste Représentant	Conseil des Montagnais du Lac-Saint-Jean
Mme Karine Gagnon, M. Sc. Biologiste	Ministère des Ressources naturelles
M. Stéphane Gauthier Conseiller principal Environnement	Rio Tinto Alcan
Mme Diane Larose, ingénieure forestière Directrice	Ministère des Ressources naturelles
Mme Ursula Larouche, biologiste Conseillère en développement	Conférence régionale des élus du Saguenay – Lac-Saint-Jean (CRRNT/CRE)
M. Michel Legault, M. Sc. Biologiste	Ministère des Ressources naturelles
M. Jérôme Plourde, M. Sc. Biologiste	Ministère des Ressources naturelles
M. Pascal Sirois, Ph. D. Professeur	Université du Québec à Chicoutimi

RÉSUMÉ

Les connaissances sur l'écologie reproductive de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole du lac Saint-Jean ont été rassemblées et consolidées à la demande du comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêcherie dans l'Aire faunique communautaire du lac Saint-Jean. L'objectif de ce projet était de fournir une base solide à la réalisation d'aménagements visant à augmenter la production naturelle d'éperlans, tel que suggéré par le *Plan de gestion 2011-2020 de la ouananiche, du doré jaune, de la lotte et de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean*. Ce plan a été développé conjointement par la Corporation de LACtivité Pêche Lac-Saint-Jean et par la Direction de l'expertise Énergie-Faune-Forêts-Mines-Territoire du Saguenay-Lac-Saint-Jean du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

Le projet a été divisé en quatre axes : (1) la reproduction de l'éperlan selon la littérature scientifique, (2) la reproduction de l'éperlan au lac Saint-Jean, (3) les différentes approches de gestion de l'éperlan dans le monde ainsi que les aménagements en milieux aquatique et (4) les perspectives de gestion de l'éperlan au lac Saint-Jean.

De manière générale, les éperlans boréaux (le genre *Osmerus*) sont répartis le long des côtes de l'hémisphère nord, du 45^{e} parallèle nord en montant vers le pôle Nord. Les populations dulcicoles se retrouvent à proximité des secteurs côtiers et, quelquefois, plus en retrait dans le cas de populations ensemencées. La plupart du temps, l'éperlan fraie la nuit au printemps. La reproduction de l'éperlan a été le plus souvent rapportée dans les petits ruisseaux rocheux. Or, de nombreuses études montrent qu'il peut s'accommoder d'une très grande variété de sites de fraie. L'utilisation de sites alternatifs pourrait être plus courante qu'initialement considérée, tant chez les éperlans anadromes que chez les éperlans dulcicoles. Pendant la fraie, les éperlans semblent éviter les sites de forts courants, les substrats avec des particules fines, et les secteurs faiblement oxygénés.

La revue des connaissances et des données disponibles sur les éperlans arc-en-ciel dulcicoles du lac Saint-Jean a permis de situer leur comportement de fraie dans le contexte des observations faites ailleurs dans le monde. La fraie de l'éperlan dulcicole du lac Saint-Jean a lieu au printemps, lorsque l'eau atteint 6 ºC et elle cesse vers 10 ºC. Les frayères à éperlans n'ont jamais été directement identifiées au lac Saint-Jean. Les informations portant sur la distribution des reproducteurs et des larves, sur la génétique des populations, sur le recrutement ainsi que sur la quantification des larves produites dans la rivière Péribonka ont été regroupées et mises en relation. Ces données indiquent que les foyers de production des éperlans du lac Saint-Jean devraient être situés dans le secteur nord-ouest, hors rivière, mais probablement à proximité de leur embouchure. Possiblement sur les hauts-fonds sablonneux qu'on y retrouve. Contrairement à la vision classique du comportement de fraie de l'éperlan arc-en-ciel, il s'avère que l'éperlan du lac Saint-Jean n'utilise pas les petits ruisseaux comme sites de fraie, mais probablement plusieurs autres sites distribués à proximité de l'embouchure des grandes rivières.

À l'exception de l'État du Maine (É.-U.), étonnamment peu d'efforts sont consacrés à la gestion de l'éperlan dulcicole, malgré son rôle reconnu de poisson fourrage. Face à une population en déclin, les actions posées pour le rétablissement varient en fonction des caractéristiques des populations concernées. Aucune action ne semble jamais avoir été menée afin de rétablir des populations indigènes d'éperlans dulcicoles comparables à celles du lac Saint-Jean. De plus, très peu d'aménagements ont étés mis en œuvre en vue de rétablir ou de maintenir une population d'éperlans anadromes, et aucun aménagement pour l'éperlan dulcicole n'a été recensé. Par conséquent, les aménagements prévus pour améliorer la fraie naturelle de l'éperlan au lac Saint-Jean devront être novateurs et adaptés à ses besoins, en prenant en considération les particularités environnementales propres au milieu.

Il est possible d'identifier les facteurs déterminants sur l'implantation d'un aménagement et de son succès par une connaissance préalable du milieu et de l'espèce visée par un aménagement. Trois leviers de gestion permettent d'influencer le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole du lac Saint-Jean. Ces leviers sont les stocks d'éperlans reproducteurs, la prédation par les jeunes ouananiches et le débit de la rivière Péribonka. L'implantation d'aménagements pour favoriser la fraie naturelle des éperlans permet d'atteindre indirectement un de ces leviers, c'est-à-dire d'augmenter les stocks de reproducteurs. Pour maximiser les chances de réussite d'un aménagement, ce dernier doit être situé à proximité des frayères existantes et permettre aux larves d'atteindre facilement les zones d'alevinage. À partir des données disponibles, le secteur des hauts-fonds sablonneux à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka serait le secteur le plus prometteur pour l'éperlan du lac Saint-Jean. Ce constat est formulé par déduction à partir de plusieurs séries de données indirectes. Il ne peut à lui seul supporter un scénario d'aménagement valide. À court terme, un échantillonnage printanier intensif des larves d'éperlans du secteur nord du lac devra valider l'utilisation de ce secteur comme site de fraie et indiquer les foyers de production d'éperlans.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS I
RÉSUMÉ III
TABLE DES MATIÈRES VII
LISTE DES FIGURES XI
LISTE DES TABLEAUX XV
LISTE DES ANNEXES XVII
INTRODUCTION 1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE SUR LA REPRODUCTION DE L'ÉPERLAN DULCICOLE 3
LES ÉPERLANS; UNE MISE EN CONTEXTE 3
REPRODUCTION DE L'ÉPERLAN DULCICOLE 5
Variabilité temporelle 5
Fraie au printemps 5
Fraie la nuit 6
Variabilité spatiale 6
Fraie en eau vive 7
Fraie en lac 8
Frayères atypiques; les hauts-fonds 8
Frayères atypiques; les grandes profondeurs 8
Frayères atypiques; à l'embouchure des rivières 9
VARIABILITÉ DE LA REPRODUCTION EN FONCTION DE L'ÂGE 9
VARIABILITÉ DE LA REPRODUCTION EN FONCTION DE L'ÉCOTYPE 11
Désynchronisation temporelle 11
Ségrégation spatio-temporelle 12
CARACTÉRISTIQUES DES FRAYÈRES 12
INDICATEUR DE REPRODUCTION; LE RATIO DES SEXES 17

EN RÉSUMÉ 18
CHAPITRE 2 : LA FRAIE DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN. 21
MOMENT DE LA FRAIE 21
DURÉE DE LA FRAIE 23
HABITATS DE FRAIE 23
Répartition des reproducteurs et des stades larvaires 24
Le secteur nord-ouest; l'importance des grandes rivières 28
Preuves génétiques 28
Montaisons de reproducteurs 29
Dévalaison et dérive des larves 31
Débit de la rivière Péribonka et recrutement des éperlans 35
Bémol; la quantification 36
Caractéristiques des écotypes 41
Habitat de fraie en fonction des écotypes 41
Ségrégation spatio-temporelle des écotypes en rivière 43
Habitats de fraie potentiels non fréquentés 43
Petits tributaires 43
Grandes profondeurs 44
EN RÉSUMÉ 45
CHAPITRE 3: LA GESTION DE L'ÉPERLAN DANS LE MONDE ET LES AMÉNAGEMENTS DE L'HABITAT DU POISSON 47
LES HAUTS ET LES BAS DE L'ÉPERLAN; UNE RÉFLEXION MONDIALE 47
Populations d'éperlans anadromes de la côte est de l'Amérique du Nord 48
Nouvelle-Angleterre 48
Estuaire du fleuve Saint-Laurent 49
Populations introduites d'éperlans dulcicoles 49

Maine, États-Unis 50

Dakota du Sud, États-Unis 50

Populations naturelles d'éperlans dulcicoles 51

Suède 51

Estonie 52

Nouvelle-Zélande 52

AMÉNAGEMENTS EN MILIEU AQUATIQUE 54

Aménagements de l'habitat du poisson 56

Structures en lac 56

Structures en rivière 58

Aménagements de l'habitat de fraie du poisson 60

Facilitation de la circulation des espèces migratrices vers leurs sites de fraie ... 60

Modifications hydrologiques 60

Amélioration des surfaces de fraie 62

Aménagements pour l'éperlan 66

Critères clés de la conception d'un aménagement ou l'importance d'un aménagement bien pensé 67

Acquisition de connaissances 67

Buts clairs et définis 68

Pensée à long terme et à grande échelle 68

Calculs d'hydrodynamique 69

Suivi des aménagements 69

EN RÉSUMÉ 70

CHAPITRE 4: PERSPECTIVES DE GESTION DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN 71

LEVIERS DE GESTION 71

Prédation par les smolts; l'adoption de cibles de gestion 73
Débit de la rivière Péribonka 74
Stocks de reproducteurs 75
Ensemencements; la méthode directe 75
Aménagements; la méthode indirecte 76
INFORMATIONS PRÉALABLES AUX AMÉNAGEMENTS 76
Capacité de support du lac Saint-Jean 76
Identification du secteur avec le meilleur potentiel de production 77
Validation des secteurs de fraie à petite résolution; une priorité à court terme 81
PERSPECTIVES À MOYEN TERME 82
Demandes de permis 82
Planification du suivi 83
EN RÉSUMÉ 84
CONCLUSION 85
RÉFÉRENCES 87
ANNEXES 105

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Carte de la distribution mondiale du genre *Osmerus*. La répartition d'*Osmerus eperlanus* apparaît en moucheté, celle d'*Osmerus mordax dentex* en noir, et celle d'*Osmerus mordax mordax* en hachuré. Tiré de Nellbring (1989).....4

Figure 1.2 : Distribution de fréquence des tailles des éperlans européens en fonction du site de fraie (A) en réservoir sur les rives de l'île Shumorovskiy, (B) à l'embouchure de la rivière Il'd dans la rivière Volga et (C) dans la rivière Il'd, en amont de son embouchure dans la rivière Volga en Russie. Tiré d'Ivanova et Polovkova (1972).....10

Figure 1.3 : Le pourcentage d'éperlans arc-en-ciel femelles dans les captures totales à chaque nuit de la période de fraie, lac Sparkling au Wisconsin (É.-U.). La section ombragée représente le pic de la fraie. Il n'y a pas de donnée les 29 et 30 avril; la section extrapolée résultante est indiquée en pointillé. Tiré de Lishka et Magnuson (2006). 17

Figure 2.1 : Carte de la distribution de l'abondance des éperlans adultes stadés (individus · nuit-filet^{-1}) au lac Saint-Jean lors d'échantillonnages printaniers entre 1985 et 2007. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance d'éperlans par nuit-filet. Plusieurs stations ont pu être regroupées dans un même point lorsqu'elles étaient échantillonnées dans un même secteur pendant une même période, de façon à alléger la figure. Dans ce cas, le site indiqué correspond à la station avec l'abondance maximale pour la période. Les adultes prêts à la reproduction sont en gris, alors que les autres stades de maturité apparaissent en blanc. Les stations sans capture sont indiquées par une étoile. L'abondance relative des reproducteurs apparaît dans chaque secteur délimité par des pointillés.....26

Figure 2.2 : Carte de la distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m^{-3}) au lac Saint-Jean en juin lors d'échantillonnages entre 1997 et 2010. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance de larves pour chaque station échantillonnée. Les stations sans capture sont indiquées par une étoile. L'abondance relative de larves apparaît dans chaque secteur délimité par les traits en pointillé.....27

Figure 2.3 : La fréquence de taille des éperlans arc-en-ciel adultes (%) depuis l'embouchure des rivières (a) Péribonka et (b) Ashuapmushuan (MRNF données non publiées). Le tronçon de rivière fréquenté par les éperlans est plus long dans la rivière Péribonka que dans l'Ashuapmushuan (11 km versus 3 km). La distribution des tailles des éperlans en rivière à proximité de l'embouchure apparaît en petits traits, alors que la distribution des tailles des éperlans les plus en amont de l'embouchure de la rivière est en trait continu. La distribution des éperlans en tronçon intermédiaire est indiquée par un trait moyen.....30

Figure 2.4 : Distribution de l'abondance des jeunes stades de développement des larves vésiculées d'éperlan arc-en-ciel (stades A et B selon Cooper 1978; annexe 2.4), dans le lac Saint-Jean en 1998 et 1999 (tiré de Gagnon 2005a). La taille des cercles est fonction de l'abondance des larves. Les stades A apparaissent en gris foncé et les stades B, en blanc. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance de larves pour chaque station échantillonnée. Les stations sans capture sont représentées par une étoile.....33

Figure 2.5 : Modélisation des courants des couches de surface du lac Saint-Jean lorsque le vent dominant provient (a) du nord-ouest ou (b) du sud-ouest (tiré de Leclerc 1985). Le modèle est mis au point selon un vent moyen de 6,4 $m \cdot s^{-1}$, pour les deux directions. 34

Figure 2.6 : Relation entre l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ et le débit moyen de la rivière Péribonka lors de la première semaine de juin au lac Saint-Jean, de 1984 à 2008 (mise à jour de Fortin *et al.* 2009). 36

Figure 2.7 : Distribution de l'abondance des jeunes stades de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel en lac (tiré de Gagnon 2005a) en fonction de la bathymétrie du lac en mètres. L'isobathe de 5 m au moment des basses eaux délimite la zone en bleu. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance des larves. Les stades A apparaissent en gris et les stades B, en blanc (stades selon Cooper 1978). Les stations sans capture sont représentées par une étoile.40

Figure 2.8 : Distribution des tailles et de l'âge des éperlans arc-en-ciel ≥ 1+ au lac Saint-Jean en fonction du secteur où ils ont été capturés au printemps (a) Péribonka, (b) Ashuapmushuan, (c) Val-Jalbert et Roberval, et (d) Mistassini. Les données sont cumulées pour toutes les années où l'information est disponible entre 1996 et 2007 (MRNF, données non publiées).....42

Figure 3.1 : Il existe plusieurs approches de gestion des stocks d'éperlans dans le monde. Les pays, états ou provinces qui ont fait l'objet d'une étude de cas apparaissent en gris. 48

Figure 3.2 : Représentation schématisée du contexte de l'implantation d'un aménagement. L'aménagement vise l'augmentation de la production de poissons par l'amélioration ou la réhabilitation de son habitat ou de ses sites de fraie. Un aménagement peut être créé par ajout de structure, de nouveau substrat et/ou en apportant des modifications hydrodynamiques au système. Du point de vue de la pêche sportive, l'aménagement a pour objectif d'augmenter le nombre de captures par unité d'effort (CPUE). 56

Figure 3.3 : Exemples d'ajout de structures dans un plan d'eau afin d'améliorer l'habitat du poisson en étangs, en lacs et en réservoirs. Dans Paquet (1990); adapté de Lowman (1968), Wilbur (1974), et Scalet et Modde (1984). 57

Figure 3.4 : Structures typiquement utilisées en petits et moyens ruisseaux de substrat rocheux, selon Crispin (1988), dans Slaney et Zuldokas (1997). 59

Figure 3.5 : Création d'un chenal de fraie pour la truite arc-en-ciel au lac Wade, Montana (É.-U.). Deux photos du même site, avant la construction du chenal (à gauche) et après (à droite). Tiré du site Internet du *Montana Water Center* (2005).....61

Figure 3.6 : Deux types de digues, *zipper* et *finger*, dans la rivière Kanawha en Virginie occidentale. Les digues brisent les vagues produites par les bateaux, ralentissent les courants, structurent l'habitat des poissons et servent de sites de fraie pour les centrarchidés. Tiré de Hartman et Titus (2010).....62

Figure 3.7 : Création de nouvelles surfaces de fraie pour le doré jaune en aval des surfaces existantes à l'embouchure de la rivière Current, Thunder Bay en Ontario (Area 1, 2 et 3). Des plongeurs ont fouillé la zone grise avant et après l'aménagement afin de faire le décompte des œufs de dorés. Les x indiquent les sites avec des œufs de doré vivants avant l'aménagement (en 1991), les y indiquent les sites avec des œufs vivants après la mise en place des nouveaux substrats de fraie, alors que les z indiquent la présence d'oeufs morts (en 1993). Tiré de Geiling *et al.* (1996). 64

Figure 4.1 : Le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Tiré de Fortin *et al.* (2009).....72

Figure 4.2 : Les leviers de gestion potentiels, d'après le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Les flèches en trait plein indiquent les leviers directs, alors que les flèches en trait discontinu indiquent les leviers indirects. Modification de Fortin *et al.* (2009).....73

Figure 4.3 : Comparaison entre la production de nourriture disponible pour l'éperlan dans le milieu (proies zooplanctoniques) et la consommation de zooplancton par l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean au cours de la période d'eau libre à partir du 15 juin. Tiré de Sirois *et al.* (2011). 77

Figure 4.4 : Succès d'alimentation moyen des larves d'éperlans arc-en-ciel aux stades de développement C à E en fonction de la densité des nauplii de copépodes et des *Diacyclops bicuspidatus thomasi* (individus · L^{-1}) en 1998 (cercles blancs) et 1999 (cercles noirs) au lac Saint-Jean. Tiré de Fortin (2002) avec modifications de Fortin *et al*. (2009). 80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Distribution des âges des éperlans européens reproducteurs sur les sites de fraie de la rivière Volga en Russie, en pourcentage des captures totales par site de fraie, données d'avril et mai 1968-1970. Adapté d'Ivanova et Polovkova (1972).....10

Tableau 1.2 : Caractéristiques des habitats de fraie utilisés par le genre *Osmerus*, telles que répertoriées dans la littérature mondiale. 15

Tableau 1.3 : Résumé des caractéristiques de l'habitat de fraie optimal de l'éperlan arc-en-ciel anadrome et dulcicole. Ce tableau, adapté de Lecomte (2011), est inspiré en partie des critères considérés par l'indice de qualité de l'habitat pour l'éperlan arc-en-ciel anadrome de l'estuaire sud du Saint-Laurent développé par Brassard et Verreault (1995). Les valeurs établies pour les stades larvaires anadromes devraient tenir pour les stades larvaires dulcicoles, puisqu'ils évoluent tous deux en eau douce (encadré pointillé). .16

Tableau 2.1 : Température moyenne de l'eau (ºC) au début de la période de fraie, au pic de fraie et à la fin de la période de fraie de l'éperlan arc-en-ciel pour plusieurs secteurs du lac Saint-Jean (MRNF, non publié). La carte des sites est disponible à l'annexe 2.1.....22

Tableau 2.2 : La relation entre la date estimée de la ponte et la date du dégel du lac Saint-Jean (LSJ). Les dates estimées par le LASA proviennent de rétrocalcul d'âge de larves capturées en lac en juin : « LSJ » regroupe les larves dont on ne connaît pas la rivière d'origine. Le dégel du lac est confirmé par Air Roberval, lorsque 70% de la surface du lac est libre de glace. 22

Tableau 2.3 : La durée moyenne, en jours, de la période de montaison des éperlans arc-en-ciel adultes et la durée moyenne de la dévalaison des larves pour les trois grandes rivières tributaires du lac Saint-Jean (MRNF, non publié).....23

Tableau 2.4 : Longueur totale (mm) et âge (jours) des larves d'éperlan arc-en-ciel en fonction du stade de développement. Les valeurs de références mesurées par Cooper (1978, annexe 2.4) sur des larves du lac Érié apparaissent en gris foncé. Les valeurs mesurées pour les éperlans du lac Saint-Jean sont en blanc. L'âge des larves, en gris pâle, a été calculé d'après l'équation de la relation existante entre l'âge et la longueur totale pour les larves du lac Saint-Jean pêchées entre 2001 et 2004. 35

Tableau 2.5 : Comparaison de l'abondance et du nombre absolu de larves d'éperlan arc-en-ciel capturées en dévalaison dans la rivière Péribonka pour différentes études. En général, lors de l'échantillonnage de 1998, le filet de dérive était mis à l'eau pour une période de 20 minutes par déploiement (en gris pâle). Lors des échantillonnages de 2006 et 2008, le même filet était mis à l'eau pendant au moins une nuit par déploiement (en gris foncé). 37

Tableau 3.1 : Intensité de l'efforts de rétablissement des populations d'éperlans boréaux en fonction de l'intérêt porté à ces populations, des causes probables de leur déclin et de la faisabilité d'un projet de rétablissement. L'interprétation semi-quantitative est la suivante : +++ = beaucoup, ++ = moyennement, + = peu, + (gris) = mentionné, pas de + = inexistant(e). 54

Tableau 3.2 : Caractéristiques fonctionnelles (efficacité, facteurs de succès, lacunes et longévité) des grands types d'aménagement de l'habitat de vie et de fraie des poissons. Adapté de Roni *et al.* (2005); des mises à jour sont indiquées dans le tableau. 65

Tableau 3.3 : Espèces de poissons partageant des habitats de fraie similaires avec l'éperlan. Le rang a été évalué en attribuant des poids aux critères identiques à ceux de l'éperlan, selon la synthèse des caractéristiques de l'habitat de fraie des espèces de poissons des Grands Lacs de Lane *et al.* (1996). 66

Tableau 4.1 : Éperlans arc-en-ciel adultes capturés à la seine au printemps dans la rivière Péribonka entre 2006 et 2008. 76

Tableau 4.2 : Dates de capture des premières larves d'éperlan arc-en-ciel pour différents sites et plusieurs années au lac Saint-Jean (MRNF, données non publiées). La section gris pâle regroupe les sites (masses d'eau) qui présentent sensiblement la même température, alors que la section gris foncé distingue les eaux plus froides de la rivière Péribonka (voir annexe 4.1 pour la température en fonction des masses d'eau). 79

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1.1 : Terminologie utilisée pour faire la classification des particules sédimentaire selon leur taille. Tiré de Wentworth (1922). 107

Annexe 1.2 : Caractéristiques de la période de fraie de l'éperlan dulcicole dans le monde, compilées depuis la littérature scientifique. 109

Annexe 2.1 : Carte du lac Saint-Jean montrant approximativement les secteurs où la température de l'eau a été mesurée au moment du regroupement ou de la montaison des éperlans reproducteurs, selon l'habitat de fraie. 111

Annexe 2.2 : Stades de maturité des gonades chez les poissons selon Nicolsky (1963). ..113

Annexe 2.3 : Données relatives au calcul de l'abondance relative des éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean, à différents stades de vie (larves au printemps, adultes au moment de la reproduction, et adultes en reproduction (stade 5, Nicolsky 1963). Les cellules grises indiquent l'écart-type. 115

Annexe 2.4 : Développement des larves d'éperlan arc-en-ciel. Les lettres indiquent le stade : (A) Protolarve, à la sortie de l'oeuf, 5 mm; (B) protolarve, 5,6 mm; (C) protolarve, 6,3 mm; (D) protolarve, 9,3 mm; (E) mesolarve, 14 mm; (F) mesolarve, 17 mm; (G) mesolarve, 22 mm; (H) metalarve, 30 mm; (I) juvénile, 36 mm. Tiré de Cooper (1978). 117

Annexe 2.5 : Abondance relative des éperlans arc-en-ciel (A) 0+ et (B) ≥ 1+ provenant du suivi annuel de l'abondance des éperlans au lac Saint-Jean (M. Legault, données non-publiées). 119

Annexe 4.1 : Température des différentes masses d'eau au printemps 2001. La température de l'eau est similaire pour les rivières Mistassini (noir continu) et Ashuapmushuan (gris pointillé), ainsi que dans le lac Saint-Jean (Roberval, noir pointillé). Par contre, la température de l'eau à l'embouchure de la rivière Péribonka (gris continu) est toujours plus basse au cours du mois de mai. Ce patron se répète pour toutes les années où les mesures sont disponibles (MRNF, données non publiées). 121

Annexe 4.2 : Liste des principaux permis et autorisations à obtenir, selon les caractéristiques du projet d'aménagement. Tiré de FFQ et MEF (1996). 122

INTRODUCTION

La pêche sportive au lac Saint-Jean est un moteur économique important pour la région et contribue à l'offre touristique régionale. Elle revêt aussi une importance culturelle. La ouananiche et le doré jaune sont les espèces de poissons sportifs les plus recherchées par les pêcheurs. La quantité et la qualité des prises varient en fonction de l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel, un poisson fourrage jouant un rôle primordial dans l'alimentation de la ouananiche, et dans une moindre mesure, du doré. Or, la production d'éperlans est limitée par la qualité et la quantité des frayères, qui limite à son tour la production de ouananiche. Le doré, moins sélectif dans son alimentation, échappe probablement à cette règle. Les calculs de production planctonique (la nourriture de l'éperlan) ont démontré qu'une augmentation de la production d'éperlans serait possible, sans pour autant dérégler l'équilibre avec les communautés zooplanctoniques du lac. Conséquemment, le *Plan de gestion 2011-2020 de la ouananiche, du doré jaune, de la lotte et de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean*, développé conjointement par la CLAP et par la Direction régionale du MRNF, prévoit qu'il faut privilégier l'amélioration des frayères existantes ou procéder à l'aménagement de nouvelles frayères à éperlans dans le but de nourrir la ouananiche et supporter les stocks d'éperlans en période de faible abondance. Préalablement à cette démarche, le comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêcherie dans l'Aire faunique communautaire du lac Saint-Jean a jugé primordial de consolider les connaissances sur l'écologie reproductive de l'éperlan dulcicole du lac Saint-Jean. Les objectifs initiaux étaient de produire une revue de la littérature sur la reproduction de l'éperlan dulcicole, de recenser des aménagements visant l'augmentation de la production des éperlans, de faire l'analyse des données disponibles sur la reproduction de l'éperlan du lac Saint-Jean et, enfin, d'adapter et proposer des aménagements rencontrant les spécificités du lac Saint-Jean.

Les objectifs initiaux ont été modifiés en cours de projet. Contrairement aux attentes, il a été impossible de recenser un aménagement mis en place pour favoriser la fraie de l'éperlan dulcicole. Ce constat a du même coup limité le bassin attendu d'expertise et de savoir-faire en termes d'aménagements adaptés à l'éperlan dulcicole. Conséquemment, il est d'autant plus important de disposer d'une solide connaissance du milieu et des espèces visées par les aménagements, puisqu'il est impossible d'inférer à partir d'expériences similaires ailleurs dans le monde.

Le présent document propose une étude de cas en quatre chapitres. Les deux premiers chapitres dressent le portrait du comportement de reproduction de l'éperlan. Le premier chapitre constitue une revue de la littérature scientifique du comportement reproductif des éperlans boréaux, avec emphase sur les particularités de l'éperlan dulcicole. Le second chapitre décortique les connaissances et les données disponibles sur les éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Du même coup, il situe le comportement de fraie observé chez les éperlans du lac Saint-Jean dans le contexte des observations faites ailleurs dans le monde. Les chapitres suivants portent sur les aménagements possibles pour l'éperlan. Ainsi, le troisième chapitre s'attarde aux différentes approches de gestion de l'éperlan dans le monde, par une revue de l'état de divers stocks d'éperlans, suivi d'une revue générale des aménagements en milieu aquatique. Enfin, le quatrième chapitre intègre les trois chapitres précédents en vue de proposer des modalités de gestion de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE SUR LA REPRODUCTION DE L'ÉPERLAN DULCICOLE

LES ÉPERLANS; UNE MISE EN CONTEXTE

En définition générale, l'éperlan est un petit poisson fourrage argenté d'environ 15 cm de long. L'ordre des osmériformes regroupe 13 familles dont les retropinnidés (éperlans australx), les osméridés (éperlans boréaux), les plecoglossidés et les galaxiidés (Froese et Pauly 2011; *i.e.* FishBase). Plusieurs noms scientifiques ont été utilisés pour décrire les espèces du genre *Osmerus*. Les taxonomistes s'entendent dorénavant sur l'existence de trois grands ensembles : *Osmerus eperlanus*, *Osmerus mordax mordax* et *Osmerus mordax dentex*; respectivement l'éperlan européen, l'éperlan arc-en-ciel et l'éperlan du nord (Scott et Crossman 1974; Froese et Pauly 2011). À l'intérieur de chacun de ces groupes, sauf sous la forme *dentex*, se retrouvent les types anadrome et d'eau douce. En eau douce, on retrouve aussi des types nains vivant en allopatrie et sympatrie avec les types dits normaux.

L'éperlan européen, *O. eperlanus,* habite les côtes de l'ouest et du nord de l'Europe, allant de Virgo en Espagne à sa limite sud, à la mer Baltique, en passant par les îles de la Grande-Bretagne (figure 1.1). Des *O. eperlanus* d'eau douce sont retrouvés en Angleterre, au Danemark, en Norvège, en Russie et dans les régions entourant la mer Baltique. Il a aussi été introduit dans certains lacs du nord de l'Europe (Nellbring 1989). *O. mordax mordax* est quant à lui retrouvé uniquement en Amérique. La forme anadrome habite la côte est américaine, du New Jersey au Labrador, alors que la forme d'eau douce est distribuée dans les provinces et états côtiers, comme le Québec, le Nouveau-Brunswick, Terre-Neuve, le Maine et le New Hampshire. Depuis leur introduction dans le lac Crystal, Michigan, en 1912 (Van Oosten 1937), l'éperlan arc-en-ciel s'est implanté dans les Grands Lacs et jusque dans le bassin versant du fleuve Mississippi (Scott et Crossman 1974). L'éperlan arc-en-ciel a aussi été introduit volontairement dans de nombreux lacs du Canada et des États-Unis afin d'alimenter les poissons sportifs (Scott et Crossman

1974; Pellerin 2001). Quant à *O. mordax dentex*, sa distribution s'étend de la Mer Blanche (nord de la Russie) jusqu'à la Corée, en passant par les côtes de la Sibérie et les îles du nord du Japon (Nellbring 1989). On retrouve aussi *O. m. dentex* sur les côtes nord et ouest de l'Amérique du Nord, de l'île de Vancouver au delta du fleuve Mackenzie (Scott et Crossman 1974).

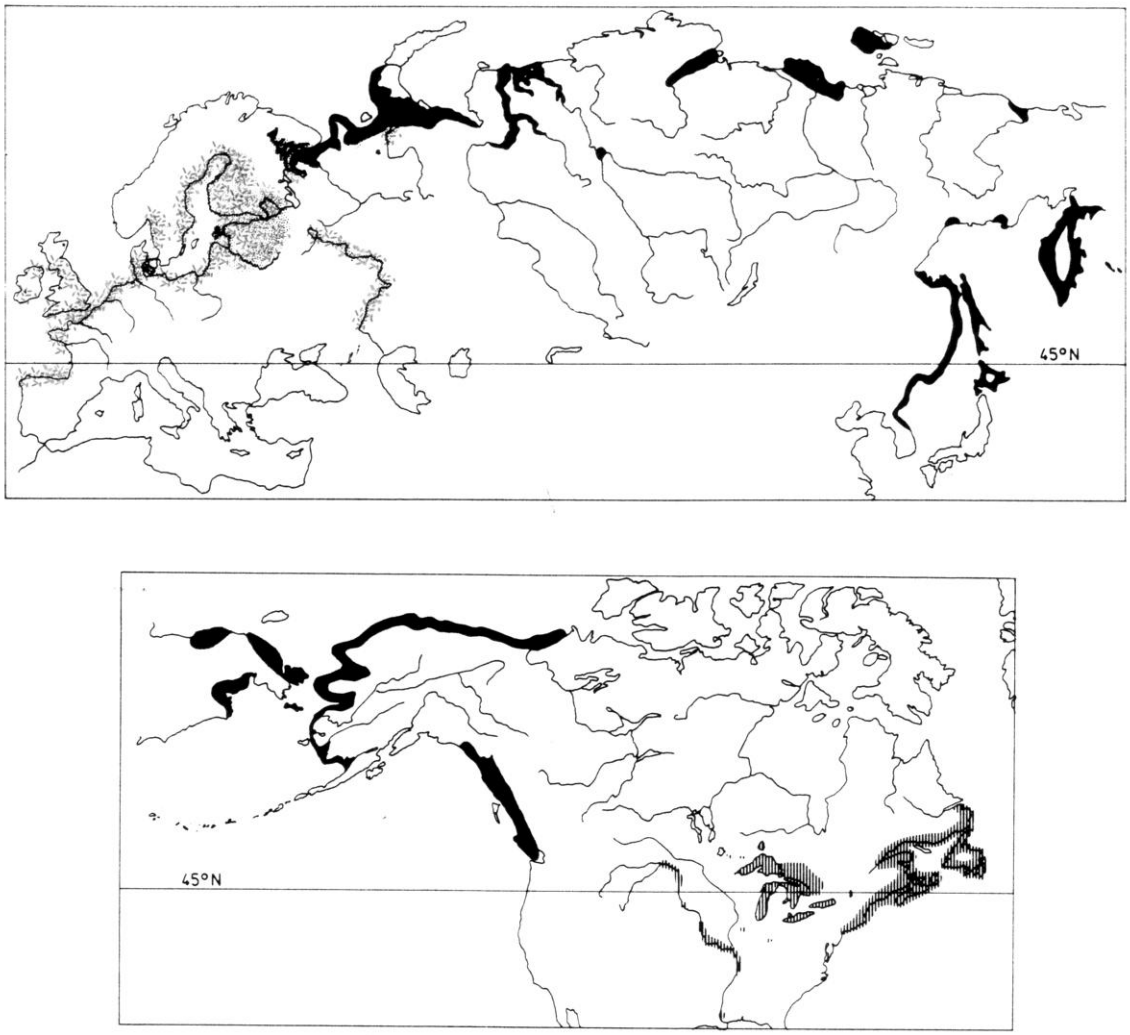


Figure 1.1 : Carte de la distribution mondiale du genre *Osmerus*. La répartition d'*Osmerus eperlanus* apparaît en moucheté, celle d'*Osmerus mordax dentex* en noir, et celle d'*Osmerus mordax mordax* en hachuré. Tiré de Nellbring (1989).

L'éperlan est une espèce de poisson anadrome, c'est-à-dire qu'il vit en mer et ne revient en eau douce que pour se reproduire. Comme d'autres espèces anadromes (le gaspareau et le saumon de l'Atlantique), l'éperlan peut passer la totalité de son cycle de vie en eau douce, en vivant en lac et en se reproduisant dans les cours d'eau. L'éperlan d'eau douce occupe

différents habitats lacustres selon son stade de développement. Les larves se maintiennent le long des rives au printemps et migrent à l'automne en eaux plus profondes, où elles passent l'année qui suit en tant que juvéniles (1+). Les adultes se maintiennent en profondeur près de la thermocline ou en-dessous (Nellbring 1989; Lane *et al.* 1996).

REPRODUCTION DE L'ÉPERLAN DULCICOLE

Traditionnellement, la biologie reproductive de l'éperlan lacustre a été décrite comme la version en eau douce de celle de l'éperlan anadrome. Or, une panoplie de comportements de reproduction ont été décrits pour l'éperlan dulcicole. Il semble que plusieurs de ces alternatives à la reproduction classique en ruisseau, après la fonte des glaces, jouent un rôle important pour le maintien de certaines populations d'éperlans lacustres. La période de fraie des éperlans dulcicoles peut varier dans le temps, dans l'espace, mais aussi selon l'âge et l'écotype des éperlans.

Pour les fins de la présente revue de littérature, il ne sera question que des variétés d'éperlans d'eau douce, *O. mordax mordax* ou *O. eperlanus*, à moins d'indications contraires.

Variabilité temporelle

Fraie au printemps

Dans les Grands Lacs, où il s'est naturalisé, la fraie de l'éperlan a été observée seulement au printemps, en lac ou dans les affluents, alors que la température de l'eau oscille entre 1 et 18 °C (Lane *et al.* 1996). La période de fraie s'étend sur tout au plus un mois, avec un pic de montaison de quelques jours (Belyanina 1969; Scott et Crossman 1974). À partir des données de montaison de 114 lacs à éperlan du Maine, Rupp (1959) a conclu que la fraie a toujours lieu au printemps, mais que le moment exact varie (1) d'un lac à l'autre, (2) d'une année à l'autre à l'intérieur d'un même lac et (3) d'un site à l'autre dans un même lac. Il est généralement accepté que la variation dans l'initiation de la période de fraie est attribuable à l'élévation rapide de la température de l'eau. Par exemple, la montaison des

éperlans dans les rivières Boyer, dans le Bas Saint-Laurent, et Miramichi, au Nouveau-Brunswick, s'amorce lorsque l'eau atteint 4 °C (Robitaille et Vigneault 1990; McKenzie 1964). Un patron similaire est observé dans les petits tributaires du lac Kénogami (Bourassa et Lesage 1973). Les éperlans de la rivière Saguenay sont en migration à la hauteur de Chicoutimi lorsque la température de l'eau atteint 6 °C (M. Valentine, comm. pers.). Néanmoins, ce rôle de la température de l'eau sur l'initiation de la fraie ne fait pas l'unanimité. Rupp (1965) conclut qu'il y a inconsistance entre l'initiation de la fraie et la température de l'eau, car dans plusieurs cas, la fraie s'est amorcée avant la fonte des glaces, alors que la température du lac est à son plus bas. Son avis est partagé par Simon (1990), pour la même raison. Dans une perspective plus globale, il est généralement entendu que la fraie des éperlans débute lorsque l'eau atteint environ 4 °C et que le pic des activités de fraie a lieu entre 6 et 9 °C (Belyanina 1969; Becker 1983).

Fraie la nuit

La fraie de l'éperlan a lieu la nuit, quelques heures après la tombée du jour (Belyanina, 1969; Scott et Crossman 1974; Nellbring 1989). Il peut y avoir plus d'une montaison par nuit (Hoover 1936). Pourtant, il existe quelques mentions de fraie diurne, généralement rapportées par des pêcheurs ou des gardiens de rivières. Il arrive que les éperlans mâles demeurent sur le site de fraie pendant la journée (Hoover 1936; Baldwin 1950), ce qui peut mener à une fausse interprétation du comportement. À l'issu d'une enquête sur le sujet en 1958, les agents de la faune responsable du suivi de la fraie de l'éperlan du Maine ont rapporté 21 montaisons diurnes sur les 69 lacs où l'information était disponible, sans pour autant confirmer la fraie à la suite de la montaison (Rupp 1959).

Variabilité spatiale

Historiquement, l'éperlan, du type anadrome particulièrement, a été reconnu pour frayer principalement en ruisseaux et petites rivières. Il apparaît peu à peu que les sites considérés comme alternatifs pourraient jouer un rôle beaucoup plus important que ce qui était estimé jusqu'à maintenant (Lecomte 2011; Legault et Lecomte 2011). Conséquemment, l'utilisation d'habitats de fraie alternatifs pourrait être beaucoup plus courante qu'estimée aussi pour l'éperlan dulcicole. La fraie de l'éperlan dulcicole a été

documentée en eau vive, dans les ruisseaux et les petites rivières, ainsi qu'en lac, à l'embouchure des rivières et ruisseaux, sur les rives, sur les hauts-fonds et en profondeur. Bref, plusieurs types d'habitats lotiques ou lentiques peuvent être utilisés pendant la période de fraie par l'éperlan dulcicole.

Fraie en eau vive

Tout comme sa variante anadrome, l'éperlan d'eau douce fraie généralement en environnements lotiques, que ce soit en ruisseaux, en rivières ou dans les affluents de grandes rivières. Il s'agit du comportement reproductif le mieux connu et documenté, puisqu'il est le plus facile à détecter et qu'il est suivi par les pêcheurs. Dans la littérature, on retrouve principalement des descriptions de fraie de l'éperlan arc-en-ciel en petits ruisseaux. Kendall (1926) rapporte l'utilisation de ruisseaux par les populations d'éperlans d'eau douce du Maine et de la Nouvelle-Angleterre. Au Saguenay-Lac-Saint-Jean, la fraie en ruisseaux est documentée dans le lac Kénogami (Bourassa et Lesage 1973). Les ruisseaux sont souvent le seul type de cours d'eau disponible pour l'éperlan dulcicole (ex : lacs Belgrade et Sebago, Maine, etc.). Les faibles courants des ruisseaux sont avantageux pour les éperlans, car leur capacité natatoire est limitée (vitesse maximale atteinte : 2 $m \cdot s^{-1}$; Brassard et Verreault 1995).

La fraie en rivière est surtout documentée pour l'éperlan anadrome. Chez ces derniers, les plus gros éperlans vont frayer plus en amont et remontent la rivière plus tôt : rivière Miramichi (McKenzie 1964) et fleuve Amour (Poduchko 1970). Néanmoins, des comportements similaires ont étés rapportés concernant les éperlans du réservoir Rybinsk, un élargissement de la Volga, en Russie (Ivanova et Polovkova 1972). De plus, Rothschild (1961) a remarqué que l'abondance des œufs ainsi que leur survie augmentaient en s'éloignant de l'embouchure du ruisseau vers l'amont, jusqu'à l'atteinte d'un obstacle infranchissable pour l'éperlan.

Fraie en lac

L'éperlan d'eau douce peut utiliser des environnements lentiques comme sites de fraie, que le lac soit pourvu ou non de ruisseaux et de rivières. La fraie a déjà été documentée sur les rives des lacs, sur les hauts-fonds, tout au fond des lacs et à l'embouchure des rivières. Par contre, il n'existe pas d'explication satisfaisante quant au choix d'un site par rapport à un autre.

On doit une description très détaillée de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel sur les rives du lac Branch, Maine, à Rupp (1965). Le déroulement est plus ou moins similaire à ce qui peut se passer en rivière (Hoover 1936). Les éperlans s'approchent de la rive dès le coucher du soleil, des petits groupes se forment près de la surface et évoluent le long de la rive. Les groupes grossissent au fur et à mesure qu'ils sont rejoints par d'autres éperlans. Lors de la fraie, le banc d'éperlans peut se déplacer le long de la rive, créant une circulation continuelle d'éperlans (arrivée et départ). La survie des œufs pondus sur les rives est comparable à celle des œufs pondus en ruisseaux (Rupp 1965).

Frayères atypiques; les hauts-fonds

La fraie sur les hauts-fonds est rarement observée, quoi qu'elle pourrait être plus commune qu'estimée sur les hauts-fonds de gravier et récifs (Simon 1990; Lecomte 2011). Scott et Crossman (1974) notent que les hauts-fonds sont utilisés par les éperlans lorsque le temps est orageux pendant la période de la reproduction dans les Grands Lacs.

Frayères atypiques; les grandes profondeurs

Après des décennies de recherche du site de fraie des éperlans, le *Department of Environmental Conservation* de l'État de New York a découvert, à la fin des années 70, que les éperlans du lac Champlain fraient en profondeur. Le site et la profondeur exacts varient d'année en année, mais en général, les éperlans fraient à des profondeurs de 14 à 29 m, entre la fin avril et le début mai dans la baie North West, près de Wesport, NY (Plosila 1984, He et LaBar 1994). Le lac Champlain a une profondeur moyenne de 19,5 m et une profondeur maximale de 122 m (Lake Champlain Basin Atlas 2004). Ces observations ne sont pas anecdotiques. On retrouve la fraie en profondeur ailleurs, entre autres dans les lacs de Carélie, en Russie, où des œufs d'éperlans ont été répertoriés

jusqu'à des profondeurs de 17 m (Stefanovskaiya 1957). Au lac Heney en Outaouais, la population normale d'éperlans fraie à plus de 6 m de profondeur sous la glace entre mars et avril, dans une baie profonde. Le lac Heney a une profondeur moyenne de 18 m et une profondeur maximale de 35 m (Legault et Delisle 1968).

Frayères atypiques; à l'embouchure des rivières

Les mentions de populations d'éperlans utilisant l'embouchure des rivières comme site de fraie proviennent essentiellement de la Russie, grâce à la revue sur la biologie de l'éperlan de Belyanina (1969). D'après Ivanova et Polovkova (1972), il serait peut être plus approprié de considérer l'utilisation de l'embouchure des rivières par les éperlans comme faisant partie d'un gradient d'utilisation des rivières. Ce concept sera expliqué dans la prochaine section.

VARIABILITÉ DE LA REPRODUCTION EN FONCTION DE L'ÂGE

Les recherches d'Ivanova et Polovkova (1972) sur *O. eperlanus* dans le réservoir de Rybinsk en Russie montrent que le site de reproduction utilisé diffère en fonction de l'âge des éperlans, ce qui crée un gradient d'utilisation de la rivière (tableau 1.1). La tendance est d'autant plus claire lorsque l'on étudie la distribution des longueurs en fonction du site de reproduction utilisé (figure 1.2). Les éperlans qui en sont à leur première fraie restent dans le réservoir et fraient près des rives ou à l'embouchure des ruisseaux et rivières du réservoir, sous quelques mètres d'eau. Le substrat de ces sites de fraie est variable. Les reproducteurs multiples (de plus de deux ans) sont quant à eux assez gros pour remonter la rivière jusqu'à la frayère principale. Cette dernière est moins profonde que les frayères en lac, et caractérisée par un mélange de sable et de roches. La fraie a lieu moins d'une semaine plus tôt dans la rivière que dans le réservoir.

Tableau 1.1 : Distribution des âges des éperlans européens reproducteurs sur les sites de fraie de la rivière Volga en Russie, en pourcentage des captures totales par site de fraie, données d'avril et mai 1968-1970. Adapté d'Ivanova et Polovkova (1972).

Sites de fraie		% des captures pour chaque groupe d'âge (ans)				
		1	2	3	4	5
Rivière	Amont	22	29,5	34	13,2	1,3
Réservoir	Embouchure	37,5	26,8	31,4	4,7	-
	Rive (île)	77,5	16	6,5	-	-

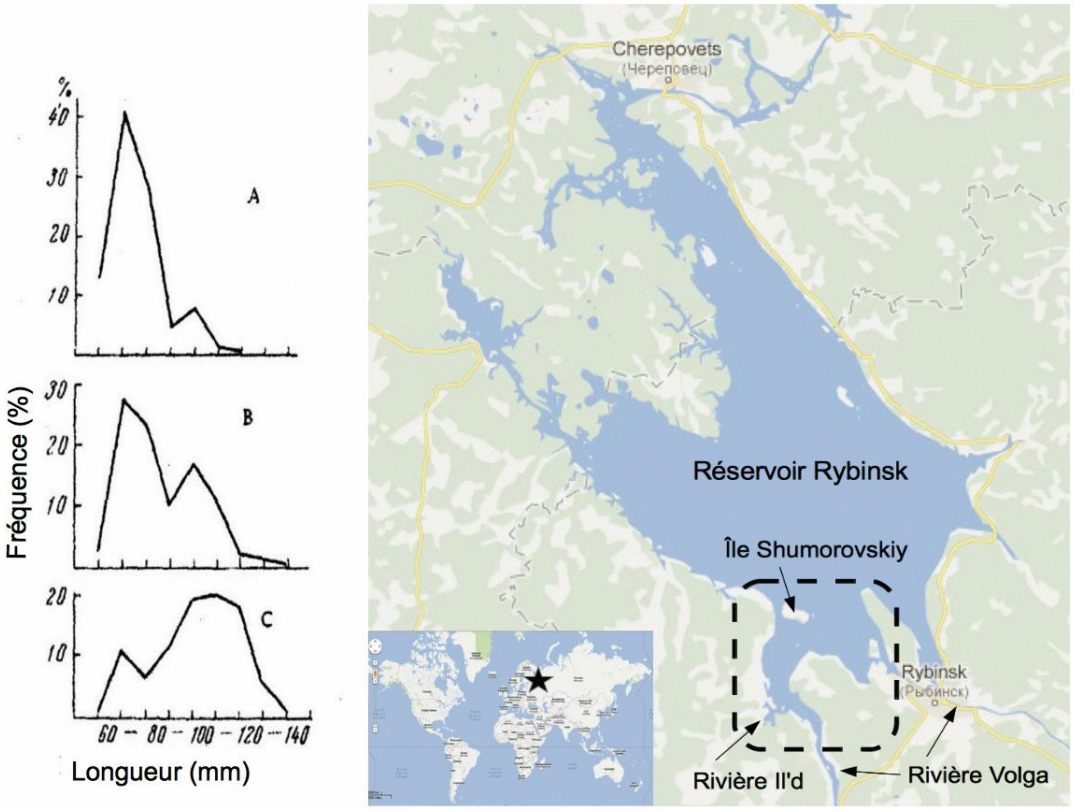


Figure 1.2 : Distribution de fréquence des tailles des éperlans européens en fonction du site de fraie (A) en réservoir sur les rives de l'île Shumorovskiy, (B) à l'embouchure de la rivière Il'd dans la rivière Volga et (C) dans la rivière Il'd, en amont de son embouchure dans la rivière Volga en Russie. Tiré d'Ivanova et Polovkova (1972).

VARIABILITÉ DE LA REPRODUCTION EN FONCTION DE L'ÉCOTYPE

Certains lacs abritent deux écotypes d'éperlans, différentiables par leurs caractéristiques morphologiques, biologiques et génétiques. On y retrouve une population dite normale, faite d'éperlans de grandes tailles pouvant se reproduire plus d'une fois au cours de leur vie (itéropares), qui vit en sympatrie avec une population naine, constituée d'individus de petites tailles et se reproduisant qu'une seule fois au cours de leur vie (sémelpares). C'est le cas du lac Saint-Jean (Saint-Laurent *et al.* 2003), de certains lacs de la péninsule d'Avalon à Terre-Neuve (Bruce 1975), du lac Utopia au Nouveau-Brunswick (Taylor et Bentzen 1993), pour ne nommer que ceux-ci. En général, il y a une légère désynchronisation dans le temps de la fraie, combinée ou non avec une ségrégation spatiale. Or au lac Saint-Jean, les deux écotypes partagent la même région de fraie, à la même période (Saint-Laurent *et al.* 2003).

Désynchronisation temporelle

La désynchronisation temporelle de la fraie des deux écotypes d'éperlans partageant un même site de fraie est couramment rapportée dans la littérature. Dans ses notes sur la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel, Kendall (1926) mentionne que les éperlans de la variété normale du lac Green, Maine, précèdent ceux de la variété naine d'environ un mois sur le site de fraie (données pour 1906, 1921 à 1923). Plus récemment, Bruce (1975) a observé que la population normale de la Black River Pond, péninsule d'Avalon à Terre-Neuve, fraie environ deux semaines avant la population naine. Dans la littérature, il est généralement observé que les éperlans plus gros et plus âgés fraient avant les plus petits (Belyanina 1969; Scott et Crossman 1974).

Ségrégation spatio-temporelle

La désynchronisation de la fraie des deux écotypes d'éperlans dans l'espace et le temps est plus rare, mais elle est rapportée à quelques endroits. Au lac Heney, Québec, la population naine fraie dans les ruisseaux après la fonte des glaces, alors que la population normale fraie à plus de 6 m sous la glace (Legault et Delisle 1968). La ségrégation spatio-temporelle de la fraie est aussi rapportée par Reuter 1883 (dans Kendall 1926) pour *O. eperlanus* dans les lacs de la Finlande. Ce dernier rapporte que la variété normale choisit les eaux rapides et profondes pour frayer, alors que la variété naine utilise les talus ou les plages peu profondes des lacs et fraie avant la variété normale. Dans sa revue de la biologie des éperlans de 1969 (à l'époque, les trois grandes espèces d'éperlans étaient toutes considérées comme étant des sous-espèces d'*O. eperlanus*), Belyanina souligne, entre autres, que les écotypes nains et normaux ne fraient ni au même moment, ni au même endroit. Les formes naines n'ayant jamais à migrer pour atteindre les sites de fraie, alors que les formes normales effectuent des migrations plus ou moins longues. Quoique contestable, cette affirmation met en évidence l'éventail des comportements reproductifs des deux écotypes d'éperlans.

CARACTÉRISTIQUES DES FRAYÈRES

La grande revue des habitats de reproduction des poissons des Grands Lacs, Lane *et al.* (1996) rapportent que les éperlans des Grands Lacs fraient en substrat ouvert, plus ou moins profond, généralement composé de galets, de gravier ou de sable, bien qu'ils utilisent aussi les fonds rocheux, mais rarement les fonds vaseux et les plantes aquatiques. Cette description correspond plutôt bien à ce qu'on peut retrouver ailleurs dans la littérature et ce, indépendamment du type de site de fraie choisi (rives, ruisseaux, rivières, etc.; voir tableau 1.2). Dans ses travaux de caractérisation des habitats de reproduction des éperlans anadromes de la côte du Massachusetts, Chase (2006) conclut que les gros galets de 10 à 20 cm de diamètres sont probablement plus appropriés que les petits. Les gros galets témoignent d'un courant suffisant pour éviter la sédimentation, ils offrent suffisamment de surface pour le dépôt des oeufs, et facilitent leur oxygénation.

Aucune expérience n'a été menée pour déterminer le type de substrat qui accorde une meilleure survie aux œufs d'éperlan. Par contre, il est démontré dans la littérature que la disponibilité de l'oxygène dissous joue un rôle clé dans la survie des embryons. Les œufs agissent comme des puits à oxygène, c'est-à-dire que la concentration d'oxygène autour des œufs peut être beaucoup plus faible que dans l'eau environnante, puisque l'oxygène dissous diffuse constamment à travers l'enveloppe externe de l'oeuf afin d'alimenter l'embryon en oxygène (Daykin 1965; Rombough 1988; Walsh *et al.* 1989). Les œufs sont alors particulièrement sensibles à de faibles concentrations d'oxygène dissous dans le milieu (Fuda *et al.* 2007). Les facteurs limitant la disponibilité de l'oxygène dissous pour les oeufs, tels que la présence de substrat fin et l'empilement des œufs (Mckenzie 1947), vont être critiques pour la survie des embryons. La question des sédiments est étroitement liée à la disponibilité de l'oxygène. Selon Whyatt *et al.* (2010), les oeufs recouverts de sédiments consomment un taux plus élevé d'oxygène que les oeufs sans sédiment. De plus, la consommation d'oxygène augmente avec l'âge de l'embryon. Or, le transport d'oxygène vers l'embryon est compliqué par le faible gradient de concentration de l'oxygène présent dans les sédiments. De plus, les sédiments peuvent physiquement bloquer le transfert d'oxygène en adhérant à la surface des oeufs (Louhi *et al.* 2008).

Les courants, qui déplacent les sédiments et assurent un renouvellement en oxygène, augmentent la survie des oeufs. En se basant sur les observations en ruisseau, les courants sur les sites de fraie des éperlans anadromes seraient de l'ordre de 0,3 à 1 $m \cdot s^{-1}$. Chase (2006) émet l'hypothèse que la survie optimale des œufs doit avoir lieu sous des courants de 0,5 à 0,8 $m \cdot s^{-1}$.

Enfin, les éperlans eux-mêmes semblent avoir une préférence pour les substrats de galets quand vient le moment de frayer. Le choix du site de fraie est attribué aux femelles, puisque c'est à l'arrivée de ces dernières qu'une sélection entre des substrats de gravier, sable et limon peut être détectée (Lishka et Magnuson 2006, voir tableau 1.2). Tous ne sont pas de cet avis. En se référant à l'abondance des œufs sur différents substrats de fraie, Rupp (1965) conclut qu'il n'y a pas de différences entre les sites. Cette conclusion peut être remise en question puisque les trois catégories de substrat choisies par Rupp couvrent un spectre très limité de substrats, *i.e.* (1) gravats, (2) sable, et (3) gravier + sable, et que les sites à l'étude ont été initialement choisis par Rupp pour la présence d'oeufs.

Les caractéristiques des frayères énumérées précédemment ont été mises en évidence pour les éperlans anadromes ou les éperlans dulcicoles, ou encore les deux à la fois (tableau 1.3). La terminologie relative au substrat en fonction de la taille des particules est décrite en annexe 1.1, selon Wentworth (1922).

Tableau 1.2 : Caractéristiques des habitats de fraie utilisés par le genre *Osmerus*, telles que répertoriées dans la littérature mondiale.

HABITATS	PRO-FONDEUR (m)	SUBSTRAT	COURANT ($m \cdot s^{-1}$)	MOMENT	SUCCÈS D'ÉCLOSION (%)	RÉGION OU LAC	SOURCE	NOTES
Embouchure	4	Sable				Réservoir Rybinsk, Russie	Ivanova et Polovkova 1972	1ere reproduction
En profondeur	9-12					Lac Heney	Legault et Delisle 1968	
En profondeur	14-29	Argile				Lac Champlain	Plosila 1984	
Petites rivières		Galets, gravier, cailloux	0,42			Rivières de l'Écluse et aux Rats	Lapointe 2002	
Rive	< 0,6	Sable, gravier		Nuit	1-2	Lac Branch, Maine	Rupp 1965	
Rive	3-5	Sable, gravier et débris				Réservoir Rybinsk, Russie	Ivanova et Polovkova 1972	1ere reproduction
Rive		Galets				Lac Sparkling, Wisconsin	Lischka et Magnuson 2006	Sélectivité de substrat en fraie
Rivière	0,3-3	Sable et galets	0,2-0,4			Réservoir Rybinsk, Russie	Ivanova et Polovkova 1972	Vieux reproducteurs
Ruisseau		Cailloux		Nuit		New Hampshire	Hoover 1936	
Ruisseau				Nuit		Baie Sud, île Manitoulin, Ont.	Baldwin 1950	
Ruisseau	0,6-1,2	Sable, gravier, limon en aval		Nuit	0,5 % des oeufs pondus ou 2 % des oeufs survivants	Ruisseau Dean, Maine	Rothschild 1961	
Ruisseau	0,06-0,15			Nuit		Lac Kénogami	Bourassa et Lesage 1973	
EN RÉSUMÉ								
Habitats varié	**0 à 29 m**	**Argile à rochers**	**0,2 à 0,4 $m \cdot s^{-1}$**	**Nuit**	**< 2 %**			

Tableau 1.3 : Résumé des caractéristiques de l'habitat de fraie optimal de l'éperlan arc-en-ciel anadrome et dulcicole. Ce tableau, adapté de Lecomte (2011), est inspiré en partie des critères considérés par l'indice de qualité de l'habitat pour l'éperlan arc-en-ciel anadrome de l'estuaire sud du Saint-Laurent développé par Brassard et Verreault (1995). Les valeurs établies pour les stades larvaires anadromes devraient tenir pour les stades larvaires dulcicoles, puisqu'ils évoluent tous deux en eau douce (encadré pointillé).

	ÉPERLAN ANADROME			ÉPERLAN DULCICOLE		
VARIABLE	MIN. - MAX.	OPTIMUM	RÉFÉRENCES	MIN. - MAX.	OPTIMUM	RÉFÉRENCES
SUBSTRAT	Sable, gravier, cailloux, galets	Gravier et galets; 10-20 cm	Brassard et Verreault 1995; Chase 2006	Sable, gravier, cailloux, galets	Galets	Tbl 1.2; Lane *et al.* 1996; Lischka et Magnuson 2006
SALINITÉ (‰)	< 20	0 à 15	Ayer *et al.* 2005; Fuda *et al.* 2007	n.a.	n.a.	n.a.
OXYGÈNE DISSOUS (%)	20 à 100	100	Fuda *et al.* 2007	20 à 100	100	Fuda *et al.* 2007
pH	> 5	6,5 à 9	Fuda *et al.* 2007; Geffen 1990; Brassard et Verreault 1995	> 5	6,5 à 9	Fuda *et al.* 2007; Geffen 1990; Brassard et Verreault 1995
MATIÈRE EN SUSPENSION ($mg \cdot L^{-1}$)	0 à 25		Brassard et Verreault 1995	0 à 25		Brassard et Verreault 1995
NITRATES ($mg \cdot L^{-1}$)	0 à 29,2	0 à 29,2	Fuda *et al.* 2007	0 à 29,2	0 à 29,2	Fuda *et al.* 2007
PHOSPHATES ($mg \cdot L^{-1}$)	0 à 4,2	0 à 4,2	Fuda *et al.* 2007	0 à 4,2	0 à 4,2	Fuda *et al.* 2007
TEMPÉRATURE DE L'EAU (°C)	> 4	6 à 9; 10 à 15	Belyanina 1969; Becker 1983; Chase 2006	1 à 18	5,4 à 9,9	Lane *et al.*1996; annexe 1.2
COURANTS ($m \cdot s^{-1}$)	< 2	0,2 à 1,05; 0,5 à 0,8	Brassard et Verreault 1995; Chase 2006	< 2	0,2 à 0,42	Ivanova et Polovkova 1972; Lapointe 2002
PROFONDEUR (m)		0,5 à 1	Brassard et Verreault 1995	0,3 à 29		Tbl 1.2; Ivanova et Polovkova 1972; Plosila 1984

INDICATEUR DE REPRODUCTION; LE RATIO DES SEXES

Le ratio des sexes est un indicateur très important et fiable de la progression de la période de reproduction (figure 1.3). Les mâles sont les premiers à arriver dans la zone de fraie et les derniers à la quitter. Ils y forment des groupes et se déplacent sans patron apparent, cherchant les fosses abritées pendant le jour. Les femelles restent en aval ou dans les fosses plus profondes jusqu'au moment de la fraie et se dirigent vers les frayères à la tombée de la nuit. On ne les retrouve en abondance qu'aux environs du pic de la fraie, car elles quittent la zone de fraie pour le large une fois tous les œufs expulsés (Kendall 1926; Hoover 1936; Lischka et Magnuson 2006). La fraie débute lorsqu'il y a moins de quatre mâles pour une femelle et le nombre de femelles augmente par la suite (Hoover 1936). Le pic de la fraie correspond aux captures maximales et à un ratio mâles/femelles de près de un pour un (Lischka et Magnuson 2006). Les femelles n'expulsent qu'une cinquantaine d'œufs à la fois, sur une capacité de 1400 à 7000 œufs (Hoover 1936). Elles reviennet plusieurs fois au site de fraie avant de quitter définitivement le secteur.

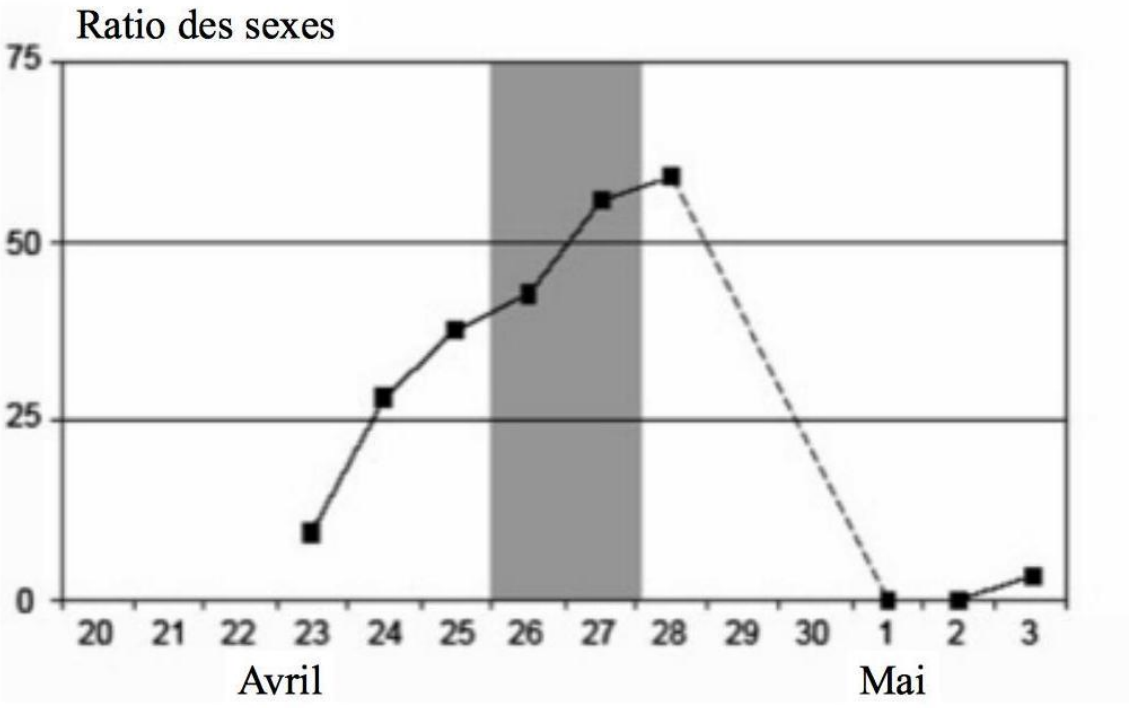


Figure 1.3 : Le pourcentage d'éperlans arc-en-ciel femelles dans les captures totales à chaque nuit de la période de fraie, lac Sparkling au Wisconsin (É.-U.). La section ombragée représente le pic de la fraie. Il n'y a pas de donnée les 29 et 30 avril; la section extrapolée résultante est indiquée en pointillé. Tiré de Lishka et Magnuson (2006).

EN RÉSUMÉ

Même si les éperlans retournent frayer dans une même région d'année en année, le site même de reproduction ainsi que le moment de la reproduction sont variables. D'une nuit à l'autre, les œufs peuvent être déposés à des endroits différents. Ces variations pourraient être attribuables aux conditions locales de courants et de niveau d'eau (Rothschild 1961; Bruce 1975).

En ce qui concerne l'éperlan anadrome, la revue de la littérature de Brassard et Verreault (1995) a permis d'isoler trois grands critères de sélection du site de fraie en environnement lotique : (1) un substrat varié avec préférence pour le gravier fin à grossier, mais jamais d'algues ou de particules fines; (2) un courant entre 0,6-0,8 $m \cdot s^{-1}$, car les éperlans peuvent atteindre une vitesse maximale de 2 $m \cdot s^{-1}$; et (3) une profondeur variant entre 10 et 120 cm. Enfin, la présence de fosses en aval pour permettre la protection et l'accumulation des reproducteurs peut s'avérer importante. La vitesse du courant est un paramètre essentiel pour caractériser les sites de fraie en cours d'eau des éperlans anadromes. Les courants observés sur les sites de fraie des éperlans de la mer Blanche, Russie, varient de 0,3 à 2 $m \cdot s^{-1}$ (Belyanina 1969), alors que les travaux de Chase (2006) sur l'éperlan de la côte du Massachusetts indiquent que des courants entre 0,5 et 0,8 $m \cdot s^{-1}$ sont optimaux pour la survie des œufs. Or ce portrait pourrait être différent. Des indices laissent croire à l'utilisation de sites alternatifs chez l'éperlan anadrome (Lecomte 2011; Legault et Lecomte 2011). Par exemple, la profondeur maximale des œufs devrait être révisée puisque les éperlans du Saguenay fraient jusqu'à 8 m de profondeur dans le secteur Haut-Saguenay (Lesueur 2004).

La liste des critères de sélection du site de fraie se complexifie pour l'éperlan d'eau douce, étant donné la diversité des sites de fraie. Pour les éperlans d'eau douce frayant en environnement lotique, il faut s'attendre à des critères de sélection du site similaires à ceux retrouvés chez les éperlans anadromes, soit un substrat varié avec préférence pour le gravier et les galets et un courant entre 0,5 et 0,8 $m \cdot s^{-1}$. Chez les éperlans frayant en environnement lentiques, il y a place à la spéculation. L'oxygénation des œufs semble être le critère clé des caractéristiques optimales des frayères en cours d'eau. Il est

probable que ce critère soit tout aussi important à considérer en environnement lentique. La proximité de l'embouchure d'une rivière ou d'un ruisseau assure un flux d'oxygène dissous, mais le ralentissement des courants peut entraîner le dépôt de particules fines qui peut étouffer les œufs. Près des rives, la circulation de l'oxygène dissous ainsi que le nettoyage des particules fines sont assurés par l'action des vagues. En cas de grands vents, la survie des œufs peut être compromise, c'est du moins ce qui a été observé pour le doré (Bozek *et al.* 2011). Enfin, certaines zones en profondeur peuvent devenir anoxiques au cours de l'hiver et de l'été, dû à la stratification thermique qui limite les échanges entre les couches d'eau (Lampert et Sommer 1997). L'éperlan qui fraie dès le dégel en profondeur profiterait de la réoxygénation de la colonne d'eau par le brassage printanier, mais le développement des embryons serait ralenti par la température plus froide des profondeurs.

CHAPITRE 2 : LA FRAIE DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN

Une revue exhaustive des connaissances sur la biologie et l'écologie de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean a été produite par Fortin *et al*. (2009), afin de regrouper et d'intégrer dans un même document les résultats des recherches des quinze dernières années. Le présent chapitre ne veut en aucun cas répéter des sections de ce document. Il cherche plutôt à colliger les informations concernant la fraie de l'éperlan au lac Saint-Jean. La majorité de ces informations et données provient des travaux du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), du Laboratoire des sciences aquatiques de l'Université du Québec à Chicoutimi (LASA), mais aussi de rapports commandés par Rio Tinto Alcan et Hydro-Québec, ainsi que de publications scientifiques.

MOMENT DE LA FRAIE

Plusieurs indices, comme la présence de reproducteurs prêts à frayer en mai, la présence de larves de la fin mai à la mi-juin et le rétrocalcul de l'âge en jours des 0+ capturés dans le lac au mois d'août, indiquent que la fraie de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean a lieu au printemps, après la fonte des glaces. Le moment exact de la fraie varie d'année en année, mais peut être étroitement mis en lien avec la température de l'eau (tableau 2.1) et, indirectement, avec la date du dégel du lac. Au lac Saint-Jean, la ponte a lieu en moyenne une semaine après le dégel du lac, lorsque l'eau atteint les 6 ºC (tableaux 2.1 et 2.2). Le réchauffement n'est pas uniforme à tous les sites, par exemple, la rivière Péribonka réchauffe plus lentement que le lac et les autres grandes rivières (Gagnon 2005a; annexe 4.1). Ce seuil à 6 ºC est conforme avec ce qui est mentionné dans la littérature. Il correspond aussi a ce qui a été observé chez l'éperlan anadrome de la rive sud du St-Laurent (entre 5 et 9 ºC; Carrier *et al.* 1982; Giroux *et al.* 1990) chez l'éperlan dulcicole du lac Kénogami (entre 4 et 10 ºC; Bourassa et Lesage 1973), et ailleurs (Hoover 1936; McKenzie 1964). L'étude des degrés-jours n'a pas été considérée par manque de données de température de l'eau pour les périodes précédant la fraie.

Tableau 2.1 : Température moyenne de l'eau (ºC) au début de la période de fraie, au pic de fraie et à la fin de la période de fraie de l'éperlan arc-en-ciel pour plusieurs secteurs du lac Saint-Jean (MRNF, non publié). La carte des sites est disponible à l'annexe 2.1.

SECTEURS	TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'EAU (ºC)		
	Début	Pic	Fin
Ashuapmushuan	7,9	9,0	10,5
Baie aux dorés	5,8		8,0
Mistassini	7,7		12,7
Ouiatchouaniche	6,9		10,9
Péribonka	6,3	7,4	8,8
Pointe aux pins	7,0		
Pointe Chambord	5,8		7,8
Roberval			15,0
Val-Jalbert	6,6	9,5	10,9
Moyenne	**6,6**	**8,1**	**10,1**

Tableau 2.2 : La relation entre la date estimée de la ponte et la date du dégel du lac Saint-Jean (LSJ). Les dates estimées par le LASA proviennent de rétrocalcul d'âge de larves capturées en lac en juin : « LSJ » regroupe les larves dont on ne connaît pas la rivière d'origine. Le dégel du lac est confirmé par Air Roberval, lorsque 70% de la surface du lac est libre de glace.

ANNÉE	LIEU	PONTE ESTIMÉE	DÉGEL DATE	DÉGEL DIFFÉRENCE (Jours)	SOURCE
1998	Péribonka	11 mai	3 mai	8	Gagnon 2005a
1998	Ashuapmushuan	6 mai	3 mai	3	Gagnon 2005a
1999	Ashuapmushuan	16 mai	8 mai	8	Gagnon 2005a
1999	Mistassini	18 mai	8 mai	10	Gagnon 2005a
2006	Péribonka	7 mai	26 avr.	11	Gauthier 2007
2001	LSJ	14 mai	9 mai	6	LASA, non pub.
2003	LSJ	16 mai	13 mai	4	LASA, non pub.
2001	Péribonka	18 mai	9 mai	9	LASA, non pub.
2003	Péribonka	20 mai	13 mai	7	LASA, non pub.
			Moyenne	7	
			Minimum	3	
			Maximum	11	
			Variance	**8**	
			Écart-type	**3**	

DURÉE DE LA FRAIE

Des éperlans adultes ont été capturés dans les grandes rivières (Péribonka, Ashuapmushuan et Mistassini) et à proximité de leur embouchure pendant une période moyenne de quatre à douze jours selon la rivière (tableau 2.3). Puisque les mâles précèdent les femelles sur les sites de fraie et que les éperlans sont aussi capturés suivant la fraie, cette estimation surestime légèrement la véritable durée de la fraie. D'autre part, la durée de la dévalaison des larves correspond sensiblement à la durée de la période de fraie. La dévalaison des larves dans les grandes rivières s'étend sur plus de sept jours dans la rivière Péribonka et sur trois jours dans les rivières Ashuapmushuan et Mistassini. Les faibles abondances d'éperlans adultes et de larves dans les rivières Ashuapmushuan et Mistassini sont vraisemblablement responsables des apparentes différences de durée de la période de fraie et de la dévalaison des larves. Dans ces derniers cas, seuls les pics d'abondance sont captés par les engins de pêche. De plus, les données pour ces rivières sont limitées à deux printemps et un printemps respectivement, ce qui limite la généralisation. Tout comme l'initiation de la fraie, la durée de la fraie est fonction de la température de l'eau, l'activité cessant en moyenne après 10 ºC (tableau 2.1).

Tableau 2.3 : La durée moyenne, en jours, de la période de montaison des éperlans arc-en-ciel adultes et la durée moyenne de la dévalaison des larves pour les trois grandes rivières tributaires du lac Saint-Jean (MRNF, non publié).

SECTEURS	DURÉE MOYENNE (jours)	
	Montaison adultes	Dévalaison larves
Ashuapmushuan	3,5	2,5
Mistassini	7,0	2,0
Péribonka	11,6	9,7

HABITATS DE FRAIE

Contrairement à ce qui a longtemps été considéré comme la norme, l'habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel ne se limite pas à de petits ruisseaux caillouteux. Avec le temps, le cumul des connaissances et les échantillonnages variés, il a été mis en évidence que l'éperlan dulcicole, tout comme l'éperlan anadrome, peut s'accommoder d'une variété

d'environnements (voir tableau 1.3), et c'est le constat auquel on arrive au lac Saint-Jean. Malgré les efforts déployés, les frayères à éperlans du lac Saint-Jean n'ont jamais été localisées de façon formelle. Par contre, plusieurs zones ont été identifiées comme appropriées pour la fraie de l'éperlan. La section qui suit abordera différents aspects des frayères à éperlans du lac Saint-Jean. D'abord par l'étude de la distribution des reproducteurs en période de fraie (1995 à 2000 et 2003 à 2007, MRNF non publié; 2008, Environnement illimité 2009) et des larves dans les semaines suivant la fraie, sur plusieurs années (1997 à 2000 et 2005 à 2006, MRNF non publié; 2001 à 2004, LASA non publié; 2008, Environnement illimité; 2010, Cleary non publié). Ensuite, par la compilation des études faites sur les éperlans du lac Saint-Jean. Ces dernières démontrent toutes l'importance du grand secteur nord-ouest pour la production d'éperlans. Enfin, par l'étude des habitudes de fraie variées de l'éperlan dulcicole, et par l'élimination des comportements de reproduction alternatifs qui, à la lumière des données disponibles, ne sont pas adoptés par les éperlans du lac Saint-Jean.

Répartition des reproducteurs et des stades larvaires

Les grandes rivières tributaires du lac Saint-Jean et la plupart des rives du lac ont été échantillonnées au fil des années à l'aide de seines et de filets, afin de capturer des adultes reproducteurs au printemps ou des larves en dérive au début de juin. Étant donné l'étendue du plan d'eau et la quantité de données disponibles, le lac a été arbitrairement divisé en quatre secteurs pour identifier ceux qui contribuent le plus à la reproduction. Les secteurs ont été délimités de façon à regrouper des zones avec des similarités, plutôt que de diviser le lac en quatre quarts de surface égale. Le secteur nord-ouest est caractérisé par l'action des grandes rivières, sa limite sud étant la pointe de Roberval et sa limite est, le changement d'inclinaison de la Pointe-Taillon. La section sud-ouest regroupe toute la côte de Roberval et s'étend à l'est jusqu'après Chambord. La frontière entre les secteurs nord-est et sud-est rencontre la rive à la moitié de l'île d'Alma.

Globalement, les plus fortes abondances relatives d'éperlans adultes prêts à se reproduire (stade 5 selon Nikolsky 1963; annexe 2.2) se retrouvent dans le secteur nord-ouest du lac, suivi du secteur sud-ouest (figure 2.1). La tendance inverse est observée pour la

répartition des larves en juin, tous stades de développement confondus (figure 2.2; détails sous l'annexe 2.3). L'abondance relative correspond au nombre total d'éperlans capturés en fonction de l'effort total d'échantillonnage pour un site ou un secteur. La grande région ouest a généralement été plus échantillonnée que la grande région est, tout particulièrement en ce qui a trait aux reproducteurs. Ces derniers n'ont pas été échantillonnés dans la grande région est. Cependant, la faible abondance de larves d'éperlan en juin du côté est suggère que peu d'effort de reproduction a lieu dans cette moitié du lac (figure 2.2).

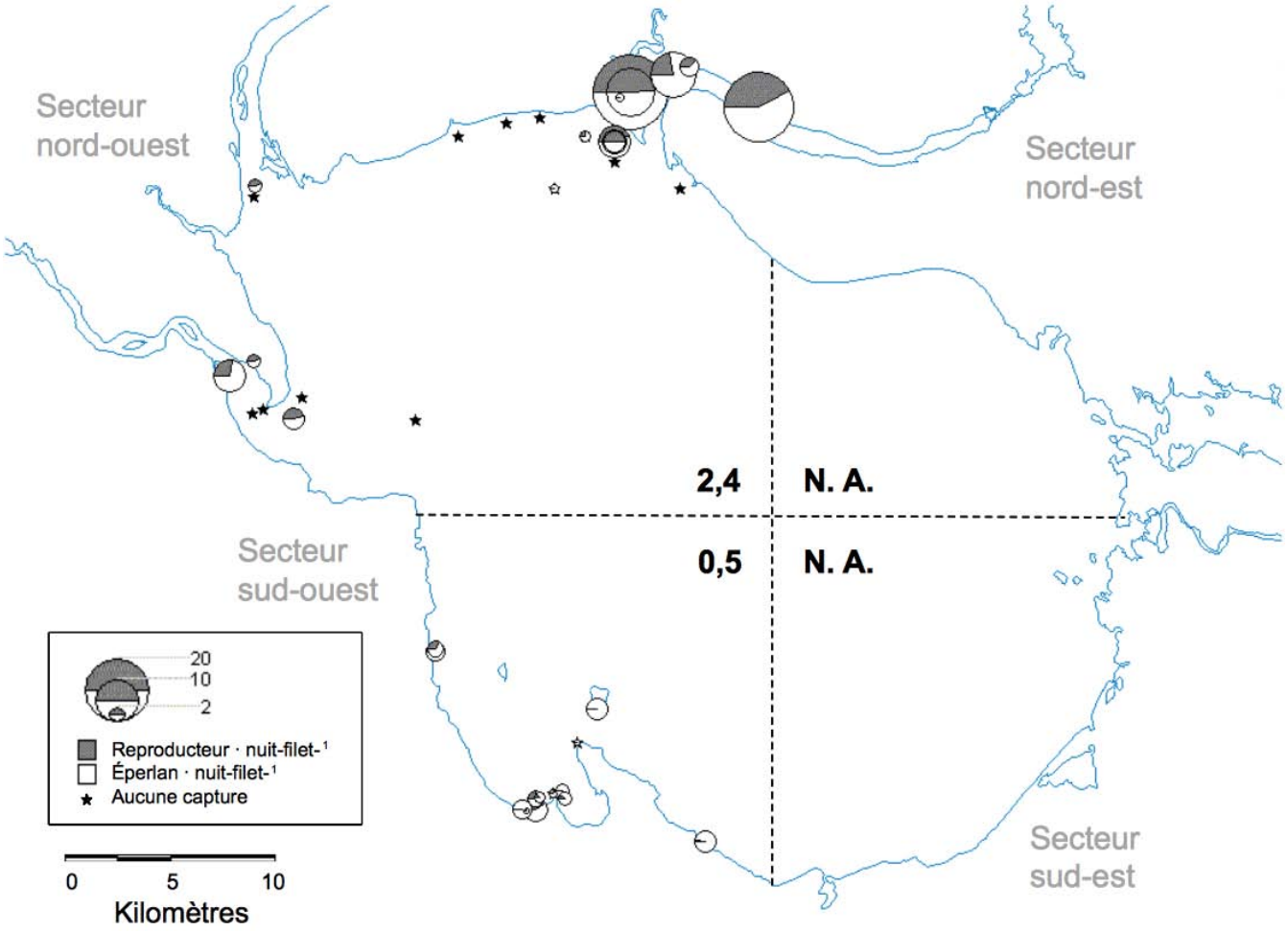


Figure 2.1 : Carte de la distribution de l'abondance des éperlans adultes stadés (individus · nuit-filet^{-1}) au lac Saint-Jean lors d'échantillonnages printaniers entre 1985 et 2007. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance d'éperlans par nuit-filet. Plusieurs stations ont pu être regroupées dans un même point lorsqu'elles étaient échantillonnées dans un même secteur pendant une même période, de façon à alléger la figure. Dans ce cas, le site indiqué correspond à la station avec l'abondance maximale pour la période. Les adultes prêts à la reproduction sont en gris, alors que les autres stades de maturité apparaissent en blanc. Les stations sans capture sont indiquées par une étoile. L'abondance relative des reproducteurs apparaît dans chaque secteur délimité par des pointillés.

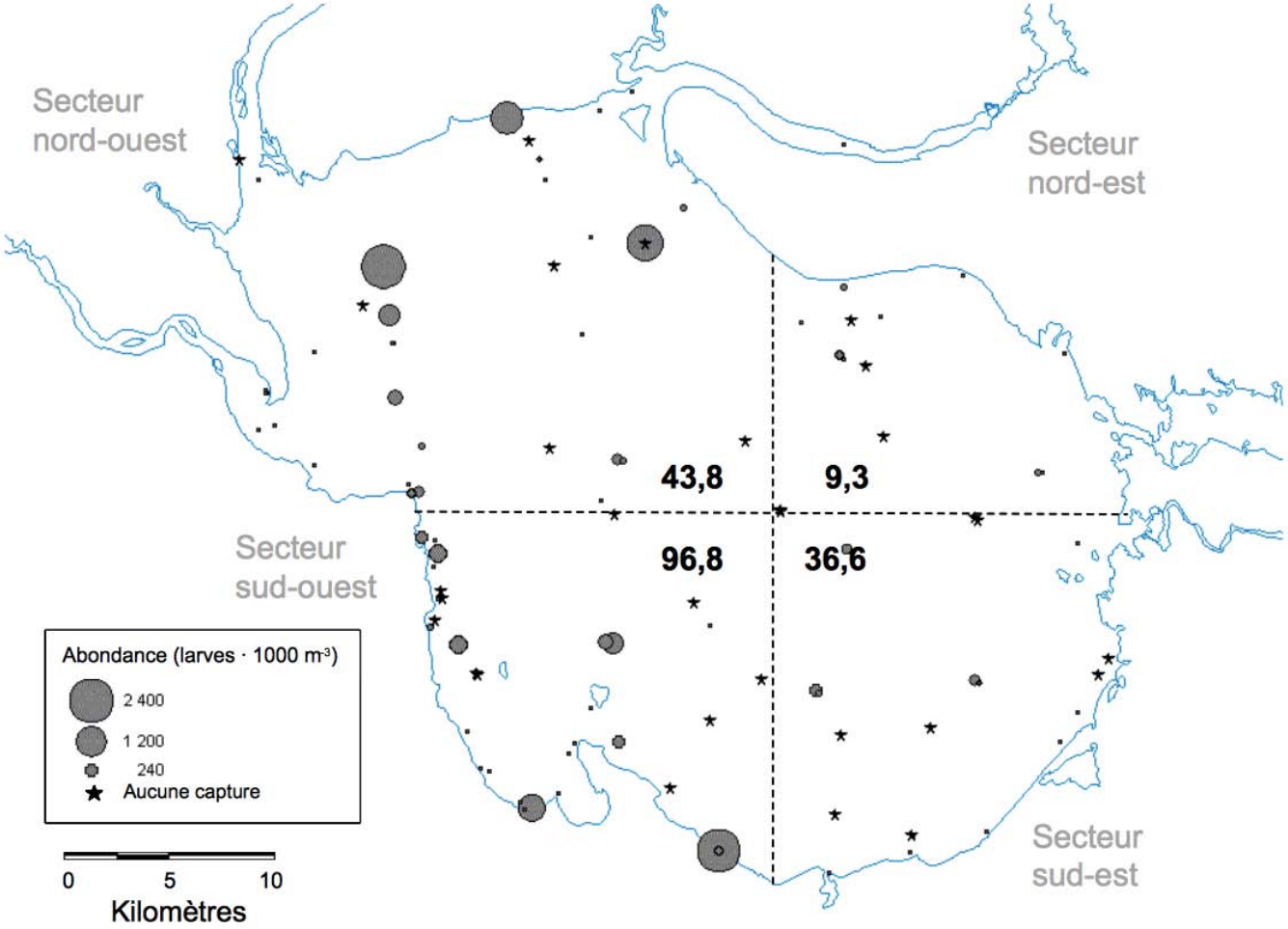


Figure 2.2 : Carte de la distribution de l'abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (larves · 1000 m^{-3}) au lac Saint-Jean en juin lors d'échantillonnages entre 1997 et 2010. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance de larves pour chaque station échantillonnée. Les stations sans capture sont indiquées par une étoile. L'abondance relative de larves apparaît dans chaque secteur délimité par les traits en pointillé.

Dans la région ouest du lac Saint-Jean, les éperlans reproducteurs ont été pêchés majoritairement dans la rivière Péribonka ainsi qu'à son embouchure, et dans une moindre mesure, à l'embouchure des rivières Ashuapmushuan et Mistassini. Un très grand effort de pêche a été déployé dans la rivière Péribonka comparativement à ce qui a été fait dans les autres rivières, et dans les autres secteurs en lac. Néanmoins, le rendement de pêche est nettement plus important dans la rivière Péribonka. Des éperlans reproducteurs sont aussi retrouvés au printemps à différents endroits tout le long de la rive sud-ouest du lac, aux alentours de l'embouchure de la rivière Ouiatchouan. Comme mentionné plus tôt, aucune frayère n'a encore été identifiée au lac Saint-Jean. Par contre, de tels regroupements de reproducteurs indiquent la proximité de sites de fraie. Il n'existe vraisemblablement pas de frayère fixe, mais plutôt une zone de fraie pour laquelle le site exact de la frayère varie d'année en année selon les conditions de courant, un comportement bien documenté ailleurs (Rothschild 1961; Bruce 1975; Brassard et Verreault 1995).

Le secteur nord-ouest; l'importance des grandes rivières

Plusieurs facteurs indiquent l'importance du secteur des grandes rivières, en particulier la région de la rivière Péribonka, pour la production d'éperlans. Ces indices proviennent de l'étude de la génétique des populations, de la répartition des reproducteurs et des larves d'éperlan, du recrutement et de la quantification de la production de larves dans la rivière Péribonka.

Preuves génétiques

L'analyse du profil génétique des éperlans reproducteurs capturés dans l'embouchure de la rivière Péribonka et près de la rivière Ashuapmushuan montre que quatre populations d'éperlans ont pu être identifiées au lac Saint-Jean : deux populations (une population d'éperlans nains et une population d'éperlans normaux) sont associées à la rivière Péribonka, alors que les deux autres (naines et normales) sont attribuées à la grande région de l'Ashuapmushuan et de la Mistassini. Quoique distinctes, ces populations sont faiblement différenciées génétiquement et il existe un taux de migration important entre les populations à chaque événement de reproduction (Bernatchez et Saint-Laurent 2003).

L'analyse génétique des éperlans 1+ dans les contenus stomacaux de ouananiche sur quatre ans (1997, 1999, 2001 et 2002) a révélé que la totalité des éperlans 1+ consommés appartiennent à la population naine de la rivière Péribonka, peu importe la provenance de la ouananiche dans le lac. Or, l'information équivalente pour les éperlans 0+ (la tranche d'âge subissant le plus la pression de prédation par la ouananiche à partir de la fin juillet selon Lefebvre, 2003) est toujours inconnue, ce qui empêche de confirmer l'apparente dominance de la population naine de la rivière Péribonka au lac Saint-Jean (Bernatchez et Saint-Laurent 2003; Fortin *et al.* 2009).

Montaisons de reproducteurs

Les rassemblements de reproducteurs sur les rives du lac Saint-Jean et à l'embouchure des grandes rivières ainsi que leur répartition dans celles-ci ont été suivis par des échantillonnages aux filets par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune entre 1996 et 2000. La montaison des reproducteurs dans la rivière Péribonka a été documentée de 1998 à 2000 et de 2002 à 2008. La région de la Péribonka présente la plus grande abondance moyenne de reproducteurs, comparativement aux autres grandes rivières et aux rives du secteur sud-ouest (figure 2.1). Ce ne sont pas tous les éperlans qui remontent les rivières sur quelques kilomètres. En fait, les poissons sont généralement capturés à proximité de l'embouchure. Dans les rivières Péribonka et Ashuapmushuan, on retrouve une plus grande proportion de petits éperlans à proximité de l'embouchure, alors que les plus fortes proportions de gros éperlans, tous stades de maturité confondus, sont retrouvées plus en amont (figure 2.3). Ce type de ségrégation spatiale, vraisemblablement liée au fait que les éperlans plus gros peuvent combattre de plus forts courants, a été mis en évidence par Ivanova et Polovkova (1972, voir figure 1.2).

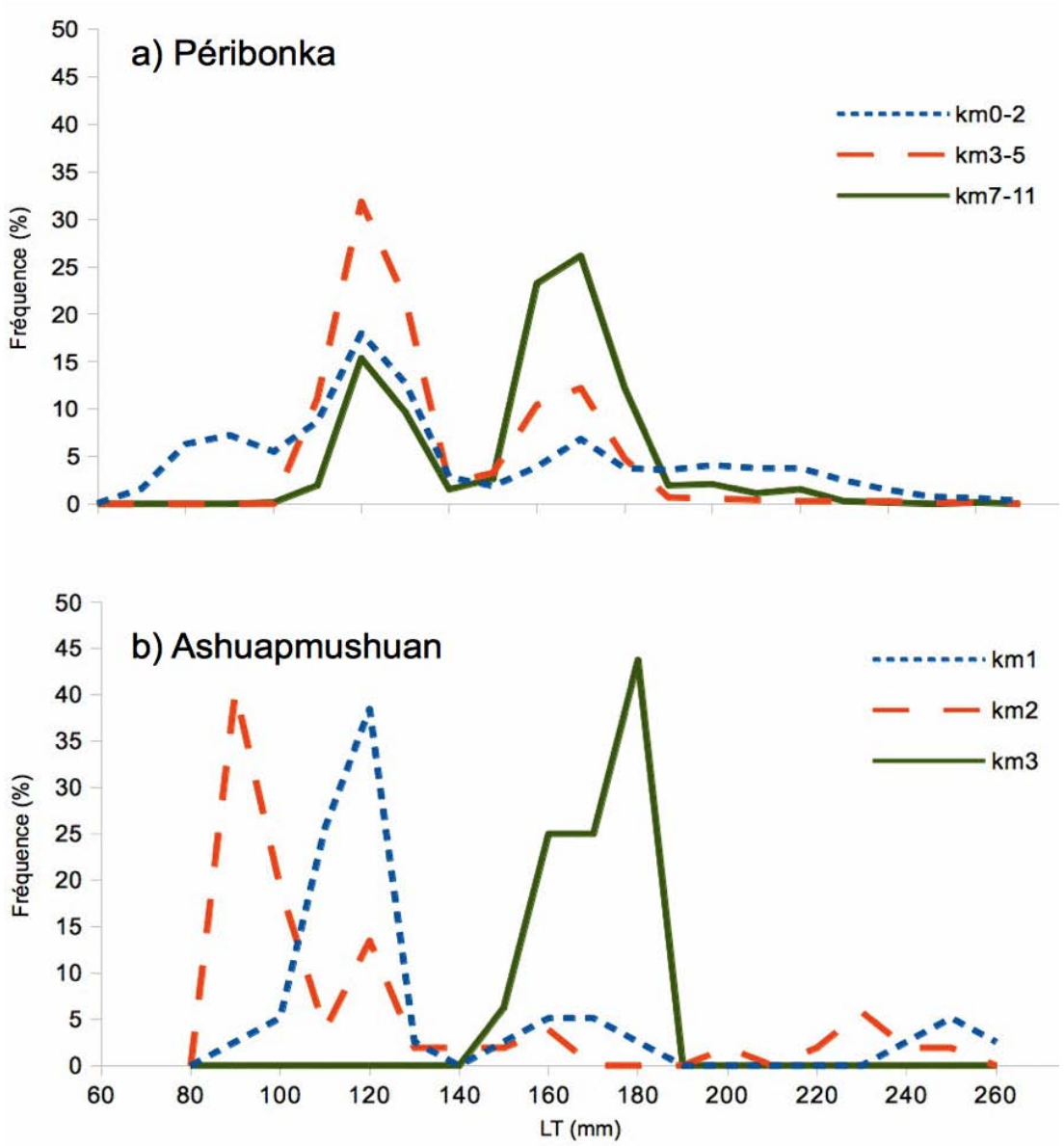


Figure 2.3 : La fréquence de taille des éperlans arc-en-ciel adultes (%) depuis l'embouchure des rivières (a) Péribonka et (b) Ashuapmushuan (MRNF données non publiées). Le tronçon de rivière fréquenté par les éperlans est plus long dans la rivière Péribonka que dans l'Ashuapmushuan (11 km versus 3 km). La distribution des tailles des éperlans en rivière à proximité de l'embouchure apparaît en petits traits, alors que la distribution des tailles des éperlans les plus en amont de l'embouchure de la rivière est en trait continu. La distribution des éperlans en tronçon intermédiaire est indiquée par un trait moyen.

Dévalaison et dérive des larves

Le suivi de la dévalaison des larves d'éperlan sert de complément au suivi de la montaison des reproducteurs. Les larves sont plus abondantes à dévaler la rivière Péribonka que les rivières Ashuapmushuan et Mistassini (Gagnon 2005a). En lac, de fortes abondances de larves vitellées aux stades A et B se retrouvent dans le secteur nord-ouest, à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka (figure 2.4; stades larvaires de l'éperlan selon Cooper 1978 en annexe 2.4). Il est par contre impossible d'en déduire leur origine précise (rivière, embouchure ou lac).

Vu sa grande surface et sa faible profondeur, le lac Saint-Jean est fortement soumis à l'influence des vents. La dérive des larves dans les courants semble y jouer un rôle dominant. Selon les moyennes climatiques des mois de mai et juin 1970 à 2000 et le modèle de circulation des masses d'eau dans le lac Saint-Jean (figure 2.5, selon Leclerc 1985), le courant moyen en surface serait de l'ordre de 8 km par jour avec un vent dominant de l'ouest. En théorie, une larve pourrait passer de l'embouchure de la rivière Péribonka, vers la pointe Scott, puis la pointe Chambord et enfin jusqu'à la Grande Décharge en huit jours seulement.

Il existe peu d'information sur le stade à partir duquel les larves sont capables de se déplacer activement horizontalement dans la masse d'eau. Wallus *et al.* (1990) dénotent une capacité d'évitement lorsque les larves atteignent 20 mm, alors que A.-L. Fortin (comm. pers.) a observé que les stades F au lac Saint-Jean (14,7 mm en 1999, Fortin 2002) semblent éviter un filet conique de 50 cm de diamètre. D'après les rétrocalculs faits à partir des otolithes des larves d'éperlan du lac Saint-Jean pêchées entre 2001 et 2004, les larves mesurant entre 14 et 20 mm (stades F et G) sont âgées de 13,8 à 20,6 jours (tableau 2.4). Les larves ont donc amplement le temps d'être dispersées dans tout le lac, au gré des courants, avant d'être à même de se déplacer activement dans la masse d'eau. Par contre, les larves en dérive ne semblent pas être entraînées jusqu'à la décharge du lac. Elles s'accumulent plutôt rassemblées dans le secteur sud-ouest, qui pourrait jouer le rôle de zone de rétention, voire d'aire d'alevinage. Des aires de rétention des larves d'éperlan arc-en-ciel ont aussi été observées dans le lac Huron, dans les baies et le long des côtes

irrégulières (O'Gorman 1983). Les larves s'y maintiennent probablement en ajustant leur flottabilité, qui permet d'ajuster leur répartition verticale, à l'image du processus qui leur permet de se maintenir dans l'estuaire moyen du fleuve Saint-Laurent (Ouellet et Dodson 1985). Conséquemment, très peu de larves ont été capturées dans les stations des secteurs est et sud-est du lac (figure 2.2), ce qui rend improbable un entraînement des larves hors du lac par la décharge.

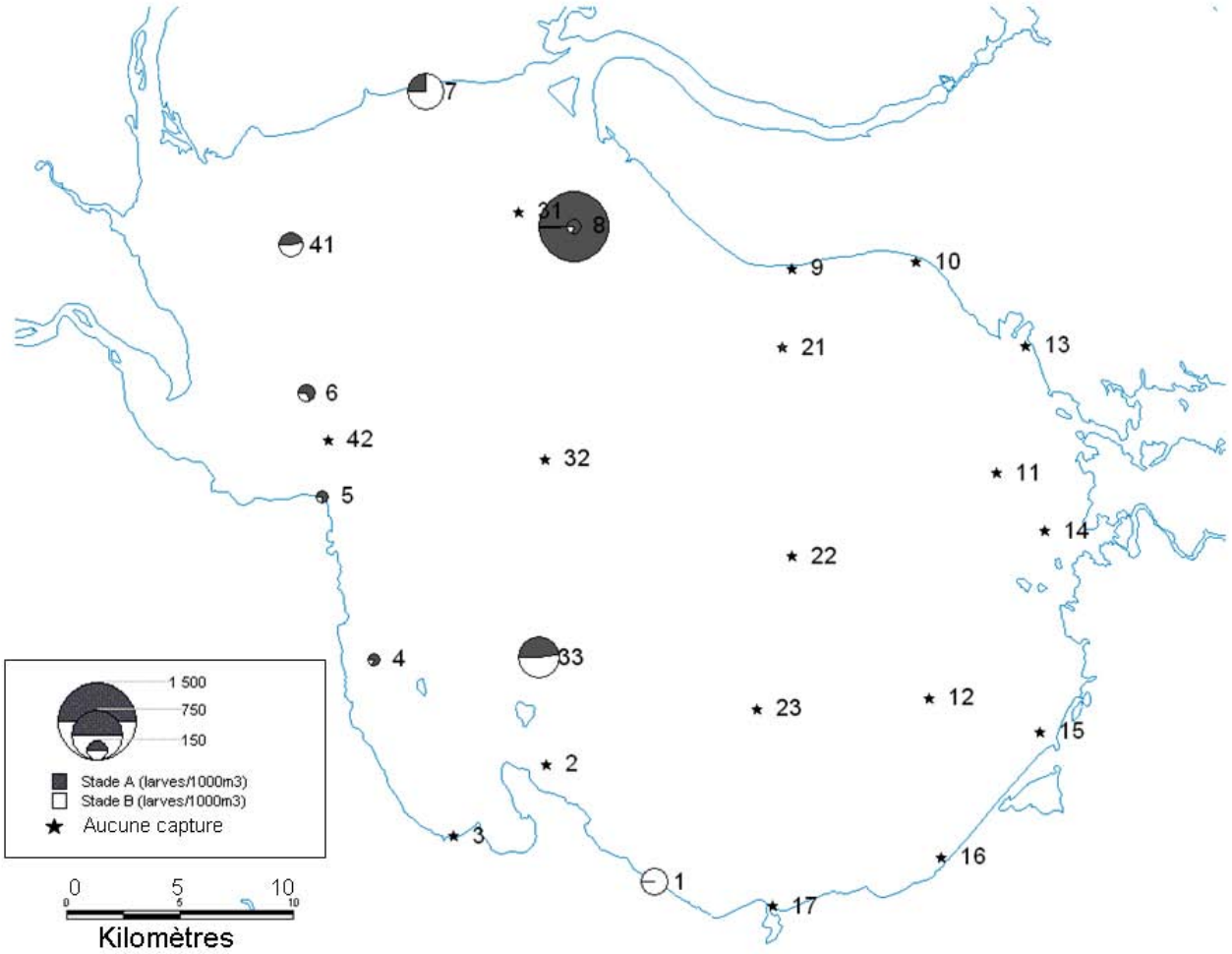


Figure 2.4 : Distribution de l'abondance des jeunes stades de développement des larves vésiculées d'éperlan arc-en-ciel (stades A et B selon Cooper 1978; annexe 2.4), dans le lac Saint-Jean en 1998 et 1999 (tiré de Gagnon 2005a). La taille des cercles est fonction de l'abondance des larves. Les stades A apparaissent en gris foncé et les stades B, en blanc. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance de larves pour chaque station échantillonnée. Les stations sans capture sont représentées par une étoile.

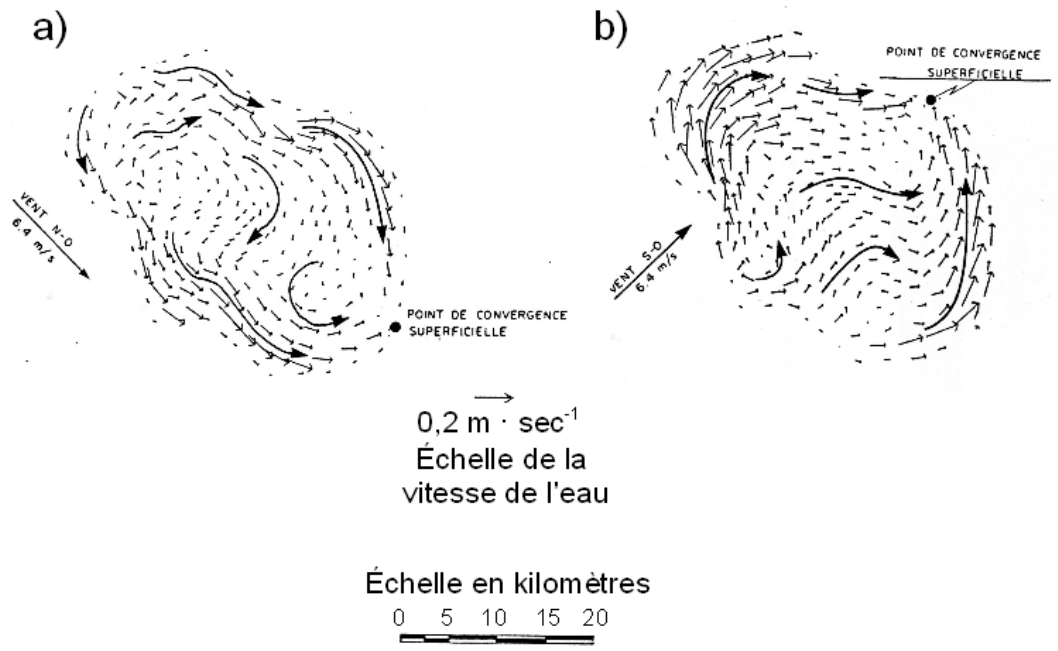


Figure 2.5 : Modélisation des courants des couches de surface du lac Saint-Jean lorsque le vent dominant provient (a) du nord-ouest ou (b) du sud-ouest (tiré de Leclerc 1985). Le modèle est mis au point selon un vent moyen de 6,4 m · s^{-1}, pour les deux directions.

Tableau 2.4 : Longueur totale (mm) et âge (jours) des larves d'éperlan arc-en-ciel en fonction du stade de développement. Les valeurs de références mesurées par Cooper (1978, annexe 2.4) sur des larves du lac Érié apparaissent en gris foncé. Les valeurs mesurées pour les éperlans du lac Saint-Jean sont en blanc. L'âge des larves, en gris pâle, a été calculé d'après l'équation de la relation existante entre l'âge et la longueur totale pour les larves du lac Saint-Jean pêchées entre 2001 et 2004.

	LT (mm)*			Âge (jours)**			
	Cooper	LSJ		Cooper	LSJ	Modèle 2001-2004***	
Stade	1978	1998	1999	1978	1998-1999	1998	1999
A	5	5,18	6,21	0	1,7	0,4	1,9
B	5,6	5,04	5,71	8	2,1	0,2	1,2
C	6,3	5,32	5,95	11	2,9	0,6	1,5
D	9,3	5,75	7,13	12		1,2	3,2
E	14	8,39	10,23			5,0	7,5
F	17		14,7				13,8
G	22		19,52				20,6
I	36	38,94	40,58			47,9	50,2
J		54,86				70,3	

* Tiré de Fortin 2002 et Gagnon 2005a

** Tiré de Gagnon 2005a

*** Régression linéaire de l'âge en fonction de la longueur totale, données de 2001 à 2004 (LASA, données non publiées) $\text{Âge} = 1{,}40566028 \bullet \text{LT} - 6{,}8355911851$ ($r^2 = 0{,}969$)

De façon globale, on retrouve une abondance relative moyenne plus élevée de larves (tous stades confondus) dans le secteur sud-ouest du lac de la mi-mai à la mi-juin, vraisemblablement attribuable à la dérive larvaire ainsi qu'à la production locale (figure 2.2).

Débit de la rivière Péribonka et recrutement des éperlans

Il existe une relation faible, mais statistiquement significative, entre l'abondance des éperlans 0+ en lac au mois d'août et le débit moyen de la rivière Péribonka lors de la période d'incubation des œufs d'éperlan. De forts débits (> 750 $m^3 \cdot s^{-1}$) durant cette période sont associés à une faible survie pour les larves d'éperlan (LASA, données non publiées) et, systématiquement, à de plus faibles abondances de 0+ (figure 2.6). Aucune relation similaire n'a pu être établie entre le débit de la rivière Ashuapmushuan et les abondances de 0+ (Fortin *et al.* 2009), ce qui souligne davantage l'influence de la rivière Péribonka sur les populations d'éperlans du lac Saint-Jean.

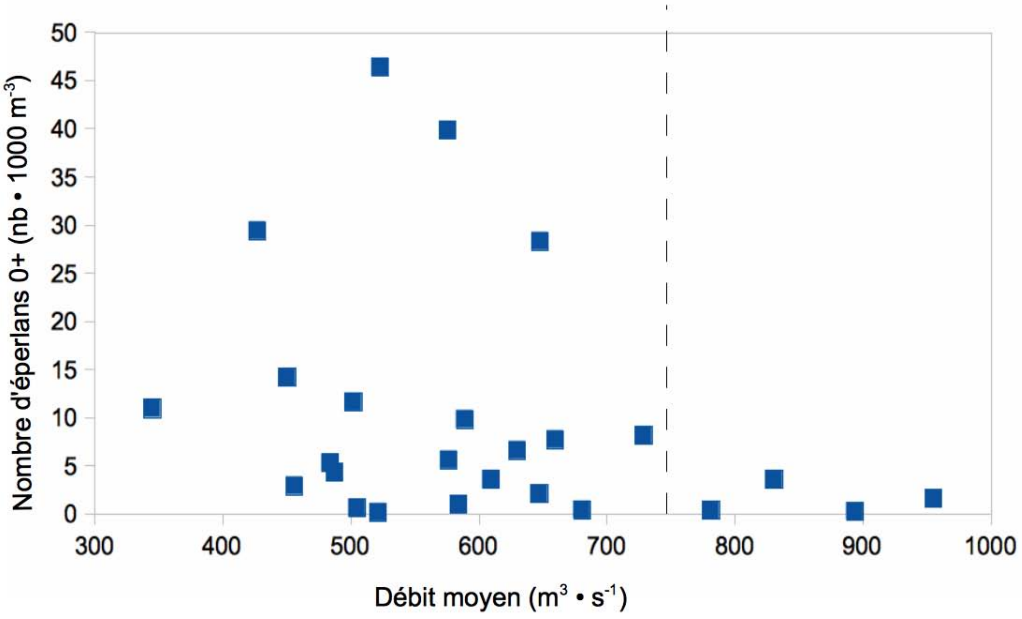


Figure 2.6 : Relation entre l'abondance des éperlans arc-en-ciel 0+ et le débit moyen de la rivière Péribonka lors de la première semaine de juin au lac Saint-Jean, de 1984 à 2008 (mise à jour de Fortin *et al.* 2009).

Bémol; la quantification

Si la contribution de la rivière Péribonka à la population globale d'éperlans au lac Saint-Jean est reconnue, certains indices laissent penser que la production en rivière est plutôt faible comparativement à ce qui était attendu. D'abord, il est estimé que la production de larves au lac Saint-Jean devrait être de l'ordre de centaines de millions pour correspondre aux abondances de 0+ observées en août (P. Sirois, comm. pers.). Or, la production de larves de la rivière Péribonka a été évaluée à 2,7 millions en 2008 (Environnement Illimité 2009). Cette faible production de larves dans la rivière Péribonka indiquerait que la plupart des larves retrouvées dans le lac Saint-Jean devrait être produite hors de la rivière Péribonka. Une diminution de l'efficacité de l'engin de pêche pourrait expliquer en partie cette basse évaluation. En effet, pour un même engin de pêche et des années d'abondance d'éperlans 0+ comparables, le nombre maximal de larves capturées en 20 minutes lors de l'échantillonnage de 1998 est plus élevé que celui des larves capturées en 24 heures lors de l'échantillonnage de 2008 (tableau 2.5). Ce constat soulève des

questionnements quant à l'efficacité de pêche du filet de dérive sur de longues périodes, d'autant plus que l'abondance moyenne des larves capturées par ces filets sur une période de 24 h et plus est similaire en 2006 et 2008, alors que 2006 est une meilleure année que 2008 pour les éperlans 0+ (annexe 2.5).

Tableau 2.5 : Comparaison de l'abondance et du nombre absolu de larves d'éperlan arc-en-ciel capturées en dévalaison dans la rivière Péribonka pour différentes études. En général, lors de l'échantillonnage de 1998, le filet de dérive était mis à l'eau pour une période de 20 minutes par déploiement (en gris pâle). Lors des échantillonnages de 2006 et 2008, le même filet était mis à l'eau pendant au moins une nuit par déploiement (en gris foncé).

		1998 (MRNF, non pub.)	2006 (Gauthier 2007)	2008 (Env. Illimité, 2009)
Nb total de larves		2867	571,5	1031
Effort total	(nuits-filet)		24	138
	(minutes)	29427		
Abondance moyenne de larves		18,7·20min^{-1}	23,8·nuit-filet^{-1}	7,5·nuit-filet^{-1}
Nb max de larves par pêche		617·30min^{-1}	175·nuit-filet^{-1}	225·nuit-filet^{-1}

* Le même engin de pêche a été utilisé au cours des trois études (filet conique 50 cm de diamètre, 500 µm).

** 1998 et 2008 sont des années comparables d'abondance de 0+, alors que 2006 est une année de forte abondance (annexe 2.5). Les abondances des > 0+ des années précédentes (1997, 2005 et 2007), *i.e.* les cohortes parentales, sont similaires entre elles.

Un ajustement est nécessaire. À titre informatif, si l'on suppose que les larves pêchées dans la rivière Péribonka en 2008 sont le fruit de 20 minutes d'échantillonnage efficace avant colmatage ou autre irrégularité (20 minutes étant un ordre de grandeur comparable à l'échantillonnage de 1998) plutôt que de 24 heures d'échantillonnage, et que la dévalaison des larves s'étend sur une période de quatre heures après la tombée de la nuit (Veilleux 1966; Bradbury *et al.* 2004), on obtient un scénario dans lequel la contribution de la rivière Péribonka s'élève à 32,4 millions de larves :

$$32{,}4 \text{ M larves} = 2{,}7 \text{ M larves} \times 20 \text{ min}^{-1} \times 3 \text{ périodes de 20 min} \bullet \text{h}^{-1} \times 4 \text{ h}$$

Enfin, une règle de trois suffit pour extrapoler la production de la rivière Péribonka avec les abondances moyennes de 1998. Dans ce dernier cas, la production de larves s'élèverait à 80,8 millions, ce qui demeure un ordre de grandeur trop faible pour fournir les centaines de millions de larves attendues au lac Saint-Jean :

	Abondance moyenne (larves • 20 min^{-1})	Production de la Péribonka (en millions de larves)
1998	18,7**	80,8
2008	7,5*	32,4

* Puisque le filet de dérive semble inefficace sur une longue période de temps, et que l'ordre de grandeur de l'abondance moyenne en larves • nuit-filet^{-1} de 2008 correspond à celle de l'abondance moyenne en larves • 20 min^{-1} de 1998 (tableau 2.5), l'unité d'abondance en larves • nuit-filet^{-1} a été transférée en larves • 20 min^{-1}.

** Abondance moyenne des larves en 1998 dans la rivière Péribonka (tableau 2.5)

Donc, même lorsque grossièrement ajusté, le nombre de larves produites dans la rivière Péribonka pendant toute la période de la dévalaison reste très faible comparativement à ce qui était attendu.

Au final, l'analyse génétique des populations démontre l'importante contribution de la région de la rivière Péribonka. Les observations de la dérive larvaire pointent vers un foyer de production dans le secteur des grandes rivières, alors que la rivière Péribonka produit beaucoup moins de larves que ce qui était attendu. Vraisemblablement, la production importante de larves se trouve hors de la rivière Péribonka elle-même, possiblement dans plusieurs zones du grand secteur nord-ouest, depuis l'embouchure de la Péribonka, à la hauteur de l'île Boulianne, jusqu'à l'embouchure de la rivière Mistassini et le long de la Pointe Taillon. Cette possibilité avait été envisagée à la suite du calcul de la production de la rivière Péribonka (Environnement Illimité 2009). L'utilisation par les éperlans d'un gradient d'habitat de fraie rivière-embouchure-lac selon leur taille et leur capacité natatoire a été mise en évidence dans le réservoir Rybinsk, en Russie (Ivanova et Polovkova 1972). Puisque des similitudes structurelles existent entre ce réservoir et le lac Saint-Jean (*i.e.* réservoir alimenté par au moins une grande rivière), et que la distribution de fréquence des tailles en fonction de la distance depuis l'embouchure des grandes rivières indique une utilisation des sites en fonction de la taille des poissons (figure 2.3 et

figure 1.2), il est possible qu'un comportement de fraie similaire à celui observé au réservoir Rybinsk existe au lac Saint-Jean.

Les indices assemblés suggèrent que les hauts-fonds sablonneux s'étendant de l'embouchure de la rivière Péribonka jusqu'à l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan, pourraient servir de frayères pour les éperlans du lac Saint-Jean. Néanmoins, il n'existe pas d'observation directe à ce sujet. Les régions où l'on retrouve de fortes abondances de larves stade A en 1998 et 1999 pourraient être utilisées par une majorité d'éperlans comme frayères à faible profondeur en lac (figure 2.7). Or, comme décrit plus tôt dans la section *Dévalaison et dérive des larves*, la dérive larvaire moyenne en lac est de l'ordre de 8 km par jour, avec un vent dominant du nord-ouest. Cette dérive substantielle limite la précision avec laquelle il est possible d'identifier un site de fraie potentiel à partir des données disponibles. Par exemple, les larves de stade A, âgées en moyenne de 1,7 jours (Gagnon 2005a), peuvent avoir parcouru entre 0 et 13,4 km depuis leur site d'éclosion. Ce qui signifie, à l'échelle du lac Saint-Jean, que les larves de stade A de la station 33 peuvent provenir d'aussi loin que du plateau de faible profondeur à l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan (figure 2.7).

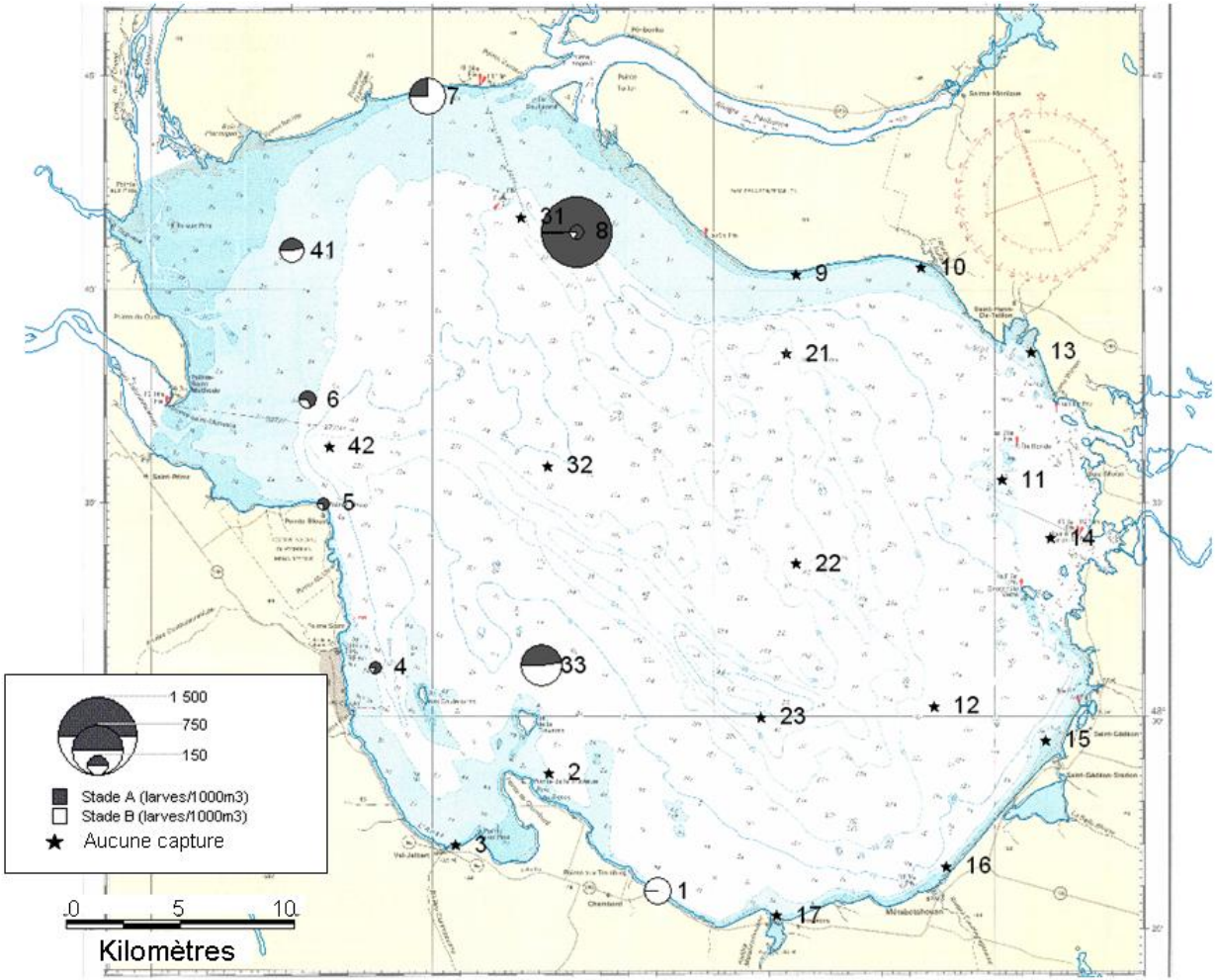


Figure 2.7 : Distribution de l'abondance des jeunes stades de développement des larves d'éperlan arc-en-ciel en lac (tiré de Gagnon 2005a) en fonction de la bathymétrie du lac en mètres. L'isobathe de 5 m au moment des basses eaux délimite la zone en bleu. La taille des cercles est proportionnelle à l'abondance des larves. Les stades A apparaissent en gris et les stades B, en blanc (stades selon Cooper 1978). Les stations sans capture sont représentées par une étoile.

Caractéristiques des écotypes

Habitat de fraie en fonction des écotypes

Contrairement aux éperlans nains qui ne vivent que deux à trois ans et ne se reproduisent généralement qu'une seule fois dans leur vie, les éperlans normaux peuvent vivre jusqu'à six ans et se reproduire plus d'une fois. Les éperlans capturés dans les filets en lac entre 1997 et 2000 présentent des assemblages de taille et d'âge différents selon la grande région où ils ont été capturés. Les secteurs en lac de Roberval et de Val-Jalbert ainsi que l'embouchure de la rivière Mistassini sont surtout utilisés par des jeunes éperlans normaux, probablement à leur première fraie, alors que les régions des rivières Péribonka et Ashuapmushuan rassemblent à la fois les éperlans nains et les normaux, incluant les jeunes normaux (figure 2.8). La raison du changement d'habitat de fraie en fonction de l'âge et de l'écotype reste inexpliqué pour le lac Saint-Jean. Il pourrait être attribuable à une année de plus forte classe d'âge chez les éperlans normaux, mais il n'existe pas de donnée permettant de le vérifier. À titre purement indicatif, les éperlans >0+ (nains et normaux confondus; annexe 2.5) étaient au sommet de leur cycle d'abondance en 1997, une année correspondant aux fortes fréquentations printanières des secteurs de Roberval et Val-Jalbert par les éperlans adultes. Ivanova et Polovkova (1972) ont aussi observé une variabilité de l'habitat de fraie en fonction de l'âge des éperlans. Dans leur cas, les éperlans plus âgés, donc de plus grande taille, utilisaient des frayères en rivière, alors que les plus jeunes (et petits) éperlans, limités par leur capacité natatoire, utilisaient des frayères dans le réservoir. Mais la limitation de taille par les courants ne suffit pas à expliquer la situation observée au lac Saint-Jean, puisque les éperlans nains utilisent les secteurs de fraie à proximité des grandes rivières, alors que les jeunes éperlans normaux, plus gros, y sont peu présents.

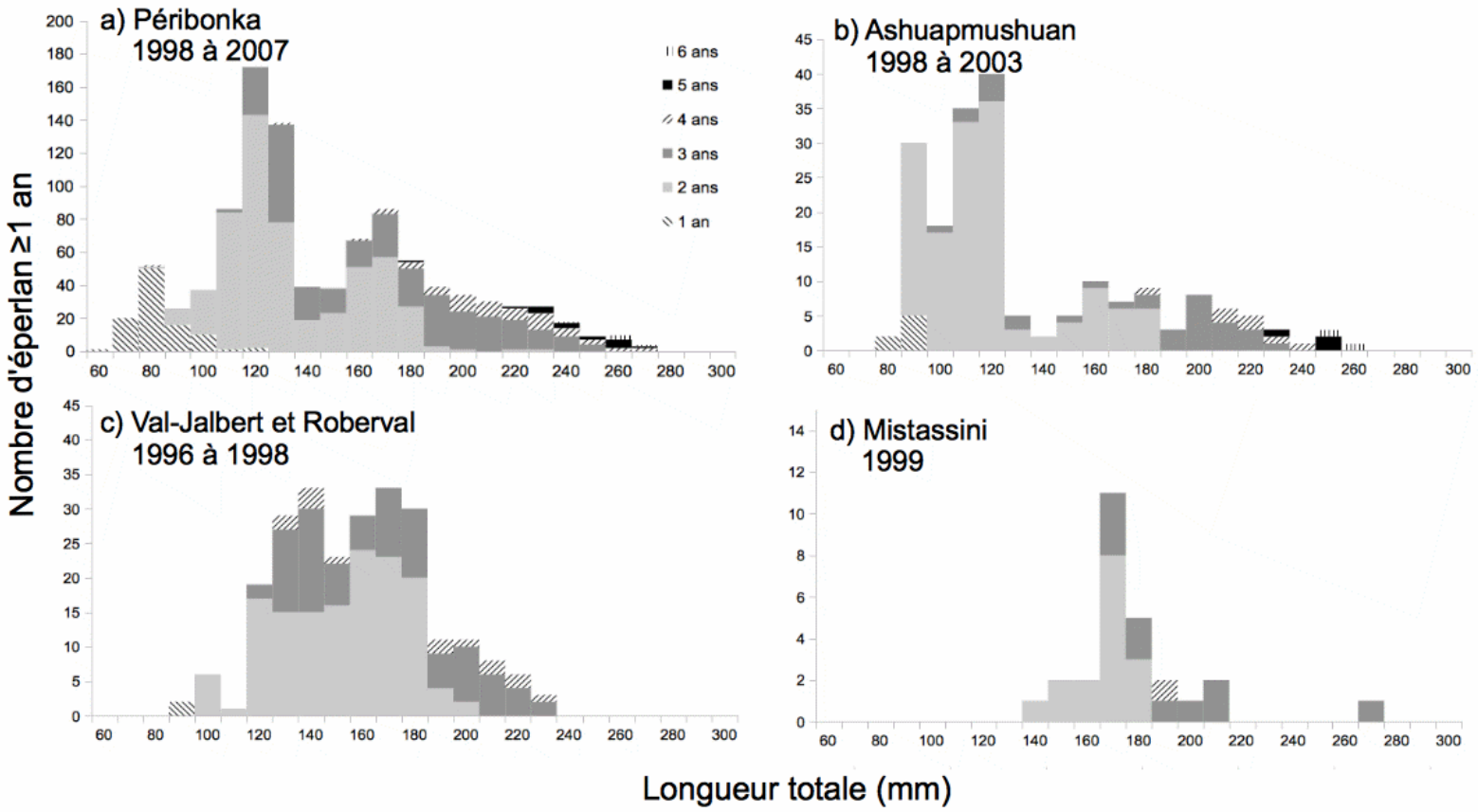


Figure 2.8 : Distribution des tailles et de l'âge des éperlans arc-en-ciel ≥ 1+ au lac Saint-Jean en fonction du secteur où ils ont été capturés au printemps (a) Péribonka, (b) Ashuapmushuan, (c) Val-Jalbert et Roberval, et (d) Mistassini. Les données sont cumulées pour toutes les années où l'information est disponible entre 1996 et 2007 (MRNF, données non publiées).

Ségrégation spatio-temporelle des écotypes en rivière

Dans la littérature, lorsque deux écotypes coexistent dans un même plan d'eau, il y a habituellement décalage de la fraie dans le temps et, quelquefois, dans l'espace. Par exemple, les éperlans normaux précèdent les éperlans nains de quelques semaines sur les sites de fraie (Kendall 1926; Belyanina 1969; Scott et Crossman 1974; Bruce 1975), alors que des sites de fraie totalement différents sont utilisés à des moments différents par les deux écotypes (Legault et Delisle 1968). De façon générale au lac Saint-Jean, les deux écotypes d'éperlans, nains et normaux, utilisent simultanément la même région de fraie dans les rivières Péribonka et Ashuapmushuan (Saint-Laurent *et al.* 2003). À plus faible résolution spatio-temporelle, il est impossible de mettre en évidence une ségrégation temporelle de la montaison en rivière en fonction de l'écotype. Par contre, on observe une légère ségrégation spatiale des éperlans normaux sur quelques kilomètres vers l'amont, à partir de l'embouchure des rivières lors de la montaison (figure 2.3).

Habitats de fraie potentiels non fréquentés

Le compendium de données disponibles sur l'éperlan du lac Saint-Jean n'arrive pas à mettre en évidence toutes les subtilités du comportement reproductif de cet éperlan. Par contre, il nous permet de procéder à l'élimination des habitats de fraie les moins probables au lac Saint-Jean, c'est-à-dire les petits tributaires et les grandes profondeurs.

Petits tributaires

Contrairement à l'idée véhiculée par la littérature, on ne retrouve pas de frayère à éperlans dans les petits tributaires du lac Saint-Jean. Au printemps 1985, plusieurs petits tributaires du nord et du sud-ouest du lac Saint-Jean, incluant des petits tributaires de l'Ashuapmushuan, ont été suivis pendant tout le mois de mai. Le choix des ruisseaux a été fait sur la base de leur ressemblance avec ceux utilisés par les éperlans au lac Kénogami. Selon la taille du cours d'eau, une bourolle ou une cage a été installée, de façon à capturer les éperlans adultes en circulation. Au final, aucun éperlan n'a été capturé (Coulombe et Francoeur 1985). Une dizaine d'années plus tard, une seconde étude avec des plongeurs n'a pas permis de détecter de sites de fraie en tributaires dans tout le secteur sud du lac Saint-Jean (Bouchard et Royer 1997). De plus, toujours dans le cadre de l'étude de

Coulombe et Francoeur (1985), un appel aux pêcheurs et résidents avait été lancé afin d'obtenir des pistes de recherche. Il arrive que la montaison de l'éperlan soit traditionnellement connue et suivie par des pêcheurs (lac Kénogami, Bourassa et Lesage 1973; rivière aux Rats, Lapointe 2002). Cet appel n'a pas permis d'identifier de site. Au final, aucun éperlan n'a été capturé par les engins de pêche, et aucun éperlan ni œuf n'ont été observés par les plongeurs dans les tributaires. De plus, les quelques signalements fournis par la population n'ont pas permis d'identifier formellement des sites de fraie. Les éperlans du lac Saint-Jean n'utilisent vraisemblablement pas les petits tributaires comme frayère.

Grandes profondeurs

Rien n'indique que l'éperlan fraie en profondeur au lac Saint-Jean. Le substrat argileux associé aux profondeurs ne devrait pas limiter leur utilisation puisque c'est sur ce substrat que fraient les éperlans du lac Champlain (Plosila 1984). Par contre, le fait que les abondances importantes de jeunes larves (stades A et B) capturées en lac lors du suivi de la dérive larvaire (1998-1999, dans Gagnon 2005a) sont toujours retrouvées dans le nord-ouest du lac, et quelquefois le long de la rive sud-ouest, loin des régions profondes, suggère que la fraie en profondeur n'est pas une stratégie de reproduction utilisée par l'éperlan du lac Saint-Jean (figure 2.7*)*.

EN RÉSUMÉ

La fraie de l'éperlan du lac Saint-Jean a lieu au printemps, lorsque l'eau atteint 6 ºC et cesse vers 10 ºC. Les frayères à éperlans n'ont jamais été directement identifiées au lac Saint-Jean. Les données et études disponibles sur (1) la distribution des reproducteurs et des larves, (2) la génétique des populations, (3) le recrutement ainsi que sur (4) la quantification des larves produites dans la rivière Péribonka permettent de circonscrire le principal secteur de fraie des éperlans du lac Saint-Jean. Les trois premiers thèmes mettent en évidence l'importance du secteur nord-ouest pour la reproduction des éperlans, particulièrement la région de la rivière Péribonka. Par contre, le dernier thème, même s'il est revu à la hausse, indique que la production de larves de la rivière Péribonka ne contribue qu'à une infime proportion des larves attendues en lac. Par conséquent, les foyers de production des éperlans du lac Saint-Jean devraient être situés dans le secteur nord-ouest, hors rivière, mais probablement à proximité de leur embouchure et possiblement sur les hauts-fonds sablonneux qu'on y retrouve. Cette conclusion n'étant obtenue que par déduction, il serait essentiel de la valider par un échantillonnage sur le terrain. Ainsi, contrairement à la vision classique du comportement de fraie de l'éperlan arc-en-ciel, il s'avère que l'éperlan du lac Saint-Jean n'utilise pas les petits ruisseaux comme sites de fraie, mais probablement plusieurs autres sites, le long d'un gradient lac-embouchure-rivière.

CHAPITRE 3: LA GESTION DE L'ÉPERLAN DANS LE MONDE ET LES AMÉNAGEMENTS DE L'HABITAT DU POISSON

La première moitié du présent chapitre aborde les différents types de gestion de l'éperlan dans le monde en fonction des caractéristiques des populations étudiées. Pour y arriver, des spécialistes de l'éperlan dans différentes régions du globe ont été contactés et questionnés sur la gestion des populations dans leur région, leur état, ou leur pays. De cette façon, trois grands groupes d'éperlans boréaux ont été identifiés : les éperlans anadromes, les éperlans dulcicoles introduits et les éperlans dulcicoles indigènes. La seconde moitié du chapitre dresse le portrait des aménagements de l'habitat et des frayères du poisson. Elle présente les critères clé de la conception d'un bon aménagement. Ensemble, ces deux sections inventorient les efforts de gestion et d'amélioration des stocks d'éperlans dans le monde.

LES HAUTS ET LES BAS DE L'ÉPERLAN; UNE RÉFLEXION MONDIALE

Les éperlans jouent un rôle clé comme poissons fourrage dans les réseaux alimentaires aquatiques, en plus d'être soumis à une pêche d'intensité variable selon les endroits. Leurs fluctuations annuelles naturelles sont importantes, ce qui, lors de creux d'abondance, limite la croissance des espèces sportives qui les consomment et précarise l'utilisation de la ressource. Un déclin marqué des populations anadromes d'éperlans arc-en-ciel de l'est de l'Amérique du Nord a été observé au cours du 20^{e} siècle, tant et si bien que le *National Marine Fisheries Service* des États-Unis a déclaré l'éperlan arc-en-ciel anadrome comme espèce au statut préoccupant (Chase *et al.* 2008; NOAA Office of Protected Ressource 2011) et que le Québec a déclaré espèce vulnérable l'une de ses deux populations d'éperlan arc-en-ciel anadrome (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec 2010). De plus, une diminution d'abondance a aussi été remarquée ces dernières décennies chez certaines populations lacustres, issues de populations indigènes (lac Peipsi, Estonie/Russie; Kangur *et al*. 2007) ou introduites (Grands Lacs, États-

Unis/Canada; Gorman et Bunnell 2010). Dans les sections qui suivent, il sera question d'études de cas variées témoignant de la gestion de l'éperlan à différents endroits dans le monde (figure 3.1).

Figure 3.1 : Il existe plusieurs approches de gestion des stocks d'éperlans dans le monde. Les pays, états ou provinces qui ont fait l'objet d'une étude de cas apparaissent en gris.

Populations d'éperlans anadromes de la côte est de l'Amérique du Nord

Nouvelle-Angleterre

En réponse à une diminution drastique du nombre de reproducteurs observée lors des montaisons printanières ces dernières décennies, la *Massachusetts Division of Marine Fisheries* et les départements équivalents des États voisins ont mis en place un plan de conservation pour la Nouvelle-Angleterre, le *Multi-state collaborative to develop and implement a conservation program for anadromous rainbow smelt*. Les causes du déclin n'ont pas été véritablement étudiées, mais les multiples altérations des bassins versants et leurs impacts sur les frayères pourraient être à l'origine du déclin observé (Squiers *et al.* 1976; Chase 2006). Conséquemment, beaucoup d'efforts ont été déployés afin d'améliorer l'accès aux sites de fraie, en facilitant le passage des poissons par la démolition

d'anciennes digues ou la rénovation d'échelles à poissons. Un programme de suivi de la qualité de l'eau des rivières et ruisseaux ciblés comme étant ou pouvant devenir un cours d'eau approprié pour la fraie des éperlans a aussi été mis sur pied (Chase 2010). Enfin, il y a eu une tentative de réimplantation de population dans la rivière Crane, Massachusetts, à partir d'oeufs transférés d'une population donneuse (*i.e.* population en santé d'un ruisseau voisin). Mais cette dernière expérience s'est avérée coûteuse en ressources et en efforts, tout en donnant des résultats mitigés (Chase *et al.* 2008). Des projets d'amélioration de l'habitat de reproduction étaient planifiés sur les rivières Weir et Town, Massachusetts, à l'été 2012 (Gomez et Sullivan 2010; B. Chase comm. pers.).

Estuaire du fleuve Saint-Laurent

L'estuaire du fleuve Saint-Laurent abrite deux populations distinctes d'éperlans arc-en-ciel anadrome : celle de la rive nord de l'estuaire, et celle de la rive sud (Bernatchez 1997). L'abondance de la population du sud de l'estuaire a diminué drastiquement depuis les années 1970. Des frayères importantes ont été désertées. Suite au dépôt d'un premier plan de rétablissement de l'éperlan, la population de la rive sud a été désignée comme espèce vulnérable. Un programme d'amélioration de la qualité de l'eau des rivières pouvant être adéquates pour l'éperlan a été implanté. De plus, un incubateur a été utilisé afin d'augmenter la survie des œufs et multiplier le nombre de larves produites, mais les dizaines de millions de larves produites annuellement ne représentent que moins de 5 % des larves pêchées dans l'estuaire, en aval de l'incubateur (LASA, données non publiées). Ce constat, couplé à l'observation d'oeufs sur les hauts-fonds de la rive sud du fleuve, indique l'importance potentielle de la fraie hors-rivière pour le maintien de la population d'éperlans du sud de l'estuaire (Alliance Environnement 2008; Équipe de rétablissement de l'éperlan arc-en-ciel du Québec 2008).

Populations introduites d'éperlans dulcicoles

En eau douce, l'éperlan arc-en-ciel est un poisson fourrage dont l'utilisation est appréciée des gestionnaires de la pêche sportive, car sa distribution dans la colonne d'eau chevauche celle des principaux poissons sportifs d'eau froide. Sa présence a un impact direct sur la croissance des espèces sportives, et certaines, comme la ouananiche, s'en

nourrissent presque exclusivement (Kircheis et Stanley 1981). Pour toutes ces raisons, l'éperlan arc-en-ciel a été une espèce couramment introduite en lac afin de nourrir les poissons sportifs introduits ou, encore, pour stimuler la croissance des espèces existantes. Bien que l'éperlan soit aisément transférable d'un plan d'eau à l'autre, il ne s'y implante pas toujours avec succès, et les gestionnaires de la pêche doivent souvent faire de nouvelles introductions à chaque année. À l'opposé, certaines populations introduites peuvent devenir hors de contrôle. Le cas le plus spectaculaire est celui des éperlans des Grands Lacs, issus de l'introduction de l'éperlan au lac Crystal, un petit lac bordant le lac Michigan (Van Oosten 1937).

Maine, États-Unis

Dans l'État du Maine, la pêche sportive joue un rôle économique important. En 2000, on y retrouvait des populations d'éperlan dans 558 lacs distribués dans tout l'État totalisant 749 114 acres (3032 km^2). De cette superficie, 97 % abritait une ou plusieurs espèces sportives et 86 % soutenait la pêche d'au moins une espèce sportive. En plus de subir une pression de prédation intense, les éperlans sont aussi pêchés à des fins de consommation humaine et comme appâts. Pour toutes ces raisons, plusieurs populations d'éperlans doivent être réensemencées à chaque année, à partir d'oeufs transférés de populations donneuses (Pellerin 2001). Les œufs sont prélevés dans les lacs plus productifs ou moins exploités (Kircheis et Stanley 1981). Ces dernières années, l'introduction de larves élevées en aquaculture a été tentée (Harmon Brook Farm 2009). En règle générale, dans l'État du Maine, lorsqu'une population d'éperlans diminue, il y a transfert d'oeufs afin de ramener la population aux niveaux qui permettent de soutenir l'exploitation.

Dakota du Sud, États-Unis

Le lac Oahe est un réservoir du fleuve Missouri au Dakota du Sud. La pêche au doré y est très importante et on évaluait les retombées économiques locales à 21,5 millions de dollars à la fin des années 1990. Les éperlans arc-en-ciel introduits dans les années 1970 sont devenus les proies préférentielles des dorés. Or, à la fin des années 1990, les éperlans ont été entraînés hors du réservoir par les débits turbinés au barrage, maintenus anormalement hauts pendant tout l'été (la sortie d'eau est située à la hauteur de la thermocline, dans la zone préférentielle de l'éperlan). Cet événement extrême, couplé à

une prédation record par les dorés et au cannibalisme d'une forte classe d'âge d'éperlans sur les plus jeunes, a entraîné un déclin important de l'abondance des éperlans. L'augmentation des quotas de pêche aux dorés et la diminution du coût du permis de pêche à la journée ont permis d'améliorer la survie et l'abondance des éperlans dans les années suivantes et, ultimement, de rétablir la population dans le réservoir (Nelson-Stastny 1999 et comm. pers.).

Populations naturelles d'éperlans dulcicoles

La section précédente démontré que lorsqu'une population d'éperlans introduite diminue en abondance, le réflexe des gestionnaires de la pêche est souvent d'ajouter des individus, à l'état d'oeufs ou de larves. Une rareté des éperlans initialement introduits comme poisson fourrage entraînera une diminution de la croissance et du coefficient de condition des poissons sportifs qui en dépendent. Lorsque les éperlans sont naturellement présents dans un plan d'eau, le réflexe est différent. Les biologistes ont plutôt tendance à observer, mesurer et tenter de comprendre, sans nécessité d'intervention. Des exemples de ce type existent dans plusieurs pays du nord de l'Europe, ainsi qu'en Nouvelle-Zélande.

Suède

L'éperlan européen d'eau douce joue un rôle clé dans la zone pélagique des quatre plus grands lacs de Suède. Ils ne sont l'objet d'aucune pêche, mais ils occupent une place importante dans les réseaux trophiques pélagiques où ils peuvent former jusqu'à 90 % de la biomasse de poisson. Les stocks d'éperlans sont suivis annuellement par hydroacoustique (A. Sandström, comm. pers.). Les populations d'éperlans se portent bien, sauf dans le lac Vättern, dans le sud du pays. Les stocks de saumons introduits ont généré une pression de prédation trop grande sur les corégones blancs (*Coregonus albula*), la proie préférentielle des saumons. Les chercheurs s'attendent à ce que les saumons, tout comme les autres piscivores s'alimentant normalement de corégones (*i.e.* les ombles chevaliers de plus de 40 cm), se rabattent sur la population d'éperlans pour survivre. La situation risque de se précariser si l'ensemencement de saumons ne cesse pas. Aucune autre solution n'est envisagée, sinon cesser l'ensemencement de saumons, ce qui ne fait pas consensus (J. Hammar, comm. pers.).

Estonie

Dans les lacs peu profonds du nord de l'Europe, la température joue un rôle déterminant sur le recrutement des stocks d'éperlans (H. Peltonen, comm. pers.; K. Kangur, comm. pers.). Au lac Peipsi, partagé entre l'Estonie et la Russie, une relation inverse claire existe entre la température estivale moyenne et la quantité d'éperlans pêchés commercialement les deux années suivantes (Kangur *et al.* 2007). Dans un lac de faible profondeur, les poissons d'eau froide comme l'éperlan ne disposent pas de refuge thermique en cas de canicule prolongée. L'oxygène dissous diminue au fur et à mesure que la température de l'eau augmente, et la température élevée qui fait augmenter le métabolisme des poissons les rend plus vulnérables à l'anoxie. La situation devient encore plus critique lorsque couplée à une diminution du niveau du lac, ainsi qu'à l'eutrophisation. Dans un milieu enrichi, le phytoplancton et les plantes aquatiques en surabondance consomment de grandes quantités d'oxygène la nuit. La concentration d'oxygène dissous diminue au cours de la nuit, jusqu'à atteindre sa concentration minimale juste avant le lever du soleil. Dans ce dernier cas, les poissons meurent essentiellement pendant la nuit (Fisheries Group 2003; Kangur *et al.* 2007). Selon les prévisions des changements climatiques, les températures moyennes estivales devraient augmenter (GIEC 2007), ce qui n'est pas de bon augure pour l'éperlan des lacs nordiques peu profonds. Quant à l'eutrophisation, il s'agit d'un problème qui se gère à l'échelle du bassin versant, lequel couvre 47 800 km^2 dans le cas du lac Peipsi, et est partagé entre deux pays, avec une population d'environ un million d'habitants (LakeNet 2004). Il n'y a aucune mesure de prise pour l'éperlan, sinon tenter d'améliorer la qualité de l'eau (H. Peltonen, comm. pers.; K. Kangur, comm. pers.).

Nouvelle-Zélande

L'eutrophisation est aussi une situation qui touche les éperlans australs, plus précisément la population d'éperlans communs d'eau douce (*Retropinna retropinna*) des lacs de la région de Rotorua sur l'île du Nord de la Nouvelle-Zélande. Le changement de statut trophique des lacs a un effet sur la survie des œufs d'éperlans, d'abord par l'augmentation de la sédimentation qu'elle entraîne. De plus, une espèce prédatrice des œufs d'éperlans, *Gobimorphus cotidianus*, un éléotridé similaire à un gobie sans ventouse, est plus abondante dans les eaux turbides, une caractéristique associée à l'eutrophisation. La survie des œufs d'éperlans s'en trouve doublement affectée. Enfin, l'augmentation de la

productivité du lac se traduit aussi par une diminution de l'oxygène dissous en profondeur, ce qui limite l'habitat des éperlans adultes (Rowe et Taumoepeau 2004; Rowe et Kusabs 2007). Dans certain autres lacs, comme le lac Taupo, situé dans une caldera d'un volcan de l'île du Nord, il est attendu que la disponibilité des sites de fraie va limiter le recrutement. Les années de haut niveau d'eau, il y a une plus grande surface d'habitat convenable pour la fraie. Quelques observations isolées vont en ce sens (Rowe *et al.* 2002). Jusqu'à maintenant, aucune mesure n'a été prise pour aider le rétablissement des populations d'éperlans communs dans les lacs mentionnés ci-dessus, mais le besoin s'en fait sentir puisque le récent déclin de la pêche à la truite arc-en-ciel a été attribué à la diminution des stocks d'éperlans (D. Rowe, comm. pers.).

Ces études de cas permettent de tirer quelques conclusions quant aux différents types de gestion de l'éperlan. Bien que tous les cas décrits ou presque impliquent une diminution de l'abondance des éperlans, l'attitude adoptée varie selon l'importance et la responsabilité des activités anthropiques dans le déclin des populations, mais surtout selon la nature de la population d'éperlans (tableau 3.1). Lorsque le système est artificiel, c'est-à-dire que l'éperlan y a été introduit dans le but d'améliorer la pêche sportive, l'effort de rétablissement est immédiat. D'autant plus s'il y a un intérêt économique ou social, des causes anthropiques évidentes à la diminution observée et si l'intervention est facilement réalisable. L'effort de rétablissement diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche des populations naturelles jugées d'intérêt moindre, dont les causes de la diminution d'abondance sont indéfinies ou diffuses et dont le rétablissement s'annonce difficile à réaliser.

Tableau 3.1 : Intensité de l'efforts de rétablissement des populations d'éperlans boréaux en fonction de l'intérêt porté à ces populations, des causes probables de leur déclin et de la faisabilité d'un projet de rétablissement. L'interprétation semi-quantitative est la suivante : +++ = beaucoup, ++ = moyennement, + = peu, + (gris) = mentionné, pas de + = inexistant(e).

POPULATIONS	INTÉRÊTS (financiers, sociaux, etc.)	CAUSES ANTRHRO-PIQUES ÉVIDENTES	FAISABILITÉ	EFFORTS DE RÉTABLIS-SEMENT
Anadrome				
N.-Angleterre	+++	++	++	+++
Fleuve St-Laurent	+++	++	++	+++
Dulcicole introduite				
Maine	+++	+++	+++	+++
Dakota du Sud	+++	+++	+++	++
Dulcicole indigène				
Suède	++	++	++	+
Estonie	++	+		
Finlande	+	+	+	+

AMÉNAGEMENTS EN MILIEU AQUATIQUE

L'aménagement de l'habitat du poisson de date pas d'hier. Les améliorations typiques des ruisseaux ont été pour la plupart inventées dans les années 1930 dans l'ouest américain, dans le but de rendre le milieu plus favorable à la truite (Roni *et al.* 2005). Toujours aux États-Unis, l'installation de récifs artificiels est une méthode utilisée depuis plus de cent ans afin d'augmenter la pêche en eau douce comme en eau salée (McGurrin *et al*. 1989). Enfin, les techniques de pêche ancestrale d'un peu partout dans le monde utilisent l'ajout de structures dans un plan d'eau afin de concentrer les poissons à un endroit. Des broussailles sont immergées afin d'attirer les poissons dans la nouvelle structure et d'en faire un site de pêche (Roni *et al.* 2005). À l'origine, le but des aménagements était d'augmenter le nombre de captures. De nos jours, le but à atteindre est plus ou moins le même idéalement en augmentant aussi le nombre de poissons dans le milieu. De plus, les projets d'aménagement sont aussi utilisés comme un moyen de rassembler et d'unir les

différents acteurs de la pêche autour d'un même objectif (Tugend *et al*. 2002). Les espèces visées par les aménagements sont des espèces sportives, introduites ou non, avec une valeur économique comme les salmonidés, les achigans, les dorés, etc. Il arrive aussi que les aménagements ciblent des espèces à statut précaire comme l'esturgeon jaune.

Il existe plusieurs types d'aménagements des écosystèmes aquatiques. Certains cherchent à ramener le système près de la dynamique naturelle du milieu, par l'amélioration de la qualité de l'eau, la revégétalisation des rive, le retour des crues naturelles ou encore en recréant les méandres de jadis d'un cours d'eau redressé. D'autres types d'aménagements visent plus directement les poissons en favorisant leur libre circulation (élimination de digues, réfraction de ponceaux routiers), en créant des abris et des sites de fraie par exemple. Selon l'ampleur des travaux effectués et de l'état initial du système aquatique, il sera question d'amélioration ou de réhabilitation (figure 3.2). Cette section fera la revue des types d'ouvrages utilisés en aménagement des écosystèmes aquatiques.

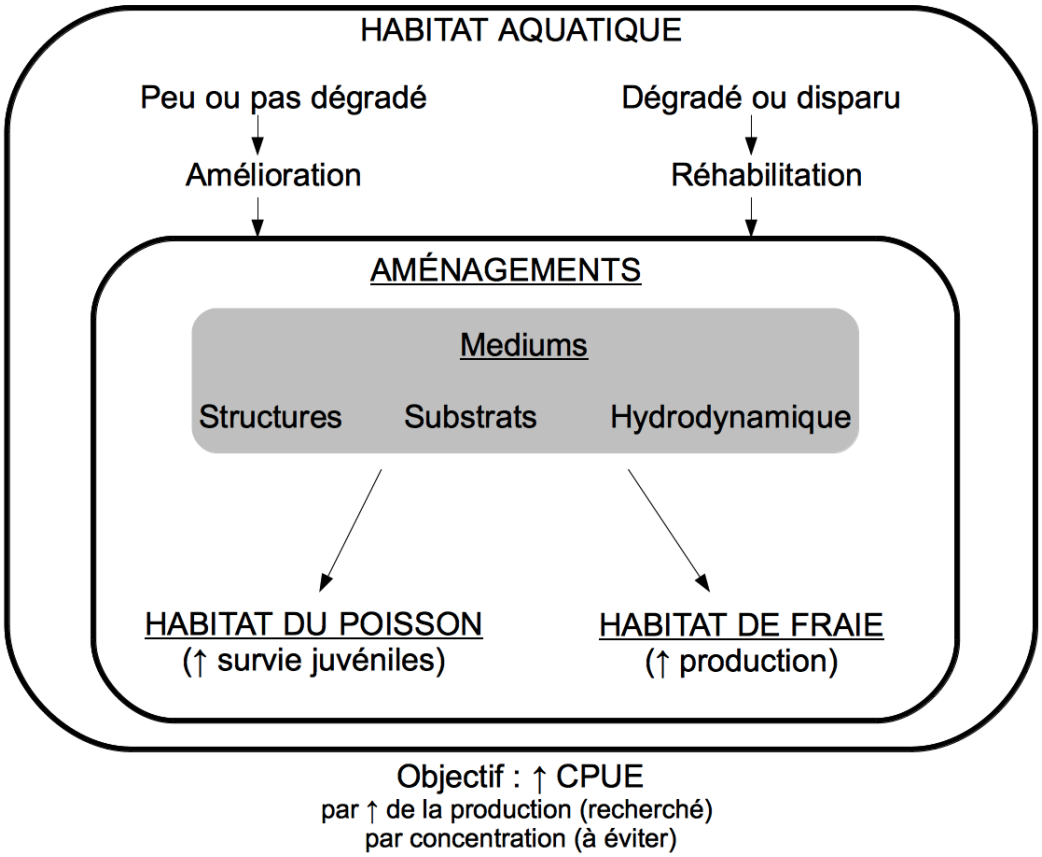


Figure 3.2 : Représentation schématisée du contexte de l'implantation d'un aménagement. L'aménagement vise l'augmentation de la production de poissons par l'amélioration ou la réhabilitation de son habitat ou de ses sites de fraie. Un aménagement peut être créé par ajout de structure, de nouveau substrat et/ou en apportant des modifications hydrodynamiques au système. Du point de vue de la pêche sportive, l'aménagement a pour objectif d'augmenter le nombre de captures par unité d'effort (CPUE).

Aménagements de l'habitat du poisson

Structures en lac

L'amélioration de l'habitat du poisson en lac peut être obtenue en ajoutant des structures dans l'environnement aquatique afin de créer des abris physiques pour les poissons à différents stades, comme peut le faire un arbre tombé près de la rive. Aux États-Unis, l'installation de structures artificielles en lac et en réservoir est une pratique généralisée, sans que leurs effets réels sur les populations de poissons n'aient été étudiés pour autant (Tugend *et al*. 2002; Bolding *et al*. 2004; Roni *et al*. 2005). Lesdites structures peuvent être des matériaux réutilisés, comme des arbres de Noël lestés, des piliers, des palettes,

des pneus, des bûches; ou des matériaux conçus par le commerce à cette fin (ex. : grandes sphères de plastique). Néanmoins, les matériaux naturels sont plus efficaces (Wills *et al.* 2004; Roni *et al.* 2005). En principe, l'ajout de structures augmente le nombre de captures par unité d'effort (CPUE) et crée des abris contre la prédation pour les stades juvéniles. Le succès lié à l'installation de structures en lac varie selon la disponibilité des habitats naturels et les espèces de poissons ciblées. L'ajout de structures dans un système qui en dispose de peu, comme un réservoir, a généralement un impact positif. Les structures artificielles jouent le rôle structurel des bancs naturels de macrophytes. Conséquemment, les poissons benthiques avec un faible pour les habitats structurés, comme les achigans, les crapets et les poissons-chats, et à un moindre niveau les perchaudes et les dorés, vont se rassembler autour des structures implantées (figure 3.3). Les espèces pélagiques, comme l'éperlan, resteront insensibles à l'ajout de structures (Bolding *et al.* 2004).

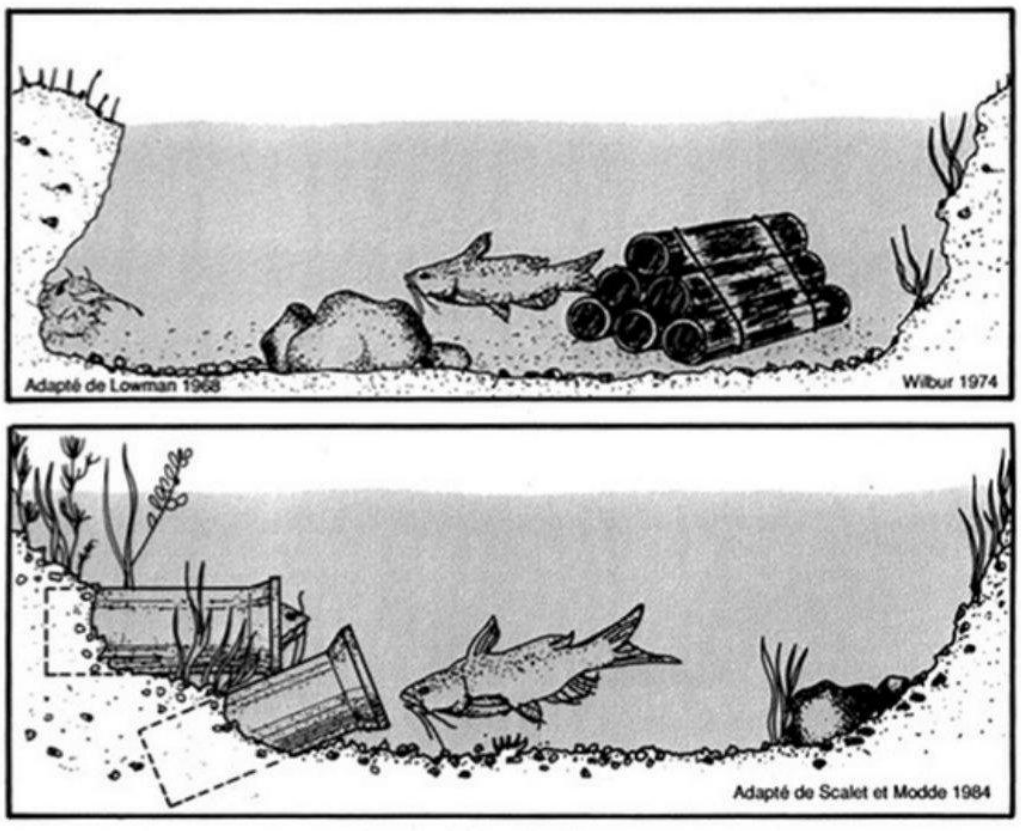


Figure 3.3 : Exemples d'ajout de structures dans un plan d'eau afin d'améliorer l'habitat du poisson en étangs, en lacs et en réservoirs. Dans Paquet (1990); adapté de Lowman (1968), Wilbur (1974), et Scalet et Modde (1984).

Structures en rivière

En milieu lotique, l'ajout de structures artificielles s'inscrit généralement dans un projet plus vaste de restauration de cours d'eau, le plus souvent afin d'améliorer l'habitat des saumoneaux. L'expertise dans ce domaine a entre autres été développée en Colombie-Britannique, dans le but de recréer les caractéristiques des bassins versants avant leur modification par les activités humaines. Les actions sont regroupées autour de trois grands axes : (1) l'installation de structures ripariennes, *i.e.* troncs et racines afin de recréer des abris pour les jeunes saumoneaux comme le faisaient autrefois naturellement les arbres tombés; (2) le rétablissement du régime hydrodynamique des cours d'eau par l'ajout de rochers et billots dans le but de créer des seuils, fosses et déviations qui modifient le cours de l'eau (figure 3.4); et (3) l'ajout de nutriments afin de pallier à la diminution du nombre de carcasses de saumons présentes après la fraie (Slaney et Zuldokas 1997).

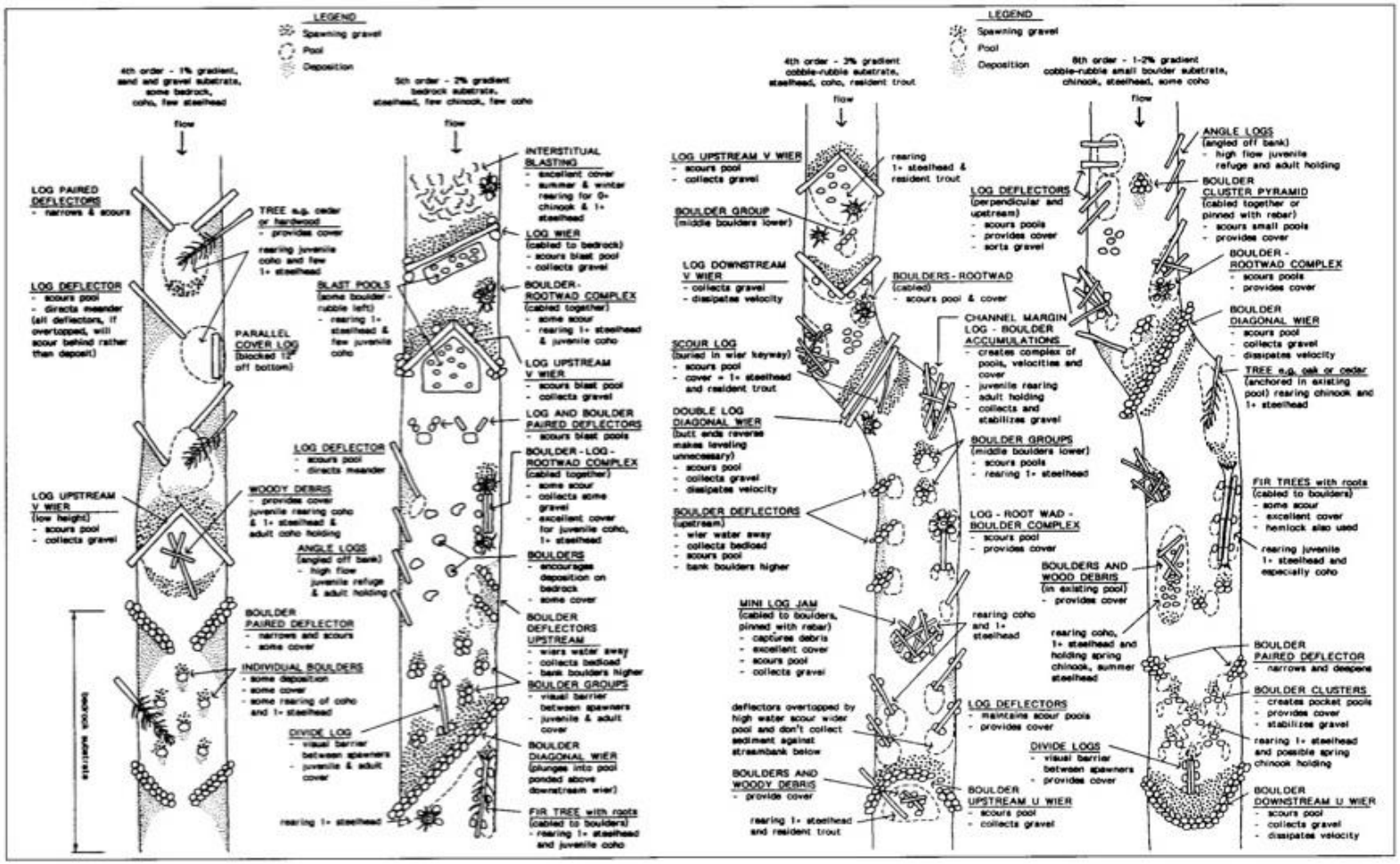


Figure 3.4 : Structures typiquement utilisées en petits et moyens ruisseaux de substrat rocheux, selon Crispin (1988), dans Slaney et Zuldokas (1997).

Aménagements de l'habitat de fraie du poisson

Il existe trois grandes familles d'aménagements visant à améliorer ou restaurer un site de fraie : (1) les aménagements favorisant la circulation des espèces migratrices jusqu'à leur site de fraie, (2) les aménagements modifiant l'hydrologie des cours d'eau afin de les rendre plus propices à la fraie et à la survie des œufs et (3) les aménagements améliorant les surfaces de fraie existantes ou qui en créent de nouvelles (adapté du S*pawning Habitat Rehabilitation* de Wheaton *et al*. (2004) développé pour le saumon).

Facilitation de la circulation des espèces migratrices vers leurs sites de fraie

Suivant toute logique, un site de fraie doit être accessible aux poissons qui l'utilisent ou qui l'utilisaient historiquement. Ce type d'aménagement est couramment mis en oeuvre pour améliorer la fraie des espèces anadromes comme l'éperlan arc-en-ciel, le saumon et le gaspareau (Rounsefell et Stringer 1945; Slaney et Zaldokas 1997; G. Wippelhauser comm. pers.). Les obstacles à la libre circulation du poisson, comme une vieille digue, sont détruits lorsque c'est possible. S'il est impossible d'enlever l'installation, des améliorations y sont faites. Par exemple, en réparant une échelle à poissons devenue inefficace ou en faisant la réfection de ponceaux désuets (Perrow et Davy 2002).

Modifications hydrologiques

Des aménagements hydrologiques sont créés lors de travaux majeurs de réhabilitation de sites de fraie sur des rivières et ruisseaux dont le débit et le cours ont été fortement modifiés par les activités humaines. Ils peuvent aussi créer de toute pièce un nouvel habitat de fraie. Ils permettent de redonner au cours d'eau des caractéristiques qui s'approchent de celles retrouvées en milieu naturel, ou de fournir un habitat de remplacement. Les structures les plus communes sont les chenaux et les digues. Un chenal permet de remplacer ou de créer une section de cours d'eau rencontrant les exigences de l'espèce pour laquelle il est destiné. Par exemple, des chenaux de reproduction sont construits pour remplacer les sites de fraie et d'alevinage du saumon à la suite de la construction de barrages hydroélectriques (Hourston et MacKinnon 1957; Fraser et Fedorenko 1983) ou autres activités humaines (Rosenfeld *et al*. 2008). Un chenal de fraie peut aussi être construit lorsque l'habitat de fraie optimal est absent, comme dans le cas du lac Wade, au Montana, afin de permettre la reproduction naturelle

de la truite arc-en-ciel introduite, et ainsi mettre un terme au réensemencement annuel du lac (*Montana Water Center* 2005, et figure 3.5). Quant aux digues, il s'agit par définition d'un ouvrage en longueur destiné à faire obstacle à des mouvements de l'eau ou à retenir l'eau. Conséquemment, l'ajout de courtes digues peut structurer une rivière redressée ou canalisée en brisant les mouvements d'eau causés par les bateaux et en ralentissant le courant par endroits, ce qui crée un habitat de vie et de fraie pour les poissons (figure 3.6), particulièrement pour les centrarchidés (Hartman et Titus 2010).

Figure 3.5 : Création d'un chenal de fraie pour la truite arc-en-ciel au lac Wade, Montana (É.-U.). Deux photos du même site, avant la construction du chenal (à gauche) et après (à droite). Tiré du site Internet du *Montana Water Center* (2005).

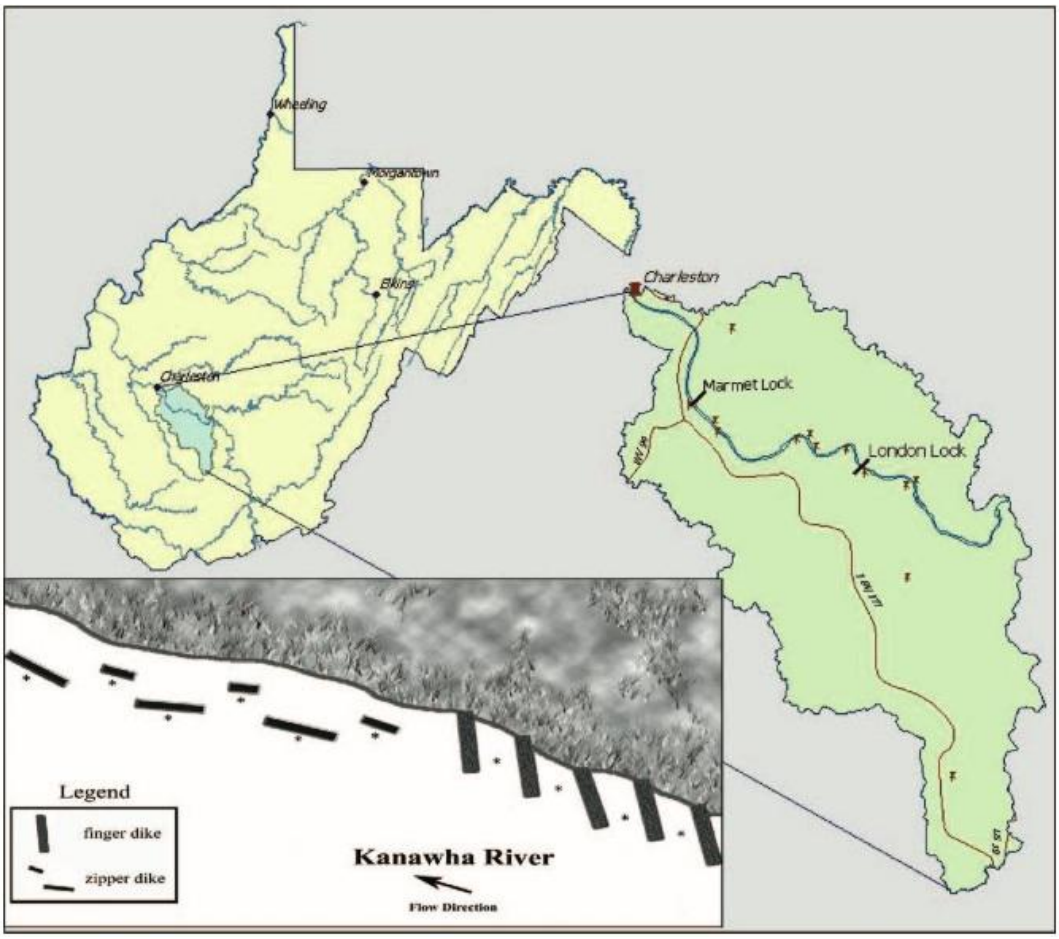


Figure 3.6 : Deux types de digues, *zipper* et *finger*, dans la rivière Kanawha en Virginie occidentale. Les digues brisent les vagues produites par les bateaux, ralentissent les courants, structurent l'habitat des poissons et servent de sites de fraie pour les centrarchidés. Tiré de Hartman et Titus (2010).

Amélioration des surfaces de fraie

Plusieurs espèces de poissons sont lithophiles, c'est-à-dire qu'elles ont une préférence pour les fonds pierreux pour se reproduire. L'ajout d'un substrat propice à la survie des œufs des espèces de poissons visées par les aménagements, généralement un mélange de gravier, galets et rochers ou de gabions (grillage remplis de galets), est une mesure couramment utilisée (Perrow et Davy 2002; Roni *et al*. 2005). La nature, la quantité et la disposition du nouveau substrat varie selon les situations. La création de nouveaux habitats de fraie s'effectue souvent près de sites existants ou sur des sites historiquement utilisés. Les habitats choisis présentent des caractéristiques similaires avec les sites existants. L'utilisation de ce type d'aménagement est grandement répandue, malgré son

succès souvent mitigé (Roni *et al.* 2005). Par exemple, à l'embouchure de la rivière Current dans le lac Supérieur, deux habitats de fraie ont été ajoutés en aval de deux sites de fraie actifs, et un autre a été aménagé sur une frayère abandonnée. Les deux premiers des trois habitats de fraie recréés ont été utilisés par les dorés (œufs vivants observés), ce qui confirme l'augmentation de la surface de fraie effective (figure 3.7). Par contre, l'augmentation du nombre de dorés capturés dans l'estuaire de la rivière avant et après l'ajout de gravier n'est pas significative. Enfin, la densité des œufs et leur survie n'ont pas été mesurées, ce qui empêche de quantifier l'efficacité de l'ajout de substrat de fraie (Geiling *et al.* 1996). L'amélioration des surfaces de fraie devrait mener à une augmentation du nombre de poissons adultes si la disponibilité des frayères est un facteur limitant la production. Un second exemple est celui des touladis des Grands Lacs. Ces derniers semblent avoir une préférence pour les récifs et les hauts-fonds artificiels faits de gravier, de galets et de rochers. Les adultes utilisent ces sites comme frayères, alors que les jeunes alevins et tacons s'en servent comme abris (Fitzsimons 1996). Malgré la popularité des récifs artificiels, la production globale de touladis reste faible. Dans ce cas, des facteurs autres que la disponibilité des frayères limitent vraisemblablement la production (Roni *et al* 2005).

L'efficacité réelle de l'amélioration des surfaces de fraie est questionnée. Un grand sondage auprès du Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario a tenté de quantifier le succès des frayères aménagées pour les dorés entre 1974 et 1994. Les autorités ont estimé que 15,6 % des 32 projets d'amélioration de la reproduction naturelle ont donné des résultats qualifiés comme « bons » (Geiling *et al*. 1996). Il importe de mentionner que les impacts des aménagements effectués restent souvent inconnus, par manque de suivi. En fait, l'amélioration ou l'augmentation de la surface de fraie par l'ajout de rochers et de gravier n'a été efficace que dans les cas où il avait préalablement été démontré que la surface de fraie disponible limitait le potentiel de production, par l'entassement des œufs (Dumont *et al*. 2011), ou encore dans les cas où les frayères étaient historiquement présentes en plus grand nombre (Roseman *et al.* 2010). Ce qui démontre l'importance de bien identifier le facteur limitant le recrutement et le stade de développement du poisson touché, afin d'y associer les mesures appropriées.

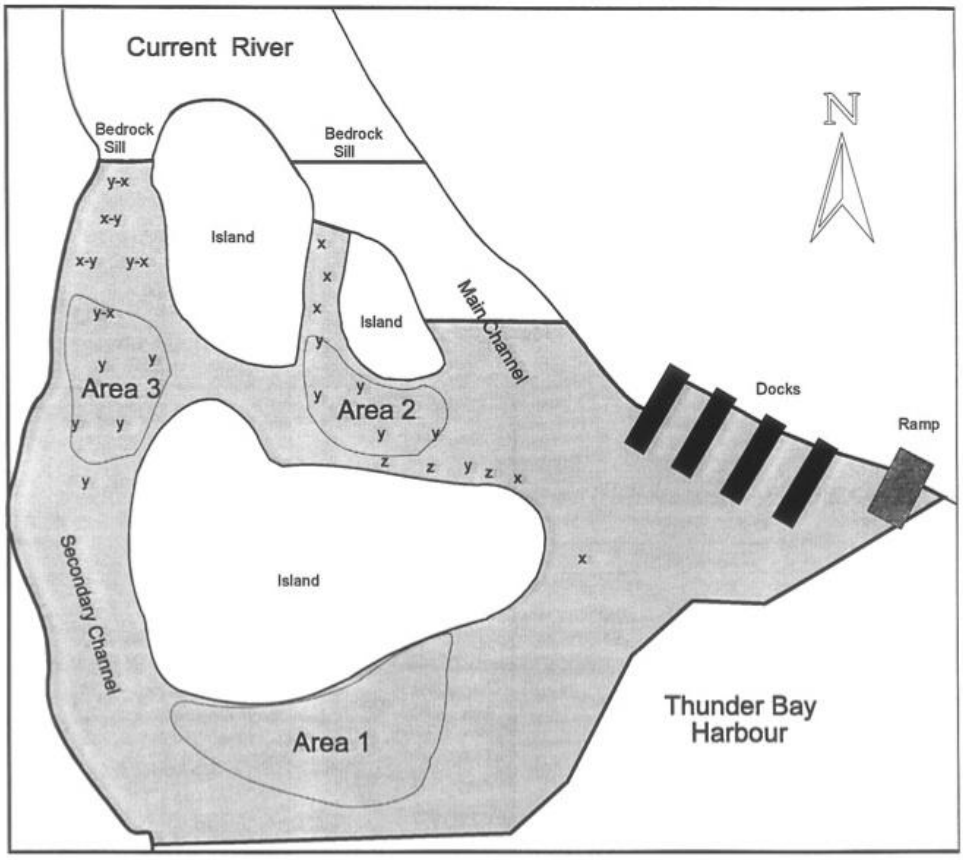


Figure 3.7 : Création de nouvelles surfaces de fraie pour le doré jaune en aval des surfaces existantes à l'embouchure de la rivière Current, Thunder Bay en Ontario (Area 1, 2 et 3). Des plongeurs ont fouillé la zone grise avant et après l'aménagement afin de faire le décompte des œufs de dorés. Les x indiquent les sites avec des œufs de doré vivants avant l'aménagement (en 1991), les y indiquent les sites avec des œufs vivants après la mise en place des nouveaux substrats de fraie, alors que les z indiquent la présence d'oeufs morts (en 1993). Tiré de Geiling *et al.* (1996).

Malgré le suivi généralement limité des aménagements de l'habitat du poisson, de grandes conclusions et recommandations ont pu être formulées pour les différents types d'aménagements en rivières et en lacs. Le tableau 3.2 résume les critères d'efficacité d'un aménagement tels que déterminés par Roni *et al.* (2005).

Tableau 3.2 : Caractéristiques fonctionnelles (efficacité, facteurs de succès, lacunes et longévité) des grands types d'aménagement de l'habitat de vie et de fraie des poissons. Adapté de Roni *et al.* (2005); des mises à jour sont indiquées dans le tableau.

	AMÉNAGEMENTS	EFFICACITÉ	FACTEURS DE SUCCÈS	LACUNES	LONGÉVITÉ
EN RIVIÈRE					
STRUCTURE	*Large woody debris* (LWD), *i.e.* troncs, branches et racines imitant des arbres tombés. Seuils, déflecteurs, ajout de rochers. Digues, chenaux.	L'ajout de bûches et rochers améliore l'habitat physique. Augmentation de l'abondance locale des salmonidés lorsqu'implanté correctement. Efficacité très variable selon l'espèce, le stade des poissons, et le type de structure.	À l'échelle du bassin versant : - qualité de l'eau, hydrologie; - charge de sédiments; - condition des rives. Certaines structures sont inappropriées pour les cours d'eau à haute énergie. Plus de succès avec de grands changements de l'habitat physique imitant les processus naturels.	Réponse inconnue à l'échelle du bassin versant et de la population.	Bénéfices à court terme (<10 ans) sauf si couplé à des améliorations du bassin versant.
SUBSTRAT	Frayères artificielles de gravier (Dumont *et al.* 2011) Récifs de fraie (Roseman *et al.* 2010)	Augmentation de la production de larves démontrée après l'implantation de récifs de fraie en gravier, pierres et rochers en rivière	Le facteur limitant la production doit être le manque de sites de fraie.		
EN LAC					
STRUCTURE	Bûches et palettes de bois. Broussailles et arbres de Noël lestés. Structures du commerce. Amas de pneus.	Les matériaux naturels sont plus utilisés par les poissons. Réponse positive pour les espèces d'eau chaude et riveraines. Augmentation des captures.	Succès en fonction : - des facteurs limitant le recrutement (le manque d'abris); - du site de la structure; - des liens prédateurs-proies; - de l'abondance de poissons.	Réponse peu connue à l'échelle de la population.	
SUBSTRAT	Ajout de gravier, galets et gabions. Récifs artificiels de pierres et gravier.	Récifs de fraie en gravier, pierres et rochers n'ont pas démontré leur efficacité pour augmenter la production en lac. Frayères plus utilisées, sans nécessairement plus de production (dorés et touladis).	Même que pour l'amélioration de substrat en rivière?		

Aménagements pour l'éperlan

D'après les recherches effectuées dans la littérature scientifique et dans la littérature grise, ainsi qu'à partir des échanges de correspondance avec les spécialistes de l'éperlan de divers pays, il est vraisemblable de croire qu'il n'existe aucun aménagement en fonction dans le monde visant à favoriser la fraie naturelle de l'éperlan arc-en-ciel d'eau douce ou de toute autre espèce d'éperlan dulcicole. Par contre, deux projets de réhabilitation de l'habitat de fraie en rivières pour l'éperlan anadrome étaient planifiés au Massachusetts, à l'été 2012. De plus, le tableau 3.2 permet de constater que peu de connaissances sont disponibles sur l'amélioration des surfaces de fraie en lac. Conséquemment, il faut faire preuve d'innovation et développer des critères propres à l'éperlan en se basant sur l'écologie de l'espèce, les connaissances du milieu et les aménagements créés pour des espèces ayant des besoins similaires (tableau 3.3).

Tableau 3.3 : Espèces de poissons partageant des habitats de fraie similaires avec l'éperlan. Le rang a été évalué en attribuant des poids aux critères identiques à ceux de l'éperlan, selon la synthèse des caractéristiques de l'habitat de fraie des espèces de poissons des Grands Lacs de Lane *et al.* (1996).

RANG	NOM COMMUN	NOM LATIN
1	Méné émeraude	*Notropis atherinoides*
2	Doré noir	*Sander canadensis*
3	Grand corégone	*Coregonus clupeaformis*
4	Gaspareau Doré jaune	*Alosa pseudoharengus* *Sander vitreus*
5	Cisco de lac	*Coregonus artedi*
6	Bar blanc	*Morone chrysops*
7	Meunier noir	*Catostomus commersoni*
8	Dard arc-en-ciel	*Etheostoma caeruleum*
9	Mulet perlé	*Margariscus margarita*

Critères clés de la conception d'un aménagement ou l'importance d'un aménagement bien pensé

Plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur le succès d'un aménagement. Il importe donc de bien préparer les projets d'aménagement avant de penser à les mettre en œuvre. La littérature sur le sujet et les comptes rendus de projets effectués mettent en évidence plusieurs conditions au succès de l'aménagement : (1) une très bonne connaissance du milieu où sera installé l'aménagement, (2) des buts clairs et définis, (3) une pensée à long terme et à grande échelle, (4) des calculs d'hydrodynamique et (5) un suivi de l'aménagement. Parce qu'ils prennent compte du milieu à aménager et non seulement de l'espèce à favoriser, ces critères s'inscrivent dans une démarche d'aménagement intégrée. Un aménagement réalisé sans considérer le contexte dans lequel il est implanté sera une mesure à très court terme, voire un échec. Un bon aménagement est un aménagement qui conserve, recrée ou imite les processus et habitats naturels (Perrow et Davy 2002; Roni *et al.* 2005).

Acquisition de connaissances

Connaître et comprendre le milieu que l'on veut modifier et l'écologie de l'espèce cible sont des conditions préalables essentielles à la conception d'un aménagement pertinent. En procédant à la revue des connaissances disponibles et en faisant l'acquisition de connaissances sur le milieu par échantillonnage, il est possible d'identifier les facteurs qui joueront un rôle déterminant dans l'implantation de l'aménagement. Les informations assemblées seront variées, d'ordre biologique, écologique, hydromorphologique et même historique (Wheaton *et al*. 2004). Par exemple, des données sur la dérive des larves permettent de localiser le site optimal pour une frayère en fonction des meilleurs sites de croissance (Jones *et al*. 2003). Des données historiques permettent de répertorier les frayères anciennement utilisées, dans le but de procéder à leur réhabilitation (Geiling *et al.* 1996). Une collection de données sur les caractéristiques des frayères connues et utilisées permet d'isoler les caractéristiques communes et de dresser le portrait de la frayère type (Chase 2006).

Buts clairs et définis

Prendre le temps de décortiquer un projet en ses différents objectifs permet de mieux cibler les mesures à prendre. Les projets d'ajout de structures dans l'habitat du poisson qui rencontrent le plus de succès ont été réalisés à partir d'objectifs clairement définis (Bolding *et al.* 2004). Ces objectifs sont formulés d'après les connaissances sur le milieu et les communautés de poissons qui le composent. Par exemple, l'inventaire des structures existantes doit démontrer que l'ajout de structures supplémentaires aura un impact positif. La formulation des objectifs permet de déterminer le meilleur type, la quantité optimale et le site le plus approprié à la mise en place des structures artificielles, généralement dans un cadre d'exploitation par la pêche.

Pensée à long terme et à grande échelle

Prendre en considération les caractéristiques du bassin versant est d'une importance capitale, particulièrement dans le cas de projets de réhabilitation. Dans ce cas, c'est souvent un processus manquant dans le bassin versant, issu de la combinaison des activités anthropiques, qui est à l'origine de la dégradation de l'habitat du poisson *(Roni et al*. 2005). Des mesures locales, comme l'ajout de seuils, d'amas de troncs ou de gravier, ne seront efficaces que pour une courte durée si les processus déficients ne sont pas corrigés à l'échelle du bassin versant (Wheaton *et al.* 2004). Par exemple, la sédimentation sur les sites de fraie augmente avec l'étendue de l'exploitation forestière du bassin versant, s'il n'y a aucune mesure de rétention des sols ou de maintien de la végétation des rives de mise en œuvre. Conséquemment, les aménagements se retrouvent rapidement envahis par les sédiments fins et il faut prévoir des travaux de désensablement à intervalles réguliers (Jones Creek, Fraser et Fedorenko 1983; Roni *et al.* 2005). Bref, il vaut mieux s'attaquer aux problèmes qu'aux symptômes seulement.

Calculs d'hydrodynamique

Les calculs hydrodynamiques sont d'une importance capitale, puisque les modèles de circulation des eaux générés permettent de tester les différents scénarios d'aménagement. D'instinct, on les associe aux aménagements en rivière ou à la conception de chenaux, mais ils peuvent prouver leur pertinence dès qu'il est question de circulation des masses d'eau. Ils permettent d'identifier les caractéristiques hydrologiques des habitats naturels du poisson et de faire en sorte que l'aménagement prévu rencontre ces exigences. Les modélisations hydrodynamiques permettent de maximiser la durée de vie des aménagements prévus, par exemple en évaluant le ratio profondeur-largeur idéal d'un chenal pour éviter l'érosion des berges, en évaluant le courant maximal sur un substrat de fraie pour conserver le gravier en place, ou encore en évaluant le courant minimal pour limiter le dépôt de sédiments fins (Newbury et Gaboury 1993; Holtschlag et Koschick 2002; Wheaton *et al*. 2004). Certains auteurs utilisent le terme géomorphologie fluviale pour regrouper ces processus (Newson *et al.* 2002).

Suivi des aménagements

Le suivi des aménagements est essentiel. D'abord pour s'assurer du succès ou de l'échec de l'entreprise et évaluer si des améliorations doivent être apportées au projet. Mais aussi pour accroître les connaissances globales sur le sujet. Malgré le nombre, la diversité et la popularité des aménagements du poisson, très peu de données sont disponibles concernant leurs impacts véritables et leur efficacité, particulièrement à l'échelle de la population de poissons (Roni *et al.* 2005). Le manque de suivi est une grande lacune des projets d'aménagement et fait l'objet de plusieurs critiques (Geilling *et al.* 1996; Minns *et al.* 1996).

EN RÉSUMÉ

Les actions posées afin de rétablir une population d'éperlans en déclin varient en fonction des caractéristiques des populations concernées. Aucune action ne semble avoir jamais été menée afin de rétablir une population indigène d'éperlans dulcicoles comparable à celles du lac Saint-Jean. De plus, très peu d'aménagements ont étés mis en œuvre afin de rétablir ou maintenir une population d'éperlans anadromes, et aucun aménagement pour l'éperlan dulcicole n'a été recensé. Par conséquent, les aménagements prévus pour améliorer la fraie naturelle de l'éperlan dans le lac Saint-Jean devront être conçus en se référant aux critères clés de la conception d'un aménagement (dernière section du présent chapitre), ainsi qu'aux données disponibles sur l'éperlan du lac Saint-Jean (chapitre 2).

CHAPITRE 4: PERSPECTIVES DE GESTION DE L'ÉPERLAN ARC-EN-CIEL AU LAC SAINT-JEAN

Il était initialement prévu de faire une proposition formelle d'aménagement afin de favoriser la production d'éperlans arc-en-ciel au lac Saint-Jean, en adaptant un concept élaboré ailleurs aux réalités et particularités du lac. Or, de tels aménagements n'ont pas été recensés ailleurs (chapitre 3). Il sera plutôt question dans ce chapitre des perspectives d'aménagement qui s'offrent aux gestionnaires du lac Saint-Jean à moyen terme, ainsi que des contraintes à court terme liées à certaines zones grises concernant l'écologie reproductive de l'éperlan du lac. Les leviers de gestion identifiés dans le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean seront revus, et les caractéristiques d'un bon aménagement pour l'éperlan du lac seront identifiées. De plus, une recherche sur le terrain de la localisation des sites de fraie sera proposée, afin de valider les conclusions tirées à partir des données disponibles. Enfin, un survol des permis nécessaires à la mise en place d'un aménagement et de la planification du suivi de l'aménagement vont clore le chapitre.

LEVIERS DE GESTION

Comme l'a démontré le chapitre 2, les activités de recherche des quinze dernières années sur l'éperlan arc-en-ciel ont été primordiales dans la compréhension de l'écologie de ce poisson fourrage au lac Saint-Jean. Ces connaissances ont été synthétisées sous la forme d'un modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (figure 4.1, tirée de Fortin *et al.* 2009). Ce modèle identifie et organise les facteurs d'influence en fonction de leurs impacts spécifiques sur un ou plusieurs stades de l'éperlan. Hormis la dispersion par les vents et le cannibalisme des anciennes cohortes d'éperlans sur les cohortes plus jeunes, plusieurs facteurs peuvent être directement ou indirectement influencés par les gestionnaires de la ressource. Il s'agit de la prédation des éperlans par les smolts (jeunes ouananiches à leur arrivée en lac), du débit de la rivière Péribonka durant la première semaine de juin, et des stocks d'éperlans reproducteurs. Ces facteurs peuvent être considérés comme des leviers potentiels pour gérer le recrutement de

l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean (figure 4.2). Ils seront décrits dans la section qui suit. Il est important de préciser que ce modèle a été mis au point à partir de données issues d'une période suivant des ensemencements massifs de ouananiches dans les tributaires du lac. Bien que toujours présent, le facteur de prédation par les smolts est probablement moins prédominant de nos jours.

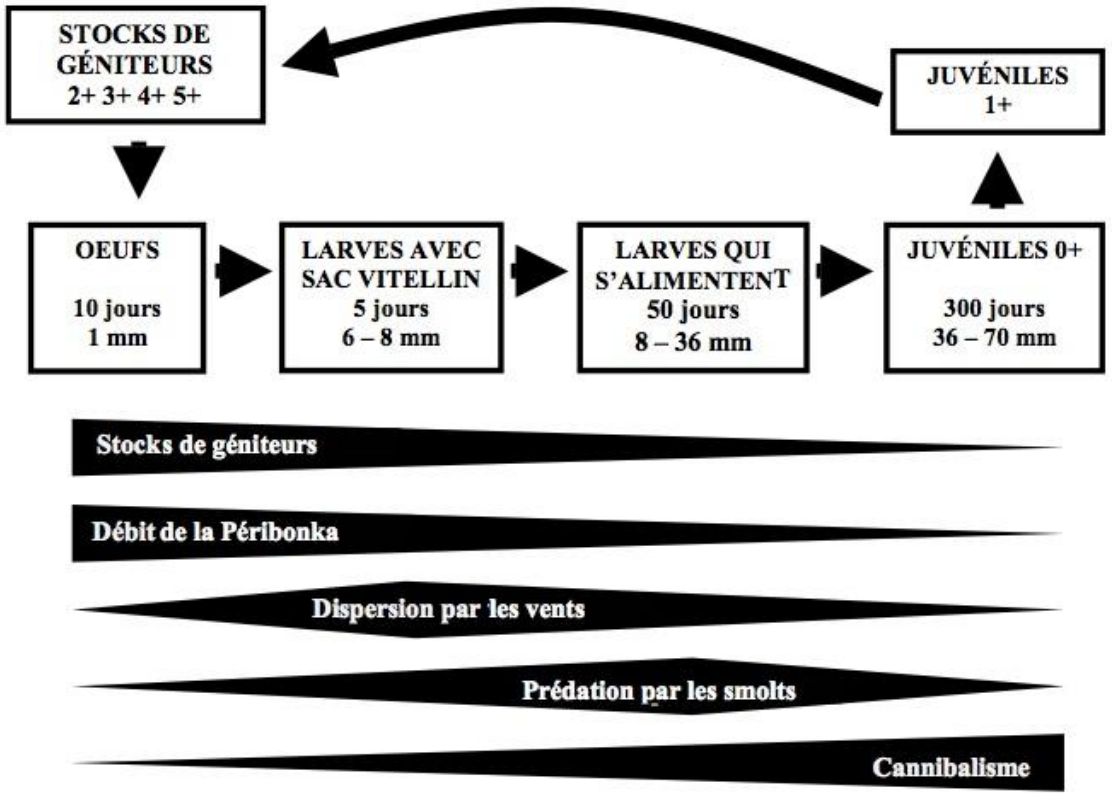


Figure 4.1 : Le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Tiré de Fortin *et al.* (2009).

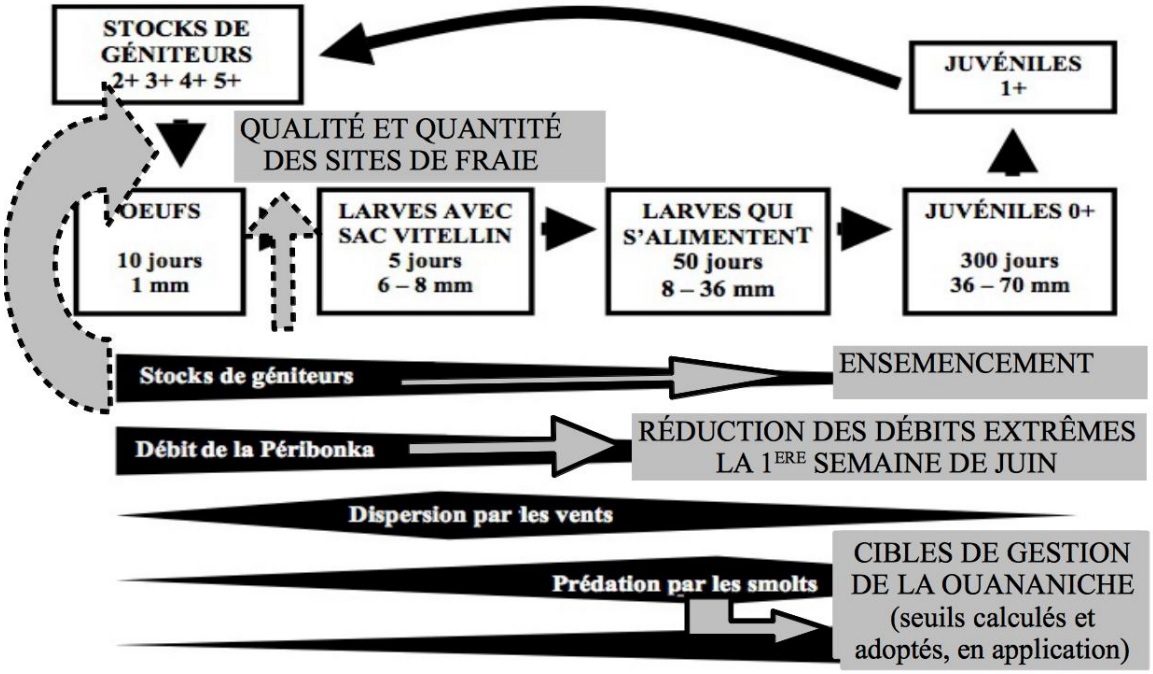


Figure 4.2 : Les leviers de gestion potentiels, d'après le modèle conceptuel du recrutement de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Les flèches en trait plein indiquent les leviers directs, alors que les flèches en trait discontinu indiquent les leviers indirects. Modification de Fortin *et al.* (2009).

Prédation par les smolts; l'adoption de cibles de gestion

La ouananiche exerce une importante pression de prédation sur les éperlans, particulièrement au stade smolt. Dans le passé, la production de saumoneau a souvent excédé la production d'éperlans, ce qui a entraîné l'effondrement des stocks d'éperlans, puis des stocks de ouananiches. L'instauration de nombres optimums et maximums de ouananiches reproductrices en rivière est un moyen de limiter les extrêmes de prédation par les smolts. En modélisant la relation entre le nombre de reproducteurs et le nombre de recrues (retour en rivière) selon un modèle stock-recrutement, il est possible de calculer des valeurs cibles pour la gestion des stocks de ouananiches (Ricker 1954; Schnute et Kronlund 1996). La valeur minimale correspond au nombre minimal de reproducteurs (seuil de conservation) à maintenir pour chaque population de ouananiches, alors que la

valeur maximale marque le seuil au-delà duquel le risque d'effondrement de l'éperlan est à craindre. En maintenant le nombre de reproducteurs entre ces deux valeurs cibles, adapté pour chaque rivière où fraie la ouananiche, on assure une ressource durable, une pêche de qualité et une diminution de l'amplitude des variations d'abondance (M. Legault, non publié). Lorsque le nombre de reproducteurs s'approche de la valeur cible minimale, il y a remise à l'eau obligatoire des ouananiches capturées. Par contre, aucune mesure n'est actuellement prise lorsque le nombre de reproducteurs dépasse la valeur cible maximale.

Débit de la rivière Péribonka

Le débit de la rivière Péribonka est contrôlé par une série de centrales hydroélectriques appartenant à Rio Tinto Alcan et Hydro-Québec. La régulation du débit dépend à la fois du régime des crues et des besoins de production en électricité. Il s'agit d'un processus complexe de gestion hydrique piloté par Rio Tinto Alcan Énergie électrique (Rio Tinto Alcan Énergie électrique 2012). Or, le débit de la rivière Péribonka durant la première semaine de juin peut avoir un impact direct sur l'abondance des éperlans 0+ plus tard dans la saison. Des crues extrêmes, de plus de 750 $m^3 \cdot s^{-1}$ pendant cette période, sont à tous coups associées à de faibles abondances d'éperlan 0+ pendant l'été (figure 2.6). Pour ces raisons, la limitation des débits extrêmes durant la première semaine de juin s'avère une mesure complexe à appliquer, mais qui mériterait d'être considérée dans le modèle de gestion hydrique. Il s'agit d'une mesure exceptionnelle (une fois tous les cinq ans en moyenne) et cohérente avec le projet d'aménagement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean, puisqu'elle agirait en amont des futurs aménagements. Par contre, elle ne suffirait pas, à elle seule, à assurer une augmentation à long terme de la production de larves.

Stocks de reproducteurs

L'augmentation du nombre de reproducteurs est une avenue envisageable afin d'augmenter le recrutement de l'éperlan au lac Saint-Jean. On peut arriver à une augmentation du stock d'éperlans de façon directe, par ensemencements, ou de façon indirecte, par la mise en place d'aménagements pour favoriser la reproduction naturelle en améliorant la qualité et la quantité des frayères.

Ensemencements; la méthode directe

L'ensemencement d'éperlans n'est pas une solution retenue pour consolider les populations naturelles d'éperlans, pour plusieurs raisons. Essentiellement, pour des raisons de faisabilité. Les ensemencements sont généralement des opérations récurrentes impliquant une lourde logistique et des coûts élevés. De plus, ils requièrent la disponibilité d'une source d'approvisionnement en œufs de populations d'éperlans sauvages, ce qui implique la capture d'éperlans reproducteurs. À l'échelle du lac Saint-Jean, il faudrait produire environ 200 millions de larves par année pour soutenir la production naturelle d'éperlans en période de rareté (Comité scientifique, comm. pers). De 2003 à 2006, les incubateurs de Desbiens ont permis de produire 78,4 millions de larves à partir de 107 400 reproducteurs (Gagnon 2003; 2004; 2005b; 2006). En respectant ces proportions, il faudrait capturer environ 274 000 reproducteurs du lac Saint-Jean afin de produire près de 200 millions de larves en incubateurs. Il s'agit de quantités colossales de reproducteurs à capturer, d'autant plus que le nombre moyen d'éperlans adultes capturés par coup de seine dans la rivière Péribonka au printemps varie entre 20 et 154 (tableau 4.1; Gauthier 2007, Gauthier 2008; Environnement Illimité 2009). Aux considérations logistiques s'ajoutent des considérations éthiques, liées à la quantité d'individus à prélever et au type de gestion de la ressource préconisé. On cherche à ce que le lac Saint-Jean demeure un écosystème naturel et autonome.

Tableau 4.1 : Éperlans arc-en-ciel adultes capturés à la seine au printemps dans la rivière Péribonka entre 2006 et 2008.

Année	Période	Éperlans adultes capturés	Coups de seine	CPUE ($n \cdot effort^{-1}$)	Référence
2006	27 avril au 16 mai	19917	129	154	Gauthier 2007
2007	1er au 15 mai	1925	95	20	Gauthier 2008
2008	7 au 20 mai	2366	94	25	Environnement Illimité 2009

Aménagements; la méthode indirecte

La mise en place d'aménagements au lac Saint-Jean est la mesure privilégiée par le comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêcherie au lac Saint-Jean, car elle semble l'outil de gestion le plus approprié pour y augmenter la production d'éperlans. De plus, il semble que les stocks d'éperlans sont présentement limités par les habitats de reproduction, qui pourraient avoir été considérablement perturbés par les activités anthropiques autour du lac depuis plus d'un siècle (flottage du bois, changement de régime hydrologique, etc.). Or, ce type de mesure pour favoriser l'éperlan n'existe nulle part ailleurs. La mise en place d'aménagements pour bonifier la production d'éperlans s'inscrira comme une démarche innovatrice afin de favoriser une exploitation durable des ressources halieutiques du lac Saint-Jean.

INFORMATIONS PRÉALABLES AUX AMÉNAGEMENTS

Capacité de support du lac Saint-Jean

La capacité de support de l'écosystème a préalablement été évaluée afin de s'assurer de la possibilité du milieu à absorber une production accrue d'éperlans. Malgré la faible productivité du lac Saint-Jean, la biomasse de zooplancton naturellement générée s'avère suffisante pour soutenir une plus grande population d'éperlans. La disponibilité de la nourriture ne serait pas une limitation à l'augmentation de la population d'éperlans, à condition que cette dernière ne dépasse pas le record historique de 0+ en 2006 (presque

40 larves · 1000 m^{-3}), dans lequel cas le ralentissement de la production de zooplancton à l'automne pourrait agir comme un goulot d'étranglement sur la production de poisson fourrage. Bref, le zooplancton (l'unique source de nourriture des éperlans ≤1+) n'est pas un facteur limitant pour le recrutement de l'éperlan dans le lac Saint-Jean (figure 4.3, tirée de Sirois *et al.* 2011).

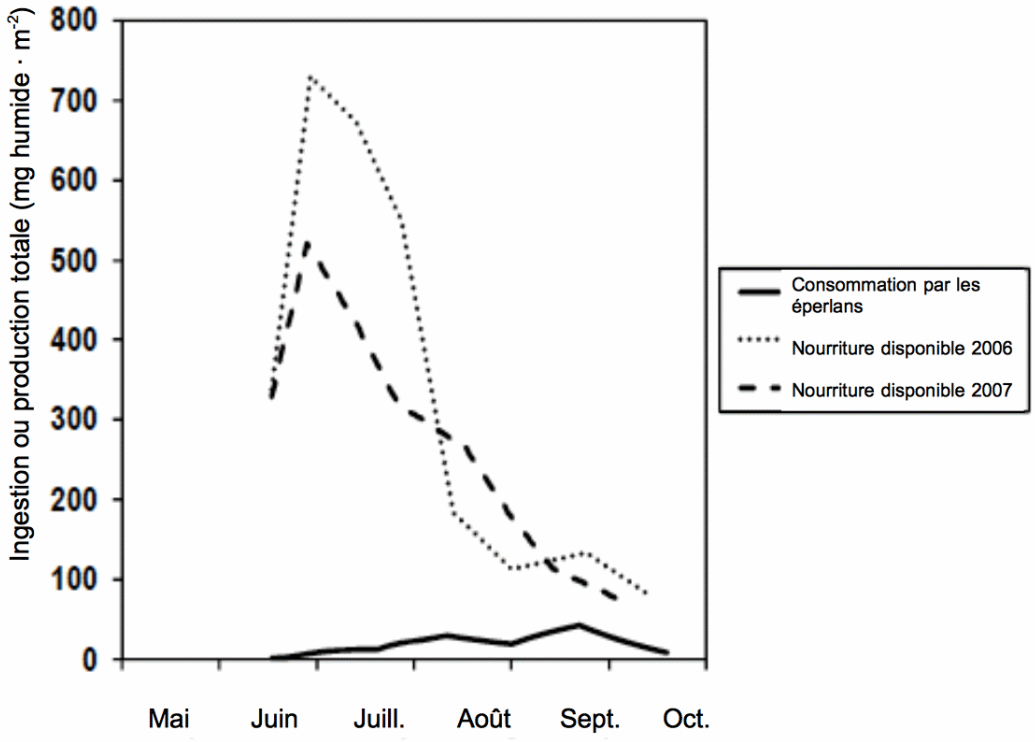


Figure 4.3 : Comparaison entre la production de nourriture disponible pour l'éperlan dans le milieu (proies zooplanctoniques) et la consommation de zooplancton par l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean au cours de la période d'eau libre à partir du 15 juin. Tiré de Sirois *et al.* (2011).

Identification du secteur avec le meilleur potentiel de production

La majorité des larves d'éperlan produites dans le lac Saint-Jean proviennent du secteur nord-ouest du lac. Par la suite, elles dérivent et sont rassemblées par les courants dans le secteur sud et sud-ouest du lac si les vents dominants sont de l'ouest et du nord-ouest. En cas de vent de l'est ou du sud-est, les larves sont maintenues dans le secteur nord-ouest du

lac. Contrairement à ce qui était attendu, il semble que les éperlans observés et capturés dans les grandes rivières lors de la période de fraie ne constituent que la pointe visible d'un effort beaucoup plus vaste de reproduction en embouchure de rivière et sur les hauts-fonds sablonneux du nord-ouest du lac Saint-Jean. Étant donné les fortes abondances de reproducteurs et de larves retrouvées à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka et la prédominance du génotype caractéristique des populations d'éperlans de la Péribonka en lac, le grand secteur de l'embouchure de cette rivière devrait jouer un rôle particulièrement important dans la production d'éperlans (voir chapitre 2).

Or, le secteur de l'embouchure de la rivière Péribonka ne semble pas, à prime abord, destiné à la fraie de l'éperlan. On y trouve deux facteurs nuisibles à la survie des œufs : un substrat essentiellement sablonneux et des débits parfois très élevés. La raison pour laquelle ce secteur demeure plus productif par rapport aux autres n'a probablement rien à voir avec les conditions de survie des œufs. Conséquemment, les caractéristiques permettant de maintenir la prévalence de la reproduction des éperlans à l'embouchure de la rivière Péribonka ont vraisemblablement un impact positif sur la survie des larves plutôt que sur la survie des œufs. De plus, cet avantage doit être relativement constant, année après année.

En se référant au modèle conceptuel du recrutement des éperlans arc-en-ciel au lac Saint-Jean (figure 4.1), les facteurs ayant de l'influence sur le stade larvaire des éperlans sont la pression de prédation par les smolts et la dispersion par les vents des larves en début d'alimentation exogène vers des conditions d'alimentation favorables. Il existe très peu d'information sur l'alimentation des smolts et l'origine génétique des éperlans 0+ consommés est inconnue. Il n'y a pas lieu de s'attendre à ce qu'une population d'éperlan 0+ soit consommée plus que l'autre pour une raison autre que sa prédominance dans le milieu. La pression de prédation n'est vraisemblablement pas le facteur à l'origine de la persistance dans le temps du grand secteur de fraie associé à la rivière Péribonka.

Par contre, la coïncidence des larves arrivant à l'alimentation exogène avec des ressources alimentaires disponibles offre une alternative plus plausible pour expliquer le maintien du

grand secteur de la Péribonka comme principal secteur de fraie. Dans la littérature scientifique, ce processus est connu comme l'hypothèse *match-mismatch* (Cushing 1990). En fait, ce ne serait pas les vents, mais plutôt la température plus froide du panache d'eau provenant de la rivière Péribonka qui jouerait un rôle clé sur la survie des larves (annexe 4.1). Les larves d'éperlan apparaissent en moyenne près d'une semaine plus tard dans le panache d'eau en provenance de la Péribonka que dans les autres masses d'eau (tableau 4.2), car le développement des embryons ralentit avec une diminution de la température de l'eau (McKenzie 1964). Bien que la biomasse des proies zooplanctoniques disponible dans le milieu soit toujours suffisante par rapport à la biomasse consommée par les larves dès le début de l'alimentation exogène, les proies peuvent être difficiles à trouver pour les larves à cette période (fin mai, début juin). À moins de deux proies par litre d'eau, le succès alimentaire des larves est considéré comme sous-optimal (figure 4.4, tiré de Fortin 2002). À long terme, le léger décalage dans le temps du développement embryonnaire constitue un avantage pour les larves provenant du panache d'eau froide de la rivière Péribonka, puisqu'il leur assure une meilleure coïncidence avec les conditions optimales d'alimentation.

Tableau 4.2 : Dates de capture des premières larves d'éperlan arc-en-ciel pour différents sites et plusieurs années au lac Saint-Jean (MRNF, données non publiées). La section gris pâle regroupe les sites (masses d'eau) qui présentent sensiblement la même température, alors que la section gris foncé distingue les eaux plus froides de la rivière Péribonka (voir annexe 4.1 pour la température en fonction des masses d'eau).

Année	En lac	Ashuapmushuan	Mistassini	Péribonka
1997	8 juin	3 juin		11 juin
1998	18 mai	18 mai		25 mai
1999	29 mai	28 mai	30 mai	
2000		26 mai	30 mai	2 juin
2005				31 mai
2006				27 mai
2008				1 juin
Premières larves capturées		**18 mai au 8 juin**		**25 mai au 11 juin**

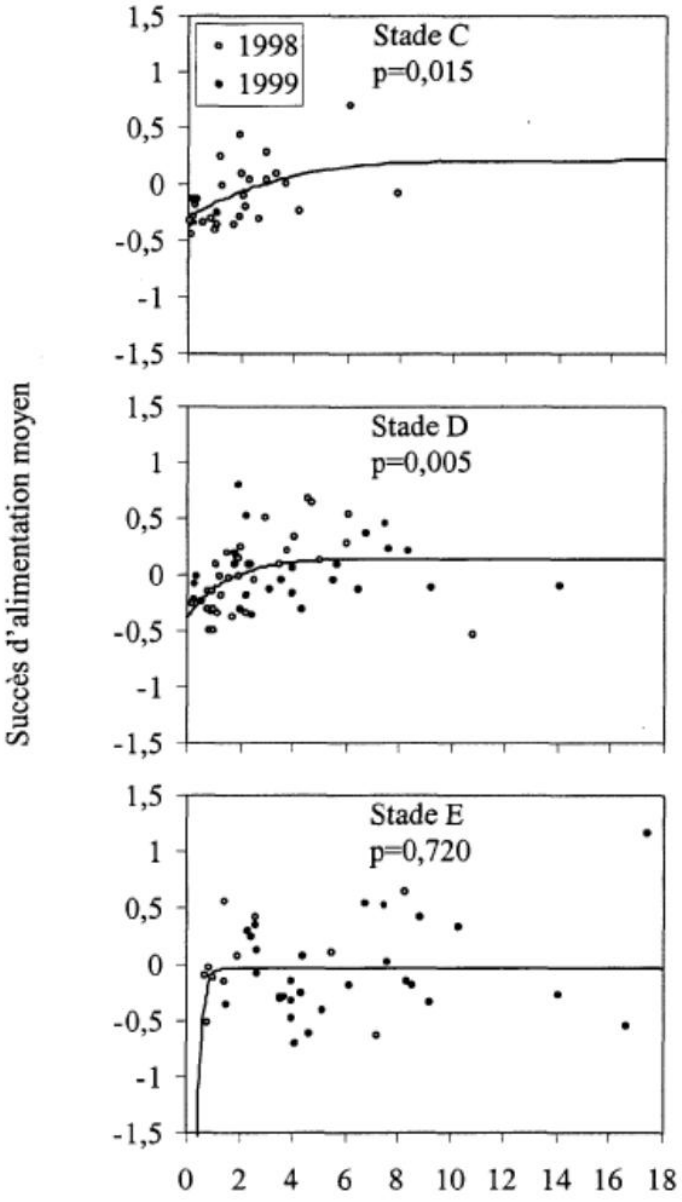


Figure 4.4 : Succès d'alimentation moyen des larves d'éperlans arc-en-ciel aux stades de développement C à E en fonction de la densité des nauplii de copépodes et des *Diacyclops bicuspidatus thomasi* (individus · L^{-1}) en 1998 (cercles blancs) et 1999 (cercles noirs) au lac Saint-Jean. Tiré de Fortin (2002) avec modifications de Fortin *et al*. (2009).

Le site d'un nouvel aménagement est généralement établi en fonction de la proximité avec un site de fraie naturel utilisé ou historiquement utilisé dans le cas d'aménagement visant la restauration de frayère, et la proximité des sites d'alevinage (Jones *et al.* 2003; Roseman *et al.* 2010; Dumont *et al.* 2011). Ce procédé maximise les chances de succès de l'aménagement, parce que les reproducteurs fréquentent déjà le secteur, et que l'habitat aménagé va partager des caractéristiques similaires avec les sites existants (Roni *et al.* 2005; Geilling 1996). Dans le cas de l'éperlan du lac Saint-Jean, cela signifie que les aménagements projetés devront être effectués en lac, mais à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka afin de profiter à la fois de la présence des reproducteurs (si validée; voir prochaine section) et d'une meilleure chance de survie offerte par une fenêtre d'éclosion plus tardive au printemps.

Validation des secteurs de fraie à petite résolution; une priorité à court terme

Un projet de cette envergure doit absolument être appuyé par des faits. Avant de concevoir l'aménagement, il est prioritaire de valider l'activité de fraie sur les hauts-fonds près de l'embouchure des rivières Péribonka et Mistassini. Ce secteur a été identifié par déduction, à partir des données de distribution, d'abondance, de dérive et de quantification des larves d'éperlan au lac Saint-Jean et dans les grandes rivières (voir chapitre 2). Les objectifs sont (1) de valider/infirmer la fraie de l'éperlan aux embouchures de rivière et sur les hauts-fonds du nord-ouest du lac; et (2) de dresser le portrait d'utilisation de ce secteur à une échelle suffisante pour identifier des foyers de fraie. La résolution très fine n’est pas nécessaire puisque les éperlans changent de site de fraie selon les conditions environnementales locales (Rothschild 1961; Bruce 1975).

Le suivi rapproché de la dérive des larves est l'option retenue pour identifier les foyers de fraie. Les larves sont capturées le long d'une trajectoire donnée, à l'aide d'un filet tracté par bateau. La stratégie reproductive des éperlans implique la production d'une très grande quantité d'oeufs et de larves, ce qui garantit que les jeunes larves sont aisément détectables lorsqu’elles sont présentes dans le milieu.

PERSPECTIVES À MOYEN TERME

Puisqu'il manque à l'heure actuelle des informations sur les frayères à éperlan existantes, le choix, la conception et la mise en œuvre de l'aménagement s'inscrivent dans une perspective de projet à moyen terme. Poursuivre dans cette direction avec un portrait incomplet des secteurs de fraie appartiendrait au domaine de la spéculation. Les actions proposées à court terme visent essentiellement à compléter ces lacunes, principalement par la campagne d'échantillonnage des larves décrite dans la section précédente, prévue pour le printemps 2013.

Cela dit, deux aspects de la conception d'un aménagement méritent qu'on s'y attarde, peu importe l'aménagement retenu : les demandes de permis et la planification du suivi.

Demandes de permis

Plusieurs autorisations doivent être délivrées avant la mise en œuvre d'aménagements en milieu aquatique. Certaines sont incontournables puisqu'un aménagement interfère avec les lois qui protègent l'habitat du poisson, l'environnement ou encore la faune, alors que d'autres ne sont nécessaires que dans des cas bien précis. En vertu des dispositions fédérales sur la protection de l'habitat du poisson, une demande d'examen doit être soumise à Pêches et Océans Canada. La procédure demeurera la même suivant l'application de la loi C-38 dès janvier 2013, sauf que le critère d'évaluation portera sur la protection de la pêcherie plutôt que sur celle de l'habitat du poisson. Au provincial, un guichet commun du Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune permet déposer simultanément la demande des certificats d'autorisation en vertu de l'article article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2, a. 22) et de l'article 128.7 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (L.R.Q., c. C-61.1). À ces autorisations essentielles s'ajoutent celles de la MRC et des municipalités lorsque l'emplacement de l'aménagement sera connu. Une liste des principaux permis et autorisations tirée d'un ouvrage de référence de la Fondation de la faune du Québec et du

Ministère de l'Environnement et de la Faune (FFQ et MEF, 1996) est disponible sous l'annexe 4.2.

Planification du suivi

Le suivi de l'aménagement est essentiel puisqu'il permet de valider l'effet de l'aménagement sur les espèces de poissons ciblées, de confirmer la pertinence de l'aménagement retenu dans un contexte connu et de rendre des comptes aux partenaires du projet (Minns *et al.* 1996; Geilling *et al* 1996; FFQ et MEF 1996). Un plan de suivi est exigé au moment de soumettre le projet aux instances gouvernementales pour l'obtention de permis, ainsi que pour faire la demande de certaines aides financières. Par exemple, un plan de suivi doit accompagner une demande de financement pour l'amélioration de la qualité des habitats aquatiques (AQHA) de la Fondation de la faune du Québec. Les coûts du suivi doivent être considérés dans la planification de l'aménagement, car il n'existe pas de financement propre au suivi. La Fondation de la Faune offre une aide financière pour assurer l'entretien à la suite d'un événement ponctuel et exceptionnel, seulement accessible aux aménagements qui ont été auparavant soutenus par la fondation et qui ont été l'objet de suivi. Selon l'intérêt et les ressources disponibles, le suivi peut avoir une portée variable. À court terme et à petite échelle, il peut permettre de vérifier s'il y a des œufs sur le substrat nouvellement aménagé. Toujours à court terme, mais à une échelle plus vaste, il mesure la production de larves en fonction de la production avant aménagement. Dans une perspective à long terme, il mesure les répercussions de l'aménagement sur le recrutement. Or toutes ces vérifications, sauf la première, sont bonifiées par une comparaison avec le même paramètre à l'état pré-aménagement. En plus de permettre d'identifier les principaux sous-secteurs de fraie, l'échantillonnage prévu au printemps 2013 va aussi jouer le rôle de référence à fine résolution avant aménagements.

EN RÉSUMÉ

Par une connaissance préalable du milieu et de l'espèce visée par un aménagement, il est possible d'identifier les facteurs déterminants sur l'implantation des aménagements et de leurs succès. Dans le cas de l'éperlan arc-en-ciel dulcicole du lac Saint-Jean, il existe trois leviers de gestion pouvant influencer le recrutement : les stocks de reproducteurs, la prédation par les smolts et le débit de la rivière Péribonka. L'implantation d'aménagements pour favoriser la fraie naturelle des éperlans permet d'atteindre indirectement un de ces leviers, c'est à dire augmenter les stocks de reproducteurs. Pour maximiser les chances de réussite d'un aménagement, ce dernier doit être situé à proximité des frayères existantes et permettre aux larves d'atteindre facilement les zones d'alevinage. À partir des données disponibles, le secteur des hauts-fonds sablonneux à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka serait le secteur le plus prometteur pour l'éperlan du lac Saint-Jean. Un échantillonnage intensif des larves du secteur nord-ouest du lac Saint-Jean devra valider cette hypothèse avant de poursuivre le développement des projets d'aménagements.

CONCLUSION

Les connaissances sur l'écologie reproductive de l'éperlan dulcicole du lac Saint-Jean ont été rassemblées et consolidées à la demande du comité scientifique pour la gestion des ressources halieutiques et de la pêcherie dans l'Aire faunique communautaire du lac Saint-Jean, afin de fournir une base solide à la réalisation d'aménagements visant à augmenter la production naturelle d'éperlans, tel que suggéré dans le *Plan de gestion 2011-2020 de la ouananiche, du doré jaune, de la lotte et de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean*. L'étude de cas était articulée en quatre volets ou chapitres. Elle a débuté par une revue de la littérature scientifique portant sur le comportement reproductif des éperlans boréaux, avec emphase sur les particularités de l'éperlan dulcicole. Le chapitre suivant décortiquait les connaissances et les données disponibles sur les éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean, situant le comportement de fraie des éperlans du lac Saint-Jean dans le contexte des observations faites ailleurs dans le monde. Suivait une revue de l'état des stocks d'éperlans à différents endroits dans le monde et le type de gestion qui y est associé. Ce chapitre contenait aussi une revue générale des aménagements en milieu aquatique. Enfin, le dernier chapitre proposait des perspectives de gestion de la reproduction de l'éperlan au lac Saint-Jean.

De manière générale, les éperlans boréaux (le genre *Osmerus*) sont répartis le long des côtes de l'hémisphère nord, du 45^{e} parallèle nord en montant vers le pôle Nord. Les populations dulcicoles se retrouvent à proximité des côtes et, quelquefois, plus en retrait dans le cas de populations ensemencées. À l'exception de l'État du Maine (É.-U.), étonnamment peu d'efforts sont dévoués à la gestion de l'éperlan dulcicole, malgré son rôle reconnu de poisson fourrage. Il n'existe vraisemblablement pas d'aménagement pour l'éperlan dulcicole dans le monde. Ce qui implique la mise au point d'un aménagement novateur adapté aux besoins de l'éperlan du lac Saint-Jean, prenant en considération les particularités environnementales propres au milieu.

L'éperlan arc-en-ciel dulcicole du lac Saint-Jean ne suit pas les patrons classiques de reproduction en ruisseau. En fait, les données disponibles indiquent que le principal effort de fraie aurait lieu en lac, sur les hauts-fonds à proximité de l'embouchure de la rivière Péribonka et, possiblement, de l'embouchure de la Mistassini. Ce constat est formulé par déduction à partir de plusieurs séries de données indirectes et il ne peut donc supporter un scénario d'aménagement valide. À court terme, un échantillonnage printanier des larves d'éperlans dans le secteur nord-ouest du lac devra valider l'utilisation de ce secteur comme site de fraie et indiquer les foyers de production d'éperlans.

RÉFÉRENCES

Alliance Environnement. 2008. Bilan du 1er plan de rétablissement de l'éperlan arc-en-ciel, population du sud de l'estuaire 2003-2007. 115 p.

Ayer, M. H., C. Benton, W. King, J. Kneebone, S. Elzey, M. Toran, K. Grange et D. L. Berlinsky. 2005. Development of practical culture methods for rainbow smelt larvae. North American Journal of Aquaculture 67(3): 202-209.

Baldwin, N. S. M. 1950. The American smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), of south Bay, Manitoulin Island, Lake Huron. Transactions of the American Fisheries Society 78: 176-180.

Becker, G. C. 1983. Fishes of Wisconsin. The University of Wisconsin Press, Madison.

Belyanina, T. N. 1969. Synopsis of biological data on smelt *Osmerus eperlanus* (Linnaeus) 1758. Food and Agriculture organization of the United Nations. FAO Fisheries Synopsis no.78. 50 p.

Bernatchez, L. 1997. Mitochondrial DNA analysis confirms the existence of two glacial races of rainbow smelt *Osmerus mordax* and their reproductive isolation in the St Lawrence River estuary (Quebec, Canada). Molecular Ecology 6(1): 73-83.

Bernatchez, L. et R. Saint-Laurent. 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. 36 p.

Bolding, B., S. Bonar et M. Divens. 2004. Use of artificial structure to enhance angler benefits in lakes, ponds, and reservoirs: a literature review. Reviews in Fisheries Science 12(1): 75-96.

Bouchard, L., et H. Royer. 1997. Recherches de frayères à éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans le lac Saint-Jean en 1996. Ministère de l'Environnement du Canada, Ministère des Pêches et des Océans du Canada, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 59 p.

Bourassa, J.-J., et R. Lesage. 1973. Visites des frayères d'éperlans (*Osmerus mordax*), lac Kénogami. 23 p.

Bozek, M. A., T. J. Haxton et J. K. Raabe. 2011. Walleye and Sauger habitat. Biology, management, and culture of Walleye and Sauger. B. A. Barton. American Fisheries Society, Bethesda' Maryland, 133-197.

Bradbury, I. R., S. E. Campana, P. Bentzen et P. V. R. Snelgrove. 2004. Synchronized hatch and its ecological significance in rainbow smelt *Osmerus mordax* in St. Mary's Bay, Newfoundland. Limnology and Oceanography 49(6): 2310-2315.

Brassard, C. et G. Verreault. 1995. Indice de qualité de l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome de l'estuaire sud du Saint-Laurent. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale du Bas Saint-Laurent, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 33 p.

Bruce, J. W. 1975. Some aspects of the biology of landlocked smelt, *Osmerus eperlanus mordax* (Mitchill) 1815, in selected Avalon Peninsula lakes. Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Newfoundland Region. Rapport numéro NEW/T-75-2, 129 p.

Carrier, D., R. Bossé et G. Trencia. 1982. Étude de la fraye de l'éperlan en 1982 à la rivière Boyer, comté de Bellechasse, et synthèse des renseignements sur la fraye compilés depuis 1978. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 22 p.

Chase, B. C. 2006. Rainbow smelt (*Osmerus mordax*) spawning habitat on the Gulf of Maine coast of Massachusetts. Massachusetts Division of Marine Fisheries. Rapport numéro TR-30, 173 p.

Chase, B. C. 2010. Quality assurance program plan (QAPP) for water quality measurements conducted for diadromous fish habitat monitoring version 1.0, 2008-2012. Massachusetts Division of Marine Fisheries. Rapport numéro TR-42, 71 p.

Chase, B. C., J. H. Plouff et M. Gabriel. 2008. An evaluation of the use of egg transfers and habitat restoration to establish an anadromous rainbow smelt spawning population. Massachusetts division of marine fisheries. Rapport numéro TR-33, 16 p.

Cooper, J. E. 1978. Identification of eggs, larvae, and juveniles of the rainbow smelt, *Osmerus mordax*, with comparisons to larval alewife, *Alosa pseudoharengus*, and gizzard shad, *Dorosoma cepedianum*. Transactions of the American Fisheries Society 107(1): 56-62.

Coulombe, L., et N. Francoeur. 1985. Localisation des frayères à éperlan du lac Saint-Jean en 1985. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Direction régionale Saguenay-Lac Saint-Jean. 28 p.

Crispin, V. 1988. Main channel structures *dans* Stream rehabilitation manual emphasizing project design, construction, evaluation, R. House, J. Anderson, P. Boehne et J. Suthers *Eds*. Ashland, Oregon. Oregon Chapter American Fisheries Society.

Cushing, D. H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: An update of the match/mismatch hypothesis. Advances in Marine Biology 26: 249-294.

Daykin, P. N. 1965. Application of mass transfer theory to problem of respiration of fish eggs. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 22(1): 159-171.

Dumont, P., J. D'Amours, S. Thibodeau, N. Dubuc, R. Verdon, S. Garceau, P. Bilodeau, Y. Mailhot et R. Fortin. 2011. Effects of the development of a newly created spawning ground in the Des Prairies River (Quebec, Canada) on the reproductive success of lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). Journal of Applied Ichthyology 27(2): 394-404.

Environnement Illimité inc. 2009. Aménagement hydroélectrique de la Péribonka - Suivi de l'effet de la turbidité sur la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel dans la rivière Péribonka - Printemps 2008. Rapport produit par Burton F. et N. Ouellet. Présenté à Hydro-Québec Équipement, Unité Environnement. 65 p.

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, Faune Québec. 48 p.

Fisheries Group. 2003. Fish kill investigation manual. Northern Territory Government Australia, Department of Natural Resources, Environment, The Arts and Sport. 15 p.

Fitzsimons, J. D. 1996. The significance of man-made structures for lake trout spawning in the Great Lakes: are they a viable alternative to natural reefs? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53: 142-151.

Fondation de la faune du Québec et Ministère de l'Environnement et de la Faune. 1996. Habitat du poisson. Guide de planification, de réalisation et d'évaluation d'aménagements. 140 p.

Fortin, A.-L. 2002. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des jeunes éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du lac Saint-Jean. Département des sciences fondamentales. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 107 p.

Fortin, A.-L., P. Sirois et M. Legault. 2009. Synthèse et analyse des connaissances sur la ouananiche et l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi, Laboratoire des sciences aquatiques, et Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de l'expertise sur la faune et ses habitats. 137 p.

Fraser, P. J. et A. Y. Fedorenko. 1983. Jones Creek pink salmon spawning channel: a biological assessment, 1954-1982. Rapport numéro 1188, 89 p.

Froese, R. et D. Pauly. 2011 (Version 08/2011). FishBase, World Wide Web electronic publication. Consulté en janvier 2012. www.fishbase.org.

Fuda, K. M., B. M. Smith, M. P. Lesser, B. J. Legare, H. R. Breig, R. B. Stack et D. L. Berlinsky. 2007. The effects of environmental factors on rainbow smelt *Osmerus mordax* embryos and larvae. Journal of Fish Biology 71(2): 539-549.

Gagnon, K. 2003. Production d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean en 2003 au moyen d'incubateurs. Corporation l'activité pêche lac Saint-Jean. 21 p.

Gagnon, K. 2004. Production d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean en 2004 au moyen d'incubateurs. Corporation l'activité pêche lac Saint-Jean. 18 p.

Gagnon, K. 2005a. Distribution et abondance des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au lac Saint-Jean. Mémoire présenté à l'UQAC comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables. Département des sciences fondamentales. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 98 p.

Gagnon, K. 2005b. Production d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean en 2005 au moyen d'incubateurs. Corporation l'activité pêche lac Saint-Jean. 17 p.

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. Corporation l'activité pêche lac Saint-Jean. 14 p.

Gauthier, O. 2007. Rivière Péribonka - Printemps 2006, Habitat de reproduction, captures de reproducteurs et de larves. Ministère des Ressource naturelles et de la Faune du Québec, Direction de l'aménagement de la faune du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Rapport numéro 9388.8.1.3, 29 p.

Gauthier, O. 2008. Compte rendu des opérations - Secteurs de reproduction et captures de reproducteurs - Éperlan du lac Saint-Jean (*Osmerus mordax*), Rivière Péribonka. Ministère des Ressource naturelles et de la Faune du Québec, Direction de l'aménagement de la faune du Saguenay-Lac-Saint-Jean. 39 p.

Geffen, A. J. 1990. Response of rainbow smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), eggs to low pH. Journal of Fish Biology 37(6): 865-871.

Geiling, W. D., J. R. Kelso et E. Iwachewski. 1996. Benefits from incremental additions to walleye spawning habitat in the Current River, with reference to habitat modification as a walleye management tool in Ontario. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53: 79-87.

GIEC. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC. 103 p.

Giroux, M., G. Verreault et G. Trencia. 1990. Étude comparative des caractéristiques biologiques des populations d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de la région de Beaumont et de Rivière-Ouelle durant la fraie. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 44 p.

Gomez and Sullivan. 2010. Weir River smelt habitat restoration. Massachusetts agency of Marine Fisheries. 21 p.

Gorman, O. T. et D. B. Bunnell. 2010. Great Lakes prey fish populations: a cross-basin overview of status and trends from bottom trawl surveys, 1978-2010. Upper and lower lakes committee meetings, Ypsilanti, Michigan, du 21 au 25 mars 2011. Édité par Great Lakes Fishery Commission. USGS 9 p.

Harmon Brook Farm. 2009. 2003-2008 Moosehead lake smelt restoration and research project. Maine smelt hatchery, Maine department of inland fisheries and wildlife, Moosehead lake fisheries coalition. 12 p.

Hartman, K. J. et J. L. Titus. 2010. Fish use of artificial dike structures in a navigable river. River Research and Applications 26(9): 1170-1186.

He, X., et G. W. LaBar. 1994. Interactive effects of cannibalism, recruitment, and predation on rainbow smelt in lake Champlain: a modelling synthesis. Journal of Great Lakes Research 20(1): 289-298.

Holtschlag, D. J. et J. A. Koschik. 2002. A two-dimensional hydrodynamic model of the St. Clair-Detroit River waterway in the Great Lakes basin. U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey.

Hoover, E. E. 1936. The spawning activities of fresh water smelt, with special reference to the sex ratio. Copeia 1936(2): 85-91.

Hourston, W. R. et D. MacKinnon. 1957. Use of an artificial spawning channel by salmon. Transactions of the American Fisheries Society 86(1): 220-230.

Ivanova, M. N. et S. N. Polovkova. 1972. Types of spawning grounds and spawning ecology of the landlocked smelt *Osmerus eperlanus* in Rybinsk Reservoir. Journal of Ichthyology 12(4): 625-633.

Jones, M. L., J. K. Netto, J. D. Stockwell et J. B. Mion. 2003. Does the value of newly accessible spawning habitat for walleye (*Stizostedion vitreum*) depend on its location relative to nursery habitats? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 60(12): 1527-1538.

Kangur, A., P. Kangur, K. Kangur et T. Möls. 2007. The role of temperature in the population dynamics of smelt *Osmerus eperlanus eperlanus* m. *spirinchus* Pallas in Lake Peipsi (Estonia/Russia). Shallow Lakes in a Changing World. R. D. Gulati, E. Lammens, N. Pauw et E. Donk. Springer Netherlands, p. 433-441.

Kendall, W. C. 1926. The Smelt. Bulletin of the United States bureau of fisheries 42: 217-375.

Kircheis, F. W. et J. G. Stanley. 1981. Theory and practice of forage-fish management in New England. Transactions of the American Fisheries Society 110(6): 729-737.

Lake Champlain Basin Atlas. 2004. Lake Champlain Basin Program, New England Interstate Water Pollution Control Commission. Consulté en janvier 2012 http://www.lcbp.org/atlas/index.htm.

LakeNet. 2004. World Lakes Website, Lake Peipsi. Consulté en février 2012. http://www.worldlakes.org/lakedetails.asp?lakeid=8767.

Lampert, W. et U. Sommer. 1997. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, Oxford. 382 p.

Lane, J. A., C. B. Portt et C. K. Minns. 1996. Spawning habitat characteristics of Great Lakes fishes. Fisheries and Oceans. Rapport numéro 2368, 46 p.

Lapointe, A. 2002. Expérimentation d'un nouveau type de capteurs à oeufs d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) et observation sur la migration printanière dans la rivière aux Rats en 2001. 45 p.

Leclerc, M. 1985. Modélisation tridimentionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis: application au lac Saint-Jean (Québec). Université de technologie de Compiègne. 294 p.

Lecomte, F. 2011. Spawning strategies and dynamics among anadromous smelts, are we aware only of the tip of the iceberg? Fourth North American workshop on rainbow smelt, Portland, ME. State of Maine Department of marine resources.

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. 57 p.

Legault, R.-O. et C. Delisle. 1968. La fraye d'une population d'éperlans géants, *Osmerus eperlanus mordax*, au lac Heney, Comté de Gatineau, Québec. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 25(9): 1813-1830.

Legault, M. et F. Lecomte. 2011. Ghost hunting; quantifying and localizing alternative spawning grounds used by anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*). Fourth North American workshop on Rainbow smelt, Portland, ME. State of Maine Department of marine resources.

Lesueur, C. 2004. Localisation des frayères à éperlans arc-en-ciel de la rivière Saguenay: Rapport de fin de projet (1995-2003). Comité ZIP-Saguenay. 26 p.

Lischka, S. et J. Magnuson. 2006. Timing and site selection of spawning in a landlocked population of rainbow smelt in Wisconsin. Environmental Biology of Fishes 76(2): 413-418.

Louhi, P., A. Mäki-Petäys et J. Erkinaro. 2008. Spawning habitat of Atlantic salmon and brown trout: general criteria and intragravel factors. River Research and Applications 24(3): 330-339.

Lowman, T. 1968. Pond planning. Texas Parks and Wildlife 26(5):16-19.

McGurrin, J. M., R. B. Stone et R. J. Sousa. 1989. Profiling United States artificial reef development. Bulletin of Marine Sciences 44(2): 1004-1013.

McKenzie, R. A. 1947. The effects of crowding of smelt eggs on the production of larvae. Fisheries Research Board of Canada Atlantic Research Station Progress Report 39: 11-13.

McKenzie, R. A. 1964. Smelt life history and fishery in the Miramichi River, New Brunswick. Fisheries Research Board of Canada. 77 p.

Ministère des Ressource naturelles et de la Faune du Québec. 2010. Liste des espèces fauniques menacées ou vulnérables au Québec. Consulté en mars 2012. http://www3.mrnf.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=78.

Minns, C. K., J. R. Kelso et R. G. Randall. 1996. Detecting the response of fish to habitat alterations in freshwater ecosystems. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53: 403-414.

Montana Water Centre. 2005. Wild fish habitat initiative. Consulté en février 2012. http://wildfish.montana.edu/default.asp.

Nellbring, S. 1989. The ecology of smelts (Genus *Osmerus*): A literature review. Nordic Journal of Freshwater Research 65: 116-145.

Nelson-Stastny, W. 1999. Changes in rainbow smelt distribution and abundance and their effects on walleye condition and angling efficiency for walleye in Lake Oahe, South Dakota. Compte rendu du Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec, Qc.

Newbury, R. et M. Gaboury. 1993. Exploration and rehabilitation of hydraulic habitats in streams using principles of fluvial behaviour. Freshwater Biology 29(2): 195-210.

Newson, M. D., J. Pitlick et D. A. Sears. 2002. Running water: fluvial geomorphology and river restoration. Handbook of Ecological Restoration. Vol. 1 Principles of Restoration. M. R. Perrow et A. J. Davy. Cambridge University Press, Cambridge, UK, Chapitre 8, 133-152.

Nikolsky, G. V. 1963. The ecology of fishes. Academic Press, London and New York. 352 p.

NOAA Office of Protected Resource. 2011. Rainbow smelt (*Osmerus mordax*), ESA Species of Concern. Consulté en février 2012. http://www.nmfs.noaa.gov/pr/species/fish/rainbowsmelt.htm.

O'Gorman, R. 1983. Distribution and abundance of larval fish in the nearshore waters of Western Lake Huron. Journal of Great Lakes Research 9(1): 14-22.

Ouellet, P., et J. J. Dodson. 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: 332-341.

Paquet, G. 1990. Guide d'aménagement de l'habitat de reproduction des espèces de poissons d'eau fraîche. Direction de la gestion des espèces et des habitats, Service des habitas Québec, Ministère de la Chasse et de la Pêche, Direction de la gestion des espèces et des habitats, Québec. 42 p.

Pellerin, J. C. 2001. Smelt management plan. Department of inland fisheries and wildlife division of fisheries and hatcheries. Vol. 10. Rapport numéro 2, 31 p.

Plosila, D. S. 1984. Spatial distribution of rainbow smelt spawning in the New York waters of lake Champlain. New York Fish and Game Journal 31(3): 109-111.

Perrow, M. R. et A. J. Davy. 2002. Handbook of Ecological Restoration. Vol. 1 Principles of Restoration. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 444 p.

Podushko, Y. N. 1970. The connection between the biological characteristics and the population dynamics of the smelt (*Osmerus eperlanus dentex* (Steindachner)) spawning in the Amur. Journal of Ichthyology 10: 602-609.

Ricker, W. E. 1954. Stock and recruitment. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 11: 559-623.

Rio Tinto Alcan Énergie électrique. Un système de gestion hydrique performant. http://www.energie.alcan.com/index.php?id=8 Consulté en août 2012.

Robitaille, J. A. et Y. Vigneault. 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, Direction de la gestion des pêches et de l'habitat, Division de l'habitat du poisson. 56 p.

Rombough, P. J. 1988. Respiratory gas exchange, aerobic metabolism, and effects of hypoxia during early life, *dans* Fish physiology. W. S. Hoar et D. J. Randall Eds. Academic Press, San Diego, CA. Chapitre 2, 59-161.

Roni, P., K. Hanson, T. Beechie, G. Pess, M. Pollock et D. M. Bartley. 2005. Habitat rehabilitation for inland fisheries. Global review of effectiveness and guidance for rehabilitation of freshwater ecosystems. 484 p.

Roseman, E., J. Boase, R. Drouin, J. Francis, G. Kennedy, B. A. Manny et S. Morrison. 2010. Fish habitat assessment and restoration in the Huron-Erie Corridor. Poster présenté à l'American Fisheries Society.

Rosenfeld, J. S., E. Raeburn, P. C. Carrier et R. Johnson. 2008. Effects of side channel structure on productivity of floodplain habitat for juvenile coho salmon. North American Journal of Fisheries Management 28: 1108-1119.

Rothschild, B. J. 1961. Production and Survival of Eggs of the American Smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), in Maine. Transactions of the American Fisheries Society 90(1): 42-48.

Rounsefell, G. A. et L. D. Stringer. 1945. Restoration and management of the New England alewife fisheries with special reference to Maine. Transactions of the American Fisheries Society 73(1): 394-424.

Rowe, D. et I. Kusabs. 2007. Taonga and mahinga kai of the Te Arawa lakes: a review of current knowledge - smelt. National Institute of Water and Atmospheric Research. Rapport numéro HAM2007-022, 21 p.

Rowe, D. K., U. Shankar, M. James et B. Waugh. 2002. Use of GIS to predict effects of water level on the spawning area for smelt, *Retropinna retropinna*, in Lake Taupo, New Zealand. Fisheries Management and Ecology 9(4): 205-216.

Rowe, D. et A. Taumoepeau. 2004. Decline of common smelt (*Retropinna retropinna*) in turbid, eutrophic lakes in the North Island of New Zealand. Hydrobiologia 523(1): 149-158.

Rupp, R. S. 1959. Variation in the life history of the American Smelt in inland waters of Maine. Transactions of the American Fisheries Society 88(4): 241-252.

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., M. Legault, et L. Bernatchez. 2003. Divergent selection maintains adaptive differentiation despite high gene flow between sympatric rainbow smelt ecotypes (*Osmerus mordax* Mitchill). Molecular Ecology 12(2): 315-330.

Scalet, C. G. et T. Modde. 1984. Pond fish species and management. In: Guidelines for increasing wildlife on farms and ranches. Great Plains Agricultural Council Wildlife Resources Committee, Cooperative extension service. Kansas State University, 5C-40C.

Schnute, J. T. et A. R. Kronlund. 1996. A management oriented approach to stock recruitment analysis. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53(6): 1281-1293.

Scott, W. B. et E. J. Crossman. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Ottawa. 1026 p.

Simon, T. P. 1990. Family Osmeridae, *dans* Reproductive biology and early life history of fishes in the Ohio River drainage. R. Wallus, T. P. Simon et B. L. Yeager Eds. Tennessee Valley Authority, Chattanooga, Tennessee. 203-212.

Sirois, P., A. Marion, J. Plourde, S. Plourde et M. Legault. 2011. Carrying capacity of Lake Saint-Jean for rainbow smelt *dans* Proceedings of the Fourth North American workshop on rainbow smelt, C. Enterline, C. Wood, K. Mills, B. C. Chase, G. Verreault, J. Fisher et M. H. Ayers *Eds*. Portland, Maine. Maine Department of Marine Resources, New Hampshire Department of Fish and Game and Massachusetts Division of Marine Fisheries. 84 p.

Slaney, P. A. et D. Zaldokas. 1997. Fish habitat rehabilitation procedure. Watershed Restoration Program, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks. Rapport numéro No. 9, 313 p.

Squires, T. S., L. Flagg et L. Austin. 1976. Smelt management plan. Maine Department of Marine Resources. Rapport numéro AFSC-13/FWAC-2, 22 p.

Stefanovskaia, A. F. 1957. Smelt as an object for increasing of fish production in Karelian lakes. Ryb. Khoz. Karel. 7: 79-91.

Taylor, E. B. et P. Bentzen. 1993. Molecular genetic evidence for reproductive isolation between sympatric populations of smelt *Osmerus* in Lake Utopia, south-western New Brunswick, Canada. Molecular Ecology 2(6): 345-357.

Tugend, K. I., M. S. Allen et M. Webb. 2002. Use of artificial habitat structures in U.S. lakes and reservoirs: A survey from the Southern Division AFS Reservoir Committee. Fisheries 27(5): 22-27.

Van Oosten, J. 1937. The dispersal of Smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), in the Great Lakes Region. Transactions of the American Fisheries Society 66(1): 160-171.

Veilleux, C. M. 1966. Évaluation du taux d'éclosion de l'éperlan, *Osmerus mordax* (Mitchell) au ruisseau McCloskey, comté de Gatineau, province de Québec. Mémoire de maîtrise. University of Ottawa, Ottawa. 36 p.

Walsh, W. A., C. Swanson, C. S. Lee, J. E. Banno et H. Eda. 1989. Oxygen consumption by eggs and larvae of striped mullet, *Mugil cephalus*, in relation to development, salinity and temperature. Journal of Fish Biology 35(3): 347-358.

Wallus, R., T. P. Simon, et B. L. Yeager. 1990. Reproductive biology and early life history of fishes in the Ohio river drainage. Volume 1: Acipenseridae through Esocidae. Tennessee Valley Autority, Chattanooga, Tennessee, USA.

Wentworth, C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology 30(5): 377-392.

Wheaton, J. M., G. B. Pasternack et J. E. Merz. 2004. Spawning habitat rehabilitation - I. Conceptual approach and methods. International journal of river basin management 2(1): 3-20.

Wilbur, R. L. Florida's freshwater fish attractors. Florida Game and Freshwater Fish Commission. Fishery Bulletin no 6, Dingell-Johnson Project F-26, 18 p.

Wills, T. C., M. T. Bremigan et D. B. Hayes. 2004. Variable effects of habitat enhancement structures across species and habitats in Michigan Reservoirs. Transactions of the American Fisheries Society 133(2): 399-411.

Wyatt, L., A. Baker et D. Berlinsky. 2010. Effects of sedimentation and periphyton communities on embryonic Rainbow Smelt, *Osmerus mordax*. Aquatic Sciences - Research Across Boundaries 72(3): 361-369.

ANNEXES

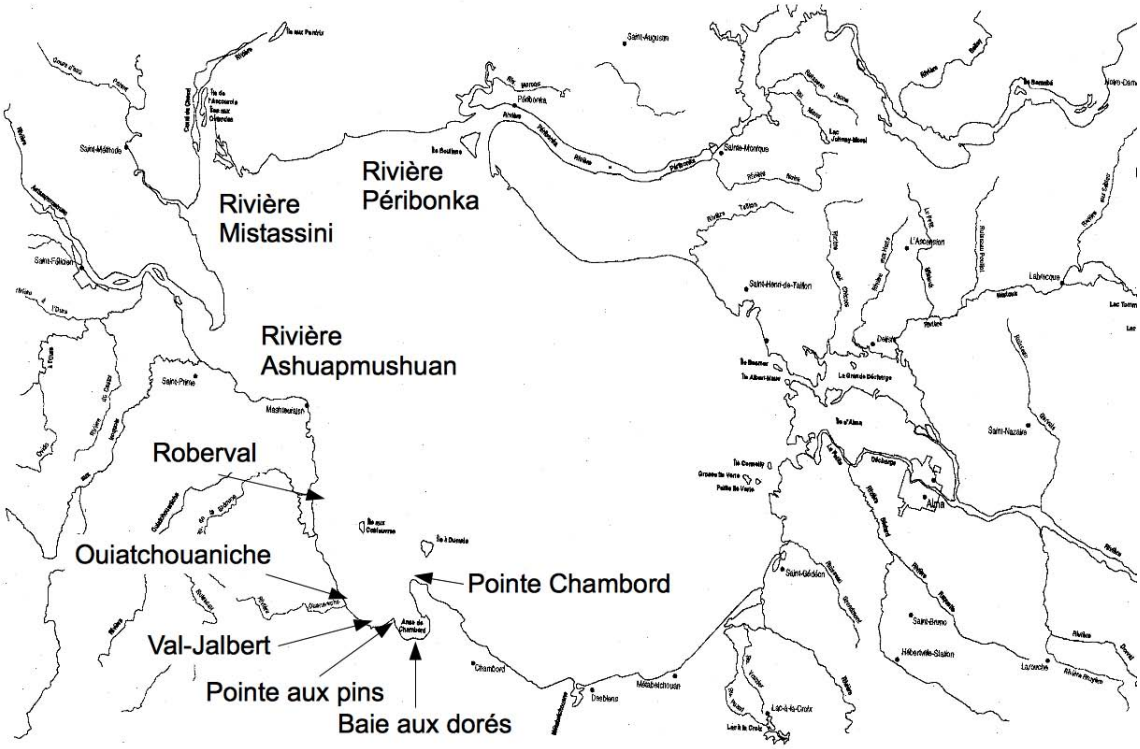
Annexe 1.1 : Terminologie utilisée pour faire la classification des particules sédimentaire selon leur taille. Tiré de Wentworth (1922).

TAILLE DES PARTICULES	NOM DES PARTICULES
>265 mm	Rocher
64 à 256 mm	Galet
2 à 64 mm	Cailloux
62,5 µm à 2 mm	Sable
3,9 à 62,5 µm	Vase
<3,9 µm	Argile

Annexe 1.2 : Caractéristiques de la période de fraie de l'éperlan dulcicole dans le monde, compilées depuis la littérature scientifique.

DÉBUT		PIC	FIN		DURÉE	DÉGEL DU LAC	SOURCES
Date	Température de l'eau (ºC)	Date	Date	Température de l'eau (ºC)	Jours	Date	
6 mai 1970							Ivanova et Polovkova 1972
17 mars 1967		22 mars 1967	12 avr. 1967		26	12 avr. 1967	Legault et Delisle 1968
21 avr. 1978			9 mai 1978		18		Plosila 1984
	1-18						Lane *et al.* 1996 (revue)
7 mai 2001	10	9 mai 2001	10 mai 2001	13	3		Lapointe 2002
24 avr. 1959	4,5	25 avr. 1959	3 mai 1959	12	9	24 avr. 1959	Rupp 1965
9 mai 1970							Ivanova et Polovkova 1972
23 avr. 2002	3,9	27 avr. 2002	5 mai 2002	5,7	12	23 avr. 2002	Lishka et Magnuson 2006
30 avr. 1970		3 mai 1970					Ivanova et Polovkova 1972
6 mai 1936		6 mai 1936					Hoover, 1936
10 avr. 1948		14 avr. 1948	27 avr. 1948		17	13 avr. 1948	Baldwin 1950
17 avr. 1958	3,8	23 avr. 1958	2 mai 1958	8,8	15		Rothschild 1961
11 mai 1973	4	30 mai 1973	30 mai 1973	10	19	11 mai 1973	Bourassa et Lesage 1973
MOYENNE	**5,2**			**9,9**	**14,9**		

Annexe 2.1 : Carte du lac Saint-Jean montrant approximativement les secteurs où la température de l'eau a été mesurée au moment du regroupement ou de la montaison des éperlans reproducteurs, selon l'habitat de fraie.



Annexe 2.2 : Stades de maturité des gonades chez les poissons selon Nicolsky (1963).

Stade 1 IMMATURE	Individus juvéniles qui n'ont jamais pris part à la reproduction. Les gonades sont généralement très petites, en forme de fil.
Stade 2 RELÂCHE	Les gamètes n'ont pas commencé leur développement. Les gonades sont très petites. Les œufs ne sont pas visibles à l'oeil nu.
Stade 3 MATURATION	Les œufs sont visibles à l'oeil nu. Période d'augmentation très rapide de la masse des gonades. Les testicules passent de transparents à roses pâles.
Stade 4 MATURITÉ	Les gamètes sont matures. Les gonades ont atteint leur masse maximale. Aucune libération des gamètes lorsqu'une légère pression est appliquée sur l'abdomen.
Stade 5 REPRODUCTION	Les gamètes sont libérés lorsqu'une légère pression est appliquée sur l'abdomen. La masse des gonades diminue rapidement au cours de cette période.
Stade 6 RÉCUPÉRATION	Les gamètes ont été libérés. Inflammation de l'appareil génital. Les gonades ont l'apparence de ballons dégonflés. Les ovaires contiennent encore quelques œufs et les testicules peuvent renfermer des résidus de sperme.
Stade 7 RELÂCHE	Les gamètes ont été libérés. L'inflammation de l'appareil génital s'est résorbée. Les gonades sont très petites. Les œufs ne sont pas visibles à l'oeil nu.

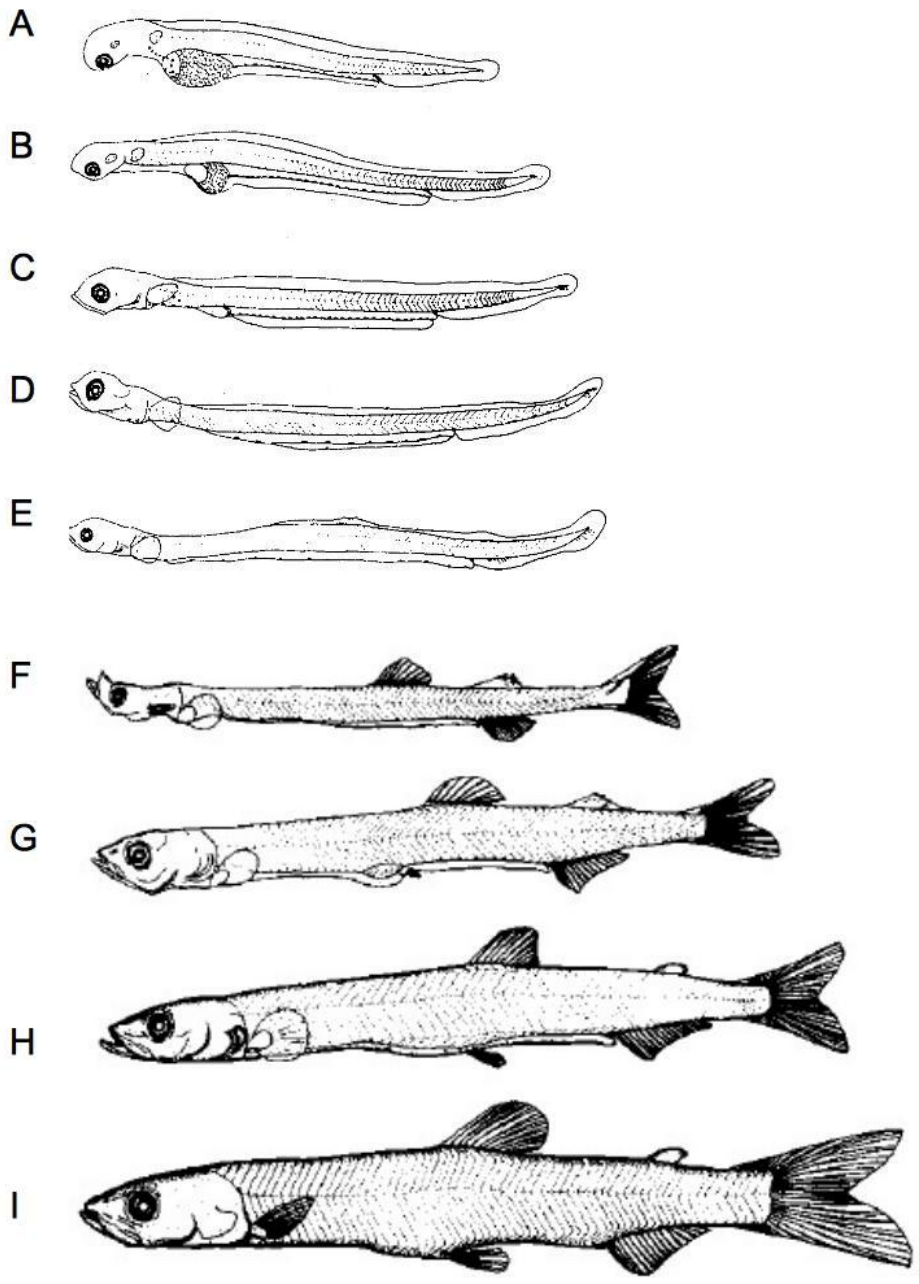
Annexe 2.3 : Données relatives au calcul de l'abondance relative des éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean, à différents stades de vie (larves au printemps, adultes au moment de la reproduction, et adultes en reproduction (stade 5, Nicolsky 1963). Les cellules grises indiquent l'écart-type.

LARVES					
Secteurs	Nombre d'échantillonnages	Nombre moyen de larves	Volume filtré moyen (m^3)	Abondance relative ($n \cdot 1000\ m^{-3}$)	Rang
NO	256	16	372	43,8	2
		142	*323*		
NE	80	2	190	9,3	4
		5	*151*		
SO	79	26	269	96,8	1
		105	*291*		
SE	59	4	107	36,3	3
		9	*40*		

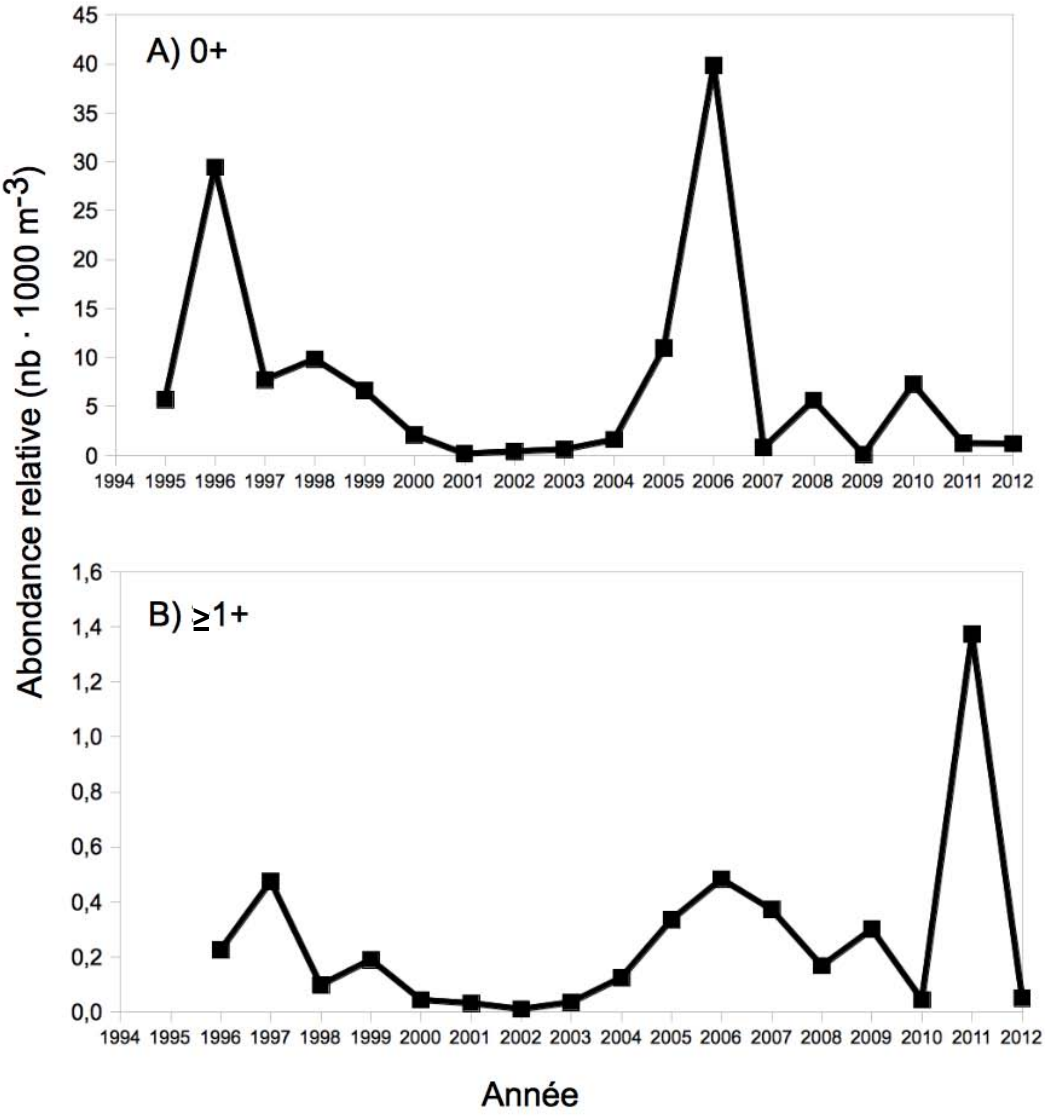
ADULTES					
Secteurs	Nombre d'échantillonnages	Nombre moyen d'éperlans adultes	Volume filtré moyen (m^3)	Abondance relative ($n \cdot 1000\ m^{-3}$)	Rang
NO	573	6,3	1,4	4,5	1
		25,8	*1,3*		
NE	0	0,0	0	0,0	
		0,5	*0*		
SO	237	2,2	1	2,2	2
		3,9	*0*		
SE	0	0,0	0	0,0	

STADES 5					
Secteurs	Nombre de mesures	Nombre moyen de stades 5	Effort moyen (nuit-filet)	Abondance relative ($n \cdot nuit\text{-}filet^{-1}$)	Rang
NO	539	3,4	1,4	2,4	1
		13,1	*1,3*		
NE	0	0,0	0	0,0	
		0,0	*0*		
SO	220	0,5	1	0,5	2
		2,2	*0*		
SE	0	0,0	0	0,0	

Annexe 2.4 : Développement des larves d'éperlan arc-en-ciel. Les lettres indiquent le stade : (A) Protolarve, à la sortie de l'oeuf, 5 mm; (B) protolarve, 5,6 mm; (C) protolarve, 6,3 mm; (D) protolarve, 9,3 mm; (E) mesolarve, 14 mm; (F) mesolarve, 17 mm; (G) mesolarve, 22 mm; (H) metalarve, 30 mm; (I) juvénile, 36 mm. Tiré de Cooper (1978).

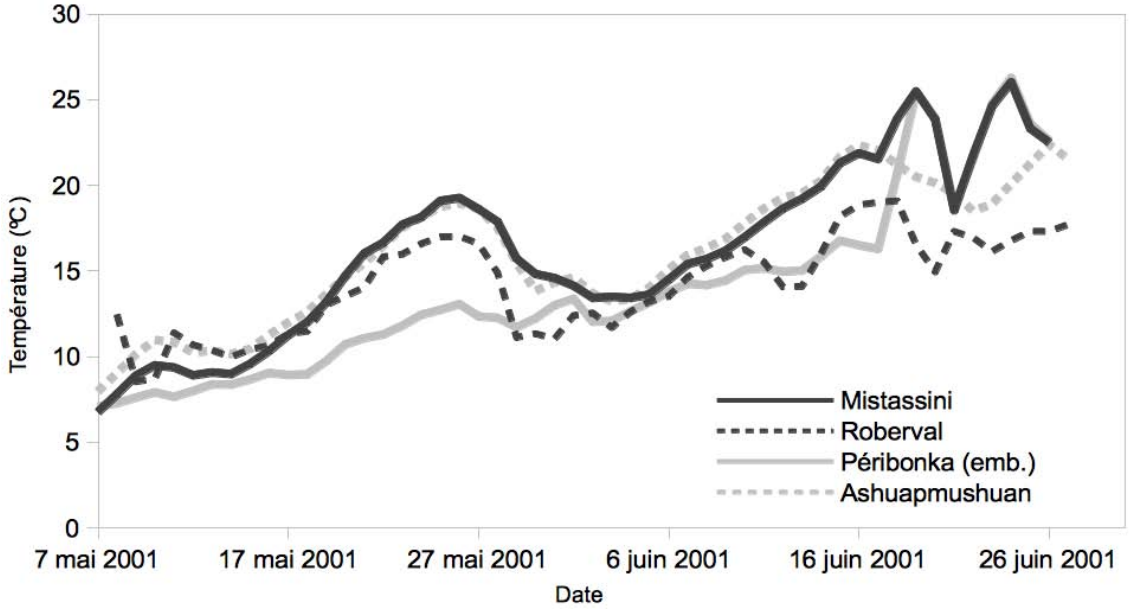


Annexe 2.5 : Abondance relative des éperlans arc-en-ciel (A) 0+ et (B) ≥ 1+ provenant du suivi annuel de l'abondance des éperlans au lac Saint-Jean (M. Legault, données non-publiées).



Annexe 4.1 : Température des différentes masses d'eau au printemps 2001. La température de l'eau est similaire pour les rivières Mistassini (noir continu) et Ashuapmushuan (gris pointillé), ainsi que dans le lac Saint-Jean (Roberval, noir pointillé). Par contre, la température de l'eau à l'embouchure de la rivière Péribonka (gris continu) est toujours plus basse au cours du mois de mai. Ce patron se répète pour toutes les années où les mesures sont disponibles (MRNF, données non publiées).

.



Annexe 4.2 : Liste des principaux permis et autorisations à obtenir, selon les caractéristiques du projet d'aménagement. Tiré de FFQ et MEF (1996).

PRINCIPAUX PERMIS ET AUTORISATIONS À OBTENIR

	À DEMANDER	OBTENU
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE : depuis le printemps 1994, les autorisations émises en vertu des articles 22 et 31.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement et de l'article 128.7 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune font l'objet d'un guichet unique. Le responsable du projet ne doit donc adresser qu'une seule «demande d'autorisation pour une activité dans un habitat faunique» à un bureau du MEF. Un délai de 60 jours peut être nécessaire pour l'obtention de l'autorisation.	❑	❑
MINISTÈRE DES PÊCHES ET OCÉANS : en vertu de la Loi sur les pêches, ce ministère doit être consulté dans tous les cas de projets où une intervention pourrait causer des dommages à l'habitat du poisson.	❑	❑
MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES : son autorisation est nécessaire dès qu'une coupe d'arbres est effectuée, tout particulièrement s'il s'agit d'une essence commerciale.	❑	❑
MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC : on doit le consulter lorsqu'on modifie une structure du réseau routier (ponceau), de même que dans tous les cas où un aménagement modifie le courant et présente un risque pour les structures; il peut s'agir d'un aménagement situé en amont d'une structure, mais qui aura un impact à distance sur celle-ci (par exemple, un risque d'érosion).	❑	❑
MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DES COMMUNICATIONS : on doit consulter ce ministère lorsqu'on effectue des travaux à proximité de sites archéologiques, historiques ou de bâtiments d'intérêt patrimonial.	❑	❑
HYDRO-QUÉBEC : on doit obtenir une autorisation dans les cas de modification de petits barrages, qui sont plus nombreux dans certaines régions, et dans les cas de travaux dans l'emprise des lignes de transport d'énergie; également, il faut prévenir Hydro-Québec dans les cas d'aménagements qui présentent un risque d'érosion pouvant affecter une structure (pylône ou autre), même à distance.	❑	❑
COMMISSION DE PROTECTION DU TERRITOIRE AGRICOLE DU QUÉBEC : dans le cas d'un aménagement en territoire agricole, on doit consulter la CPTAQ lorsque les travaux se font (en tout ou en partie) en dehors du lit du cours d'eau et risquent de modifier l'utilisation des terres riveraines.	❑	❑
MUNICIPALITÉS ET MRC (Municipalités régionales de comté) : certaines municipalités et certaines MRC exigent d'être consultées, notamment dans le cas de travaux affectant la bande de protection située de part et d'autre des cours d'eau. En général, les MRC doivent confirmer que l'aménagement respecte les lois et directives municipales.	❑	❑
COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL : l'achat, le transport, l'entreposage et l'emploi d'explosifs sont fortement réglementés par le Code du travail et leur utilisation exige du personnel qualifié.	❑	❑
PROPRIÉTAIRES RIVERAINS : il est indispensable de vous assurer de l'intérêt des propriétaires riverains si le cours d'eau traverse des terres privées où l'accès est limité; vous vous éviterez des ennuis et vous recruterez peut-être des bénévoles pour votre équipe.	❑	❑