

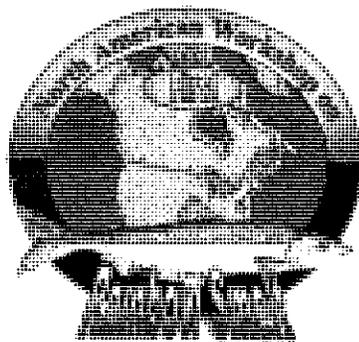
# Compte rendu

Premier atelier nord-américain  
sur l'éperlan arc-en-ciel  
Hôtel Clarendon, Québec, 21 - 23 février 1999



# Proceedings

First North American Workshop  
on Rainbow Smelt  
Clarendon Hotel, Québec City, February 21 - 23 1999



**Québec**   
Société de la faune et des parcs  
du Québec

 UNIVERSITÉ  
LAVAL

 CENTRE  
ÉCOLOGIQUE  
DU LAC ST-JEAN  
INC.

 FONDATION DE LA FAUNE  
DU QUÉBEC

 Pêches et Océans  
Canada

Bradford C. Chaso

**Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel**

**First North American Workshop on Rainbow Smelt**

(Québec, 21-23 février 1999 / Quebec City, February 21-23 1999)

**COMPTES RENDUS / PROCEEDINGS**

Édité par / Edited by

Centre Écologique du Lac St-Jean inc.

Université Laval

et

Société de la faune et des parcs du Québec

Février 2000 / February 2000

---

3144

*Référence à citer :*

---

BOUCHARD, L., F. LECOMTE et P. BÉRUBÉ (éd.). 2000. Compte rendu du Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec. (21 février 1999). 143 pages.

---

ISBN : 2-550-35666-7

**TABLE DES MATIÈRES / TABLE OF CONTENTS**

REMERCIEMENTS / ACKNOWLEDGEMENTS .....	iv
MOT DE BIENVENUE .....	vi
WELCOME MESSAGE .....	vii
PROGRAMME .....	viii
PROGRAM.....	xii
COMPTES RENDUS / PROCEEDINGS .....	1
ATELIERS / WORKSHOPS.....	113
LISTE DES CONFÉRENCIERS / APPENDIX OF AUTHORS .....	131
ADRESSES DES PARTICIPANTS / PARTICIPANTS ADDRESSES .....	135

## REMERCIEMENTS / ACKNOWLEDGEMENTS

### COMITÉ ORGANISATEUR / ORGANISATION COMMITTEE

Pierre Bérubé, Société de la faune et des parcs du Québec  
Luc Bouchard, Centre Écologique du Lac St-Jean inc.  
Julian Dodson, Université Laval  
Frédéric Lecomte, Université Laval  
Charles Lesueur, Centre Écologique du Lac St-Jean inc.  
Guy Trecia, Société de la faune et des parcs du Québec

### ASPECTS LOGISTIQUES / LOGISTICS ASPECTS

Jean Berthiaume, Société de la faune et des parcs du Québec  
François Delaître, Société de la faune et des parcs du Québec  
Denis Dorion, Société de la faune et des parcs du Québec  
Nancy Dupont, Société de la faune et des parcs du Québec  
Chantale Groleau, Société de la faune et des parcs du Québec  
Philippe Labbé-Beaudoin, Société de la faune et des parcs du Québec  
Marie-Hélène Lamarre, Société de la faune et des parcs du Québec  
Frédéric Lecomte, Université Laval  
Pierre Richard, Société de la faune et des parcs du Québec

### ANIMATEURS DE CONFÉRENCE / CONFERENCES ANIMATORS

Pierre Bérubé, Société de la faune et des parcs du Québec  
Luc Bouchard, Centre Écologique du Lac St-Jean inc.  
Stephanie Lachance, Société de la faune et des parcs du Québec  
Marc Mingelbier, Société de la faune et des parcs du Québec  
Guy Trecia, Société de la faune et des parcs du Québec  
Guy Verreault, Société de la faune et des parcs du Québec

### ANIMATEURS D'ATELIERS / WORKSHOPS ANIMATORS

Stan Georges, Société de la faune et des parcs du Québec  
Benoit Langevin, Société de la faune et des parcs du Québec  
Louise Lapierre, Société de la faune et des parcs du Québec  
Frédéric Lecomte, Université Laval  
Pierre Pettigrew, Société de la faune et des parcs du Québec  
Guy Trecia, Société de la faune et des parcs du Québec  
Guy Verreault, Société de la faune et des parcs du Québec

**ADMINISTRATION FINANCIÈRE / FINANCIAL ADMINISTRATION**

Centre inter-universitaire de recherche sur le saumon atlantique (CIRSA)

**AIDE FINANCIÈRE / FINANCIAL SUPPORT**

Fondation de la faune du Québec  
Pêche et Océans Canada  
Société de la faune et des parcs du Québec

**LEÇON DE FRANÇAIS / FRENCH LESSON**

Yves Mailhot, Société de la faune et des parcs du Québec

**COMPTES RENDUS / PROCEEDINGS**

Luc Bouchard, Centre Écologique du Lac St-Jean inc.  
Chantal Gagnon, Centre Écologique du Lac St-Jean inc.  
Frédéric Lecomte, Université Laval

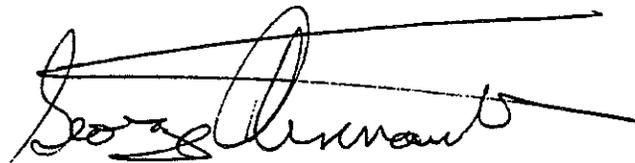
## MOT DE BIENVENUE

C'est pour moi un honneur de présider le premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel. Le rassemblement de tous les spécialistes impliqués dans le cadre de cette session de travail constitue, sans l'ombre d'un doute, la meilleure occasion d'acquérir de nouvelles connaissances sur cette espèce qui, au Québec ou ailleurs, connaît certaines difficultés.

Pour vous qui êtes professionnellement intéressés à l'éperlan arc-en-ciel, ce premier atelier vous offre une opportunité unique d'échanger avec d'autres scientifiques, d'établir des contacts, de nouer des relations, de vous informer des récents développements dans le domaine et de prendre part aux débats avec des conférenciers qui traiteront des problématiques concernant cette espèce. Je suis convaincu que les recommandations qui seront formulées au terme de cet atelier se traduiront par l'élaboration de projets de recherche concrets et l'établissement de modalités de gestion appropriées pour assurer la conservation des populations et de leurs habitats ainsi que l'exploitation rationnelle des stocks.

Cet atelier a été préparé grâce à l'étroite collaboration d'une équipe de personnes dévouées provenant de l'Université Laval, du Centre Écologique du Lac St-Jean et de Faune et Parcs Québec. Je suis fier de l'initiative des organisateurs et je tiens à les féliciter au même titre que les conférenciers et les participants qui ont tout mis en œuvre pour faire de cet événement un succès, à la fois sur le plan académique, personnel et social. Je remercie également le ministère des Pêches et des Océans Canada ainsi que la Fondation de la faune du Québec pour leur généreuse contribution financière à la tenue de cet atelier.

J'espère que vos discussions seront fructueuses et enrichissantes à tous les points de vue. Je vous souhaite un excellent atelier et un agréable séjour à Québec.



George Arsenault, sous-ministre adjoint  
au Patrimoine faunique et naturel

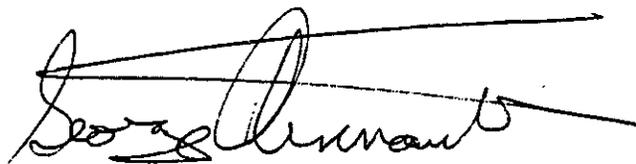
## WELCOME MESSAGE

I am honoured to be chairing this first North American Workshop on Rainbow Smelt. This gathering of experts clearly constitutes an excellent opportunity for learning more about this species, whose status is problematic both in Quebec and elsewhere.

This first workshop will give those of you who work with the Rainbow smelt a unique opportunity to interact with other researchers, make contacts, forge ties, learn of recent developments in the field and participate in discussions with speakers presenting papers on the species. I am certain that the recommendations issuing from this working session will result in concrete research projects and appropriate management methods to ensure the preservation of rainbow smelt populations and their habitat and sound stock management.

This workshop has been prepared through the concerted efforts of a dedicated team of individuals from Université Laval, the Centre Écologique du Lac St-Jean and Faune et Parcs Québec. I am very proud of the initiative taken by its organizers and I wish to thank them, our speakers and our participants, who have done their utmost to make this event a success from an academic, personal and social standpoint. I would also like to thank Fisheries and Oceans Canada and the Fondation de la faune du Québec for their generous financial support.

I hope that your discussions will be productive and enriching on all levels and that you enjoy both your workshop and your stay in Quebec City.



George Arsenault, Assistant Deputy Minister  
For Wildlife and Natural Heritage

## PROGRAMME

**Dimanche le 21 Réception et cocktail (19h00)**  
**Moderateur :**  
**Pierre Serres**

- 19 h 30 — 19 h 45 Ouverture officielle de l'atelier par le sous-ministre adjoint au Patrimoine faunique et naturel.  
**George Arsenault** (Faune et Parcs, Québec).
- 19 h 45 — 20 h 00 Informations sur le déroulement de l'atelier.
- 20 h 00 — 21 h 00 Leçon de français.  
**Yves Mailhot** (Faune et Parcs, Québec).

**Lundi le 22**  
**Moderateur :**  
**Marc Mingeibier**

- 08 h 30 — 09 h 00 Caractéristiques de l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel anadrome du Saint-Laurent.  
**C. Brassard\*** et **G. Verreault** (Faune et Parcs, Québec).

**Moderateur :** **Habitat de fraye**  
**Marc Mingeibier**

- 09 h 00 — 09 h 30 Caractéristiques physico-chimiques des frayères de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent.  
**M. Simoneau** (Ministère de l'Environnement, Québec).
- 09 h 30 — 10 h 00 Le périphyton dans les frayères à éperlan arc-en-ciel de quatre tributaires du sud de l'estuaire du Saint-Laurent.  
**L. Lapierre\***, **C. Cormier**, **G. Trenchia** et **G. Verreault** (Faune et Parcs, Québec).
- 09 h 40 — 10 h 00 *Pause-santé*
- 10 h 00 — 10 h 25 Recherche de sites de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean : approches utilisées.  
**M. Legault** (Faune et Parcs, Québec).

**Moderateur :** **Écologie larvaire**  
**Guy Trenchia**

- 10 h 25 — 10 h 45 Modification dans la distribution et l'abondance des éperlans arc-en-ciel et effets sur la condition du doré et du succès de pêche à cette espèce dans le lac Oahe, Dakota du Sud.  
**W. Nelson-Stastny** (South Dakota Game Fish & Parks).
- 11 h 05 — 11 h 25 Facteurs affectant la survie des larves d'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire du Saint-Laurent.  
**P. Sirois\*** et **J.J. Dodson** (Université Laval, Québec).

**Moderateur : Ecologie et dynamique de population****Guy Trencia**

11 h 25 — 11 h 45 Dynamique d'une introduction de l'éperlan arc-en-ciel et évidences d'une interruption du recrutement du grand corégone aux lacs Nipigon et Huron, Ontario.

R. Salmon (Ministry of Natural Resources, Ontario).

11 h 45 — 12 h 05 Réponse des jeunes éperlans de l'année en lac à une introduction d'aloses savoureuses anadromes.

J. G. Trial\* and F. Kircheis (Dept. Inland Fisheries and Wildlife, Maine).

12 h 05 — 13 h 30 *Dîner*

**Moderateur : Ecologie et dynamique de population (suite)****Luc Bouchard**

13 h 30 — 13 h 50 Suivi des populations d'éperlan arc-en-ciel du lac Champlain au cours du programme expérimental de contrôle des lamproies marines.

G. W. LaBar et E.J. Marsden\* (Université de l'Idaho et Aiken Center, Vermont).

13 h 50 — 14 h 10 Structure de population et caractérisation de l'habitat de fraie de l'éperlan arc-en-ciel anadrome dans la Baie de Cape Cod, Massachusetts.

R. P. Lawton\*, J. Boardman, B. Kelly and V. Malkovski (Massachusetts Div. Marine Fisheries).

14 h 10 — 14 h 30 Contribution des facteurs hydrologiques et climatiques aux variations des captures d'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent.

M. Mingelbier\*, F. Lecomte et J. Dodson (Faune et Parcs, Québec et Université Laval, Québec).

14 h 30 — 15 h 00 *Pause-santé*

**Ateliers**

Atelier sur l'habitat de fraie et l'écologie larvaire.

– animateur : G. Verreault

– secrétaire rapporteur : P. Pettigrew

15 h 00 — 16 h 30

Atelier sur l'écologie et la dynamique de population.

– animateur : S. Georges

– secrétaire-rapporteur : F. Lecomte

16 h 30 — 18 h 00 Cocktail et présentations sur affiche.

18 h 00 Souper suivi d'une soirée jazz ou libre.

**Mardi le 23****Moderateur :** Restauration de l'éperlan et des populations**Suz Verreault**

- 09 h 00 — 09 h 20 Suivi et restauration de l'éperlan arc-en-ciel dans la baie de Massachusetts.  
**B. C. Chase** (Massachusetts Div. Marine Fisheries).
- 09 h 20 — 09 h 40 Système d'incubation d'œufs d'éperlan arc-en-ciel en milieu naturel.  
**L. Bouchard\*** et **M. Larose** (Centre Écologique du Lac St-Jean, Québec).
- 09 h 40 — 10 h 00 Restauration de la rivière Boyer.  
**G. Trecia** (Faune et Parcs, Québec).

**Moderateur :** Distinction, suivi et gestion des populations**Stephanie Lachance**

- 10 h 00 — 10 h 20 Reproduction et recrutement de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent.  
**G. Verreault\***, **P. Pettigrew**, **R. Tardif** et **G. Trecia** (Faune et Parcs, Québec).
- 10 h 20 — 10 h 40 Différenciation génétique et morphologique des formes sympatriques naine et normale d'éperlan du lac Saint-Jean.  
**R. Saint-Laurent\***, **M. Legault** et **L. Bernatchez** (Université Laval, Québec et Faune et Parcs, Québec).
- 10 h 40 — 11 h 00 *Pause-santé*
- 11 h 00 — 11 h 20 Estimation de population de l'éperlan arc-en-ciel par l'hydroacoustique et le chalutage.  
**S. G. Perry** (Fish & Game Dept. New Hampshire).
- 11 h 20 — 11 h 40 Fraie de l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite.  
**C. Théberge\***, **M. Heppell**, **É. Auclair** et **R. Verdon\*** (Naturam Environnement et Hydro-Québec).
- 11 h 40 — 12 h 00 Portrait de l'exploitation commerciale de l'éperlan arc-en-ciel de la pêcherie de Miguasha dans la Baie-des-Chaleurs (Québec).  
**M. Dorais** (Faune et Parcs, Québec).
- 12 h 00 — 13 h 15 *Diner*

**Moderateur :** Distinction, suivi et gestion des populations (suite)**Luc Bouchard**

- 13 h 15 — 13 h 35 Effet de la mise en eau du réservoir Robertson (Côte-Nord, Québec) sur l'éperlan arc-en-ciel.  
**R. Verdon\***, **R. Schetagne** et **J-F. Doyon** (Hydro-Québec et Groupe-conseil Génivar inc.).
- 13 h 35 — 13 h 55 Discrimination morphologique des populations d'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire du Saint-Laurent : implications et applications potentielles.  
**F. Lecomte\***, **J. Dodson** (Université Laval, Québec).

- 13 h 55 — 14 h 15 Une approche intégrée pour l'application du concept d' ESU : l'exemple de l'éperlan arc-en-ciel.  
**L. Bernatchez** (Université Laval, Québec).

**Ateliers**

- Atelier sur la distinction, le suivi et la gestion des populations.  
 - animateur : S. Georges  
 - secrétaire-rapporteur : B. Langevin
- 14 h 15 — 15 h 30 Atelier sur la restauration de l'habitat et des populations.  
 - animateur : G. Trencia  
 - secrétaire-rapporteur : L. Lapierre

15 h 30 — 15 h 50 **Pause-santé**

15 h 50 — 16 h 50 **Plénière.**

16 h 50 — 17 h 00 **Clôture de l'atelier.**

**Session de présentations sur affiche**

- G.W. Fleischer et  
 M. Fabrizio  
 (Great Lakes Science  
 Center) Dynamique de population des éperlans arc-en-ciel et écologie trophique dans le lac Michigan.
- B. Jacquaz  
 (Laboratoire SAB) Distinction des larves de capelans, d'éperlans et de harengs.
- R. Tardif et  
 G. Verreault  
 (Faune et Parcs) Technique de détermination de l'âge de l'éperlan arc-en-ciel.
- F. Lecomte et  
 J.J. Dodson  
 (Université Laval) Technique de relevés morphométriques à partir d'un analyseur d'image digitalisée.

## PROGRAM

**Sunday the 21 Reception and cocktail (19:00)****Chairman:****Pierre Berube**

- 19 h 30 — 19 h 45 Official opening by the Wildlife and assistant-deputy-minister.  
**George Arsenault** (Faune et Parcs, Québec).
- 19 h 45 — 20 h 00 Workshop information.
- 20 h 00 — 21 h 00 French lesson.  
**Yves Mailhot** (Faune et Parcs, Québec).

**Monday the 22****Chairman:****Marc Mingselbier**

- 08 h 30 — 09 h 00 Spawning habitat characteristics for Nandromous Rainbow Smelt in the St. Lawrence Estuary.  
**C. Brassard\*** and **G. Verreault** (Faune et Parcs, Québec).

**Chairman: Spawning habitat****Marc Mingselbier**

- 09 h 00 — 09 h 30 Chemical characterization of Rainbow Smelt spawning sites in the St. Lawrence Estuary.  
**M. Simoneau** (Ministère de l'Environnement, Québec).
- 09 h 30 — 10 h 00 Periphyton of four St. Lawrence estuary tributaries used for Rainbow Smelt spawning.  
**L. Lapierre\***, **C. Cormier**, **G. Trecia** et **G. Verreault** (Faune et Parcs, Québec).
- 09 h 40 — 10 h 00 *Coffee break*
- 10 h 00 — 10 h 25 Localization of Rainbow Smelt (*Osmerus mordax*) reproduction sites in lake Saint-Jean: Approaches used.  
**M. Legault** (Faune et Parcs, Québec).

**Chairman: Larval ecology****Guy Trecia**

- 10 h 25 — 10 h 45 Changes in Rainbow Smelt distribution, and abundance and their effects on condition and angling efficiency for walleyes in lake Oahe, South Dakota.  
**W. Nelson-Stastny** (South Dakota Game Fish & Parks).
- 11 h 05 — 11 h 25 Factors affecting survival of larval Rainbow Smelt (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence Estuary.  
**P. Sirois\*** and **J. Dodson** (Université Laval, Québec).

**Chairman: Ecology and population dynamics****Guy Trecia**

- 11 h 25 — 11 h 45 Dynamics of introduced Rainbow Smelt and evidence of lake whitefish recruitment failure in lake Nipigon, Ontario.  
**R. Salmon** (Ministry of Natural Resources, Ontario)

11 h 45 — 12 h 05 Response of young of the year lacustrine Rainbow Smelt to the introduction of anadromous alewife.  
**J. G. Trial\*** and **F. Kircheis** (Dept. Inland Fisheries and Wildlife, Maine)

12 h 05 — 13 h 30 *Diner*

**Chairman:** **Luc Bouchard** **Ecology and population dynamics**

13 h 30 — 13 h 50 Assessment of Rainbow Smelt sticks during an eight year experimental sea lamprey control program on lake Champlain.  
**G. W. LaBar et E.J. Marsden\*** (U. of Idaho and Aiken Center, Vermont)

13 h 50 — 14 h 10 Population structure and habitat characterization of spawning anadromous Rainbow smelt, Western Cape Cod Bay, Massachusetts.  
**R. P. Lawton\***, **J. Boardman**, **B. Kelly** and **V. Malkovski** (Massachusetts Div. Marine Fisheries)

14 h 10 — 14 h 30 Contribution of climatic and St- Lawrence freshwater discharge to Rainbow smelt catch variations: an analysis between 1917—1985.  
**M. Mingelbier\***, **F. Lecomte et J. Dodson** (Faune et Parcs, Québec et Université Laval, Québec)

14 h 30 — 15 h 00 *Coffee break*

#### Workshops

Workshop on the spawning habitat and larval ecology.

- animateur : G. Verreault
- secrétaire rapporteur : P. Pettigrew

15 h 00 — 16 h 30

Workshop on the ecology and population dynamics.

- animateur : S. Georges
- secrétaire-rapporteur : F. Lecomte

16 h 30 — 18 h 00 Cocktail and poster session.

18 h 00 Supper followed by jazz or free evening.

<b>Thursday the 21</b>	
<b>Chairman:</b> <b>Guy Verreault</b>	<b>Habitat and population restoration</b>
09 h 00 — 09 h 20	Massachusetts Bay smelt spawning habitat monitoring and restoration. <b>B. C. Chase</b> (Massachusetts Div. Marine Fisheries)
09 h 20 — 09 h 40	Incubation equipment for Rainbow Smelt population restoration. <b>L. Bouchard*</b> and <b>M. Larose</b> (Centre Écologique du Lac St-Jean, Québec)
09 h 40 — 10 h 00	Boyer watershed restoration project. <b>G. Trencia</b> (Faune et Parcs, Québec)
<b>Chairman:</b> <b>Stephanie Lachance</b>	<b>Population distinction, monitoring and management</b>
10 h 00 — 10 h 20	Reproduction of the St. Lawrence Estuary Rainbow Smelt. <b>G. Verreault*</b> , <b>P. Pettigrew</b> , <b>R. Tardif</b> et <b>G. Trencia</b> (Faune et Parcs, Québec)
10 h 20 — 10 h 40	Genetic and morphological differentiation of dwarf and normal sympatric forms of smelt in Lac Saint-Jean. <b>R. Saint-Laurent*</b> , <b>M. Legault</b> et <b>L. Bernatchez</b> (Université Laval, Québec et Faune et Parcs, Québec)
10 h 40 — 11 h 00	<i>Coffee break</i>
11 h 00 — 11 h 20	Abundance estimate of juvenile Rainbow Smelt using hydroacoustic surveys. <b>S. G. Perry</b> (Fish & Game Dept. New Hampshire)
11 h 20 — 11 h 40	Spawning characteristics of Rainbow Smelt in the Sainte-Marguerite estuary : implication of hydroelectric discharge regulation on the river. <b>C. Théberge*</b> , <b>M. Heppell</b> , <b>É. Auclair</b> et <b>R. Verdon*</b> (Naturam Environnement et Hydro-Québec)
11 h 40 — 12 h 00	A portrait of the commercial exploitation of Rainbow Smelt at Miguasha, Baie-des-Chaleurs (Québec) <b>M. Dorais</b> (Faune et Parcs, Québec)
12 h 00 — 13 h 15	<i>Diner</i>
<b>Chairman:</b> <b>Luc Bouchard</b>	<b>Population distinction, monitoring and management (continued)</b>
13 h 15 — 13 h 35	Effect of the Robertson reservoir (Québec) impoundment on Rainbow Smelt. <b>R. Verdon*</b> , <b>R. Schetagne</b> and <b>J-F. Doyon</b> (Hydro-Québec and Groupe-conseil Génivar inc.).
13 h 35 — 13 h 55	Morphological discrimination between smelt populations from the St. Lawrence Middle Estuary : Implications and potential application. <b>F. Lecomte*</b> , <b>J.J. Dodson</b> (Université Laval, Québec)
13 h 55 — 14 h 15	An integrative approach for applying the ESU concept : Rainbow Smelt as a case study. <b>L. Bernatchez</b> (Université Laval, Québec)

**Workshops**

Workshop on population distinction, monitoring and management.

- animator : S. Georges
- secretary : B. Langevin

14 h 15 — 15 h 30

Workshop on the habitat and population restoration.

- animator : G. Trencia
- secretary : L. Lapierre

15 h 30 — 15 h 50

**Coffee break**

15 h 50 — 16 h 50

**General discussion.**

16 h 50 — 17 h 00

**Workshop closure.**

**Poster session**

G.W. Fleischer et  
M. Fabrizio  
(Great Lakes Science  
Center)

Rainbow Smelt population dynamics and food web ecology in Lake Michigan.

B. Jacquaz  
(Laboratoire SAB)

Smelt, capelin and herring larval identification.

R. Tardif et  
G. Verreault  
(Faune et Parcs)

Age determination techniques for smelt.

F. Lecomte et  
J.J. Dodson  
(Université Laval)

Morphometric measurements with a digitalized image analysis.

**COMPTES RENDUS / PROCEEDINGS**

## Caractéristiques de l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel anadrome du Saint-Laurent

Claude Brassard et Guy Verreault

### Résumé

L'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome du Saint-Laurent se reproduit dans quelques cours d'eau des deux rives du Saint-Laurent. Cependant, dans certains cours d'eau, les activités de reproduction de cette espèce sont parfois interrompues ou limitées. La description précise des caractéristiques essentielles de l'habitat de reproduction de cette espèce permet de répondre à certaines interrogations face à ce problème. Tôt au printemps, l'éperlan arc-en-ciel commence à fréquenter les cours d'eau dont la qualité de l'eau semble adéquate. Une fois le choix du cours d'eau effectué, nous avons constaté que l'éperlan arc-en-ciel dépose ses oeufs à partir de la limite amont d'un estuaire, jusqu'à généralement une courte distance de l'embouchure d'un tributaire. Cependant, face à un obstacle infranchissable, il arrive que l'éperlan fraye uniquement à l'intérieur de la zone d'influence de la marée. Lors de la fraye, plusieurs caractéristiques semblent déterminantes pour le choix final du site (courant, substrat, profondeur). Toutefois, d'autres caractéristiques, sans être essentielles, pourraient faciliter le succès de l'activité comme le fait qu'une rive soit boisée ou non, ou qu'une fosse soit présente ou non. Certaines de ces observations permettent maintenant, de mieux cibler les secteurs à inventorier pour découvrir de nouveaux sites de reproduction, de protéger ces habitats et d'élaborer des projets d'aménagements.

### Abstract

The anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) spawns in some rivers on the south and north shore of the St. Lawrence. However, in rivers the spawning activities are sometimes stopped or limited. The precise description of the essential spawning habitat characteristics for this species makes it possible to answer some interrogations concerning this problem. Early in spring, rainbow smelt enters the rivers whose water quality seems adequate. Once a river is chosen, we noted that eggs deposition occurs from the upstream tidal limit until generally a short-haul in the tributary. However, where migration is stopped by an obstacle, smelts can spawn in tidal zones only. During spawning time, several characteristics seem determining for the final choice (water velocity, substrate, depth). However, other characteristics, without being essential, could facilitate the success of the activity as for example, the fact that a bank is wooded or not, or that a pool either presents or not. Some of these observations allow now, to better target the area to be inventoried for discovering new spawning sites, to protect these habitats and to work out management projects.

### Introduction

La fréquentation de l'éperlan arc-en-ciel dans la rivière Boyer, pendant la période de reproduction, a diminué drastiquement jusqu'à la désertion totale entre 1970 et 1980 (Trencia *et al.*, 1989 ; Robitaille et Vigneault, 1990). Les

caractéristiques fondamentales de l'habitat de reproduction pouvant être déficientes dans la rivière Boyer étaient alors inconnues. De plus, peu d'informations sur les caractéristiques essentielles de cet habitat sont disponibles pour l'éperlan arc-en-ciel du Saint-Laurent. D'autant plus, que la confirmation de la présence de

frayères dans les tributaires du Saint-Laurent se limite à quelques sites seulement.

### Méthode

Afin de parfaire nos connaissances sur l'habitat de reproduction de cette espèce, un indice de qualité de l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel a été conçu pour la rive sud du Saint-Laurent (Brassard et Verreault, 1995). Il a été réalisé à l'aide d'une revue de littérature et de prises de données sur le terrain. D'autre part, la réalisation de deux projets dans le cadre du programme Saint-Laurent Vison 2000 impliquant la recherche de sites de déposition d'oeufs a permis de découvrir des nouveaux sites de reproduction pour cette espèce. Un premier projet a été effectué dans la région de Sept-Îles (Caldéron et Brassard, 1995) et un autre a été réalisé dans le secteur de Forestville et de Baie-Comeau (Brassard et Beaudoin, 1996).

### Résultat

#### Déroulement de la fraie

La montaison en rivière s'effectue avec l'élévation de la température, variant normalement de 3 à 7°C, ce qui correspond à la fin avril dans la portion ouest du Saint-Laurent (Beaumont) et en juin plus à l'est (Sept-Îles). Généralement, l'éperlan amorce la montaison dans les cours d'eau à la faveur de la marée montante. Les observations nocturnes sur la rivière Fouquette ont effectivement révélé que les poissons arrivent sur la portion aval du site de déposition des oeufs au flot de la marée.

L'éperlan se présente généralement dans les cours d'eau la nuit. Bien que les poissons puissent retourner vers le milieu marin durant le jour, habituellement ils séjournent en eau douce (Gritsenko *and al.*, 1984), dans des endroits sombres (Hoover, 1936 ; Kendall, 1926). Des rassemblements ont été observés dans des fosses (courants inférieurs à 1 m/s) de différentes tailles (3 m<sup>2</sup>, 200 m<sup>2</sup> et de 1000 m<sup>2</sup> de superficie) et de profondeur variant de 2 à 2,5 m. Ces regroupements sont situés à l'occasion dans la zone d'influence de la marée

(Riv. Ouelle) ou en amont de celle-ci (Riv. aux Foins, Fouquette et du Poste) (Brassard et Tardif, 1994; Caldéron et Brassard, 1995). Des concentrations d'éperlan ont également été observées durant le jour à des sites de faible profondeur (0,5 m) situés sous un couvert forestier (Riv. aux Foins, Riv. du Poste). Il est probable que la présence de ces sites de rassemblements serait profitable notamment lorsque les sites de reproduction sont situés loin de l'embouchure.

La fraie a lieu la nuit à des températures variant de 5 à 9°C (Carrier, 1982). Dès l'expulsion, les oeufs se gonflent au contact de l'eau et deviennent adhésifs suite à la fécondation. À ce moment, la membrane externe se rompt et devient l'attache de l'oeuf, ce dernier reste ainsi retenu par un pédoncule. La durée de l'activité de fraie varie de 3 à 10 jours. Dans les tributaires de l'estuaire sud du Saint-Laurent, l'éclosion a lieu après 10 à 12 jours d'incubation selon la température (Ouellet et Dodson, 1985). Les larves éclosent la nuit et dévalent en fonction du courant vers l'estuaire.

### Caractéristiques de l'habitat de reproduction

#### Obstacle

L'éperlan arc-en-ciel possède une faible capacité d'ascension. Sur la rivière Fouquette, les poissons ont franchi des rapides de quelques mètres de longueur présentant des courants de 1,3 à 1,5 m/s. Théoriquement la montaison de l'éperlan serait freinée par des courants supérieurs à 2 m/s (Bjorn et Raiser, 1991). Il semble qu'un rapide de courant plus faible pourrait nuire à la montaison de l'éperlan selon la structure (longueur) de celui-ci (Brassard et Tardif, 1994).

#### Marnage

Habituellement l'éperlan se reproduit en amont de la zone d'influence des marées (Carrier, 1982 ; Verreault et Tardif, 1989), bien qu'annuellement la position précise dépende du marnage (période lunaire) et du débit du cours. Cependant, devant un obstacle infranchissable il

est possible que la fraie ait lieu dans une section estuarienne d'un cours d'eau qui subit d'importants marnages quotidiens. En effet, des frayères d'éperlan ont été observées à l'intérieur des estuaires des rivières Porneuf et aux Outardes (Brassard et Beaudoin, 1996) et du ruisseau de l'Église (Trencia *et al.*, 1990) où la montaison de l'éperlan est impossible (barrage, chute) en amont de la zone d'influence de la marée.

#### Indice de qualité de l'habitat (IQH)

Un indice de qualité de l'habitat a été développé afin d'orienter les recherches de sites de reproduction et pour aider à clarifier la problématique de l'habitat de reproduction de l'éperlan pour un cours d'eau donné. Il a été divisé en deux indices : Indice de qualité de l'eau (IQE) et Indice de qualité de l'habitat des sites de reproduction (IQHSR). La valeur de la qualité du milieu a été divisée en trois catégories : excellente (2), moyenne (1) et nulle (0) (Exemple : pH ; excellente qualité de l'eau, pH entre 6,5 et 8 ; qualité moyenne pH entre 5,5 et 6,5 ou entre 8 et 9 et qualité nulle, pH inférieur à 5,5 ou supérieur à 9).

#### Indice de qualité de l'eau (IQE)

L'éperlan est considéré comme un poisson sensible à la qualité de l'eau (Rupp, 1959 ; Wharfe *et al.*, 1984). L'indice de qualité de l'eau pour l'habitat de reproduction de l'éperlan (Brassard et Verreault, 1995) permet d'abord de cibler la température printanière qu'il faut considérer pour évaluer les autres caractéristiques. Les caractéristiques retenues sont : la matière en suspension (MES), le pH, l'oxygène dissous et l'azote ammoniacal (figure 1). Ces caractéristiques et les échelles associées, bien que générales, ont permis de cibler la problématique de certains cours d'eau qui ne sont pas fréquentés par l'éperlan. D'autres paramètres ont fait l'objet d'étude plus détaillée (Simoneau, 1999).

#### Indice de qualité de l'habitat des sites de reproduction (IQHSR)

L'indice de qualité de l'habitat des sites de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel anadrome de l'estuaire sud du Saint-Laurent (Brassard et Verreault, 1995) présente les paramètres suivants : courant, profondeur, type de substrat, recouvrement du substrat, présence de fosse ou de rive boisée (figure 2). Il semble être applicable pour les tributaires du Saint-Laurent de petites et moyennes tailles. En effet, à l'intérieur d'un cours d'eau possédant un fort débit, il est possible de rencontrer des conditions propices à la reproduction de l'éperlan à des profondeurs plus grandes.

Le choix définitif du site de fraie semble être conditionné par le courant. Le courant sur les sites de reproduction varie de 0,2 m/s à 1,5 m/sec. Il semble que l'éperlan utilise les sites de conditions maximales de courants dans chaque cours d'eau (Gritsenko *et al.*, 1984 ; Brassard et Tardif, 1994). La position précise des frayères peut ainsi varier d'une année à l'autre en fonction des conditions de courants. En effet, certaines années, des frayères sur les rivières Ouelle et Fouquette ont été observées, à l'intérieur de la zone d'influence de la marée lorsque le courant des rivières semblait trop élevé, alors que généralement sur ces cours d'eau, les sites de déposition d'oeufs sont situés en amont de la zone d'influence de la marée.

La plupart des sites de reproduction sont pourvus de substrat de gravier (0,5-4 cm) et de caillou (4-8 cm) et à l'occasion, de secteurs de galets (8-25 cm), bien qu'à certains endroits des oeufs aient été observés dans le sable. Puisque les oeufs adhèrent au substrat après quelques secondes de dérive, ceux-ci se retrouvent accrochés à divers types de matières (débris, algues macroscopiques, etc.). Ces substrats sont propres et rugueux et dépourvus de matière fine ou gluante. La présence de substance visqueuse telle que le périphyton ou de matière fine peut nuire à la reproduction de l'éperlan. Le périphyton pourrait empêcher la fixation des oeufs ou causer la mort de ceux-ci par suffocation (Lapierre *et al.*, 1999).

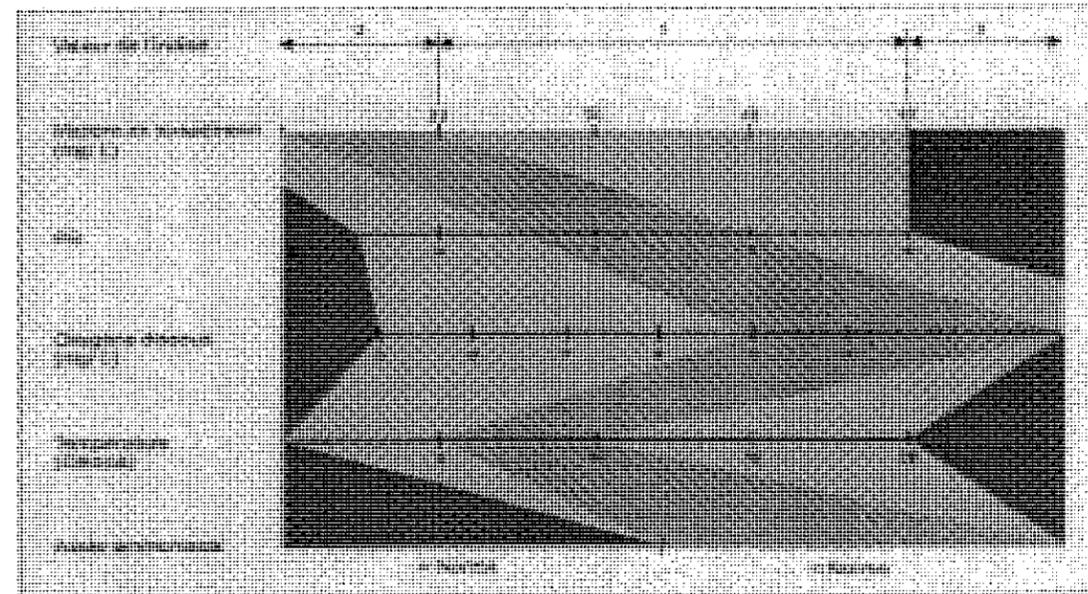


Figure 1 : Indice de qualité de l'eau (IQE)  
(valeur de l'indice : 2  excellent ; 1 , moyen ; 0 , nul)

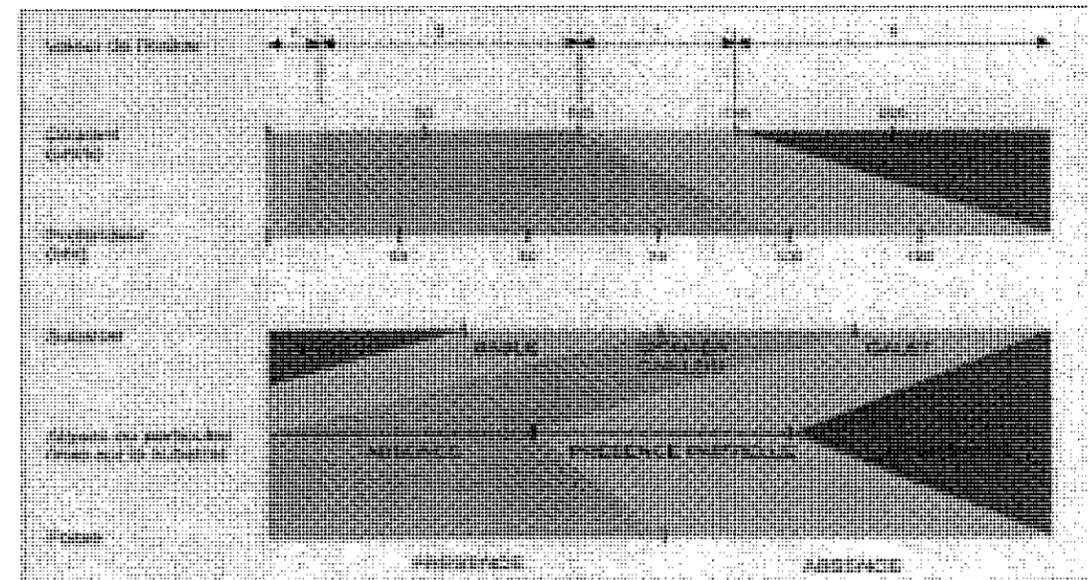


Figure 2 : Indice de qualité de l'habitat des sites de reproduction (IQHSR)  
(valeur de l'indice : 2  excellent ; 1 , moyen ; 0 , nul)

## Frayères de l'éperlan arc-en-ciel anadrome du Saint-Laurent

### Fleuve Saint-Laurent

Des larves ont été observées en amont du pont de Québec (Lecomte, F., communication personnelle), ce qui laisse supposer qu'un site de reproduction est situé en amont de cet endroit.

### Rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent

Estuaire du ruisseau de l'église (Beaumont), le nombre d'oeufs est peu abondant (Trencia *et al.*, 1990). Ce site est possiblement indicateur de la présence d'un rassemblement important d'éperlans (fosses ou frayère) à proximité ;

- Rivière Ouelle (Verreault et Tardif, 1989), il s'agit de la frayère la plus importante de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent, en terme de superficie. La qualité semble encore excellente ;
- Rivière Fouquette (Pelletier, 1993), le bassin de cette rivière est dominé par les activités agricoles et la qualité de l'eau est problématique.

### Fjord du Saguenay

- Un secteur de reproduction a été identifié en amont de Chicoutimi bien qu'aucun site de déposition des oeufs n'ait été observé (Lesueur, 1997).

### Côte-Nord

Estuaire de la rivière Porneuf (Brassard et Beaudoin, 1996) : constitué d'un seuil peu profond à marée basse et qui subit une grande variation de niveau d'eau due à l'effet des marées ;

- Estuaire de la rivière aux Outardes (Brassard et Beaudoin, 1996) : constitué d'un seuil situé à la sortie du canal de fuite d'une centrale hydroélectrique et qui subit une certaine variation du niveau d'eau due à l'effet des marées ;

- Rivière Sainte-Marguerite : site découvert en 1998 en aval de la centrale SM-1 et qui a été exondé (origine anthropique) pendant la période de reproduction de 1998 (Théberge, 1999) ;

- Baie de Sept-Îles : La baie de Sept-Îles d'une superficie d'environ 100 km<sup>2</sup> apparaît comme un milieu semi-fermé dont la population d'éperlan a accès à différents types de cours d'eau sur une courte distance. Des oeufs ont été déposés dans plusieurs cours d'eau (rivière Hall, ruisseau du Bois-Joli, rivière aux Foins et rivière du Poste) présentant de grandes variations de conditions (substrat, courant) (Caldéron et Brassard, 1995), tel que décrit dans l'indice de qualité de l'habitat de reproduction.

## Problématique des habitats de reproduction

Sur la rivière Boyer, la présence de périphyton constitue le principal paramètre qui permet d'indiquer le faible potentiel de cet habitat. Il demeure que la cause fondamentale de la désertion de la frayère est probablement la qualité de l'eau (Trencia, 1999).

L'utilisation des indices de qualité de l'habitat (IQE et IQHSR) sur la rive sud du Saint-Laurent permet d'expliquer l'absence de frayère à partir des paramètres suivants :

- Présence de périphyton (rivières Kamouraska et Trois-Pistoles) ;
- Présence d'un taux élevé de matières fines en suspension et d'un dépôt de sédiments fins sur le substrat (rivière Verte) ;
- Présence d'un taux élevé de matières en suspension (ruisseaux en terres agricoles) ;
- Absence de substrat et courant adéquat (cours d'eau lent et drainage agricole).

D'autre part, l'utilisation de l'indice de qualité de l'habitat des sites de reproduction (IQHSR) à certains endroits sur la Côte-Nord du Saint-Laurent, a permis de démontrer que la fraye est

parfois limitée par la présence d'obstacle infranchissable (ponceau, barrage) ou par l'absence de substrat adéquat ou par exondation d'origine anthropique.

### Références

- BJORN & RAISER, W.R. MAHAN (ed.) 1991. Influences of forest and rangeland management on salmonid fishes and their habitats. American Fisheries Society Special Publication #19, AFS, Bethesda, Maryland.
- 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. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. Direction régionale du Bas Saint-Laurent. 33 pages.
- BRASSARD, C. et R. TARDIF. 1994. Observations sur les sites de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) des rivières Ouelle et Fouquette. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. Direction régionale du Bas Saint-Laurent. 20 pages.
- BRASSARD, C. et C. BEAUDOIN. 1996. Habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome de la Haute Côte-Nord du Saint-Laurent (Portneuf à Franquelin). Comité Zip de Baie-Comeau, Saint-Laurent Vision 2000, Ministère des Pêches et Océans et Ministère de l'Environnement et de la Faune. 38 pages.
- CALDÉRON, I. et C. BRASSARD. 1995. Étude sur l'exploitation et l'habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de la Baie de Sept-Îles. Corporation de protection de l'environnement de Sept-Îles, Saint-Laurent Vision 2000, Ministère des Pêches et Océans. 28 pages + annexes.
- CARRIER, D., R. BOSSÉ et G. TRENCIA. 1982. Etude 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. MLCP, SAEF, Québec, 22 pages.
- GRITSENKO, O.F., A.A. CHURIKOV and S.S. RODIONOVA. 1984. The reproductive ecology of the Artic Smelt, (*Osmerus mordax dentex*) (*Osmeridae*), in the rivers of Sakhalin Island. J. ICHTYOL. Vol 24 No3, p.23-33.
- HOOVER, E.E. 1936. The spawning activities of fresh water Smelt with special reference to the sex ratio. Copeia no 2, pp.85-91.
- KENDALL, W.C. 1926. The smelts. Bull. U.S. Bur. Fish. 42, pp.317-375.
- LAPIERRE, L., C. CORMIER, G. TRENCIA et G. VERREAULT. 1999. Le périphyton dans les frayères à éperlan arc-en-ciel de quatre tributaires du sud de l'estuaire du Saint-Laurent. Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec 21-23 février 1999.
- LESUEUR, C. 1997. Acquisition de connaissances sur les poissons migrateurs et dulcicoles du Saguenay : rapport d'étape : résultats obtenus de 1995 à 1997. Rapport du Comité ZIP-Saguenay au ministère des Pêches et des Océans, au ministère de l'Environnement et de la Faune et à Patrimoine Canada. 39 pages + annexes.
- OUELLET, P. and J.J. DODSON. 1985. Tidal Exchange of Anadromous Rainbow Smelt (*Osmerus mordax*) Larvae Between a Shallow Spawning Tributary and the St. Lawrence Estuary. Can. J. Fish Aquat. Sci., Vol. 42.
- PELLETIER, C. 1993. Inventaire de frayères d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans les rivières Fouquette et Kamouraska, printemps 1993. Ministère du Loisir, de la chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, 7 pages.
- 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. Rapp. manus. ca. sci. halieut. aquat. no 2057:vi + 56 pages.
- RUPP, R.S. 1959. Variation in the life history of the American Smelt in inland waters of Maine. Trans. Americ. Fish. Soc. Vol. 88, No. 4 : 241-252.
- SIMONEAU, M. 1999. Caractéristiques physico-chimiques des frayères de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent. Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec 21-23 février 1999.
- TRENCIA, G., G. VERREAULT et D. CARRIER. 1990. Le passé, le présent et le futur de l'éperlan de l'estuaire; une histoire de disparition ou de restauration. Symposium sur le Saint-Laurent, un fleuve à récupérer. Collection Environnement et Géologie, Vol 11, Ass. Biol. Québec, pp.472-496.
- TRENCIA, G. 1999. Restauration de la rivière Boyer. Premier atelier nord-américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec 21-23 février 1999.
- VERREAULT, G. et R. TARDIF. 1989. L'éperlan arc-en-ciel anadrome de la rivière Ouelle : Population et reproduction. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Direction régionale du Bas Saint-Laurent. Rapp. 89-11.
- WHARFE, J.R., R.R. WILSON and R.A. DINES. 1984. Observation on the fish population of an East Coast Estuary. Marine Pollution Bulletin, Vol. 15, No. 4, pp. 133-136.

## Massachusetts Bay Smelt Spawning Habitat Monitoring and Restoration

Bradford C. Chase

### Abstract

A monitoring program was initiated in 1988 to address concerns over declining rainbow smelt (*Osmerus mordax*) populations in Massachusetts. The objective of the program was to document all smelt spawning habitat in Massachusetts Bay and develop recommendations for habitat remediation and population restoration. The monitoring components of the program are completed and efforts are now underway to report on the findings and investigate restoration options. Eighty individual samples locations were monitored for 1-3 springtime spawning seasons. Smelt were found to spawn at 38 specific locations within 29 river systems along Massachusetts Bay. Populations of smelt have declined sharply during the past two decades and traditional winter fisheries for smelt have diminished throughout Massachusetts Bay. Although the causes for declining populations are not certain, the destruction and degradation of spawning habitat from watershed land developments is a primary concern. A pilot restoration project was conducted in the Danvers River from 1995 to 1997. This project was designed to evaluate smelt egg transfers as a restoration option and to investigate egg survival in stream habitats with degraded substrates.

### Introduction

Anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) populations have supported popular recreational and modest commercial fisheries in the Gulf of Maine for more than a century. Smelt are also valued as an important prey for numerous fish and wildlife species. Massachusetts Bay is the southernmost region in the west Atlantic Ocean where viable fisheries have targeted numerous smelt runs in contemporary times. Smelt occupy many coastal embayments and tidal estuaries in Massachusetts Bay and have supported as many as 20 local hook-and-line fisheries until recently. Spawning occurs in the freshwater tributaries of tidal river systems. The fidelity of spawning stocks to specific river systems is uncertain. A downward trend in the smelt fisheries of Massachusetts Bay has been observed since the early 1980s. Concern over the apparent decrease in smelt abundance resulted in the initiation of a monitoring program in 1988 by DMF. The purpose of the Massachusetts Bay Smelt Spawning Habitat Monitoring Program was to document all smelt spawning habitat in Massachusetts Bay and develop

recommendations for habitat remediation and population restoration.

### Monitoring Methods

Monitoring locations were selected based on existing information on spawning habitats and a survey of all freshwater tributaries along Massachusetts Bay. Potential and known spawning locations were monitored for up to three springtime spawning seasons during 1988-1995. Monitoring locations were visited twice a week during March through May to look for egg deposition and measure water chemistry parameters (temperature, salinity, specific conductivity, pH, and dissolved oxygen). Additional visits were made to specific locations to measure stream flow and collect downstream ichthyoplankton samples. Once the spawning habitat was sufficiently documented for a given system, the wetted perimeter of the substrate was measured and the location was delineated using GIS mapping.

### Monitoring Results

Over 100 freshwater tributaries were surveyed from 1988 to 1995 and 80 sampling locations were monitored for at least one season. Smelt were found to spawn at 38 specific locations within 29 river systems along Massachusetts Bay. Available spawning habitat within each river system ranged from less than 100 m<sup>2</sup> of stream substrate to approximately 10 000 m<sup>2</sup>. Spawning occurred over a relatively small area (<2 000 m<sup>2</sup>) for a large majority of the 38 locations. No apparent aberrations in water chemistry were noted from the parameters measured, except for episodic low pH (< 6.0) in several streams and a few specific streams with chronic low pH. Twenty-four species of fish were represented by the eggs and larvae in spring ichthyoplankton collections, of which smelt was the most common species.

During the study period, Massachusetts Bay fisheries continued to decline at an alarming pace. The size composition of the spawning stock has compressed and is now dominated by age-2 smelt. With the exception of the Boston Harbor region, most local fisheries were reduced to a small number of individuals checking on fishing locations that produced good catches in previous decades. The last year with moderate to good egg deposition in most spawning runs was 1989. Good egg deposition was again observed in 1995, but only in several Boston Harbor systems. Three large rivers in Boston Harbor appear to support the only remaining sportfisheries for smelt in which anglers can expect to catch smelt during the fall and early winter. An increase in the catches of the Boston Harbor fishery occurred during 1992 and 1993; producing short-lived expectations of recovering populations. The increased fishery catches of those years did not correspond with high densities of deposited eggs during the following springs. The inverse was true for 1989 and 1995, as no increased recruitment was apparent following those two years of improved egg deposition.

Given the sharp reductions in fishing effort during the last 20 years, the primary influences on the low levels of smelt abundance are

probably related to spawning habitat degradation or shifts in natural mortality. Smelt spawning habitat in Massachusetts Bay has long been subject to acute impacts from human development in the form of obstructions, stream alterations, and toxic discharges. More recently, chronic impacts are beginning to manifest in the form of water withdrawals, sedimentation, and watershed nutrient loading. The occurrence of these sources of acute and chronic impacts was readily observed during the study period, although each spawning habitat contained a unique combination of threats. At this point, the possible role of alterations in larval retention zones and increased mortality from natural predators whose populations have recently increased (striped bass, cormorants, and seals) is uncertain.

### Restoration Methods

Following the monitoring component of the program, a stream was selected to receive egg transfers during a pilot restoration project. Smelt egg transfers have been made by DMF for over 75 years. The success of egg transfers has not been documented or evaluated in coastal Massachusetts. The Crane River, Danvers, was selected as a control stream because it was a former smelt run with a sluiceway that prevented passage to approximately 2 000 m<sup>2</sup> of suitable spawning habitat. Eggs were transferred from donor runs in Boston Harbor during 1995-1997, and the sluiceway was modified in 1997 to allow passage for returning adults. Egg counts were made on egg collection trays to provide stratified estimates of eggs transferred. Transferred eggs were monitored for survival and the out-migration of larvae was monitored with downstream ichthyoplankton collections. Basic water chemistry was monitored during the three seasons, and 18 nutrient measurements were made during the calendar year of 1997.

### Restoration Results

The number of eggs transferred was well below the goal of three million each season. Only in 1995 (approximately 2.2 millions) were as many as a million eggs collected and

transferred. This result reflects on the extremely poor egg deposition observed in 1996 and 1997 throughout Massachusetts Bay. Egg survival trials and ichthyoplankton collections confirmed hatching and downstream transport, although very poor survival was documented on substrates degraded by periphyton growth. The mean total nitrogen concentrations during 1997 at the Crane River and three other local streams were approximately 2.0 mg/L. These measurements and observations of excessive periphyton growth over spawning substrates is evidence of the effect of cultural eutrophication on smelt spawning habitat. Despite the low number of transferred eggs, deposited eggs were found in the Crane River during weekly visits in the spring of 1997. Low densities of eggs were found above and below the modified sluiceway. These eggs are attributed to age-2 spawners from the 1995 egg stocking. With a similar effort, very few eggs were found in 1998 and none were found in 1999.

### Conclusion

The monitoring of Massachusetts Bay smelt runs found that smelt continue to utilize many river systems for spawning habitat. Despite the large number of existing runs, concern over declining populations has only increased since the monitoring program began. The cause of declining smelt populations is not certain. For many systems, the causal factors are probably cumulative and chronic. Observations made

during the monitoring program indicate that the physical degradation of spawning substrates is a common condition in Massachusetts Bay. Within the category of habitat degradation, it is suspected that nutrient and sediment inputs from watershed run-off present the greatest long-term threat to smelt runs in Massachusetts Bay. Impacts from sedimentation are direct and more obvious. Evidence from this program contribute to the hypothesis that nutrient inputs are altering the natural growth and composition of algae species in the freshwater spawning substrates, in a manner that reduces the suitability of the substrate for egg survival.

The restoration project results indicate that egg transfers are not an efficient method for restoring smelt in Massachusetts Bay. Some success was found in the form of modest numbers of deposited eggs in 1997 and 1998, but overall the benefits were minor relative to the effort expended and there are presently no strong donor runs in Massachusetts Bay. At this time, cooperative efforts towards reducing watershed inputs may be more productive than initiating stocking/transfer programs. Improvements to water quality and habitat may improve smelt recruitment and could benefit other resources in these river systems. Future DMF efforts with smelt in Massachusetts Bay should consider habitat and water quality enhancement projects and alternative population restoration methods.

## Système d'incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel en milieu naturel

Luc Bouchard et Martin Larose

### Résumé

Depuis 1991, le Centre Écologique du Lac St-Jean s'implique dans la restauration de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de la rive sud du Saint-Laurent. Comme la survie des oeufs en nature est faible (environ 5%, McKenzie, 1964), un aménagement a été développé pour améliorer la production de larves en réduisant l'effet des principaux facteurs de mortalité survenant pendant le développement embryonnaire. Ces derniers sont le faible taux de fécondation des oeufs, l'empilement excessif, le colmatage des oeufs par les sédiments fins et les infections fongiques. Le système se compose de modules de fraie permettant une fécondation naturelle des oeufs. À l'aide de ces modules, on obtient des oeufs non adhérents qui sont transférés dans une série de jarres d'incubation, installées sur la rive du cours d'eau. Les jarres permettent d'incuber une grande densité d'oeufs tout en favorisant les échanges gazeux. L'eau qui alimente les jarres transite par un module de sédimentation afin de réduire les matières en suspension. Des traitements sont appliqués pendant l'incubation pour éviter la propagation des champignons. Dès l'éclosion, les larves retournent d'elles-mêmes à la rivière par une conduite d'évacuation de l'eau. En 1995 et 1996, cette méthode a permis une production évaluée à 11 et 13 millions de larves correspondant à des taux de survie estimés à plus de 90%. Pendant les cinq années de mise au point du système, on estime à plus de 30 millions le nombre de larves retournées au fleuve. Le système est peu complexe et la station du ruisseau de l'Église a été opérée avec succès de façon autonome par un groupe de bénévoles de la région en 1998.

### Abstract

Since 1991, the Centre Écologique du Lac St-Jean inc. has been involved in a rainbow smelt restoration program of the southern shore population of St. Lawrence river. Because the natural smelt eggs survival is low (approximately 5%, McKenzie, 1964), a system was developed to improve larvae production by reducing the major causes of mortality during egg development. These causes are: low fertilization rates, excessive crowding, egg fouling by suspended sediments and fungal infection. The system consist of spawning boxes which allows the natural fertilization of eggs. With these boxes, it is possible to obtain non adhesives eggs that are transfered to a series of incubation jars installed on the river bank. The jars allow for the incubation of a high density of eggs while providing good gas exchanges. The water that supplies the jars first flows trough a sedimentation box to reduce suspended materials. Treatments are applicated during incubation period to avoid fungal outbreaks. As soon as they hatch, the larvae are returned to the river by the water drain. In 1995-1996, this method permitted a production which is evaluated at 11 and 13 millions of larvae. This corresponds to an estimated survival rate of over 90%. More than 30 millions of larvae were returned to the river during the five years of the systems development. The simplicity of the systems use was demosttrated by it being successfully operated by a volunteer group during 1998 season.

## Introduction

Cette présentation concerne un projet qui a été réalisé par le Centre Écologique du Lac St-Jean inc., organisation privée à but non lucratif spécialisée en environnement (milieu aquatique et semi-aquatique) et en aquaculture. L'objectif de cette présentation est de nature technique. Elle vise à faire la description du système et de ses améliorations au cours des années par une présentation visuelle supportée par de nombreuses photographies.

Le contexte général dans lequel s'inscrit ce projet était que, parmi les projets proposés pour travailler à la restauration de l'éperlan de la population de la rive sud du Saint-Laurent (notamment la problématique de la rivière Boyer), on retrouvait la production artificielle de larves (Robitaille et Vigneault, 1990). Ce stade de vie est particulièrement critique, le taux de survie rencontré en rivière pour les oeufs d'éperlans dans de bonnes conditions d'habitat serait de 3 à 5% (McKenzie, 1964).

Les objectifs du projet, lesquels ont évolué en cours de route, étaient de documenter les causes de mortalité au stade de l'oeuf, d'élaborer un système d'incubation permettant de réduire les mortalités à ce stade, d'améliorer le système pour optimiser sa production (produire le plus grand nombre de larves possibles) et finalement de transférer l'opération de la station à un groupe de bénévoles du milieu local.

## Causes de mortalité

Les facteurs de mortalités suivants sont importants à retenir puisqu'ils ont directement influencé le système qui est spécifiquement conçu pour en réduire les impacts. Parmi ceux-ci on retrouve :

- Faible taux de fécondation, surtout avec la fécondation manuelle.
- Colmatage des oeufs par les sédiments fins contenus dans l'eau (il en résulte des mortalités par étouffement dues à une réduction des échanges gazeux).

- Empilement excessif (cela provoque la suffocation des couches d'oeufs inférieures).
- Infection par les fungus (les champignons s'attaquent rapidement aux oeufs morts dans les premiers jours, puis aux vivants).

## Description générale du système

Le projet a débuté en 1990 par une visite des installations du ruisseau Black Brook au New Hampshire (Valentine, 1991) suivi d'une revue de littérature et une proposition d'aménagement (Valentine et Filion, 1991). À l'automne 1991, le Centre Écologique a procédé à la construction et à l'installation de la station d'incubation au ruisseau de l'Église à Beaumont. Les principaux avantages de ce site étaient que l'on y retrouve une source de reproducteurs à proximité et une pente suffisante pour l'alimentation en eau du système par gravité. Le cheminement de l'eau est le suivant : chute, ruisseau, baie et fleuve pour le ruisseau de l'Église, alors que dans le système il se compose de l'amenée d'eau, la station d'incubation avec les équipements et le drain d'évacuation.

Au départ en 1992, le système se composait de trois unités, soit un sédimenteur et deux incubateurs-chenaux de fraie. Le système a été modifié au cours des années suivantes en fonction des résultats obtenus.

## Description spécifique versus causes de mortalité

En premier lieu on précise qu'au ruisseau de l'Église les éperlans ne peuvent remonter très loin, la fraie se déroule dans la zone influencée par la marée. Donc, les éperlans sont capturés à l'embouchure du ruisseau et doivent être transportés jusqu'à la station d'incubation.

Il est important de revenir sur les caractéristiques particulières des oeufs d'éperlans. Les oeufs sont expulsés par la femelle et tombent au fond. Au contact de l'eau et après fécondation, les oeufs gonflent pour atteindre un diamètre d'environ 1 mm. On retrouve une double membrane qui après fécondation se fend et se retourne pour faire un pédoncule, et c'est ce

pédoncule qui est responsable de l'adhérence de l'oeuf qui se colle au premier substrat rencontré (Marcotte et Tremblay, 1948 ; McKenzie, 1964).

## Fécondation des oeufs

Pour assurer la fécondation des oeufs qui s'avère un facteur de mortalité important (Akielaszek *et al.*, 1985 ; Misitano, 1977 ; Brezowski, 1957) deux méthodes ont été expérimentées. La première est la *fécondation manuelle* ou méthode sèche qui consiste à prélever les produits sexuels, les mélanger pour effectuer la fécondation et les étendre sur les claies (Woynarovich et Hornath, 1981). Cette méthode avait déjà été expérimentée pour cette espèce avec des succès très variables (Akielaszek *et al.*, 1985 ; Misitano, 1977 ; Bédard, 1988 ; Cooper, 1978 ; Shadrin, 1988). La seconde est la *fécondation naturelle* qui consiste à déposer les reproducteurs en nombre voulu dans des espaces présentant des conditions favorables (eau et oxygène) et les laisser frayer naturellement (Brezowski, 1957). En fonction des résultats obtenus, la méthode naturelle a été sélectionnée. Cette dernière présente un meilleur taux de survie à l'éclosion, est moins complexe et les manipulations sont réduites au minimum.

Pour la fécondation naturelle, deux méthodes ont été expérimentées. La première est la fraie en *chenaux de fraie* sur claies, inspirée de la méthode utilisée au New Hampshire (Brezowski, 1957). Les éperlans frayent dans des compartiments sur des claies constituées d'un substrat artificiel (jute) sur lesquelles les oeufs se fixent et sont incubés. La seconde méthode consiste à utiliser des *modules de fraie*. Lors de la deuxième année d'expérimentation, nous avons trouvé une méthode qui allait transformer la capacité de production de la station. Nous avons fait l'essai d'un substrat artificiel composé de moustiquaire pour remplacer la jute. Nous avons constaté après la première nuit de fraie que les oeufs avaient été fécondés naturellement et étaient passés au travers de la moustiquaire (les oeufs ont un diamètre d'environ 1 mm et les espaces de la moustiquaire sont de 1 mm) ce qui avait permis de briser le pédoncule collant. Cette méthode

permettait d'obtenir des oeufs fécondés naturellement et non collants qui pouvaient être incubés en jarre.

Le principe du module de fraie qui a été inspiré de ces observations est donc fort simple. Il s'agit d'un module avec un double-fond dont la première membrane se compose de moustiquaire de 1 mm. Les oeufs passent au travers pendant la fraie et le pédoncule collant est ainsi brisé. La seconde membrane du tiroir est plus fine et permet de retenir les oeufs.

Nous avons conçu différents types de modules de fraie : certains s'installent dans le module de sédimentation, d'autres s'installent de façon indépendante alimentés en eau par la conduite principale, nous avons utilisé les chenaux de fraie pour collecter des oeufs et nous avons conçu un modèle portatif qui peut s'installer en rivière avec des supports ajustables en fonction de la profondeur de l'eau. Une fois la fraie réalisée dans ces différents modules, les oeufs sont récoltés à l'aide d'un siphon, nettoyés dans un tamis, leur nombre est évalué et enfin ils sont placés en incubation.

## Incubation en jarre

Les oeufs non collants et fécondés peuvent être incubés en jarre, contenant où les oeufs sont incubés tout en étant constamment en mouvement. Le modèle a considérablement évolué sur 3 ans : en 1993 un premier essai qualitatif a été réalisé dans une jarre constituée d'une bouteille de 2 litres de Pepsi (volume environ 1 litre) avec une amenée d'eau par siphon, ce qui avait résulté en un bon développement des oeufs et une bonne éclosion. En 1994, le second essai a été effectué dans 8 bouteilles de Pepsi de 2 litres, ce qui avait confirmé les bons résultats obtenus l'année précédente. Nous pouvions maintenant augmenter la capacité de production par l'utilisation de plusieurs jarres de bon volume. En 1995, le troisième essai a été effectué avec une série de 12 jarres composées d'un cylindre de 17,5 cm de diamètre installé sur une coupole avec un pied, pour un volume de 12 litres. L'eau est amenée par un distributeur, elle passe dans un conduit jusqu'au fond où elle crée un courant circulaire ascendant qui maintient les oeufs en mouvement.

L'eau est ensuite évacuée par un drain vers une gouttière et finalement vers le drain d'évacuation à la rivière. Une crépine ou une moustiquaire est installée pour empêcher la sortie des oeufs. Les larves, une fois écloses, empruntent le même chemin. Le débit est ajusté à l'aide d'une valve.

### Sédimentation des particules fines

Pour régler le problème de la sédimentation (Brezoski, 1957 ; Verreault, 1990) des particules fines dans l'eau, deux solutions ont été expérimentées. La première consiste à utiliser un module permettant la sédimentation des particules fines (*sédimenteur*). Ce module sert à éliminer le colmatage des oeufs en favorisant la sédimentation des particules fines contenues dans l'eau par la réduction de la vitesse de l'eau à l'aide de moustiquaires. En 1992, nous avons expérimenté une seconde méthode, soit l'ajout d'un *filtre à piscine* afin de vérifier si on pouvait ainsi augmenter la survie des oeufs. Comme les résultats obtenus en 1992 avaient indiqué que le filtre à piscine n'améliorait pas les taux de survie, cette option a été abandonnée pour les années suivantes. En plus, il compliquait le système et nécessitait de l'électricité ou l'utilisation d'une génératrice, ce qui venait alourdir le système.

### Infections fongiques

La majorité des auteurs ayant travaillé au stade de l'oeuf avec l'éperlan ont observé des problèmes de mortalité massive au cours des quatre premiers jours de développement des oeufs reliés aux champignons qui prolifèrent en premier sur les oeufs non fécondés qui sont morts et par la suite s'étendent aux vivants (Bédard, 1988 ; Akielaszek *et al.*, 1985 ; Misitano, 1977 ; Cooper, 1978 ; Veilleux, 1966 dans Robitaille et Vigneault, 1990 ; Brezoski, 1957). Comme en pisciculture on connaissait bien ce problème, des traitements antifongiques au vert de malachite ont été utilisés à chaque année d'opération. Nous sommes convaincus que ce facteur est une des raisons importantes qui contribue à l'augmentation de la survie des oeufs obtenue par l'utilisation de cet aménagement.

### Empilement excessif

Un des facteurs de mortalité bien documenté provient de l'empilement excessif des oeufs (McKenzie, 1964 ; Kircheis et Geffen, 1987 dans Geffen, 1990) ce qui provoque la mortalité des couches inférieures par suffocation. Nous avons testé différentes densités de dépôt d'oeufs sur les claies soit à partir de 13 oeufs/cm<sup>2</sup> tel que mentionné comme optimal en milieu naturel par McKenzie, 1964 et en laboratoire par Akielaszek *et al.*, 1985 jusqu'à 150 oeufs/cm<sup>2</sup>, une densité ayant procuré de bons rendements en chenaux de fraie sur claie de jute au New Hampshire (Brezoski, 1957). Cette variation de densité de dépôt était obtenue en faisant varier le nombre de femelles frayant dans un espace donné. Nous avons observé qu'à partir d'environ 110 oeufs/cm<sup>2</sup>, la survie des oeufs commençait à diminuer sur les claies de jute.

En jarre, nous avons testé différentes densités soit de 600 000 à 1 200 000 d'oeufs par jarre. Il semble que 1 000 000 d'oeufs par jarre constitue une densité intéressante, ce qui correspond à environ 2 litres d'oeufs. Cette partie du projet visait à maximiser la production de larves à partir de cet aménagement.

### Sortie des larves

La conception du système a été orientée de façon à permettre le retour des larves d'éperlans dans des conditions se rapprochant de la situation naturelle. En nature, la tombée de la nuit stimule leur éclosion et elles dévalent vers le fleuve immédiatement, avant même la résorption du sac vitellin (Ouellet et Dodson, 1985 ; Courtois et Dodson, 1986 ; Johnston et Cheverie, 1988). Le toit de la station est constitué de fibre de verre transparent pour respecter la photopériode. Ainsi les larves sont évacuées par les drains de sortie de l'eau et retournées au ruisseau dès leur éclosion, comme en nature. Un petit bassin est constitué dans le ruisseau afin de les y recevoir en douceur. Ensuite les larves poursuivent leur chemin jusqu'au fleuve.

### Quelques résultats

En *chenaux de fraie sur claie de jute*, nous avons réussi à incuber entre 700 000 et 3 200 000 oeufs en une année. Les oeufs provenaient alors de la fraie en chenaux de fraie ou en module de fraie, à ce moment les oeufs étaient étendus sur les claies de jute pour l'incubation. Les taux de survie ont varié de 66% à 95%. Les résultats obtenus démontraient que l'incubation sur claie de jute était efficace mais limitante en terme de production (nombre de larves produites).

En *jarre*, en 1995 et 1996 nous avons réussi à incuber entre 10 et 13 millions d'oeufs avec plus de 90% de survie. Mentionnons que 13 millions d'oeufs représentent 28 litres d'oeufs, ce qui est considérable. Cette méthode s'avère donc beaucoup plus productive.

De façon globale, on estime à plus de 30 millions le nombre de larves produites pendant les 5 ans de mise au point du système (Bouchard, 1994 ; Bouchard, 1995 ; Bouchard et Royer, 1997).

Fait intéressant à souligner, depuis 1998 la station est opérée par des bénévoles membres et amis de l'Association Bellechasse et Pêche. Un manuel d'opération a été produit à cette fin (Larose et Bouchard, 1997). Ceci démontre que le système est facile d'opération et que celui-ci s'avère des plus intéressants pour son potentiel d'implication communautaire.

### Futur du système

L'utilisation de ce système pourra s'avérer fort utile, notamment pour le soutien et la restauration de population dans un état précaire, par l'augmentation de la productivité à une phase critique ainsi que pour l'introduction ou la réintroduction de l'espèce.

Nous avons également travaillé sur un modèle d'incubateur à éperlan portatif, qui pourrait s'avérer plus flexible en terme de site d'installation (Larose et Bouchard, 1998). Il n'a pas encore été testé mais nous sommes convaincus qu'il pourrait être très efficace. Un avantage important est également qu'il sera beaucoup

moins coûteux. Ce système devrait être testé au printemps 1999. Le système se compose d'un module d'incubation avec 12 jarres, alimentées en eau par une conduite flexible et une prise d'eau rudimentaire (crépine). Un poste de traitement antifongique a été prévu. Le système peut être déplacé par deux hommes et installé en quelques jours.

Ce modèle de système d'incubation peut être utilisé pour d'autres espèces comme le doré jaune et la perchaude. Un système complet a été livré pour un projet d'élevage de perchaude.

### Remerciements

Ce projet n'aurait pu être réalisé sans l'appui financier des partenaires suivants que nous tenons à remercier :

- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec.
- Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000 (volet interaction communautaire).
- Ministère des Pêches et des Océans du Canada.
- Fondation de la faune du Québec.
- Université du Québec à Chicoutimi.

### Bibliographie

- AKIELASZEK, J.J., MORING, J.R., CHAPMAN, S. et J.H. DEARBORN. 1985. Experimental culture of rainbow smelt (*osmerus mordax*). Trans. Amer. Fish. Soc. 114 : 596-603.
- BÉDARD, D. 1988. Croissance et reproduction d'une population d'*osmerus mordax* au Lac Vert et développement embryonnaire et larvaire dans deux milieux de matière organique, le glucose et l'acétate. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi. 90 pages.
- BOUCHARD, L et H. ROYER. 1997. Recherche de frayères à éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans le lac Saint-Jean en 1996.

- Centre Écologique du Lac St-Jean inc. pour Saint-Laurent Vision 2000 et ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 59 pages, 6 annexes.
- BOUCHARD, L. et H. ROYER. 1997. Incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel au ruisseau de l'Église en 1996. Rapport d'opération. Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 16 pages, 2 annexes.
- BOUCHARD, L. 1995. Incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel en chenaux de fraie et en jarres. Rapport d'opération. Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 17 pages.
- BOUCHARD, L. 1995. Étude de faisabilité pour le marquage des larves d'éperlans produites à la station d'incubation du ruisseau de l'Église. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean inc. réalisé avec l'aide du ministère des Pêches et des Océans dans le cadre du programme Interactions communautaires de Saint-Laurent Vision 2000.
- BOUCHARD, L. 1994. Incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) en chenaux de fraie au ruisseau de l'Église en 1992 et 1993. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune aquatique, Rapp. Tech. 38 pages.
- BREZOSKI, P.E. 1957. A progress of the eggs collection and stocking program conducted at Black Brook, 1957. Fish and Game Distributor Manager, Fisheries Division of New Hampshire.
- COOPER, J.E. 1978. Identification of eggs, larvae and juveniles of the Rainbow smelt, *Osmerus mordax*, with comparisons to larval Alewife, *Alosa pseudo-harengus* and Gizzard Shad, *Dorosoma cepedianum*. Trans. Amer. Fish. Soc. 107 (1): 56-62.
- COURTOIS, R. et J.J. DODSON. 1986. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des larves de capelan (*Mallotus villosus*), d'éperlan (*Osmerus mordax*) et de hareng (*Clupea harengus*) dans un estuaire partiellement mélangé. Can. J. Aquat. Sci. 43: 968-979.
- GEFFEN, A.J. 1990. Response of rainbow smelt, *osmerus mordax* to low pH. J. Fish. Biol. 37 (6): 865-872.
- JOHNSTON, C.E. et J.C. CHEVERIE. 1988. Observations on the diel and seasonal drift of eggs and larvae of anadromous Rainbow smelt *Osmerus mordax* and Blueback herring *Alosa aestivalis*, in a coastal stream on Prince Edward Island. Naturaliste can. 102 (3): 508-514.
- KIRCHEIS, F.W. et A.J. GEFFEN, 1987. Rainbow smelt vs acid rain. Maine Fish and Wildlife 1987 (1), 14-15.
- LAROSE, M. et L. BOUCHARD. 1998. Incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel sur la rivière Sainte-Marguerite. Centre Écologique du Lac St-Jean inc. pour Naturam Environnement. 11 pages, 2 annexes.
- LAROSE, M. et L. BOUCHARD. 1997. Incubation d'oeufs d'éperlans arc-en-ciel en jarre, au ruisseau de l'Église, Manuel d'opération. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 22 pages, 2 annexes.
- LAROSE, M. et L. BOUCHARD. 1997. Vérification du taux de survie des oeufs d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) incubés dans la rivière Boyer en 1997. Rapport du Centre Écologique du Lac St-Jean inc. pour le Ministère de l'Environnement et de la Faune. 28 pages, 3 annexes.
- LESUEUR, C. et L. BOUCHARD. 1995. Rapport des opérations de recherche des frayères à éperlans de la rivière Saguenay en 1995. Rapport de l'Association de pêche blanche de l'Anse-aux-Foins de St-Fulgence au ministère des Pêches et des Océans et au ministère de l'Environnement et de la Faune. 50 pages, annexes.
- MARCOTTE, A. et J.C. TREMBLAY. 1948. Notes sur la biologie de l'éperlan de la province de Québec. Université Laval, Québec.

- MCKENZIE, R.A. 1964. Smelt life history and fishery in the Miramichi river, New Brunswick. Fish. Res. Board Can. 144: 77 pages.
- MISITANO, D.A. 1977. Technic for incubating and hatching eggs of Surf smelt for bioassay. The Progressive Fish Culturist 39: 187.
- OUELLET, P. et J.J. DODSON. 1985. Tidal exchange of anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae between a shallow tributary and the St-Lawrence estuary. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1352-1358.
- 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 restauration des habitats de fraie dans la Rivière Boyer. Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut. 2057: 56 pages.
- SHADRIN, A.M. 1988. Embryo-larval development of far eastern osmeridae, *Osmerus mordax* (Arctic smelt). Traduit dans Journal of Ichthyology 28 (1): 76-87.
- VALENTINE, M. 1991. Compte rendu de la visite des chenaux de fraie pour éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) au ruisseau Black Brook dans le New Hampshire le 11 octobre 1990. Rapport de visite, Centre Écologique du Lac St-Jean inc.
- VALENTINE, M. et G. FILION. 1991. Causes de mortalité des oeufs d'éperlan arc-en-ciel *Osmerus mordax* et possibilité d'aménagement de chenaux de fraie à la rivière Ouelle et au ruisseau de l'Église. Centre Écologique du Lac St-Jean inc. 20 pages, 3 annexes.
- VEILLEUX, C.M. 1966. Évaluation du taux d'éclosion de l'éperlan, *Osmerus mordax* (Mitchill), au ruisseau McCloskey, comté Gatineau, province de Québec. Université d'Ottawa. Thèse de maîtrise. 36 p. dans 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 restauration des habitats de fraie dans la Rivière Boyer. Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut. 2057: 56 pages.
- VERREAULT, G. 1990. Communication personnelle. Communication sur la constatation que la sédimentation des particules fines a un effet sur la survie des oeufs d'éperlans arc-en-ciel. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Région Bas Saint-Laurent/Gaspésie/Îles de la Madeleine.
- WOYNAROVICH, E. et L. HORNATH. 1981. La reproduction artificielle des poissons en eau chaude: manuel de vulgarisation. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. FAO Document Technique sur les pêches 201: 191 pages.

## Portrait de l'exploitation commerciale de l'éperlan arc-en-ciel de la pêcherie de Miguasha dans la Baie-des-Chaleurs (Québec)

Martin Dorais

### Résumé

On retrouve une population importante d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax Mitchell*) dans la baie des Chaleurs, située à l'extrême est du Québec. Bordée au sud par le Nouveau-Brunswick et au nord par la péninsule de la Gaspésie (Québec), une exploitation commerciale y est pratiquée depuis la fin du siècle dernier. Historiquement, on constate de grandes variations interannuelles dans les débarquements totaux. Depuis la fin des années 60, les débarquements du Nouveau-Brunswick sont demeurés égaux ou inférieurs à ceux du Québec, alors qu'ils étaient plus importants autrefois. Du côté québécois, 95% des débarquements proviennent actuellement de la pêcherie de Miguasha. La moyenne historique (1917—1990) des débarquements de cette pêcherie est de 129 tonnes métriques. C'est en 1974 et 1978 que les débarquements ont connu leur plus haut niveau avec des récoltes supérieures à 500 tonnes métriques. Depuis 1991, la moyenne des débarquements annuels est de 164 tonnes métriques, ce qui en fait la pêcherie d'éperlan la plus importante de l'ensemble de la Baie-des-Chaleurs et du Québec. Cette pêcherie hivernale est constituée de 21 pêcheurs qui pratiquent la pêche au moyen de filet-réservoir et de filet-poche. Le maximum d'engins présentement autorisés est de 40 filets-réservoirs et 52 filets-poches. L'utilisation des filets-poches permet la récolte de plus de 80% des débarquements annuels. La récolte et les prises par unité d'effort (P.U.E.) des filets-poches présentent plus de variation interannuelle que ceux des filets-réservoirs. En cours de saison, un échantillonnage des éperlans récoltés permet de caractériser le stock exploité. Les résultats permettent de constater une croissance différentielle selon les sexes en faveur des femelles. Le taux de survie diminue avec l'âge et est plus élevé chez les femelles. La relation masse-longueur établie est très faible. Tous les poissons de 1 an sont immatures tandis que tous ceux de 3 ans sont matures. Chez les poissons de 2 ans, 75% ont atteint leur maturité sexuelle. Le rapport de sexe est très variable, mais la proportion de mâle est toujours plus élevée. Les classes d'âge 2 ans et 3 ans représentent entre 70 et 85% de la récolte totale.

### Introduction

L'éperlan arc-en-ciel est un poisson essentiellement pélagique qui vit en banc et qui fréquente les régions côtières (Scott et Crossman, 1974). Autrefois, très abondant dans le fleuve Saint-Laurent, les populations d'éperlan présentes ont connu un déclin depuis les dernières décennies (Giroux, 1997). On retrouve encore une population importante d'éperlans dans la baie des Chaleurs. Cette dernière située à l'extrême est du Québec représente un habitat très favorable et productif pour cette espèce. On y trouve de nombreuses baies, son profil bathymétrique est composé de nombreux hauts-fonds, la tem-

pérature de l'eau n'excède pas 20°C et de nombreux cours d'eau s'y déversent et présentent des habitats de fraie de qualité. Bordée au sud par le Nouveau-Brunswick et au nord par la péninsule de la Gaspésie, une exploitation commerciale et sportive y est pratiquée depuis la fin du siècle dernier de part et d'autre de la baie.

En Gaspésie, on retrouve deux types de pêcheries distinctes dont la plus importante est dans la région de Miguasha qui est située dans la partie nord-ouest de la baie des Chaleurs, et plus précisément aux abords de l'estuaire de la rivière Ristigouche. Cette dernière est le plus

important site de fraie d'éperlan de l'ensemble de la baie.

La pêcherie de Miguasha est active de décembre à mars. Les débarquements annuels moyens sont d'environ 164 tonnes, ce qui en fait la plus importante pêcherie d'éperlans du Québec. Sur le reste du territoire de la péninsule gaspésienne, on retrouve également une pêche commerciale d'automne pratiquée principalement à l'aide de filets maillants et de seines de rivage. Bien qu'historiquement les débarquements aient déjà été très importants, on observe depuis le début des années 60 une baisse de cette pratique. Depuis le début des années 90, les débarquements annuels moyens pour l'ensemble de cette pêcherie sont d'environ 3 tonnes.

### Historique des débarquements dans la Baie-des-Chaleurs

L'histoire des débarquements d'éperlans dans la Baie-des-Chaleurs démontre l'importance de cette région dans l'exploitation commerciale de cette espèce. Les débarquements enregistrés pour l'ensemble de la Baie-des-Chaleurs ont atteint leur plus haut niveau en 1932 avec 1 450 tonnes métriques (D'Amours *et al.*, 1994). Les débarquements du Nouveau-Brunswick qui étaient autrefois plus importants que ceux du Québec ont connu une baisse importante par rapport à la portion québécoise dans les années 1950 à 1959 (Kedney, 1995). Par la suite, les débarquements déclarés au Nouveau-Brunswick sont demeurés inférieurs ou égaux à ceux du Québec. On observe également de grandes variations interannuelles dans les débarquements. L'absence d'information quant aux facteurs mis en cause et l'effort de pêche annuel limite toutefois l'interprétation de ces données.

### La pêcherie de Miguasha

L'analyse des débarquements historiques de la portion québécoise permet de constater l'importance de la pêcherie de Miguasha en Gaspésie et pour l'ensemble du Québec. À partir de la fin des années 70, les débarquements de la pêcherie d'automne pratiqués sur le reste de la péninsule gaspésienne deviennent très

marginiaux et les débarquements enregistrés à Miguasha représentent près de 95% de l'ensemble des débarquements québécois de la Baie-des-Chaleurs (Landry et Dorais, en préparation). C'est en 1974 et 1978 que les débarquements de Miguasha ont connu leur plus haut niveau avec des débarquements supérieurs à 500 tonnes métriques. Depuis 1991, les débarquements annuels moyens sont d'environ 164 tonnes métriques.

Les pêcheurs de Miguasha utilisent deux types d'engins de pêche : le filet-réservoir (box net) et le filet-poche (bag net). Ces deux engins sont tendus après l'emprise de la glace dans la baie. Le filet-réservoir est une trappe rectangulaire reposant sur le fond qui est utilisée en bordure de la rive à une profondeur de 2,5 à 6,0 m. Elle est munie d'un guideau de 22 brasses maximum de longueur qui est tendu perpendiculairement à la trappe et qui guide l'éperlan vers son ouverture. Le filet-poche ressemble à un chalut fixe qui reste ouvert par la force du courant de la marée et qui est installé plus au large à une profondeur d'environ 12 mètres à marée basse (Fournier et Landry, 1990).

Depuis le milieu des années 80, le nombre de pêcheurs est demeuré relativement stable. En 1997-1998, la pêcherie comptait 21 titulaires de permis de pêche commerciale autorisant l'utilisation potentielle de 40 filets-réservoirs et 52 filets-poches. De ce nombre, 7 d'entre eux utilisent uniquement le filet-réservoir, 8 n'utilisent que le filet-poche alors que les 6 autres détiennent des permis de pêche pour les deux types d'engins. Ces statistiques ne représentent toutefois pas le nombre d'engins utilisés puisque certains demeurent inactifs. En 1994, le taux d'utilisation des deux types d'engins était évalué à environ 60%. Chaque détenteur de permis se voit attribuer une localisation géographique en fonction de la division cadastrale pour l'installation de ses engins. Cette localisation demeure la même année après année et il doit la respecter afin de ne pas empiéter sur les sites des pêcheurs voisins.

Historiquement, les dates d'ouverture et de fermeture ont beaucoup varié. Vers la fin des années 60, la saison de pêche s'étendait jusqu'à

la fin du mois de mars. Par la suite, la date de fermeture a été déterminée en fonction de la première grande marée du mois de mars. Entre 1990 et 1997, la saison officielle s'étendait du 3 décembre au 10 mars. Toutefois, il est arrivé à quelques reprises que les pêcheurs demandent et obtiennent des prolongements de la saison de pêche. Considérant l'état actuel du stock, le ministère autorise depuis la saison 1998-1999 la pêche commerciale jusqu'au 31 mars.

L'éperlan récolté à Miguasha est majoritairement dirigé vers certains grossistes du Nouveau-Brunswick et en moindre partie sur le marché local. La valeur au débarquement fluctue annuellement. Le prix au débarquement est généralement plus élevé en début de saison et diminue à mesure que le marché est saturé. Depuis 1980, le prix au débarquement a varié entre 0,04 \$ et 1,27 \$/kg.

### Caractérisation de l'exploitation

La période d'activité des pêcheurs varie en fonction du type d'engin de pêche utilisé. Les valeurs de débarquement et de prise par unité d'effort (P.U.E.) des filets-réservoirs sont moins variables annuellement que pour les filets-poches. La récolte annuelle se situe généralement entre 20 et 30 tonnes métriques (figure 1) et les P.U.E. oscillent généralement entre 25 et 30 kg par levée (figure 2). Même si les utilisateurs de filets-réservoirs lèvent leur engin de pêche presque quotidiennement, la récolte totale est de beaucoup inférieure à celle réalisée par les filets-poches. Ces derniers sont plus efficaces et permettent la récolte de plus de 80% de l'ensemble des débarquements annuels de la pêcherie. Les utilisateurs de ce type d'engin de pêche sont actifs principalement durant les périodes de fortes marées associées au cycle lunaire. La récolte et les P.U.E. quotidiens sont alors à leur apogée quelques jours après la nouvelle ou la pleine lune. La durée moyenne de ces périodes de pêche intensives est de 6 à 7 jours. On observe toutefois une plus grande variation interannuelle au niveau des débarquements totaux et des P.U.E. L'utilisation et l'efficacité des filets-poches sont principalement influencées par 3 fac-

teurs : l'abondance d'éperlans, les conditions de pêche (ex. stabilité des glaces) et le prix du marché.

Pour la période de 1991 à 1998, la moyenne des débarquements annuels est de 164 tonnes métriques. Bien que l'on observe une certaine stabilité dans la récolte et les P.U.E. entre 1993 et 1996 avec des valeurs de débarquement et de P.U.E. qui oscillent autour de la moyenne, on constate de fortes fluctuations en 1992, 1997 et 1998.

En 1992, le marché fut rapidement saturé et les utilisateurs de filets-poches ont cessé de pêcher durant le mois de février alors qu'ils ne pouvaient plus écouler leurs récoltes. Ceci explique le faible effort de pêche enregistré (232 levées) (figure 3). Les résultats de débarquement (100,1 t) et de P.U.E. (431 kg/levée) pour la période d'activité laissent supposer une forte abondance d'éperlans en début de saison.

En 1997, on constate une augmentation très marquée (89%) des débarquements par rapport à la moyenne malgré un effort de pêche égal à la moyenne aussi bien pour le filet-réservoir que pour le filet-poche. Conséquemment les valeurs de P.U.E. sont très élevées. Ce résultat laisse supposer que la récolte réalisée est attribuable à l'abondance d'éperlans durant la saison de pêche.

En 1998, on observe cependant une chute importante dans la récolte totale (70,4 tonnes métriques). Au niveau des filets-réservoirs, les valeurs de débarquement, l'effort de pêche et les P.U.E. sont toutefois demeurés dans la moyenne. C'est au niveau des filets-poches que l'effet a été le plus ressenti. À première vue, on peut supposer que les débarquements très élevés de 1997 ont influencé l'abondance d'éperlans l'année suivante. Bien que cette hypothèse demeure, il est possible que les conditions de pêche aient influencé les résultats. En fait, les conditions climatiques et les températures supérieures à la moyenne saisonnière ont contribué à rendre le couvert de glace très instable et plusieurs secteurs de la baie sont demeurés à l'eau libre durant la saison. Ces

mauvaises conditions de pêche ont forcé les utilisateurs de filets-poches à positionner leur tenture dans des endroits plus sécuritaires et possiblement moins productifs. Les valeurs de P.U.E. ont alors chuté à 72 kg/levée, ce qui est nettement inférieur à la moyenne.

### Caractérisation de la récolte

Des travaux réalisés en 1990 ont permis d'effectuer une première caractérisation du stock d'éperlans exploité et d'établir une méthodologie d'échantillonnage et de traitement de données simple visant à connaître l'évolution de la structure d'âge du stock exploité et l'impact de la pêcherie sur celui-ci.

Les résultats ont permis de constater une croissance différentielle selon les sexes en faveur des femelles. Le taux de survie diminue avec l'âge et est plus élevé chez les femelles. La relation longueur-masse établie est très fiable. Tous les poissons de 1 an sont immatures tandis que tous ceux de 3 ans sont matures. En ce qui concerne les poissons de 2 ans, 75% ont atteint leur maturité sexuelle. Au niveau du rapport des sexes, la proportion des mâles est toujours plus élevée. Ce sont les classes d'âge 2 ans et 3 ans qui sont principalement responsables du rendement de la pêche d'hiver de Miguasha. Ils représentent entre 70 et 85% de la récolte totale. L'analyse de la récolte par engin a permis de constater que le filet-poche est moins sélectif que le filet-réservoir.

### Conclusion

L'historique des débarquements commerciaux d'éperlans de la Baie-des-Chaleurs démontre l'importance de cette région dans l'exploitation de cette ressource. Encore aujourd'hui, la pêcherie traditionnelle de Miguasha représente la plus importante pêcherie d'éperlans au Québec. La pêche commerciale hivernale qui y est pratiquée permet des débarquements annuels moyens de 164 tonnes métriques. Le

suivi réalisé auprès des pêcheurs par Faune et Parcs du Québec depuis 1991 permet de caractériser l'exploitation et la récolte annuelle, et par conséquent, assurer une gestion adéquate de la ressource.

### Bibliographie

- D'AMOURS, P., S. COURTNEY, C. LEBLANC et G. LANDRY. 1994. Débarquements historiques et inventaires de l'éperlan arc-en-ciel réalisés dans la Baie-des-Chaleurs entre 1917 et 1993. Rapp. Stat. Can. Sci. Halieut. Aquat. 933 : 57 pages.
- FOURNIER, N. et G. LANDRY. 1990. Captures historiques et caractéristiques des prises commerciales d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans la pêcherie de Miguasha en 1988 et 1989. Min. du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Dir. rég. Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. Rapport technique. 47 pages.
- KEDNEY, GENIA. 1995. Historique de l'exploitation commerciale de l'éperlan arc-en-ciel dans la Baie-des-Chaleurs. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Direction générale des opérations Faune, Dir. Rég. Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. 82 pages.
- LANDRY, G. et M. DORAIS. (en préparation). Étude du stock d'éperlan arc-en-ciel de la Baie-des-Chaleurs et de son exploitation. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction Régionale Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. 65 pages.
- SCOTT, W.P. et E.J. CROSSMAN. 1994. Poissons d'eau douce du Canada. Bulletin Canadien des sciences halieutiques et aquatiques, n° 184, 1026 pages.

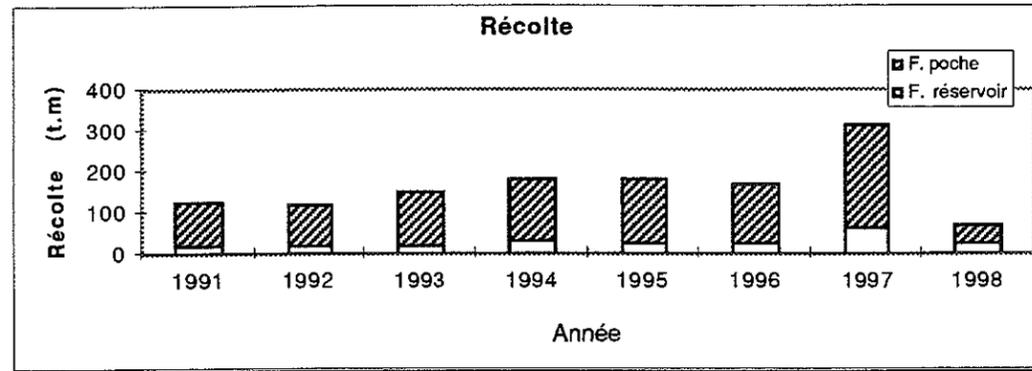


Figure 1 : Récolte commerciale d'éperlan arc-en-ciel de la pêcherie de Miguasha entre 1991 et 1998.

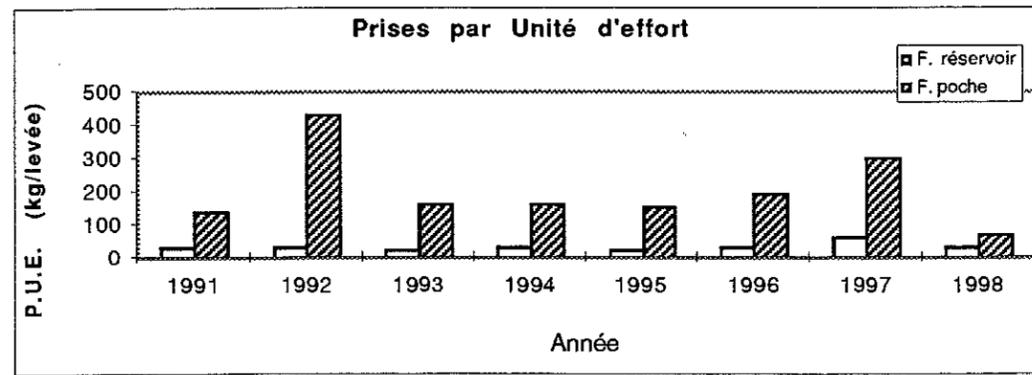


Figure 2 : Prises par Unité d'Effort par engin de pêche utilisé à Miguasha entre 1991 et 1998.

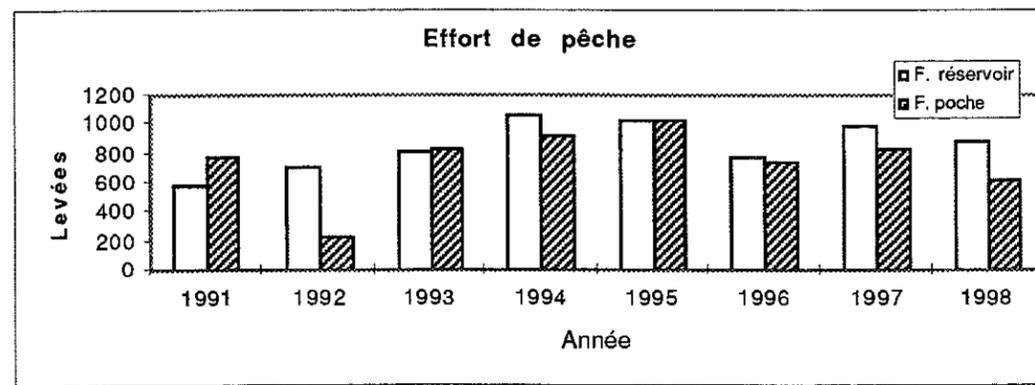
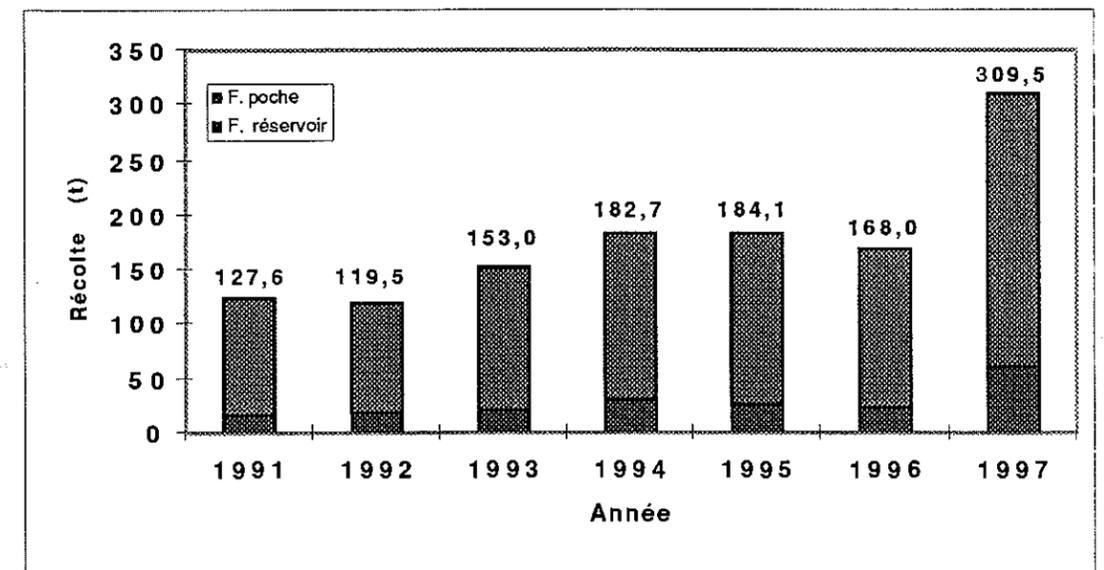
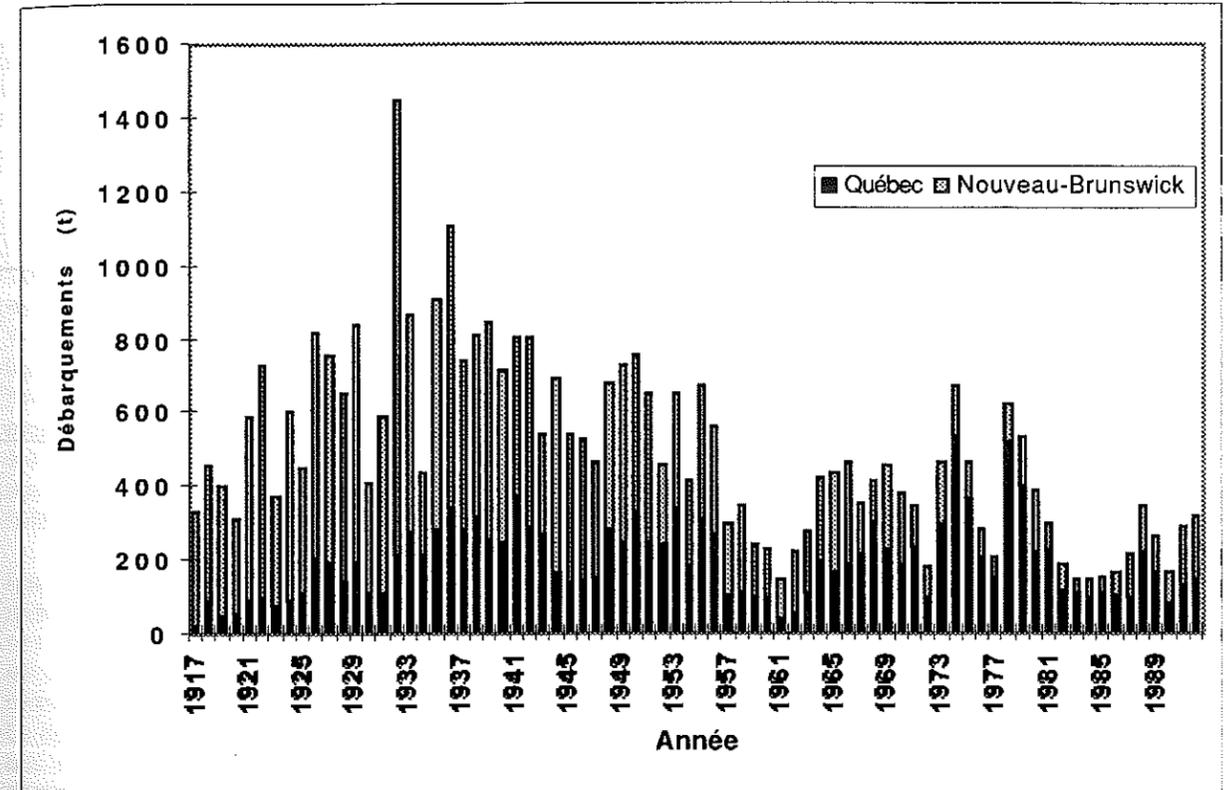


Figure 3 : Effort de pêche réalisé par les pêcheurs commerciaux de Miguasha entre 1991 et 1998.



## Le périphyton dans les frayères à éperlan arc-en-ciel de quatre tributaires du sud de l'estuaire du Saint-Laurent

Louise Lapierre, Chantal Cormier, Guy Trecia et Guy Verreault

### Résumé

Les algues périphytiques ont été étudiées en période de frai dans la rivière Boyer afin de déterminer si la biomasse algale ou la composition spécifique, telle que la présence d'algues toxiques, ont un rôle à jouer dans l'abandon de cette rivière par l'éperlan arc-en-ciel. Les communautés périphytiques de la rivière Fouquette, un site de frai encore actif, quoique dégradé, sont comparées à celles de la rivière Boyer et celles de deux frayères encore actives, à la rivière Ouelle et au ruisseau de l'Église. Cette comparaison a pour objectif de déterminer si l'habitat de frai de la rivière Fouquette est plus apparenté à celui d'une frayère abandonnée ou de frayères actives. Les rivières Boyer et Fouquette développent toutes les deux des biomasses périphytiques élevées. Par contre, cette prolifération dans le cas de la rivière Boyer est synchronisée avec la période de développement des oeufs tandis qu'elle se produit après celle-ci dans la rivière Fouquette. Les communautés de la rivière Boyer se distinguent de celles des autres rivières par un développement excessif de l'algue verte *Cladophora glomerata*, après la période de développement des oeufs à la fin de la période d'étude. Une biomasse importante de la diatomée *Navicula cryptocephala* est également constatée dans les rivières Boyer et Fouquette. Les pourcentages d'espèces tolérantes à la pollution organique sont beaucoup plus élevés dans les rivières Boyer (>90%) et Fouquette (>80%) que dans les rivières Ouelle (11-74%) et de l'Église (9-56%). Le rôle des espèces d'algues présentes pendant la période de fraie, ainsi que la comparaison des communautés seront discutés en fonction de leur synchronicité avec la période de fraie et de développement des oeufs.

### Introduction

De nombreuses hypothèses ont été émises quant aux causes de l'abandon par l'éperlan arc-en-ciel de la frayère de la rivière Boyer, un des tributaires du sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent : la dégradation de la qualité de l'eau, l'enrichissement en phosphore, la pollution d'origine animale (Trecia, 1999). Parmi les autres facteurs responsables, la croissance des algues périphytiques pourrait également avoir eu un rôle à jouer dans l'abandon de la rivière. La rivière Fouquette qui présente des conditions physico-chimiques dégradées, similaires à celles de la rivière Boyer (Simoneau, 1999), possède encore une frayère active. Des observations de proliférations excessives d'algues périphytiques ont été effectuées sur le site de l'ancienne frayère de la rivière Boyer (Laflamme *et al.*, 1998). Une croissance importante d'algues périphytiques a également

été documentée sur la rivière Fouquette. Une étude a été entreprise afin de déterminer si les algues périphytiques peuvent jouer un rôle dans l'abandon de la rivière Boyer par l'éperlan arc-en-ciel ainsi que de déterminer si la rivière Fouquette pourrait subir le même sort.

Quatre hypothèses ont été proposées quant au rôle du périphyton :

- 1 - Le développement excessif des algues périphytiques empêche la fixation des oeufs à cause d'un envahissement du substrat de fraie, rendant le gravier non adéquat comme substrat.
- 2 - Les caractéristiques des algues présentes, comme la présence de gaine mucilagineuse peuvent empêcher la fixation des oeufs.
- 3 - La dégradation des conditions environnementales a favorisé des espèces d'algues pouvant émettre des substances toxiques qui

influencent la survie ou la montaison des éperlans.

- 4 - La prolifération des algues a créé un milieu propice à la captation de particules de sédiments, entraînant un enfouissement des oeufs dans un milieu réducteur.

### Matériel et méthodes

Quatre frayères à éperlan arc-en-ciel ont été échantillonnées durant la période de fraie, de développement des oeufs et après l'éclosion des larves (mi-mai au début juin 1997). Trois rivières possèdent des frayères actives : la rivière Fouquette, la rivière Ouelle et le ruisseau de l'Église tandis qu'une rivière a été abandonnée par l'éperlan arc-en-ciel : la rivière Boyer.

Les algues périphytiques ont été échantillonnées, une fois par semaine pendant cinq semaines, en brossant 20 cm<sup>2</sup> de surface du substrat de fraie à l'aide d'une brosse à dents collée sur l'extrémité d'un piston de seringue de 50 cc. La composition spécifique a été analysée dans le but de comparer les caractéristiques algales des différents sites de fraie. La biomasse a été mesurée en calculant les biovolumes ainsi que par une évaluation de la chlorophylle *a*. Les identifications algales et dénombrements ont été effectués au Musée canadien de la nature (Poulin *et al.*, 1998).

La biomasse du phytoplancton a également été estimée par la mesure de la chlorophylle *a*.

### Résultats

Les rivières Boyer et Fouquette développent toutes les deux des biomasses périphytiques élevées (figure 1). Par contre, cette prolifération dans le cas de la rivière Boyer se produit à la fin de la période où l'éclosion des oeufs aurait dû théoriquement avoir lieu tandis qu'elle se produit après celle-ci dans la rivière Fouquette. Les biomasses algales de la rivière Ouelle et du ruisseau de l'Église demeurent faibles pendant toute la période d'étude. Pendant la période d'incubation des oeufs, la biomasse périphytique de la rivière Boyer est similaire à celle des autres rivières.

Au début de la période d'incubation des oeufs (13 mai), les communautés des rivières de l'Église, Boyer et Fouquette sont dominées par *Navicula cryptocephala*, une diatomée mobile qui pourrait coloniser les oeufs d'éperlan et qui pourrait constituer un substrat instable, empêchant la fixation des oeufs (tableau 1, figure 2). Les biomasses atteintes par cette espèce sont faibles dans le ruisseau de l'Église. Quelques espèces ayant une gaine mucilagineuse sont également retrouvées en faible biomasse et pourcentage de la biomasse dans la rivière Boyer et de l'Église (*Mesotaenium* sp, *Phormidium subfuscum*, *Stigeoclonium pachydermum*).

À la fin de la période d'éclosion des oeufs (26 mai), la biomasse de la rivière Boyer est dominée presque exclusivement par les diatomées, avec 99% d'algues mobiles indicatrices d'une forte siltation (figure 2). Les algues périphytiques des quatre rivières sont dominées par *N. cryptocephala* (tableau 1), une algue mobile. Cependant, les rivières Fouquette, de l'Église et Ouelle présentent de faibles biomasses. La seule rivière présentant un pourcentage important de la biomasse composée d'algues avec du mucilage est le ruisseau de l'Église avec *Stigeoclonium pachydermum*. Toutefois, la biomasse demeure très faible.

Après la période de développement des oeufs, les communautés de la rivière Boyer se distinguent de celles des autres rivières par un développement excessif de l'algue verte *Cladophora glomerata*, à la fin de la période d'étude. Une biomasse importante de la diatomée *Navicula cryptocephala* est également constatée dans les rivières Boyer et Fouquette. Le ruisseau de l'Église est dominé par l'algue verte *Schizomeris leibleinii*, tandis que la rivière Ouelle est dominée par la diatomée *Synedra ulna*.

Les pourcentages d'espèces tolérantes à la pollution organique sont beaucoup plus élevés dans les rivières Boyer (>90%) et Fouquette (>80%) que dans les rivières Ouelle (12-75%) et de l'Église (9-56%) (figure 3). Certaines espèces dominantes de la rivière Ouelle sont considérées intolérantes à la pollution organique (*Gomphonema angustatum*, *Hannaea arcus*).

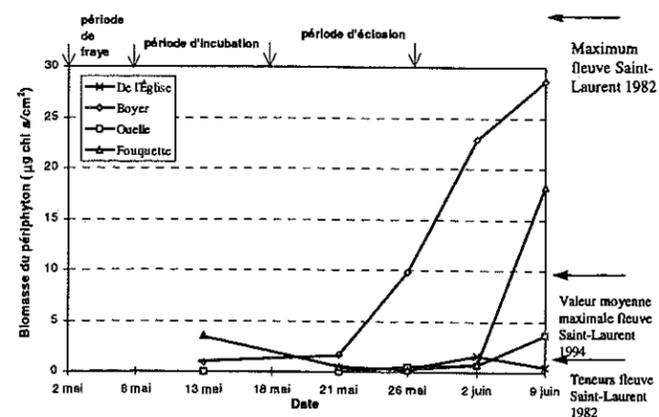


Figure 1 : Biomasse du périphyton dans les rivières de l'Église, Boyer, Ouelle et Fouquette en 1997.

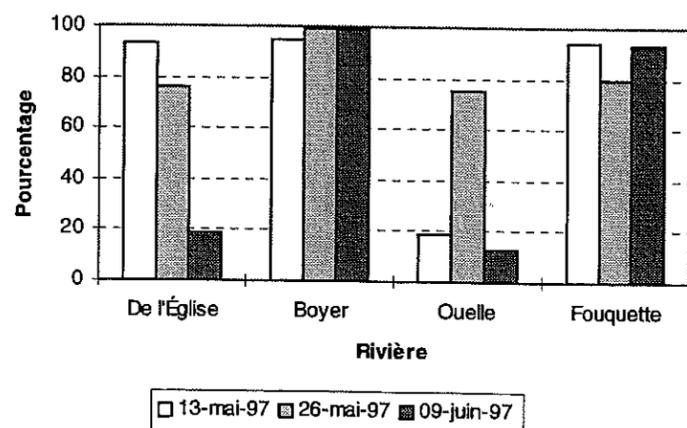


Figure 2 : Proportion de la biomasse des algues périphytiques mobiles par rapport à la biomasse totale dans le ruisseau de l'Église et les rivières Boyer, Ouelle et Fouquette.

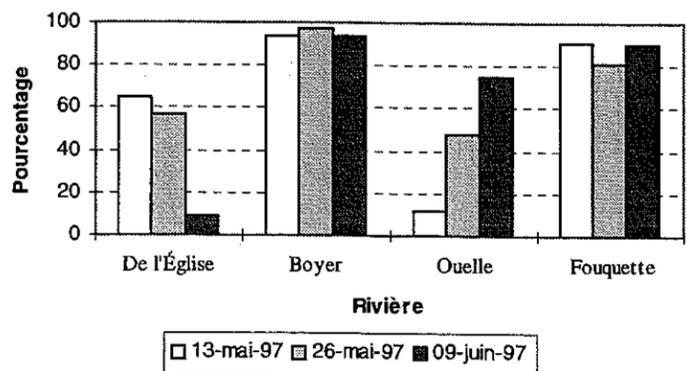


Figure 3 : Proportion de la biomasse des espèces d'algues périphytiques qui sont tolérantes à la pollution organique par rapport à la biomasse totale dans le ruisseau de l'Église et les rivières Boyer, Ouelle et Fouquette.

Tableau 1 : Biomasses des espèces d'algues périphytiques ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) dans les rivières Boyer, Fouquette, Ouelle et le ruisseau de l'Église en 1997.

	Boyer			Fouquette			Ouelle			de l'Église		
	13-mai	26-mai	09-juin	13-mai	26-mai	09-juin	13-mai	26-mai	09-juin	13-mai	26-mai	09-juin
<b>Diatomées</b>												
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,426	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,094
<i>Cymbella silesiaca</i> (M)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,064	0,007
<i>Diatoma</i> sp.3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diatomée en vue singulaire sp. 1	0,329	0,195	0,606	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
<i>Gomphonema angustatum</i> (I)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,758	0,223	6,893	0,001	0,060	0,133
<i>Gomphonema</i> en vue singulaire	0,017	1,361	1,333	0,415	0,094	0,165	0,165	0,017	0,000	0,002	0,009	0,037
<i>Hannaea arcus</i> (M, I)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,118	0,045	11,196	0,000	0,000	0,000
<i>Melosira varians</i> (M, T)	1,057	traces	0,000	1,883	0,000	2,418	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
<i>Navicula cryptocephala</i> (M, T)	22,900	297,134	809,957	90,280	2,202	268,981	0,014	1,388	2,245	0,099	1,020	0,548
<i>Navicula gregaria</i> (+ <i>halophila</i> ) (M)	0,244	0,546	33,590	2,303	0,091	0,920	0,007	0,146	0,206	0,003	0,039	0,010
<i>Navicula</i> sp. 5 (M)	0,000	0,252	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000
<i>Nitzschia paleacea</i> (M)	0,021	2,243	23,649	0,000	0,011	4,950	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Rhicosphenia</i> sp. 1	0,000	0,000	0,000	4,511	0,000	0,604	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>Kuetzingii</i> (M)	0,045	3,587	1,023	0,151	0,012	4,514	0,027	0,322	0,277	0,014	0,044	0,037
<i>Synedra ulna</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142	1,603	0,161	0,000	10,845	0,000	0,000	0,000
<i>Synedra ulna</i> (petite forme commune)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	114,935	0,001	0,053	0,080
<i>Tabellaria flocculosa</i> (M)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,037
<b>Chlorophytes</b>												
<i>Cladophora glomerata</i> (M, T)	0,000	0,000	6538,920	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Mesotaenium</i> sp. 1	0,619	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Schizomeris leibleinii</i>	0,000	0,000	3,978	0,000	0,187	12,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	5,625
Algue verte sp.1	0,000	0,127	292,398	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,788	0,000	0,000	0,000
<i>Protococcus</i> sp.2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,136	0,678
<i>Stigeoclonium pachydermum</i> (M)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,217	0,866
<b>Cyanobactéries</b>												
<i>Limnothrix</i> sp. 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,645	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Phormidium subfuscum</i>	0,006	0,400	67,763	0,655	0,000	0,000	0,000	0,364	2,029	0,000	0,000	0,000

M = espèce mobile ou pouvant capter les sédiments.  
 T = espèce tolérante à la matière organique.  
 I = espèce intolérante à la matière organique.

Pendant la période d'incubation et d'éclosion des oeufs, les rivières Fouquette et Boyer sont dominées par des espèces mobiles.

La biomasse phytoplanctonique est également excessive après la période d'éclosion des oeufs dans les rivières Boyer et Fouquette (figure 4).

La qualité de l'eau telle qu'évaluée par la chlorophylle a du phytoplancton est jugée mauvaise ou très mauvaise dans les deux rivières selon les critères développés par Hébert (1996). Les biomasses phytoplanctoniques de la rivière Ouelle et du ruisseau de l'Église sont indicatrices d'une eau de bonne qualité pendant les périodes de fraie, d'incubation et d'éclosion des oeufs d'éperlan.

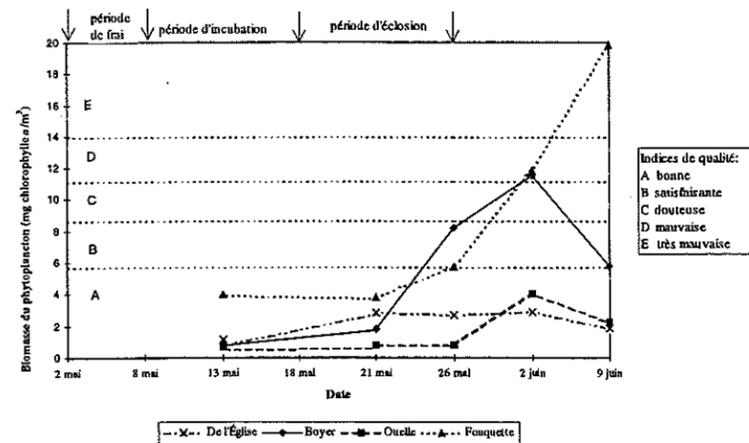


Figure 4 : Biomasse du phytoplancton dans les rivières Boyer, Ouelle et Fouquette et au ruisseau de l'Église en 1997

### Discussion

#### Développement de biomasses algales excessives

De façon générale, les biomasses algales ne sont pas excessives pendant les périodes de fraie, de développement et d'éclosion des oeufs sur les quatre rivières étudiées. Cependant, après l'éclosion des oeufs, des biomasses excessives sont présentes dans les rivières Boyer et Fouquette.

La présence de biomasses excessives de périphyton peut donc difficilement être mise en cause dans l'abandon de la frayère de la rivière Boyer par l'éperlan arc-en-ciel.

Les biomasses du périphyton sont similaires, pendant les périodes de développement des oeufs, aux teneurs minimales retrouvées dans le fleuve Saint-Laurent en 1982. Après la période d'éclosion des oeufs, les concentrations en chlorophylle a du périphyton sont similaires aux teneurs moyennes (1994) et maximales (1982) du fleuve Saint-Laurent dans les rivières Boyer et Fouquette (Vis, 1997 ; Planas et Lapiere, 1985).

Les communautés algales des rivières Boyer et Fouquette sont typiques de milieux fortement eutrophisés et fortement dégradés tandis que les rivières Ouelle et de l'Église présentent des communautés typiques de milieux oligotrophes ou mésotrophes.

Cependant, certaines années, dans le cas de la rivière Boyer et Fouquette, le développement excessif des algues périphytiques pourrait se produire plus tôt, ayant des effets sur la fraie. De plus, nous ne pouvons pas savoir quelles auraient été les conséquences de plusieurs années de développement excessif tôt en saison.

#### Communautés algales dominées par les algues mucilagineuses

Il y a très peu d'algues présentant des gaines mucilagineuses. Dans les cas où celles-ci sont présentes, les biomasses atteintes sont faibles.

#### Présences d'algues toxiques

Parmi les espèces dénombrées, seule *Cladophora glomerata* est reconnue pour ses propriétés toxiques. Des acides résiniques (acides capriques, lauriques, myristiques et palmito-

leiques) sont relâchés par cette espèce (Dodds et Gudder, 1992).

Seule la rivière Boyer présente un développement d'algues considérées toxiques (*C. glomerata*). Ce développement excessif a cependant lieu après la période d'éclosion des oeufs. Il serait sans doute possible qu'un développement plus hâtif se produise en amont de la frayère et que des substances toxiques puissent être présentes dans le milieu pendant la période de fraie, empêchant la montaison de l'éperlan.

#### Enfouissement des oeufs par les sédiments ou par des algues mobiles

En dehors de la rivière Boyer, les algues mobiles sont généralement de petites diatomées qui peuvent difficilement enfouir les oeufs par la captation des sédiments. *C. glomerata*, dans la rivière Boyer présente un port permettant la captation de sédiments, mais se développe après l'éclosion des oeufs.

Dans les rivières Boyer et Fouquette, un développement important de *N. cryptocephala* se produit au début de la période d'étude. Ce développement pourrait rendre le substrat instable pour la fixation des oeufs d'éperlan. Cependant, les biomasses atteintes demeurent relativement faibles. Nous ne pouvons savoir si cette biomasse est suffisante pour empêcher la fixation d'oeufs d'éperlan.

Les rivières Ouelle et de l'Église présentent des biomasses faibles d'algues mobiles pendant la période d'étude, particulièrement pendant la période de déposition des oeufs.

### Conclusion

Les algues périphytiques peuvent difficilement être mises en cause dans l'abandon de la rivière Boyer par l'éperlan arc-en-ciel. Il existe une possibilité que les algues mobiles présentes en début de la période de déposition des oeufs puissent affecter la qualité du substrat. Si c'est le cas, la rivière Fouquette présente des conditions tout aussi défavorables que la rivière Boyer.

Les autres hypothèses, la présence de gaine mucilagineuse, la biomasse excessive et la présence d'algues ayant des propriétés toxiques ont été rejetées comme cause possible de l'abandon de la rivière Boyer.

D'autres causes de la désertion de la frayère de la rivière Boyer par l'éperlan arc-en-ciel devraient être examinées.

Cependant, les rivières Fouquette et Boyer présentent néanmoins des communautés algales typiques de milieux fortement dégradés. En particulier, le développement excessif de *C. glomerata* dans la rivière Boyer, ainsi que les biomasses algales dans la rivière Fouquette sont des indicateurs d'une surcharge importante en éléments nutritifs.

### Références

- DODDS, W.K. et D.A. GUDDER. 1992. The ecology of *Cladophora*. *J. Phycol.* 28 : 415-27.
- HÉBERT, S. 1996. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Québec, Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune. 39 pp.
- LAFLAMME, D., I. PICHÉ, A. MICHAUD, Y. BÉDARD, G. TRENCA, R. LAROCHE, L. CHAMPAGNE et J.-M. GOUIN. 1998. Situation environnementale du bassin de la rivière Boyer. Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation en collaboration avec Saint-Laurent Vision 2000 et le Groupe d'intervention pour la restauration de la Boyer. 202 pages.
- PLANAS, D. et L. LAPIERRE. 1985. Évaluation des études du MLCP sur les algues benthiques de l'archipel de Montréal. Département des Sciences Biologiques. Université du Québec à Montréal, Montréal.
- POULIN, M., P.B. HAMILTON et B. HYMES. 1998. Identification et dénombrement du périphyton des rivières Boyer, Fouquette, Ouelle et du ruisseau de l'Église. Rapport présenté au Groupe d'intervention pour la

restauration de la rivière Boyer et à la direction des écosystèmes aquatiques, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 11 pages + 3 annexes.

SIMONEAU, M. 1999. Caractéristiques physico-chimiques des frayères de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent. Premier Atelier Nord-Américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec, Québec, 21-23 février 1999.

TRENCIA, G. 1999. Restauration de la rivière Boyer. Premier Atelier Nord-Américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec, Québec, 21-23 février 1999.

VIS, C. 1997. L'influence de la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Saint-Laurent (Québec, Canada) sur le périphyton. Thèse présentée pour l'obtention du grade de M.Sc. à Université de Montréal, Montréal, Québec.

## Periphyton of four St. Lawrence estuary tributaries used for rainbow smelt spawning.

Louise Lapierre, Chantal Cormier, Guy Trencia et Guy Verreault

### Abstract

Periphytic algae were studied at the time of spawning and egg development in Boyer river in order to assess if algae biomass or species composition, such as the presence of toxic algae, could have a role to play in the desertion of the river by rainbow smelt. Periphyton communities of the Fouquette river, in a still active but degraded spawning ground, are compared to those of Boyer river and those of two still active spawning grounds in Ouelle and de l'Église rivers. The objective of this comparison is to determine if the spawning habitat of Fouquette river is more similar to that of abandoned or of active spawning grounds. Boyer and Fouquette rivers both develop high periphyton biomass. However, this growth is synchronous with the egg development period in Boyer river. Whereas Fouquette river's high periphyton biomass is present only after development Periphyton communities in Boyer river are different from those of the other rivers mainly because of the excessive proliferation of the green algae, *Cladophora glomerata*, after egg development at the end of the study period. The diatom *Navicula cryptocephala* also shows important growth in Boyer and Fouquette rivers. Both Boyer and Fouquette rivers have high percentages of algae tolerant to organic pollution (>90%, >80%) when compared with algae of Ouelle (11-74%) or de l'Église (9-56%) rivers. The synchronicity of algae biomass present during spawning and egg development, as well as algal species present will be discussed.

### Introduction

Many hypotheses have been advanced as to why rainbow smelt have abandoned the spawning ground of the Boyer River, one of the tributaries of the south of the St. Lawrence estuary: degradation of water quality, phosphorus enrichment, pollution of animal origin (Trencia, 1999). Amongst the other possible causes, excessive periphyton growth could also play a role in the desertion of the river. Fouquette River, which presents physical and chemical conditions similar to those found in Boyer River (Simoneau, 1999), still has an active spawning ground. Observations of excessive proliferations of periphytic algae were made on the site of the old spawning ground in Boyer River (Laflamme *et al.*, 1998). An important growth of periphyton also has been documented in Fouquette River. A study was started in order to determine if periphytic algae could have played a role in the desertion of the Boyer River by rainbow smelt as well as to see if it is possible

that the Fouquette River's spawning ground could suffer the same fate.

Four hypotheses are proposed as to the role of periphyton: 1- the invasion of the spawning substrate by an excessive periphyton development makes the gravel not adequate for egg fixation 2- the characteristics of the algae species colonizing the substrate, such as the presence of mucilage, prevent egg fixation 3- the degradation of environmental conditions has favoured algal species that emit toxic substances influencing the survival and the upstream spawning movement of rainbow smelt 4- the algae proliferation creates a habitat suitable for sediment trapping and the smothering of rainbow smelt eggs.

### Methods

Four rainbow smelt spawning grounds where sampled during spawning, egg development and after larvae hatching (from mid May to beginning of June 1997). Three of the rivers still

have active spawning grounds: Fouquette, Ouelle Rivers and de l'Église Brook, and one river has been abandoned by rainbow smelt: Boyer River.

Periphytic algae were sampled, once a week for five weeks, by brushing a 20 cm<sup>2</sup> surface of the spawning substrate with a toothbrush glued to the extremity of the piston of a 50cc syringe. Specific composition was analyzed in order to compare the characteristics of algae between the different sites. Biomass was calculated by measuring the biovolume of each species as well as estimated by chlorophyll a determination. Algae identifications and counts were done by the Canadian Nature Museum (Poulin *et al.*, 1998).

The biomass of the phytoplankton was also estimated by chlorophyll a determination.

### Results

Both Boyer and Fouquette Rivers have high periphyton biomasses (figure 1). However, this proliferation occurs at the end of the period where egg hatching theoretically should have occurred in Boyer River, and after egg hatching in Fouquette River. Algal biomass in Ouelle River and de l'Église Brook stayed low during all of the study period. During the egg incubation period, periphyton biomass in Boyer River is similar to that of the other three rivers studied.

At the beginning of the egg incubation period (May 13), the communities of de l'Église Brook and of Boyer and Fouquette Rivers are dominated by *Navicula cryptocephala*, a mobile diatom that could possibly colonise rainbow smelt eggs and that could prevent rainbow smelt egg fixation due to an unstable substrate (table 1, figure 2). In de l'Église Brook, the biomass of this species is low. A few species, known for their mucilage, were also found in low biomass in Boyer River and de l'Église Brook (*Mesotarium* sp., *Phormidium subfuscum*, *Stigeoclonium pachydermum*).

Periphyton biomass in Boyer River is almost exclusively dominated by Diatoms, at the end of the egg hatching period (May 26). Almost 99% of the biomass is formed of mobile algae indicating a high siltation index (figure 2). Periphyton in the four rivers is dominated by *N. cryptocephala* (table 1), a mobile algae. However, Fouquette, Ouelle Rivers as well as de l'Église Brook all have low biomasses.

The only river with a large proportion of the algal biomass presenting a mucilage is de l'Église Brook with *Stigeoclonium pachydermum*. The biomass is low.

After egg development, Boyer River communities are different from those of the other rivers because of a proliferation at the end of the study period of the green algae *Cladophora glomerata*. An important biomass of the Diatom *Navicula cryptocephala* is also seen in Boyer and Fouquette Rivers. De l'Église Brook is dominated by the green algae *Schizomeris leibleinii*, whereas Ouelle River is dominated by the diatom *Synedra ulna*.

The proportions of periphyton biomass known to be tolerant to organic pollution are much greater in Boyer (>90%) and Fouquette (>80%) Rivers than in Ouelle River (12-75%) and de l'Église Brook (9-56%) (figure 3). In Ouelle River, some dominant species are considered intolerant to organic pollution (*Gomphonema angustatum*, *Hannaea arcus*).

During the egg incubation and hatching periods, Fouquette and Boyer Rivers communities are dominated by mobile species.

After the egg hatching period, the biomasses of the phytoplankton are also excessive in Boyer and Fouquette Rivers (figure 4).

Water quality as determined by phytoplankton chlorophyll a, with criteria determined by Hébert (1996), is considered bad or very bad in the two rivers. Phytoplankton biomass in Ouelle River and de l'Église Brook are indicative of good quality during the spawning, the incubation and the hatching period.

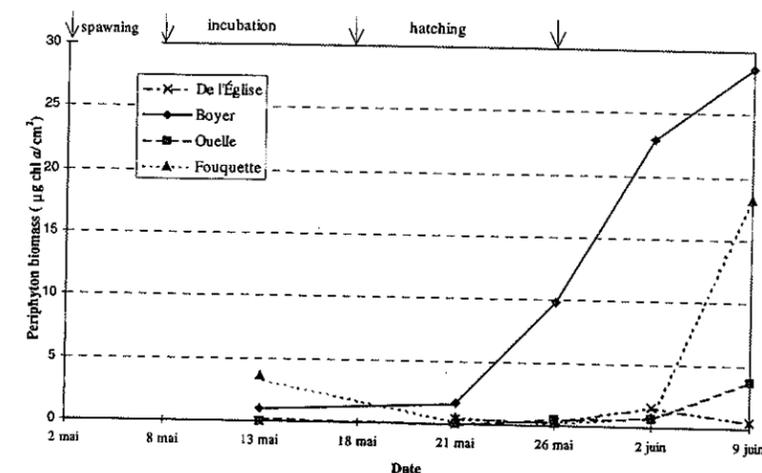


Figure 1 : Biomass of periphyton in de l'Église Brook and Boyer, Ouelle and Fouquette rivers in 1997.

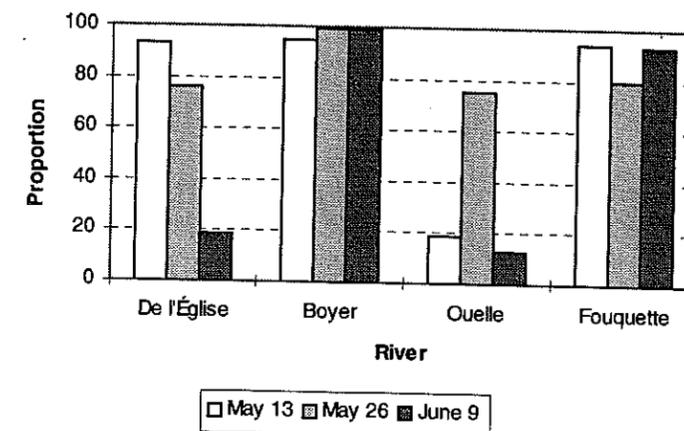


Figure 2 : Proportion of mobile periphyton biomass in de l'Église Brook and Boyer, Ouelle and Fouquette rivers.

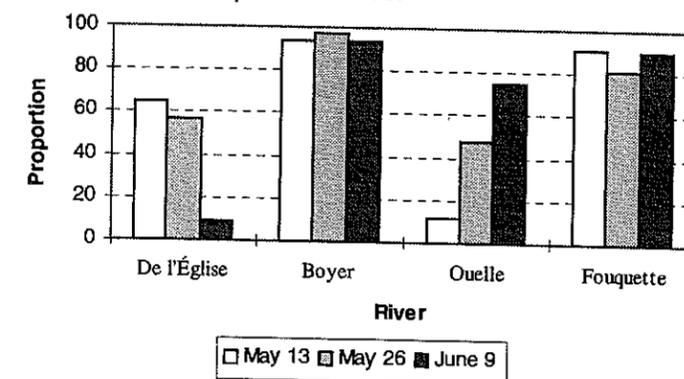


Figure 3 : Proportion of periphyton biomass considered tolerant to organic pollution in de l'Église Brook and in Boyer, Ouelle and Fouquette rivers.

Tableau 1 : Biomass of periphytic algae species ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) in Boyer, Fouquette and Ouelle Rivers and in the l'Église Brook in 1997.

	Boyer			Fouquette			Ouelle			de l'Église		
	13-mai	26-mai	09-juin	13-mai	26-mai	09-juin	13-mai	26-mai	09-juin	13-mai	26-mai	09-juin
<b>Diatomées</b>												
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,426	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,094
<i>Cymbella silesiaca</i> (M)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,064	0,007
<i>Diatoma</i> sp.3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Diatomée en vue singulaire sp. 1	0,329	0,195	0,606	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
<i>Gomphonema angustatum</i> (I)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,758	0,223	6,893	0,001	0,060	0,133
<i>Gomphonema</i> en vue singulaire	0,017	1,361	1,333	0,415	0,094	0,165	0,165	0,017	0,000	0,002	0,009	0,037
<i>Hannaea arcus</i> (M,I)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,118	0,045	11,196	0,000	0,000	0,000
<i>Melosira varians</i> (M, T)	1,057	traces	0,000	1,883	0,000	2,418	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
<i>Navicula cryptocephala</i> (M, T)	22,900	297,134	809,957	90,280	2,202	268,981	0,014	1,388	2,245	0,099	1,020	0,548
<i>Navicula gregaria</i> (+ <i>halophila</i> ) (M)	0,244	0,546	33,590	2,303	0,091	0,920	0,007	0,146	0,206	0,003	0,039	0,010
<i>Navicula</i> sp. 5 (M)	0,000	0,252	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000
<i>Nitzschia paleacea</i> (M)	0,021	2,243	23,649	0,000	0,011	4,950	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Rhoicosphenia</i> sp. 1	0,000	0,000	0,000	4,511	0,000	0,604	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Surirella brebissonii</i> var. <i>Kuetzingii</i> (M)	0,045	3,587	1,023	0,151	0,012	4,514	0,027	0,322	0,277	0,014	0,044	0,037
<i>Synedra ulna</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,142	1,603	0,161	0,000	10,845	0,000	0,000	0,000
<i>Synedra ulna</i> (petite forme commune)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	114,935	0,001	0,053	0,080
<i>Tabellaria flocculosa</i> (M)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,037
<b>Chlorophytes</b>												
<i>Cladophora glomerata</i> (M, T)	0,000	0,000	6538,920	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Mesotaenium</i> sp. 1	0,619	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Schizomeris leibleinii</i>	0,000	0,000	3,978	0,000	0,187	12,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	5,625
Algue verte sp.1	0,000	0,127	292,398	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,788	0,000	0,000	0,000
<i>Protococcus</i> sp.2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,136	0,678
<i>Stigeoclonium pachydermum</i> (M)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,217	0,866
<b>Cyanobactéries</b>												
<i>Limnothrix</i> sp. 1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,645	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Phormidium subfuscum</i>	0,006	0,400	67,763	0,655	0,000	0,000	0,000	0,364	2,029	0,000	0,000	0,000

M = mobile species or species that can capture sediments  
I = species intolerant to organic matter

T = species tolerant to organic matter

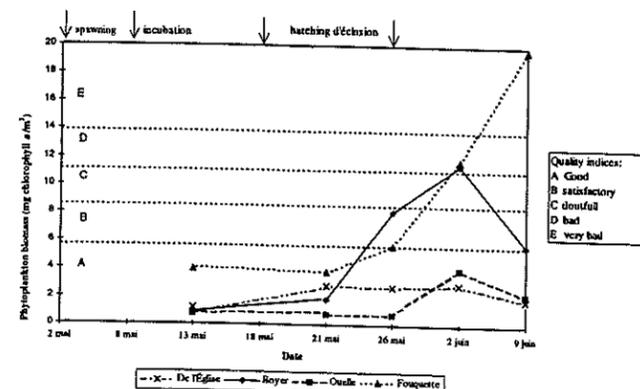


Figure 4 : Phytoplankton biomass in Boyer, Ouelle and Fouquette rivers and de l'Église Brook in 1997.

Discussion

Excessive periphyton biomass

In general, periphyton biomass are not excessive during spawning, egg development and egg hatching in the four rivers studied. However, after egg hatching, excessive biomasses do develop in both Boyer and Fouquette Rivers. Thus, excessive periphyton biomass should not be the cause of the desertion of Boyer River by rainbow smelt.

Periphyton biomass was similar during egg development to the minimum in the St. Lawrence River in 1982. After egg hatching, biomass where similar, in Boyer and Fouquette Rivers, to mean (1994) and maximum (1982) chlorophyll a concentrations of the St. Lawrence River (Vis, 1997 ; Planas and Lapierre, 1985).

Algal communities of Boyer and Fouquette Rivers are typical of greatly eutrophized and degraded waters, whereas Ouelle and de l'Église Rivers have communities typical of oligotrophic and mesotrophic waters.

However, the excessive development of periphytic algae could, certain years, be produced earlier, thus having effects on spawning. Also, we cannot know the consequences of many years of excessive algae growth earlier in the season on spawning runs.

Dominance of mucilaginous algae

There are very little species of algae that have mucilage. On the occasions where these species are present, biomasses remain low.

Toxic algae

Only *Cladophora glomerata* is recognised for its toxic properties amongst the species identified in the rivers. Resin acids (carpic, lauric, myristic and palmitoleic acids) are released by these species (Dodds and Gudder, 1992).

Boyer River is the only river that has a development of algae considered toxic (*C. glome-*

*rata*). This excessive development is produced after egg hatching. It would however be plausible that an earlier development be produced upstream and that toxins could be released before rainbow smelt enter the river on the spawning run, thus preventing the upstream movement of the fish to the spawning site.

Egg smothering by sediments or mobile algae

Mobile algae are in all except Boyer River, generally constituted of small diatoms that cannot smother the eggs by sediment deposition. *C. glomerata*, in Boyer River has a structure permitting it to capture sediments, but it develops after egg hatching.

In Boyer and Fouquette Rivers, important development of *N. cryptocephala* is seen at the beginning of the study period. This growth could cause the substrate to be unstable for egg fixation. However, the biomass remain relatively low. We do not know if this biomass is sufficient to prevent rainbow smelt egg fixation.

Ouelle River and de l'Église Brook both have low biomass of mobile algae during the study period, in particular during egg deposition.

Conclusion

It is difficult to blame periphytic algae for the desertion of Boyer River by rainbow smelt. There is a possibility that mobile algae present at the onset of egg deposition could affect substrate quality. If this is the case, Fouquette River presents spawning conditions as defavourable as Boyer River.

The other hypotheses, the presence of mucilage, excessive biomass and the presence of toxic algae where rejected as a possible cause for desertion of Boyer River.

Other causes should be investigated in order to determine the reasons of the desertion of the Boyer River by rainbow smelt.

Fouquette and Boyer Rivers do however both have algal communities that are typical of very degraded conditions. In particular, the proliferation of *C. glomerata* in Boyer River, and the algal biomass in Fouquette River are indicators of important nutrient overloads.

### Bibliography

- DODDS, W. K. and D.A. GUDDER. 1992. The ecology of *Cladophora*. *J. Phycol.* 28 : 415-27.
- HÉBERT, S. 1996. Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune. 39 pp.
- LAFLAMME, D., I. PICHÉ, A. MICHAUD, Y. BÉDARD, G. TRENCIA, R. LAROCHE, L. CHAMPAGNE and J.-M. GOUIN. 1998. Situation environnementale du bassin de la rivière Boyer. Québec, Québec, ministères de l'Environnement et de la Faune, de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation en collaboration avec Saint-Laurent Vision 2000 et le Groupe d'intervention pour la restauration de la Boyer. 202 p.
- PLANAS, D. and L. LAPIERRE. 1985. Évaluation des études du MLCP sur les algues

benthiques de l'archipel de Montréal. Département des Sciences Biologiques, Université du Québec à Montréal, Montréal for the Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche.

- POULIN, M., P.B. HAMILTON and B. HYMES. 1998. Identification et dénombrement du périphyton des rivières Boyer, Fouquette, Ouelle et du ruisseau de l'Église. Rapport présenté au Groupe d'intervention pour la restauration de la rivière Boyer et à la Direction des écosystèmes aquatiques, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 11 p. 3 annexes.
- SIMONEAU, M. 1999. Caractéristiques physico-chimiques des frayères de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent. Premier atelier nord américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec, 21-23 février 1999.
- TRENCIA, G. 1999. Restauration de la rivière Boyer. Premier atelier nord américain sur l'éperlan arc-en-ciel, Québec, 21-23 février 1999.
- VIS, C. 1997. L'influence de la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Saint-Laurent sur le périphyton. Master thesis presented to the Université de Montréal, Québec.

## Discrimination morphologique des populations d'éperlans de l'estuaire du Saint-Laurent : Implications et applications potentielles

Frédéric Lecomte et Julian J. Dodson

### Résumé

L'estuaire moyen du Saint-Laurent représente la zone de contact des deux races glacières d'éperlans arc-en-ciel et deux populations issues de chacune d'elles y subsistent. Les études génétiques suggèrent d'ailleurs que ces deux populations seraient ségréguées spatialement, à l'état adulte, entre les deux rives de l'estuaire. Le principal objectif de cette étude est de tester l'hypothèse selon laquelle les adultes des deux populations seraient distincts au niveau de l'estuaire, soit aux chenaux profonds de la Rive Nord (forme pélagique) et des hauts fonds caractéristiques de la Rive Sud (forme benthique). De plus, nous avons testé s'il existait à l'intérieur des populations génétiques des différences morphologiques entre les divers groupes sur site de fraie. Les différences morphologiques furent évaluées en employant une Analyse en composante principale/Analyse discriminante élaborée à partir de 18 mesures morphologiques/méristiques basées sur 375 poissons provenant des cinq sites de fraie connus. L'Analyse discriminante fut utilisée pour évaluer les mélanges entre les populations au cours de la saison 1998. Les deux populations génétiques peuvent être clairement identifiées morphologiquement (96% poissons bien reclassés). La population génétique de la Rive Nord (PRN) est caractérisée par un corps plus effilé, une tête/mâchoire plus longue et des yeux plus grands que la population génétique de la Rive Sud (PRS). Il est possible de discriminer morphologiquement les deux groupes de la PRN (88,2% des poissons bien reclassés) cependant seulement 49,3% des poissons de la PRN peuvent être bien réattribués selon les trois sites de fraie au niveau desquels ils furent capturés, suggérant un flux génique important entre ces derniers. Les analyses préliminaires suggèrent des mélanges limités entre les deux écotypes au cours de la saison de croissance. La forme pélagique (PRN) semble restreinte aux chenaux profonds tandis que la forme benthique (PRS) serait plutôt associée aux battues typiques de la Rive Sud.

### Introduction

Des études moléculaires utilisant l'ADN mitochondrial ont démontré l'existence de deux populations génétiquement distinctes dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Ces deux populations représentent en fait les reliques de deux races glacières qui sont venues en contact secondaire dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, il y a environ 7 500—8 000 ans. Malgré un léger mélange (moins de 20%) entre les deux populations de l'estuaire, on peut considérer qu'elles sont bien différenciées d'autant plus si l'on tient compte de la période écoulée depuis qu'elles sont venues en contact.

Selon les analyses génétiques, les populations seraient ségréguées le long des deux rives de l'estuaire ; une première population est distribuée le long de la rive nord (population Rive Nord : PRN) et une seconde le long de la rive sud (population Rive Sud : PRS). De plus, des données de marquage-recapture effectuées au cours des années 50-60 supporteraient l'idée d'une telle ségrégation spatiale. Malgré le mélange entre les populations (présent ou passé), le flux entre ces dernières serait relativement faible compte tenu de la proximité des deux rives, ces dernières ne sont séparées que par 20 km dans la zone de transition eau douce/eau salée.

L'apparente ségrégation Rive Sud/Rive Nord pourrait être le reflet d'une exploitation distincte de l'estuaire par les deux populations. La ségrégation spatiale pourrait être ainsi une simple dichotomie du type benthique (PRS dans les battures de la Rive Sud)/pélagique (PRN dans les chenaux de la Rive Nord). En effet, malgré une grande hétérogénéité au niveau de la bathymétrie dans l'estuaire moyen, la Rive Nord se reconnaît bien par ses chenaux profonds (>10 m) débutant près de la côte tandis que la Rive Sud est caractérisée par ses hauts fonds et ses immenses battures (e.g. la superficie de l'Anse Ste-Anne est d'environ 175 km<sup>2</sup>). En effectuant une analyse morphologique sur les populations de l'estuaire, il sera ainsi possible d'évaluer si les populations se distinguent par des caractéristiques reliées à l'écologie trophique associées à des écotypes benthiques/pélagiques. Par des caractéristiques typiques telles qu'un corps plus effilé, une aire des yeux plus grande, une mâchoire plus grande, etc., il est possible de reconnaître un écotype pélagique d'un écotype benthique.

Puisqu'il existe deux groupes très divergents au sein même de la PRN, nous avons regroupé les divers échantillons selon leurs caractéristiques écologiques (zones de répartition, croissance, sites/dates de fraie).

Les groupes obtenus furent :

**Groupe Estuarien-Résident** (regroupe les trois sites de fraie de la PRS ; ils ont des caractéristiques biologiques homogènes, complètent leur cycle vital dans l'estuaire moyen et fraient à l'intérieur de tributaires à la limite de l'influence des marées).

**Groupe Anadrome-Type** (PRN frayant dans le Saint-Laurent ; ils ont une croissance comparable à ceux de la PRS et leurs sites de fraie seraient localisés à plus de 90 km en amont de l'estuaire moyen [secteur amont Neuville] ; la fraie nécessiterait ainsi une migration importante pouvant avoir lieu dès l'automne).

**Groupe Saguenay-Résident** (PRN frayant dans le Saguenay ; ils ont un taux de

croissance plus faible que les autres poissons de la PRN et complèteraient leur cycle vital dans le Saguenay, les frayères seraient localisées à l'extrême nord de la rivière Saguenay [secteur amont Chicoutimi]).

### Hypothèses

Les deux races ayant divergé depuis près de 700 000 ans (selon l'horloge moléculaire de l'ADN mt), il semble vraisemblable que les deux populations génétiques de l'estuaire moyen aient des caractéristiques morphologiques distinctes (morphologie raciale). En second lieu, nous pourrions tester l'hypothèse selon laquelle les divers groupes de l'estuaire moyen auraient des caractéristiques morphologiques reliées à l'exploitation distincte de l'estuaire (morphologie basée sur les écotypes). Finalement, nous testerons l'hypothèse selon laquelle il serait possible d'identifier les éperlans selon le site de fraie d'où ils proviennent. Le pouvoir de discrimination devrait être en relation avec la structure existante à l'intérieur même des populations génétiques ; ainsi plus les caractéristiques de fraie seront similaires entre deux sites, plus faible sera la distinction entre les poissons de ces derniers (morphologie associée au site de fraie).

### Matériel et méthode

Les différences morphologiques furent évaluées en employant une Analyse en composante principale/Analyse discriminante élaborée à partir de 18 mesures morphologiques/méristiques basées sur 375 poissons provenant des cinq sites de fraie connus pour les deux populations. L'Analyse en composante principale fut utilisée afin d'éliminer l'effet taille, ainsi nous avons pu identifier une forme "type" pour chaque site/groupe/population. La fonction discriminante qui permet de distinguer les groupes fut employée afin d'évaluer la puissance du test (nombre de poissons bien reclassés au groupe d'origine). Les trois sites de fraie de la PRS furent utilisés (Ruisseau de l'Église, Rivière Ouelle, Rivière Fouquette) et deux sites pour la PRN furent utilisés (Chicoutimi et Île aux Coudres en remplacement de Neuville).

### Résultats

Les deux populations (PRN et PRS) peuvent être clairement identifiées morphologiquement (95,8% poissons bien reclassés). Un ensemble de 12 variables morphologiques et méristiques furent utilisées pour l'élaboration de la fonction discriminante.

Lorsque nous comparons les trois groupes écologiques (Estuarien-Résident, Anadrome-type et Saguenay-Résident), le taux de reclassement atteint 91,7%, confirmant par le fait même la validité des trois groupes comme entités distinctes. Les deux groupes les plus divergents sont : le groupe Estuarien-Résident (caractéristiques benthiques : petits yeux, petite mâchoire, tête plus courte, corps plus trapu) et le groupe Anadrome-Type (caractéristiques pélagiques : grands yeux, mâchoire plus grande, tête allongée, corps effilé). Le groupe Saguenay-Résident leur est intermédiaire. Dans cette analyse, la première fonction canonique permet de distinguer le groupe Estuarien-Résident des deux autres tandis que la seconde fonction canonique permet de discriminer le groupe Saguenay-Résident du groupe Anadrome-type. Les caractéristiques morphologiques semblent donc en accord avec l'hypothèse d'une exploitation d'un milieu pélagique par la PRN versus l'exploitation de zone peu profonde (benthiques) par la PRS.

Comme nous l'avons vu précédemment, lorsque l'on sépare la PRN selon les différents sites de fraie, il est très facile de distinguer à l'intérieur même de la PRN le groupe frayant au Saguenay de celui frayant dans le secteur de Neuville. Le taux de reclassement atteint 88,2% entre ces deux groupes. Pour la PRS, le taux de reclassement des poissons pris sur les divers sites de fraie n'est que de 60,1%, ce qui est toutefois significatif selon le Proportional Chance Criterion ( $p < 0,01$ ).

### Discussion

L'analyse morphologique effectuée sur les populations de l'estuaire moyen suggère l'existence d'une morphologie associée aux races glacières. Bien que d'autres populations provenant

des deux races glacières doivent être analysées afin de valider cette observation, il semble néanmoins que les deux populations génétiquement distinctes ont des caractéristiques propres.

En regroupant les échantillons selon trois groupes écologiques reflétant leur dynamique, nous voyons que les deux groupes exploitant l'estuaire (Groupe Estuarien-Résident et Groupe Anadrome-Type) sont les plus divergents et que leur morphologie respective peut être reliée à l'écologie trophique. Dans ce cas, la ségrégation rive sud/rive nord pourrait être facilement expliquée par une exploitation des zones pélagiques par le Groupe Anadrome-Type dans les chenaux de la rive nord en opposition à l'exploitation des zones benthiques par les poissons du Groupe Estuarien-Résident.

Pour ce qui concerne les deux groupes de la PRN, ils peuvent être facilement distingués l'un de l'autre, cela peut être aisément compris si l'on considère que les sites de fraie de ces deux groupes sont distants de plus de 300 km (estuaire fluvial du Saint-Laurent versus secteur amont de la rivière Saguenay) et que leurs périodes de fraie sont séparées par plus d'un mois. Leur pool génique étant donc potentiellement isolé, il est facile d'imaginer les raisons pour lesquelles ils diffèrent morphologiquement. L'agencement similaire au niveau de l'ADN-mt peut être attribuable à un événement récent de spéciation, événement qui est d'ailleurs mal identifiable par l'ADN-mt et/ou encore par le nombre élevé de poissons participant à la reproduction ( $N_{eff}$ ) qui limite la fixation d'allèles. Le faible taux de discrimination entre les poissons recueillis sur les diverses frayères de la PRS peut être expliqué par des périodes simultanées et par la proximité des trois frayères (moins de 150 km entre les deux frayères les plus distantes).

Dans la présente étude, l'outil morphologique vient compléter les études moléculaires qui ont permis d'identifier les diverses populations du fleuve Saint-Laurent. Il ressort de l'analyse morphologique qu'une partie des différences observées entre les divers groupes peut être imputable à la race glacière d'origine ainsi qu'à

l'écologie trophique; le degré de discrimination dépendant du niveau écologique observé (e.g. population génétique, groupe écologique, groupe sur site de frai). Même si les résultats présentés ici ne sont que préliminaires, la puissance de résolution du test morphologique pour les populations de l'estuaire montre son utilité comme outil permettant l'identification des populations et amène, par l'identification d'écotypes potentiels, une explication quant à la ségrégation spatiale observée dans l'estuaire.

### Sujets de recherche et intérêts professionnels (F. Lecomte)

Les travaux présentés à l'atelier font partie de ma thèse de doctorat que j'effectue à l'Université Laval sous la direction de M. Julian J. Dodson. La thèse porte sur les facteurs écologiques permettant le maintien dans l'estuaire de deux populations génétiquement distinctes issues chacune d'une race glaciaire distincte. Puisque l'identification génétique des deux populations de l'estuaire moyen est relativement récente, plusieurs aspects touchant la dynamique de ces dernières n'étaient que partiellement connus. Ainsi, en une première étape nous avons dû identifier ceux-ci et maintenant nous étudions en quoi les différences observées entre les deux populations (e.g. sites/dates de fraie, sites d'alevinage, morphologie, distribution des adultes, fluctuations d'abondance) peuvent contribuer au maintien de la ségrégation écologique et à l'isolement reproducteur de ces deux populations. Mes intérêts se situent principalement autour de l'évolution et de la dynamique des populations de poissons. Cependant, puisque les projets qui sont mis de l'avant pour mes études sont couplés à des travaux ayant des débouchés plus appliqués, je suis par le fait même impliqué dans la gestion des stocks et la restauration des populations de l'estuaire.

### Références

#### Génétique

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 R. estuary (Québec, Canada). *Molecular Ecology* 6:73-83.

BERNATCHEZ, L., MARTIN, S., BERNIER, A., TREMBLAY, S., TRENCA, G., VERREAULT, G. et Y. VIGNEAULT. 1995. Conséquences de la structure génétique de l'éperlan-arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) pour la réhabilitation de l'espèce dans l'estuaire du Saint-Laurent., Saint-Laurent Vision 2000.

#### Morphologie

FRÉCHET, A., DODSON, J.J. et H. POWLES. 1983. Use of variation in biological characters for the classification of anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) groups. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40 (6): 718-727.

LECOMTE, F., DODSON, J.J. et S. GEORGES. 1999. Impact de la pêche commerciale de Charlevoix sur les populations d'éperlans de l'estuaire moyen. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale Québec.

REIST, J.D. 1985. An empirical evaluation of several univariate methods that adjust variation in morphometric data. *Canadian Journal of Zoology* 63:1429-1439.

#### Marquage-Recapture

MAGNIN, É. et G. BEAULIEU. 1965. Quelques données sur la biologie de l'éperlan *Osmerus eperlanus mordax* (Mitchill) du Saint-Laurent. *Le naturaliste canadien* XCII (3-5) : 81-105.

VLADYKOV, V.D. et A. MICHAUD. 1957. Les voyages de l'éperlan. *Actualités marines* 1 (1) : 15-19.

## Morphological discrimination between smelt populations from the St. Lawrence Middle Estuary : Implications and potential application.

Frédéric Lecomte and Julian J. Dodson

### Abstract

The St. Lawrence middle estuary is home to two genetically distinct groups of rainbow smelt originating from distinct glacial refugia. Genetic studies to date suggest that one group is found along the north shore and the second along the south shore of the estuary. The major objectives of this study were to test the hypothesis that the adults of the two groups are morphologically discriminated and associated with different habitat types occurring on the north (deep channels) and south (shallow shoals) shores of the estuary throughout the ice-free season. In addition, we tested for morphological differences among populations from different spawning sites within the north-shore and south-shore genetic groups. Morphological differences were assessed by a Principal Component Analysis/Discriminant Analysis involving 18 morphometric/meristic characteristics based on 375 fish from 5 spawning groups known to date. The resultant discriminant functions were then used to quantify mixing of the two genetic groups throughout the middle estuary in 1998. The two genetic groups can be clearly separated morphologically (96,0% of fish successfully reclassified in their genetic group of origin). The north shore form is characterized mostly by a longer head/jaw, slender body, bigger eyes compared to the south shore type. The 2 north-shore spawning groups are morphologically different (88,2% of fish successfully reclassified) whereas the 3 south-shore spawning populations could not be adequately discriminated (49,3% of fish successfully reclassified), suggesting an ongoing gene flow. Preliminary analyses indicate limited mixing between the north and south shore ecotypes throughout the ice-free season. The slender-bodied north-shore morphology appears to be restricted to deep channels whereas the south-shore morphology appears to be restricted to shoals and shallow bays.

### Introduction

Recent molecular studies using mitochondrial DNA have shown that the St. Lawrence Middle Estuary is home to two genetically distinct smelt populations. Each of these populations are relics of two glacial races which came into secondary contact in the Middle Estuary around 7 500 — 8 000 years ago. Despite a certain mixing between the two populations (genetic data suggest a mixing of less than 20%), they can be considered different and isolated, if we contemplate the time elapsed since the secondary contact.

Genetic data indicate that the two populations are segregated along the two shores of the St. Lawrence; one population is found along the

north shore (North Shore Population : NSP) and a second one along the south shore (South Shore Population : SSP). The observation of such spatial segregation is supported by tag-recapture studies made during the 50's and 60's. These studies showed very limited movement between the two shores. Again, despite the mixing between the two populations (past or present), the gene flow is still very low if we take into account that the two shores are only separated by 20 km in the transition region of the St. Lawrence River.

The observed spatial segregation between the north shore and the south shore may reflect a distinct utilization of the middle estuary by the two populations. In this particular case, the spatial segregation may be much more related

to the utilization of two different ecological niches by two morphs (e.g. benthic versus pelagic). Despite the varying depths in the middle estuary, the south shore can be easily characterized by its large bays (e.g. the surface area of Ste-Anne bay is around 175 km<sup>2</sup>) and generally shallow zones (<2m depth) which contrast with the deep channel starting near the north shore (water depth >10 m).

To evaluate if the two populations are spatially segregated in relation to the utilization of two different niches, we performed a morphological analysis based on characters related to the trophic ecology of the rainbow smelt. Typically, the pelagic ecotypes are characterized by a slender body, a larger mouth and bigger eyes, whereas the benthic ecotype have the opposite features.

Because of the existence of two highly divergent groups in the NSP, we grouped the different samples (taken from all spawning runs known to date) in relation to their ecological characteristics (distribution area, growth pattern, spawning sites and periods).

The different groupings were:

**Estuarine-Resident Group** (includes the three spawning tributaries of the SSP). This group has homogenous growth rates, they complete their live cycle in the middle estuary and spawn in small tributaries at the edge of the tidal influence.

**Truly Anadromous Group** (includes the part of the NSP that spawns in the St. Lawrence near Neuville City). This group has growth rates similar to the SSP. Their spawning sites are approximately 90 km upstream of the middle estuary (they likely spawn directly in the St. Lawrence instead of small tributaries). Prior to spawning, this group migrates to their spawning grounds (the historical data suggest a potential fall migration).

**Saguenay-Resident Group** (includes the fish of the NSP that spawn in the Saguenay, over 300 km away from Neuville City). The growth rates of this group is much lower than the other

groups. Spawning takes place at the upstream extremity of the Saguenay Fjord and the spawning period is nearly one month later than the Truly-Anadromous Group.

### Hypothesis

Since the two glacial races probably diverged some 700 000 years ago (estimated from the mt DNA molecular clock), it is likely that the two genetic populations\* (SSP and NSP) derived from each race have distinct morphologies (racial morphologies). We will test the hypothesis concerning the distribution of the different groups in the middle estuary. If the two populations possess characteristics related to the utilization of different habitats in the middle estuary, the SSP should be characterized by a typical benthic ecotype and the NSP should be characterized by a pelagic ecotype (morphology based on the ecotype). Finally, we will test the hypothesis that it is possible to identify the different spawning runs based on morphological characteristics and thus relate the smelt to their specific spawning locations. The precision should be related to the structure existing inside the different (genetic) populations; if the spawning characteristics (spawning time, spawning grounds attributes, growth pattern of the adults) are similar between two sites, fewer fish should be correctly identified to their former spawning locations (morphology associated with the spawning location).

\* here the term *genetic population* refers to the populations as defined only by their mt-DNA

### Materials and Methods

The morphological features were evaluated by using a Principal Component Analysis (PCA)/Discriminant Analysis (DA) made on 18 morphometric/meristic measurements. A total of 375 fish from 5 spawning sites were used for this study. Because the PCA removes the size effect, we were able to use different fish from various size classes together in order to identify a typical form for any spawning site, ecological group or genetic population (depending on the type of comparison we performed). Since the Discriminant Analysis allowed us to

distinguish the different groups we compared (spawning sites, ecological group or races), we reclassified *a posteriori* all the fish used in the analysis. Therefore, the number of fish reclassified to their former grouping was used to show the strength of the test. The three spawning sites used by the SSP are de l'Église brook, Ouelle River and Fouquette River and the two spawning sites for the NSP are Chicoutimi and Neuville. Post-spawn adults caught at Île aux Coudres were used in place of Neuville samples (their genetic identity was verified prior to the morphological analysis), since we were unable to capture sufficient smelt from this site for analysis.

### Results

The two genetic populations (SSP and NSP) can be clearly identified morphologically (95,8% of the fish correctly identify to their former population). A set of 12 morphometric and meristic variables were utilized to create the discriminant function. The main differences between the two populations were similar to those identified between the two more divergent ecological groups (see the next analysis). Because the differences for this latter point were higher for the fish caught in the middle estuary, we focused on the next point.

The three ecological groups (Estuarine-Resident, Truly-Anadromous and Saguenay-Resident) can be clearly discriminated morphologically. The success of the *a posteriori* reclassification was 91,7%, which confirmed the relevance of the subdivision of the NSP into two groups (Truly-Anadromous and Saguenay-Resident). The two most divergent groups were the Truly-Anadromous and the Estuarine-Resident. The Truly-Anadromous fish have the features of a pelagic ecotype (slender body, bigger eyes, larger mouth) and the Estuarine-Resident is more closely related to a benthic ecotype (smaller eyes, smaller mouth, deeper body). The Saguenay-Resident group is intermediate to the two others for many variables but still appears more like the Truly-Anadromous in overall morphology. In this analysis, the first canonical function permitted us to distinguish the Estuarine-Resident from the two other

groups while the second canonical function discriminated the Truly-Anadromous from the Saguenay-Resident. The morphological characteristics shared by the Truly-Anadromous and the Estuarine-Resident were in agreement with the hypothesis concerning the utilization of shallow water by the Estuarine-Resident group (SSP) and the exploitation of the main river channels (pelagic zone) by the Truly-Anadromous (part of the NSP in the middle estuary).

The final comparison concerned the morphology associated with the spawning locations of the different populations. As we already indicated, the NSP can be easily subdivided into two groups (Truly-Anadromous spawning near Neuville and Saguenay-Resident spawning in the vicinity of Chicoutimi), by comparing various ecological characteristics (spawning location, growth pattern, spawning period). Not surprisingly, those two groups can be distinguished with a high precision. The reclassification success was 88,2% between these two groups. To verify if any population structure exist among the SSP, all the three spawning locations known have been used, de l'Église Brook, Ouelle River and Fouquette River. For the SSP, the reclassification success was only 60,1%, which is relatively low but still significant according to the Proportional Chance Criterion ( $p < 0.01$ ).

### Discussion

The morphological analyses performed on the different populations (SSP and NSP) of the middle estuary suggest a certain morphology associated with the glacial races. Therefore to confirm this observation, more populations from each race should be tested. At this point, it appears that the two genetic populations have distinct physical characteristics that permit us to differentiate them.

When we regroup the different samples into three ecological categories which reflect the dynamic of the system (Estuarine-Resident, Truly-Anadromous and Saguenay-Resident) we see that the two groups for which we observe the highest differences morphology are those which are exploiting the Middle Estuary. In this case, the Truly-Anadromous have characteris-

tics normally associated with pelagic ecotypes and the Estuarine-Resident share characteristics of a benthic ecotype. These morphological characteristics can be related to the apparent spatial segregation (south shore versus north shore), as determined by genetic data, and also by the physical properties of the middle estuary. Here, the Truly-Anadromous is restricted to the north shore, which is characterized by deep channels, and consequently, their morphology is typical of a pelagic ecotype. The Estuarine-Resident is restricted to the south shore, which is characterized by shallow water and therefore their morphology reflects a benthic lifestyle.

In the case of the two highly divergent groups of the NSP, they can be easily differentiated. This is not surprising if we considered the fact that the spawning locations are separated by over 300 km and are located in two distinct systems (fluvial estuary upstream of the middle estuary for the Truly-Anadromous vs. upstream region of the Saguenay Fjord for the Saguenay-Resident). Moreover, their spawning periods are separated by over one month. In this case, their genetic pools are potentially well isolated and thus it is easy to understand why they are morphologically different. The fact that they share the same mtDNA allelic frequencies (they are part of the NSP) could be a result of a recent speciation event that is not observable in the mtDNA (low mutation rate) and/or due to the high numbers of fish spawning together ( $N_{eff}$ ), which thereby limits the allele fixation in populations. For the SSP, the low level of discrimination of the fish captured on the three different spawning runs may be explained by the simultaneous spawning period, the proximity of the different spawning grounds (less than 150 km for the two more distant sites) and the fact that all the spawning grounds are located in the middle estuary.

In the present study, the morphological analysis and molecular studies have allowed us to identify different populations of rainbow smelt in the St. Lawrence. It appears from the morphological analysis that part of the differences observed between the different populations may be associated with the glacial race and/or tro-

phic ecology, depending on the level of the comparison (genetic population, ecological grouping, spawning runs).

Even if the results presented at the workshop are only part of a preliminary study, the precision of the morphological analysis displayed its utility as a tool to discriminate the different populations or groups associated with the middle estuary and thus may provide an explanation to the apparent spatial segregation among the smelt populations of the middle estuary.

#### Research subjects and professional interest (F. Lecomte)

The work presented here is part of my Ph.D. thesis directed by Dr. Julian J. Dodson. The ultimate goal of this thesis is to understand to causes behind the genetic segregation among the different (sympatric) populations of the middle estuary that originated from two distinct glacial races. Since the molecular studies have shown that the appearance of two discrete populations exploiting the middle estuary was relatively recent, many part of their life cycle was unknown at the beginning of my studies (e.g. spawning sites, larval nurseries areas, etc.). Therefore, the first step was to identify those missing parts and to quantify the differences observed between the two populations at different life stages (e.g. spawning location/periods, larval nurseries, morphology, adult distribution, abundance fluctuation, etc.). Presently, we are evaluating how the differences observed may play roles in the maintenance of the genetic integrity of both populations (i.e. restriction of gene flow) and what the relative importance of the speciation of smelt is. My principal interests are in the evolution process and the population dynamics. Because this smelt research project provides much information on the basic biology needed by stock managers, I am interested and involved in smelt management and the restoration of the middle estuary populations.

## References

### Genetics

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 R. estuary (Québec, Canada). *Molecular Ecology* 6:73-83.

BERNATCHEZ, L., MARTIN, S., BERNIER, A., TREMBLAY, S., TRENCIA, G., VERREAULT, G. et Y. VIGNEAULT. 1995. Conséquences de la structure génétique de l'Éperlan-arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) pour la réhabilitation de l'espèce dans l'estuaire du Saint-Laurent. *Saint-Laurent Vision* 2000.

### Morphology

FRÉCHET, A., DODSON, J.J. et H. POWLES. 1983. Use of variation in biological characters for the classification of anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) groups.

*Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40 (6): 718-727.

LECOMTE, F., DODSON, J.J. et S. GEORGES. 1999. Impact de la pêche commerciale de Charlevoix sur les populations d'éperlans de l'estuaire moyen. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale Québec.

REIST, J.D. 1985. An empirical evaluation of several univariate methods that adjust variation in morphometric data. *Canadian Journal of Zoology* 63:1429-1439.

### Tag-recapture

MAGNIN, É. et G. BEAULIEU. 1965. Quelques données sur la biologie de l'éperlan *Osmerus eperlanus mordax* (Mitchill) du Saint-Laurent. *Le naturaliste canadien* XCII (3-5): 81-105.

VLADYKOV, V.D. et A. MICHAUD. 1957. Les voyages de l'éperlan. *Actualités marines* 1 (1) : 15-19.

## Recherche de sites de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel au Lac Saint-Jean : Approches utilisées

Michel Legault

### Résumé

Selon les connaissances actuelles, l'éperlan arc-en-ciel serait l'un des principaux facteurs limitant la productivité de la ouananiche durant sa phase lacustre. L'éperlan arc-en-ciel constitue la principale source alimentaire de la ouananiche du lac Saint-Jean et le maintien à long terme de son abondance reposerait, en grande partie, sur celle de l'éperlan arc-en-ciel. L'abondance de cette dernière espèce peut cependant fluctuer naturellement de façon importante, ce qui constitue un désavantage pour un prédateur comme la ouananiche qui en fait sa proie principale. Bien qu'il soit difficile de contrôler l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel, il est possible d'établir la qualité de ses sites de reproduction en vue de les protéger et de les restaurer, le cas échéant. Bien que les cours d'eau soient largement utilisés par l'éperlan arc-en-ciel pour la reproduction, les hauts fonds et les rives des plans d'eau seraient aussi utilisés fréquemment. Aucun site de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel, au lac Saint-Jean, n'était connu jusqu'à tout récemment. La superficie de ce plan d'eau (1 053 km<sup>2</sup>), l'abondance de ses tributaires et les importantes dimensions de certains d'entre eux expliqueraient cette situation. Les approches qui sont actuellement utilisées pour localiser des sites de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean seront présentées, ainsi qu'une évaluation de leur performance.

### Hydroacoustique

L'utilisation de l'hydroacoustique avait pour but de localiser des concentrations de reproducteurs dans le plan d'eau afin d'orienter, dans un second temps, les activités de recherche de sites de reproduction dans des secteurs spécifiques. En 1995 et 1996, différents secteurs du plan d'eau ont été inventoriés de jour, dès le départ des glaces, à l'aide de l'hydroacoustique. Des transects étaient effectués parallèlement à la rive, distancés l'un de l'autre de 925 m. Le sondeur acoustique utilisé était de marque Simrad, modèle EC-210, opérant à une fréquence de 200 kHz et muni d'un transducteur de 50°. Les sites où des concentrations de poissons étaient localisées ont été inventoriés de nuit en utilisant un chalut pélagique afin d'établir s'il s'agissait de reproducteurs d'éperlan arc-en-ciel.

Cette approche a permis de localiser deux regroupements de reproducteurs, l'un situé près de l'embouchure de la rivière Ashuapmus-

huan, à la hauteur du village de Mashteuiatsh, et l'autre vis-à-vis l'embouchure de la rivière Ouiatchouane.

### Filets maillants

Des pêches à l'aide de filets maillants ont été effectuées dans le lac Saint-Jean en 1996 et 1997, à proximité de l'embouchure de la rivière Ouiatchouane. Ces inventaires ont permis de confirmer la présence de reproducteurs et d'y suivre l'évolution de la reproduction. Des inventaires en plongée et en utilisant des tuiles de céramique disposées le long de la rive du lac et dans le secteur sous l'influence de la rivière n'ont cependant pas permis d'observer des oeufs.

Malgré des pêches intensives effectuées en 1998, aucun rassemblement de reproducteurs n'a pu être observé dans ce secteur ainsi qu'à proximité de la rivière Ouiatchouaniche.

### Suivi de la dérive des larves

Une vérification de la présence d'une dérive de larves d'éperlan arc-en-ciel a été effectuée en 1997 dans les principaux tributaires. La présence de larves dans le plan d'eau fut également vérifiée, dans les environs de certains d'entre eux (rivières Ouiatchouaniche, Ouiatchouane, Métabetchouane).

Dans les cours d'eau, l'échantillonnage était fait de nuit, à l'embouchure, à différents sites situés le long d'un transect perpendiculaire au sens du courant. À chacun des sites, un filet à plancton, ayant un diamètre de 50 cm et une grandeur de maille de 350 µ, était disposé à moins d'un mètre de la surface et un second sur le fond du cours d'eau. La durée d'échantillonnage variait de 20 à 30 minutes. Lorsqu'il y avait présence de larves d'éperlan arc-en-ciel à un site, un échantillonnage était fait plus en amont, jusqu'au moment où aucune capture n'était effectuée.

Les inventaires en lac ont également été faits de nuit. Un filet à plancton de 75 cm de diamètre et possédant une maille de 350 µ était traîné en surface, soit dans le premier mètre d'eau.

L'existence d'une dérive de larves n'a été observée que dans deux des tributaires, soit les rivières Ashuapmushuan et Péribonca. Seulement quelques larves ont été capturées, rendant difficile la localisation des frayères dans chacun des tributaires.

Des larves vésiculées ont également été capturées en lac, près de l'embouchure de la rivière Ouiatchouaniche. Ce cours d'eau ne semblant cependant pas accessible pour l'éperlan, la reproduction s'effectuerait en lac, dans les environs.

Un échantillonnage des larves a été fait de nouveau en 1998, dans les deux cours d'eau où une dérive de larves fut observée en 1997, selon la même méthodologie. Le nombre de larves capturées ayant été beaucoup plus important, il a été possible d'établir la chronologie de la dérive et de confirmer que la reproduction avait lieu dans la section aval du tronçon principal de cha-

cun des cours d'eau dont le substrat est composé essentiellement de sable.

### Radiotélémetrie

La radiotélémetrie a été utilisée en 1998, dans le but de localiser précisément les frayères situées dans les rivières Ashuapmushuan et Péribonca.

Cinq reproducteurs, capturés dans l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan, ont été munis d'un émetteur. Les localisations effectuées au cours des jours qui ont suivi ont permis d'établir que trois d'entre eux sont demeurés à proximité de leur lieu de capture. Un seul individu a migré quelques kilomètres vers l'amont.

Le secteur où la majorité des localisations de reproducteurs ont été faites correspond à celui où la majorité de l'éclosion des oeufs semble s'être produite, ce dernier ayant été déterminé à partir du suivi de la dérive des larves.

Concernant le suivi radiotéléométrique effectué dans la rivière Péribonca, les cinq reproducteurs munis d'un émetteur n'ont pu être localisés, suite à leur libération. Des localisations, faites immédiatement après la remise à l'eau de trois individus, ont indiqué que deux d'entre eux ont dévalé rapidement vers l'embouchure.

Un survol en avion de la section aval de la rivière, de l'embouchure et des environs du lac n'a pas permis de les localiser, contrairement aux reproducteurs de la rivière Ashuapmushuan.

### Distribution spatio-temporelle des larves

La détermination de la distribution spatio-temporelle des larves le long des rives de la partie ouest du lac a été effectuée en 1998, parallèlement au suivi de la dérive des larves dans les rivières Ashuapmushuan et Péribonca.

L'échantillonnage a été fait de jour, à huit sites le long des isobathes de deux ou trois et cinq mètres, à l'aide d'un filet à plancton de 50 cm

de diamètre et possédant des mailles de 150  $\mu$ . Chaque trait d'échantillonnage avait une durée de dix minutes. Pour l'isobathe de deux mètres, un trait était effectué à 0,25 m de la surface ; pour l'isobathe de 3 m, le trait était effectué à 1,5 m de la surface, tandis que pour l'isobathe de 5 m, un trait était fait à 0,25 m et un autre à 3,5 m de la surface.

Les données d'abondance obtenues, couplées avec les périodes de la dérive des larves dans les deux tributaires mentionnés précédemment, ont mis en évidence des sites potentiels de production de larves correspondant aux secteurs des rivières Ouiatchouaniche et Ouiatchouane et à un second secteur situé à proximité de la municipalité de Chambord.

### Conclusion

L'ensemble des approches utilisées pour localiser des sites de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean ont permis d'identifier deux sites de reproduction en cours d'eau, soit les rivières Ashuapmushuan et Péribonca. Trois autres sites potentiels ont également été identifiés, un premier situé à proximité de la rivière Ouiatchouaniche, un second près de la rivière Ouiatchouane et un troisième à l'est de la pointe de Chambord.

La vérification de la présence d'une dérive de larves dans les cours d'eau est une approche simple et rapide afin d'établir leur utilisation pour la reproduction. Plusieurs cours d'eau

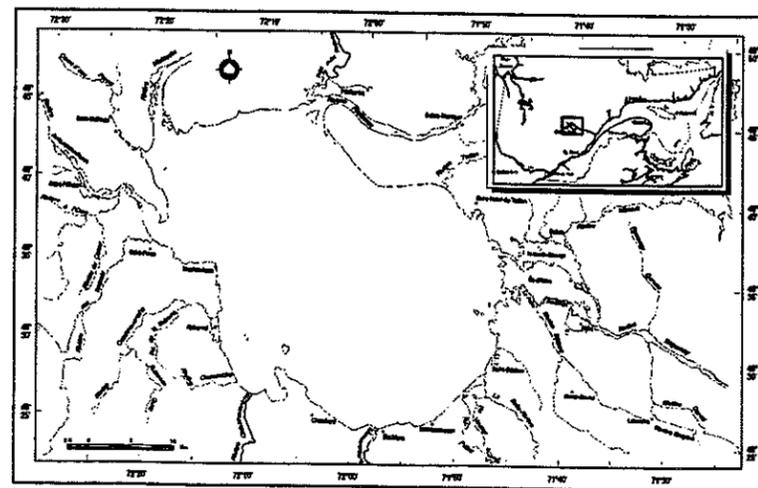


Figure 1: Localisation géographique du lac Saint-Jean.

peuvent être vérifiés au cours d'une même année. Cette technique est d'autant plus intéressante, lorsque la grande dimension des cours d'eau rend impossible une vérification visuelle de la présence d'oeufs.

Le suivi de l'apparition des larves le long des rives du lac Saint-Jean, parallèlement avec le suivi de leur dérive dans les cours d'eau connus pour être utilisés pour la reproduction, semble être efficace afin d'identifier de nouveaux secteurs de production de larves. Une fois ces secteurs identifiés, ceci permettra d'orienter la recherche de frayères avec des approches adaptées aux caractéristiques des milieux à inventorier.

La radiotélémetrie s'est avérée être une technique que l'on peut utiliser pour étudier certaines facettes de la biologie de l'éperlan arc-en-ciel. La résistance des individus aux différentes manipulations reliées à leur capture à l'aide de filets maillants et à l'insertion de l'émetteur dans l'estomac rend accessible l'utilisation de cet outil.

L'utilisation de cette technique pour étudier la reproduction de cette espèce devra cependant être validée. Le comportement de dévalaison des reproducteurs de la rivière Péribonca, suite à la pause des émetteurs, n'a pas permis, contrairement à la rivière Ashuapmushuan, de localiser les secteurs du cours d'eau utilisés pour la reproduction.

## Localization of Rainbow Smelt reproduction sites in lake Saint-Jean : Approches used

Michel Legault

### Abstract

According to present knowledge, it can be assumed that the rainbow smelt is a major limiting factor in the productivity of landlocked salmon in its lake phase. Rainbow smelt is the main source of food to the landlocked salmon of Lake Saint-Jean whose long-term abundance would depend closely on that of the rainbow smelt. However, abundance of the smelt can vary naturally quite significantly, constituting as a result a major disadvantage for the landlocked salmon which preys mainly on the smelt. Although abundance of rainbow smelt is difficult to control, it is possible to assess the quality of the fish's reproduction sites to protect them and restore them, if need be. The rainbow smelt depends most widely on streams and rivers to reproduce, but it would appear that it frequently spawns on lake shoals and shores. Up to very recently in Lake Saint-Jean, no rainbow smelt reproduction site had been found. This situation can be explained by the wide area covered by the lake (1 053 km<sup>2</sup>), its many tributaries and their large size, for some (figure 1). This paper presents the methods being used to locate rainbow smelt reproduction sites in Lake Saint-Jean along with a performance analysis.

### Hydroacoustics

Hydroacoustics was used initially to locate concentrations of spawners in the lake in order to later direct our search for reproduction sites in specific sectors. In 1995 and 1996, as soon as the lake was ice free, daytime hydroacoustic inventories were carried out in various sectors. Transects, traced perpendicular to the shore, were set 925 m apart. A Simrad EC-210 acoustic probe operating at a frequency of 200 kHz and equipped with a 50° transducer was used. Sites where concentrations of fish were located were sampled at nighttime from a pelagic trawl to establish the presence of rainbow smelt spawners.

This approach made it possible to locate two groups of spawners: the first near the mouth of the Ashuapmushuan River by the village of Mashteuiatsh, the second facing the mouth of the Ouiatchouane River.

### Gill nets

Gill net inventories carried out in Lake Saint-Jean in 1996 and 1997, near the mouth of the

Ouiatchouane River, helped confirm the presence of spawners and follow reproduction trends. Inventories involving underwater dives and ceramic tiles placed along the lakeshore as well as in the sector under influence of the river did not reveal any eggs.

Despite intense fishing efforts in 1998, no gathering of spawners was observed in this sector or near the Ouiatchouaniche River.

### Monitoring larvae drift

In 1997, the lake's major tributaries were monitored for rainbow smelt larvae drift. The presence of larvae in the lake near the mouth of three tributaries (Ouiatchouaniche, Ouiatchouane and Métabetchouane Rivers) was also verified.

In the rivers, sampling was conducted at night at various sites in their mouth along a transect perpendicular to the current. At each site, a plankton net 50 cm in diameter with a mesh size of 350  $\mu$  was set at less than a metre below the surface, while a second net was set on the bottom. Sampling time lasted from 20 to

30 minutes. When rainbow smelt larvae were found, sampling was carried out further upstream until no more larvae were captured.

Lake inventories also took place at night. A plankton net 75 cm in diameter with a mesh size of 350  $\mu$  was dragged along the surface to a depth of about a metre.

Existence of a larvae drift was observed in two tributaries only, that are in the Ashuapmushuan and Péribonca Rivers. As a few larvae only were caught, locating spawning sites in each tributary was made difficult.

Yolk-sac fry were also captured in the lake near the mouth of the Ouiatchouaniche River. Since the smelt do not appear to have access to this river, reproduction apparently occurs in the lake somewhere nearby.

Larvae were again sampled in 1998, in the two rivers where larvae drift had been observed in 1997, using the same method. Owing to the greater number of larvae caught, it was possible to establish the chronology of the drift and confirm that spawning occurred in the downstream portion of the main stretch of both rivers whose substrate consists basically of sand.

### Radiotelemetry

Radiotelemetry was used in 1998 to locate as accurately as possible the Ashuapmushuan and Péribonca Rivers spawning sites.

Five spawners caught at the mouth of the Ashuapmushuan River were equipped with a radio transmitter. After a few days of tracking, it was discovered that three of the fish had stayed close to where they had been caught, while a single one had swum several kilometers upstream.

The sector where most spawners were located corresponds to the sector where the most hatchings seemingly occurred, as determined by the monitoring of larvae drift.

Radiotelemetry monitoring in the Péribonca River failed to locate the five transmitter-

equipped spawners following their release. Trackings made immediately following the release of three specimens showed that two among them had quickly found their way to the river's mouth.

An aerial survey of the downstream stretch of the river, its mouth and the surrounding lake area did not reveal their location, contrary to the spawners of the Ashuapmushuan River.

### Spatiotemporal distribution of larvae

Determination of the spatiotemporal distribution of larvae along the lake's western shore was conducted in 1998 at the same time larvae drift in the Ashuapmushuan and Péribonca Rivers was being monitored.

Daytime sampling took place at eight sites along two or three and five-meter isobaths using a plankton net measuring 50 cm in diameter and having a mesh size of 150  $\mu$ . Each tow lasted ten minutes. For the 2-metre isobath, the tow took place 0.25 m beneath the surface; for the 3-m isobath, 1.5 m beneath the surface, and for the 5-metre isobath, at 0.25 m and 3.5 m beneath the surface.

Abundance data in concert with larvae drift time in the two previously mentioned tributaries revealed potential larvae production sites corresponding to the areas of the Ouiatchouaniche and Ouiatchouane Rivers and a second area near the town of Chambord.

### Conclusion

Overall, the approaches used to locate rainbow smelt reproduction sites in Lake Saint-Jean made it possible to identify two sites in the Ashuapmushuan and Péribonca Rivers. Three other potential sites were also identified : the first is located near the Ouiatchouaniche River, the second near the Ouiatchouane River, and the third, east of Chambord point.

Monitoring larvae drift in rivers is a quick and simple way of establishing whether the rivers are used by smelts for spawning. Several

rivers can be checked out in the course of a year. The technique is all the more interesting when a river's large size makes visual identification of the presence of eggs impossible.

Monitoring of larvae along the shore of Lake Saint-Jean, in conjunction with the monitoring of larvae drift in rivers where reproduction is known to occur, appears an efficient way of identifying new larvae production areas. Once the areas have been identified, the search for spawning sites using methods adapted to the environment's specific features can begin.

Radiotelemetry turned out quite useful for the study of certain aspects of rainbow smelt biology. The fact that the fish are resistant to gill netting and the introduction of a transmitter in their stomach makes utilization of such a tool possible.

Using the technique to study reproduction of the species will require validation however. The downstream run of the Péribonca River spawners following introduction of the transmitter did not enable the localization of river areas used for spawning, contrary to the Ashuapmushuan River.

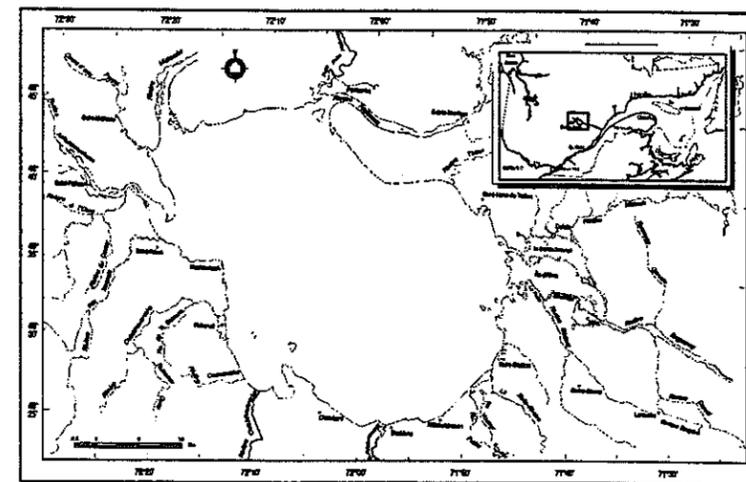


Figure 1: Localization of Saint-Jean lake.

## Fraie de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite

Claude Théberge, Mario Heppell, Érik Auclair et Richard Verdon

### Résumé

L'objectif de l'étude était de caractériser la reproduction de l'éperlan de l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite. La zone d'étude s'étend sur 7 km compris entre l'embouchure de la rivière et la centrale SM-1. Entre le 4 juin et le 9 juillet, la température de l'eau douce a varié entre 8°C et 12°C. Les profils température-salinité ont démontré que l'eau salée remonte jusqu'à un seuil situé 500 m en aval de la centrale, mais ne le franchit pas. Les pêches expérimentales ont permis la capture de 1 966 poissons, appartenant à 12 espèces. L'éperlan arc-en-ciel est la plus abondante avec environ 80% des captures. Les deux tiers des individus capturés avaient une longueur comprise entre 190 et 230 mm. Les pêches, les observations visuelles et les données de niveau d'eau confirment que le seuil était franchissable, à marée haute, presque toutes les nuits entre le 4 juin et le 9 juillet 1998. Les zones de fraie identifiées sont localisées entre ce dernier et la centrale SM-1. Les caractéristiques générales de ces zones sont les suivantes : profondeur d'eau variant de 0,25 à 1,20 m ; vitesse de courant variant de 0,26 à 0,78 m/s ; substrat composé de gravier, de cailloux et de galets sur un fond d'argile. Au cours de l'étude de nombreuses fluctuations du débit ont été notées et les frayères ont été partiellement exondées. Pour maintenir un niveau d'eau suffisant sur les deux principales frayères, un débit d'environ 22 m<sup>3</sup>/sec est nécessaire. Le décompte des oeufs sur les sites de fraie a permis d'évaluer leur nombre à près de 28 millions, les 17 et 18 juin 1998. Selon les observations, la fraie se serait déroulée sur une période de 3 semaines, entre le 10 juin et le 1<sup>er</sup> juillet.

### Abstract

The objective of this study was to characterize the reproduction of rainbow smelt of the Sainte-Marguerite river estuary. The study site is located between the river's mouth and SM-1 power station, 7 km upstream. The freshwater temperature varied from 8°C to 12°C between June 4 and July 9. The temperature-salinity profiles showed that the salt-water reached a sill located 500 m downstream from SM-1, but never went above it. A total of 1 966 fishes, belonging to 12 species, were captured from experimental fishing.

### Introduction

La réalisation du projet hydroélectrique SM-3, par Hydro-Québec, a entraîné une réduction de débit importante dans l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite durant le remplissage du réservoir, amorcé en avril 1998. Ainsi, les débits à l'estuaire, durant la mise en eau, ne représentent en moyenne que 26% des débits prévalant normalement. L'objectif de l'étude était de caractériser la reproduction de l'éperlan de l'estuaire de la rivière Sainte-

Marguerite, au cours de l'année 1998, en condition de débit réduit.

### Description de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur 7 km compris entre l'embouchure de la rivière Sainte-Marguerite (Côte-Nord du Saint-Laurent) et la centrale SM-1, propriété de Hydrowatt (figure 1). Entre le 4 juin et le 9 juillet, la température de l'eau douce a varié entre 8°C et 12°C. Au cours de cette même période, le débit à la

centrale SM-1 a varié entre 0,7 et 77 m<sup>3</sup>/s. Les profils température-salinité ont démontré que l'eau salée remonte jusqu'à un seuil situé 500 m en aval de la centrale SM-1, mais ne le franchit pas.

### Matériel et méthodes

Entre le 4 juin et le 9 juillet 1998, des pêches expérimentales au moyen de 2 filets-trappes Alaska et de 4 filets maillants expérimentaux (mailles de 25, 38 et 51 mm) ont été réalisées dans l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite et en aval de la centrale SM-1. Les données biologiques (masse, longueur et maturité des gonades) ont été notées sur un minimum de 10% des éperlans récoltés.

Les sites de reproduction ont été localisés par l'inventaire visuel d'oeufs. Dans les zones peu profondes (< 0,5 m), la délimitation des zones de fraie était réalisée à l'aide d'un système de positionnement par satellite (GPS), par un observateur se déplaçant à gué. Les oeufs étaient dénombrés à l'intérieur de quadrats de 0,024 m<sup>2</sup> et 0,093 m<sup>2</sup>. En zone plus profonde (> 0,5 m), le dénombrement des oeufs a été effectué en apnée dans des quadrats de dimensions identiques. Étant donné que seuls les oeufs morts (blancs) peuvent être dénombrés de cette façon, le substrat de certains quadrats a été prélevé complètement pour une estimation précise du nombre total d'oeufs. À partir de ces décomptes, le nombre total d'oeufs a été extrapolé pour l'ensemble des frayères. Les frayères identifiées ont été caractérisées en termes de substrat, profondeur et vitesse de courant. Ces dernières ont été mesurées à 20 et 80% de la profondeur de la colonne d'eau.

### Résultats

Les pêches expérimentales ont permis la capture de 1 966 poissons, appartenant à 12 espèces. L'éperlan arc-en-ciel est la plus abondante avec environ 80% des captures. Les deux tiers des individus capturés avaient une longueur comprise entre 190 et 230 mm (figure 2).

Les pêches, les observations visuelles et les données de niveau d'eau confirment que le seuil situé 500 m en aval de la centrale SM-1 était franchissable, à marée haute, presque toutes les nuits entre le 4 juin et le 9 juillet 1998. Les zones de fraie identifiées sont localisées entre ce dernier et la centrale SM-1. Une superficie totale de quelque 5 900 m<sup>2</sup> de frayères à éperlans a été localisée juste en aval de la centrale SM-1. Le décompte des oeufs sur les sites de fraie a permis d'évaluer leur nombre à près de 28 millions, les 17 et 18 juin 1998. La densité maximale observée était de plus de 9 000 oeufs/m<sup>2</sup>.

Les caractéristiques générales de ces zones sont les suivantes : profondeur d'eau variant de 0,25 à 1,20 m ; vitesse de courant variant de 0,26 à 0,78 m/s ; substrat composé de gravier, de cailloux et de galets sur un fond d'argile. Au cours de l'étude de nombreuses fluctuations du débit ont été notées et les frayères ont été partiellement exondées. Ainsi, entre le 28 juin et le 4 juillet, le débit a fluctué, sur une base journalière, entre environ 2 m<sup>3</sup>/s et 30 m<sup>3</sup>/s. Ces fluctuations de débit ont entraîné des variations de niveau de quelque 0,8 m. Pour maintenir un niveau d'eau suffisant sur les deux principales frayères, un débit d'environ 22 m<sup>3</sup>/s est nécessaire.

Selon les observations, la fraie se serait déroulée sur une période de 3 semaines, entre le 10 juin et le 1<sup>er</sup> juillet (figure 3). La chronoséquence des activités de reproduction, en cours de l'année 1998, était la suivante :

- les éperlans seraient arrivés sur les sites de fraie un peu avant le 4 juin alors que la température de l'eau était encore inférieure à 8,5°C;
- la fraie aurait fort probablement débuté vers le 10 juin étant donné que des éperlans au stade ponte étaient déjà présents dans le secteur le 4 juin et que des concentrations d'éperlans ont été observées sur les sites de fraie dès le 8 juin;
- les premiers reproducteurs au stade post-ponte ont été observés le 17 juin alors que

la température de l'eau était encore inférieure à 10°C, ce qui suggère que la fraie avait effectivement débuté auparavant et que les premiers adultes avaient quitté l'aire de fraie pour dévaler vers la mer;

- la durée d'incubation des oeufs versus la température de l'eau et la présence d'oeufs oeillés à partir du 24 juin, d'enveloppes vides à partir du 1<sup>er</sup> juillet et d'alevins le 9 juillet suggèrent que le pic de fraie se serait déroulé avant le 17 juin et que la plus grande activité de fraie était complétée avant le 2 juillet.

### Conclusion

Les données de niveau d'eau indiquent que l'éperlan peut franchir le rapide situé 500 m en aval de la centrale SM-1 presque toutes les nuits, à marée haute, au cours de la période de fraie. La franchissabilité du rapide est principalement fonction de l'amplitude de la marée. L'éperlan de l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite se reproduit en aval de la centrale SM-1, lorsque celle-ci est en opération. Les vitesses de courant à cet endroit seraient le principal facteur qui inciterait l'éperlan à y déposer ses oeufs. En 1998, la fraie se serait déroulée sur une période de trois semaines, entre le 10 juin et le 1<sup>er</sup> juillet, alors que la température de l'eau a oscillé entre 8°C et 11°C. Par ailleurs, des fluctuations importantes de débit à la centrale au cours de la période d'incubation des oeufs auraient entraîné un assèchement d'une partie importante des frayères à certaines périodes, provoquant une mortalité des oeufs qui y avaient été déposés.

### Bibliographie

BÉLISLE, F. 1997. Caractérisation d'une frayère à éperlan arc-en-ciel à l'aval de la centrale hydroélectrique Outardes-2. Naturam Environnement Inc. Pour la Direction régionale Manicouagan et la Direction Pro-

duction, Administration et Relations avec le milieu, Hydro-Québec. 26 pages et annexes.

BRASSARD, C et G. VERREAU. 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. Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune. Direction régionale du Bas-Saint-Laurent. 33 pages.

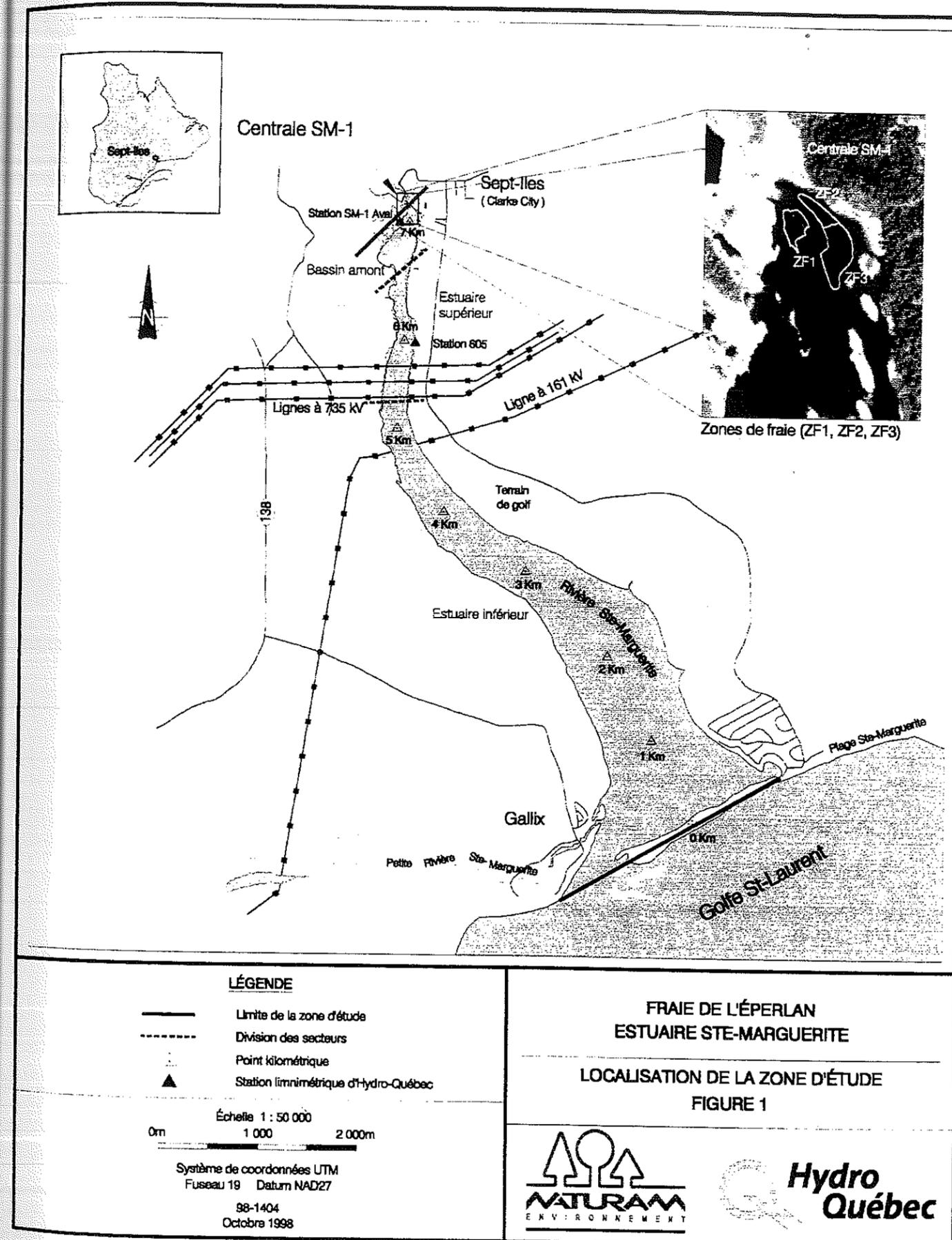
BRASSARD, C. et C. BEAUDOIN. 1996. Habitat de reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) anadrome de la Côte-Nord du Saint-Laurent (Portneuf à Franquelin). Comité ZIP de Baie-Comeau. Pour Saint-Laurent Vision 2000, Pêches et Océans Canada. 38 pages.

CALDERON, I. et C. BRASSARD. 1995. Étude sur l'exploitation et l'habitat de reproduction de l'Éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de la baie de Sept-Îles. Corporation de Protection de l'Environnement de Sept-Îles. Pour Saint-Laurent Vision 2000, Pêche et Océans Canada. 33 pages.

GARANT, Y et C. THÉBERGE. 1996. Suivi environnemental de la rivière Portneuf. Étude sur l'Éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) et l'Anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). (Rapport préliminaire). Naturam Environnement Inc. Pour Innergex. 30 pages et annexes.

### Référence

THÉBERGE, C., M. HEPPELL et E. AUCLAIR. 1998. Fraie de l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire de la rivière Sainte-Marguerite. Rapport présenté à la Direction de projet Sainte-Marguerite-3 d'Hydro-Québec, par Naturam Environnement inc. 65 pages et annexes.



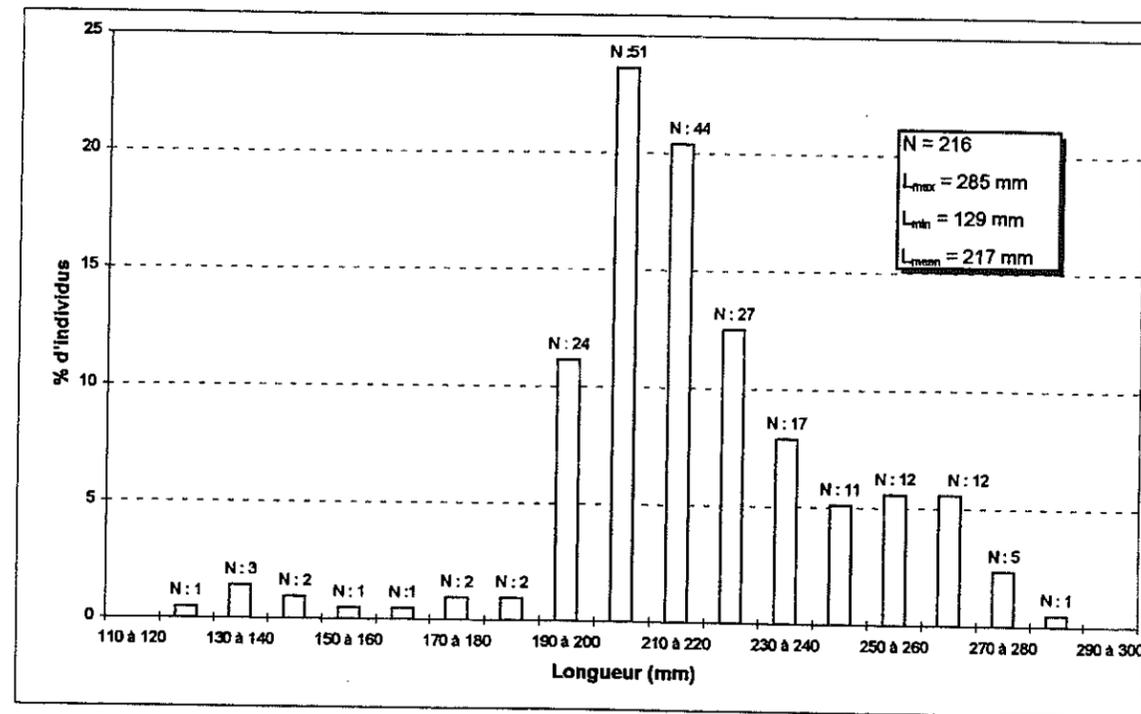


Figure 2 : Histogramme des classes de longueur des éperlans capturés en 1998, rivière Sainte-Marguerite.

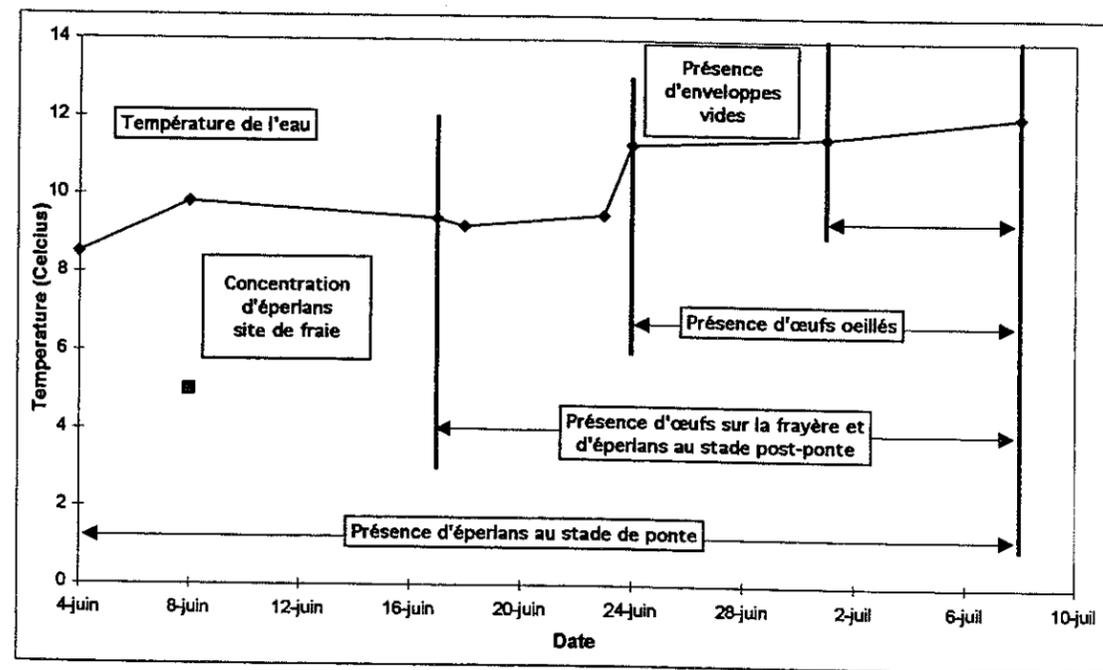


Figure 3 : Chronologie de fraie de l'éperlan arc-en-ciel en 1998, sur la frayère de la rivière Sainte-Marguerite.

## Population Structure and Habitat Characterization of Spawning Anadromous Rainbow Smelt, Western Cape Cod Bay, Massachusetts, USA.

Robert Lawton, John Boardman, Phillips Brady, Christine Sheehan, Brian Kelly, Vincent Malkoski and Mando Borgatti

### Abstract

During an intensive three-year (1979-1981) population study of spawning-run anadromous, rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in the Jones River, the principal smelt spawning tributary to the Plymouth, Kingston, Duxbury Bay estuary, which opens to western Cape Cod Bay, over 40 500 adult smelt were sampled. Biological data were obtained on smelt distribution, abundance, age, growth, and sex composition on the spawning grounds. Physical-chemical data on spawning habitat characteristics were also collected. Subsequently, supplemental sampling, including estimating mean egg densities, continued throughout the 1980s and 1990s along with stock enhancement efforts begun in 1994. The smelt spawning ground in the Jones River is located 4.2 km upstream of the estuary and encompasses about 9 651 m<sup>2</sup> of surface area. The water is primarily fresh throughout, with occasional intrusion of brackish water in the lowermost section during a spring flood tide. Riffles occurs throughout the river interspersed with scattered pools and eddies. Flow rates ranged from 12 to 81 cm·sec<sup>-1</sup>, averaging 40 cm·sec<sup>-1</sup>. Substrate consisted of sand and coarse to fine gravel interspersed by cobble and rock with attached aquatic vegetation. Spawning, which occurred only at night, commenced in early March and could continue as late as into the first week of May. The age of spawning-run fish, determined from sees, ranged from one to five years old, with two-year olds predominating. Males outnumbered females, with overall sex ratios of 8.9 to 1 (1979), 4.0 to 1 (1980), and 9.0 to 1 (1981) attributable largely to the length of time males remain on the spawning ground. Nightly catch totals by hour indicate that the number of smelt of the run generally increased throughout the night, peaking at 02:00 hrs. The greatest growth in length for both sees, as measured by relative increment, occurred during the first year of life, while declining markedly in subsequent years. There were indications that the Jones River smelt spawning population declined markedly especially in the late 1980s and early 1990s, with the cause unknown. We began restoration efforts in 1994 to rebuild the stock, focusing on augmenting egg production and enhancing spawning habitat to optimize egg survival. The 1998 spawning run was the largest recorded in over a decade.

### Introduction

The anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) spawning run in the Jones River historically has been one of the largest in the state of Massachusetts, USA. My agency, the Massachusetts Division of Marine Fisheries, has used this stream, which empties into Plymouth, Kingston, Duxbury Bay (PKDB) estuary that, in turn, opens to western Cape Cod Bay, as a source of smelt eggs and spawning fish for transplanting purposes to restore depleted

populations in other systems. A large impingement mortality (ca. 6 200 smelt) occurred in December 1978 at the nearby Pilgrim Nuclear Power Station in Plymouth on the western shore of Cape Cod Bay. Because there were no site-specific population data with which to assess impact of the fish kill on the local population, which is principally produced in the Jones River, my Division undertook a three-year investigation (1979-1981) to characterize the impacted smelt spawning run. The study, which was funded by Boston Edison

Utility Company, provided us with information on reproductive biology and population structure/dynamics of the sexually mature portion of the population to better evaluate the magnitude of power-plant impact and to improve management and possible augmentation of the sea-run smelt stock in western Cape Cod Bay.

### Materials and methods

Over the three-years study, in excess of 40 500 spawning-run smelt were sampled on the Jones River spawning ground during spring (late March, early May) primarily every other night employing hourly sets of a 1.2 x 1.2 m lift net (19 mm stretched mesh), with supplemental daylight collections made using a cast net. We finclipped 1 309 adult smelt (1 072 males and 237 females) on the spawning ground over one sampling night in 1980 to determine the length of the spawning period for males and females.

As to age composition of the spawning runs, we aged 1 790 spawning-run smelt using scales and measured 36 403 fish from the Jones River. Age/length keys were developed by sex, and age frequencies were calculated from corresponding keys.

We have also worked to enhance and improve spawning habitat on the Jones River run since 1994. This included adding artificial plant substrate, via specially designed (36 x 46 cm) egg collecting trays containing sphagnum moss, for egg substrate deposition. This effort is to improve instream egg survival by increasing the carrying capacity of the system, specifically for eggs.

### Results and discussion

The Jones River smelt spawning ground is 1,2 km in length and encompasses about 9 650 m<sup>2</sup> of surface spawning area. It is located in the main stem of the Jones, beginning ca. 4,2 km upstream of PKDB and is a lotic, warm-water stream of primarily freshwater habitat. The upper limit is bounded by a low-head dam at 5,5 km from the river mouth and the lower limit is influenced by the tide's salt

wedge. An impoundment exists just upriver of the dam. Current velocities have been measured at 12-81 cm/sec on the upper spawning ground, and the substrate is primarily coarse and fine gravel, with some cobble, sand, and aquatic vegetation. A recent water quality survey in the fall of 1998 revealed areas of concern in the river which included fecal coliform at 680/100 ml, nitrates at 1,1 mg/l, and phosphorous at 5,3 mg/l.

The spawning season commenced in early to mid-March, and continued as late as the first week of May. Spawning and egg deposition generally began in the lower reaches of the spawning area at a water temperature of ca. 4°C and progressed gradually upstream. The first low-head dam the smelt encounter blocks any further upstream migration and limits the extent of potential spawning area. This barrier results in spawning-run smelt concentrating below the dam in the wash-out gravel area, where often there is an overcrowding of eggs with attendant high mortality. By removing the dam, I believe we could increase the potential suitable spawning area available and enhance the critical functioning of natural biophysical actions allowing for natural habitat forming and maintenance processes.

Spawning apparently occurred only at night, although small numbers of smelt routinely remained on the spawning ground aggregated in pools during the daytime. Of the 600+ smelt captured on the run during daylight hours, 97% were males. At night, males again predominated on the spawning ground with overall sex ratios of 8,9 to 1 (1979), 3,8 to 1 (1980), and 9,0 to 1 (1981). The reason for the marked difference in overall spawning-run sex ratios between 1980 and the other two years is unknown, except it is evident that the number of fish on the run in 1980 was noticeably larger. Males evidently participate in the run for a longer period of time. Of the 1 309 smelt (1 072 males and 237 females) finclipped over one sampling night in 1980, there was a return rate of 3,3% (43 fishes, all males) over the next six nights.

Over a night's spawning, the total number of smelt on the run generally increased throughout the night via new arrivals, peaking around 0200 to 0300 hours. By sunrise, most fish had departed from the spawning area.

Temporally, catch data indicated that the largest numbers of spawning smelt occurred on the spawning ground three to four weeks after the run began (third week of April) in 1979 and 1980. By contrast, in 1981 when the spawning run was smaller, the largest catches were obtained the first week of the run in early April. As an index of spawning population size, we calculated an overall mean catch per unit effort (CPUE), i.e., standardized total catch per lift-net haul, for each of the spawning run years and found that relative abundance increased 50% of from 107,7 in 1979 to 162,0 in 1980; however, abundance declined 64% to 58,7 in 1981. This matches up with the length in time of the runs, which included 40+ days in 1979 and 1980 as compared to about 20 spawning days in 1981.

As to age composition of spawning-run fish, five age groups (one to five year-olds) were present on the spawning ground. There appears to be little age-5 spawning in this run. As to first year spawners, one year-olds only partially recruit, with precocious males outnumbering precocious females. The majority of spawners were two year-olds (comprising from 54-88% of the spawning population for 1979-1981), followed by three year-olds. These two age groups comprised up to 99% of the spawning fish in a given year.

Differences in year-class strength are evident when comparing the 1978 and 1979 year classes. A dominant 1978 cohort is indicated which can be followed through three years of sampling. The strength of this year class greatly burgeoned the spawning population in 1980, when these fish were two year-olds.

Smelt are relatively short lived in populations residing in the western Atlantic, and mortality is high as spawners undergo the rigors of riverine spawning at a relatively young age. An

examination of the data for the 1978 year class between 1980 and 1981 supports this contention. Instantaneous rate of total mortality (Z) and total survival rate (S) were determined for age-2+ spawning run smelt. The mean value of S was 0,2137 which indicates the annual mortality of adult smelt averaged 79% in the Jones River. Murawski and Cole (1978) reported that 72% of the adult smelt die in a year in the Parker River/Plum Island Sound complex on the North Shore of Massachusetts.

As for growth, females outgrew males for each age group in length and weight. A large range of lengths in each age group and resulting overlap in lengths amongst age classes made length a poor index of age. Both sexes made their best annual growth in length during the first year, while the largest weight gain on average occurred in the second year for males and during the third year for females.

The growth of fish often varies considerably in different parts of a species geographical range, in that the environment (including temperature variation) strongly influences growth rate. There is a general tendency for marine fishes inhabiting cooler latitudes to attain a larger size than their conspecifics from warmer clines. This often is the result of a slow, but long, continuous growth process, with maturity occurring at an older age.

Mean lengths of smelt by age group from the Jones River agree remarkably well with data from the Parker River spawning run. Of exemplary western Atlantic stocks considered, the four northern populations exhibit slower growth than the Jones and Parker Rivers, which host two southern populations. It takes an additional year of growth for the former to reach comparable sizes of the latter. Farther north and on the Pacific coast, an Arctic population has an even slower growth rate, with no individuals reaching maturity until at least three years of age. These Alaskan smelt, however, live two to three times longer than their more southern counterparts on the Atlantic coast (up to 15 years of age) and ultimately reach greater lengths.

The size of the Jones River smelt-spawning run in 1981 was markedly smaller than the runs of 1979 and 1980. It is also evident that the spawning runs continued to decline and markedly so in the late 1980s and early 1990s. Abnormally high mortalities of smelt occurred at Pilgrim Nuclear Power Station again in 1993 and 1994, with about 9 500 and 10 600 fish affected for each of the years, respectively. With the local population of smelt already low in abundance, we launched a restoration program in the Jones River beginning in 1994, endeavoring to compensate for the chronic impingement of smelt at the nearby power plant.

Our efforts to increase productivity have included augmenting natural smelt egg production and enhancing spawning habitat to optimize egg survival to hatching. During the springs of 1994 and 1995, we stocked a total of ca. 1.8 million smelt eggs into the Jones River which were obtained from two genetically isolated, wild, anadromous populations - one on the South Shore and one on the North Shore of Massachusetts. We also used our sphagnum egg collecting/culture trays to collect the instream demersal, adhesive smelt eggs, thus optimizing egg survival during embryonic development. It has been found that egg densities are 12-15 times higher on plant material. Egg survival, which is impacted by predation and advection of detached eggs, is an important parameter concerning future smelt population growth. Smelt egg survival has been found to be 10 times higher on plant material than on hard substrate. There are limited attached plants on the Jones River spawning ground, and our efforts supplement naturally occurring plant material.

We also have assisted in the removal of tree falls recently which were obstructing smelt upstream passage in the Jones River. In addition, we have supported efforts of the local Jones River Watershed Association to improve overall water quality in the river by procuring funding for stormwater remediation efforts. On a positive note, we have observed substantially increased numbers of spawning-run smelt on the run in 1996, 1998, and 1999, with the spawning runs of the last two years being the

largest in over a decade, including number of fish and egg deposition (densities) throughout the spawning ground.

A decline in smelt populations has taken place in recent times throughout Massachusetts Bay and in Quebec, Canada as well. Causality for the wide-spread declines is conjectural, although there are obvious environmental perturbations, including storm-water runoff, toxicants, nutrient loading, and sedimentation. These alterations degrade water and habitat quality and are likely linked to reduced smelt production. For future remediation efforts in the Jones River, we would like to stress water quality issues to help the local smelt population via watershed runoff treatment and habitat protection by purchasing riparian habitat (green belt) along the spawning stream to prevent development and/or detrimental land use.

#### Selected references

- BAILEY, M.M. 1964. Age, growth, maturity, and sex composition of the American smelt of western Lake Superior. *Trans. Am. Fish. Soc.* 93:382-395.
- CLAYTON, G.R. 1976. Reproduction, first year growth, and distribution of anadromous rainbow smelt, *Osmerus mordax*, in the Parker River - Plum Island Sound estuary, Massachusetts. M.S. Thesis, Univ. Mass., Amherst. 105p.
- DUPEE, D.S., and M. MANHARD. 1975. The rainbow smelt, *Osmerus mordax*, 1974 spawning run in the Town River, Quincy, MA. Dept. of the Army N.E. Div., Corps of Engineers, Waltham, MA. 28p.
- FLAGG, L.N. 1972. The anadromous smelt fishery of Maine. *Maine Dept. Sea Shore Fish. Res. Bull.* 33: 6p.
- HALDORSON, L., and P. CRAIG. 1984. Life history and ecology of a Pacific-Arctic population of rainbow smelt in coastal waters of the Beaufort Sea. *Trans. Am. Fish. Soc.* 113:33-38.
- HAYES, M.L. 1983. Active fish capture methods, p. 123-145. In L.A. Nielsen and D.L. Johnson (eds.), *Fisheries Techniques*, 468p. Am. Fish. Soc., Bethesda, Maryland.
- IWANOWICZ, H.R., R.D. ANDERSON, and B.A. KETSCHKE. 1974. A study of the marine resources of Plymouth, Kingston, and Duxbury Bay. Monograph series No. 17. Mass. Div. Mar. Fish. 37 p.
- KETCHEN, K.S. 1950. Stratified subsampling for determining age distributions. *Trans. Am. Fish. Soc.* 79: 205-212.
- LAWTON, R.P., and S. CORREIA. 1987. Rainbow smelt: fish of rivers and sea. *Massachusetts Wildlife* 37 (1): 8-11.
- MCKENZIE, R.A. 1958. Age and growth of smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), of the Miramichi River, New Brunswick. *J. Fish. Res. Board Can.* 15 (6): 1313-1327.
- MCKENZIE, R.A. 1964. Smelt life history and fishery in the Miramichi River, New Brunswick. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 144. 77 p.
- MURAWSKI, S.A., and C.F. COLE. 1978. Population dynamics of anadromous rainbow smelt, *Osmerus mordax*, in a Massachusetts river system. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107 (4): 535-542.
- MURAWSKI, S.A., G.R. CLAYTON, R.J. REED, and C.F. COLE. 1980. Movements of spawning rainbow smelt, *Osmerus mordax*, in a Massachusetts estuary. *Estuaries* 3 (4): 308-314.
- OUELLET, P., and J.J. DODSON. 1985. Dispersion and retention of anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae in the middle estuary of the St. Lawrence River. *Can. J. Fish. Aqu. Sc.* 42 (2): 332-334.
- REBACK, K.E., and J.S. DICARLO. 1972. Final completion report on the anadromous fish project. Mass. Div. Mar. Fish. Boston, Massachusetts. 113 p.
- ROTHSCHILD, B.J. 1959. Variables influencing the prolarval production of American smelt in Dean Brook, Ellsworth, Maine. M.S. Thesis, University of Maine, Orono. 92p.
- ROTHSCHILD, B.J. 1961. Production and survival of eggs of the American smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), in Maine. *Trans. Am. Fish. Soc.* 90 (1): 42-48.
- RUPP, R.S. 1965. Shore-spawning and survival of eggs of the American smelt, *Osmerus mordax* (Mitchill), in Maine. *Trans. Am. Fish. Soc.* 90 (1): 42-48.
- SAUNDERS, W.P. 1981. Final report: sensitivity analysis of a rainbow smelt population dynamics model. In: *Marine Ecology Studies Related to Operation of Pilgrim Station*. Semi-Annual Report No. 17. Boston Edison Company, Boston, Mass. 19 p.
- STONE AND WEBSTER ENGINEERING CORPORATION. 1975. 316 Demonstration Document, Pilgrim Nuclear Power Station, Units 1 and 2. 245 Summer St., Boston, Massachusetts.
- SUTTER, F.C. 1980. Reproductive biology of anadromous rainbow smelt, *Osmerus mordax*, in the Ipswich Bay area, Massachusetts. M.S. Thesis, Univ. Mass., Amherst. 49p.
- WALTER, G., and W.J. HOAGMAN. 1975. A method for estimating year class strength from abundance data with applications to the fishery of Green Bay, Lake Michigan. *Trans. Am. Fish. Soc.* 104 (2): 245-255.
- WARFEL, H.E., T.P. FROST, and W.H. JONES. 1943. The smelt, *Osmerus mordax*, in Great Bay, New Hampshire. *Trans. Am. Fish. Soc.* 72: 257-262.

## Dynamics of introduced rainbow smelt and evidence of lake whitefish recruitment failure in Lake Nipigon, Ontario

Richard Salmon

### Abstract

Lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) is the most valuable commercial species harvested from Lake Nipigon with annual catches averaging about 65 percent of the entire harvest (all species) since the commercial fishery began in 1917. Rainbow smelt (*Osmerus mordax*) have exhibited a dramatic increase in abundance since first reported occurrence in 1976 and are now a well established component of the fish community. A dip net fishery for rainbow smelt started in 1991 and smelt now make up a large portion of the total reported commercial harvest. As part of the provincial fisheries assessment program, Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit has conducted various sampling programs since the early 1980's to monitor the fishery. Results indicate that lake whitefish recruitment has become more variable and appears to be inversely related to smelt abundance.

### Introduction

Rainbow smelt (*Osmerus mordax*) are an introduced species that have become a well-established component of the Lake Nipigon fish community. Smelt have exhibited a dramatic increase in abundance since first reported occurrence in August 1976 (a single adult smelt captured in a commercial gillnet). Commercial harvesting of smelt began in 1991 and smelt now represent a large portion of the total reported commercial catch.

The potential impact of smelt on indigenous fish species is a concern as the invasion of smelt into freshwater lakes has had a major influence on the structure of fish communities and yields of other species (Colby *et al.*, 1987). Recruitment failure of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) has been a common response to the introduction of smelt in many waterbodies (Evans and Loftus, 1987).

Lake Nipigon supports a commercial fishery that focuses on lake whitefish, lake trout (*Salvelinus namayacush*), walleye (*Stizostedion vitreum*), sauger (*Stizostedion canadense*) and recently rainbow smelt. Lake whitefish is the most valuable commercial species harvested from Lake Nipigon. Presently, lake whitefish

stocks are exhibiting signs of recruitment failure as recruitment has become more variable and appears to be inversely related to smelt abundance (Salmon and van Ogtrop, 1996).

### Data collection

As part of the provincial fisheries assessment program, the Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit has conducted various sampling programs to monitor the fishery and to support decision making by resource managers by providing status information on fish stocks in Lake Nipigon. Commercial harvest reports, commercial catch sampling and index netting projects serve as the primary data sources for assessing fish stock status in Lake Nipigon. A smelt index netting program has been conducted annually, since 1983, to monitor smelt abundance and determine the size and age structure of the spawning population (Salmon and van Ogtrop, 1998). An index netting program was conducted from 1983 to 1997 at two locations to assess stock status of lake whitefish (Salmon and van Ogtrop, 1996; Salmon and Livingston 1998). A Fish Community Index Netting program was initiated in 1997 to provide status information on fish stocks in Lake Nipigon (Salmon and Livingston, 1999).

### Results

Annual commercial catches of lake whitefish have averaged about 65 percent of the entire harvest (all species) since the fishery began in 1917 (figure 1). Lake whitefish accounted for 56 percent of the total reported harvest in 1998. A commercial fishery for rainbow smelt began in 1991 with dip-netters harvesting smelt from accessible stream and river mouths along the Lake Nipigon shoreline during the spring spawning run. The commercial smelt harvest has increased dramatically and now represents a large portion of the total reported harvest (figure 1). In 1998, over 280 000 pounds of rainbow smelt were harvested which represents 32 percent of the total reported commercial harvest.

Rainbow smelt are presently abundant and have exhibited a dramatic increase from low index catches recorded in 1985 and 1986 (figure 2). Initially high levels of smelt abundance were recorded in 1982, 1983 and 1984. A crash to very low levels of abundance followed in 1985 and 1986; and successively high levels of abundance have been observed since 1987. Rainbow smelt were the most abundant species in the Fish Community Index comprising 43% of the total index catch in 1997 and 58% in 1998.

A review of rainbow smelt size and age structure data (table 1) indicates that mean fork length has ranged between 137 and 168 mm and appears to have remained relatively stable. Mean round weight has remained stable ranging between 19 and 35 g. Mean age has ranged from a low of 2.0 to a high of 4.1. An increasing trend in the mean age of the spawning population is evident in recent years. Index catches have had as few as two and as many as seven age groups with smelt from age one to eight years represented in the catch. A shift in age structure is evident in recent years as a larger number of age groups are now represented in the spawning run. Total annual mortality rates have varied between a high of 90 and a low of 42 percent and appear to have stabilized in recent years.

Examination of index catches indicates that zooplankton (67%) and fish (33%) were the most

frequent food items in smelt stomachs. Cannibalism amongst smelt is evident and a diet overlap between smelt and lake whitefish may exist. A diet overlap with ciscoes may also exist. Rainbow smelt serve as forage to predators such as lake trout, burbot, northern pike, walleye, sauger and lake whitefish. Smelt have become a primary forage fish in Lake Nipigon.

Lake whitefish recruitment appears to be inversely related to smelt abundance (figure 3). Lake whitefish recruitment declined during the initial period of smelt abundance (1982-1984) and subsequently increased following a decline in smelt abundance (1985-1987). In 1988, as smelt abundance increased, whitefish recruitment again declined. Smelt abundance remains high (1988-1998) and whitefish year-class production remains weak (1988-1992).

A decline in recruitment of young whitefish, indications of highly variable year-class strength, the presence of consecutively weak year-classes, a shift to an older age structure and an increasing trend in mean age, provide evidence of whitefish recruitment failure in Lake Nipigon (Salmon and van Ogtrop, 1996).

In summary, rainbow smelt are an introduced species that has become a well-established component of the fish community and fishery of Lake Nipigon. Smelt have exhibited a dramatic increase in abundance since first reported occurrence and now represent a large portion of the total commercial harvest. Lake whitefish, the largest component of the commercial harvest, are exhibiting signs of impaired recruitment and whitefish recruitment appears to be inversely related to smelt abundance. Poor recruitment of lake whitefish is expected as smelt abundance remains high.

### References

- COLBY, P.J., P.A. RYAN, D.H. SCHUPP and S.L. SERNS. 1987. Interactions in north-temperate lake fish communities. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 44 (Suppl.2): 104-128.
- EVANS, D.O. and D.H. LOFTUS. 1987. Colonization of inland lakes in the Great Lakes region by rainbow smelt, *Osmerus mordax*:

their freshwater niche and effects on indigenous fishes. *Can. Journal of Fish. and Aqua. Sciences.* 44 (Suppl.2): 249-266.

SALMON, R. and A. van OGTROP. 1996. Status of the lake whitefish fishery in Lake Nipigon. Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR), Northwest Science & Technology, Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit, Technical Report TR-102. 19pp.

SALMON, R. and A. van OGTROP. 1998. Smelt Index Netting (1997). OMNR, Northwest Science & Technology, Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit Data Summary Report. 5 pp.

SALMON, R. and B. LIVINGSTON. 1998. Lake Whitefish Index Netting (1997). OMNR, Northwest Science & Technology, Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit Data Summary Report. 8pp.

SALMON, R. and B. LIVINGSTON. 1999. Lake Nipigon Fish Community Index Netting (1997). OMNR, Northwest Science & Technology, Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit Data Summary, NWST Technical Report TR-119. 8pp.

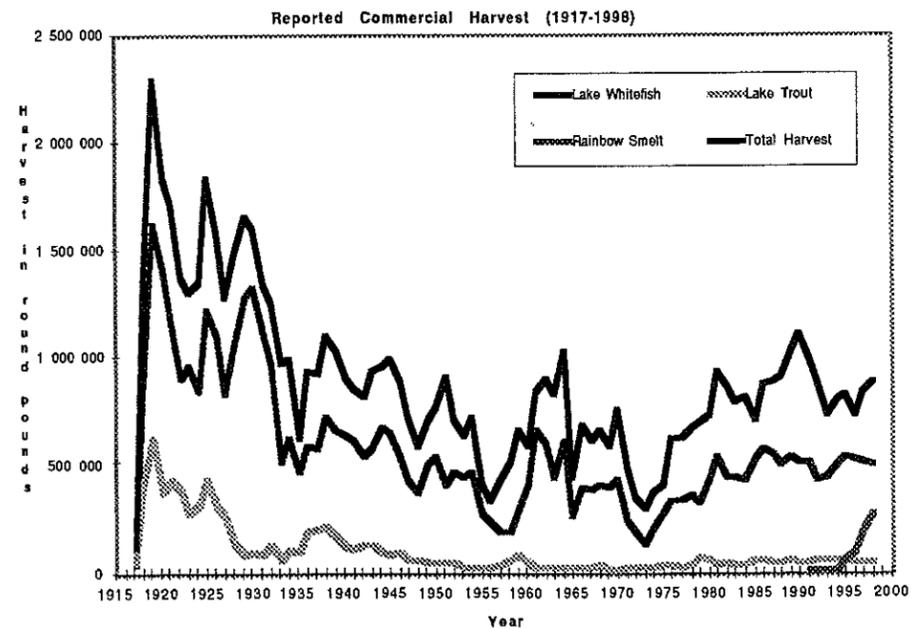


Figure 1 : Reported annual commercial harvest of lake whitefish, lake trout, rainbow smelt and total catch (all species) from Lake Nipigon, 1917-1998.

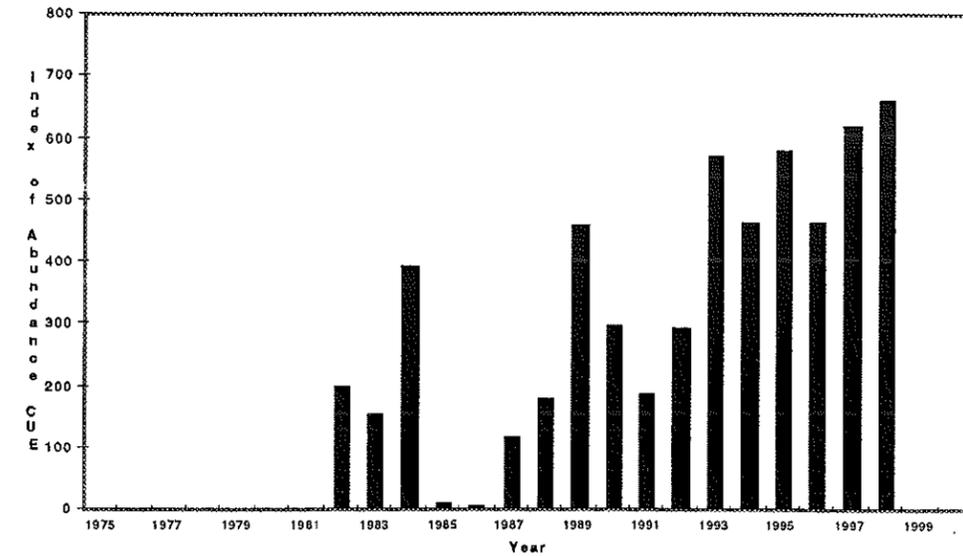
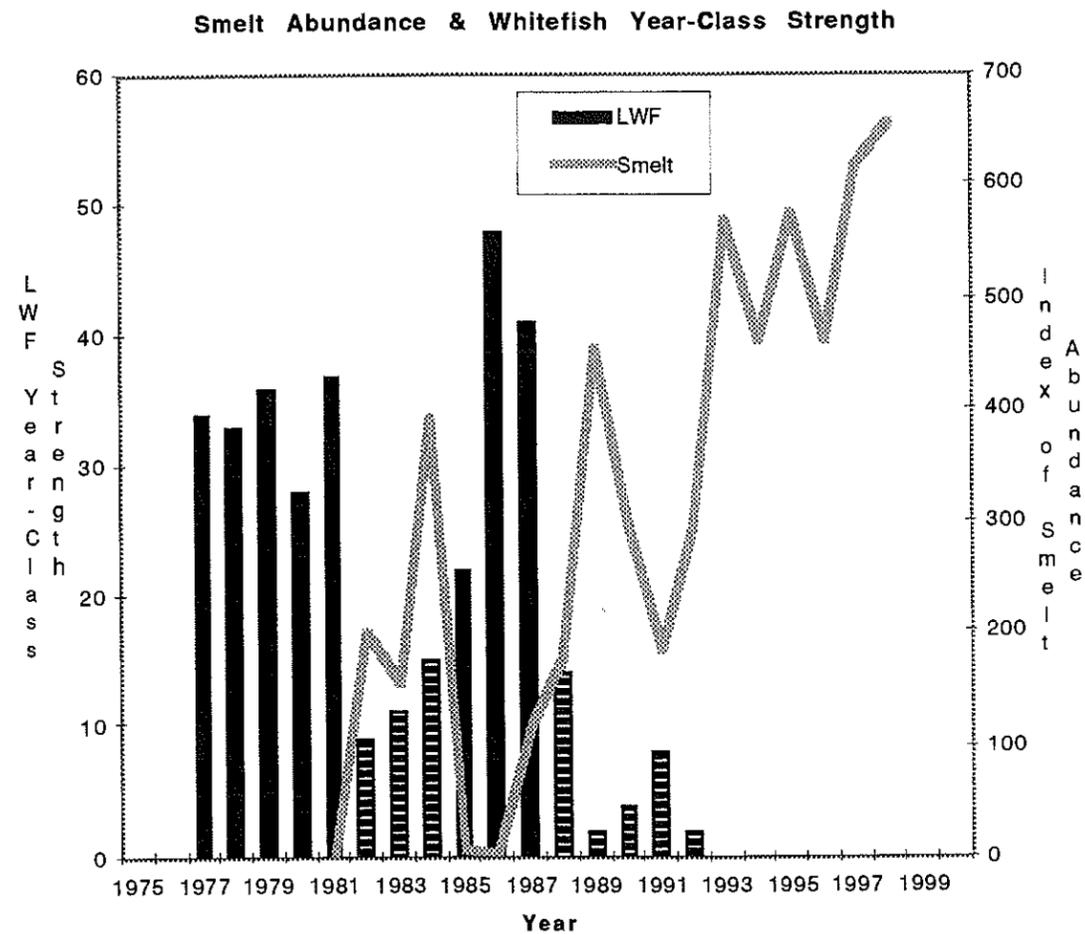


Figure 2 : Rainbow smelt abundance - annual index of abundance (CUE) values for smelt from index netting projects, 1982-1998.

Year	Size & age structure										Total Annual Mortality (%)				
	Size			Age Composition (%)											
	Mean FLEN (mm)	Mean RWT (g)	Mean Age (years)	1	2	3	4	5	6	7		8			
1983	168	35	2.7		40	50	9	1							79
1984	164		2.9	1	37	38	24	<1							54
1985	137	19	2.0		96	4									90
1986	152	32	2.5		47	52	2								87
1987	159	42	2.6		60	21	19								57
1988	165	36	2.9	1	38	40	11	9							47
1989	161	32	2.7	1	42	48	9								54
1990	155	30	2.6		53	38	9								70
1991	148	25	3.1		32	38	24	5	1						69
1992	145	22	2.8		55	21	16	7	<1						58
1993	157	29	3.9		18	29	18	18	13	6					42
1994	156	29	3.7		13	41	24	14	7	1					59
1995	158	32	3.5		35	14	31	16	2	1	1				56
1996	159	31	4.1		19	19	9	36	14	1	1				55
1997	151	26	3.8		21	37	1	13	15	4	1				51
1997 - FCIN	163	34	2.8	5	43	35	7	7	4	<1					60

Table 1 : Size, age structure and total annual mortality statistics for smelt index catches 1983 - 1997. Mean fork length (FLEN) and round weight (RWT) are size attributes. Age structure attributes are mean age and age composition (percent contribution of each age group to annual index catch).



**Figure 3 :** Relationship between rainbow smelt abundance and lake whitefish year-class strength. The solid line represents smelt abundance. The vertical bars illustrate the relative strength of lake whitefish year-classes: solid bars indicate moderate to strong year-classes; hatched bars indicate weak year-classes. The contribution of age 6 lake whitefish to index catches is the measure of year-class strength. Note: the strength of 1993-1998 year-classes has not been measured, as these whitefish are not yet fully vulnerable to the index gear.

## Caractéristiques physico-chimiques des frayères de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent

Marc Simoneau

### Résumé

La qualité de l'eau des frayères à éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent a été caractérisée au printemps 1995, afin de déterminer si les frayères actives des rivières Ouelle et Fouquette et du ruisseau de l'Église présentaient en période de frai une qualité d'eau distincte de celle des frayères inutilisées (rivières Trois-Pistoles, Verte et Boyer). L'exercice visait en particulier à déterminer si la qualité de l'eau de la rivière Boyer, une importante frayère délaissée depuis le milieu des années 80, pourrait expliquer son abandon par les géniteurs. L'analyse des données par des méthodes multivariées (groupement et ordination) révèle que les échantillons des six rivières constituent trois groupes distincts et homogènes sur le plan physico-chimique. Deux des trois frayères actives (la rivière Ouelle et le ruisseau de l'Église) forment un groupe en compagnie des rivières Verte et Trois-Pistoles, tandis que la troisième (la rivière Fouquette) montre une qualité d'eau semblable à celle de la rivière Boyer. Les eaux des rivières Fouquette et Boyer se démarquent des autres rivières par des concentrations d'éléments nutritifs et de solides dissous plus élevés qui découlent surtout des pressions de pollution industrielle dans le cas de la rivière Fouquette et agricole dans celui de la rivière Boyer. La disparition de la frayère de la rivière Boyer et la composition physico-chimique semblable des eaux de la rivière Fouquette et de la rivière Boyer suggèrent que la frayère de la rivière Fouquette est peut-être menacée par la mauvaise qualité de ses eaux.

### Abstract

The water quality of rainbow smelt spawning sites in the St. Lawrence Estuary was assessed in the spring of 1995 to determine whether present spawning grounds (the Ouelle and Fouquette Rivers and the de l'Église Brook) share a similar water quality at spawning time which differs from that of past spawnig sites (Verte, Trois-Pistoles and Boyer Rivers). Of particular interest, the study aimed to establish whether the loss of the Boyer River spawning site, a major spawning ground which was deserted by rainbow smelt in the early eighties, was related to its water quality. Results from a cluster analysis and a factor analysis reveal that samples from the six rivers can be grouped into three different homogeneous clusters. Samples from the Ouelle River and the de l'Église Brook along with those from the Verte and the Trois-Pistoles Rivers share a similar water quality, whereas those from the Fouquette and the Boyer Rivers form a distinct homogeneous group. The latter group differs from the former on the basis of its higher nutrient and total dissolved solids concentrations. Intensive livestock operations in the Boyer River watershed and the presence of an important slaughterhouse and a major dairy industry in the Fouquette River watershed are responsible for their respective poor water quality. The loss of the Boyer River spawning ground and the similarity between the water quality of the Fouquette and the Boyer Rivers suggest that the Fouquette River spawning ground might be jeopardized by its water quality.

Six rivières de la rive sud du fleuve Saint-Laurent ont fait l'objet d'un échantillonnage particulier au printemps 1995 par la Direction des écosystèmes aquatiques (DÉA) du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF). L'objectif de cette étude était de comparer la composition physico-chimique des eaux de trois frayères actives de l'éperlan arc-en-ciel (rivières Ouelle et Fouquette et ruisseau de l'Église) avec celle de deux frayères passées (rivières Boyer et des Trois-Pistoles) et d'une frayère présumée (rivière Verte), afin de vérifier si les deux groupes de rivières présentaient des eaux de qualité différente au moment du frai de l'espèce. L'exercice visait en particulier à déterminer si la rivière Boyer, frayère importante délaissée depuis le début des années 1980, montrait une physico-chimie particulière qui pourrait expliquer son abandon par les géniteurs.

Les douze échantillons prélevés dans chacune des six rivières ont permis de mesurer 23 descripteurs physico-chimiques conventionnels (azote, phosphore, turbidité, conductivité, etc.). L'analyse de la matrice de données a fait appel à des méthodes multivariées afin d'en dégager la structure et d'en permettre l'interprétation. Pour ce faire, nous avons utilisé une méthode d'ordination en espace réduit (l'analyse en composantes principales, ACP) et une méthode de groupement qui utilise la distance euclidienne comme indice de similarité et le groupement à liens complets comme méthode d'agglomération.

Le plan réduit formé par les axes principaux I et II de l'ACP a permis d'expliquer plus de 72% de la variance observée dans les données. La superposition des résultats du groupement sur les composantes principales (position des points-échantillons dans le plan réduit) a permis de positionner les groupes d'échantillons homogènes les uns par rapport aux autres (groupement) et d'identifier les descripteurs qui permettent de les départager. De la même façon, l'identification des échantillons d'une même rivière dans le plan réduit a permis d'illustrer la variance intra-groupe des cours d'eau et leur relation avec les autres rivières.

Le premier des groupes obtenus par l'analyse de groupement était constitué des échantillons du ruisseau de l'Église et de la rivière Ouelle (deux des trois frayères actives), de ceux de la rivière des Trois-Pistoles ainsi que des cinq derniers échantillons prélevés à la rivière Verte. Le deuxième groupe renfermait les sept premiers échantillons de la rivière Verte, tandis que le dernier groupe contenait les échantillons des rivières Fouquette (frayère active) et Boyer (frayère délaissée).

De façon générale, les échantillons du groupe 1 appartiennent à des rivières qui affichent une faible variance intra-groupe ou, en d'autres termes, une composition physico-chimique relativement stable en période de frai (faible dispersion des points-échantillons dans le plan réduit). Positionné du côté gauche de l'axe principal I, ce groupe montre des eaux relativement colorées caractérisées par de faibles concentrations d'azote, de phosphore et de solides dissous. Elles contiennent peu de solides en suspension et présentent les plus faibles mesures de turbidité.

À l'opposé, les échantillons du groupe 3 proviennent de deux rivières caractérisées par une composition physico-chimique plus variable en période de frai (plus grande dispersion des points-échantillons dans le plan réduit). Constitué des points-échantillons des rivières Fouquette et Boyer et positionné du côté droit de l'axe principal I, le groupe 3 présente une composition des eaux caractérisée par des concentrations élevées d'azote, de phosphore et de solides dissous (conductivité plus élevée) qui le différencie du groupe 1. Les rivières Fouquette et Boyer se démarquent l'une de l'autre sur le plan de la couleur et de leurs concentrations d'azote, la rivière Fouquette présentant des eaux plus colorées mais de plus faibles concentrations d'azote. Finalement, les échantillons 1 à 7 de la rivière Verte qui constituent le groupe 2 affichent des concentrations d'azote et de phosphore qui se situent entre celles des groupes 1 et 3 (axe principal I) et présentent les valeurs les plus élevées de turbidité et de solides en suspension (points-échantillons positionnés le long de la partie supérieure de l'axe principal II). Cette rivière

affiche une très grande variabilité puisque ses échantillons se retrouvent dans deux groupes distincts.

Deux des trois frayères actives se retrouvent au sein des rivières du groupe 1 qui présentent la meilleure qualité d'eau en période de frai. Bien qu'elles présentent des bassins versants de dimensions variables, ces rivières subissent de faibles pressions de pollution urbaine, industrielle ou agricole. La densité humaine se situe autour de 8 habitants/km<sup>2</sup>, les superficies cultivées ne dépassent pas 30% du territoire tandis que la densité animale n'excède pas 27 unités animales/km<sup>2</sup>. De plus, elles renferment peu d'entreprises industrielles polluantes.

Si l'on fait exception du ruisseau de l'Église (groupe 1), les bassins versants des rivières Fouquette et Boyer, qui forment le groupe 3, présentent les plus faibles superficies parmi les six cours d'eau étudiés. Semblables sur le plan physico-chimique, les rivières Boyer et Fouquette présentent aussi des similitudes au niveau de l'utilisation de leur territoire. Ainsi, l'agriculture occupe plus de la moitié du territoire de ces deux bassins (respectivement 56% et 58% de leur superficie), ce qui les démarque nettement des autres bassins (5% à 26%). Même si la densité animale est moins élevée dans la rivière Fouquette (47 unités animales (U.A.)/km<sup>2</sup>) que dans la rivière Boyer (107 U.A./km<sup>2</sup>), elle se révèle plus élevée dans ces deux bassins que dans les autres (5 à 27 U.A./km<sup>2</sup>). La différence de densité animale observée entre les bassins Fouquette et Boyer expliquerait les concentrations d'azote plus

élevées de la rivière Boyer. Par ailleurs, les rejets de deux entreprises industrielles importantes (une laiterie et un abattoir) dans le réseau municipal de Saint-Alexandre contribuent au dépassement de la capacité de traitement des ouvrages d'assainissement de cette localité et viennent compenser en partie la densité animale plus faible notée pour la rivière Fouquette. La pollution résiduelle de la station d'épuration qui s'ajoute à la pollution diffuse agricole fait donc en sorte que la composition physico-chimique des eaux de la rivière Fouquette ressemble beaucoup à celle de la rivière Boyer.

Il ressort de cette étude que deux des trois rivières qui abritent des frayères à éperlan actives (rivière Ouelle et ruisseau de l'Église) présentent une composition physico-chimique semblable qui s'apparente à celle d'une ancienne frayère (rivière des Trois-Pistoles) et d'une frayère présumée (rivière Verte). L'absence de frai dans les rivières des Trois-Pistoles et Verte pourrait donc s'expliquer par la détérioration de l'habitat physique de ces rivières plutôt que par des différences d'ordre physico-chimique. À l'opposé, la frayère de la rivière Fouquette présente une composition physico-chimique distincte qui ressemble davantage aux caractéristiques de la frayère abandonnée de la rivière Boyer. La similarité entre ces deux rivières s'explique au départ par la faible superficie de leur bassin versant et par les fortes pressions de pollution qu'elles subissent. Ces pressions sont surtout d'origine agricole dans le cas de la rivière Boyer, tandis qu'elles sont d'origine industrielle et agricole et dans le cas de la rivière Fouquette.

## Facteurs affectant la survie des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de l'estuaire du Saint-Laurent

Pascal Sirois et Julian J. Dodson

### Résumé

Nous avons étudié l'influence de la date d'éclosion, de la trajectoire de croissance et de la rétention estuarienne sur la survie des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Les larves d'éperlan ont été échantillonnées au cours de deux saisons de croissance sur l'ensemble de leur aire de distribution à travers le gradient salin de l'estuaire moyen (0-25 ppm). Les trajectoires de croissance individuelle et les distributions de fréquences des dates d'éclosion ont été reconstruites à partir de la microstructure des otolithes. De fortes abondances de larves ont été observées dans la région en amont de l'estuaire moyen (0-10 ppm) qui correspond à la zone estuarienne turbide (ZET). La période d'éclosion s'est échelonnée pendant 26-27 jours et des taux de mortalité variables ont été observés entre les dates d'éclosion. Ces variations étaient reliées aux conditions d'alimentation présentes lors de la première alimentation des larves (3-5 jours après l'éclosion). Les conditions d'alimentation fluctuent sur une base journalière selon un cycle prévisible de 15 jours associé à la photopériode et à la marée. La comparaison des trajectoires de croissance de larves à différents âges a démontré une influence de la croissance sur la mortalité, favorisant les individus à croissance rapide. De plus, les larves d'éperlan échantillonnées dans la ZET démontraient des taux de croissance significativement plus élevés que celles recueillies en aval de l'estuaire moyen. Conséquemment, nous suggérons que les larves échantillonnées en aval représentent les pertes par transport de la population larvaire de la ZET. Nous concluons que la force de la classe d'âge peut être affectée par le jeûne peu après l'éclosion si celle-ci est plus concentrée dans le temps, ce qui peut être relié à des conditions environnementales extrêmes. Cependant, tous les facteurs qui réduisent le taux de croissance durant le stade larvaire, tels que le parasitisme, sont plus susceptibles d'affecter la force de la classe d'âge.

Chez les poissons, les variations du taux de mortalité au cours du stade larvaire sont en grande partie responsables des fluctuations interannuelles de l'abondance dans les populations (Houde, 1987). Les causes de mortalité les plus importantes chez les larves de poissons sont la prédation, le jeûne et la dispersion (May, 1974 ; Cushing, 1975 ; 1990, Anderson, 1988 ; Sinclair, 1988 ; Bailey et Houde, 1989). L'examen et l'analyse de la microstructure des otolithes permettent d'étudier la croissance et la survie des jeunes stades de vie des poissons. L'âge est déterminé par le dénombrement des accroissements journaliers (Campana et Neilson, 1985) et les tailles à des âges antérieurs sont estimées à l'aide de méthodes de rétrocalcul qui utilisent l'épaisseur de chaque accroissement (Sirois et al., 1998). Les distributions

de fréquences des dates d'éclosion peuvent être calculées à partir de l'âge de la larve et de la date d'échantillonnage (Campana et Jones, 1992). Ces distributions ont été utilisées pour examiner les périodes favorables à l'éclosion des oeufs (Yoklavich et Bailey, 1990).

Les larves de l'éperlan arc-en-ciel anadrome (*Osmerus mordax*) constituent une composante importante de la communauté ichthyoplanctonique de l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Able, 1978), particulièrement dans la zone estuarienne turbide (ZET) qui correspond à la région dynamique du front entre l'eau douce du fleuve et les eaux marines (Dodson et al., 1989 ; Laprise et Dodson, 1989b). Les larves d'éperlan se maintiennent dans la ZET par une migration verticale active reliée aux marées

(Laprise et Dodson, 1989a). Il n'y a pas de prédateur connu des jeunes éperlans dans la ZET. Conséquemment, la mortalité des larves d'éperlan est probablement due au jeûne ou à la dispersion ou à une combinaison des deux facteurs. On s'attend à ce que les larves à croissance rapide démontrent un taux d'alimentation élevé, soient plus résistantes au jeûne et soient en meilleure condition pour effectuer leur migration verticale qui permet la rétention estuarienne. La présence de parasites dans le tractus digestif peut également affecter la survie car les larves d'éperlan parasitées ingèrent deux fois moins de nourriture et sont significativement plus petites que les larves non-parasitées dans la ZET du Saint-Laurent (Sirois et Dodson, sous presse). La même étude a également démontré que les larves d'éperlan se nourrissent seulement lorsqu'il y a coïncidence entre la lumière du jour et la marée montante. Ces périodes sont appelées «fenêtre d'alimentation». Celles-ci varient de 5 à 9 h j<sup>-1</sup> durant le cycle des marées de 15 jours dans la ZET au cours de la saison de croissance. On s'attend à ce que la durée de la fenêtre d'alimentation influence substantiellement le succès d'alimentation des larves d'éperlan, particulièrement quelques jours après l'éclosion lorsque les larves s'alimentent sur une source d'aliment exogène pour la première fois.

Les objectifs de cette étude étaient de vérifier que la survie des larves d'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire moyen du Saint-Laurent était reliée à la date d'éclosion, à la trajectoire de croissance et à la rétention estuarienne. Dans un premier temps, nous avons évalué l'influence de la disponibilité de nourriture au cours de la période d'éclosion sur la survie des larves d'éperlan. Deuxièmement, nous avons examiné la sélection parmi les individus qui montraient des trajectoires de croissances variables au cours du stade larvaire, et troisièmement, nous avons comparé les trajectoires de croissance des larves récoltées dans la ZET avec celles recueillies en aval.

Les larves d'éperlan ont été échantillonnées au cours de deux saisons de croissance sur l'ensemble de leur aire de distribution à travers le gradient salin de l'estuaire moyen (0-25 ppm).

Les trajectoires de croissance individuelles et les distributions de fréquences des dates d'éclosion ont été reconstruites à partir de la microstructure des otolithes. L'utilisation de la microstructure des otolithes pour déterminer l'âge et la croissance des larves d'éperlan arc-en-ciel a été validée lors d'une étude antérieure (Sirois et al., 1998). Plusieurs études ont démontré l'existence de deux populations d'éperlan arc-en-ciel sympatriques génétiquement distinctes dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent (Bernatchez et Martin, 1996). Cependant, une étude récente suggère que les larves exécutant la migration verticale active afin d'exploiter le milieu estuarien pélagique sont principalement issues d'une seule population génétique (Pigeon et al., 1998). Nos données ont été récoltées dans les chenaux de l'estuaire moyen du Saint-Laurent à travers le gradient salin sur l'ensemble de l'aire de distribution (Laprise et Dodson, 1989b) de seulement une des deux populations génétiques, celle qui est généralement associée à la rive nord de l'estuaire (Pigeon et al., 1998).

Nos résultats montrent que de fortes abondances de larves sont observées dans la région en amont de l'estuaire moyen (0-10 ppm) qui correspond à la ZET. La période d'éclosion s'est échelonnée pendant 26-27 jours et des taux de mortalité variables ont été observés entre les dates d'éclosion. Ces variations étaient reliées aux conditions d'alimentation présentes lors de la première alimentation des larves (3-5 jours après l'éclosion). Les conditions d'alimentation fluctuent sur une base journalière selon un cycle prévisible de 15 jours associé à la photopériode et à la marée. La comparaison des trajectoires de croissance de larves à différents âges a démontré une influence de la croissance sur la mortalité, favorisant les individus à croissance rapide. De plus, les larves d'éperlan échantillonnées dans la ZET démontraient des taux de croissance significativement plus élevés que celles recueillies en aval de l'estuaire moyen. Conséquemment, nous suggérons que les larves échantillonnées en aval représentent les pertes par dispersion de la population larvaire de la ZET.

Nous concluons que les variations interannuelles de la force de classe d'âge ne devraient pas être affectées par le jeûne peu après l'éclosion car les larves rencontreront à chaque année de bonnes, moyennes et mauvaises conditions de première alimentation en raison de la durée de la période d'éclosion. Cependant, tous les facteurs qui réduisent le taux de croissance durant le stade larvaire, tels que le parasitisme, sont plus susceptibles d'affecter la variabilité interannuelle de la force de classe d'âge.

Cette étude sera publiée dans MEPS au cours de l'année 2000 :

SIROIS P, DODSON J.J. (sous presse). Critical periods and growth-dependent survival of the larvae of an estuarine fish, the rainbow smelt (*Osmerus mordax*). Mar. Ecol. Prog. Ser.

#### Références

- ABLE, K.W. 1978. Ichthyoplankton of the St. Lawrence estuary: composition, distribution, and abundance. J. Fish. Res. Bd. Can. 35:1518-1531.
- ANDERSON, J.T. 1988. A review of size-dependent survival during prerecruit stages of fishes in relation to recruitment. Jour. Northw. Atl. Fish. Sci. 8:55-66.
- BAILEY, K.M. et E.D. HOUDE. 1989. Predation on eggs and larvae and the recruitment problem. Adv. Mar. Biol. 25:1-83.
- BERNATCHEZ, L. et S. MARTIN. 1996. Mitochondrial DNA diversity in anadromous rainbow smelt, *Osmerus mordax* Mitchell : a genetic assessment of the member-vagrant hypothesis. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53:424-433.
- CAMPANA, S.E. et C.M. JONES. 1992. Analysis of otolith microstructure data. In : Stevenson DK, Campana SE (eds) Otolith microstructure examination and analysis. Can Spec Publ Fish Aquat Sci 117:73-100.
- CAMPANA, S.E. et J.D. NEILSON. 1985. Microstructure of fish otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42:1014-1032.
- CUSHING, D.H. 1975. Marine ecology and fisheries. University Press, Cambridge.
- CUSHING, D.H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish population : an update of the match/mismatch hypothesis. Adv. Mar. Biol. 26:249-293.
- DODSON, J.J., DAUVIN, J.-C., INGRAM RG et B. D'ANGLEJAN. 1989. Abundance of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in relation to the maximum turbidity zone and associated macroplanktonic fauna of the middle St. Lawrence Estuary. Estuaries 12:66-81.
- HOUDE, E.D. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. Am. Fish. Soc. Symp. 2:17-29.
- LAPRISE, R. et J.J. DODSON. 1989a. Ontogeny and importance of tidal vertical migrations in the retention of larval smelt (*Osmerus mordax*) in a well-mixed estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser. 55:101-111.
- LAPRISE, R. et J.J. DODSON. 1989b. Ontogenic changes in the longitudinal distribution of two species of larval fish in a turbid well-mixed estuary. J. Fish. Biol. 35 (Suppl A): 39-47.
- MAY, R.C. 1974. Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In : Blaxter JHS (ed) The early life history of fish. Springer-Verlag, New York, p 3-19.
- PIGEON, D., DODSON, J.J. et L. BERNATCHEZ. 1998. A mtDNA analysis of spatiotemporal distribution of two sympatric larval populations of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence River estuary, Quebec, Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55:1739-1747.
- SINCLAIR, M. 1988. Marine populations. University of Washington Press, Seattle, WA.

SIROIS, P. et J.J. DODSON. (in press). The influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in an estuarine turbidity maximum. Mar. Ecol. Prog. Ser.

SIROIS, P., LECOMTE, F. et J.J. DODSON. 1998. An otolith-based back-calculation method to

account for time-varying growth rate in rainbow smelt larvae (*Osmerus mordax*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55:2662-2671.

YOKLAVICH, M.M. et K.M. BAILEY. 1990. Hatching period, growth and survival of young walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) as determined from otolith analysis. Mar. Ecol. Prog. Ser. 64:13-23.

## Factors affecting survival of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence Estuary

Pascal Sirois and Julian J. Dodson

### Abstract

We investigated the influence of hatch date, growth trajectory and estuarine retention on the survival of rainbow smelt larvae (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence Middle Estuary. Young smelt were collected over their entire distributional range across the salinity gradient of the Middle Estuary (0-25 psu) during two growing seasons. Individual growth trajectories and hatch date distributions were reconstructed from otolith microstructure. High abundances of larvae were observed in the upstream region (0-10 psu) corresponding to the estuarine turbidity maximum (ETM). Larval rainbow smelt hatched in May during a period of 26-27 days and variable mortality rates were observed among hatch dates. These variations were related to the feeding conditions experienced by first-feeding larvae (3-5 days after hatching) that fluctuated from day to day according to a predictable cycle of 15 days associated with photoperiod and tide. Comparison of growth trajectories of larvae at various ages indicated a growth-dependent mortality favouring faster-growing individuals. Furthermore, smelt larvae collected within the ETM exhibited significantly higher growth rate than those sampled in the downstream area of the Middle Estuary, suggesting that larvae collected in the later region represented transport losses from the ETM. We concluded that year-class strength may be affected by the early starvation if hatching were to be more concentrated in time, possibly related to extreme environmental conditions. However, all factors reducing growth rate throughout the larval stage such as parasitism are more susceptible to affect year-class strength.

Variable mortalities during the early life history of fishes are largely responsible for inter-annual fluctuations in the abundance of fish populations (Houde, 1987). Predation, starvation and dispersion are the most important factors likely to contribute to the mortality of fish larvae (May, 1974 ; Cushing, 1975, 1990 ; Anderson, 1988 ; Sinclair, 1988 ; Bailey and Houde, 1989). Examination and analysis of otolith microstructure provides a means to study growth and survival of the early life stages of fish. Daily increment counts provide age estimates (Campana and Neilson, 1985) and increment widths may be used to determine previous size-at-age using appropriate back-calculation procedures (Sirois *and al.*, 1998). Distributions of hatch dates can be estimated from ages of larvae and dates of sampling (Campana and Jones, 1992). These distributions have been used to examine periods of successful hatch dates (Yoklavich and Bailey, 1990).

Larvae of the anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) are major components of the ichthyoplankton community in the St. Lawrence Middle Estuary (Able, 1978), especially in the estuarine turbidity maximum (ETM) which is the dynamic frontal region where freshwater from the river first mixes with saltwater from the sea (Dodson *and al.*, 1989 ; Laprise et Dodson, 1989b). Larval smelt achieve retention in the ETM by active tidal vertical migration (Laprise and Dodson, 1989a). No predator of smelt larvae is known within the ETM. Therefore, mortality of larval smelt is believed to be controlled by starvation, or dispersion, or both. Fast-growing smelt larvae are expected to exhibit high feeding rates, to be more resistant to starvation, and to be in better condition to carry out the vertical migration necessary to achieve estuarine retention. The presence of parasites in the gut may also affect survival because parasitised larval smelt ingested half the amount of food and were significantly

smaller than non-parasitised larvae in the St. Lawrence ETM (Sirois and Dodson, in press). This same study also showed that larval smelt feed only during the coincidence of daylight hours with flooding tide. We use the term 'feeding window' to describe such periods. The feeding window varies from 5 to 9 h d<sup>-1</sup> during a 15-day tidal cycle in the ETM during the growing season. The duration of the feeding window is expected to substantially influence the feeding success of larval smelt, especially during the few days after hatching when larvae start to feed on exogenous food sources for the first time.

The objectives of this study were to verify that survival of rainbow smelt larvae in the St. Lawrence Middle Estuary was related to hatch date, growth trajectory, and ETM retention. We first evaluated the influence of food availability during the hatching period on the survival of smelt larvae. Secondly, we examined the selection among larvae exhibiting variable growth trajectories during early life and thirdly, we compared these trajectories from larvae collected within the ETM with those sampled downstream.

Smelt larvae were collected over their entire distributional range across the salinity gradient (0-25 psu) of the St. Lawrence Middle Estuary during two growing seasons. Individual growth trajectories and hatch date distributions were reconstructed from otolith microstructure. The use of otolith microstructure to determine age and growth of rainbow smelt larvae has been validated in a previous study (Sirois *and al.*, 1998). Several studies have shown the existence of two genetically distinct sympatric populations of smelt in the St. Lawrence Middle Estuary (Bernatchez and Martin, 1996). However recent work suggests that larvae exhibiting active tidal migration to exploit the pelagic estuarine environment originate mostly from one genetic population (Pigeon *and al.*, 1998). Our data were collected in the channels of the St. Lawrence Middle Estuary across the salinity gradient and encompass the entire larval distributional range (Laprise and Dodson, 1989b) of only one of the two genetic populations ; the population that is largely associated with the

north shore of the Estuary (Pigeon *and al.*, 1998).

High abundances of larvae were observed in the upstream region (0-10 psu) corresponding to the ETM. Larval rainbow smelt hatched in May during a period of 26-27 days and mortality rates were variable among hatch dates. These variations were related to the feeding conditions experienced by first-feeding larvae (3-5 days after hatching) that fluctuated from day to day according to a predictable cycle of 15 days associated with photoperiod and tide. Comparison of growth trajectories of larvae at various ages indicated a growth-dependent mortality favouring faster-growing individuals. Furthermore, smelt larvae collected within the ETM exhibited significantly higher growth rate than those sampled in the downstream area of the Middle Estuary, suggesting that larvae collected in the latter region represented dispersal from the ETM.

We concluded that inter-annual variations in year-class strength will not be generally affected by early starvation as larvae will experience recurrently good, medium and bad first-feeding conditions each year due to the length of the hatching period. However, any factor that reduces growth rate during the larval stage, including parasitism, is more susceptible to affect interannual variability in year-class strength.

This study will be published in MEPS during the year 2000 :

SIROIS, P. et J.J. DODSON (in press). Critical periods and growth-dependent survival of the larvae of an estuarine fish, the rainbow smelt (*Osmerus mordax*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*

### References

ABLE, K.W. 1978. Ichthyoplankton of the St. Lawrence estuary : composition, distribution, and abundance. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 35:1518-1531.

ANDERSON, J.T. 1988. A review of size-dependent survival during pre-recruit stages of fishes in relation to recruitment. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 8:55-66.

BAILEY, K.M. et E.D. HOUE. 1989. Predation on eggs and larvae and the recruitment problem. *Adv. Mar. Biol.* 25:1-83.

BERNATCHEZ, L. et S. MARTI. 1996. Mitochondrial DNA diversity in anadromous rainbow smelt, *Osmerus mordax* Mitchill : a genetic assessment of the member-vagrant hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:424-433.

CAMPANA, S.E. et C.M. JONES. 1992. Analysis of otolith microstructure data. In : Stevenson DK, Campana SE (eds) Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117:73-100.

CAMPANA, S.E. et J.D. NEILSON. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42:1014-1032.

CUSHING, D.H. 1975. Marine ecology and fisheries. University Press, Cambridge.

CUSHING, D.H. 1990. Plankton production and year-class strength in fish population: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.* 26:249-293.

DODSON, J.J., DAUVIN, J.-C., INGRAM, R.G. et B. D'ANGLEJAN. 1989. Abundance of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in relation to the maximum turbidity zone and associated macroplanktonic fauna of the middle St. Lawrence Estuary. *Estuaries* 12:66-81.

HOUE, E.D. 1987. Fish early life dynamics and recruitment variability. *Am. Fish. Soc. Symp.* 2:17-29.

LAPRISE, R. et J.J. DODSON. 1989a. Ontogeny and importance of tidal vertical migrations in the retention of larval smelt *Osmerus mordax* in a well-mixed estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 55:101-111.

LAPRISE, R. et J.J. DODSON. 1989b. Ontogenic changes in the longitudinal distribution of two species of larval fish in a turbid well-mixed estuary. *J. Fish. Bio.* 35 (Suppl. A): 39-47.

MAY, R.C. 1974. Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In : Blaxter JHS (ed) *The early life history of fish.* Springer-Verlag, New York, p 3-19.

PIGEON, D., DODSON, J.J. et L. BERNATCHEZ. 1998. A mtDNA analysis of spatiotemporal distribution of two sympatric larval populations of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in the St. Lawrence River estuary, Quebec, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55:1739-1747.

SINCLAIR, M. 1988. Marine populations. University of Washington Press, Seattle, WA.

SIROIS, P. et J.J. DODSON. (in press). The influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in an estuarine turbidity maximum. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*

SIROIS, P., LECOMTE, F. et J.J. DODSON. 1998. An otolith-based back-calculation method to account for time-varying growth rate in rainbow smelt larvae (*Osmerus mordax*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55:2662-2671.

YOKLAVICH, M.M. et K.M. BAILEY. 1990. Hatching period, growth and survival of young walleye pollock *Theragra chalcogramma* as determined from otolith analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 64:13-23.

## Différenciation génétique et morphologique des formes sympatriques naine et normale d'éperlan du Lac Saint-Jean

Robert Saint-Laurent, Michel Legault et Louis Bernatchez

### Résumé

La pêche sportive à la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean est une activité d'importance économique et culturelle majeure pour cette région. Cependant, on observe des fluctuations interannuelles d'abondance et de croissance très importantes de cette ressource, ce qui influence directement les retombées de cette activité. Une des hypothèses retenues pour expliquer ces fluctuations est celle d'une variation dans la production de la proie préférentielle de la ouananiche, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*). La compréhension de la structure populationnelle des éperlans dans le lac pourrait donc s'avérer très importante afin de mieux prédire la production de ouananiche. Nous avons récemment observé deux modes de taille très distincts (longueur à la fourche = 93 mm et 187 mm) de géniteurs d'éperlan se retrouvant aux mêmes aires de fraie et au même moment, et ce dans deux tributaires du lac. Afin de vérifier l'hypothèse nulle voulant que les éperlans représentant ces modes de tailles appartiennent à un même pool génique, nous avons premièrement réalisé une étude morphologique basée sur l'analyse de caractères morphométriques et méristiques. Nous avons de plus, développé et appliqué les premiers loci microsatellites spécifiques au genre *Osmerus*. Ces loci se sont avérés très polymorphes avec un nombre d'allèles par locus variant entre 9 et 17, se traduisant en un estimé de diversité génétique ( $H_e$ ) variant entre 75% et 80%. Nous présenterons les résultats des analyses préliminaires et discuterons de l'utilité des marqueurs génétiques développés pour l'assignation populationnelle à tous les stades de vie, de même que pour l'analyse de contenus stomacaux des ouananiches.

### Abstract

Landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*) sport fishery is of primary economical and cultural importance for the region of Lac Saint-Jean. However, strong interannual fluctuations in growth and abundance directly influence the potential benefits of this activity. One hypothesis considered to explain such fluctuations is that they are related to that of smelt (*Osmerus mordax*) production. Consequently, understanding smelt population structure in the lake may be of importance to better predict salmon production. We recently observed a strong bimodal distribution (fork length = 93 and 187 mm) in the size of adult smelt found on the same spawning grounds at the same time in each of two tributaries. In order to test the null hypothesis of a single gene pool for smelt, we have undertaken a morphological study implying both morphometric and meristic characters. We also developed and applied the first microsatellites specific to *Osmerus*. These loci proved to be highly variable, with the number of alleles per locus varying between 9 and 17, and translating into gene diversity estimates varying between 75% and 80%. We will present the results of our preliminary analyses and discuss the potential usefulness of those markers for population assignment at all life history stages, as well as for salmon diet.

## Introduction

La pêche sportive à la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean est une activité d'importance économique et culturelle majeure pour cette région. Cependant, on observe des fluctuations interannuelles d'abondance et de croissance très importantes de cette ressource, ce qui influence directement les retombées de cette activité.

Le lac Saint-Jean est occupé par quatre populations génétiquement distinctes de ouananiches (*Salmo salar* L.). Ces populations proviennent de quatre tributaires du lac et semblent posséder des aires de répartition distinctes lorsqu'elles sont en lac. On remarque des fluctuations de taille et d'abondance interannuelles dans chacune des populations. Ces fluctuations sont partiellement indépendantes d'une population à l'autre.

Une des hypothèses retenues pour expliquer ces fluctuations est celle d'une variation dans la production de la proie préférentielle de la ouananiche, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*). La compréhension de la structure populationnelle des éperlans dans le lac pourrait donc s'avérer très importante afin de mieux prédire la production de ouananiche.

Jusqu'à tout récemment, aucun site de reproduction d'éperlan n'était connu au Lac Saint-Jean. Deux sites ont été identifiés en 1998 (Legault, 1999) : l'embouchure de la rivière Ashuapmushuan et l'embouchure de la rivière Péribonka. Pour ces deux sites, au même moment, on a remarqué deux modes de taille très distincts (longueur à la fourche = 93 mm et 187 mm) chez les géniteurs.

L'objectif principal de ce projet de recherche est de comprendre la structure populationnelle des éperlans au lac Saint-Jean et, par le fait même, d'élucider la nature et l'origine des formes naine et normale. Pour ce faire, l'hypothèse nulle de la présence d'un seul pool génique (une seule population) avec plasticité phénotypique présent dans le lac sera vérifiée. Les hypothèses alternatives en découlant sont : un seul pool génique par rivière (deux populations)

avec plasticité phénotypique ; 2 pools géniques (deux populations) un pour chaque forme ; 4 pools géniques (quatre populations), 2 nains et 2 normaux.

## Matériel et méthode

### Différenciation morphologique

L'analyse morphologique a été effectuée par une analyse discriminante sur 20 caractères morphométriques et 3 méristiques. Les données morphométriques utilisées pour ces analyses ont préalablement été corrigées pour l'effet de taille, indépendamment pour les deux formes, selon la méthode des résidus de régression proposée par Fleming *et al.*, 1994. Les données ont été prises sur 75 individus : 50 provenant de la rivière Péribonka (25 nains et 25 normaux) et 25 nains de la rivière Ashuapmushuan. Tous ont été capturés au filet maillant lors de la fraie en mai 1998.

### Différenciation génétique

L'analyse de fréquences alléliques de locus neutres est nécessaire pour tester l'hypothèse nulle d'absence de différenciation génétique ainsi que pour quantifier le flux génique entre les formes. Pour ce faire, les marqueurs microsatellites sont utilisés. Il est maintenant reconnu que les marqueurs microsatellites sont parmi les meilleurs marqueurs pour effectuer ce genre d'étude.

Les locus microsatellites sont des régions du génome nucléaire qui ne codent pour aucune protéine constituée de répétitions en tandem de nucléotides. Ces régions sont dotées de séquences flanquantes conservées qui permettent leur amplification et ainsi l'évaluation de leur taille. Ils sont parmi les séquences d'ADN ayant l'évolution la plus rapide. Leur taux de mutation varie entre  $2.5 \times 10^{-5}$  et  $10^{-2}$  mutations/locus/génération. Ceci fait d'eux des régions qui peuvent être très variables, du même coup, les rendent très utiles comme marqueurs pour des études génétiques intraspécifiques, comme c'est le cas ici. Ils sont également largement distribués dans le génome ; approximativement un microsatellite à tous les 6 kb

chez l'homme. Ils sont aussi considérés comme étant neutres (non soumis à la sélection). De plus, ils sont logistiquement avantageux. En effet, seulement un petit morceau de tissu est nécessaire.

Un test de différenciation, exécuté avec la méthode de Fisher, sera effectué sur les fréquences alléliques de chacun des locus afin de vérifier s'il y a différence significative dans la distribution des fréquences entre les formes. Des différences significatives dans la distribution des fréquences alléliques permettent d'affirmer qu'il y a reproduction non aléatoire entre les formes et donc, présence de pools géniques différents. Pour quantifier l'ampleur de cette différenciation, les variables  $F_{st}$  et  $R_{st}$  seront utilisées. Plus l'ampleur de la différenciation est grande, plus l'isolement reproductif est grand.

## Résultats

### Différenciation morphologique

L'analyse discriminante indique une différence significative entre les formes ( $p < 0,05$ ). Les deux variables contribuant le plus à discriminer les deux formes sont de nature trophique soit : le nombre de branchicténie et l'angle du maxillaire. L'espace entre les branchicténies, l'aire de l'œil et la longueur du maxillaire sont aussi des variables qui contribuent significativement à la fonction discriminante ( $F > 1,00$ ). Du fait, un reclassement effectué *a posteriori* donne une efficacité de 81%.

### Différenciation génétique

Les quatre locus développés jusqu'ici, se sont avérés très polymorphes avec un nombre d'allèles par locus variant entre 9 et 22, se traduisant en un estimé de diversité génétique ( $H_e$ ) variant entre 25% et 92%.

Le test de différenciation effectué sur les fréquences alléliques révèle la présence de différences significatives dans la distribution des allèles pour trois des quatre locus ( $p < 0,003$ ). Ce qui est suffisant pour réfuter la présence

d'un seul pool génique dans le lac Saint-Jean. L'ampleur de la différenciation nous révèle qu'elle s'effectue par rivière plutôt que par forme. En effet, les valeurs de  $F_{st}$  obtenues entre les nains et normaux de la rivière Péribonka sont de l'ordre de 0,011. Tandis qu'elles sont de 0,044 entre nains provenant de Péribonka et d'Ashuapmushuan et de 0,068 entre normaux de Péribonka et nains d'Ashuapmushuan.

Des tests de reclassement basés sur les génotypes des individus nous permettent de reclasser les poissons dans leur rivière respective dans 100% des cas. Ceci peut s'appliquer aux ouananiches et pour identifier la provenance de larves d'éperlans.

## Discussion

Les données accumulées jusqu'ici démontrent qu'il existe une dichotomie phénotypique entre les éperlans provenant d'une même rivière et que le pool génique semble être divisé entre les poissons de différentes rivières et non entre les formes d'une même rivière. Ces résultats supportent l'hypothèse que les éperlans frayant dans les rivières constituent deux populations génétiquement distinctes et que les formes qu'on y retrouve ne sont pas isolées génétiquement mais sont plutôt le fruit de plasticité phénotypique. Il est important de noter, qu'à la lumière de ces résultats, on peut affirmer que les variations phénotypiques ne reflètent pas toujours nécessairement la structure génétique des populations.

## Travaux futurs

Cette présentation étant le fruit de travaux de maîtrise en cours, les résultats qui y sont mentionnés sont préliminaires. Un échantillonnage plus poussé ( $n=70$  pour chaque groupe) ainsi qu'un répliqua temporel sont présentement sous analyses. Le nombre de marqueurs microsatellites sera aussi augmenté. De plus, la possibilité qu'il y ait une forme frayant en lac n'est pas écartée.

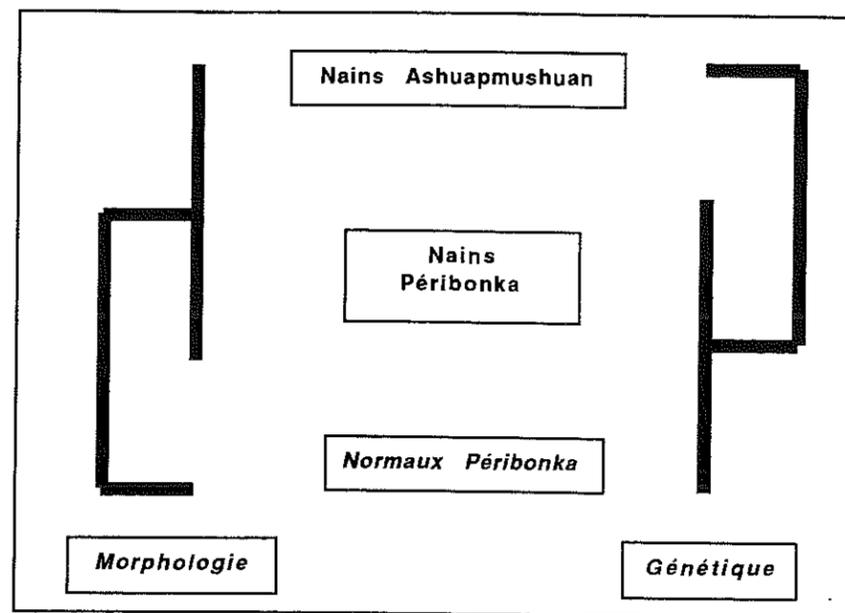


Figure 1 : Les variations phénotypiques ne reflètent pas toujours nécessairement la structure génétique des populations.

#### Remerciements

Gilles Mercier (FAPAQ), pour son aide précieuse sur le terrain.

Dr Thierry Wirth, pour son aide au laboratoire.

CLAP (Corporation LACTivité Pêche Lac Saint-Jean) : Marc Archer.

CRSNG.

#### Références sélectionnées

BERNATCHEZ, L., CHOINARD, A. et G. LU. 1999. Intergrading molecular genetics and ecology in speciation studies; coregonid fishes as a case study. *Biol. J. Linnean Soc.*

MC PHAIL, J.D. 1984. Ecology and evolution of sympatric sticklebacks (*Gasterosteus*): morphological and genetic evidence for a species pair in Enos Lake, British Columbia. *Can. J. Zool.* 71: 515-523.

ROBINSON, B. W. et D.S. WILSON. 1994. Character release and displacement in fishes: a neglected literature. *The American Naturalist* 144, 596-627.

TAYLOR, E. B. et P. BENTZEN. 1993. Evidence for multiple origins and sympatric divergence of trophic ecotypes of smelt (*Osmerus*) in Northeastern North America. *Evolution* 47, 813-832.

TESSIER, N., BERNATCHEZ, L. et J.M. WRIGHT. 1997. Population structure and impact of supportive breeding inferred from mitochondrial and microsatellite DNA analyses in landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.).

## Restauration de la rivière Boyer

Guy Trenchia

### Résumé

La rivière Boyer était l'une des plus importantes frayères de la population d'éperlan du sud de l'estuaire dans les années 1950 et 60. L'éperlan a commencé à la désertion à la fin des années 60 et la pêche au carrelet y fut interdite à partir de 1977. La baisse de fréquentation s'est toutefois poursuivie jusqu'à la désertion totale au milieu des années 1980. Les problèmes de qualité de l'eau sont ceux qui expliquent avec le plus de certitude cette désertion. Un projet de restauration a commencé au début des années 1990 en réunissant les principaux intervenants du milieu. Ceux-ci ont convenu de restaurer la qualité de l'eau par une approche de gestion intégrée sur le bassin versant de la Boyer. Les informations pertinentes au territoire ont été rassemblées et analysées. La production agricole et les surplus de déjections animales produits sont responsables de l'enrichissement en nutriments (phosphore et azote) et de la contamination bactériologique de l'eau. Ceci provoque une croissance excessive d'algues et de périphyton sur le substrat qui servait autrefois de frayère. Le projet de restauration en cours vise à assurer une meilleure gestion des engrais de ferme par un service conseil aux entreprises agricoles. La problématique des surplus reste cependant entière tant que des plans de fertilisation basés sur un dosage du phosphore ne seront pas en vigueur. Au-delà de ces questions, il faut se demander pourquoi l'éperlan ne visite pas la rivière Boyer alors qu'il fraye dans des tributaires du Saint-Laurent situés à l'amont et à l'aval de la Boyer, le long de la rive sud. Deux hypothèses se posent : une ou des substances présentes dans l'eau exercent un effet répulsif ; les marques olfactives des activités de fraye antérieures sont trop loin dans le temps pour être perceptibles. Des recherches seront poursuivies pour clarifier ces hypothèses et corriger la situation.

### Abstract

The Boyer river was, in the fifties and the sixties, one of the most important spawning ground for the St. Lawrence south shore rainbow smelt population. A decline was reported by the end of the sixties so that fishing was prohibited on the spawning ground starting from 1977. The decline went on until total disappearance happened in the mid-eighties. A restoration project was initiated in 1990 with the main groups concerned. The goal is to restore water quality in a integrated approach on a watershed level. First, all the data on the watershed was collected, then analysed. The agricultural production and the manure surplus are now identified as the main responsible for the nutrients excess (in phosphorus and nitrogen) and the bacterial contamination of the surface water. Algae and periphyton are now found covering what was the spawning ground. The restoration project is aimed at giving counselling on best agricultural practices to farmers. The manure surplus will remain unresolved until the fertilization management gets based on the phosphorus needs of the cultures. Besides these questions, we have to be better understand why rainbow smelt doesn't enter into the Boyer river since it is present in other St. Lawrence tributaries, upstream and downstream of the Boyer. Two hypothesis are open : wether there is a substance coming in the water that is repulsive to the smelt; on the other hand, no trace from past spawning activity is detectable to the smelt. Research is needed to test these hypothesis while work is done to restore water quality.

## Introduction

L'éperlan arc-en-ciel qui peuple le fleuve Saint-Laurent se partage en, au moins, quatre populations dont l'une est particulièrement identifiée à la rive sud de l'estuaire (Bernatchez et Martin, 1993 ; Bernatchez et al., 1995). La reproduction de cette population qui a connu un déclin très sévère de 1960 à 1999 reposait sur quelques frayères connues à la rivière Ouelle, à la rivière Fouquette (Kamouraska), au ruisseau de l'Église (Beaumont) et à la rivière Boyer (Trenca et al., 1990 ; Robitaille et Vignault, 1990). Cette dernière offrait l'une des plus importantes frayères de la population d'éperlan du sud de l'estuaire dans les années 1950 et 60. L'éperlan a commencé à la désertion à la fin des années 60 et la pêche sportive en saison de reproduction y fut interdite à partir de 1977. La baisse de fréquentation s'est toutefois poursuivie jusqu'à la désertion totale au milieu des années 1980. Les problèmes de qualité de l'eau sont ceux qui expliquent avec le plus de certitude cette désertion.

## Matériel et méthode

Un projet de restauration a commencé au début des années 1990 en réunissant les principaux intervenants du milieu. Ceux-ci ont convenu de travailler à restaurer la qualité de l'eau par une approche de gestion intégrée sur le bassin versant de la rivière Boyer. Les informations pertinentes au territoire ont été rassemblées et analysées. La pollution d'origine municipale, la production agricole et les surplus de déjections animales produits ont été examinés et mis en relation avec l'enrichissement en nutriments (phosphore et azote) et la contamination bactériologique de l'eau. Le phosphore est susceptible de provoquer une croissance excessive d'algues et de périphyton sur le substrat qui servait autrefois de frayère.

## Résultats

D'une superficie totale de 217 kilomètres carrés, le bassin de la rivière Boyer est occupé à 60% par l'agriculture et à 40% par la forêt, ce qui lui confère une vocation nettement agricole (Laflamme et al., 1998). Le bassin compte quelques 275 fermes qui couvrent

13 289 hectares de terres en culture. De ce nombre, près des trois quarts sont consacrés à la production de légumineuses et de graminées fourragères ; les céréales à paille et le maïs (grain et fourrager) occupent respectivement 20% et 7% des superficies cultivées. Les productions porcines et bovines tiennent une place prépondérante dans le bassin de la rivière Boyer. Le porc compose 55% et le bovin 38% des 23 055 unités animales recensées. On dénombre en moyenne 1,8 unité animale par hectare de terre en culture dans le bassin.

Les fertilisants appliqués sur les terres en culture dans le bassin de la rivière Boyer génèrent annuellement des excédents de 317 tonnes de phosphore et de 630 tonnes d'azote par rapport aux prélèvements par les plantes. Si on compare ces quantités aux rejets urbains, soit 0,7 tonne de phosphore et 16,8 tonnes d'azote, on comprend que l'enrichissement des cours d'eau du territoire en substances nutritives découle principalement des activités agricoles. À l'embouchure du bassin, on estime que les pertes nettes de substances nutritives qui se jettent directement dans le fleuve s'élèvent à 20 tonnes pour le phosphore et à 365 tonnes pour l'azote. Le tonnage de phosphore et d'azote perdu est susceptible de s'accroître avec la progression constante du cheptel dans le bassin.

L'ensemble des cours d'eau du bassin subit une importante contamination microbienne d'origine surtout agricole. Des dépassements fréquents de la norme de 200 coliformes fécaux par 100 millilitres d'eau limitent les activités de contact direct avec l'eau comme la baignade qui ont disparu. Les activités de contact indirect comme la pêche, le piégeage et le canotage peuvent aussi présenter certains risques pour la santé, sauf dans les huit derniers kilomètres de la rivière Boyer.

Tributaires de la rivière Boyer, les rivières Boyer Sud, Boyer Nord de même que le ruisseau du Portage sont aussi de mauvaise qualité en regard de l'eutrophisation, car leurs teneurs en phosphore total dépassent tout le temps la valeur du critère, soit 0,03 mg/L de P. D'ailleurs, on observe beaucoup d'algues et de plantes aquatiques dans ces cours d'eau durant

la période de mai à octobre en raison d'un enrichissement excessif en substances nutritives qui provient des activités agricoles.

Le projet de restauration en cours vise à assurer une meilleure gestion des engrais de ferme par un service conseil aux entreprises agricoles. La problématique des surplus reste cependant entière tant que des plans de fertilisation basés sur un dosage du phosphore ne seront pas appliqués.

## Conclusion

Au-delà de ces questions, il faut se demander pourquoi l'éperlan ne visite pas la rivière Boyer alors qu'il fraye dans des tributaires du Saint-Laurent situés à l'amont et à l'aval de la Boyer, le long de la rive sud.

Deux hypothèses se posent : une ou des substances présentes dans l'eau exercent un effet répulsif sur les éperlans qui pourraient s'engager dans la rivière à partir du fleuve. Le lisier de porc à lui seul émettrait dans l'atmosphère quelque deux cents substances différentes dont certaines que le nez humain associe à une sensation désagréable.

L'autre hypothèse serait que les marques olfactives des activités de fraye antérieures sont trop loin dans le temps pour être perceptibles. Les éperlans sont connus par exemple pour émettre une odeur similaire à celle du concombre que McDowell et al., 1993 ont attribué au *trans-2-cis-6-nonadienal*. Cette odeur pourrait peut-être jouer un rôle pour attirer les congénères comme cela a été constaté chez d'autres espèces (Foster, 1985 ; Horall, 1981). Des recherches seront poursuivies pour clarifier ces hypothèses et corriger la situation.

## Références

- BERNATCHEZ, L. et S. MARTIN. 1993. Caractérisation de la structure populationnelle de l'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire du Saint-Laurent par analyse de restriction de l'ADN mitochondrial.; rapport interne, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de Québec, Direction régionale du Bas Saint-Laurent/Gaspésie/
- Îles-de-la-Madeleine, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Québec. 34 pages.
- BERNATCHEZ, L., S. MARTIN, A. BERNIER, S. TREMBLAY, G. TRENCA, G. VERREAULT et Y. VIGNAULT. 1995. Conséquences de la structure génétique de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) pour la réhabilitation de l'espèce dans l'estuaire du Saint-Laurent. Ministère des Pêches et des Océans, Direction de la gestion de l'habitat du poisson, Québec. 46 pages.
- CENTRE ÉCOLOGIQUE DU LAC ST-JEAN INC. 1996. Incubation d'oeufs d'éperlan au ruisseau de l'Église. Rapport interne pour SLV-2000, progr. Interactions Communautaires IC-131. 20 p. + 6 annexes
- FOSTER, N.R. 1985. Lake trout reproductive behavior: Influence of chemosensory cues from young-of-the-year by-products. Trans. Amer. Fisheries Society 114 :794-803.
- HORALL, R.M. 1981. Behavioral stock-isolating mechanisms in Great Lakes fishes with special reference to homing and site imprinting. J. Canadien Sciences Halieutiques et Aquatiques, 38 (12) : 1481-1496.
- LAFLAMME, D., I. PICHÉ, A. MICHAUD, Y. BÉDARD, G. TRENCA, R. LAROCHE, L. CHAMPAGNE et J.M. GOUIN. 1998. Situation environnementale du bassin de la rivière Boyer. Ministère de l'Environnement et de la Faune et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation en collaboration avec Saint-Laurent Vision 2000 et le Groupe d'Intervention pour la Restauration de la Boyer, 202 p.
- MCDOWALL, R.M., B.M. CLARK, G.J. WRIGHT et T.G. NORTHCOTE. 1993. Trans-2-cis-6-nonadienal: The cause of cucumber odor in Osmerid ans retropinid Smelts. Trans. American Fisheries Society. 122 :144-147.
- PETTIGREW, P. 1997. Suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 1994, 1995 et 1996. 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, Rivière-du-Loup. 53 p.

ROBITAILLE, J.A. et Y. VIGNEAULT. 1990. L'éperlan arc-en-ciel anadrome de l'estuaire du Saint-Laurent : Synthèse des connaissances et problématique de restauration des habitats de fraye dans la rivière Boyer. Rapp. Manus. Can. Sci. Halieut. Aquat. No 2057 : vi + 56 p.

SWALES, S. 1982. Environmental effects of river channel works used in land drainage improvement. J. Environmental Management 14 :103-126 in TRENCIA, G. 1986. L'habitat du poisson et la canalisation des cours d'eau à des fins agricoles, Ministère

Loisir, Chasse et Pêche, rapport synthèse. 39 pp.

TRENCIA, G. 1991. Vérification de la fraye de l'éperlan arc-en-ciel dans des tributaires du Saint-Laurent dans la région de Québec en 1989. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Québec. 7 pages.

TRENCIA, G., G. VERREALUT et D. CARRIER. 1990. Le passé, le présent et le futur de l'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire : une histoire de disparition ou de restauration. Symposium sur le Saint-Laurent, un fleuve à récupérer. Collection Environnement et Géologie, vol. 11, Association des Biologistes du Québec, pp.472-496.

## Reproduction de l'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent

Guy Verreault, Pierre Pettigrew, Rémi Tardif et Guy Trenchia

### Résumé

Le suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du sud de l'estuaire du Saint-Laurent est réalisé annuellement sur deux des trois frayères de cette population. Cinq années de travaux nous permettent maintenant de caractériser le déroulement de la fraie et les principaux paramètres de l'écologie de la reproduction. L'évaluation de cette population repose essentiellement sur les résultats recueillis lors de ces travaux. Un échantillonnage stratifié réalisé en aval des frayères sert à recueillir les données sur l'activité de reproduction. L'arrivée des reproducteurs se fait ordinairement lorsque la température de l'eau atteint 4°C dans les tributaires et la saison de montaison dure moins de deux semaines. Le pic de migration est observé pendant trois à six jours. Les éperlans profitent de la marée montante pour accéder aux frayères, les individus de taille supérieure précédant les plus petits. Les poissons de trois ans constituent le principal segment de la population des reproducteurs, l'importance des individus de deux ans est variable selon les années. La maturité sexuelle est atteinte lorsque la taille est supérieure à 100 mm. Le rapport des sexes penche en faveur des mâles. La contribution des différentes cohortes à l'activité de reproduction est variable à chaque année. Pour évaluer adéquatement le succès de reproduction, nous avons développé un indice de déposition des oeufs qui tient compte des différentes caractéristiques des reproducteurs. Cet indice peut être utilisé comme outil prédictif pour évaluer le potentiel de recrutement annuel et la contribution de chaque cohorte aux activités de reproduction.

### Introduction

L'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire est une population anadrome génétiquement distincte des autres populations du Saint-Laurent. Autrefois abondante, cette population a vu ses effectifs diminuer considérablement au cours des 25 dernières années. La désertion des importantes frayères de la rivière Boyer par les reproducteurs s'associe bien au déclin observé. L'abandon des frayères résulte essentiellement de la dégradation de la qualité de l'eau et des modifications de l'habitat de fraye. Depuis la fin des années'80, seulement trois frayères connues assurent le maintien de cette population à son niveau actuel. Elles sont situées dans le ruisseau de l'Église, la rivière Ouelle et la rivière Fouquette. Elles représentent respectivement 5%, 66% et 29% des superficies de frayères utilisées sur tout le territoire de la rive sud de l'estuaire couvrant une distance de plus de 400 km. Un nombre

limité de tributaires de fraye ainsi que leur vulnérabilité potentielle rendent donc cette population vulnérable. Étant donné la quasi-disparition des débarquements commerciaux de cette espèce dans le secteur d'étude, nous devons trouver un autre indice de suivi pour connaître l'état et les tendances de cette population. L'existence de seulement trois tributaires de fraye, les difficultés logistiques et financières associées à un éventuel suivi dans un habitat de croissance estuarien de 3 300 km<sup>2</sup> et le fait que la totalité du segment reproducteur soit concentrée sur les frayères pendant une courte période au printemps nous ont incité à amorcer un suivi intensif de la population de reproducteurs en 1990. Après quelques années d'acquisition de connaissances de base sur l'activité de reproduction, nous avons mis en place un programme du suivi intensif de cette population sur deux des trois tributaires utilisés à partir de 1994. Ce suivi est actuellement l'outil privilégié pour la

gestion et l'évaluation des efforts de restauration de cette population.

### Objectifs

Les travaux entrepris depuis 1994 poursuivent essentiellement trois objectifs principaux :

1. Déterminer la force des différentes cohortes composant le segment reproducteur de la population d'éperlans arc-en-ciel. Décrire leurs paramètres biométriques, leurs rapports des sexes et leurs relations morphométriques.
2. Documenter l'écologie de la reproduction de cette population. Déterminer les paramètres environnementaux (température de l'eau, phase du cycle de marée, etc.) qui régissent l'arrivée des reproducteurs et l'initiation de la fraye. Évaluer les caractéristiques des habitats utilisés et identifier les différentes phases chronologiques du cycle complet en eau douce (montaison, fraye, retour à l'estuaire, incubation, éclosion et dévalaison des larves vers leur habitat de croissance).
3. Et enfin, développer un indice prévisionnel du recrutement à partir des informations recueillies sur la composition du segment des reproducteurs et de leurs caractéristiques biométriques. Valider la valeur de cet indice en lui couplant celles du recrutement des cohortes produites.

### Méthodologie

L'échantillonnage des reproducteurs dans les tributaires de fraye impose que la stratégie d'acquisition des données soit indépendante des contraintes environnementales. Pendant quatre ans, nous avons tenté de mettre au point des techniques d'échantillonnage pour le plus important tributaire : la rivière Ouelle. Cette rivière d'une largeur moyenne de 40 m peut atteindre des débits printaniers de l'ordre de 250 m<sup>3</sup>/sec. Les frayères utilisées se retrouvent à plusieurs endroits dans le tronçon de 7 km soumis à l'influence des marées et toutes les techniques utilisées ne permettaient pas d'échantillonner correctement les reproduc-

teurs en montaison. Les travaux réalisés sur le ruisseau de l'église, le plus petit des trois tributaires, sont inutilisables pour répondre aux objectifs recherchés. Des problèmes reliés à l'échantillonnage nous empêchent de traiter adéquatement les résultats obtenus. Notre choix s'est alors porté sur l'autre tributaire qui se retrouve en aval de la rivière Ouelle : la rivière Fouquette. Ses caractéristiques hydrologiques permettent un échantillonnage efficace des géniteurs en aval des sites de déposition des oeufs. L'échantillonnage se réalise la nuit, lors de la marée montante à l'aide d'une épuiette à mailles rigides dont l'ouverture de 1 626 cm<sup>2</sup> est orientée vers l'aval pour capturer les poissons en montaison. Afin d'éviter les biais engendrés par l'arrivée synchrone des reproducteurs avec la marée montante, nous avons ajusté nos périodes d'échantillonnage pour toujours obtenir la même phase de marée au site de capture.

L'échantillonnage couvre une plage de 1:25 heure, au cours de laquelle 5 périodes de captures de 5 minutes sont réalisées à un intervalle de 20 minutes. Les poissons capturés sont dénombrés à chaque période. Un sous-échantillon aléatoire de cinquante individus est prélevé pour déterminer chez chaque éperlan sa taille, sa masse, son sexe et l'observation des pathologies externes. Un prélèvement d'écaillés est aussi réalisé pour détermination ultérieure de l'âge.

Le traitement des données est réalisé selon les procédures statistiques appropriées en s'assurant qu'elles respectent les conditions d'application pour chacun des tests.

### Résultats

De 1994 à 1998, nous avons échantillonné 19 225 éperlans en aval des frayères de la rivière Fouquette. Le maximum se situant à 6 177 en 1995 et le minimum à 1 126 en 1996. Les autres espèces capturées sont marginales et essentiellement composées de quelques centaines d'épinoches à trois épines. À part l'épinoche, la rivière n'est pas utilisée par d'autres poissons migrateurs comme site de reproduction.

Les variables environnementales qui influencent le déroulement de la reproduction sont principalement associées à la température de l'eau du tributaire ainsi qu'à l'amplitude des marées nocturnes du début du printemps. Les éperlans se présentent à l'embouchure du tributaire vers la fin de la crue printanière lorsque la température de l'eau s'élève au-dessus de 4°C. À partir de 6°C, on assiste généralement à une accélération des montaisons vers les frayères. La fin des montaisons n'est pas dictée par la température mais plutôt par l'épuisement des cohortes de reproducteurs. L'amplitude des marées, qui atteint 5 mètres dans ce secteur de l'estuaire, agira principalement sur l'accès au tributaire en rendant franchissables des obstacles qui ne le sont pas à marée basse. Ces obstacles, qui se situent à l'embouchure sont caractérisés, à marée basse, par des vitesses de courant supérieures à 2 mètres par seconde.

L'abondance de l'éperlan sur les frayères est très variable selon les années. Les captures par unité d'effort (CPUE) illustrent bien les variations d'abondance inter annuelles. Les plus faibles abondances furent enregistrées en 1996 avec une CPUE de 53 éperlans par 5 minutes de pêche et les plus fortes furent observées en 1997 avec des CPUE de 743 éperlans/5 min d'échantillonnage, soit quatorze fois plus que l'année précédente. L'évolution journalière des CPUE à l'intérieur d'une même saison nous renseigne aussi sur la durée de l'utilisation du tributaire comme site de fraye. Pour une année type, comme en 1998, on peut observer que la présence des reproducteurs dans la rivière Fouquette est très courte. On a atteint le pic de montaison après seulement trois jours de captures significatives, puis une diminution graduelle et rapide sur une période de trois jours. L'essentiel de l'activité de reproduction se réalise donc à l'intérieur d'une seule semaine. Le principal facteur environnemental qui module cette arrivée massive des reproducteurs est la température de l'eau du tributaire.

Le rapport des sexes des échantillons récoltés est toujours à l'avantage des mâles. Ce rapport oscille de 1,1 mâle pour 1 femelle en 1994 et 1996, jusqu'à 2,4 pour 1 en 1995. La prépondérance de ceux-ci est cependant variable tout

au cours de la saison de reproduction. Au début de la saison, on ne retrouve que des mâles. Par la suite, à mesure que l'on atteint le pic d'abondance, la proportion relative des femelles augmente puis diminue par la suite jusqu'à la fin de la saison. On a observé que le rapport des sexes varie aussi au cours d'une même nuit d'échantillonnage. La proportion des mâles est très supérieure à celle des femelles au début de la montaison, les femelles apparaissent ensuite massivement au centre de la nuit d'échantillonnage et les mâles retrouvent leur prépondérance relative par la suite.

### Les paramètres biométriques

La structure de taille des reproducteurs est très variable selon les années. Quelquefois unimodale comme en 1994, 1995 et 1998, elle peut aussi adopter un profil bimodal les autres années. La plage de variation des tailles des reproducteurs se situe habituellement à l'intérieur de 15 centimètres. Aucun reproducteur n'a une taille inférieure à 100 millimètres (longueur à la fourche), et le plus long mesurait 260 mm. La borne inférieure de 100 mm correspond à la taille minimale à laquelle un individu devient sexuellement mature dans cette population. Les structures de taille changent aussi tout au cours de la saison, les plus grands individus précédant les plus petits lors des montaisons. L'observation des tailles moyennes nous indique que celles-ci diminuent légèrement au fur et à mesure que la saison avance pour se terminer avec les plus petits poissons échantillonnés.

Les différents profils de distribution des tailles pour chaque année trouvent leur explication dans la proportion des différentes cohortes au sein du groupe des reproducteurs.

La structure d'âge des éperlans matures est habituellement composée d'individus dont les âges varient entre 2 et 7 ans. Cette structure est normalement dominée par une ou deux cohortes. Lors des cinq années d'échantillonnage, la cohorte des individus de 3 ans était la plus abondante durant quatre saisons. À l'âge de 3 ans, les éperlans sont tous sexuellement matures et peuvent participer aux activités de

reproduction. Une partie seulement de ceux qui ont deux ans se retrouvent sur les frayères. Si on se fie à la structure d'âge des différentes années d'échantillonnage, on pourrait croire que les individus de trois ans sont les principaux acteurs de la fraye. Même s'ils sont habituellement les plus nombreux, il n'existe pas de relation proportionnelle entre leur abondance relative et la déposition d'oeufs sur les frayères. La proportion de femelles dans une cohorte mais surtout leur fécondité aura une influence majeure sur l'ampleur de la déposition.

La fécondité des femelles croît proportionnellement avec la taille. À mesure que celles-ci vieillissent et gagnent en taille, le nombre d'oeufs qu'elles produisent augmente exponentiellement. On peut donc croire que malgré des effectifs qui diminuent en raison de la mortalité annuelle, la productivité globale de femelles d'une cohorte donnée sera compensée, dans une certaine mesure, par une augmentation de la fécondité individuelle jusqu'à l'extinction complète de cette cohorte. Lorsqu'une forte cohorte est produite, elle pourra contribuer très significativement à la déposition des oeufs sur les frayères pendant plusieurs années. Si on décompose par âge les captures annuelles des femelles en leur couplant leur valeur de fécondité, on obtient une représentation de la contribution relative de chaque cohorte pour une année de fraye. Dans ce cas-ci, on observe que la cohorte produite en 1991 a effectué la plus forte déposition en 1994 alors qu'elle avait trois ans. Cette même cohorte contribuera encore majoritairement au cours des années 1995 et 1996. Même en 1997, alors qu'elles sont âgées de 6 ans et qu'elles ne représentent plus que 1,6% du total des individus en montaison, elles effectueront encore une déposition significative sur les frayères. Plus récemment, la cohorte de 1995 semble très importante et déposera vraisemblablement la majorité des oeufs pour les prochaines années. Les facteurs régissant ce phénomène n'ont pas été déterminés dans le cadre de nos travaux. Nous pouvons cependant émettre quelques hypothèses. La première qui nous vient à l'idée fait intervenir des notions de stock recrutement. Ce peut être aussi la prédation intra-spécifique, déjà observée dans quelques grands lacs ou

encore un taux variable d'éclosion annuel engendré par des conditions environnementales plus ou moins favorables, etc. L'évaluation de la fécondité et de l'importance relative de chaque cohorte peut nous renseigner sur l'ampleur de la déposition des oeufs sur les frayères à chaque année. Cette information peut ensuite être traitée pour avoir un indice du recrutement produit pour une année donnée.

L'indice de déposition des oeufs que nous avons développé vise donc en premier lieu à nous donner une évaluation la plus précise de l'ampleur de la fraye. Cet indice fait appel à plusieurs informations recueillies au cours de la montaison annuelle. Nous introduisons dans notre modèle les variables suivantes :

- la structure de taille des femelles reproductrices,
- la structure en âge des femelles reproductrices,
- l'indice gonado-somatique,
- les CPUE annuels moyens des femelles et
- le nombre de nuit où les montaisons furent significatives.

Nous ne tenons pas compte des mâles dans ce modèle car nous ne croyons pas qu'ils soient un élément limitant dans la reproduction ; ils sont toujours plus nombreux que les femelles. Le modèle génère une matrice de 17 lignes (tailles) et 7 colonnes (âges) qui permet d'identifier les segments de la population qui contribuent le plus à la déposition des oeufs sur les frayères. En 1997, l'I.D.O. a atteint la valeur de 12,0 et ce sont les femelles de 3 ans qui furent majoritairement responsables du dépôt des oeufs. Elles furent suivies par ordre d'importance par celles de 5, 6, 2 et 4 ans. Il devient alors possible de comparer cet indice pour plusieurs années pour en évaluer les variations. Cet indicateur est beaucoup plus précis que la seule évaluation de l'abondance des montaisons pour juger l'intensité des activités de reproduction et du potentiel de recrutement d'une année. Cet indice pourrait s'avérer beaucoup plus puissant si nous pouvions y coupler une évaluation annuelle du succès d'éclosion. Lors des douze jours que

dure, en moyenne, l'incubation des oeufs, les fluctuations des conditions environnementales au printemps peuvent fortement influencer le succès de reproduction et engendrer un recrutement variable même en présence d'années possédant un I.D.O. semblable.

En conclusion, la population d'éperlan arc-en-ciel du sud de l'estuaire du Saint-Laurent se caractérise, lors de la période de reproduction par :

- Une utilisation restreinte de seulement trois tributaires de fraye ayant des superficies variables.
- Un début de montaison dans les tributaires lorsque l'eau atteint une température de 4°C et un pic d'activité à partir de 6°C. Elles se produisent vers la fin avril et le début du mois de mai.
- L'abondance des reproducteurs est variable selon les années.
- Les montaisons durent rarement plus d'une semaine, mais leur intensité peut être très forte.
- Les mâles sont toujours plus abondants que les femelles. Au cours de la montaison, ils précèdent et suivent le contingent de femelles vers les frayères.
- La taille des reproducteurs varie entre 100 et 260 mm et aucun individu mature ne mesure moins de 100 mm. Les plus petits individus atteignent les frayères après les plus gros.
- Les poissons de 3 ans dominent habituellement le nombre des reproducteurs.
- Les cohortes d'âge supérieur, même moins nombreuses, peuvent jouer un rôle déterminant dans la déposition des oeufs sur les frayères.

- L'incubation des oeufs dure 12 jours en moyenne.
- Le développement d'un indice de déposition des oeufs a permis d'évaluer la contribution relative de chaque cohorte à l'effort de reproduction. Il permet aussi d'évaluer avec précision le potentiel de recrutement d'une année. La détermination d'un taux d'éclosion annuel permettrait d'obtenir un outil prédictif puissant.
- Enfin, le suivi de la reproduction de cette espèce permet de mieux documenter l'une des étapes les plus cruciales du cycle vital de cette population vulnérable.

### Bibliographie

- PETTIGREW, P. 1997. Suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 1994, 1995 et 1996. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, Rivière-du-Loup. Viii + 53 pages.
- PETTIGREW, P. et G. VERREAULT. 1998. Suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 1997. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, Rivière-du-Loup. Viii + 32 pages.
- PETTIGREW, P. et G. VERREAULT. 1999. Suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 1998. Faune et Parcs, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, Rivière-du-Loup. 29 pages.
- TARDIF, R. 1999. Inventaire des sites potentiels de fraye de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de Bic à Matane et vérification des frayères des rivières Fouquette et Ouelle. Faune et Parcs Québec, Direction régionale du Bas-Saint-Laurent, Rivière-du-Loup. 24 pages.

## Reproduction of Rainbow Smelt on the St. Lawrence Estuary

Guy Verreault, Pierre Pettigrew, Rémi Tardifet Guy Trencia

### Abstract

Rainbow smelt (*Osmerus mordax*) spawning survey on the south shore of the St. Lawrence estuary is carried out annually on two of the three spawning tributaries for this population. Monitoring over the last five years now enable us to characterize the course of the spawning season and major reproduction ecology parameters. Population management rests primarily on the results collected during these works. A stratified sampling carried out downstream the spawning grounds is used to collect data on spawning activity. Spawners usually arrive when water temperature reaches 4°C and spawning activity last less than two weeks. Migration peak is observed during 3 to 6 days. Smelt uses the rising tide to reach the spawning beds, longer fish preceding the smallest. Three years old fish are the most abundant in the population, relative abundance of two years old fish is variable according to years. No sexually mature smelts are recorded with fork length smaller than 100 mm. Sex ratio is skewed toward male fish. Age-class composition is variable year after year. In order to adequately evaluate annual spawning success, we developed an egg deposition index which takes account of different spawners characteristics. The index can be used as a predictive tool to evaluate annual recruitment potential and relative age-class abundance on the spawning grounds.

### Introduction

The rainbow smelt found along the Saint-Lawrence belongs to one of the four distinct populations known, one of which is identified to the south shore (Bernatchez et Martin, 1993; Bernatchez et al., 1995). The reproduction of this population who declined severely between 1960 and 1999, was supported by a few spawning grounds located in the Ouelle, Fouquette (Kamouraska), Église and Boyer rivers (Trencia et al. 1990; Robitaille et Vignault, 1990). This last river was, in the fifties and the sixties, one of the most important spawning ground for the Saint-Lawrence south shore rainbow smelt population. A decline was reported by the end of the sixties so that fishing was prohibited on the spawning ground starting from 1977. The decline went on until total disappearance happened in the mid-eighties. Water quality problems are the one to explain the most probably this desertion.

### Material and methods

A restoration project was initiated in 1990 with the people from the main groups of inte-

rest concerned. The goal is to restore water quality in an integrated approach on a watershed level. First, all the data on the watershed was collected then analysed. The agricultural production, the manure surplus and the municipal used waters were documented and put in relation to the nutrients increase in the river (nitrogen and phosphorus) and bacterial contamination. Phosphorus is the main element responsible for algae and periphyton growth that are now found covering what was the spawning ground.

### Results

The Boyer watershed spreads over 217 km<sup>2</sup> of which 60% is covered by agricultural land and 40% by forested land therefore having a main agricultural vocation (Laflamme et al., 1998). There are some 275 farm occupying 13 289 hectares of cultivated land. Hay is produced on three quarters of this land while cereals and corn respectively cover 20% and 7% of the cultivated land. Pork and bovine productions respectively represent 55% and 38% of the 23 055 animal units. There is an average of

1,8 animal unit per hectare of cultivated land in the watershed.

Nutrients (organic and chemical) spreaded over cultivated land exceeds what is harvested by 317 tons of phosphorus and 630 tons of nitrogen. As a comparison, the municipal contribution to the nutrients going to the river is of 0,7 ton of phosphorus and 16,8 tons of nitrogen making it clear that the problem is mainly of agricultural origin. At the mouth of the Boyer river in the Saint-Lawrence, an estimated 20 tons of phosphorus and 365 tons of nitrogen are leaving the watershed, representing an equivalent value of 360 000 \$ CAN in chemical nutrients. The amount of phosphorus and nitrogen lost is expected to increase with the growth in animal units on the watershed.

All the tributaries within the watershed show at all times concentrations of total phosphorus above the 0,03 mg/L norm and are under a bacteriological contamination from agricultural sources. Evaluations frequently overpass the 200 fecal coliforms per 100 milliliter norm and does not permit direct contact activities as swimming. Activities with indirect water contact like fishing, trapping or canoeing also represent a risk. The abundance of algae and aquatic plants betrays the high levels of nutrients in the tributaries as in the main river.

### Conclusion

The restoration project try to set in place a better manure management with the help of counselling services offered to each farm. The surplus situation however will remain the same until the fertilisation practices get based on the exact phosphorus amount needed per unit area.

Besides these questions, we have to better understand why rainbow smelt does not enter into the Boyer river while it spawns in other Saint-Lawrence tributaries, upstream and downstream of the Boyer. Two hypothesis are open: whether there is a substance coming in the water that is repulsive to the smelt; for instance, hog liquid manure contains some 200 substances some of which are perceptible by humans and offensive.

On the other hand, no trace from past spawning activity is detectable to the smelt spawners since the Boyer river has been deserted in the mid eighties. Smelt are known to leave an odor similar to cucumber which has been identified by McDowell et al., 1993 as *trans-2-cis-6-nonadienal*. This odor could be involved in attracting other smelt even a year later as has been observed with laketrout (Foster 1985; Horall, 1981). Research is needed to test these hypothesis while work is done to restore water quality.

### Bibliography

- BERNATCHEZ, L. and S. MARTIN. 1993. Caractérisation de la structure populationnelle de l'Éperlan arc-en-ciel de l'estuaire du Saint-Laurent par analyse de restriction de l'ADN mitochondrial; rapport interne, Min. du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Dir. régionale de Québec, Direction régionale du Bas Saint-Laurent/Gaspésie/Îles-de-la-Madeleine, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Québec. 34 pages.
- BERNATCHEZ, L., S. MARTIN, A. BERNIER, S. TREMBLAY, G. TRENCIA, G. VERREULT and Y. VIGNAULT. 1995. Conséquences de la structure génétique de l'Éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) pour la réhabilitation de l'espèce dans l'estuaire du Saint-Laurent. Ministère des Pêches et des Océans, Direction de la gestion de l'habitat du poisson, Québec. 46 pages.
- CENTRE ÉCOLOGIQUE DU LAC SAINT-JEAN. INC. 1996. Incubation d'oeufs d'éperlan au ruisseau de l'Église. Rapport interne pour SLV-2000, programme Interactions Communautaires IC-131. 20 pages, 6 annexes.
- FOSTER, N.R. 1985. Lake trout reproductive behavior: Influence of chemosensory cues from young-of-the-year by-products. Trans. Amer. Fisheries Soc. 114:794-803.
- HORALL, R.M. 1981. Behavioral stock-isolating mechanisms in Great Lakes fishes with special reference to homing and site imprint-

ting, J. Canadien Sciences Halieutiques et Aquatiques, 38 (12): 1481-1496.

LAFLAMME, D., I. PICHÉ, A. MICHAUD, Y. BÉDARD, G. TRENCA, R. LAROCHE, L. CHAMPAGNE and J.M. GOUIN. 1998. Situation environnementale du bassin de la rivière Boyer. Ministère de l'Environnement et de la Faune et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation en collaboration avec Saint-Laurent Vision 2000 et le Groupe d'Intervention pour la Restauration de la Boyer. 202 pages.

MCDOWALL, R.M., B.M. CLARK, G.J. WRIGHT and T.G. NORTHCOTE. 1993. Trans-2-cis-6-nonadienal: The cause of cucumber odor in Osmerid and retropinid Smelts. Trans. American Fisheries Society. 122:144-147.

PETTIGREW, P. 1997. Suivi de la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel de la rive sud de l'estuaire du Saint-Laurent en 1994, 1995 et 1996. 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, Rivière-du-Loup. 53 pages.

ROBITAILLE, J.A. and Y. VIGNEAULT. 1990. L'éperlan arc-en-ciel anadrome de l'estuaire

du Saint-Laurent: Synthèse des connaissances et problématique de restauration des habitats de fraye dans la rivière Boyer. Rapport Manus. Can. Sci. Halieut. Aquat. No 2057: vi + 56 pages.

SWALES, S. 1982. Environmental effects of river channel works used in land drainage improvement. J. Environmental Management 14:103-126 in TRENCA, G. 1986. L'habitat du poisson et la canalisation des cours d'eau à des fins agricoles, Ministère Loisir, Chasse et Pêche, rapport synthèse. 39 pp.

TRENCA, G. 1991. Vérification de la fraye de l'éperlan arc-en-ciel dans des tributaires du Saint-Laurent dans la région de Québec en 1989. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de Québec, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune, Québec. 7 pages.

TRENCA, G., G. VERREAU and D. CARRIER. 1990. Le passé, le présent et le futur de l'éperlan arc-en-ciel de l'estuaire: une histoire de disparition ou de restauration. Symposium sur le St-Laurent, un fleuve à récupérer. Collection Environnement et Géologie, vol. 11, Association des Biologistes du Québec. pp.472-496.

## Response of young of the year lacustrine rainbow smelt to the introduction of anadromous alewives

Trial, Joan G. and Frederick W. Kircheis

### Abstract

Rainbow smelt (*Osmerus mordax*) were collected in Lake George, a 134 ha central Maine lake, from 1987 to 1996 to determine growth and diet. Zooplankton community structure and water quality were also monitored. From 1991 to 1993, anadromous alewives (*Alosa pseudoharengus*) were stocked annually at the rate of 15 sexually mature adults/ha. Alewives did not have free access to the lake before and after this period. In some of the winters before 1992 there was commercial harvest of adult smelt. A bottom trawl was used to collect smelt biweekly from mid-June through early October each year. On each sampling date we attempted to collect, measure length, and retain stomachs for at least 30 young-of-the-year (YOY) rainbow smelts. The location and depth of successful trawls were used to characterize seasonal trends in habitat use relative to alewife presence. Catch per unit time and distance for successful trawls, in conjunction with the proportion of successful trawls, were examined as indicators of abundance. Assuming a common "birthday" allowed us to estimate von Bertalanffy growth curves for YOY smelt. Growth was better in the years when alewives were being stocked in the lake and more items occurred in YOY smelt stomachs. While the number of copepods was highest for this period, there was fewer cladocera and insects eaten than when alewives were absent. It seems likely that alewives, by reducing the population of larger predator plankton, increased the availability of smaller plankton.

### Introduction

A ten year cooperative study on the effects of anadromous alewife restoration on the ecology of a Maine lake was conducted by Maine's Departments of Inland Fisheries & Wildlife, Marine Resources, and Environmental Protection. Lake George, a 134 ha lake in the Kennebec drainage in central Maine was selected for the study. It has a mean depth of 8 m and maximum depth 22.6 m. Fish species present are a mix of introduced and native species, including, in addition to rainbow smelt; smallmouth bass, brown trout, brook trout, white perch, yellow perch, chain pickerel, brown bullhead, American eel, cusk, golden and common shiners, three spined sticklebacks, white sucker, and fallfish. The study had three phases: from 1987 to 1990 background data were gathered in the absence of anadromous alewives, excluded from the lake since the 1830's (before); from 1991 to 1993 adult alewives were stocked at a rate of 15 adults/ha (during); alewife stocking cea-

sed in 1994, and data were gathered until 1996 (after). In 1990, commercial bait dealers "discovered" the lake and harvested adult smelt during that winter and the winter of 1991, after which MDIF&W closed the lake to commercial harvest. Water quality, plankton communities, and alewife growth, diet, and emigration were included in the study, however, this paper will focus only on young-of-the-year (YOY) rainbow smelt growth and diet.

### Methods

We used a 5 meter otter trawl to capture smelt, sampling by-weekly from May to October. However, this paper only presents data collected between June and September, when young-of-the-year (YOY) smelt were caught consistently. We did not trawl standard transects on each sampling date, but adjusted trawling area, depth, and duration in an attempt to capture our goal of 30 YOY smelt to evaluate growth and diet among the three study phases.

Growth was compared using Von Bertalanffy growth equation coefficients. YOY smelt diet and plankton composition and size were compared among phases. The average number of different diet items was compared among the study phases using non-parametric statistics. Density, which can affect both growth and diet, was inferred from capture data for each study phase.

### Results and discussion

**Growth.** We assigned May 1 as the birthday for all cohorts (smelt spawn in April in Lake George) and estimated Von Bertalanffy growth equations for YOY smelt collected during all phases of the study. YOY smelt growth was significantly faster during the period when alewives were being stocked. The equations for smelt growth in the three periods differed both in asymptotic length ( $L_{\infty}$ ) and growth coefficient ( $K$ ) (figure 1). We hypothesize this was the result of changes in YOY smelt diet, mediated by alewife restructuring of the plankton community and decreased YOY smelt densities.

**Diet.** Rotifera were dominant in the plankton community, with Copepoda next in abundance followed by Cladocera. Throughout the study 93% of the YOY had food in their stomachs. Food items were enumerated by major group. Rotifers were not enumerated in the diet, even though they are known to be important to YOY smelt especially in the first month of life. Without diet data on Rotifers, YOY smelt diet items were primarily Copepoda and Cladocera, with a small component of insects. YOY smelt contained about twice the number of food items during the period alewives were in the lake than during either other period. Additionally, the items they consumed changed.

Before alewife introduction, Cladocera were selected by YOY smelt, their occurrence in the diet disproportionate to that in the plankton (figure 2), while in the two other phases, Copepoda dominated the diet and plankton. This overall pattern persisted from June through September. Cladocera densities in the plankton were lower during the period that alewives

were stocked compared to background data (figure 2). The group's densities were even lower in early summer following cessation of stocking. The average size of individual species of Cladocera was unaffected by alewife predation. However, species composition changes were indicative of a shift to medium and smaller sized species.

Copepoda became more important in YOY smelt diet during alewives stocking in the lake and from 1994 to 1996. Copepoda density in the plankton was higher in early summer during the period alewives were in the lake, but overall were similar to those during the background period. Copepoda densities in the last period of the study were significantly reduced. Copepoda increased in importance in the diet during the study, although their relative abundance in the plankton was unchanged (figure 2). There were significant changes in YOY consumption of Cyclopoid and Calanoid copepoda. From 1987 to 1990, Cyclopoids were the dominant copepod group in the diet, while after that Calanoids were consumed more often (figure 3). This is likely related to the size structure of the groups, because only annual variations were noted in relative abundances of the two types of Copepoda. Calanoids were significantly larger while alewives were in the lake and Cyclopoids were significantly smaller (figure 4). It seems that YOY smelt were targeting prey by size more than taxon.

**Density.** Our skill at collecting the target 30 YOY smelt increased throughout the study as we learned where and when to trawl. Therefore, the number of trawls, trawl duration, and catch rates varied annually (figure 5). During the first two years we made long trawls and had several large captures of YOY smelt (> 400 in 1 haul). Catch rates were lowest in 1990 and 1991, the summers following the commercial harvests. We also found that we were more likely to capture YOY in some areas of the lake. This seemed to be related to month, proximity to spawning areas, and depth (figure 6). Catch rates of YOY smelt were broken down into early summer (June & July) and late summer (Aug. & Sept.) because as the YOY grew they became more vulnerable to our trawl. They also moved

into somewhat deeper water, but not the deepest portion of the lake. Catch rates during the period alewives were being stocked were significantly lower than the other two periods (figure 6). While high catch rates can often be maintained as populations decline, low catch rates are good indications of decreased density. Another indicator of low YOY populations was the significantly higher proportion of yearling and older smelt (13.3%) in the catch during years with alewife stocking compared to before (1.25%) and after (6.14%).

### Conclusions

YOY growth was fastest during the three years period that anadromous alewives were stocked into Lake George. Smaller sized plankton increased in abundance in the same period, with increased densities of rotifers. Smelt YOY consumed more items and the composition of their diet changed, probably related to the influence of anadromous alewives on the size structure of the plankton community. YOY densities were also lowest during the period of alewife stocking, which also may have played a role in increased growth. However, we have no way of knowing what combination of factors caused the decreased density; our high trawl catches in the early years of the study, commercial harvest of adults in 1990 and 1991, competition with juvenile alewives, or some other factor.

### Selected references

- BROOKS, J.L. and S.I. DODSON. 1965. Predation, body size and composition of plankton: the effect of a marine planktivore on lake plankton illustrates theory of size, competition, and predation. *Science*. 150:28-35.
- GATELY, G.F. 1978. Competition for food between landlocked rainbow smelt (*Osmerus mordax*) and landlocked alewives (*Alosa pseudoharengus*) in Echo Lake, Maine. M.S. Thesis. University of Maine, Orono, ME. 94 pp.
- MCCULLOUGH, R.D. 1978. Food niche dimensions of larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*). M.S. Thesis. University of Maine, Orono, ME. 57 pp.
- SIEFERT, R.E. 1972. First food of larval yellow perch, white sucker, bluegill, emerald shiner and rainbow smelt. *Transactions American Fisheries Society*. 101 (2):219-225.
- URBAN, T.P. and S.B. BRANDT. 1993. Food and habitat partitioning between young-of-year alewives and rainbow smelt in southeastern Lake Ontario. *Environmental Biology of Fishes*. 36:359-372.
- WARSHAW, S.J. 1972. Effects of alewives (*Alosa pseudoharengus*) on the zooplankton of Lake Wononskopomuc, Connecticut. *Limnology and Oceanography*. 17 (6):816-825.

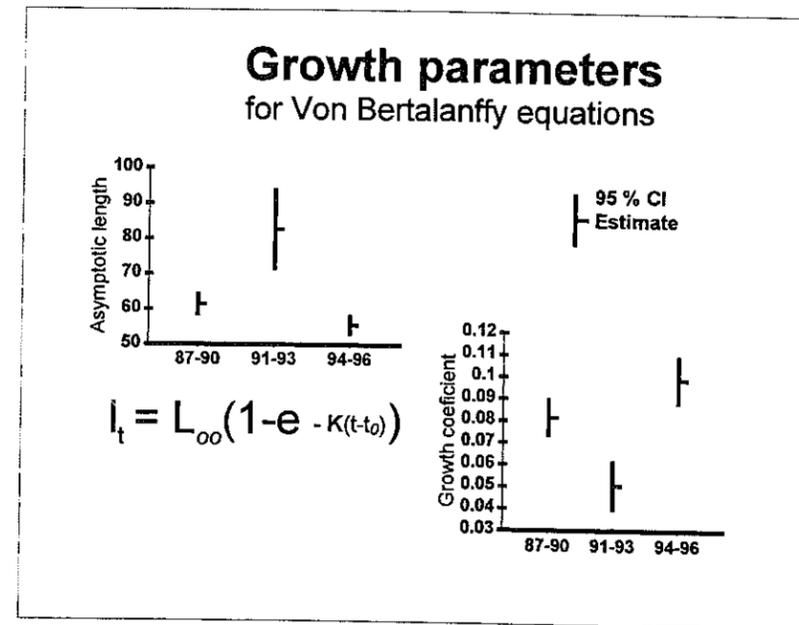


Figure 1: Von Bertalanffy asymptotic length and growth coefficients for Lake George, Maine, YOY rainbow smelt before (1987 - 1990), during (1991 - 1993), and after (1994 - 1996) alewife stocking.

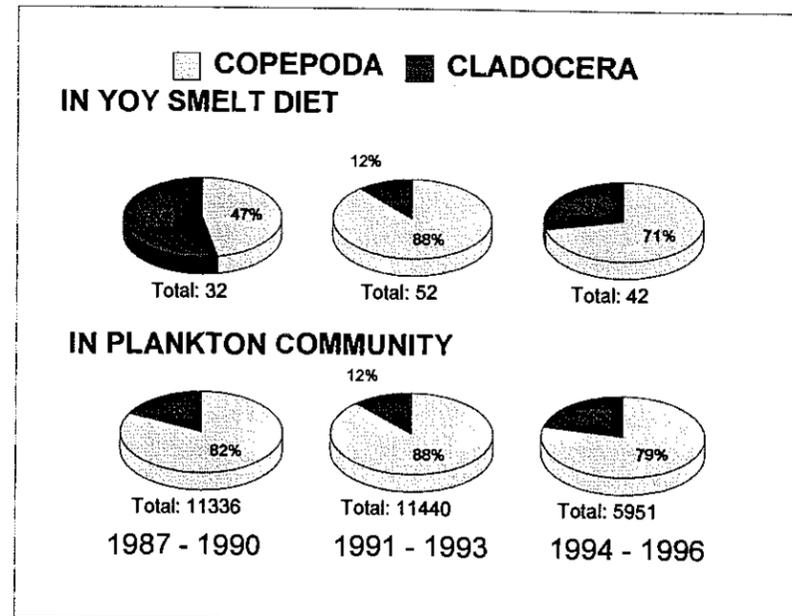


Figure 2: Proportions of Copepoda and Cladocera in the diet of YOY rainbow smelt and the planktonic communities of Lake George for periods before (1987-1990), during (1991-1993), and after (1994-1996) alewife stocking.

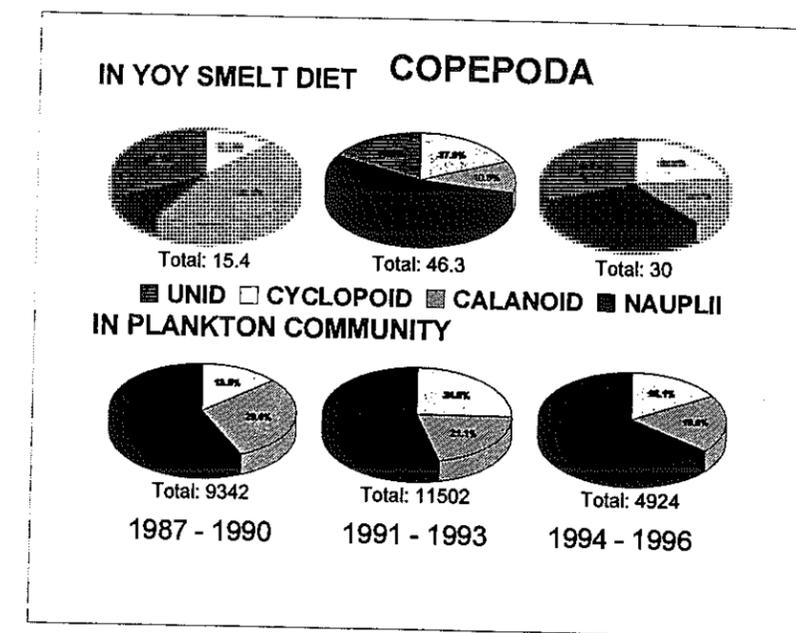


Figure 3: Composition of the Copepoda component of Lake George YOY smelt diet and planktonic communities for periods before (1987 - 1990), during (1991 - 1993), and after (1994 - 1996) alewife stocking.

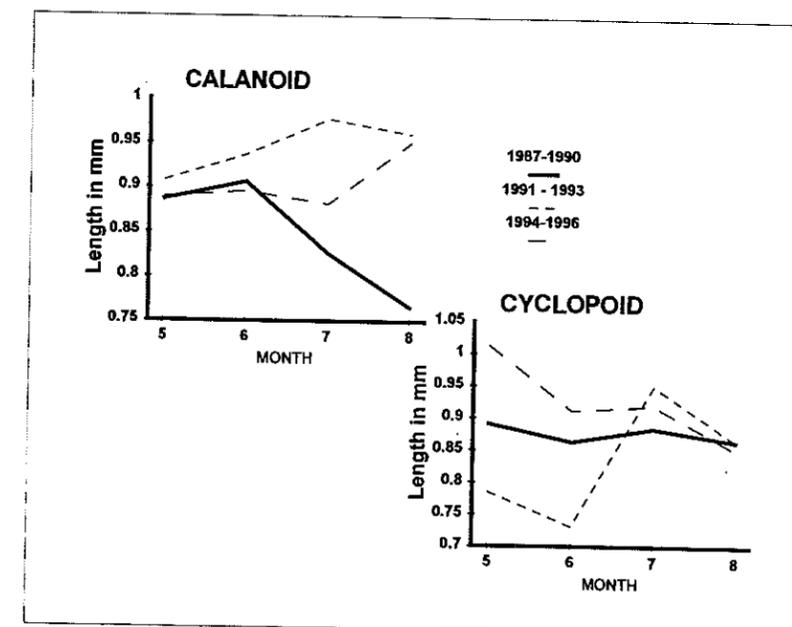


Figure 4: Size distribution of Calanoid and Cyclopoide copepoda in the plankton community during the summer months for periods before (1987 - 1990), during (1991 - 1993), and after (1994 - 1996) alewife stocking in Lake George, Maine.

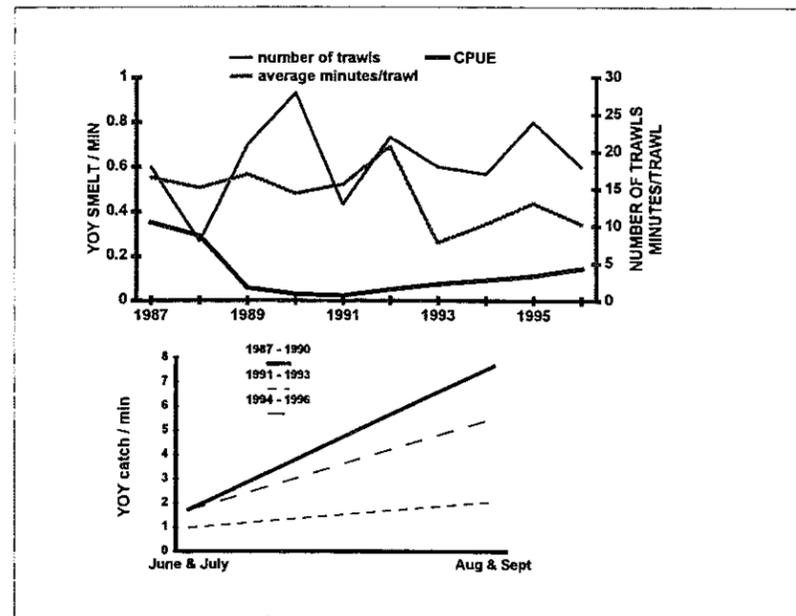


Figure 5: The number of trawls made each year on Lake George, Maine and annual average catch/unit effort and trawl duration. YOY catch/unit effort for two 2-month summer periods for years before (1987 - 1990), during (1991 - 1993), and after (1994 - 1996) alewife stocking.

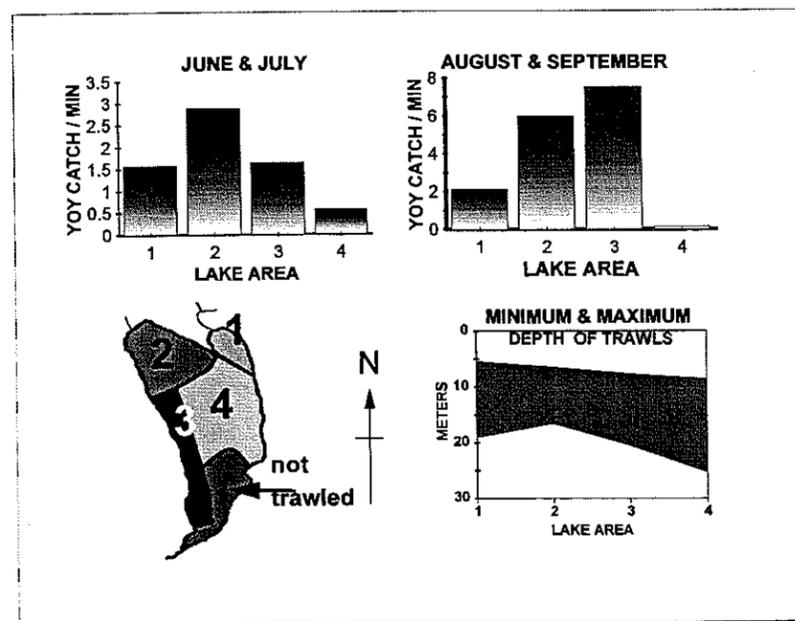


Figure 6: Catch rates of YOY rainbow smelt for areas of Lake George, Maine trawled during early (June and July) and late (August and September) summer, 1987 - 1996 and the maximum and minimum depths where fish were caught.

## Changes in rainbow smelt distribution and abundance and their effects on walleye condition and angling efficiency for walleyes in Lake Oahe, South Dakota.

Wayne Nelson-Stastny

### Abstract

Rainbow smelt are the primary prey for walleyes in Lake Oahe. Changes in distribution and abundance of smelt influence both the condition of walleyes and angling efficiency for walleyes. Nocturnal larval trawling provided an index of reproductive success by rainbow smelt. Cold-water gill netting provided an index of abundance of age-2 and older rainbow smelt in the lower third of Lake Oahe. Hydroacoustic surveys were utilized to provide estimates of age-0 smelt abundance and age-1 and older smelt abundance, as well as distribution of smelt throughout Lake Oahe. Age-2 and older smelt catch in cold-water gill nets ranged from 316.4 to 154.6 smelt per net night from 1993 to 1995. Reproductive success by rainbow smelt in Lake Oahe was high in 1995 as indicated by the 107.1 larval smelt per 100 m<sup>3</sup> of water filtered. In 1996 and subsequent years both reproductive success and the population size of smelt in Lake Oahe has declined substantially. Larval densities dropped steadily to a low of 3.81 per 100 m<sup>3</sup> of water filtered in 1998. In 1996 the catch in the cold-water survey dropped to 56.8 smelt per net night and in 1998 to 2.7 smelt per net night. Hydroacoustic estimates of smelt abundance dropped from 1.1 billion smelt in 1996 to 220 million smelt in 1998. As the rainbow smelt population declined, relative weight values of walleyes also declined. Wr of preferred length walleyes ranged from 97 to 99 in 1995 and dropped to values from 75 to 80 in 1998. As the smelt population declined, angler efficiency increased. Walleye catch rates by anglers were 0.34 fish per hour in 1995 and increased to 1.18 fish per hour in 1998.

### Introduction

Lake Oahe was created by the construction of Oahe Dam in 1958 to provide hydroelectric power, flood control and navigation (Benson, 1988). Lake Oahe has a surface area of 126,000 hectares and extends north from near Pierre, SD for 385 km. Recreational fisheries have become an important part of Lake Oahe's management. From April through October of 1998 there was an estimated harvest of 475,000 walleyes (Johnson *et al.*, 1999). The annual stocking of Chinook salmon and rainbow trout provide additional angling opportunity, along with northern pike, smallmouth bass, white bass and channel catfish. The importance of angling in this region is evident by the estimated local economic impact of 21.5 million dollars.

Rainbow smelt were introduced into Lake Sakakawea, the reservoir just upstream from Lake Oahe in 1971. Through entrainment they passed into Lake Oahe and were abundant in the late 1970's. During the 1980's the smelt population exhibited moderate fluctuations yet stayed at relatively high levels of abundance (Stone and Neelson, 1990). In recent years the smelt population has declined substantially. This decline has had negative impacts on the sport fish populations through increased catchability and decreased condition of fish.

### Methods

Trawling for larval rainbow smelt was completed with 1 m x 2 m, 500 micron mesh neuston nets towed just below the surface. Trawling was conducted at night over a three weeks period from late May through early June. Eight sites were sampled once per week. The

nuston nets were fitted with General Oceanographics flow meters to determine the volume of water filtered. The larval fish samples were sorted and identified in the laboratory and data converted to density values (#/100 m<sup>3</sup>). Age structure of the smelt population was determined from scales from rainbow smelt sampled in gill nets of 95 mm and 127 mm bar measure mesh. The gill nets were suspended at 29 m in the lower one-third of Lake Oahe during August. Hydroacoustic surveys were conducted during the new moon in August utilizing a 200 khz split-beam transducer. A total of 20 transects positioned throughout Lake Oahe were surveyed during the night. Transects were perpendicular to the shoreline and spanned the width of the reservoir. Acoustic data were processed utilizing split-beam analyses and echo integration. Split-beam data provided information on the acoustic reflecting power of individual fish (Traynor and Ehrenberg, 1990). The acoustic reflecting power of an individual fish is also referred to as the fish's backscattering cross section ( $\sigma_{bs}$ ) or its decibel equivalent "target strength." Echo integration provided an estimate of relative fish densities that were converted into absolute values and an estimate of fish abundance by utilizing the acoustic parameters of the equipment and the back scattering cross section ( $\sigma_{bs}$ ) values from split-beam processing (Burczynski, 1982 ; Burczynski and Johnson, 1986). The hydroacoustic data provided information on distribution, biomass, the number of age-0 smelt, and the number of age-1 and older smelt in Lake Oahe. Variance and confidence limits were calculated as described by Burczynski and Johnson (1986) with the assumption that integrator samples were independent and mean output was normally

**Table 1. : Hydroacoustic estimates of the number of age-0 smelt and  $\geq$  age-1 smelt in Lake Oahe from 1996-1998 (95% confidence intervals in paratheses).**

	Age-0		$\geq$ Age-1		Total	
1996	659,675,718	( $\pm$ 81,037,814)	349,504,846	( $\pm$ 37,482,714)	1,009,180,564	( $\pm$ 89,786,511)
1997	309,137,068	( $\pm$ 38,738,514)	162,918,078	( $\pm$ 14,266,365)	472,055,146	( $\pm$ 41,218,977)
1998	276,027,009	( $\pm$ 55,085,019)	43,163,946	( $\pm$ 10,146,416)	319,190,955	( $\pm$ 56,011,686)

distributed. An entrainment study proved information on passage of rainbow smelt out of Lake Oahe through the Oahe Dam powerhouse (Unkenholz, 1991).

**Results**

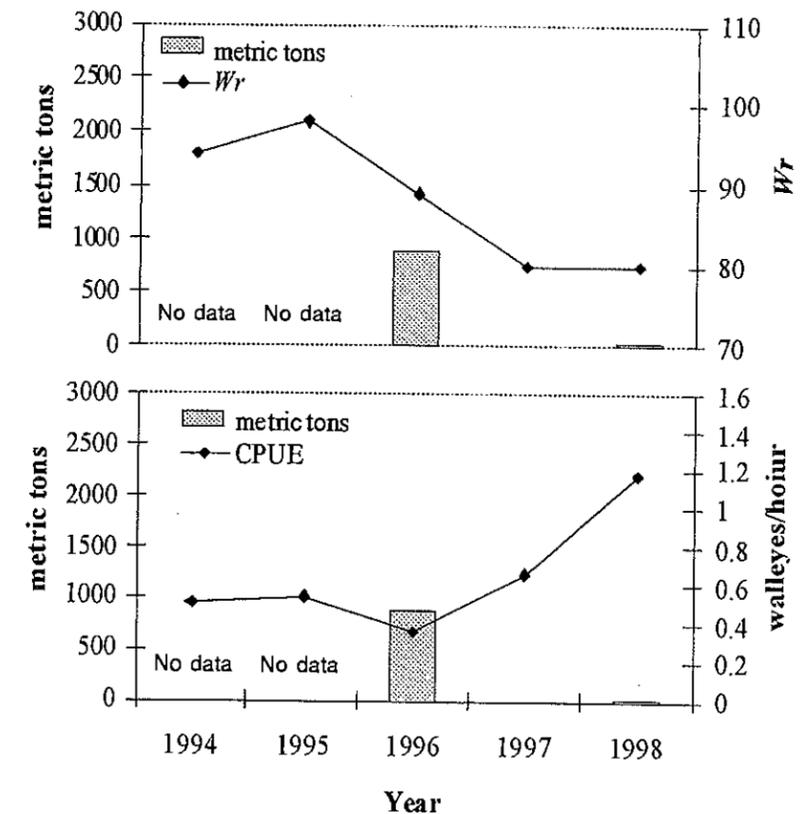
Hydroacoustic estimates of the numbers of rainbow smelt in Lake Oahe show that the number of rainbow smelt in Lake Oahe has declined substantially from 1996 to 1998 (table 1). The number of age-1 and older smelt dropped from 349 million in 1996 down to 43 million in 1998.

In 1998 age-0 smelt comprised 87% of the total numbers of smelt in Lake Oahe. Whereas, in 1996 and 1997 age-0 smelt made up only 65% of the total numbers of smelt in Lake Oahe. The shift to younger, smaller smelt along with declining numbers in general led to a reduction in the biomass of rainbow smelt in Lake Oahe (table 2).

Rainbow smelt biomass, catch per unit effort (CPUE) of walleyes by anglers, and the relative weight ( $W_r$ ) for the upper one-third of Lake Oahe are shown in figure 1. As the smelt population declined, CPUE for walleyes increased while their condition ( $W_r$ ) decreased. Figure 2 shows the same scenario for the middle one-third of Lake Oahe. In the lower one-third of Lake Oahe, the smelt population did not decline substantially until 1998 (figure 3). Although hydroacoustic data is absent from 1994 and 1995, data from suspended netting surveys indicate the smelt population was higher than that of 1996, at least in the lower one-third of Lake Oahe (Johnson *et al.*, 1999).

**Table 2 : Hydroacoustic biomass estimates, metric tons, of age-0 smelt and  $\geq$  age-1 smelt in Lake Oahe from 1996-1998 (95% confidence intervals in paratheses).**

	Age-0		$\geq$ Age-1		Total	
1996	469.7	( $\pm$ 66.0)	4,541.1	( $\pm$ 614.4)	5,010.8	( $\pm$ 618.0)
1997	271.9	( $\pm$ 32.6)	1,204.3	( $\pm$ 130.3)	1,476.2	( $\pm$ 134.3)
1998	166.1	( $\pm$ 30.1)	202.5	( $\pm$ 39.6)	368.6	( $\pm$ 49.7)



**Figure 1 : Rainbow smelt biomass, relative weight ( $W_r$ ) of 38-51 cm length walleyes, and angler CPUE of walleyes in the upper one-third of Lake Oahe from 1994-1998.**

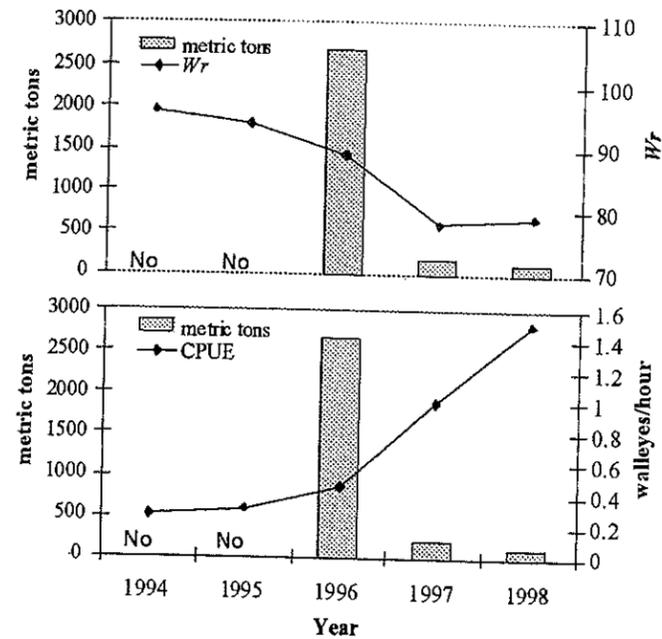


Figure 2 : Rainbow smelt biomass, relative weight ( $W_r$ ) of 38-51 cm length walleyes, and angler CPUE of walleyes in the middle one-third of Lake Oahe from 1994-1998.

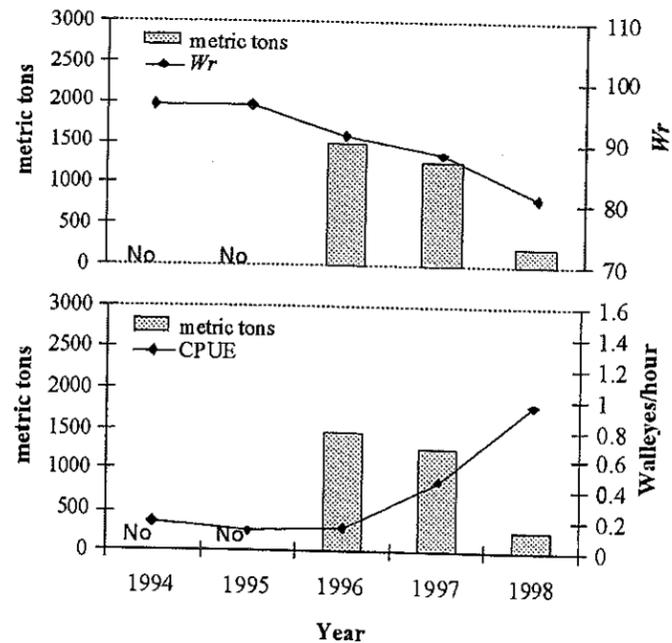


Figure 3 : Rainbow smelt biomass, relative weight ( $W_r$ ) of 38-51 cm length walleyes, and angler CPUE of walleyes in the lower one-third of Lake Oahe from 1994-1998.

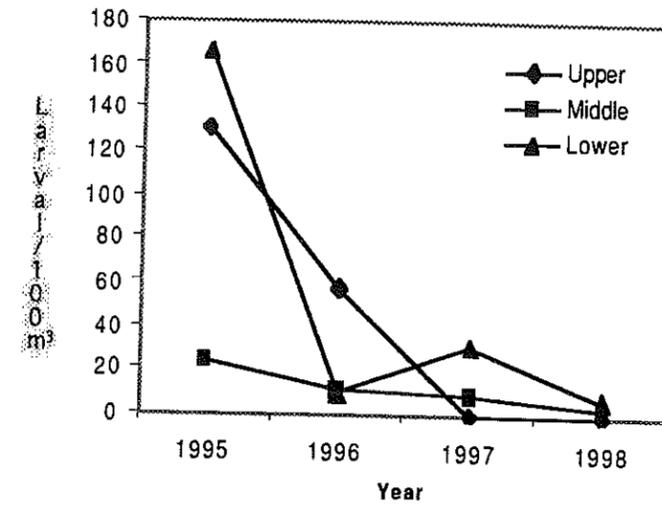


Figure 4 : Larval rainbow smelt densities from upper, middle and lower Lake Oahe.

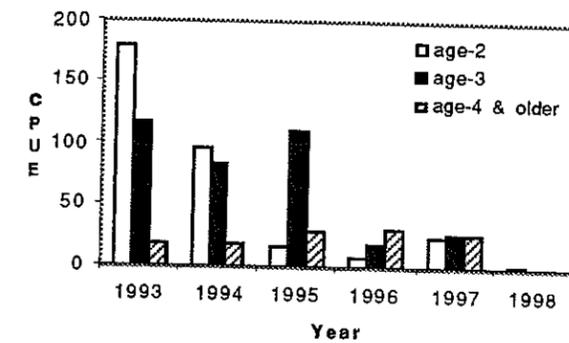


Figure 5 : Cold water gill net survey CPUE (smelt/net night) in lower Lake Oahe.

As catch rates improved from 1996 through 1998, selective harvest of larger walleyes reduced the abundance of walleyes greater than 35.6 cm in length. Additionally, as the smelt population declined walleye growth slowed (Johnson *et al.*, 1999). Because of the walleyes slower growth and anglers selectively

harvesting the largest walleyes, the walleye population became skewed towards fish less than 35.6 cm in length. The walleye population in Lake Oahe has been at record levels since the early 1990's. However, the majority of this record population is now comprised of walleyes less than 35.6 cm in length.

Larval rainbow smelt data from 1995 through 1998 suggest that the decline in the smelt population had begun in 1996 (figure 4). Reproductive success, which had been high throughout Lake Oahe in 1995, began declining in 1996. By 1997 reproductive success in the upper two-thirds of the reservoir was essentially non-existent. All of Lake Oahe exhibited low levels of reproductive success in 1998.

The cold water gill net survey indicated that rainbow smelt were abundant in 1993 and 1994 (figure 5). In 1995 the abundance of age-2 smelt declined substantially relative to the abundance of age-2 smelt in 1993 and 1994. The bulk of a given year's spawning population in Lake Oahe is made up of age-3 smelt. With few age-2 smelt in lower Lake Oahe in 1995 there were few age-3 smelt in that portion of the lake in 1996. As the number of spawning age smelt in lower Lake Oahe declined there was a substantial drop in larval fish densities in lower Lake Oahe in 1996 relative to the 1995 densities.

### Discussion

The decline in rainbow smelt abundance in Lake Oahe and its subsequent effects on sport fisheries was brought about by three factors. Probably, the most important factor was the cyclic nature of rainbow smelt themselves through year class suppression by abundant year classes of adult smelt. The high larval smelt densities in 1995 did not result in a large number of age-2 smelt in 1997 in the cold water gill net survey. This was likely the result of high cannibalism rates on the larval smelt in 1995 from an abundance of age-3 smelt in 1995. The high abundance of age-2 and age-3 smelt in both 1993 and 1994 likely suppressed those year classes also. The abundance of age-2 smelt was extremely low in 1995 and 1996. As recruitment declined because of year class suppression the decrease in the number of spawning age smelt in Lake Oahe resulted in decreased densities of larval smelt in the past several years.

Sport fish populations, most importantly walleyes, also played a role in the smelt decline. From the decade of the 1980's to the 1990's

there was a doubling in the abundance of walleyes in Lake Oahe. Much of the increased abundance can be attributed to a strong year class of walleyes in 1991. In the several years prior to 1991 the Missouri River basin had experienced a severe drought. Subsequently, Lake Oahe was almost 10 meters below normal. The Lake began refilling in the early 1990's. In 1993, with above normal precipitation in the basin, Lake Oahe regained all of the lost 10 meters of lake elevation. As 3,750 km of vegetated shoreline were inundated conditions in Lake Oahe were similar to that of a newly filling reservoir. The strong 1991 walleye year class found conditions well suited for rapid growth. The high abundance of smelt in the mid 1990's not only provided an ample prey source for the 1991 year class of walleyes, but also afforded them protection through reduced catch rates by anglers. Between 1993 and 1995 the higher walleye abundance began to have negative effects on the smelt population. Additionally, since the walleye abundance has stayed high, it likely continues to suppress the smelt population.

The final event with a negative effect on the smelt population was the record snowfall in the Missouri River basin in the winter of 1996-1997. The record snowfall's spring runoff necessitated record water releases from Oahe Dam from April through December of 1997. The location of the Oahe Dam water intakes at 20-30m below the surface made rainbow smelt vulnerable to entrainment. In August of 1997 there were an estimated 1,476 metric tons of smelt in the lower one-third of Lake Oahe. In the following two months period approximately 150 metric tons of smelt were entrained through the Oahe Dam powerhouse (Unkenholz, 1998).

The combined effects of entrainment, the record abundance of walleyes, and suppression of future year classes of smelt by adult smelt all played a role in the decline of Lake Oahe's rainbow smelt population. Because of the important role rainbow smelt have with regards to the sport fisheries of Lake Oahe, several management changes have been made. A 356 mm minimum length limit on the walleye fishery

from April through June has been removed to allow harvest of the abundant now slow growing sub 356 mm walleyes. A one walleye over 457 mm in a daily bag limit of four was implemented to prevent excessive selective harvest of the few remaining larger walleyes. Chinook salmon stocking has been reduced and walleye fingerling stocking discontinued to alleviate pressure on the dwindling smelt population.

### References

- BENSON, N.G., editor. 1988. The Missouri River the Resources Their Uses and Values. North central Division American Fisheries Society Special Publication No.8.
- Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries Technical Paper 191, revision 1.
- BURCZYNSKI, J., and R. JOHNSON. 1986. Application of dual-beam survey techniques to limnetic populations of juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 43:1776-1788.
- JOHNSON, B., R. HANTEN, J. LOTT, and W. NELSON-STASTNY. 1999. Annual fish population and sport fish harvest surveys on Lake Oahe, South Dakota 1998. South Dakota Department of Game, Fish and Parks, Wildlife Division, Annual Report, Pierre.
- STONE, C.C. and P. NEALSON. 1990. An estimate of abundance and distribution of rainbow smelt in Lake Oahe reservoir using hydroacoustic techniques, 1988-1989. South Dakota Department of Game, Fish and Parks, Wildlife Division, Progress Report No. 90-8.
- TRAYNOR, J.J. and J.E. EHRENBERG. 1990. Fish and standard sphere target strength measurements obtained with a dual-beam and split-beam echo-sounding system. Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 189: 325-355.
- UNKENHOLZ, E.G. 1998. Entrainment of rainbow smelt through Oahe, Dam, South Dakota. Master's Thesis. South Dakota State University, Brookings.

## Contribution de l'hydrologique et du climat aux variations des débarquements commerciaux : l'éperlan arc-en-ciel dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent

Marc Mingelbier, Frédéric Lecompte et Julian Dodson

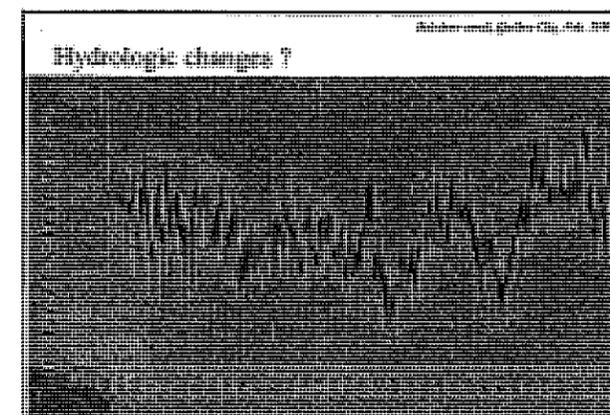
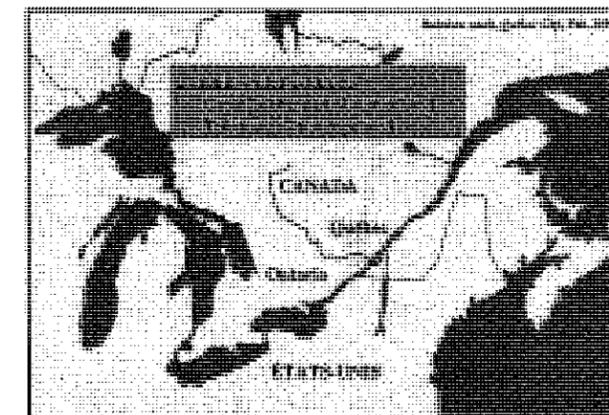
### Résumé

Les débarquements commerciaux d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) sont compilés pour l'estuaire moyen du Saint-Laurent depuis le début du siècle. Globalement, les premières prises répertoriées en 1917 augmentent graduellement jusqu'en 1940, se maintiennent autour de 50 tonnes/an jusqu'en 1980 et baissent ensuite très rapidement à des valeurs proches de 0. Les éperlans capturés dans l'estuaire moyen ont toujours été considérés comme faisant partie du même stock. Cependant, des travaux concernant la génétique et la morphologie de cette espèce indiquent que le stock, longtemps considéré comme unique, est en fait composé de deux populations distinctes, l'une séjournant sur la rive sud de l'estuaire moyen et l'autre sur la rive nord. Pour tenir compte de cette ségrégation spatiale, les captures totales entre 1917 et 1985 ont été séparées en deux groupes : rive nord et rive sud. L'analyse graphique montre des cycles d'abondance en opposition de phase entre les deux rives, dont la période est d'environ 30 ans. Nous avons effectué une analyse des corrélations entre les captures annuelles et, d'autre part, les facteurs hydrologiques et climatiques (débit d'eau douce du fleuve, température de l'air, niveau d'eau à la hauteur de Québec) et, d'autre part, des facteurs susceptibles d'affecter les prises d'éperlans (abondance d'autres espèces de poissons, effort de pêche, nombre de pêcheurs, espèces visées). Deux points principaux ressortent de ces analyses : 1- Il ne semble pas y avoir de lien causal entre la localisation des prises et l'effort de pêche. Ces résultats valident en quelque sorte l'hypothèse selon laquelle les différences observées entre les deux rives sont attribuables à l'écologie de l'espèce et la variabilité du milieu, plutôt qu'à un artéfact lié à la prise des mesures. 2- La force des corrélations avec les facteurs physiques est maximale aux mois d'avril et mai, et pourrait être expliquée par la mortalité des adultes après la fraie ou encore par la survie des premiers stades de vie larvaire. La relation inverse entre les deux rives est cohérente lorsqu'on sait que les deux populations de l'estuaire sont localisées dans des milieux physiques très contrastés et que ces conditions influencent à divers degrés la dynamique des deux populations (ex. zones différentes pour la fraie et la rétention larvaire). Les liens directs et indirects avec l'écologie estuarienne sont discutés.

### Abstract

Data on commercial catches of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) taken in the middle St. Lawrence Estuary have been collected since the beginning of the century. Overall, catches increase from when they were first listed in 1917 up to 1940, remain stable at about 50 tonnes/year till 1980, and from there drop drastically to values close to 0. The smelt caught in the middle-estuary have always been regarded as belonging to the same stock. However, genetic and morphology analyses of the species, long considered to be of a single stock, reveal that it is in fact composed of two distinct populations : the first inhabiting the south shore of the middle estuary and the second, the north shore. To take this spatial segregation into account, total catches between 1917 and 1985 were divided in 2 groups : north shore and south shore. A graphic analysis shows that abundance cycles on both

shores are in opposite phases, with a cycle period of about 30 years. From the correlation analyses carried out between yearly catches and hydrologic and climatic factors on the one hand (freshwater discharge in the St. Lawrence, air temperature, water level at the height of Québec City) and factors likely to affect smelt captures on the other hand (abundance of other fish species, fishing effort, number of fishermen, species targeted) two major points were drawn. Firstly, there appears to be no causal relationship between capture location and fishing effort. In a way, this validates the assumption that differences observed between both shores depend on the ecology of the species and the strength of the correlations with physical factors reaches a peak in April and May, which can be explained by the post-spawning mortality of adults or by the survival of first-stage larvae. The inverse relationship existing between both shores is consistent when one considers that the two populations occupy very different physical environments whose conditions influence population dynamics to various degrees (e.g. different spawning areas and larval retention). Direct and indirect links with estuarine ecology are discussed.



### Hydraulicity of the St. Lawrence possible changes:

- Climate changes
  - natural
  - human activity
- Regulation by IJC
- Export from Great Lakes to US

Rainbow smelt, Québec City, Feb. 1999

Rainbow smelt, Québec City, Feb. 1999

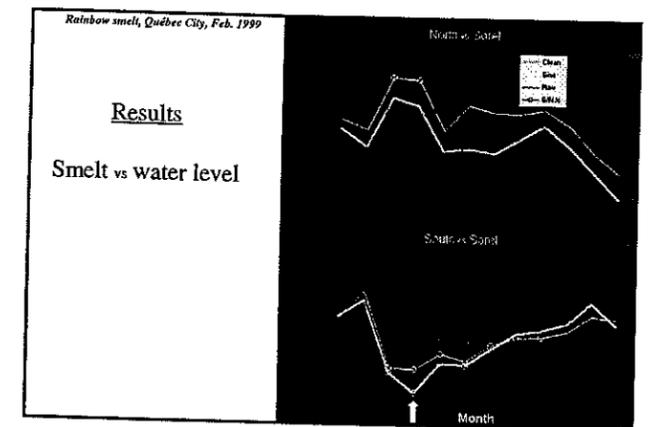
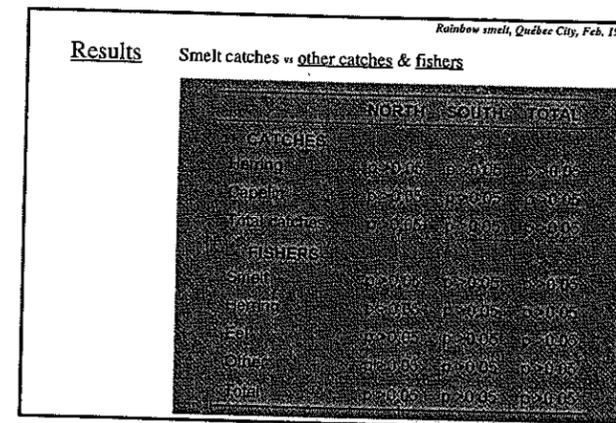
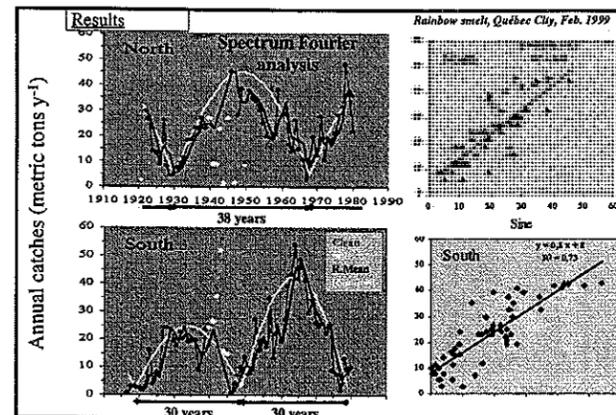
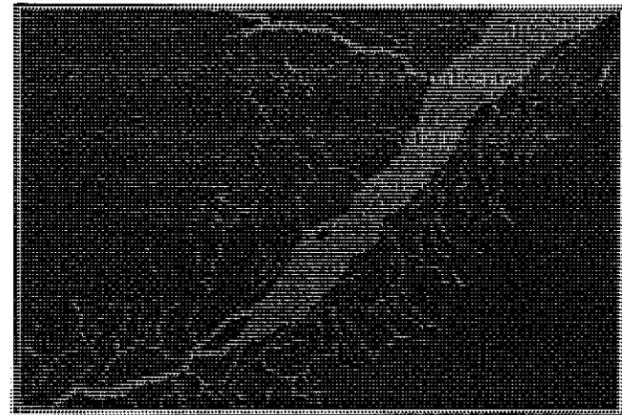
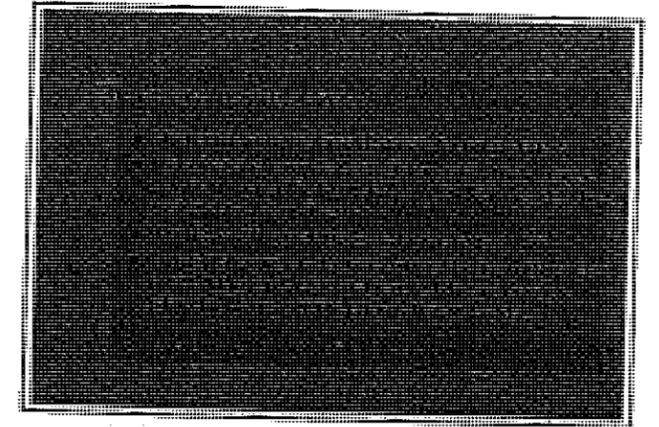
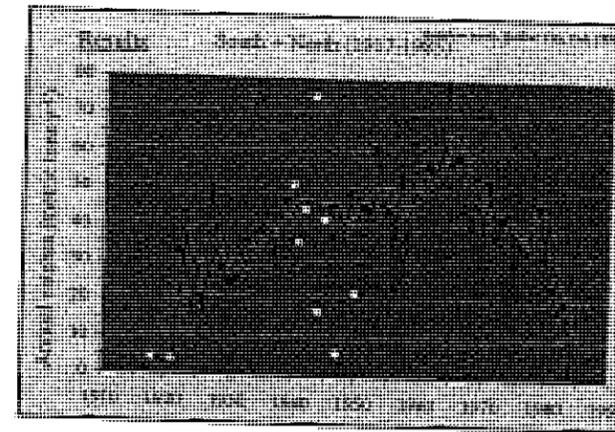
### Importance of rainbow smelt

- Important commercial fishery: >100 tons/year in middle estuary
- Sport fishing: > 100 000 p-days with similar catches as commercial fishery
- Spectacular urban fishing activity in the area of Québec City for >100 years
- Food web role in the middle estuary (e.g. prey for white whales, striped bass)

Rainbow smelt, Québec City, Feb. 1999

### Historical commercial catches

- Based on estimates provided by smelt fishermen
- Fishing effort different from year to year
- Data begin in 1917 in the middle estuary



Rainbow smelt, Québec City, Feb. 1999

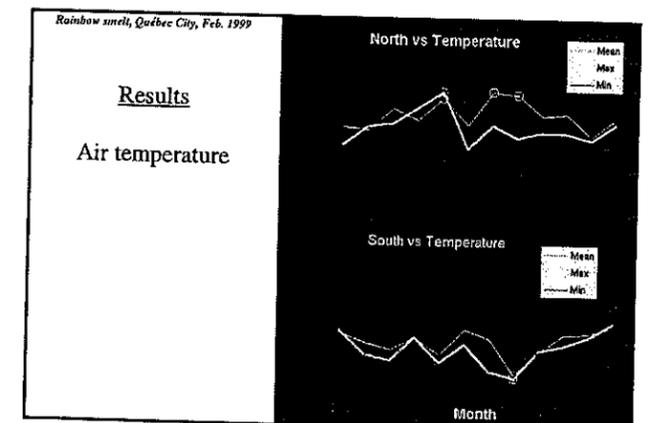
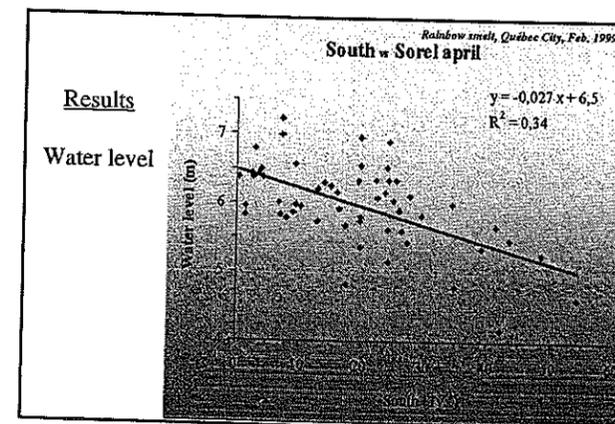
### Methods

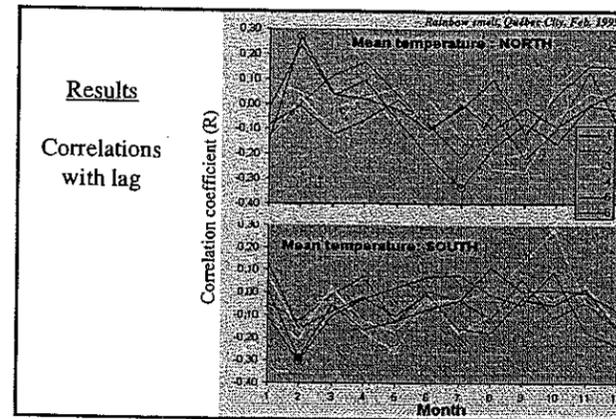
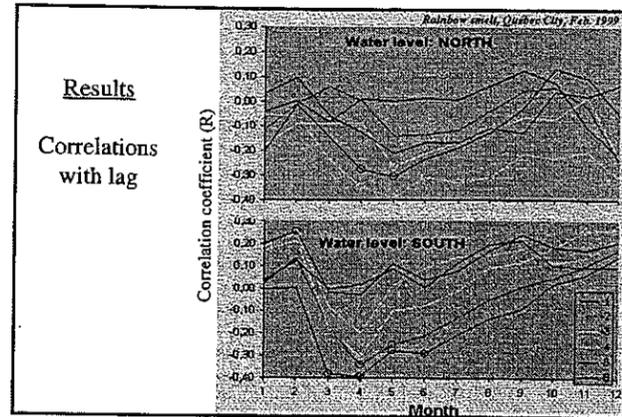
- Rainbow smelt
  - Raw
  - Treatment
    - Cleaning suspect data
    - Size model
    - South/North %
    - Correlation with lag
- Visual check: XY graphs (linearity)
- Pearson correlation: raw & treated data vs.
  - Physical variables
    - St. Lawrence at Cornwall
    - Water level at Sorel
    - Montreal meteorology
    - Air temperature at Québec
  - Other variables
    - Fishes (smelt, herring, cod, others, total)
    - Other catches (herring, capelin, total)
    - Correlation lag (rainbow smelt)
  - Later: multiple regression

Rainbow smelt, Québec City, Feb. 1999

### Possible biased

- Reliability of smelt data
  - Catch estimates: individual fisher variability
  - Smelt fisher definition: real vs others
  - Smelt identification: e.g. capelin, alewife, accessory catches
  - Suspect data: e.g. during the 2<sup>nd</sup> war
  - Catch efficiency: no changes over time
- Physical data
  - Water level at Sorel: wind, aquatic plant & monthly tide
  - Lag between air & water temperature
- Others
  - Economy: smelt price?
  - Traditions: changes





**Summary**

VARIABLE	p < 0,05	NORTH/SOUTH	SIGN
• Others catches	NO		
- Bias?			
• Fishers	NO		
- Status? But no relationship for other species			
- Short series?			
• Water level/flow	YES	South > North	S- N+
- Habitat?			
- Recruitment? Survival? Growth?			
• Temperature	YES	North > South	S- N+
- Habitat?			
- Metabolism?			
• Corr. Lag water level	YES	South > North	S- N?
- Direct?			
- Recruitment?			
• Corr. Lag temperature	YES	Unclear	Unclear
- Direct?	2-3 years		
- Recruitment?	2-3 years		

- Conclusion**
- Important effects of physics (34% South) despite potential biased
  - Segregation between N & S shores: TWO physical habitats?
  - Correlation with lag: recruitment/direct effect?
  - Correlation & causality: ecology = chain of numerous events
  - Need to a better understanding of physical processes in the estuary
    - better flow data: reconstituted flow at the height of Québec City
    - hydrodynamic model in the estuary: local circulation
    - multidisciplinary approach: physics + biology
  - St. Lawrence hydrology will change ...

ATELIERS / WORKSHOPS

## Atelier : Habitat de fraye et écologie larvaire

Animateur : Guy Verreault  
Rapporteur : Pierre Pettigrew

### 1. Identification des frayères et caractérisation des habitats de fraye

Les habitats de fraye doivent être identifiés, localisés et protégés en priorité. Il peut encore exister des habitats de fraye dont l'existence est insoupçonnée.

Les habitats de fraye qui offrent une bonne productivité devraient recevoir une attention et une protection particulière (car ils sont de plus en plus rares) pendant que des travaux de réhabilitation devraient être entrepris sur ceux qui n'offrent pas encore leur potentiel.

L'éperlan arc-en-ciel peut frayer sur différents substrats en terme de granulométrie. Même si différentes combinaisons de blocs, de galets et de gravier sont les substrats préférés, le sable, le limon et la vase peuvent parfois être utilisés (mais ces derniers demeurent cependant marginaux).

Afin de mieux identifier et protéger les habitats de reproduction, peut-on exporter les connaissances entre les populations lacustres et anadromes ? Existe-t-il un habitat-type pour la reproduction de l'éperlan ?

### 2. Marquage de larves

**Le marquage chimique et thermique sont les deux techniques pouvant être utilisées sur les larves d'éperlan arc-en-ciel.**

Le marquage thermique, qui semble plus facile à réaliser, pourrait être utilisé pour vérifier l'efficacité des incubateurs d'oeufs, des transferts d'oeufs et des autres aménagements. Il pourrait aussi être utilisé pour vérifier l'existence de "homing" chez l'éperlan arc-en-ciel.

### 3. Croissance et mortalité des larves

Il existe un besoin de connaissances au niveau de la croissance et de la mortalité des larves car ce sont deux autres éléments clés de la dynamique des populations. Les facteurs responsables de la mortalité chez les larves devraient être identifiés et évalués. Les facteurs limitant la croissance larvaire devraient aussi bénéficier d'efforts de recherche pour déterminer leur contribution relative. Les relations avec la qualité de l'habitat de fraye (physico-chimie et périphyton) devraient être tout particulièrement étudiées.

### 4. Contribution relative et importance stratégique de chaque habitat de fraye

Étant donné que les habitats de fraye sont essentiels à la survie de l'espèce, on ne peut se permettre de perdre aucune frayère. Il devient urgent de répertorier ce type d'habitat, de les protéger et de les réhabiliter.

## 5. Conclusion et besoins de recherche

Les participants affirment que l'habitat de fraye est rare, peu distribué et sûrement moins abondant qu'il ne l'a déjà été. Il faut éviter à tout prix la disparition d'autres habitats de fraye car ce sont des éléments essentiels à la survie de l'espèce. Il s'agit aussi de l'habitat le plus vulnérable aux agressions anthropiques et aux modifications physiques. Des efforts doivent donc être réalisés pour protéger les habitats de fraye connus et rechercher activement les frayères utilisées par les différentes populations d'éperlans.

Des besoins de recherche ont été exprimés en ce qui concerne la croissance et la mortalité larvaire jusqu'aux premiers stades juvéniles, sur les relations existant entre la qualité de l'habitat et le taux de survie et de l'influence de différents paramètres physico-chimiques de l'eau sur le succès d'éclosion.

Des besoins de recherche ont aussi été exprimés en ce qui concerne l'existence potentielle de "homing" chez différentes populations d'éperlan arc-en-ciel.

Au niveau de la recherche d'habitats de fraye et des besoins de recherche, il faut donc promouvoir des moyens créatifs pour acquérir des données et parfaire nos connaissances.

## Workshop : Spawning habitat and larval ecology

Animator : Guy Verreault  
Rapporteur : Pierre Pettigrew

### 1. Spawning ground identification and characterization.

As a priority we should identify and protect spawning habitats. We should keep in mind that some major spawning areas have yet to be discovered.

We should pay particular attention and dedicate special protection status for the more productive spawning grounds (because they are rarer). For spawning grounds that do not reach their full production potential, they should be rehabilitated.

Rainbow smelt may spawn on different substrates in terms of granulometry. Even if different combinations of boulder, pebble and gravel are the favorite substrates, sand, silt and mud may be used (but these appear to be marginal).

In order to identify and protect the spawning habitats, can we combine the knowledge acquired on landlocked and anadromous populations? Can we define a typical smelt spawning ground?

### 2. Larvae tagging

Chemical and thermal tagging appear to be the two techniques that may be applied to smelt larvae. Thermal tagging seems to be the easiest way to process large quantities of larvae. This procedure may be used to verify the survival of incubator-reared larvae, egg transfer (egg stocking) or other management procedures. This may also be used to verify the existence of homing to natal spawning areas.

### 3. Growth and mortality of larvae

We need to understand the growth rate and mortality level of larvae because these are two important elements in determining population dynamics. Factors causing mortality and those limiting larval growth rate should be identified and quantified. The relationship between the physical, chemical and biotic quality of the spawning ground should also be better understood.

### 4. Relative importance and contribution of different spawning grounds

We consider that every spawning habitat is necessary for the species survival. Thus, it is fundamental and urgent to list all the spawning habitat, to protect these and to rehabilitate the perturbed ones.

### 5. Conclusions and research needed

All the participants agree that the spawning habitats are rare, scarcely distributed and surely less abundant than in past years. We should prevent any further loss of spawning habitat because

they are keystone elements for the species life cycle and thus it's survival. This habitat also appears to be highly vulnerable to human disruption. Efforts toward protection of such habitat and the search of unknown spawning grounds should be made for the different smelt populations.

Research is needed in regard to larval growth and mortality (up to the juvenile stage), relationships between spawning habitat quality and egg survival and finally on the influence of water quality (physico-chemical parameters) on hatching success.

Research into the question of homing appears to be of keen interest to many participants.

We need to develop new protocols in order to improve our search for spawning habitats in particular and improve our research performance in general.

## Atelier : L'écologie et la dynamique des populations

Frédéric Lecomte et Stan Georges

Plusieurs études effectuées sur la dynamique des populations d'éperlans indiquent d'importantes fluctuations d'abondances au fil des ans, cette observation étant faite soit au niveau des pêcheries commerciales et sportives, soit des échantillonnages systématiques ou encore par le nombre d'adultes fréquentant les frayères. Les causes de ces fluctuations semblent pour l'instant encore obscures et, actuellement, seuls quelques éléments causals peuvent être identifiés. Des études présentées à l'atelier suggèrent en effet que les variables abiotiques (e.g. le régime hydrique) et l'occurrence de parasite peuvent avoir un effet sur le recrutement des larves au sein d'aire d'alevinage. D'un autre côté, la variabilité environnementale des conditions existant sur les sites de fraie ( $T^{\circ}$ , croissance du périphyton, sédimentation, débit) est aussi pointée du doigt dans le cas de certaines frayères étudiées au Québec et au Massachusetts. Finalement, la compétition avec d'autres espèces est aussi perçue comme un élément pouvant causer ces importantes fluctuations d'abondance.

La dynamique des éperlans est étudiée dans plusieurs lacs (e.g. Nipigon) où ils furent introduits. Dans ce cas, il importe de vérifier et de quantifier l'effet d'une telle introduction sur les espèces indigènes. La diminution des indices de diversité (voir l'élimination totale de certaines espèces) suivant l'introduction d'éperlans arc-en-ciel dans certains lacs serait attribuable à la compétition pour les ressources alimentaires. Le résultat de ces introductions d'éperlans se solderait bien souvent aux dépens des autres espèces planctivores.

Même s'il semble que l'introduction d'éperlans est néfaste pour plusieurs espèces indigènes aux plans d'eaux et va donc à l'encontre des impératifs de conservation, elle serait toujours une pratique courante dans l'optique d'augmenter la production d'autres espèces (e.g. *Salmo salar*) par l'introduction de ce poisson fourrage. Dans ce cas, l'introduction des éperlans est justifiée par sa valeur comme poisson fourrage. Naturellement dans ce contexte, l'abondance absolue des éperlans est favorisée puisqu'elle représente la source de nourriture pour les autres espèces. Pour arriver à cette fin, il faut avoir recours à des programmes d'ensemencements, à des aménagements de nouvelles frayères "naturelles", ou encore la mise en place de certains dispositifs et programmes (e.g. réhabilitation de zones de fraie) favorisant une augmentation de la production de ce poisson fourrage.

L'identification des diverses populations constituant les stocks fut un autre sujet abordé. Les techniques utilisées par le passé ont été les suivantes : morphométrie, taux d'occurrence de parasites spécifiques, ADN mitochondrial, ADN amplifié, etc. L'identification des populations en présence dans un système à l'étude est de toute première importance. En effet, la dynamique d'un groupe à l'étude peut être complètement faussée par l'existence de plus d'une population composant ce dernier (e.g. populations sympatriques). Dans ce cas, les diverses observations concernant la dynamique des populations doivent être reliées individuellement à chaque population et non pas en estimant une valeur moyenne pour le groupe (qui est formé de plus d'une population). La supposition que l'ensemble des poissons retrouvés dans un système appartienne à un seul groupe ayant une dynamique homogène peut mener à des décisions désastreuses en ce qui concerne l'aménagement, l'exploitation ou encore la conservation. Depuis quelques années, les techniques moléculaires permettant d'identifier ces populations se sont raffinées (minimisant par le fait même la durée des manipulations et les coûts) et donc l'identification des populations sur une base moléculaire devrait donc être envisagée pour les populations étudiées. Cependant puisque ce sujet était déjà traité au cours d'un autre atelier, les échanges sur ce point ont été abrégés.

La dynamique des larves fut un sujet abordé par plusieurs comme étant la boîte noire dans la dynamique et l'écologie des éperlans. Cette phase du cycle vital est celle pendant laquelle il y a le plus haut taux de mortalité (3-4% par jour dans l'estuaire du Saint-Laurent) mais pour laquelle très peu de suivi existe. Les chercheurs en biologie des pêches reconnaissent qu'une faible variation de mortalité au cours de la phase larvaire peut amener une importante variation quant au nombre de jeunes qui seront recrutés dans la population adulte. Il fut ainsi noté que bien que le suivi sur la déposition et la survie des oeufs est une première étape essentielle au suivi des populations, le manque de suivi de la phase larvaire peut biaiser les actions entreprises pour corriger la situation, notamment en mettant l'emphase sur des problèmes de second ordre.

## Workshop : Ecology and population dynamics

Frédéric Lecomte and Stan Georges

Many of the studies done on rainbow smelt population dynamics have shown important fluctuations in annual abundance; this observation being noted in both commercial and sport fisheries, in systematic sampling, or by simple observation of the number of adults on spawning sites. The causes of these fluctuations are still obscure and only a few contributing causal factors can be readily identified. The studies that were presented at the workshop suggest that abiotic variables (ex. water-flow regimes) and the occurrence of parasites may have an effect on larval recruitment. Moreover environmental conditions during spawning (temperature, algae growth, sedimentation and water levels) are also seen as possible contributing factors in the case of certain spawning sites in Quebec and in Massachusetts. Finally, interspecific competition is also considered as possible cause of abundance fluctuations.

Smelt population dynamics has been studied in many lakes (ex. Nipigon) where this species has been introduced. In these cases, care should be given in verifying and quantifying the effect that such introductions have on native species. The decrease in diversity indexes (and even the disappearance of certain species) following the introduction of rainbow smelt in some lakes is attributed to competition for the available food resources. The end results of smelt introductions are often detrimental to other planktivore species.

Even though the introduction of smelt is detrimental to many native species and goes against basic conservation principles, it is nevertheless often considered a practical and justifiable management tool in order to increase production of other species (ex. *Salmo salar*) by providing them with this readily available forage or fodder fish. As can be expected, in this context the absolute abundance of smelt is paramount and several management techniques are used in an effort to maximize the production of this forage fish, such as extensive stocking programs, or improving or creating new "natural" spawning sites.

The identification of various populations making up the same stock was another subject discussed. Techniques used in the past were the following: morphometry, the occurrence rates of specific parasites, mitochondrial DNA, allozymes, etc. The identification of the various populations within a system being studied is of the utmost importance. In effect the observed dynamics of a study group maybe completely erroneous due to the existence of more than one distinct population within this group (ex. sympatric populations). The unverified hypotheses that all the fish present in a system belong simply to the same group having homogeneous dynamics can have disastrous consequences in regards to eventual management, exploitation and conservation decisions. In recent years the reliability of the molecular technique for identifying populations has improved considerably (thus also minimizing handling and costs) and should be considered for these studies. (Since this subject had already been discussed in another workshop, further discussion was limited).

Larval dynamics was also seen by many as a 'dark zone' in the study of smelt dynamics and ecology. This stage of the life cycle however is where the mortality rate is the highest in the St. Lawrence Estuary (3-4% per day). Very little monitoring studies have as yet been undertaken on this aspect. Many fisheries specialists acknowledge that a very small variation in mortality during the larval stage can lead to considerable variations as to the number of young recruited eventually into the adult population. It was also noted that although monitoring egg deposition and egg survival is an essential part of population studies, the lack of accurate monitoring information of the larval stage may result in biased decisions in regards to what actions should be undertaken to correct a given situation, notably by mistakenly focusing attention to what may be simply secondary problems.

## Atelier : Le suivi, la distinction et la gestion des populations

Animateur : Stan Georges  
Rapporteur : Benoit Langevin

La discussion a été amorcée en constatant qu'il n'y a pas si longtemps on croyait qu'il n'y avait qu'une seule et même population d'éperlan dans le fleuve. Les études génétiques ont d'abord démontré qu'il y avait deux populations, soit celle de la rive sud du Saint-Laurent et celle de la rive nord. On croit maintenant qu'il y aurait quatre populations, en ajoutant celles du Saguenay et de la Côte Nord.

L'analyse génétique peut donc avoir des implications en gestion, par exemple l'éperlan de la rive nord peut continuer d'être exploité commercialement, alors que celui de la rive sud est en difficulté.

On signale qu'on a affaire à deux populations distinctes lorsqu'il n'y a pas homogénéité dans la distribution de fréquence des variables étudiées et ce, peu importe l'importance de la différence.

L'analyse mitochondriale versus l'analyse microsatellite : L'analyse mitochondriale est plus utilisée pour la gestion de l'espèce puisqu'elle permet de distinguer les grands groupes.

L'analyse microsatellite, pour sa part, permet de travailler au niveau de l'individu. Elle est très pratique puisqu'elle demande peu de matériel biologique et permet de travailler à n'importe quel stade de maturité (larvaire). Elle pourrait permettre, par exemple, en connaissant le génotype des parents de poissons générés par l'incubateur de savoir quelle proportion d'un échantillon de poissons provient de l'incubateur.

L'analyse génétique semble peu utilisée par les juridictions autres que le Québec. La situation québécoise est particulière en ce sens qu'il y a plusieurs populations qui se partagent un même habitat.

Autrefois, la génétique était peu considérée. On donne l'exemple des éperlans du lac Meech (Ottawa) qui proviennent du Nouveau-Brunswick. On pourrait relater une multitude d'expériences du passé où l'on ne s'est pas soucié des considérations génétiques.

On suggère qu'avant tout projet d'importance sur une population de poissons qui génère de l'argent, on devrait utiliser une partie de cet argent pour évaluer le statut de cette population. Dans cet ordre d'idées, on souligne qu'il est facile d'obtenir de l'argent pour des espèces vedettes comme le saumon, mais plus difficile pour des espèces moins populaires. Par contre, dans les lacs, il n'y a pas de saumon sans éperlan.

On fait état de la nécessité de développer des indicateurs de recrutement qui permettent de voir venir les problèmes. Dans le passé, on s'est trop fié aux pêcheurs pour nous signaler un problème et à ce moment, il est souvent trop tard. Les séries temporelles du style de la pêche fixe de l'Aquarium de Québec qui fournit des données depuis plus de quarante ans sont importantes.

La faiblesse des budgets consentis aux organismes gestionnaires de la faune a été abordée à quelques reprises au cours de cet atelier. Les principales difficultés viennent du fait que les budgets sont souvent accordés prioritairement aux espèces d'intérêt sportif. De plus, avec le peu d'argent qui reste, il devient difficile de mettre en place des systèmes de suivi efficaces.

On s'informe de l'importance de l'éperlan pour les juridictions autres que le Québec. En général, elles sont capables de justifier des budgets lorsque d'autres espèces sportives sont en danger. On donne l'exemple des Grands Lacs où l'on réduit lesensemencements de salmonidés à cause de problèmes de recrutement au niveau du poisson fourrage.

## Workshop : Population distinction, monitoring and management

Animator : Stan Georges  
Rapporteur : Benoit Langevin

The workshop started by pointing out that only a few years ago we thought that only one population existed in the St. Lawrence estuary. Recent studies have shown that we have two populations in the middle Estuary (north shore and south shore) and that there may exist an additional three or more if we consider the Lower North shore, the Saguenay Fjord and the Gaspé peninsula.

Molecular genetic studies may be of great importance in determining fisheries management policy. As an example, the recently-defined north shore population of the St. Lawrence middle estuary can be commercially fished whereas the south shore population appears to have collapsed. Thus no commercial fishery is allowed to target this population.

We consider two groups of fish as distinct populations when we do not find homogeneity in the frequency distribution of the variables studied, regardless of the magnitude of the differences observed.

Mitochondrial DNA analysis versus. Microsatellite analysis : The analysis of mitochondrial DNA is mostly utilized for management purposes because it helps to discriminate major genetic subdivisions (metapopulations).

Microsatellite loci may be used to work at much finer scales of resolution. It may be a practical tool since little biological material is needed and thus we may work on all life-history stages (e.g. larvae). It may be used, for example, to estimate in a subsample of larvae caught in nature how many originate from an incubator if we know the genotype of the parents used to supply the incubator.

Genetic analyses of smelt populations appear to be little used outside Quebec. These studies have revealed that many populations co-exist within the same systems, a situation which may be generalized. We must study the genetics of other systems to test this hypothesis.

Historically, genetic studies have been rarely used to monitor transfers of smelt among water bodies. One example is the smelt from Lake Meech (Near Ottawa) which originated from New-Brunswick. Thus, this transfer resulted in the introduction of a non-native glacial race into the distribution area of a second race. We are now in a position to identify the extent of such genetic pollution.

It is strongly suggested that before any major project is undertaken that may effect the status of native smelt populations, some investment be made into documenting the genetic identity and the demographic status of the native stocks. This may be easier to do when the major project involves important game fish (eg. salmon) and where smelt represents the major forage species.

We need some indicator of recruitment which should permit us to foresee problems. In the past, we have put too much confidence in fishermen to identify problems. As a result, problems have been identified at a late date when management regulations are no longer capable of restoring population abundance. Long-term abundance data are important to see and predict trends. For example, the Quebec Aquarium experimental fishery has now provided 40 years of abundance data.

Low budgets for smelt research allotted to different management establishments was identified during this workshop as a major problem. Money is generally granted for the study of important game fish. With the little money remaining, it is difficult to fund long-term studies.

In some jurisdictions outside Quebec, managers are able to justify their budgets for smelt research when some important game fish are involved. For example, salmon stocking in the Great Lakes was reduced because of recruitment problems concerning forage fish.

## Atelier : Habitat et restauration des populations

Animateur : Guy Trenchia  
Rapporteur : Louise Lapierre

### 1. Identification des facteurs de détérioration des stocks et connaissance des causes de désertion des frayères

Il faut reconnaître l'importance de la présence d'eau douce au moment de la reproduction et en hiver ; l'eau douce peut constituer un refuge thermique en hiver.

Plusieurs facteurs chroniques de détérioration peuvent agir en synergie ou de façon cumulative. Il faut donc connaître l'ensemble des facteurs pour évaluer la situation adéquatement.

On connaît mal les conditions optimales de reproduction. Il reste beaucoup de connaissances à acquérir sur les habitats de reproduction et de croissance.

L'état de la rivière Boyer permet de dire que parfois, nous n'avons pas le temps de tout connaître avant d'agir. Il faut faire un compromis entre la connaissance et l'action. Par exemple, on peut chercher à réduire les teneurs en azote et en phosphore, cela ne peut qu'améliorer la situation. La qualité de l'eau et la perte d'attraction des rivières sont deux facteurs importants pour expliquer une désertion de frayère. Par contre, le pouvoir attractif a été contesté comme élément explicatif important par certains intervenants.

Cela peut prendre beaucoup de temps de faire un bilan complet.

**Conclusion :** Nous manquons encore de connaissances importantes pour nous prononcer, mais il faut agir parfois sans avoir toutes les connaissances.

### 2. Approches de la restauration physique à l'échelle du bassin versant.

#### Effets agricoles :

Sur la rivière Boyer, il pourrait être plus efficace de prioriser certains tributaires. L'inertie de la population humaine est un facteur très important. Il faudrait des lois et règlements avec des dents.

Pourrait-on envisager l'achat des bandes riveraines afin de les protéger. Souvent, le problème est sur la terre et non en rive.

#### Effets des routes et de l'entretien des routes :

Sur la rivière Boyer, la construction de la route et du pont sur la 20 ont pu avoir eu des effets.

Au Massachusetts, les problèmes sont atmosphériques (apports d'azote) et humains. Ceci est plus difficile à contrôler et légiférer.

### 3. Création d'habitats artificiels et incubation et survie des oeufs

Il ne faut pas attendre de perdre la rivière Fouquette pour agir. Il faut prévoir une façon de faire, un plan d'action. Par contre, il n'y a pas assez de connaissances pour construire un habitat artificiel optimal. Ainsi, il y a des habitats aux alentours de l'habitat de fraye sur la Fouquette qui semblent être excellents mais pourtant, il n'y a pas de fraye dans ces zones.

Il ne faudrait pas donner aux agriculteurs le message qu'on peut tout régler en créant des habitats artificiels, il faut qu'ils soient conscients qu'il faut régler les problèmes à la base auparavant, soit l'enrichissement par les éléments nutritifs.

Dans certaines régions aux États-Unis, des substrats artificiels pour l'incubation des oeufs sont placés en mars et sont complètement recouverts d'algues en avril. Il faut donc trouver et corriger d'abord les conditions qui interfèrent avec la croissance de la population.

Les coûts peuvent être excessifs pour vérifier si la reproduction a lieu. Ceci ne semble pas être excessif pour d'autres intervenants selon l'importance relative de la ressource et la nature des problèmes à régler.

**Conclusion :** Il faut une meilleure connaissance des habitats ; il faut être prudent sur les messages qu'on laisse et éviter de porter à croire qu'on peut tout régler en créant des habitats artificiels.

### 4. Déplacement de larves et d'adultes

Après la prédation et la mortalité des oeufs, il reste peu d'oeufs aptes à produire des larves viables. Un incubateur peut produire 10-13 x 10<sup>6</sup> larves. Par contre, des questions subsistent sur la survie de ces larves en nature.

Il ne faut pas que cela soit un outil pour maintenir perpétuellement une population mais plutôt pour en rétablir l'abondance ou la réintroduire. Au New Hampshire, les oeufs doivent être incubés à chaque année sinon c'est un retour aux conditions d'avant.

Il faut s'adresser au problème de base. Dans le Maine, l'effet de l'ensemencement d'espèces proies comme l'éperlan s'est fait sentir seulement après avoir arrêté d'ensemencer des prédateurs.

L'incubation peut servir d'outil éducatif pour sensibiliser la population aux vrais problèmes.

Il y a la possibilité que les amendes versées lors de poursuites ou des compensations financières soient utilisées pour des programmes de restauration. Il est difficile d'établir devant un juge quelle compensation est suffisante et raisonnable en regard des impacts. Parfois les mesures de mitigation ne sont pas suffisantes.

**Conclusion :** Il y a des avantages à la production artificielle et au déplacement de larves et d'adultes quand ces approches sont bien exploitées pour des objectifs d'éducation et pour maintenir une population ou la réintroduire.

### 5. Stocks génétiques pour la restauration des populations.

Les éperlans ont été introduits dans plusieurs plans d'eau. On ne sait pas si on a protégé les stocks génétiques qui étaient présents à l'origine. Au Québec, on devrait réensemencer avec les stocks génétiques en autant qu'on les connaisse.

## 6. Analyses coûts-bénéfices et résultats atteints

Il faut définir les besoins d'ensemencement en fonction des résultats recherchés : nombre d'oeufs, nombre de femelles, surfaces d'habitats. C'est ensuite qu'on peut connaître les coûts et évaluer si les résultats attendus les justifient. Toutefois on ne connaît pas suffisamment l'habitat et la capacité de support. Par ailleurs, notre définition d'une population en santé qu'on souhaiterait rétablir (donc des objectifs visés et des coûts) n'est pas la même que celle d'un fermier ou d'autres intervenants qui n'ont pas d'intérêt direct avec l'éperlan.

## 7. Autres facteurs

On connaît très peu la variabilité naturelle des populations d'éperlan et les liens avec des impacts humains.

## Workshop : Habitat and population restoration

Animator : Guy Trecia  
Rapporteur : Louise Lapierre

### 1. Identification of the causes for stock deterioration and understanding the reasons for the abandonment of spawning grounds

We must recognize the importance of freshwater runoff for spawning and as a critical element during winter as a thermic refuge.

Stock deterioration may be due to many interacting factors. We must study these factors to understand any particular situation.

We don't understand clearly the optimum conditions for reproduction. Many aspects concerning spawning and larval nursery areas need to be studied.

The present state of the Boyer river shows that sometimes we don't have enough time to understand everything before taking action. Sometimes, we must take action before fully understanding the problem. The water quality and the loss of attractiveness of the river (bad odor repulsing the fish) may be two important factors explaining the abandonment of the spawning river. It is a good idea to try to reduce the amount of nitrogen and phosphorus released into the spawning river even though their role in adversely effecting river attractiveness has been contested by some.

Considerable time may be required before fully understanding the problem associated with abandonment of spawning rivers.

**Conclusion** : We still need more knowledge before discerning the entire problem, but we must take action toward restoration even though do we do not fully understand the problem.

### 2. Watershed-scale physical restoration

#### *Agricultural effects* :

On the Boyer river, it may be worthwhile to focus on certain, critical tributaries.

As farmers may not wish to change their practices, we may need to pass laws and implement regulations.

We may need to consider purchasing buffer strips along the shoreline (to control erosion for example) recognizing however that farming practices elsewhere on land (eg. over-fertilisation) may be more problematical than what happens on the shoreline.

#### *Road position and maintenance* :

On the Boyer river, the construction of the Trans-Canada Highway and its bridge over the river appear to be important factors adversely affecting the river.

In Massachusetts, the main problems seem to be more related to atmospheric nitrogen and human perturbation (eg. parking lots). These seem to be more difficult to control and regulate.

### 3. Artificial habitat, incubation and egg survival

We should not wait to see the abandonment of the Fouquette river before taking action toward its protection. We require an action plan. However, we do not possess enough knowledge to build an artificial spawning ground that will be optimal. Some potential spawning habitats in the vicinity of the main Fouquette spawning ground appear to be in excellent state but no spawning activities have been recorded.

We should not give the farmer the idea that we can mitigate spawning habitat loss by the creation of artificial spawning devices. Farmers must be aware that the basic problem is eutrophication of the river by agricultural activities and this must be the object of the first action taken.

In some regions of the US, artificial substrate used for egg incubation is established in March but within one month they are smothered with a thick growth of periphyton. We must study how to control the conditions interfering with egg survival.

The costs associated with searching for spawning activities (and spawning grounds) are for some excessive. However, expenditures can be justified depending on the relative importance of the smelt stock and the nature of the problems.

**Conclusion :** We need a better understanding of habitats and a more responsible dialog with the farming community ; the creation of artificial habitat should not be considered as the ultimate solution.

### 4. Population enhancement

Considering the predation on eggs and the natural mortality of those, few eggs may hatch. An incubator device may produce up to  $10-13 \times 10^6$  larvae. However, questions persist as to their ultimate survival in nature.

Incubators should not be seen as a tool to artificially maintain a population in perpetuity but as a means permitting the reintroduction or restoration of a population. In New Hampshire, every year eggs must be artificially incubated in order to avoid a decline in population abundance.

In Maine, the effect of stocking smelt as forage fish was noticeable only after cessation of the stocking of predator fish.

Incubators may be used as an educational tool in order to increase awareness in the population about the problems of restoration and conservation.

Fines paid following successful litigation may be invested in restoration programs. It is still difficult to show in court what level of compensation is required in relation to the potential impact of the activity.

**Conclusion :** There are advantages to population enhancement through the stocking of larvae and adults when these techniques are used to restore or reintroduce a population in conjunction with public education.

### 5. Genetic stock restoration approach

Smelt have been introduced in many water bodies throughout North America. We do not know if we have protected the native populations in some areas. In Quebec, we should stock only with similar genetic stocks. This practice is only possible if we already know the genetic characteristics of the native populations.

### 6. Cost-benefit analysis and the goals reached

We should define the stocking level needed in relation to the results targeted: number of eggs, number of females, habitat area. We may then calculate the costs and thus evaluate if benefits outweigh costs. However, we don't know exactly the maximum support capability of the target habitat. Further more, our definition of a healthy population level which we would like to restore (and thus the goal fixed and the cost associated with it) is not the same as it may be for a farmer or other intervening parties with competing goals.

### 7. Other factors

We know little about the natural variability of smelt populations and their link with human activities.

BERNATCHEZ, Louis .....	79
BOUCHARD, Luc.....	13
BRASSARD, Claude .....	3
CHASE, Bradford C. ....	10
DORAIS, Martin.....	20
LAPIERRE, Louise .....	26
LAWTON, Robert P.....	59
LECOMTE, Frédéric.....	39
LEGAULT, Michel.....	48
MINGELBIER, Marc.....	108
NELSON-STASTNY, Wayne .....	101
SAINT-LAURENT, Robert.....	79
SALMON, Richard.....	64
SIMONEAU, Marc.....	69
SIROIS, Pascal.....	72
THÉBERGE, Claude.....	54

TRENCIA, Guy .....	83
TRIAL, Joan G. ....	95
VERDON, Richard .....	54
VERREAULT, Guy .....	87

**ADRESSES DES PARTICIPANTS / PARTICIPANTS ADDRESSES**

ARSENAULT, George <sup>1</sup>  
 Direction générale du patrimoine faunique et naturel  
 Faune et Parcs  
 675 boul. René-Lévesque Est 30e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3960  
 Fax : (418) 643-7812  
 E-mail : george.arsenault@mef.gouv.qc.ca

BOLAND, John  
 Maine Fish and Wildlife  
 358 Shaker Road  
 Gray Maine 04039 USA  
 Tél. : (207) 657-2345 #113  
 Fax : (207) 657-2980  
 E-mail : john.boland@state.me.us

BASLEY, Dave J.  
 Inland Fisheries and Wildlife  
 P.O. Box 447  
 Ashland ME 04732-0447 USA  
 Tél. : (207) 435-3231  
 Fax : (207) 435-2009  
 E-mail : David.Basley@state.me.us

BOLDUC, Fabien  
 Pro Faune  
 2095 rue Jean-Talon Sud bur. 217  
 Sainte-Foy QC G1N 4L8  
 Tél. : (418) 688-3898  
 Fax : (418) 681-6914  
 E-mail : profaune@globetrotter.qc.ca

BELISLE, Francis  
 Naturam Environnement  
 31 rue Marquette  
 Baie-Comeau QC G4Z 1K4  
 Tél. : (418) 296-8911  
 Fax : (418) 296-2889  
 E-mail : naturam@globetrotter.qc.ca

BOUCHARD, Luc  
 Centre Écologique du Lac St-Jean inc.  
 559 boul. Sacré-Cœur C.P. 12  
 Saint-Félicien QC G8K 2P8  
 Tél. : (418) 679-8496  
 Fax : (418) 679-5665  
 E-mail : celsj@destination.ca

BERNATCHEZ, Louis  
 Département de biologie  
 Université Laval  
 Sainte-Foy QC G1K 7P4  
 Tél. : (418) 656-3402  
 Fax : (418) 656-2043  
 E-mail : louis.bernatchez@bio.ulaval.ca

BOURQUE, François  
 Terramar Environnement  
 168 Chemin des Marais  
 Havre aux Maisons  
 Îles-de-la-Madeleine QC G0B 1K0  
 Tél. : (418) 969-4140  
 Fax : (418) 969-4140  
 E-mail : terramar@cancom.net

BERTHIAUME, Luc <sup>1</sup>  
 Direction de la faune et des habitats  
 Faune et Parcs  
 675 boul. René-Lévesque Est 11e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3940 #4358  
 Fax : (418) 646-6863  
 E-mail : luc.berthiaume@mef.gouv.qc.ca

BRADY, Phillips D.  
 DMF Pocasset  
 South Shore Office  
 50A Portside Dr  
 Pocasset MA 02559 USA  
 Tél. : (508) 563-1779 #115  
 Fax : (508) 563-5482  
 E-mail : phillips.brady@state.ma.us

BÉRUBÉ, Pierre <sup>1</sup>  
 Direction de la faune et des habitats  
 Faune et Parcs  
 675 boul. René-Lévesque Est 11e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3940 #4359  
 Fax : (418) 646-6863  
 E-mail : pierre.berube@mef.gouv.qc.ca

BRASSARD, Claude  
 Ministère des Pêches et des Océans  
 Institut Maurice-Lamontagne  
 850 Route de la Mer  
 Mont-Joli QC G5H 3Z4  
 Tél. : (418) 775-0671  
 Fax : (418) 775-0658  
 E-mail : brassardc@dfo-mpo.gc.ca

CALDERON, Isabel  
Case postale 203  
Clarke City QC G0G 1H0  
Tél. : (418) 583-2604  
E-mail : cali@bbsi.net

CAMERON, Paul  
Ministère des Pêches et des Océans  
P.O. Box 1019  
Dalhousie NB E0K 1B0  
Tél. : (506) 684-6258  
Fax : (506) 684-6259  
E-mail : charsal@nbnet.nb.ca

CHASE, Bradford C.  
Massachusetts Division of Marine Fisheries  
30 Emerson Ave  
Gloucester MA 01930 USA  
Tél. : (508) 282-0308  
Fax : (617) 727-3337  
E-mail : bchase@state.ma.us

CORFA, Geneviève  
Hydro-Québec  
75 boul. René-Lévesque Ouest 16e  
Montréal QC H2Z 1A4  
Tél. : (514) 840-3000  
Fax : (514) 840-3780

CORMIER, Chantale  
108 Du Buisson  
Repentigny QC J6A 5C6  
Tél. : (450) 581-6544  
E-mail : m303010@er.uqam.ca

CÔTÉ, Raynald  
Université du Québec à Chicoutimi  
555 boul. de l'Université  
Chicoutimi QC G7H 2V1  
Tél. : (418) 545-5011 #5079  
Fax : (418) 545-5012  
E-mail : raynald\_cote@uqac.quebec.ca

DELAÎTRE, François <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #7958  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : francois.delaitre@mef.gouv.qc.ca

DEMERS, Robert  
Robert Demers et Ass. Inc.  
418 Chemin des Îles  
Lévis QC G6V 7M5  
Tél. : (418) 833-3707  
Fax : (418) 833-5528  
E-mail : rdemers@acncanada.net

DODSON, Julian J.  
Département de biologie (G.I.R.O.Q.)  
Université Laval  
Sainte-Foy QC G1K 7P4  
Tél. : (418) 656-3289  
Fax : (418) 656-2339  
E-mail : julian.dodson@bio.ulaval.ca

DORAIS, Martin  
Direction régionale de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine  
Faune et Parcs  
11 rue de la Cathédrale  
Gaspé QC G4X 2V9  
Tél. : (418) 360-8444  
Fax : (418) 360-8935  
E-mail : saefgasp@globetrotter.qc.ca

DORION, Denis  
Direction des communications  
Ministère de l'Environnement  
675 boul. René-Lévesque Est 29e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3823 #4153  
Fax : (418) 646-4852

DOYON, Jean-François  
Génivar  
5355 boul. des Gradins  
Québec QC G2J 1C8  
Tél. : (418) 623-2010  
Fax : (418) 623-2434  
E-mail : jfdoyon@genivar.com

DUPONT, Nancy <sup>1</sup>  
Direction des communications  
Ministère de l'environnement  
675 boul. René-Lévesque Est 29e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3999 #4128  
Fax : (418) 646-4852  
E-mail : nancy.dupont@mef.gouv.qc.ca

DUPUIS, Suzanne  
Alcan Itée  
100 rue St-Joseph Sud Suite 104  
Alma QC G8B 7A6  
E-mail : suzanne.dupuis@alcan.com

EMERSON, Dianne  
New Hampshire Fish and Game Department  
Inland Fisheries Division  
2 Hazen Drive  
Concord New Hampshire 03301 USA  
Tél. : (603) 271-2501  
Fax : (603) 271-1438  
E-mail : info@wildlife.state.nh.us

FABRIZIO, Mary  
US Geological Survey  
Great Lakes Science Center  
1451 Green Road  
Ann Arbor MI 48105 USA  
E-mail : mary\_fabrizio@usgs.gov

FLEISCHER, Guy  
US Geological Survey  
Great Lakes Science Center  
1451 Green Road  
Ann Arbor MI 48105 USA  
E-mail : guy\_fleischer@usgs.gov

FORTIN, Anne-Lise  
Université du Québec à Chicoutimi  
555 boul. de l'Université  
Chicoutimi QC G7H 2V1  
Tél. : (418) 545-5011 #5079  
Fax : (418) 545-5012

FOURNIER, Denis <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4421  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : denis.fournier@mef.gouv.qc.ca

GAUTHIER, Omer <sup>1</sup>  
Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean  
Faune et Parcs  
3950 boul. Harvey  
Jonquière QC G7X 8L6  
Tél. : (418) 695-7883  
Fax : (418) 695-7897  
E-mail : omer.gauthier@mef.gouv.qc.ca

GEORGE, Stan <sup>1</sup>  
Direction régionale de Québec  
Faune et Parcs  
9530 rue de la Faune  
Charlesbourg QC G1G 5H9  
Tél. : (418) 644-8844  
Fax : (418) 622-3014  
E-mail : stan.georges@inetsrv1.mef.gouv.qc.ca

GOUIN, Hélène <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4428  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : helene.gouin@mef.gouv.qc.ca

GROLEAU, Chantale <sup>1</sup>  
Direction de la faune et des habitats  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4430  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : chantal.groleau@mef.gouv.qc.ca

GRONDIN, Claude  
Fondation de la faune du Québec  
Place Iberville II 4e  
1175 Avenue de Lavigerie  
Sainte-Foy QC G1V 4P1  
Tél. : (418) 644-7926  
Fax : (418) 643-7655  
E-mail : ffq@riq.qc.ca

HARVEY, Gilles <sup>1</sup>  
Direction de la faune et des habitats  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4444  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : gilles.harvey@mef.gouv.qc.ca

JACQUAZ, Bernadette  
Laboratoire SAB  
7869 Saint-Denis  
Montréal QC H2R 2E9  
Tél. : (514) 948-1666  
Fax : (514) 948-0771  
E-mail : labsab@minet.ca

JACQUES, Jean-Guy  
Ministère des Pêches et des Océans  
Institut Maurice-Lamontagne  
850 Route de la Mer  
Mont-Joli QC G5H 3Z4  
Tél. : (418) 775-0698  
Fax : (418) 775-0658  
E-mail : jacquesjg@dfo-mpo.qc.ca

KERR, Steven  
Ontario Ministry of National Resources  
P.O. Box 2002  
Kemptville ON K0G 1J0  
Tél. : (613) 258-8212  
Fax : (613) 258-3920  
E-mail : kerrs@gov.on.ca

KIRCHEIS, Fred  
Maine Department of Inland Fisheries and Wildlife  
650, State Street  
Bangor Maine 04401-5654 USA  
Tél. : (207) 941-4459  
Fax : (207) 941-4443  
E-mail : fred.kircheis@state.me.us

KRAMER, Gordon  
Maine Department of Inland Fisheries & Wildlife  
Box 1066 Enfield Maine 04493 USA  
Tél. : (207) 732-4131  
E-mail : gordon.kramer@state.me.us

KRAMER, Nels  
Maine Fish and Wildlife  
358 Shaker Road  
Gray Maine 04039 USA  
Tél. : (207) 657-2345 #113  
Fax : (207) 657-2980  
E-mail : nels.kramer@state.me.us

LABBÉ-BEAUDOIN, Philippe <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #7959  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : philippe.labbe-beaudouin@mef.gouv.qc.ca

LABONTÉ, Johanne <sup>1</sup>  
Direction régionale de la Côte-Nord  
Faune et Parcs  
818 boul. Laure  
Sept-Îles QC G4R 1Y8  
Tél. : (418) 964-8888 # 264  
Fax : (418) 964-8023  
E-mail : johanne.labonte@mef.gouv.qc.ca

LACHANCE, Stephanie <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4463  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : stephanie.lachance@mef.gouv.qc.ca

LAMARRE, Marie-Hélène <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #7960  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : marie-helene.lamarre@mef.gouv.qc.ca

LAPIERRE, Louise <sup>1</sup>  
Direction de la faune et des habitats  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4497  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : louise.lapierre@mef.gouv.qc.ca

LAROSE, Martin  
559, boul. Sacré-Coeur C.P. 12  
Saint-Félicien QC G8K 2P8  
Tél. : (418) 679-8496  
Fax : (418) 679-5665  
E-mail : celsj@destination.ca

LAWTON, Robert P.  
Massachusetts Division of  
South Shore Office  
50A Portside Dr  
Pocasset MA 02559 USA  
Tél. : (508) 563-1779  
Fax : (508) 563-5482  
E-mail : robert.lawton@state.ma.us

LE BEL, Jean-Pierre <sup>1</sup>  
Direction régionale du Bas-Saint-Laurent  
Faune et Parcs  
212 rue Belzile  
Rimouski QC G5L 3C3  
Tél. : (418) 727-3511 #280  
Fax : (418) 727-3849  
E-mail : jplebel@mef.gouv.qc.ca

LECOMTE, Frédéric  
Département de biologie (G.I.R.O.Q.)  
Université Laval  
Sainte-Foy QC G1K 7P4  
Tél. : (418) 656-2131 # 8022  
Fax : (418) 656-2339  
E-mail : frederic.lecomte@giroq.ulaval.ca

LEFEBVRE, Renald <sup>1</sup>  
Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean  
Faune et Parcs  
3950 boul. Harvey  
Jonquière QC G7X 8L6  
Tél. : (418) 695-7883  
Fax : (418) 695-7897  
E-mail : renald.lefebvre@mef.gouv.qc.ca

LEGAULT, Michel <sup>1</sup>  
Direction de la faune et des habitats  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4473  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : michel.legault@mef.gouv.qc.ca

LEMIEUX, Claude  
Groupe-Conseil Génivar  
5355 boul. des Gardins bur. 101  
Québec QC G2J 1C8  
Tél. : (418) 623-2254  
Fax : (418) 623-2434  
E-mail : clemieux@genivar.com

LESUEUR, Charles  
ZIP Saguenay  
3331 Rang Saint-Pierre  
Chicoutimi QC G7H 5B3  
Tél. : (418) 545-4310  
E-mail : c\_lesueur@yahoo.com

LEVESQUE, Pierre <sup>1</sup>  
Direction régionale de l'Estrie  
Faune et Parcs  
770 rue Goretti  
Sherbrooke QC J1E 3H4  
Tél. : (819) 820-3882 #283  
Fax : (819) 820-3958  
E-mail : pierre.levesque4@mef.gouv.qc.ca

MAILHOT, Yves  
Direction régionale de la Mauricie et du Centre du  
Québec  
Faune et Parcs  
101 rue Laviolette  
Trois-Rivières QC G9A 5S9  
Tél. : (819) 371-6575  
Fax : (819) 371-6987  
E-mail : meftro@infoteck.qc.ca

MARSDEN, Ellen J.  
School of Natural Resources  
Aiken Center University of Vermont  
Burlington VT 05405 USA  
Tél. : (802) 656-0684  
Fax : (802) 656-8683  
E-mail : emarsden@nature.snr.uvm.edu

MERCIER, Gilles <sup>1</sup>  
Service de la faune aquatique  
Faune et Parcs  
675 boul. René-Lévesque Est 11e  
Québec QC G1R 5V7  
Tél. : (418) 521-3940 #4485  
Fax : (418) 646-6863  
E-mail : gilles.mercier@mef.gouv.qc.ca

MILLER, Donald R.  
New Hampshire Fish and Game Department  
Inland Fisheries Division  
2 Hazen Drive  
Concord New Hampshire 03301 USA  
Tél. : (603) 271-2501  
Fax : (603) 271-1438  
E-mail : info@wildlife.state.nh.us

MINGELBIER, Marc <sup>1</sup>  
 Direction de la faune et des habitats  
 Faune et Parcs  
 675 boul. René-Lévesque Est 11e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3940 #4486  
 Fax : (418) 646-6863  
 E-mail : marc.mingelbier@mef.gouv.qc.ca

NELSON-STASTNY, Wayne  
 South Dakota Game Fish & Parks  
 Missouri River Fisheries Center  
 523 E. Capitol Pierre SD USA  
 Tél. : (605) 773-4509  
 Fax : (605) 773-3399  
 E-mail : waynes@gfp-oahe.state.sd.us

PERRY, Stephen G.  
 New Hampshire Fish and Game Department  
 Inland Fisheries Division  
 2 Hazen Drive  
 Concord New Hampshire 03301 USA  
 Tél. : (603) 271-2501  
 Fax : (603) 271-1438  
 E-mail : info@wildlife.state.nh.us

PETTIGREW, Pierre  
 Direction régionale du Bas-Saint-Laurent  
 Ministère de l'Environnement  
 50, rue Lafontaine  
 Rivière-du-Loup QC G5R 3C4  
 Tél. : (418) 862-8649  
 Fax : (418) 862-8176  
 E-mail : mef.rdl@transcom.qc.ca

RICHARD, Pierre <sup>1</sup>  
 Direction des communications  
 Ministère de l'Environnement  
 675 boul. René-Lévesque Est 29e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3823 #4916  
 Fax : (418) 646-4852  
 E-mail : pierre.richard@mef.gouv.qc.ca

ROCHON, Yves <sup>1</sup>  
 DEEPIMH  
 Ministère de l'Environnement  
 675 boul. René-Lévesque Est 6e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3933 #4651  
 Fax : (418) 644-8222  
 E-mail : yves.rochon@mef.gouv.qc.ca

SALMON, Richard  
 Lake Nipigon Fisheries Assessment Unit  
 Ministry of Natural Resources  
 5 Wadsworth Drive Box 970  
 Nipigon ON P0T 2J0  
 Tél. : (807) 887-5000  
 Fax : (807) 887-2993  
 E-mail : rick.salmon@mnr.gov.on.ca

SIMONEAU, Marc <sup>1</sup>  
 Direction des écosystèmes aquatiques  
 Ministère de l'Environnement  
 675 boul. René-Lévesque 7e  
 Québec QC G1R 5V7  
 Tél. : (418) 521-3820 #4707  
 Fax : (418) 646-8483  
 E-mail : marc.simoneau@mef.gouv.qc.ca

SIROIS, Pascal  
 Département de biologie (G.I.R.O.Q.)  
 Université Laval  
 Sainte-Foy QC G1K 7P4  
 Tél. : (418) 656-2131 #8022  
 Fax : (418) 656-2339  
 E-mail : pascal.sirois@giroq.ulaval.ca  
 SMITH, Kevin A.  
 E-mail : Q3pm@sdsumus.sdstate.edu

STAATS, Nick  
 USFWS  
 111 West St.  
 Essex Jct. VT 05452 USA  
 Tél. : (802) 879-5679  
 Fax : (802) 879-3871  
 E-mail : nstaats@anressex.anr.state.vt.us

ST-LAURENT, Robert  
 Département de biologie (G.I.R.O.Q.)  
 Université Laval  
 Sainte-Foy QC G1K 7P4  
 Tél. : (418) 656-2131  
 Fax : (418) 656-2339  
 E-mail : ezbob@total.net

TARDIF, Rémi  
 Direction régionale du Bas-Saint-Laurent  
 Faune et Parcs  
 506 rue Lafontaine  
 Rivière-du-Loup QC G5R 3C4  
 Tél. : (418) 862-8649  
 Fax : (418) 862-8176  
 E-mail : remi.tardif@transcom.qc.ca

THÉBERGE, Claude  
 Naturam Environnement  
 31 rue Marquette  
 Baie-Comeau QC G4Z 1K4  
 Tél. : (418) 296-8911  
 Fax : (418) 296-2889  
 E-mail : naturam@globetrotter.qc.ca

TRENCIA, Guy <sup>1</sup>  
 Direction régionale de la Chaudière-Appalaches  
 Faune et Parcs  
 8400 Ave. Sous-le-Vent  
 Charny QC G6X 1K6  
 Tél. : (418) 832-7222 #229  
 Fax : (418) 832-1827  
 E-mail : guy.trencia@inetsrv1.mef.gouv.qc.ca

TRIAL, Joan  
 Maine Department of Inland Fisheries and Wildlife  
 650 State Street  
 Bangor Maine 04401-5654 USA  
 Tél. : (207) 941-4457  
 Fax : (207) 941-4443  
 E-mail : joan.trial@state.me.us

<sup>1</sup> Si l'adresse de courriel ne fonctionne pas, modifier "MEF" par "FAPAQ".

VERDON, Richard  
 Hydro-Québec  
 75 boul. René-Lévesque Ouest 16e  
 Montréal QC H2Z 1A4  
 Tél. : (514) 840-3000  
 Fax : (514) 840-3780  
 E-mail : verdon.richard@hydro.qc.ca

VERREAULT, Guy <sup>1</sup>  
 Direction régionale du Bas-Saint-Laurent  
 Faune et Parcs  
 506 rue Lafontaine  
 Rivière-du-Loup QC G5R 3C4  
 Tél. : (418) 862-8649  
 Fax : (418) 862-8176  
 E-mail : guy.verreault@mef.gouv.qc.ca