

# Contrôle hydrodynamique de l'avalaison des œufs et des larves de poulamon atlantique (*Microgadus tomcod*) sous le couvert de glace de la rivière Sainte-Anne, Québec

Réjean Fortin<sup>(1)</sup>, Martin Léveillé<sup>(1)</sup>, Sylvie Guénette<sup>(1)</sup> et Paul Laramée<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Département des Sciences biologiques, Université du Québec à Montréal  
C.P. 8888, Succ. A, Montréal H3G 3P8, P. Québec, Canada.

<sup>(2)</sup> Environnement Canada, Direction Protection de l'Environnement  
1179 de Bleury, Montréal H3B 3H9, P. Québec, Canada.

Reçu le 12 novembre 1991; accepté le 14 février 1992.

---

Hydrodynamics and the drift of Atlantic tomcod (*Microgadus tomcod*) eggs and larvae under the ice in the Sainte-Anne River, Québec.

Fortin, R., M. Léveillé, S. Guénette, P. Laramée. *Aquat. Living Resour.*, 1992, 5, 127-136.

## Abstract

Sainte Anne River tomcod spawn in a rapids sector, located approximately 7 km upstream from the confluence with the Saint Lawrence River, and probably also in a sector of accumulation of frazil ice generated in the rapids. The interannual variations in the drift of tomcod eggs and larvae, at different stations in the Sainte Anne River, were related to interannual variations in air temperature and discharge conditions. Low and stable discharges and temperatures resulted in the retention of the eggs and larvae in the upstream section of the study area (1980-1981, 1981-1982); higher, more variable discharges and temperatures caused a steady drift to the Saint Lawrence from January to April (1982-1983). In 1980-1981, a sudden rise in air temperatures and discharges caused an early massive descent of the eggs to the Saint Lawrence in the second half of February. Some tomcod eggs were retained and incubated in the frazil ice, which accumulates to form a suspended shoal extending over more than 3 km of river. After spawning, the mean number of eggs per 2 l of this medium, over the whole of the suspended shoal, reached 228 in 1981 (19 January), 231 in 1982 (6 February) and 54 in 1983 (15 February). The interannual variations in the spatiotemporal distribution of eggs and larvae in the frazil ice concurred with those suggested by the results of the drift study.

**Keywords :** Atlantic tomcod, reproduction, strategy, frazil ice, Canada.

## Résumé

Les poulamons de la rivière Sainte-Anne frayent dans un secteur de rapides, situé à environ 7 km de la confluence avec le fleuve Saint-Laurent, et probablement aussi dans un secteur d'accumulation de frazil généré par ces rapides. Les variations interannuelles dans la dérive des œufs et des larves de poulamon, à différentes stations dans la rivière, sont reliées aux conditions annuelles de température de l'air et de débit. Des températures et débits bas et stables ont causé la rétention des œufs et des larves dans la partie amont du secteur d'étude (1980-1981, 1981-1982); les températures et débits plus élevés et variables ont causé une dérive régulière au fleuve Saint-Laurent de janvier à avril (1982-1983). En 1980-1981, une hausse soudaine de la température et du débit a causé une avalaison massive des œufs au Saint-Laurent durant la seconde moitié de février. Des œufs de poulamon sont retenus et incubés dans le frazil, qui s'accumule en un barrage suspendu pouvant s'étendre, selon les années, sur plus de 3 km de rivière. Peu de temps après la fraye, la densité moyenne d'œufs par 2 l de ce substrat, sur l'ensemble du barrage suspendu, atteignait 228 en 1981 (19 janvier), 235 en 1982 (6 février), et 54 en 1983 (15 février). Les variations interannuelles dans la distribution spatiotemporelle des œufs dans le frazil concordent avec celles suggérées par les résultats de la dérive.

**Mots-clés :** Poulamon atlantique, reproduction, stratégie, frazil, Canada.

---

## INTRODUCTION

Il est maintenant reconnu que les facteurs climatiques contribuent pour une large part à l'explication de la variabilité du recrutement chez plusieurs espèces de poissons. Dans la rivière Sainte-Anne, à La Pérade, Québec, la fraye du poulamon atlantique a lieu de la mi-décembre à la mi-février, avec un maximum vers la deuxième ou la troisième semaine de janvier (Fortin et al., 1990). Une particularité de cette rivière est la formation de frasil au niveau de rapides situés à environ 4,5 km en amont du village de La Pérade (R<sub>1</sub>–R<sub>4</sub>, fig. 1). Le frasil est constitué de minuscules cristaux de glace qui se forment dans la colonne d'eau lorsque les eaux peu profondes et turbulentes des rapides sont refroidies à leur point de congélation au contact de l'air très froid. Ces cristaux s'agrègent et dérivent sous le couvert de glace, à l'aval des rapides. Le tout peut former un « barrage suspendu » dont l'importance et la dynamique varient d'une année à l'autre selon les conditions climatiques et hydrologiques, et qui influence les déplacements des géniteurs ainsi que le transport vers l'aval des œufs et des larves.

Ces facteurs étant de nature à influencer le déterminisme du recrutement chez le poulamon, nous avons entrepris de vérifier l'hypothèse que les conditions climatiques et hydrologiques, en agissant sur la formation de frasil, affectent la distribution spatio-temporelle des œufs et des larves de poulamon dans la rivière Sainte-Anne, ainsi que la séquence temporelle de leur dérive au fleuve Saint-Laurent.

### Site de l'étude

L'étude a été menée sur les huit derniers kilomètres de la rivière Sainte-Anne, qui incluent un secteur estuarien, soumis à l'influence d'une marée d'eau douce, et un secteur fluvial. Le premier s'étend de l'embouchure jusqu'au premier pont (route 138, fig. 1); sa profondeur est généralement inférieure à 1,5 m. Le secteur fluvial, dont les méandres s'étendent du premier pont aux rapides identifiés R1 à la figure 1, n'est pas influencé par la marée. Il est caractérisé par un chenal profond (1,5 à 3,5 m). Les sédiments changent du sable fin à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne, à du sable moyen à grossier près du premier pont, à du gravier, puis finalement à du gravier moyen à grossier au pied des rapides (Long et Pelletier, 1981, Lamy et Couture, 1981). Le substrat dans les rapides est composé principalement de roche mère et de blocs.

Généralement, le barrage suspendu de frasil mentionné plus haut s'étend au moins sur toute la longueur du secteur fluvial. Selon les conditions climatiques et la topographie de la rivière, l'épaisseur du barrage peut être telle qu'il occupe pratiquement toute la colonne d'eau, de la glace jusqu'à environ 1 m du fond. La densité du frasil varie dans le temps et dans

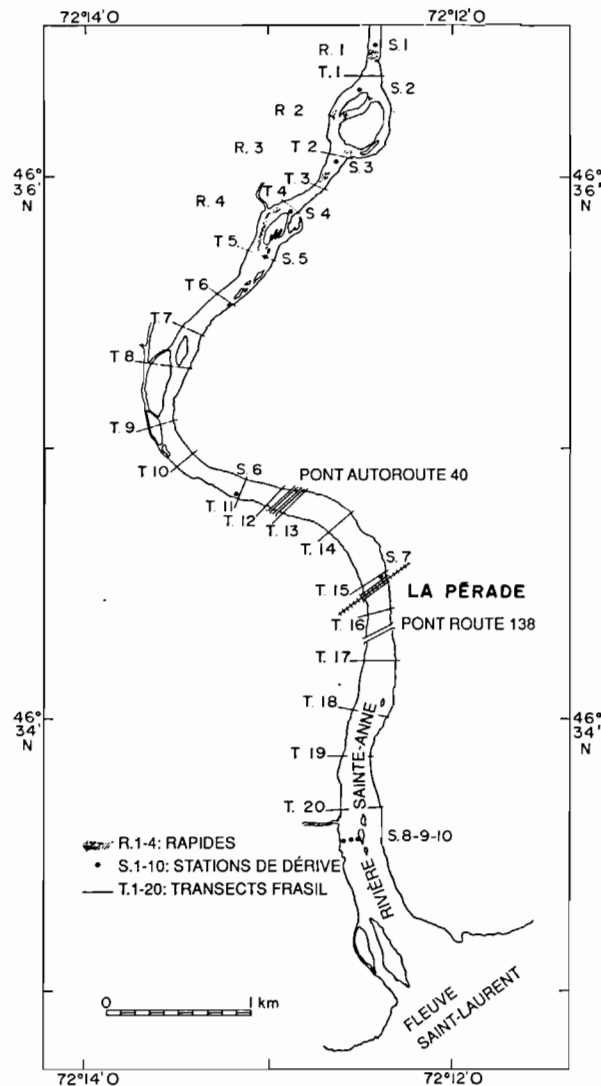


Figure 1. — Carte de la rivière Sainte-Anne montrant la localisation des rapides (R.1 à R.4), des stations de filets de dérive (S.1 à S.10) et des transects d'échantillonnage du frasil (T.1 à T.20).

Map of the Sainte-Anne River showing the location of the rapids (R.1 to R.4), drift stations (S.1 to S.10) and frasil ice sampling transects (T.1 to T.20).

l'espace. Un poulamon relâché dans du frasil de faible densité peut facilement s'y déplacer, alors qu'une benne Petersen lestée pénètre à peine de quelques centimètres dans du frasil compact.

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude a eu lieu entre décembre 1980 et avril 1983. Notre effort d'échantillonnage a été plus important en 1980-1981, dans le but de localiser le plus précisément possible l'aire de fraye et de bien documenter la dérive du frai vers l'aval. Des échantillons d'œufs et de larves

en dérive ont ainsi été prélevés trois fois par semaine, à 10 stations distribuées entre les rapides et l'embouchure de la rivière (*fig. 1*). La durée des collectes était de 3 heures, au cours de la marée descendante. Les échantillonneurs étaient semblables à ceux utilisés par Peterson *et al.* (1980); ils consistaient en un entonnoir de métal galvanisé, l'ouverture étroite (7,5 × 30 cm; 225 cm<sup>2</sup> de surface) étant disposée vers l'amont, avec un filet de nitex de 80 cm de longueur (mailles de 700 µm) fixé à l'extrémité postérieure élargie (13 × 30 cm); les œufs et les larves étaient recueillis dans un godet fixé à l'extrémité du filet. Une tige métallique s'étendant entre la surface de la glace et le substrat, et insérée au travers de l'échantillonneur, maintenait ce dernier en place sur le fond.

Les 2 années suivantes, seules les stations 3, 5, 6 et 8 ont été échantillonnées, au rythme de deux collectes par semaine en 1981-1982, et d'une par semaine en 1982-1983. La durée des collectes fut alors de 2 heures à marée descendante. Nous avons prévu d'effectuer des mesures de la vitesse du courant à chaque semaine aux différentes stations (courantomètre A. Ott Kempton, modèle 10.152). Il fut toutefois impossible d'obtenir des mesures de cette variable sur une base régulière, particulièrement en 1982-1983. En effet, à cause de la présence du frasil, il était souvent impossible de procéder aux mesures. En conséquence, le transport du frai vers l'aval a été exprimé en nombre d'œufs et de larves récoltés par 225 cm<sup>2</sup> de surface (embouchure de l'échantillonneur), par heure d'échantillonnage.

Dans le but de compléter l'information obtenue par les filets de dérive, nous avons tenté de quantifier la distribution des œufs dans le substrat au moyen de bennes Ekman et Petersen. Il s'est avéré impossible d'utiliser ces appareils dans le secteur du barrage suspendu, car la présence du frasil les empêchait d'atteindre le fond. Suite à la découverte de la présence d'œufs et de larves dans le frasil, leur distribution dans ce substrat fut étudiée en premier au moyen d'une époussette à long manche, puis au moyen d'un échantillonneur métallique à embouchure rectangulaire, muni d'un clapet aux deux extrémités et fonctionnant sur le même principe qu'un échantillonneur à plancton Patalas. La capacité des deux appareils était d'environ 2 l de frasil. Les collectes d'œufs et de larves ont été effectuées sur des transects distribués systématiquement le long du barrage suspendu, qui fut échantillonné le 22 décembre et le 19 janvier en 1980-1981, le 29 décembre et le 6 février en 1981-1982, et le 29 décembre, le 10 février et le 10 mars en 1982-1983. Généralement, trois stations étaient échantillonnées par transect (centre de la rivière, rive gauche, rive droite, surface et fond à chaque station où la profondeur dépassait 1 m). Les œufs et les larves ainsi récoltés furent fixés en vue du dénombrement et de la détermination du stade de développement.

Les températures de l'air à La Pérade, les températures de l'eau (thermographe installé immédiatement

en amont du pont de l'autoroute 40, sur la rive ouest de la rivière, *fig. 1*) et les débits à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne pour les 3 années d'étude ont été obtenus du Ministère de l'Environnement du Québec.

### Analyses statistiques

La distribution statistique des variables ne suivant pas une loi normale et la plupart des relations entre elles n'étant pas linéaires, même après transformation logarithmique, nous avons eu recours aux statistiques non paramétriques pour le traitement des données. Le test I de Kendall a permis d'évaluer l'intensité des relations existant entre les récoltes, par heure, d'œufs et de larves aux différentes stations de dérive et les six variables physiques suivantes : débit de la journée à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne, débit moyen des 3 journées précédentes, températures minimum et maximum de l'air de la journée, moyenne de la température minimum des 3 journées précédentes et moyenne de la température maximum des 3 journées précédentes. Nous avons aussi estimé le degré de corrélation existant entre les différentes variables physiques.

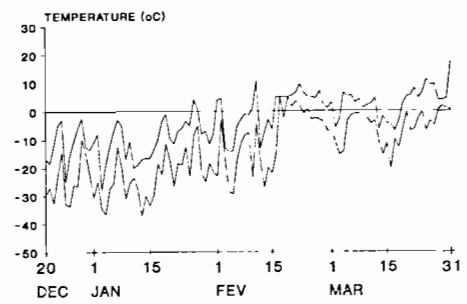
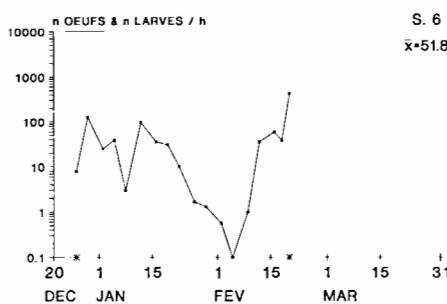
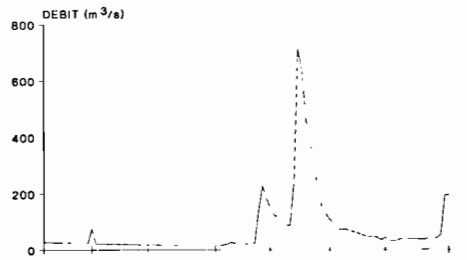
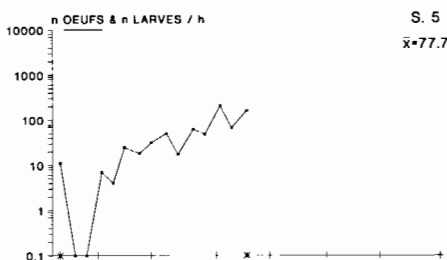
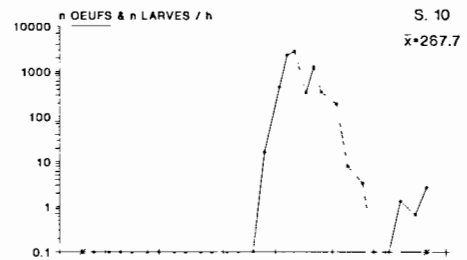
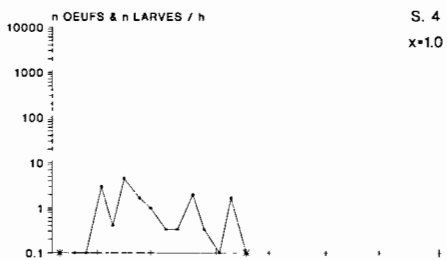
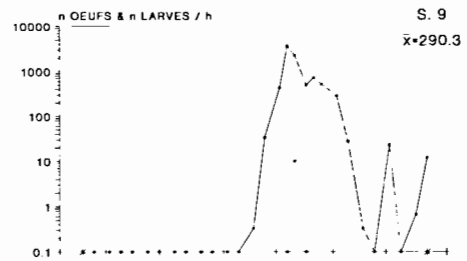
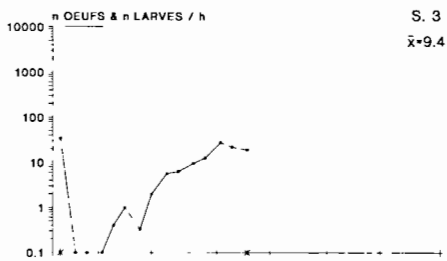
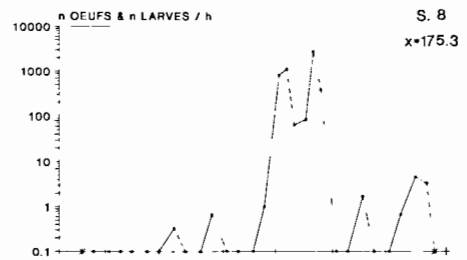
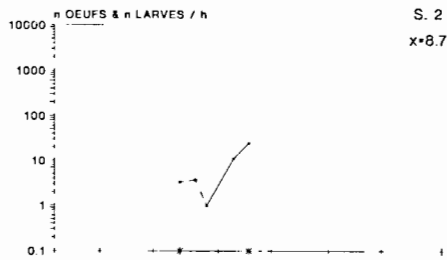
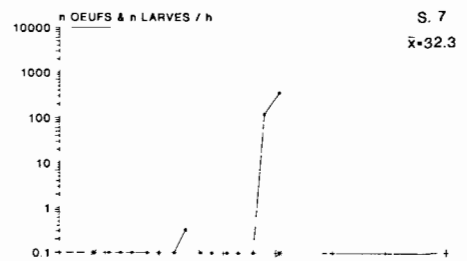
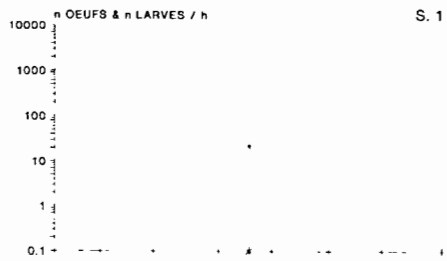
Les variations spatiales de l'abondance des œufs récoltés dans le frasil ont été étudiées après regroupement des transects en cinq secteurs : 1-Transects 1-4; 2-T. 5-8; 3-T. 9-12; 4-T. 13-16; 5-T. 17-20 (*fig. 1*). Les comparaisons de l'abondance des œufs entre les secteurs ont été effectuées au moyen de tests de Kruskal-Wallis et de *U* de Mann-Whitney.

## RÉSULTATS

### Avalaison du frai et facteurs physiques

Entre la dernière semaine de décembre et le début de février, l'année 1980-1981 fut caractérisée par des températures généralement basses et des débits faibles (*fig. 2*). Les œufs dérivèrent alors uniquement dans le secteur du barrage suspendu de frasil (stations 1 à 6), qui s'étendait des rapides au pont de l'autoroute 40. Pendant la même période, les récoltes étaient pratiquement nulles aux stations 7 à 10. Durant la seconde moitié de février, un réchauffement des températures de l'air, accompagné d'une augmentation du débit, provoqua une débâcle partielle dans la partie amont de l'aire d'étude, ce qui nous empêcha de poursuivre l'échantillonnage aux stations 1 à 7. Une dérive massive d'œufs vers le Saint-Laurent fut alors observée aux stations 8, 9 et 10 (moyenne par heure de 706 œufs pendant cette période; *fig. 2*). Le mois de mars fut caractérisé par des débits et des flux d'œufs moyens à faibles (en général, moins de 10 œufs/h).

La séquence temporelle de la dérive du frai fut très semblable aux stations 8, 9 et 10 (*fig. 2*) : les flux d'œufs et de larves à ces trois stations sont d'ailleurs



**Tableau 1.** — Valeur du  $\tau$  de Kendall et niveau de signification (\* :  $p < 0,05$ ; \*\* :  $p < 0,01$ ) pour les relations existant entre le nombre d'œufs et de larves récoltés, par heure, aux différentes stations de dérive, et six variables physiques : température minimale ( $T_{\min}$ ) et maximale ( $T_{\max}$ ) de l'air de la journée, moyenne de la température minimale ( $TT_{\min}$ ) et maximale ( $TT_{\max}$ ) des 3 journées précédentes, débit de la journée (DÉBIT) et moyenne du débit des 3 journées précédentes (DDÉBIT);  $n$  : nombre de jours d'échantillonnage.

*Kendall's  $\tau$  and level of signification (\*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ) for the statistical relationships between the number of eggs and larvae collected per hour at the various drift sampling stations, and six physical variables: minimum ( $T_{\min}$ ) and maximum ( $T_{\max}$ ) daily air temperature; means of the minimum ( $TT_{\min}$ ) and maximum ( $TT_{\max}$ ) air temperatures of the three preceding days; daily discharge (DÉBIT); mean discharge of the three preceding days (DDÉBIT);  $n$ : number of sampling days.*

Année et Station	$T_{\min}$	$T_{\max}$	$TT_{\min}$	$TT_{\max}$	DÉBIT	DDÉBIT	$n$
1980-1981							
3	0,19	0,24	0,28	0,18	-0,34*	-0,46*	15
4	-0,12	-0,17	0,06	-0,10	-0,04	-0,10	15
5	0,38*	0,38*	0,39*	0,32	-0,45*	-0,53**	15
6	0,09	0,01	-0,21	-0,07	0,38*	0,48**	18
7	0,14	0,13	0,13	0,20	0,30	0,20	15
8	0,40**	0,39**	0,48**	0,45**	0,47**	0,44**	30
9	0,48**	0,49**	0,58**	0,61**	0,69**	0,65**	29
10	0,47**	0,49**	0,54**	0,55**	0,68**	0,63**	29
1981-1982							
3	0,30**	0,32**	0,19	0,30**	-0,14	-0,17	34
5	-0,11	-0,03	-0,14	-0,13	-0,17	-0,23*	35
6	0,07	0,11	0,31**	0,09	0,39**	0,40**	33
8	0,45**	0,44**	0,43**	0,46**	0,41**	0,41**	38
1982-1983							
3	0,32	0,22	0,06	0,16	-0,30	-0,20	14
5	0,24	0,33*	-0,03	0,16	-0,01	-0,15	15
6	0,05	0,04	-0,13	-0,04	-0,09	-0,11	17
8	0,15	0,24	0,07	0,03	-0,18	-0,09	16

significativement corrélés entre eux ( $p < 0,01$ ). Le tableau 1 montre que les stations 8, 9 et 10 ont affiché des corrélations positives, significatives ( $p < 0,01$ ), entre le flux d'œufs et de larves et chacune des variables physiques considérées. Toutefois, les corrélations les plus élevées ont été observées avec le débit de la journée. Pour les trois années d'observation, chacune des variables physiques s'est avérée corrélée significativement avec toutes les autres.

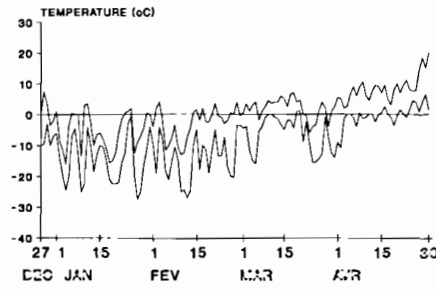
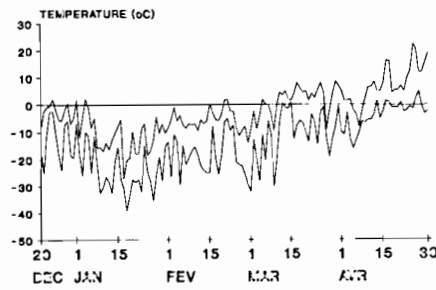
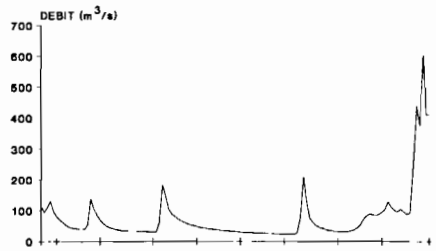
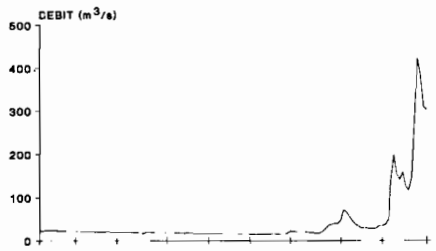
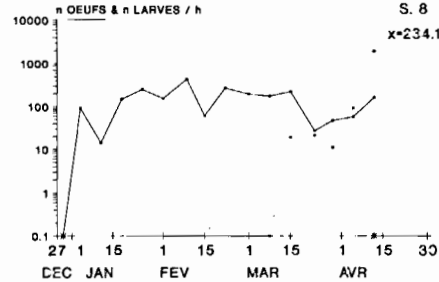
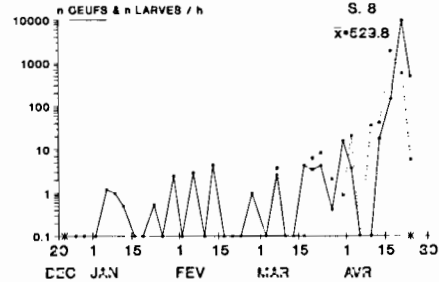
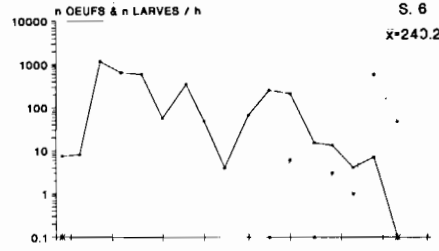
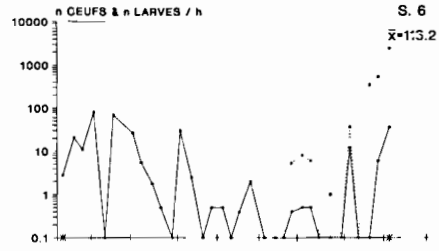
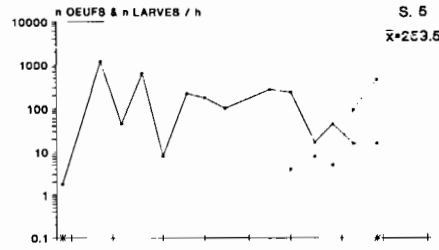
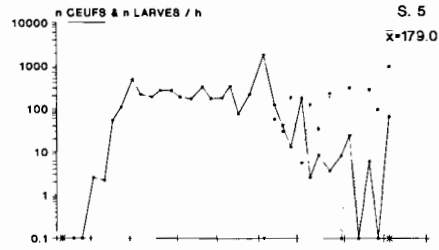
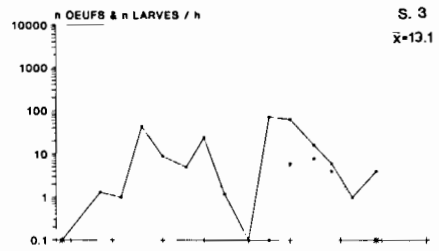
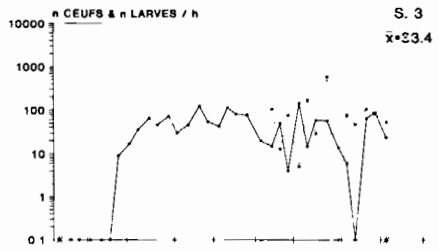
Dans le cas des stations situées dans le secteur du barrage suspendu de frasil, la séquence temporelle de la dérive a différé d'une station à l'autre; seules les stations 3 et 5 se sont avérées corrélées significativement entre elles ( $p < 0,01$ ). Les flux d'œufs et de larves à ces stations ont affiché quelques corrélations significatives avec les variables physiques, mais certaines sont positives, alors que d'autres sont négatives. Comme le débit a été relativement constant pendant la période au cours de laquelle ces stations ont été

échantillonnées, on peut supposer que d'autres facteurs sont responsables des variations observées à ces stations.

En 1981-1982, seules les stations amont, situées dans le secteur du barrage suspendu de frasil (stations 3 et 5 principalement), affichèrent des flux d'œufs appréciables au cours des mois de janvier, février et mars (fig. 3). Suite aux faibles valeurs de la température de l'air et du débit, le barrage suspendu de frasil, dont l'extension était semblable à celle observée en 1980-1981, est demeuré très stable pendant la majeure partie de l'échantillonnage. Les flux d'œufs et de larves observés à la station 8 furent faibles ou nuls jusqu'au début avril; ils connurent un maximum immédiatement après la débâcle, le 21 avril (9 840 œufs et 486 larves/h; fig. 3). La dévalaison au fleuve Saint-Laurent s'est effectuée surtout à l'état de larves en 1981-1982.

**Figure 2.** — Récoltes horaires d'œufs (—) et de larves (... ) effectuées aux stations de dérive S.1 à S.10 au cours de l'hiver 1980-1981;  $\bar{x}$  : moyenne saisonnière des récoltes horaires, œufs et larves cumulés. On donne aussi les valeurs journalières des températures minimum et maximum de l'air et du débit. \*—\* : durée de l'échantillonnage. Voir figure 1 pour localisation des stations.

*Number of eggs (—) and larvae (... ) collected per hour at drift stations S.1 to S.10 during the winter of 1980-1981;  $\bar{x}$ : seasonal mean of the total number of eggs and larvae collected per hour. Daily minimum and maximum air temperatures and discharges are also given. \*—\*: duration of sampling. See figure 1 for location of stations.*



1C31-C2

1C32-C3

Le flux d'œufs et de larves à la station 8, qui a pu être échantillonnée tout au long de l'hiver, jusqu'au moment de la débâcle, présente des corrélations positives, significatives ( $p < 0,01$ ), avec toutes les variables physiques. La corrélation la plus élevée a été observée avec la moyenne des températures maximum pour les trois jours précédents; toutefois, les différences entre les valeurs du  $\tau$  de Kendall, pour les différentes variables, sont moins prononcées qu'en 1980-1981. Les autres stations, qui n'ont pas pu être échantillonnées au moment de la débâcle, affichent des corrélations positives avec certaines des variables physiques, mais les tendances indiquées ne sont pas aussi nettes que dans le cas de la station 8.

La température et le débit ont fluctué beaucoup tout au long de la saison en 1982-1983 (fig. 3). Le barrage suspendu de frasil occupait alors pratiquement toute l'aire d'étude, depuis les rapides jusqu'au secteur de la station 8 de dérive. Des œufs, puis des larves, furent récoltés à toutes les stations échantillonnées avec le filet de dérive, incluant la station 8, à compter du début de janvier jusqu'à la débâcle, à la mi-avril (moyennes saisonnières, œufs et larves cumulés, variant de 240 à 284/h aux stations 5 à 8, fig. 3).

En 1982-1983, seule la station 5 a affiché une corrélation significative entre le flux d'œufs et de larves et une des variables physiques (température maximale de la journée,  $p < 0,05$ ; tabl. 1). Toutes les autres valeurs du  $\tau$  de Kendall se sont avérées non significatives.

### Répartition des œufs dans le frasil

A l'occasion de deux des trois échantillonnages effectués en décembre (22 décembre 1980, 6 transects, 27 stations; 29 décembre 1982, 6 transects, 18 stations), quelques œufs seulement furent récoltés (1 à 3 respectivement), ce qui concorde avec les flux d'œufs relativement faibles observés aux mêmes périodes.

Au cours des deux premières saisons (19 janvier 1981, 29 décembre 1981, 6 février 1982), marquées par de basses températures de l'air et de faibles débits en décembre et en janvier, les œufs de poulamon ont été récoltés surtout dans les secteurs 1 à 3 (fig. 4);

quelques œufs seulement ont été récoltés dans le secteur 4, qui n'était pas complètement occupé par le barrage suspendu. A chacune des trois dates, le nombre moyen d'œufs par échantillon de 2 l de frasil différait significativement entre les secteurs pris globalement (Kruskal Wallis,  $p < 0,05$ ); les différences provenaient principalement du secteur 4 où les récoltes d'œufs furent très faibles ou nulles.

En 1982-1983, la distribution des œufs était beaucoup plus étendue, couvrant surtout les secteurs 2 à 4, et même 5 (10 mars). Le 15 février 1983, le nombre moyen d'œufs par échantillon de deux litres de frasil différait significativement entre les secteurs pris globalement ( $p < 0,01$ ) et aussi entre plusieurs secteurs pris deux à deux. Le 10 mars 1983, le nombre moyen d'œufs par échantillon ne différait pas significativement entre les secteurs considérés globalement ( $p > 0,05$ ), mais certains secteurs, comparés deux à deux, différaient significativement entre eux (1-3, 1-4).

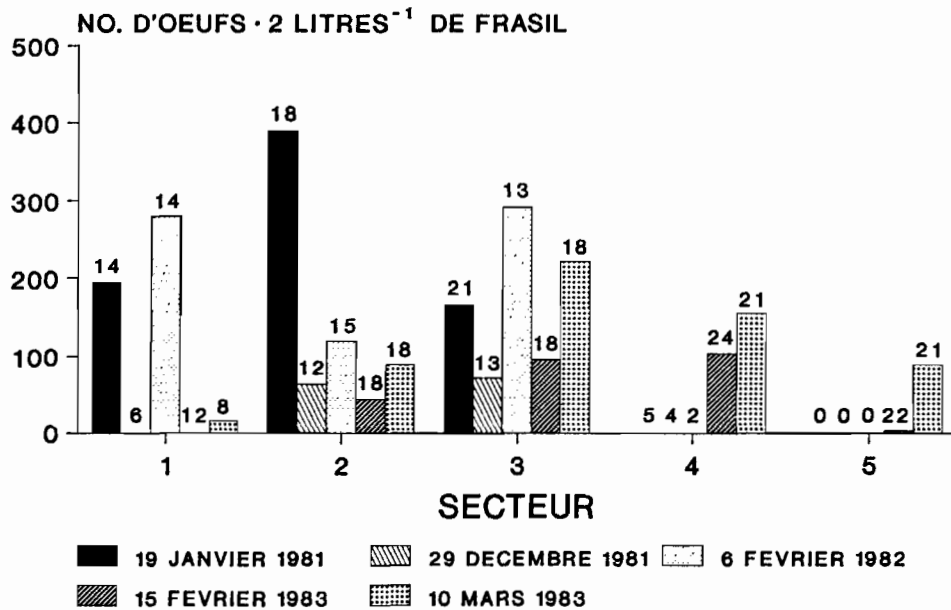
Comparées globalement, les cinq distributions spatiales des œufs dans le barrage suspendu de frasil illustrées à la figure 4 affichaient des différences significatives (test de  $\chi^2$ ,  $p < 0,01$ ); considérées deux à deux, chacune des distributions s'est avérée significativement différente de toutes les autres ( $p < 0,01$ ).

### DISCUSSION

Vladykov (1953) mentionne que dans l'estuaire de la rivière Sainte-Anne, le poulamon fraye sous la glace, sur un substrat de sable, à des profondeurs variant entre 1 et 3 m. Les résultats de nos échantillonnages d'œufs en dérive et dans le frasil donnent une image différente du phénomène et se prêtent à deux interprétations. Les récoltes élevées d'œufs en dérive observées dans le secteur du barrage suspendu de frasil suggèrent que la fraye a lieu en eau vive, dans les rapides R1-R4, au moins jusqu'au niveau de la station de dérive n° 1 et du transect de frasil n° 1 (fig. 1) et peut-être aussi plus en aval, dans la partie du chenal qui est dégagée de frasil, ou encore sous le barrage. Les œufs qui ne demeurent pas dans les interstices du substrat seraient entraînés vers l'aval par les masses dérivantes de frasil, dans lesquelles certains s'accumuleraient.

**Figure 3.** — Récoltes horaires d'œufs (—) et de larves (... ) effectuées aux stations de dérive S.3, S.5, S.6 et S.8 au cours des hivers 1981-1982 et 1982-1983;  $\bar{x}$ : moyenne saisonnière des récoltes horaires, œufs et larves cumulés. On donne aussi les valeurs journalières des températures minimum et maximum de l'air et du débit. \*—\*: durée de l'échantillonnage. Voir figure 1 pour localisation des stations.

*Number of eggs (—) and larvae (... ) collected per hour at drift stations S.3, S.5, S.6 and S.8 during the winters of 1981-1982 and 1982-1983;  $\bar{x}$ : seasonal mean of the total number of eggs and larvae collected per hour. Daily minimum and maximum temperatures and discharges are also given. \*—\*: duration of sampling. See figure 1 for location of stations.*



**Figure 4.** — Répartition des œufs et des larves de poulamon, à cinq dates, dans le barrage suspendu de frasil. Pour chaque date et chaque secteur, on donne le nombre moyen d'œufs récoltés dans 2 l de frasil, ainsi que le nombre de prélèvements effectués (chiffres au-dessus de chaque colonne). Secteurs : 1, transects 1-4 (figure 1); 2, T.5-8; 3, T.9-12; 4, T.13-16; 5, T.17-20.

*Distribution of tomcod eggs and larvae on five different dates, in the suspended frasil ice shoal. For each date and each sector, the mean number of eggs collected per two liters of frasil ice and the number of samples (figure on top of each column) are given. Sectors: 1, transects 1-4 (fig. 1); 2, T.5-8; 3, T.9-12; 4, T.13-16; 5, T.17-20.*

Une deuxième hypothèse est que le frasil lui-même soit utilisé pour la fraye et pour poursuivre la migration au-delà de secteurs de rapides normalement infranchissables pour le poulamon, compte tenu de sa capacité natatoire relativement faible (East et Magnan, 1989). A l'appui de cette hypothèse, mentionnons le fait qu'à plusieurs reprises, des géniteurs (jusqu'à 13 individus), formant probablement un regroupement de fraye (Howe, 1971), ont été littéralement aspirés par le mouvement de notre tarière lorsque nous procédions à l'échantillonnage des œufs dans le frasil, particulièrement dans le secteur 2 (transects 5-9, *fig. 1*). Les poissons qui étaient en bon état furent relâchés et ils poursuivirent leur déplacement dans le frasil. La répartition des œufs dans le barrage suspendu, qui semble être de type contagieux, est également compatible avec l'hypothèse de la fraye de groupes de poulamons dans ce substrat. Les deux stratégies décrites (fraye en eau vive, fraye dans le frasil) sont probablement utilisées dans la rivière Sainte-Anne, dépendant des conditions de débit et de densité de frasil.

Dans leur étude des premiers stades de vie du poulamon atlantique dans le Frost Fish Creek, au Nouveau Brunswick, qui eut lieu entre 1976 et 1978, Peterson *et al.* (1980) mentionnent que les plus fortes quantités d'œufs en dérive furent observées en janvier, durant les 15 ou 20 premiers jours suivant la fraye, qui se termina à la fin décembre, début janvier. Une baisse des débits vers la mi-février fut accompagnée

d'une baisse du nombre d'œufs récoltés en dérive. La période d'éclosion, ainsi que la majeure partie de la dérive à la mer, coïncidèrent avec l'augmentation des niveaux du ruisseau à la fin mars, début avril. Les captures de larves cessèrent dans la première moitié d'avril (Peterson *et al.*, 1980).

Dans le cas de la rivière Sainte-Anne, les résultats suggèrent que les variations interannuelles dans la dérive vers l'aval des œufs et des larves du poulamon atlantique sont reliées de près aux variations du débit, qui elles dépendent de la température de l'air. Les conditions de formation et de dérive du frasil, qui dépendent des deux facteurs précédents, ainsi que de la superficie d'eau libre dans les rapides, interviennent dans ce système en causant une rétention du frai dans le secteur fluvial lors des années de basses températures de l'air et de faibles débits en décembre et janvier (1980-1981, 1981-1982). Les températures et les débits plus élevés peuvent causer la dérive massive de frasil, d'embryons et/ou de larves au fleuve Saint-Laurent à différents moments de la période d'incubation (1980-1981, 1982-1983).

L'influence des variables physiques sur le flux d'œufs et de larves a été plus nette lors des deux premières années d'échantillonnage et ce, principalement aux stations situées à l'aval du secteur à l'étude. Ce résultat tient en partie au fait que l'ensemble de la séquence de la dérive a pu être suivi à ces stations, incluant l'augmentation très marquée du flux d'œufs et de larves lors de l'amorce de la débâcle (1981-1982)



ou lors d'une débâcle partielle (1980-1981). L'absence de corrélation significative entre le flux d'œufs et de larves et les variables physiques aux stations situées dans le secteur du barrage suspendu, ou les corrélations négatives observées à ces stations, pourraient être dues à la présence du frasil lui-même, qui peut altérer considérablement les conditions locales d'écoulement, modifiant ainsi les relations prévisibles entre le débit et la dérive du frai. La non-linéarité des relations existant entre la dérive et les variables physiques suggère qu'une valeur seuil du débit doit être atteinte pour provoquer une dérive importante dans un secteur donné.

En 1982-1983, l'absence de corrélations significatives entre la dérive du frai aux différentes stations et les variables physiques, pourrait être due en partie à la présence massive du frasil dans l'ensemble du secteur à l'étude. Il est possible également que le débit se soit maintenu régulièrement au-dessus de la valeur seuil, causant ainsi une dérive constante dans la partie aval du secteur à l'étude.

Fortin *et al.* (1990) ont observé que pour la période 1975-1976 à 1981-1982, les fortes classes d'âge avaient été produites les années où le débit et le niveau de la rivière Sainte-Anne et du fleuve Saint-Laurent pendant la fraye du poulamon avaient été plus élevés. Les conditions climatiques et hydrologiques à cette période de l'année influencent donc le succès de reproduction de l'espèce. Ces auteurs ne disposaient cependant pas de données sur la séquence temporelle de l'avalaison des œufs et des larves pour l'ensemble des classes d'âge étudiées. Ils n'ont donc pas pu étudier de façon quantitative la relation existant entre le profil d'avalaison des œufs et des larves et la force des classes d'âge.

Il est possible qu'une hiérarchie de contraintes imposées par les conditions climatiques et hydrologiques influencent le succès de reproduction du poulamon dans la rivière Sainte-Anne. La relation positive observée par Fortin *et al.* (1990) entre la force des classes d'âge et les conditions hydrologiques pendant la fraye pourrait être due au fait qu'il est plus difficile pour les géniteurs d'accéder aux frayères en période de basses eaux. Même s'il n'a pas été possible de le démontrer par des études de type corrélatif, le climat pourrait aussi influencer le succès de reproduction du poulamon atlantique de la rivière Sainte-Anne en agissant sur le moment ainsi que sur le degré de synchronisme de la dérive des œufs et des larves au fleuve Saint-Laurent. En effet, les œufs et les larves de poulamon dérivent jusqu'au front turbide, en amont de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, où elles sont retenues et où les conditions de première nutrition sont présumément bonnes (Laprise and Dodson, 1989; Dauvin et Dodson, 1990). Il est possible qu'une dérive étalée sur toute la durée de l'hiver empêche la population larvaire de se maintenir en tant qu'entité distincte. Les œufs et les larves atteindraient le front turbide sur une longue période de temps et feraient

face à des conditions de débit et de rétention très variables, augmentant ainsi la probabilité d'errance et affectant négativement la force de la classe d'âge (hypothèse du « member/vagrant », Sinclair, 1988). Par ailleurs, une dérive hâtive des larves pourrait entraîner un mauvais synchronisme entre leur arrivée au niveau du front turbide et le réchauffement des eaux du Saint-Laurent, ainsi que le développement de leurs ressources alimentaires dans ce front (hypothèse du « match/mismatch », Cushing, 1972). Fortier et Gagné (1990) suggèrent que la survie des larves de hareng (*Clupea harengus*) dans l'estuaire du Saint-Laurent dépend d'une hiérarchie de contraintes découlant en premier lieu de la nécessité de préserver la cohésion initiale d'une cohorte, et en second lieu de la concordance spatio-temporelle entre les larves et leurs ressources alimentaires. Les auteurs concluent que l'importance relative de la dispersion initiale et des conditions trophiques dans le déterminisme du recrutement final reste à évaluer.

## CONCLUSION

Notre étude a démontré que les facteurs climatiques et hydrologiques ont une influence déterminante sur la distribution spatio-temporelle des œufs et des larves du poulamon atlantique dans la rivière Sainte-Anne, ainsi que sur la séquence temporelle de leur dérive au fleuve Saint-Laurent. Les températures de l'air et les débits hivernaux bas et stables causent une rétention des œufs et des larves dans la rivière Sainte-Anne, dans un secteur d'accumulation de frasil. La dérive au fleuve Saint-Laurent peut alors avoir lieu sur une courte période de temps, à la débâcle printanière, en avril, ou pendant l'hiver, lorsque survient un réchauffement brusque et prolongé des températures. Les températures de l'air et les débits hivernaux plus élevés et variables ont causé une dérive régulière au fleuve Saint-Laurent de janvier à avril. Quelles que soient les conditions hydrologiques et climatiques prévalant au cours d'une année donnée, des quantités importantes d'œufs se développent, pendant une période de temps variable, directement dans le frasil, un substrat composé de cristaux de glace maintenus en suspension dans une eau dont la température est voisine de 0°C. En déterminant l'endroit où a lieu le développement embryonnaire et larvaire, ainsi que le moment et le degré de synchronisme de la dérive des œufs et des larves au fleuve Saint-Laurent, les conditions climatiques et hydrologiques, auxquelles sont reliées les conditions de formation de frasil dans la rivière Sainte-Anne, pourraient influencer le succès de reproduction du poulamon atlantique. Des travaux plus poussés, s'étendant sur une plus longue séquence temporelle, sont requis pour mieux quantifier l'impact de ces facteurs environnementaux sur la force des classes d'âge de ce gadidé.

### Remerciement

Cette étude a été subventionnée par le Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, par le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada et par Hydro-Québec. Nous tenons à remercier Michel Henri, Denis Bourbeau, Jean Scrosati et Cécile Dubé pour leur assistance lors des travaux de terrain et de laboratoire. Nous tenons aussi à remercier Pierre Magnan, Dolores Planas et Louis Fortier pour leurs commentaires sur une première version du manuscrit.

### RÉFÉRENCES

- Cloutier A., R. Couture, 1985. Caractéristiques et dynamique du stock de poulamons atlantiques *Microgadus tomcod* (Walbaum) de la rivière Sainte-Anne, La Pérade, Québec. Québec, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la Faune, Comité d'étude sur le poulamon atlantique, Rapp. techn. 8, 120 p.
- Cushing D. H., 1972. The production cycle and the number of marine fish. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, **29**, 213-232.
- Dauvin J.-C., J. J. Dodson, 1990. Relationship between feeding incidence and vertical and longitudinal distribution of rainbow smelt larvae (*Osmerus mordax*) in a turbid well-mixed estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **60**, 1-12.
- East P., P. Magnan, 1988. Étude de la vitesse de nage du poulamon atlantique (*Microgadus tomcod*) en relation avec les travaux de la traversée du fleuve Saint-Laurent par la ligne Radisson-Nicolet-Des-Cantons. Univ. Québec à Trois-Rivières, Environnement Hydro-Québec, 18 p.
- Fortier L., J. A. Gagné, 1990. Larval herring (*Clupea harengus*) dispersion, growth, and survival in the St. Lawrence estuary: match/mismatch or membership/vagrancy? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**, 1898-1912.
- Fortin R., M. Léveillé, P. Laramée, Y. Mailhot, 1990. Reproduction and year-class strength of the Atlantic tomcod (*Microgadus tomcod*) in the Sainte-Anne River, at La Pérade, Québec. *Can. J. Zool.*, **68**, 1350-1359.
- Howe A. B., 1971. Biological investigation of Atlantic tomcod, *Microgadus tomcod*, in the Wewcantic River Estuary, Massachusetts. M. Sc. Thesis, Univ. Massachusetts, 82 p.
- Lamy D., R. Couture, 1981. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la rivière Sainte-Anne à La Pérade, Québec, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction Générale de la Faune, Comité d'étude sur le poulamon atlantique, Rapp. techn. 3, 49 p.
- Laprise R., J. J. Dodson, 1989. Ontogenetic 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.
- Laramée P., 1985. Reproduction et développement embryonnaire du poulamon atlantique *Microgadus tomcod* (Walbaum) dans la rivière Sainte-Anne à La Pérade, Comité Champlain, Québec. Mémoire de Maîtrise, Univ. Québec à Montréal, 92 p.
- Léveillé M., 1985. Reproduction, développement embryonnaire et force des classes d'âge du poulamon atlantique *Microgadus tomcod* (Walbaum), de la rivière Sainte-Anne à La Pérade, comté de Champlain, Québec. Univ. Québec à Montréal, Maîtrise en Sciences de l'Environnement, 153 p.
- Long B., M. Pelletier, 1981. Étude sédimentologique et géomorphologique de la rivière Sainte-Anne, comté de Champlain, Québec. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Comité d'étude sur le Poulamon atlantique, Rapp. techn., 1, 42 p.
- Peterson R. H., P. H. Johansen, J. L. Metcalfe, 1980. Observations on early life stages of Atlantic tomcod, *Microgadus tomcod*. *Fish. Bull.*, **78**, 147-158.
- Sinclair M., 1988. Marine populations: an essay on population regulation and speciation. University of Washington Press, Washington, D.C., 252 p.
- Vladykov V. D., 1953. Poissons du Québec. Les morues. Département des Pêcheries du Québec, Album 4, 12 p.