

**DISTRIBUTION SPATIALE DES  
LARVES ET STADES FIXÉS DE LA  
MOULE ZÉBRÉE, *DREISSENA*  
*POLYMORPHA*, DANS LE SAINT-  
LAURENT AU COURS DE 1991**

**DISTRIBUTION SPATIALE DES LARVES ET  
STADES FIXÉS DE LA MOULE ZÉBRÉE,  
*DREISSENA POLYMORPHA*, DANS LE  
SAINT-LAURENT AU COURS DE 1991**

**Louise Lapierre, Janique Fontaine,  
Brigitte Cusson et Chantal Ménard**  
Section Contamination du milieu aquatique

Centre Saint-Laurent  
Environnement Canada - Région du Québec

Mars 1994

## ÉQUIPE DE TRAVAIL

Les personnes suivantes ont collaboré à la réalisation de ce projet :

Planification du terrain (Centre Saint-Laurent) :

Louise Lapierre, chargée de projet  
Chantal Ménard

Équipe d'échantillonnage :

Chantai Ménard, Centre Saint-Laurent  
Brigitte Cusson, Centre Saint-Laurent  
Nathalie Doyon, Centre Saint-Laurent  
Janique Fontaine, Centre Saint-Laurent

Équipe en laboratoire :

Fodé Bangoura, stagiaire Centre Saint-Laurent  
Janique Fontaine, Centre Saint-Laurent

Réalisation des cartes :

Martine Ruel, stagiaire Centre Saint-Laurent  
François Boudreault, Centre Saint-Laurent

Révision du texte :

Monique Simond

Traduction :

Patricia Potvin

## PERSPECTIVE DE GESTION

Cette étude effectuée dans le cadre de la phase I du Plan d'action Saint-Laurent (PASL I) par la Section Évaluation des écosystèmes, avait pour but de déterminer la répartition spatiale de la Moule zébrée, *Dreissena polymorpha*, dans le Saint-Laurent. Cette espèce exotique récemment introduite dans les Grands Lacs pourrait affecter les ressources et les usages du Saint-Laurent particulièrement par le colmatage des prises d'eau. L'information sur la répartition spatiale permettra de déterminer les zones du fleuve propices à la colonisation par la Moule zébrée et les conséquences pour l'environnement et les usages. Dans un contexte de gestion, le programme permettra de dégager les actions à prendre afin de déterminer les répercussions environnementales de l'introduction d'espèces exotiques, et être en mesure d'en limiter les impacts et de prévenir si possible l'introduction d'autres espèces exotiques. Cette étude a également permis d'obtenir des données sur le cycle de vie de l'espèce en milieu fluvial.

## MANAGEMENT PERSPECTIVE

This study was carried out by the Ecosystem Assessment Section of the St. Lawrence Centre as part of the St. Lawrence Action Plan. Its aim was to determine the spatial distribution of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in the St. Lawrence River. This exotic species, recently introduced in the Great Lakes system, may affect the resources and the uses made of the River, most especially by the clogging water intake pipes. Information on their spatial distribution will allow us to determine those zones in the River that are sensitive, environmentally and in terms of use, to the zebra mussel. This study will help us determine the management steps needed to limit the environmental impacts of exotic species introductions, and where possible, to prevent the appearance of additional introduced species. Data was also obtained on the species' life cycle in a fluvial environment.

## RÉSUMÉ

Cette étude réalisée au cours de 1991 avait pour but d'examiner la présence des larves véligères de Moule zébrée, *Dreissena polymorpha*, dans le Saint-Laurent, entre Pointe Farlingers et Berthier-sur-Mer, et celle des Moules zébrées fixées entre Cornwall et Lévis. Un premier objectif visait à mettre en évidence une production larvaire de Moule zébrée dans le Saint-Laurent. Le deuxième objectif de l'étude visait à comparer la répartition spatiale (verticale) des moules fixées sur différents substrats.

L'échantillonnage a été effectué aux mois de juillet et août 1991. Quatorze stations furent échantillonnées pour l'étude des stades véligères. Les organismes fixés ont été échantillonnés à 28 stations sur des murets artificiels ainsi que le long de transects au fond de l'eau.

La densité moyenne de larves véligères en 1991 était de 10,72 véligères par litre, ce qui est comparable à celle enregistrée au lac Érié durant les premières années de colonisation. La densité larvaire maximale était de 63,4 larves par litre à l'île aux Chats. Les différences notées dans les densités larvaires proviennent des périodes d'échantillonnage différentes entre les stations. Les données actuelles ne permettent pas de conclure à la production de larves de Moule zébrée dans le fleuve.

Des moules fixées étaient présentes à 15 des 28 stations visitées et la densité moyenne variait de 0 à 18,5 moules par m<sup>2</sup>. En début de colonisation, la Moule zébrée semble s'établir dans les zones occupées par des moules unionides indigènes (*Ellipsio complanata* et *Lampsilis radiata*), lesquelles semblent être, avec les murets de ciment, les substrats où l'on note une présence plus grande de Moules zébrées fixées dans le Saint-Laurent. Une stratification verticale des moules n'a été observée qu'à une seule station, celle de Beauharnois. Il ne semble donc pas exister de stratification verticale de la Moule zébrée en début de colonisation. Aucune relation n'a été mise en évidence entre la présence ou la quantité de macrophytes et la densité de Moules zébrées. La présence ou l'absence de Moules zébrées est indépendante du type de substrat (pour les substrats rocheux ou meubles). Aucune relation n'a été observée entre le morcellement du substrat et la densité des Moules zébrées. La densité de moules était plus

importante dans les sites parallèles au courant par rapport à ceux directement exposés au courant ou à l'abri de celui-ci.

La taille moyenne des moules récoltées en 1991 correspond à des individus âgés d'environ un an. La croissance normale des moules durant la période d'échantillonnage explique les différences de taille observées entre stations. Il n'existe pas de différence dans la taille des moules en fonction de la profondeur de colonisation.

Les densités de larves et d'organismes fixés observées en 1991 sont faibles comparativement à celles observées dans les Grands Lacs. Le Saint-Laurent comporte par contre certains sites propices à la colonisation et à la prolifération de la Moule zébrée.

**ABSTRACT**

The goal of this 1991 study was to examine the presence of veligerous zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, in the St. Lawrence River between Pointe Farlingers and Berthier-sur-Mer, and that of fixed zebra mussels between Cornwall and Lévis. Our first objective was to focus on zebra mussel larvae production in the St. Lawrence; we also wanted to compare the spatial distribution (vertical) of fixed zebra mussels on various substrates.

Sampling was carried out in July and August, 1991. Fourteen stations were sampled for the veligerous mussel phase; 28 for fixed organisms. Fixed zebra mussels were sampled on low artificial walls and along river bottom transects.

Mean larvae densities in 1991 of 10.72 veligers l<sup>-1</sup> were comparable to densities recorded in Lake Erie in the first years of colonization. Maximum larvae densities were 63.4 larvae l<sup>-1</sup> at Île aux Chats. Density variations between stations are probably the result of different sampling periods. Existing data did not allow us to determine larvae production in the River.

Fixed zebra mussels were reported at 15 of the 28 stations visited, with average densities varying from 0 to 18.5 mussels per m<sup>2</sup>. In the first stages of colonization, zebra mussels appear to colonize areas inhabited by indigenous unionid mussels (*Ellipsio complanata* and *Lampsilis radiata*). Substrates in these areas, along with low cement walls, appear to have the most fixed zebra mussels in the River. Only the Beauharnois station reported the vertical stratification of colonizing mussels. Vertical stratification does not seem to occur in the initial stages of colonization. There is no correlation between the presence and quantity of macrophytes and zebra mussel density; between the presence or absence of zebra mussels and substrate type (for rocky or loose substrates); or between substrate fragmentation and zebra mussel density. Mussel densities were greater at sites located parallel to the current, as opposed to those sheltered by or directly exposed to it.

Mussels harvested in 1991 corresponded, on average, to the size of one-year-olds. Size differences between stations are simply due to normal growth during the sampling period; size difference was not found to be a function of colonization depths.

Although 1991 fixed larvae and organism densities are low compared to those recorded in the Great Lakes at this time, the St. Lawrence River does, nonetheless, contain sites that are favourable to zebra mussel colonization and proliferation.

## TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE TRAVAIL		ii
PERSPECTIVE DE GESTION		iii
MANAGEMENT PERSPECTIVE		iv
RÉSUMÉ		v
ABSTRACT		vii
LISTE DES FIGURES		xi
LISTE DES TABLEAUX		xii
REMERCIEMENTS		xiv
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Moules fixées</b>	<b>4</b>
2.1.1	Moules fixées sur les transects et murets	4
2.1.1.1	Échantillonnage	4
2.1.1.2	Travaux en laboratoire	11
2.1.1.3	Traitements statistiques	11
2.1.2	Moules fixées sur les estrans	12
<b>2.2</b>	<b>Larves : étude sur les transects</b>	<b>13</b>
2.2.1	Opérations sur le terrain	13
2.2.2	Opérations en laboratoire	17
2.2.3	Traitement statistique	18
<b>2.3</b>	<b>Larves : étude en dérive</b>	<b>18</b>
2.3.1	Régions à l'étude	18
2.3.2	Opérations sur le terrain	19
2.3.3	Traitement statistique	20
<b>3</b>	<b>RÉSULTATS - MOULES FIXÉES DANS LE SAINT-LAURENT</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Organismes fixés sur les substrats</b>	<b>21</b>
3.1.1	Conditions physico-chimiques	21
3.1.2	Densités	21

3.1.2.1	Densités selon les stations et les strates échantillonnées	26
3.1.2.2	Influence des facteurs biotiques et abiotiques	26
3.1.3	Taille	32
3.2	<b>Organismes fixés sur les estrans</b>	39
4	<b>RÉSULTATS - LARVES VÉLIGÈRES</b>	41
4.1	<b>Larves : étude sur transects</b>	41
4.1.2	Densité des larves	41
4.2	<b>Larves : étude en dérive</b>	42
4.2.1	Conditions physico-chimiques	42
4.2.2	Variabilité intra-station	44
4.2.3	Variabilité inter-station	47
5	<b>DISCUSSION</b>	49
5.1	<b>Larves de Moule zébrée dans le Saint-Laurent</b>	49
5.1.1	Variabilité intra-station	49
5.1.2	Variabilité inter-station	49
5.2	<b>Larves de Moule zébrée en suivant la masse d'eaux</b>	50
5.3	<b>Moules zébrées fixées sur substrats naturels et artificiels du Saint-Laurent</b>	52
6	<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</b>	59
	<b>RÉFÉRENCES</b>	62

## LISTE DES FIGURES

1	Carte de localisation des 28 stations d'échantillonnage des populations de Moule zébrée fixées à des substrats solides dans le fleuve Saint-Laurent, entre Cornwall et Lévis (été 1991)	7
2	Carte de localisation des 14 stations d'échantillonnage des larves véligères de Moule zébrée dans le fleuve Saint-Laurent en juillet et août 1991	16
3	Régression linéaire simple de la longueur en fonction de la hauteur des Moules zébrées fixées sur des substrats solides (indépendamment de leur strate ou station d'origine) en 1991	33
4	Longueur moyenne (mm) des Moules zébrées fixées à des substrats solides en fonction de la date d'échantillonnage, pour toutes les stations échantillonnées entre Cornwall et Lévis en 1991	36
5	Distribution de fréquence selon la taille des Moules zébrées fixées à des substrats solides pour toutes les moules échantillonnées entre Cornwall et Lévis en 1991	38
6	Densité moyenne de larves de Moule zébrée pour chaque station, en fonction de la date d'échantillonnage (jour Julien) (A) et en fonction du numéro de la station (B) en 1991	43

**LISTE DES TABLEAUX**

1	Dates et sites d'échantillonnage des Moules zébrées fixées (F) et des stades larvaires (L) dans le Saint-Laurent (été 1991)	5
2	Caractéristiques des stations d'échantillonnage sur les estrans à marée basse en 1991	14
3	Position géographique et nom des stations d'échantillonnage pour le suivi des larves de Moule zébrée dans les masses d'eaux du fleuve Saint-Laurent en 1991	19
4	Variables physico-chimiques aux sites d'échantillonnage des populations de Moule zébrée fixées à des substrats solides et des larves dans le fleuve Saint-Laurent, entre Cornwall et Berthier-sur-Mer	22
5	Densité moyenne, écart type et effectif des échantillons de Moules zébrées fixées à des substrats solides, par strate de profondeur, pour toutes les stations échantillonnées dans le Saint-Laurent entre Cornwall et Lévis en 1991	24
6	Paires de stations présentant des différences significatives dans les densités des Moules zébrées fixées à des substrats solides	27
7	Densité de Moule zébrée en fonction de la présence ou de l'absence de moules unionides	28
8	Densité de Moule zébrée en fonction de la quantité de macrophytes	28
9	Densité de Moule zébrée en fonction des substrats caractéristiques des murets	29
10	Densité de Moule zébrée en fonction des substrats caractéristiques des transects	29
11	Densité de Moule zébrée en fonction du morcellement du substrat échantillonné	30

12	Densité de Moule zébrée en fonction de leur exposition par rapport à la circulation hydrologique	31
13	Corrélation (r de Spearman) entre les données d'abondance semi-quantitatives et quantitatives de Moules zébrées fixées à des substrats solides et certaines variables physico-chimiques	32
14	Longueur moyenne (Lmoy.) des Moules zébrées fixées à des substrats solides, par strate de profondeur, pour toutes les stations échantillonnées dans le Saint-Laurent entre Cornwall et Lévis	35
15	Stations présentant des différences significatives de la longueur des Moules zébrées fixées à des substrats solides	37
16	Densité de Moule zébrée sur les estrans à marée basse en 1991	40
17	Moyenne, écart type et coefficient de variation (C.V. %) des densités de larves véligères de Moule zébrée à chaque station d'échantillonnage entre le 3 juillet et le 5 septembre 1991	42
18	Coefficients de corrélation de Spearman entre certaines variables physico-chimiques et les densités larvaires	44
19	Conditions physico-chimiques aux stations du suivi de la masse d'eaux échantillonnée pour les larves de Moule zébrée dans le Saint-Laurent en 1991	45
20	Densité de larves de Moule zébrée pour les réplicats de chaque station	46
21	Densité de Moule zébrée aux stations nord, centre et sud pour chacun des transects échantillonnés dans le cadre du suivi de la masse d'eaux	47
22	Comparaison des densités larvaires dans le Bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent	51
23	Comparaison des densités de Moules zébrées fixées dans le Bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent	53
24	Relation entre la longueur (en mm) de la coquille et l'âge des Moules zébrées	57

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont permis la réalisation de ce projet, notamment :

### Hydro-Québec

Une partie des fonds nécessaires à la réalisation de la présente étude a été fournie sous forme de contrat octroyé par Hydro-Québec. Nous tenons à remercier M. Roger Bérubé pour sa participation au projet.

### Centre Saint-Laurent

- Vincent Jarry, pour ses conseils techniques en matière de navigation et pour nous avoir permis de participer au suivi lagrangien.
- Fodé Bangoura, stagiaire, pour son travail de dénombrement des larves de Moule zébrée en laboratoire.
- Pierre Courville, stagiaire, pour son aide sur le terrain lors de l'échantillonnage des Moules zébrées.
- Alan Willsie, pour son support technique.
- Les membres du Comité de plongée (Jacques Bureau, Stéphane Lorrain, Mitch Sisak, Alan Willsie) pour leur revue critique du protocole de plongée.
- Yves de Lafontaine pour ses judicieux commentaires sur la version préliminaire de ce rapport.

## 1 INTRODUCTION

La Moule zébrée, *Dreissena polymorpha*, est un bivalve d'eau douce originaire d'Europe de l'Est (Griffiths *et al.*, 1989; Snyder, 1990). Sa présence en Amérique du Nord a été notée pour la première fois au lac Saint-Clair, en juin 1988 (Hébert *et al.*, 1989). Des études suggèrent que la colonisation initiale se serait produite en 1985 suite au rejet des eaux de lest d'un navire en provenance d'Europe qui contenaient des larves de Moule zébrée (Mackie *et al.*, 1989). La Moule zébrée a connu une croissance phénoménale dans les Grands Lacs, passant de 50 - 1000 moules par m<sup>2</sup> au lac Érié en 1988 à 150 000 - 200 000 moules par m<sup>2</sup> en 1990 (Hebert *et al.*, 1989; Kovalak *et al.*, 1990). Elle aurait atteint le fleuve Saint-Laurent en 1989 (Mongeau et Jacquaz, 1991). Un plan d'eau favorable à ces moules devrait avoir une profondeur moyenne de trois mètres et plus, une dureté de l'eau variant entre 1 et 2 milliéquivalents de calcium par litre, une transparence de l'eau de deux mètres et plus, et une productivité primaire moyenne (Strayer, 1991). Selon Mackie *et al.* (1989), les plus fortes densités de Moules zébrées sont notées entre deux et quatre mètres de profondeur. La vitesse du courant optimale se situe entre 0,15 et 1,5 m s<sup>-1</sup> (McMahon, 1990). La Moule zébrée éviterait les zones de courant supérieur à 2 m s<sup>-1</sup> (Hydro-Ontario, 1990). Elle peut supporter une température de l'eau entre 0 °C et 32,5 °C, bien que la reproduction soit impossible lorsque la température est inférieure à 12 °C (Hebert *et al.*, 1989; Snyder, 1990). Griffiths *et al.* (1989) ont observé un pic de ponte à des températures de 20 à 25 °C. La fraie peut s'étaler sur plusieurs mois si les conditions de température de l'eau sont favorables. La présence de substrats durs est nécessaire pour permettre la fixation de la moule. La dessiccation est une méthode efficace de contrôle de la Moule zébrée (Jenner et Janssen-Mommen, 1993). Cette dessiccation peut se produire par exemple sur les estrans dans les zones de marées d'eau douce. Les conditions physico-chimiques dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial n'apparaissant pas limitantes, la colonisation par la Moule zébrée peut éventuellement modifier les ressources et nuire aux usages du fleuve Saint-Laurent.

Le cycle de développement de la Moule zébrée comprend trois stades : la larve véligère, le stade juvénile ou post-véligère, et l'adulte. La larve véligère, de 70  $\mu\text{m}$  de diamètre, est planctonique pour une période variant de 10 à 21 jours. Le stade post-véligère correspond à la période au cours de laquelle l'organisme se fixe à un substrat dur. Cette période de fixation débute en général à la fin juillet et se continue durant le mois d'août (Hebert *et al.*, 1989). Au stade post-véligère, l'organisme peut se détacher du substrat afin de trouver un site d'attachement plus propice. La Moule zébrée vit en moyenne trois à cinq ans et atteint 2 cm de longueur moyenne après un an (Mackie *et al.*, 1989).

La présente étude avait pour but d'étudier la répartition spatiale, l'abondance et l'évolution de la prolifération de la Moule zébrée dans le Saint-Laurent, durant les phases initiales de colonisation par l'espèce.

Les hypothèses vérifiées dans le cadre de cette étude sont que :

- 1) La Moule zébrée est présente dans le Saint-Laurent.
- 2) Il existe des différences significatives dans l'abondance de Moules zébrées entre les différents sites dans le Saint-Laurent. La colonisation ne s'étant pas effectuée de façon synchrone dans l'ensemble des secteurs du fleuve étudiés, il existe des zones où les moules sont plus âgées et donc plus grandes que dans d'autres.
- 3) Certains substrats, soit par leur texture, soit par leur nature, favorisent une plus forte abondance de Moules zébrées.
- 4) Il existe une stratification verticale des moules qui peut être reliée à des variables physico-chimiques du milieu.
- 5) La dessiccation lors des marées basses dans les zones d'estrans entraîne une moins forte colonisation de ces sites par la Moule zébrée par rapport aux autres zones étudiées.

Afin d'étudier le potentiel de colonisation du fleuve Sainte-Laurent par la Moule zébrée, aux endroits où les moules fixées ne sont pas encore décelées, nous avons étudié les densités larvaires aux mêmes sites que les moules fixées. L'hypothèse de départ était que les larves de Moule zébrée colonisent le fleuve Saint-Laurent à partir de

la dérive larvaire des Grands Lacs. Ainsi, on devait retrouver des larves dans les sites situés dans la masse d'eaux en provenance des Grands Lacs, mais pas à ceux situés dans les eaux de la rivière des Outaouais. L'étude des densités de larves dans le fleuve Saint-Laurent avait trois buts principaux : premièrement, savoir si les larves étaient présentes dans tout le système fluvial; deuxièmement, étudier l'erreur analytique dans les dénombrements larvaires; troisièmement, examiner la variation dans les densités larvaires dans quelques stations du fleuve.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les études ont été planifiées en fonction de deux stades de vie de la Moule zébrée soit les moules fixées et les larves. Les moules fixées ont été récoltées sur des transects et murets afin de connaître la distribution spatiale dans le fleuve et sur les estrans et ainsi connaître la distribution en milieu exondé. Les larves ont été échantillonnées aux mêmes stations que les transects ainsi que dans un suivi de la masse d'eaux.

### 2.1 Moules fixées

#### 2.1.1 Moules fixées sur les transects et murets

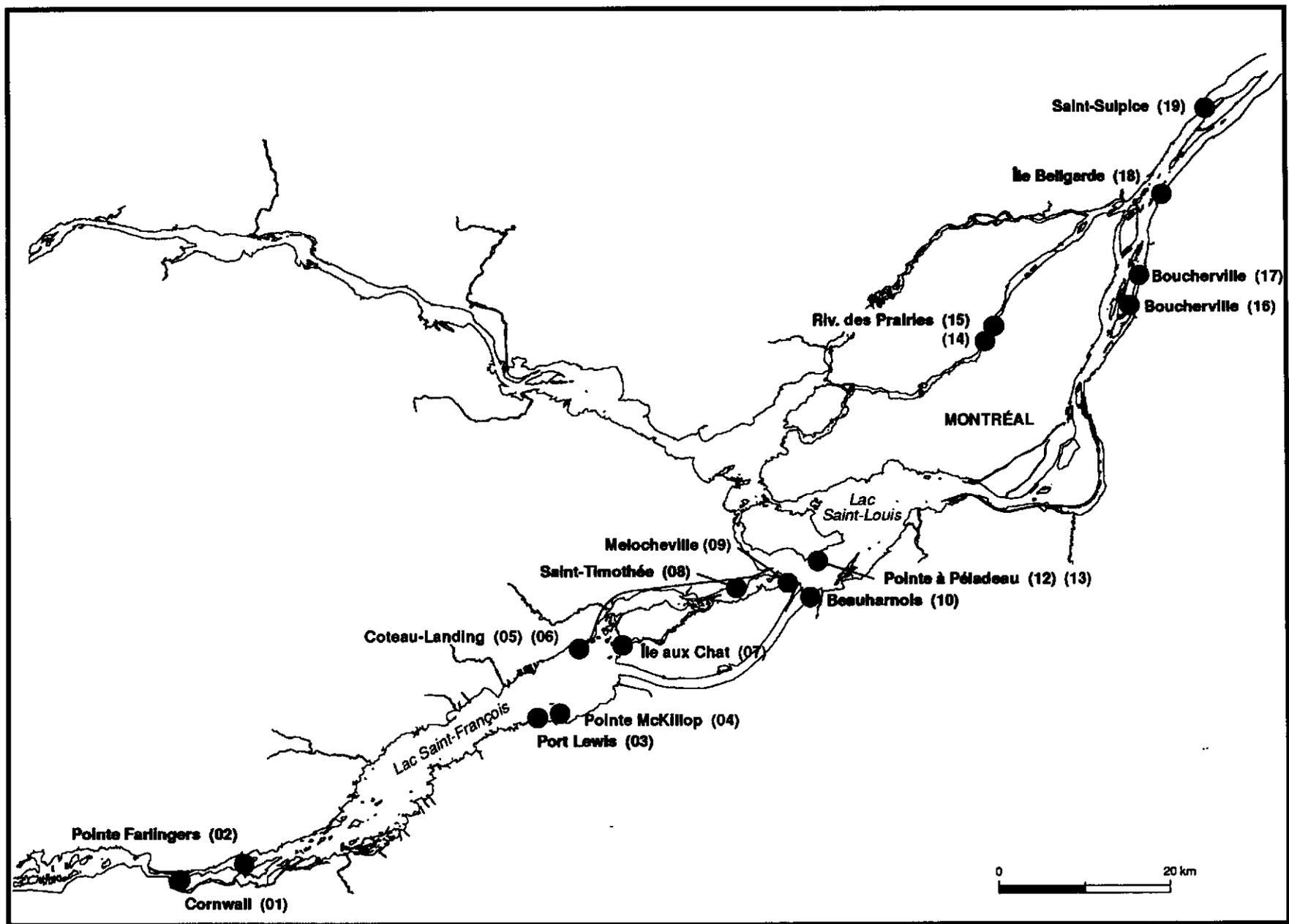
**2.1.1.1 Échantillonnage.** - L'étude de l'abondance et de la distribution spatiale des populations de Moules zébrées fixées à des substrats solides dans le Saint-Laurent a été réalisée à deux types de stations : les transects et les murets. L'échantillonnage fut réalisé du 2 juillet au 5 septembre 1991 à 28 stations réparties entre Cornwall et Lévis (tableau 1 et figure 1). Les stations de Tracy (22), Gentilly (28) et rivière des Prairies (14 et 15) furent échantillonnées dans le cadre d'une entente entre Hydro-Québec et le Centre Saint-Laurent. La répartition de l'emplacement des transects et des murets s'est faite de façon à obtenir des données à des sites situés sur les deux rives du fleuve, et espacés de façon assez régulière entre Cornwall et Lévis. Sur les 28 stations, 12 étaient des transects, 13 des murets et trois étaient formées de grosses roches (échantillonnées de la même façon que les murets).

Le choix de l'emplacement de la station pour les transects tenait compte de plusieurs critères, dont la vitesse du courant, la présence d'un substrat propice à la fixation et le profil bathymétrique. La vitesse du courant devait être inférieure à  $0,5\text{m s}^{-1}$  par mesure de sécurité pour les plongeurs procédant à l'échantillonnage. Le profil bathymétrique devait permettre de tendre une corde de 100 mètres perpendiculairement à la rive, et l'extrémité au large devait se trouver à une profondeur de cinq mètres. Pour le transect, une corde métrée de 100 mètres était tendue sur le fond perpendiculairement

**Tableau 1**      **Dates et sites d'échantillonnage des Moules zébrées fixées (F) et stades larvaires (L) dans le Saint-Laurent (été 1991)**

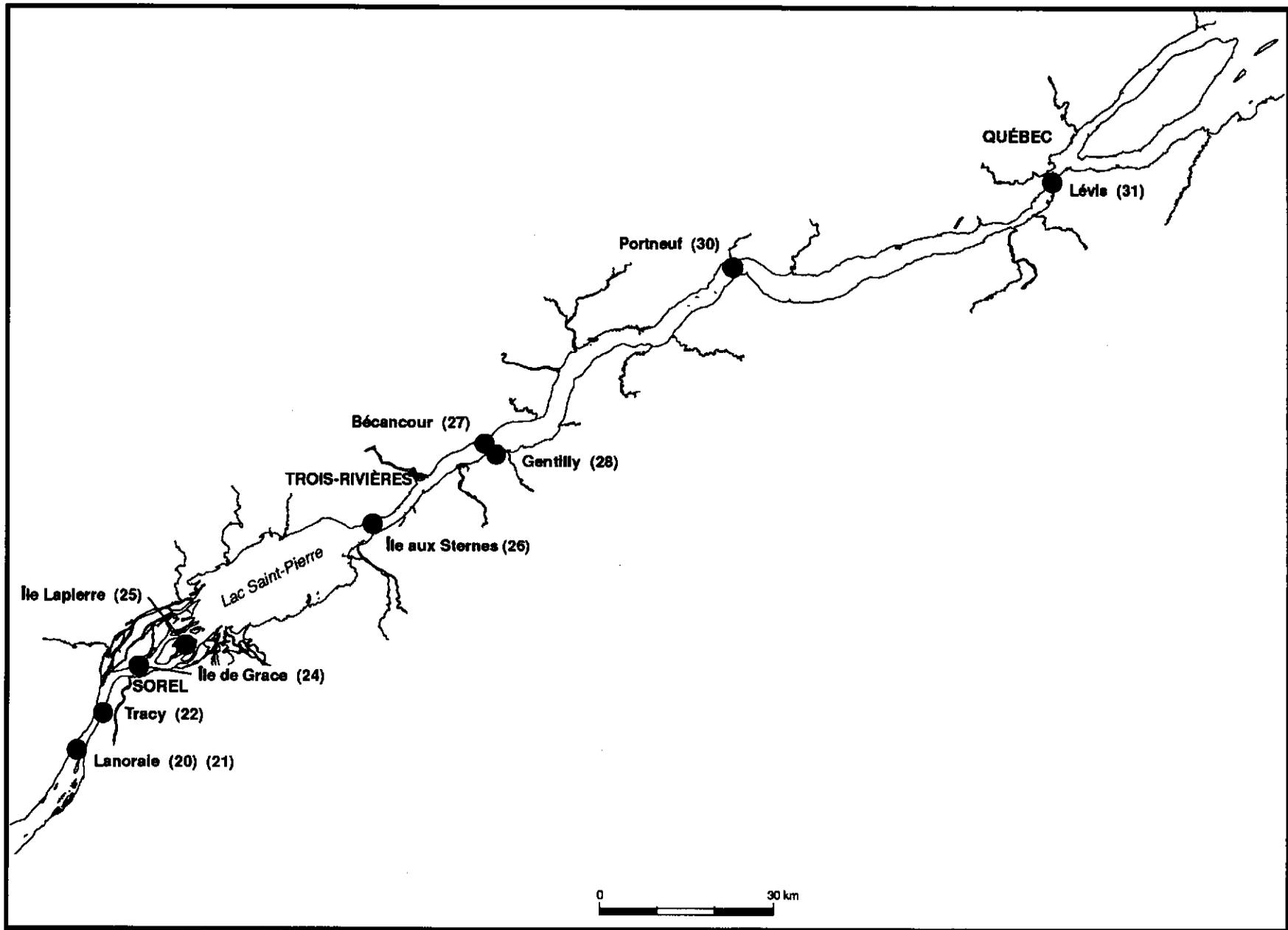
<i>Station</i>	<i>Organismes fixés (F) ou larves (L)</i>	<i>Latitude (degrés, minutes, centièmes)</i>	<i>Longitude (degrés, minutes, centièmes)</i>	<i>Date</i>	<i>Type de station</i>	<i>Longueur du transect (m)</i>
01 Cornwall	F	45°00',85	74°42',75	02/07/91	muret	
02 Pointe Farlingers	F, L	45°01',80	74°39',50	03/07/91	transect	20
03 Port Lewis	F, L	45°10',40	74°17',60	04/07/91	transect	120
04 Pointe McKillop	F	45°10',50	74°16',90	05/07/91	muret	
10 Beauharnois	F, L	45°19',00	73°53',88	10/07/91	transect	100
09 Melocheville	F	45°19',15	73°55',51	15/07/91	muret	
12 Pointe à Péladeau	F, L	45°21',09	73°53',22	16/07/91	transect	70
13 Pointe à Péladeau	F	45°21',09	73°53',22	16/07/91	roche	
05 Coteau-Landing	F	45°15',35	74°13',05	17/07/91	muret	
06 Coteau-Landing	F	45°15',35	74°13',05	17/07/91	roche	
07 Île aux Chats	F, L	45°15',22	74°09',62	18/07/91	transect	100
19 Saint-Sulpice	F	45°48',41	73°22',21	29/07/91	muret	
18 Île Bellegarde	F, L	45°43',52	73°25',42	30/07/91	transect	90
20 Lanoraie	F	45°57',34	73°13',04	31/07/91	muret	
21 Lanoraie	F	45°57',34	73°13',04	31/07/91	roche	
16 Boucherville	F, L	45°36',16	73°27',50	01/08/91	transect	40
17 Boucherville	F	45°38',24	73°27',01	02/08/91	muret	
25 Île Lapierre	F, L	46°05',60	73°00',40	07/08/91	transect	100

<i>Station</i>	<i>Organismes fixés (F) ou larves (L)</i>	<i>Latitude (degrés, minutes, centièmes)</i>	<i>Longitude (degrés, minutes, centièmes)</i>	<i>Date</i>	<i>Type de station</i>	<i>Longueur du transect (m)</i>
24 Île de Grâce	F	46°04',20	73°04',50	07/08/91	muret	
26 Île aux Sternes	F, L	46°16',90	72°37',60	09/08/91	transect	100
28 Gentilly	F, L	46°24',00	72°22',10	13/08/91	transect	100
27 Port de Bécancour	F	46°24',30	72°22',70	13/08/91	muret	
30 Portneuf	F	46°40',80	71°52',60	15/08/91	muret	
22 Tracy	F, L	45°59',75	73°10',45	19/08/91	muret	
31 Lévis	F	46°48',70	71°11',25	21/08/91	muret	
32 Berthier-sur-Mer	L	46°54',80	70°46',60	20/08/91	larves seule- ment	
15 Rivière des Prairies	F, L	45°34',81	73°39',75	23/08/91	transect	100
14 Rivière des Prairies	F	45°34',34	73°39',85	23/08/91	muret	
08 Saint-Timothée	F, L	45°18',90	74°59',40	05/09/91	transect	60



**Figure 1**

**Carte de localisation des 28 stations d'échantillonnage des populations de Moule zébrée fixées à des substrats solides dans le fleuve Saint-Laurent, entre Cornwall et Lévis (été 1991)**



**Figure 1** Carte de localisation des 28 stations d'échantillonnage des populations de Moule zébrée fixées à des substrats solides dans le fleuve Saint-Laurent, entre Cornwall et Lévis (été 1991) (suite)

à la rive. Chaque extrémité du transect était fixée à l'aide d'une ancre munie d'un drapeau de plongée flottant. Si le profil bathymétrique ne permettait pas de tendre entièrement le transect, celui-ci pouvait être raccourci. Une fois le transect tendu, le bateau était ancré à l'extrémité du transect donnant vers le large. Deux plongeurs procédaient alors à l'échantillonnage subaquatique en suivant le transect, du bateau vers le littoral. Sur le transect, trois types d'échantillonnage étaient effectués : qualitatif, semi-quantitatif systématique et quantitatif stratifié. L'*échantillonnage qualitatif* avait pour but de voir si les moules étaient présentes ou absentes de certains types de substrats soit : les roches et le gravier, les organismes (moules unionides, écrevisses, etc.), les substrats artificiels (verre, plastique, etc.), les substrats meubles et les macrophytes. Pour l'*échantillonnage semi-quantitatif*, un quadrat de 1 m<sup>2</sup> était déposé tous les 20 mètres, ce qui donnait un total de six échantillons par transect. Le nombre de Moules zébrées observées à l'intérieur du quadrat était noté selon l'échelle suivante : absentes, rares (>1 à 10 moules par m<sup>2</sup>), communes (11 à 100 moules par m<sup>2</sup>) et abondantes (>100 moules par m<sup>2</sup>). Si le transect mesurait moins de 100 mètres, un pas d'échantillonnage semi-quantitatif plus serré était effectué afin d'obtenir aussi six échantillons par transect. En ce qui concerne l'*échantillonnage quantitatif stratifié*, il s'agissait de déposer le quadrat à cinq reprises à l'intérieur de trois strates de profondeur (0-1 m, 1-3 m, 3-5 m), pour obtenir cinq réplicats par strate. Toutes les moules visibles (> 2 mm) étaient comptées et récoltées. Les moules de moins de 2 mm n'ayant pas encore leur forme hétéromyarienne sont considérées comme invisibles à l'oeil nu. Les moules étaient dégagées du substrat à l'aide d'une spatule en métal, ou en les tournant sur elles-mêmes pour affaiblir les filaments bissaux. Les moules étaient remontées à la surface de l'eau, dénombrées, gardées sur la glace jusqu'au retour au laboratoire et congelées à -20 °C. Pour les échantillonnages semi-quantitatif et quantitatif, la profondeur à laquelle l'échantillon était prélevé, la position sur le transect, le morcellement du substrat (plat, grosses anfractuosités et petites anfractuosités), le type de fond (rocheux, meuble, bois et ciment) et la présence d'algues, de macrophytes (absentes, peu abondantes, abondantes, très abondantes) ou de moules unionides (présence et absence) étaient notés.

Pour les murets, les critères de sélection étaient sensiblement les mêmes, à l'exception de la vitesse du courant qui pouvait être plus élevée étant donné qu'il était possible de s'attacher ou d'accéder au muret par la rive, ce qui rendait les manoeuvres moins risquées pour les plongeurs. Les murets étaient des structures ou surfaces verticales de ciment, de roches, et parfois de bois, situées à proximité des sites où les transects étaient effectués. Seul un échantillonnage quantitatif stratifié, effectué en plongée, était réalisé sur les murets en suivant la même méthode que celle utilisée pour l'échantillonnage quantitatif stratifié des transects.

La direction et la vitesse du courant étaient mesurées à toutes les stations à l'aide d'un courantomètre Montedoro-Whitney PVM-2A. La profondeur de visibilité et disparition du disque de Secchi fut mesurée en triplicata et on calcula la moyenne. Le pH de l'eau était mesuré sur un échantillon d'eau de surface (0 m) et sur un échantillon intégré de la colonne d'eau avec un pH-mètre Fisher Sci 955. La température de l'eau, l'oxygène dissous (oxymètre, YSI 54A; sonde YSI5739), la conductivité (conductimètre YSI 33 «S-C-T meter») et la radiation lumineuse (quantimètre LI-COR LI-185B; sonde terrestre LI-190SB; sonde aquatique LI-192SB) ont été mesurées tous les 0,5 mètre de profondeur. Le pourcentage de saturation en oxygène a été calculé à l'aide de l'abaque de Wetzel (1975). Le coefficient d'extinction lumineuse ( $\eta$ ) a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\eta = (\ln I_0 - \ln I_z) / Z$$

où  $I_0$  = radiation lumineuse (en  $\mu E cm^{-2} s^{-1}$ ) à la surface de l'eau

$I_z$  = radiation lumineuse à la profondeur Z (1 mètre)

Z = profondeur en mètre.

**2.1.1.2 Travaux en laboratoire.** - Après avoir décongelé les moules, la longueur et la hauteur de la coquille de chaque moule furent mesurées à l'aide d'un vernier gradué au cinq centième de millimètre.

**2.1.1.3 Traitements statistiques.** - *Abondance des moules selon les stations, facteurs biotiques et abiotiques.* Les données d'abondance obtenues lors de l'échantillonnage sont de deux types : quantitatives et semi-quantitatives. Étant donné le faible nombre d'observations, le traitement statistique se rapportant aux densités repose sur des tests non paramétriques, considérés très appropriés pour les séries semi-quantitatives et les petits échantillons aux distributions non normales (Scherrer, 1984).

Les différences de densités de moules entre stations et strates ont été vérifiées par des tests de Kruskal-Wallis (Scherrer, 1984). Lorsque des différences significatives étaient notées, un test de comparaison multiple de S.N.K. (effectifs égaux) ou de Noether (effectifs inégaux) (Scherrer, 1984) a été appliqué afin de dégager les stations ou strates différentes.

La comparaison des densités en fonction des variables qualitatives exige le recours aux tableaux de contingence (Legendre et Legendre, 1984). Ce traitement a été appliqué afin de vérifier l'existence de relations entre le nombre d'individus en présence et les variables qualitatives biotiques observées, c'est-à-dire la présence ou l'absence de macrophytes ou de moules unionides dans les quadrats ou sur les transects.

Les tableaux de contingence ont aussi été utilisés pour la comparaison des densités de moules selon le substrat, le morcellement et l'exposition au courant. En ce qui concerne les données physico-chimiques, les relations entre les données semi-quantitatives d'abondance de moules et les différentes variables (température de l'eau, pourcentage de saturation en oxygène, conductivité, et quantité de lumière) ont été définies par des analyses de corrélation de rang ( $r$  de Spearman; Scherrer, 1984).

*Variations de la longueur des moules selon la strate et les stations.* L'effectif des échantillons de longueur de moules étant assez important et la normalité pouvant être vérifiée, des tests statistiques paramétriques ont pu être appliqués au traitement des

données par strate. Pour le traitement par station, des tests non paramétriques ont été effectués, les effectifs des échantillons étant trop faibles dans ce cas.

Une régression linéaire simple de la longueur en fonction de la hauteur a été effectuée afin de déterminer si la longueur des moules suffisait pour le traitement des données.

La normalité des données a été testée (SAS Institute Inc., 1988) pour l'ensemble des données de longueur ( $p = 0,0001$ ,  $\alpha = 0,05$ ), ainsi que pour les longueurs en fonction des strates de profondeur échantillonnées. La distribution de fréquence des données de la strate 0-1 mètre ne s'écartait pas radicalement d'une distribution normale, et les distributions dans les strates 1-3 mètres et 3-5 mètres étaient normales ( $p = 0,0001$ ). L'homoscédasticité a été démontrée par un test «log-anova» de Scheffe (Sokal et Rohlf, 1969). Ainsi, les conditions d'application sont suffisamment respectées pour appliquer un test d'analyse de variance afin de vérifier l'existence d'une relation entre la longueur des moules et la profondeur à laquelle elles ont été trouvées pour l'ensemble des stations fluviales.

Afin de vérifier l'existence d'une stratification verticale de la taille des moules, un test de Kruskal-Wallis ( $K = 3$ ) ou un test de Wilcoxon-Mann-Whitney ( $K = 2$ ) a été appliqué (Scherrer, 1984) aux données de longueur des moules par station là où l'échantillonnage avait été possible dans au moins deux strates de profondeur.

Un test de Kruskal-Wallis a également été appliqué à l'ensemble des données de longueur afin de déceler des différences entre les stations. L'hétérogénéité des échantillons a été analysée par le test de comparaison multiple de Noether (Scherrer, 1984).

### **2.1.2 Moules fixées sur les estrans**

Dix-neuf transects ont été échantillonnés à marée basse dans douze stations situées entre Portneuf et Baie-Saint-Paul (tableau 2). Un transect était établi en tendant une corde métrée de 100 m parallèlement au bord de l'eau à marée basse. Le transect était échantillonné sur une largeur de trois mètres délimitée par une perche tenue perpendiculairement à la corde. La surface échantillonnée mesurait donc 300 m<sup>2</sup>. Le substrat

dominant (ciment, roches, type de macrophyte) était noté et les Moules zébrées étaient recherchées. La position des moules et le type de substrat présent étaient également notés. Les moules étaient recueillies et placées dans une glacière. Les densités ont été rapportées en nombre d'individus par mètre carré. De retour au laboratoire, la longueur des moules était mesurée de la façon décrite à la section 2.1.1.2.

## **2.2 Larves : étude sur les transects**

L'échantillonnage des larves s'est déroulé entre le 3 juillet et le 5 septembre 1991 à 14 des 28 stations désignées pour l'étude des moules fixées sur les transects et simultanément à l'échantillonnage de celles-ci. Les 14 stations étaient situées entre Pointe Farlingers en amont du lac Saint-François, et Berthier-sur-Mer en aval de l'île d'Orléans (figure 2 et tableau 1). Les stations furent équitablement réparties en rive nord et en rive sud du fleuve pour d'une part couvrir la plus grande partie possible du territoire d'échantillonnage et, d'autre part, être en mesure de distinguer les différences dues aux masses d'eaux. L'échantillonnage aux stations de Saint-Timothée, rivière des Prairies, Tracy et Gentilly a été réalisé dans le cadre d'une entente conclue entre Hydro-Québec et le Centre Saint-Laurent.

Les stations d'échantillonnage devaient avoir une profondeur minimale de 5,5 mètres, le courant devait être inférieur à  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  et elles devaient offrir des conditions sécuritaires pour les bateaux et les plongeurs.

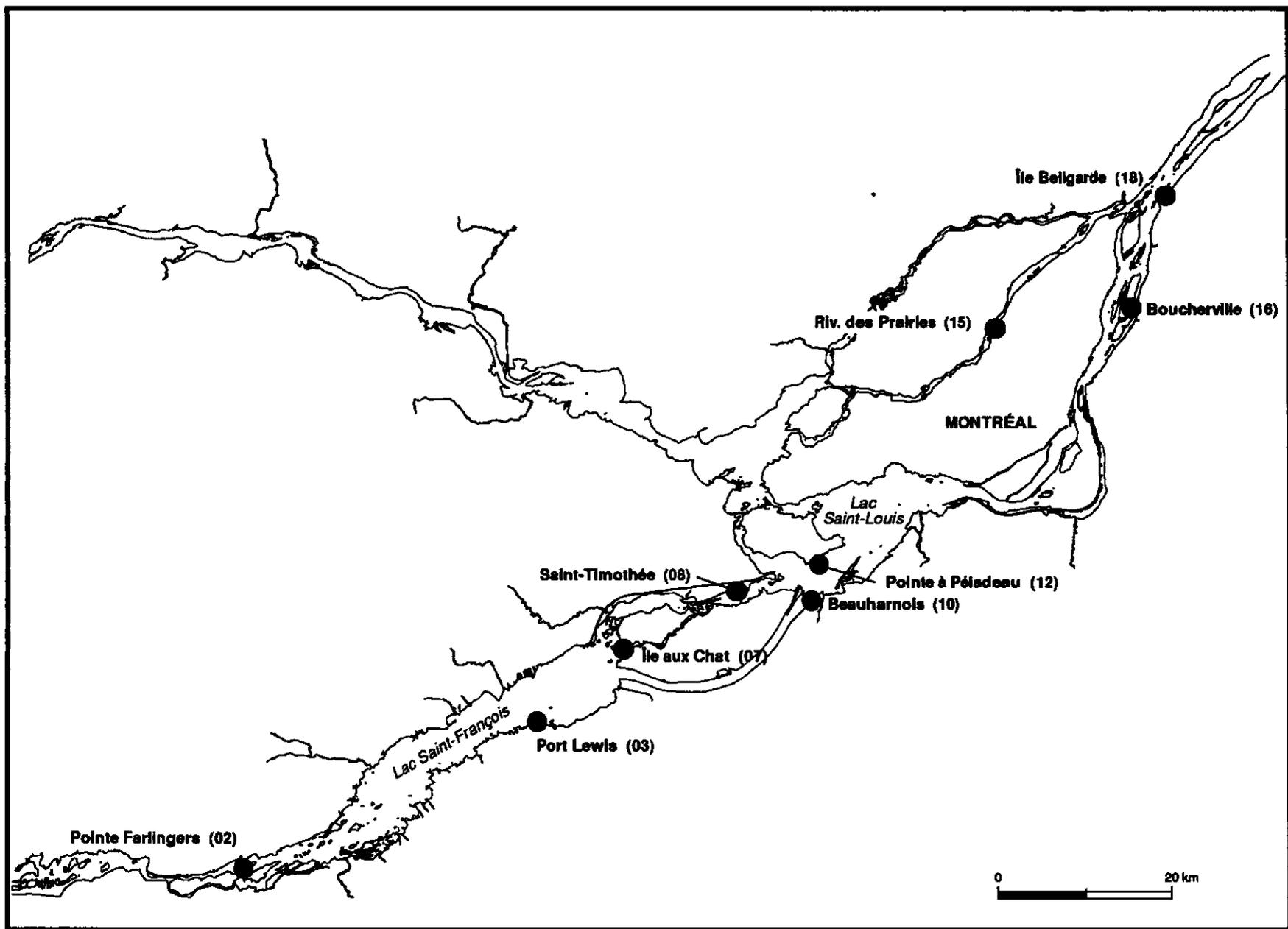
### **2.2.1 Opérations sur le terrain**

À chaque station, un échantillon intégré formé de 200 litres d'eau était pompé dans un baril au moyen d'une pompe submersible 3CP-MD opérée à un débit approximatif de  $8 \text{ litres mn}^{-1}$ . L'intégrité de l'échantillon pompé avait été vérifiée au préalable en comparant les densités larvaires de cinq échantillons passés dans la pompe et de cinq échantillons filtrés à partir d'une trappe Schindler-Patalas de 30 litres. Les 200 litres étaient prélevés à raison de 20 litres tous les 0,5 m de profondeur mesurés avec une corde métrée (0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m; 3,5 m; 4,0 m; 4,5 m; 5,0 m). Le contenu du baril était ensuite filtré à travers un filet Nitex de  $63 \mu\text{m}$ . Un prétest qui

**Tableau 2**      **Caractéristiques des stations d'échantillonnage sur les estrans à marée basse en 1991**

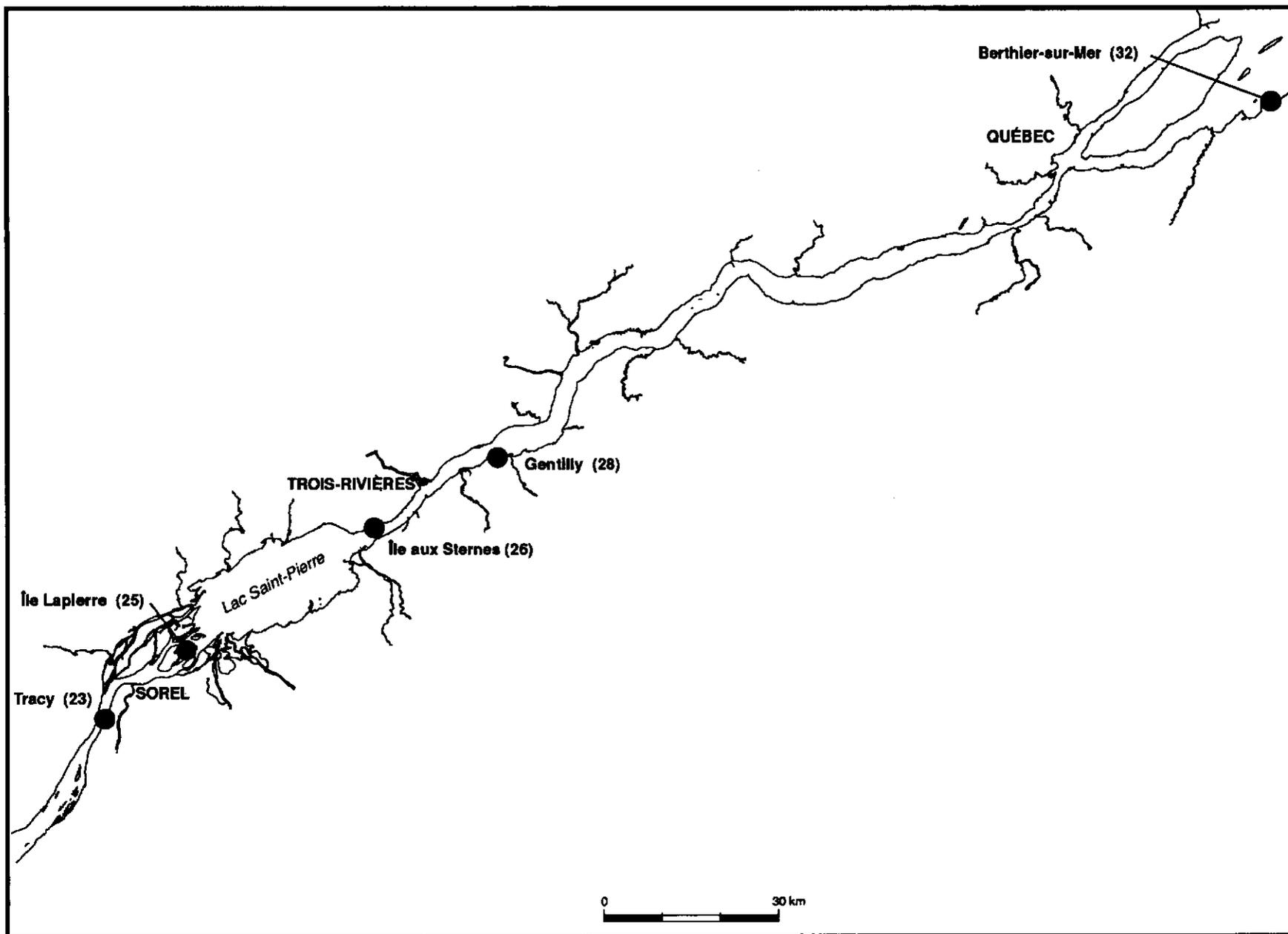
Station	Latitude	Longitude	Date	Longueur du transect	Numéro du transect	Substrat	Remarques
Portneuf	46°40',80	71°52',60	13/8/91	100 m	1	Ciment	Côté ouest du quai
				100 m	2	Roches	Côté ouest le long du quai
				100 m	3	Roches	Côté est le long du quai
Cap-Santé	46°40',18	71°47',30	13/8/91	100 m	4	Roches	Bord ouest du quai
				100 m	5	Roches	Berge est du quai
Saint-Antoine-de-Tilly (Les Fonds)	46°39',35	71°36',45	13/8/91	100 m	6	<i>Scirpus americanus</i>	Herbier côté ouest du quai
				20 m	7	Ciment	Côté est du quai
				20 m	8	Ciment	Côté ouest du quai
Cap-Rouge	46°44',00	71°22',25	11/8/91	100 m	9	Grosses roches	Plage Saint-Laurent
Saint-Nicolas	46°42',55	71°23',05	13/8/91	200 m	10	Grosses, petites roches	Plage en face du 1185 du Moulin, bord de l'eau
				500 m	11	Grosses roches	Toutes les moules face est des roches
Sainte-Foy	46°44',80	71°19',70	12/8/91	200 m	12	Grosses roches	Bord de l'eau
				50 m	13	Ciment	Côté est égout pluvial
Québec	46°48',20	71°12',40	11/8/91	50 m	14	Grosses roches	Parc du Port de Québec

<i>Station</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Date</i>	<i>Longueur du transect</i>	<i>Numéro du transect</i>	<i>Substrat</i>	<i>Remarques</i>
Île d'Orléans	46°51',11	71°08',50	12/8/91	200 m	15	Plaques rocheuses	Berge rue Horatio Walker, sur plage en bas de l'escalier
Sainte-Pétronille	46°50',75	71°08',20	12/8/91	50 m	16	Plaques rocheuses	Anse à Petit
Petite rivière Saint-François	47°18',60	71°34',10	11/8/92	100 m	17	Herbier	Bord du quai
Montmagny	46°59',42	70°35',25	13/8/92	100 m	18	Roches	Berge
Baie-Saint-Paul	47°25',90	70°29',05	11/8/91	200 m	19	Roches, Herbier	Berge ouest du quai



Les numéros de stations sont indiqués entre parenthèses.

**Figure 2** Carte de localisation des 14 stations d'échantillonnage\* des larves véligères de Moule zébrée dans le fleuve Saint-Laurent en juillet et août 1991



Les numéros de stations sont indiqués entre parenthèses.

**Figure 2** Carte de localisation des 14 stations d'échantillonnage\* des larves véligères de Moule zébrée dans le fleuve Saint-Laurent en juillet et août 1991 (suite)

comparait le nombre de larves retenues a montré que les filets de 40 et 63  $\mu\text{m}$  avaient la même efficacité de récolte. Le contenu du filet était rincé avec 250 ml d'eau filtrée et recueilli dans un pot Mason d'une capacité de 1 litre auquel 250 ml d'eau carbonatée étaient ajoutés afin de faciliter l'observation ultérieure des larves. L'échantillon était ensuite fixé avec 500 ml de solution de formaline (formaldéhyde 10 % v/v) sucrée (80 g de sucre granulé par litre) et tamponnée à pH 7 avec du bicarbonate de sodium (Marsden, 1991). On obtenait ainsi un échantillon final de un litre et une concentration de formaline de 5 % v/v. Trois réplicats étaient préparés de cette façon pour chaque station.

Certaines variables physico-chimiques pouvant limiter la colonisation par les larves de Moule zébrée ont été mesurées sur les transects tel que décrit à la section 2.1.1.1.

## 2.2.2 Opérations en laboratoire

Préalablement au prélèvement des aliquotes, l'échantillon de larves de Moule zébrée était agité manuellement pendant 30 secondes, et le volume exact de chaque réplicat était déterminé. Pour chaque réplicat, un aliquote de 10 ml était prélevé à l'aide d'une pipette sérologique à bout large (10 ml  $\pm 0,1$  ml) pendant que l'échantillon était brassé avec un agitateur magnétique. L'aliquote était ensuite déposé sur une roulette à dénombrement de plancton (Ward zooplankton counting wheel) et les larves véligères et post-véligères étaient dénombrées au binoculaire à grossissement de 50x. Cinq aliquotes de chaque réplicat ont été dénombrés selon cette technique de dénombrement des larves en laboratoire, similaire à celle de Marsden (1991). L'identification des larves véligères et post-véligères a été effectuée selon les critères définis par Hopkins (1990).

La densité larvaire de chacun des cinq aliquotes était calculée selon la formule suivante :

$$d = \frac{n_v V_o}{V_s V_f}$$

où

- $d$  = densité (individus l<sup>-1</sup>)
- $n_v$  = nombre de véligères ou post-véligères (dénombrées dans l'aliquote)
- $V_e$  = volume de l'échantillon (ml)
- $V_{se}$  = le volume de l'aliquote (10 ml)
- $V_f$  = le volume total filtré lors de l'échantillonnage (l).

La densité moyenne des larves ainsi que l'écart type étaient ensuite déterminés pour chaque réplicat, lequel était formé de cinq aliquotes.

### 2.2.3 Traitement statistique

Pour chaque station, on a calculé la densité moyenne de larves pour chacun des trois réplicats préparés. La variabilité entre les réplicats a été examinée en calculant la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation des trois réplicats de chaque station. Par la suite, la moyenne des densités de larves fut calculée par station.

## 2.3 Larves : étude en dérive

### 2.3.1 Régions à l'étude

Afin de savoir si certains sites montrent une augmentation du nombre de larves de Moule zébrée due à la dérive en aval de zones de reproduction, un échantillonnage séquentiel en suivant la masse d'eaux, s'apparentant à un suivi Lagrangien, fut utilisé. Cette technique permet de suivre la dérive des organismes parallèlement à celle des masses d'eaux. Les sections du fleuve pour l'échantillonnage étaient choisies suivant une séquence de l'amont vers l'aval. La distance entre les sites (transects) d'échantillonnage était établie en relation avec le temps approximatif de déplacement de la masse d'eaux entre ces sites (De Boer *et al.*, 1991). Trois transects ont été choisis (Cornwall, Les Grèves, et Port-Saint-François). Le transect de Cornwall était situé en amont du lac Saint-François. Le transect de Les Grèves était localisé en amont du lac Saint-Pierre, et celui de Port-Saint-François se situait à la sortie du lac Saint-Pierre. Trois stations (nord, centre, sud) étaient échantillonnées par transect car d'après De Boer *et al.* (1991) et Désilets et Langlois (1989), le fleuve comporte dans ces zones trois masses d'eaux plus ou moins distinctes selon les endroits : une masse d'eaux au nord, une

correspondant au chenal maritime (au centre) et une au sud du chenal maritime. Une augmentation des densités de larves entre l'amont et l'aval indiquera qu'il se trouve une zone de reproduction à proximité. L'absence de larves dans la masse d'eaux de la rivière des Outaouais viendra confirmer l'absence de moules dans ces eaux.

Le tableau 3 donne les coordonnées géographiques des neuf stations.

**Tableau 3** *Position géographique et nom des stations d'échantillonnage pour le suivi des larves de Moule zébrée dans les masses d'eaux du fleuve Saint-Laurent en 1991*

<i>Date</i>	<i>Station</i>	<i>Latitude (degrés, minutes, centièmes)</i>	<i>Longitude (degrés, minutes, centièmes)</i>
27/08/91	Comwall nord	45°01',91	74°36',83
27/08/91	Comwall centre	45°00',67	74°37',70
27/08/91	Comwall sud	45°00',35	74°36',98
28/08/91	Les Grèves nord	45°58',73	73°11',77
28/08/91	Les Grèves centre	45°58',65	73°11',48
28/08/91	Les Grèves sud	45°58',55	73°11',13
29/08/91	Port-Saint-François nord	46°16',95	72°37',45
29/08/91	Port-Saint-François centre	46°16',55	72°37',25
29/08/91	Port-Saint-François sud	46°16',37	72°37',17

### 2.3.2 Opérations sur le terrain

L'échantillonnage s'est déroulé du 27 au 29 août 1991, en même temps qu'une étude de suivi des masses d'eaux (De Boer *et al.*, 1991), à raison d'un transect par jour. Ceci correspond au temps que met la masse d'eau pour parcourir la distance entre les stations situées au centre de la voie maritime (De Boer *et al.*, 1991) (tableau 3). À chaque station, trois répliqués de 50 litres étaient pompés entre 0 et 5 mètres de profondeur à raison de 10 litres par tranche d'un mètre. Par contre, à cause de la force

du courant, la pompe dérivait et n'atteignait parfois que 2,5 mètres de profondeur. Dans ces cas, on prélevait 10 litres d'eau par tranche de 0,5 mètre pour obtenir les 50 litres désirés. Ont été prélevés de cette façon : les trois échantillons à la station centre du transect de Cornwall, deux des échantillons à la station nord de ce même transect et les trois échantillons à la station sud du transect Les Grèves.

Les échantillons prélevés à chaque station étaient ensuite filtrés et les larves dénombrées en utilisant les mêmes techniques que pour l'étude des larves sur les transects (voir sections 2.2.1 et 2.2.2.). Chaque transect comportait donc trois stations dans lesquelles on a prélevé deux ou trois réplicats, eux-mêmes divisés en cinq aliquotes pour le dénombrement. La température de l'eau en surface, le pourcentage de saturation en oxygène, la conductivité, le coefficient d'extinction lumineuse à une profondeur de un mètre et la profondeur maximale ont été mesurés de la même façon que pour l'étude des moules fixées sur les transects (voir section 2.1.1.1).

### **2.3.3 Traitement statistique**

La variabilité analytique de chaque réplicat a été estimée au moyen des coefficients de variation. L'homogénéité inter-réplicats fut vérifiée par un test non paramétrique de comparaison d'échantillons à chaque station. Le test de Kruskal-Wallis (Scherrer, 1984) a été utilisé lorsque le nombre de réplicats obtenu était égal à 3, et le test de Wilcoxon-Mann-Whitney (Scherrer, 1984) fut appliqué lorsqu'on ne disposait que de deux réplicats.

La moyenne et l'intervalle de confiance des densités de larves ont été calculés par station. Les densités de larves entre les trois stations de chaque transect et entre les stations de chaque rive (comparaison des stations en rive nord, des stations au centre, et des stations en rive sud) ont été comparées par le test de Kruskal-Wallis. Lorsque l'hypothèse nulle d'unicité était rejetée ( $p < 0,05$ ), un test non paramétrique de comparaison multiple (S.N.K. dans Scherrer, 1984) était effectué pour déterminer quelles stations présentaient des différences significatives entre elles.

### **3 RÉSULTATS - MOULES FIXÉES DANS LE SAINT-LAURENT**

#### **3.1 Organismes fixés sur les substrats**

##### **3.1.1 Conditions physico-chimiques**

Aux sites d'échantillonnage des moules fixées, la vitesse du courant à 1 m de profondeur variait entre 0,10 et 0,41 m s<sup>-1</sup> (tableau 4). La température de l'eau oscillait entre 19 et 24 °C. Le pourcentage de saturation en oxygène se situait entre 81 et 128 p. 100.

Parmi les stations échantillonnées, seules celles situées dans la rivière des Prairies (conductivité : 70 µmhos cm<sup>-1</sup>) se trouvent dans les eaux brunes qui affichent des faibles valeurs de conductivité. À toutes les autres stations, la conductivité se situait entre 230 et 285 µmhos cm<sup>-1</sup>, valeurs qui sont caractéristiques des eaux vertes (Désilets et Langlois, 1989).

Le pH de l'eau observé variait entre 8,06 et 8,88, sauf dans la rivière des Prairies dont l'eau est moins basique (pH= 7,42).

Le coefficient d'extinction lumineuse variait de 0,46 à 1,14. Ces coefficients sont typiques d'eaux mésotrophes et eutrophes (Wetzel, 1975) si l'extinction est due aux algues et à la matière organique. Par contre, l'extinction peut également être causée par les matières inorganiques en suspension. Les stations de l'île aux Sternes ( $\eta = 1,14$ ), de rivière des Prairies ( $\eta = 1,13$ ), de l'île aux Chats ( $\eta = 1,10$ ) et de l'île Lapierre ( $\eta = 1,05$ ) sont celles qui affichent les coefficients les plus élevés. Les eaux brunes (rivière des Prairies) affichent une extinction lumineuse plus élevée, typique des eaux provenant de milieux dystrophes (Wetzel, 1975).

##### **3.1.2 Densités**

La Moule zébrée était présente à 57 p. 100 des stations visitées entre Cornwall et Lévis (tableau 5). Elle a été observée à 42 p. 100 des stations pour la strate 0-1 m, à 40 p. 100 des stations pour la strate 1-3 m et à 50 p. 100 des stations pour la strate 3-5 m. Lorsque présentes à l'une des trois strates de profondeur, on les retrouvait

**Tableau 4**

**Variables physico-chimiques aux sites d'échantillonnage des populations de Moule zébrée fixées à des substrats solides et de larves, dans le Saint-Laurent, entre Cornwall et Berthier-sur-Mer\***

Date	Station	Physico-chimie							Type de station moules fixées
		Vitesse du courant (m/s)	Température de l'eau (°C)	Profondeur maximale du site (m)	Saturation en oxygène (%)	Conductivité ( $\mu\text{MHOS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	pH intégré	Coefficient d'extinction lumineuse	
02/07/91	01 Cornwall	0,01	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
03/07/91	02 Pointe Farlingers	0,10	21,0	3,0	99,0	280	n.d.	n.d.	transect
04/07/91	03 Port Lewis	0,30	22,0	5,0	112,5	275	n.d.	0,4595	transect
05/07/91	04 Pointe McKillop	0,14	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
10/07/91	10 Beauharnois	0,16	19,0	4,5	97,0	272	8,41	0,6932	transect
15/07/91	09 Melocheville	0,10	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
16/07/91	12 Pointe à Péladeau	0,27	21,0	2,0	128,0	268	8,88	0,1967	transect
16/07/91	13 Pointe à Péladeau	0,27	21,0		128,0	268	8,88	0,1967	roche
17/07/91	05 Coteau-Landing	0,22	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
17/07/91	06 Coteau-Landing	0,22	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	roche
18/07/91	07 Ile aux Chats	0,19	22,0	2,5	109,0	280	8,80	1,0986	transect
29/07/91	19 Saint-Sulpice	0,45	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
30/07/91	18 Ile Bellegarde	0,32	23,5	5,0	102,0	280	8,40	0,6568	transect
31/07/91	20 Lanoraie	0,60	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
31/07/91	21 Lanoraie	0,60	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	roche
01/08/91	16 Boucherville	0,29	24,0	5,5	107,0	285	n.d.	0,6286	transect
02/08/91	17 Boucherville	0,26	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
07/08/91	25 Ile Lapierre	0,33	23,0	6,0	81,0	255	8,06	1,0498	transect

		<i>Physico-chimie</i>							
<i>Date</i>	<i>Station</i>	<i>Vitesse du courant (m/s)</i>	<i>Température de l'eau (°C)</i>	<i>Profondeur maximale du site (m)</i>	<i>Saturation en oxygène (%)</i>	<i>Conductivité (µMHOS·cm<sup>-1</sup>)</i>	<i>pH intégré</i>	<i>Coefficient d'extinction lumineuse</i>	<i>Type de station moules fixées</i>
07/08/91	24 Ile de Grâce	0,25	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
09/08/91	26 Ile aux Sternes	0,30	24,0	9,0	93,0	230	8,00	1,1394	transect
13/08/91	28 Gentilly	0,28	23,0	2,0	95,0	275	8,23	0,7732	transect
13/08/91	27 Port de Bécancour	0,12	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
15/08/91	30 Portneuf	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
20/08/91	32 Berthier-sur-Mer	0,41	21,0	2,5	n.d.	245	n.d.	n.d.	--
19/08/91	22 Tracy	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
21/08/91	31 Lévis	n.d.	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
23/08/91	15 Rivière des Prairies	0,18	21,5	6,0	93,0	70	7,42	1,1285	transect
23/08/91	14 Rivière des Prairies	0,32	n.d.		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	muret
05/09/91	08 Saint-Timothée	0,21	22,0	6,5	115,0	271	8,78	0,5333	transect

\* Les variables physico-chimiques indiquées sont celles qui ont été mesurées à 1 m de profondeur.

n.d. : non déterminé.

**Tableau 5** Densité moyenne, écart type ( $s_x$ ) et effectif ( $n$ ) des échantillons de Moules zébrées fixées à des substrats solides, par strate de profondeur, pour toutes les stations échantillonnées dans le Saint-Laurent entre Cornwall et Lévis en 1991

N°	Station	Type de station	STRATE												Comparaison entre strates Prob. (')
			0-1 m			1-3 m			3-5 m			Total			
			Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	$s_x$	$n$	Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	$s_x$	$n$	Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	$s_x$	$n$	Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	$s_x$	$n$	
01	Cornwall	muret	1,00	0	1	0		1	0		1	0,33	0,47	3	
02	Pointe Farlingers	transect				0		1				0		1	
03	Port Lewis	transect	0		1							0		1	
04	Pointe McKillop	muret	1,79	2,48	14							1,79	2,48	14	
05	Coteau-Landing	muret	2,67	1,89	6							2,67	1,89	6	
06	Coteau-Landing	roche	0		2							0		2	
07	Ile aux Chats	transect	0,20	0,40	5	1,00	0,89	5				0,60	0,80	10	0,166
08	Saint-Timothée	transect	0		5	0		5	0,80	1,17	5	0,27	0,77	15	0,071
09	Melocheville	muret	3,20	2,40	5	16,00	9,51	5				9,60	9,44	10	0,068
10	Beauhamois	transect	2,33	1,70	3	6,67	4,99	3	20,00	4,08	3	9,67	8,45	9	0,007**
12	Pointe à Péladeau	transect	0		2	0		2				0		4	
13	Pointe à Péladeau	roche	6,67	5,17	3							6,67	5,17	3	
14	Rivière des Prairies	muret	0		5	0		5	0		5	0		15	
15	Rivière des Prairies	transect	0		5	0		7	0		9	0		21	
16	Boucherville	transect				1,60	2,33	5	2,20	0,75	5	1,90	1,76	10	0,260
17	Boucherville	muret	0,54	1,23	11							0,54	1,23	11	
18	Île Bellegarde	transect				0		3	0		1	0		4	
19	Saint-Sulpice	muret	0		10							0		10	

N°	Station	Type de station	STRATE												Comparaison entre strates Prob. (*)
			0-1 m			1-3 m			3-5 m			Total			
			Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	s <sub>x</sub>	n	Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	s <sub>x</sub>	n	Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	s <sub>x</sub>	n	Densité (nb. par m <sup>2</sup> )	s <sub>x</sub>	n	
20	Lanoraie	muret	0		7	0		1				0		8	
21	Lanoraie	roche	0		5	0		4				0		9	
22	Tracy	muret	5,70	5,90	10	7,11	6,70	9	11,20	7,52	5	7,38	6,99	24	0,148
24	Ile de Grâce	muret	0,67	0,94	10							0,67	0,94	10	
25	Ile Lapiere	transect	0,40	0,49	5	0,20	0,40	5	1,80	2,23	5	0,80	1,51	15	0,331
26	Ile aux Sternes	transect	0		5	0		5	0		5	0		15	
27	Port de Bécancour	muret				16,80	4,02	5	20,20	2,71	5	18,50	3,83	10	0,186
28	Gentilly	transect	0,20	0,40	5	0		5				0,10	0,30	10	0,347
30	Portneuf	muret	0		5	0		5	0		5	0		15	
31	Lévis	muret	3,50	3,50	2	7,40	4,03	5				6,29	4,27	7	0,375
TOTAL			1,36	2,93	122	4,04	6,90	74	6,02	8,46	40	2,99	5,90	272	

(\*) Kruskal-Wallis lorsqu'il y a 3 strates, Wilcoxon-Mann-Whitney s'il n'y a que 2 strates.  
s<sub>x</sub> écart-type n effectif

à toutes les strates d'un même site dans 75 p. 100 des stations; lorsqu'absentes d'une strate, elles étaient absentes de la station dans 73 p. 100 des cas. La Moule zébrée n'a pas été observée dans le couloir fluvial entre Repentigny et Lanoraie, entre Grondines et Portneuf, de même que dans la rivière des Prairies. Les densités ont varié de 0 à 18,5 individus par m<sup>2</sup> en moyenne (tableau 5), ce qui est généralement plus faible que les valeurs observées ailleurs lorsqu'elles ont été recherchées pour la première fois (Leach, 1992; Dermott *et al.*, 1992).

**3.1.2.1 Densités selon les stations et les strates échantillonnées.** - Neuf des dix stations testées n'ont présenté aucune différence significative de densités en fonction des différentes strates de profondeur (tableau 5). La station de Beauharnois est la seule caractérisée par une hétérogénéité verticale (Kruskal-Wallis,  $p = 0,0068$ ) dans la distribution des moules dont les densités dans la couche profonde (3-5 m) étaient significativement différentes que dans la couche superficielle (0-1 m) (S.N.K.  $p < 0,05$ ). Les densités étaient neuf fois plus importantes dans la couche 3-5 m que dans la couche 0-1 m.

Les stations où aucune stratification verticale a été décelée ont été comparées afin d'évaluer les différences d'abondance. Aux stations de Melocheville (9), Tracy (22) et port de Bécancour (27) (tableau 6), les densités de moules, toutes strates de profondeur confondues, étaient significativement plus élevées qu'à certaines autres stations. La station du port de Bécancour présentait la plus forte densité moyenne d'organismes (18,5 individus par m<sup>2</sup>) (tableau 5), mais on n'y a pas constaté de différence significative par rapport à la densité moyenne retrouvée aux stations de Melocheville et Tracy.

**3.1.2.2 Influence des facteurs biotiques et abiotiques.** - L'analyse par tableaux de contingence de tous les quadrats échantillonnés (données semi-quantitatives) a permis d'établir des relations significatives entre l'abondance de la Moule zébrée et différentes variables biotiques et abiotiques. Une relation significative ( $p = 0,0043$ ) a été notée entre la densité de Moule zébrée et la présence de moules unionides indigènes dans les quadrats échantillonnés (tableau 7). Par contre, aucune relation ( $p = 0,4779$ ) n'a pu être établie entre le nombre de moules et la présence de macrophytes (tableau 8).

**Tableau 6 Comparaison multiple des densités de Moules zébrées fixées à des substrats solides**

<i>Station</i>	<i>Densité moyenne (nb. par m<sup>2</sup>)</i>	<i>s<sub>x</sub></i>	<i>n</i>	<i>Groupes de stations<sup>1</sup></i>
Beauharnois (10) 3-5 m	20,00	4,08	3	
Bécancour (27)	18,50	3,83	10	A
Melocheville (9)	9,60	9,44	10	A B
Tracy (22)	7,38	6,99	24	A B
Beauharnois (10) 1-3 m	6,67	4,99	3	
Pointe Péladeau (13) roche	6,67	5,17	3	A B
Lévis (31)	6,29	4,27	7	A B
Coteau Landing (5)	2,67	1,89	6	A B
Beauharnois (10) 0-1 m	2,33	1,70	3	
Boucherville (16)	1,90	1,76	10	A B
Pointe McKillop (4)	1,79	2,48	14	A B
Île Lapierre (25)	0,80	1,51	15	B
Île de Grâce (24)	0,67	0,94	10	B
Île aux Chats (07)	0,60	0,80	10	B
Boucherville (17)	0,54	1,23	11	B
Cornwall (01)	0,33	0,47	3	
Saint-Timothée (8)	0,27	0,77	15	B
Gentilly (28)	0,10	0,30	10	C
Pointe-Fralingers (02), Port Lewis (03), Coteau-Landing (06), Pointe à Péladeau (12), Rivière des Prairies (14 et 15), Île Bellegarde (18), Saint-Sulpice (19), Lanoraie (20 et 21), Île aux Sternes (26), Portneuf (30)	0,0			C

<sup>1</sup> Les stations ont été comparées par un test de Noether ( $p < 0,05$ ). Les groupes de stations ne présentant aucune différence significative sont identifiées par une lettre commune. Ainsi, les stations identifiées au groupe A n'ont pas de différence significative entre elles. Les effectifs des stations n'appartenant à aucun groupe étaient insuffisants pour tester les différences.

**Tableau 7** *Densité de Moule zébrée en fonction de la présence ou de l'absence de moules unionides\**

<i>Moule zébrée</i>	<i>Moules unionides dans les quadrats</i>	
	<i>Absence</i>	<i>Présence</i>
<i>Absente (0)</i>	42 (34,59)	30 (37,41)
<i>Rare (1-10)</i>	4 (10,09)	17 (10,91)
<i>Commune (11-100)</i>	3 (4,32)	6 (4,68)

\* Tableau de contingence, le nombre d'observations dépassant leur espérance (entre parenthèses) est en caractères gras.

$$\chi^2 = 10,908; \quad \gamma = 2; \quad \rho = 0,0043.$$

**Tableau 8** *Densité de Moule zébrée en fonction de la quantité de macrophytes\**

<i>Moule zébrée</i>	<i>Quantité de macrophytes dans les quadrats</i>			
	<i>Absentes</i>	<i>Peu abondantes</i>	<i>Abondantes</i>	<i>Très abondantes</i>
<i>Absente (0)</i>	47 (44,67)	33 (35,6)	22 (22,34)	2 (1,4)
<i>Rare (1-10)</i>	15 (15,46)	12 (12,32)	9 (7,73)	0 (0,48)
<i>Commune (11-100)</i>	2 (3,87)	6 (3,08)	1 ((1,93)	0 (0,12)

\* Tableau de contingence, le nombre d'observations dépassant leur espérance (entre parenthèses) est en caractères gras.

$$\chi^2 = 5,529; \quad \gamma = 6; \quad \rho = 0,4779.$$

Dans les transects, les substrats rencontrés étaient les substrats meubles et les roches. Les murets se composaient de bois, de roches ou de ciment. Pour les murets, une association significative est notée entre l'abondance de moules et le type de substrat ( $p = 0,0309$ ) (tableau 9). Le ciment favorise un nombre plus élevé de moules, mais les moules colonisent par contre très peu les substrats de bois et rocheux.

**Tableau 9** *Densité de Moule zébrée en fonction des substrats caractéristiques des murets\**

<i>Moule zébrée</i>	<i>Substrat rocheux</i>	<i>Bois</i>	<i>Ciment</i>
Absente (0)	28 (23,62)	12 (10,34)	23 (29,04)
Rare (1-10)	17 (17,25)	8 (7,55)	21 (21,2)
Commune (11-100)	3 (7,12)	1 (3,12)	15 (8,76)

\* Tableau de contingence, le nombre d'observations dépassant leur espérance (entre parenthèses) est en caractères gras.

$$\chi^2 = 10,642, \gamma = 4, \rho = 0,0309.$$

Aucune relation significative entre l'abondance de Moule zébrée et le substrat meuble ou rocheux des transects n'a pu être établie ( $p = 0,8853$ ) (tableau 10). Cependant, les moules dénombrées sur substrats meubles colonisaient en fait des moules unionides présentes sur ces substrats.

**Tableau 10** *Densité de Moule zébrée en fonction des substrats caractéristiques des transects\**

<i>Moule zébrée</i>	<i>Substrat rocheux</i>	<i>Substrat meuble</i>
Absente (0)	30 (30,01)	74 (73,99)
Rare (1-10)	11 (10,39)	25 (25,61)
Commune (11-100)	2 (2,6)	7 (6,4)

\* Tableau de contingence, le nombre d'observations dépassant leur espérance (entre parenthèses) est en caractères gras.

$$\chi^2 = 0,244, \gamma = 2, \rho = 0,8853.$$

De plus, aucune relation ( $p = 0,4211$ ) n'est démontrée quant au morcellement du substrat (tableau 11). Les substrats plats ne sont pas plus colonisés que ceux ayant de grosses et petites anfractuosités.

**Tableau 11** *Densité de Moule zébrée en fonction du morcellement du substrat échantillonné\**

<i>Moule zébrée</i>	<i>Morcellement du substrat</i>		
	<i>Plat</i>	<i>Grosses anfractuosités</i>	<i>Petites anfractuosités</i>
Absente (0)	132 (137,24)	30 (25,12)	12 (11,64)
Rare (1-10)	68 (63,89)	7 (11,69)	6 (5,42)
Commune (11-100)	24 (22,87)	4 (4,19)	1 (1,94)

\* Tableau de contingence, le nombre d'observations dépassant leur espérance (entre parenthèses) est en caractères gras.

$$\chi^2 = 3,89 \quad , \quad \gamma = 4 \quad , \quad p = 0,4211.$$

L'exposition au courant semble par contre influencer l'attachement des moules au substrat ( $p = 0,0001$ ) (tableau 12). Les densités mesurées étaient plus élevées dans les murets situés parallèlement au courant alors que les stations exposées directement au courant ou à l'abri de celui-ci, comportaient des densités plus faibles.

**Tableau 12** *Densité de Moule zébrée en fonction de leur exposition par rapport à la circulation hydrologique\**

<i>Moule zébrée</i>	<i>Exposé au courant</i>	<i>Parallèle au courant</i>	<i>À l'abri du courant</i>
Absente (0)	14 (13,68)	20 (30,79)	31 (20,53)
Rare (1-10)	14 (10,11)	25 (22,74)	9 (15,16)
Commune (11-100)	0 (4,21)	18 (9,47)	2 (6,32)

\* Tableau de contingence, le nombre d'observations dépassant leur espérance (entre parenthèses) est en caractères gras.

$$\chi^2 = 28,194 \quad , \quad \gamma = 4 \quad , \quad p = 0,0001.$$

Les coefficients de corrélation ( $r_s$ ) calculés entre les variables physico-chimiques d'une part et les densités quantitatives et semi-quantitatives de Moules zébrées fixées d'autre part, sont faibles dans tous les cas (tableau 13). Une corrélation positive est notée entre la conductivité et les densités de moules. La densité de moules et le pourcentage de saturation en oxygène sont positivement (mais faiblement) associés alors qu'une relation négative faible est observée entre le coefficient d'extinction lumineuse et la densité de moules.

**Tableau 13** *Corrélation (r de Spearman) entre les données d'abondance semi-quantitatives et quantitatives de Moules zébrées fixées à des substrats solides et certaines variables physico-chimiques*

<i>Variables physico-chimiques</i>	<i>Densités</i>			
	<i>Données quantitatives</i>		<i>Données semi-quantitatives</i>	
	<i>n</i>	<i>r de Spearman</i>	<i>n</i>	<i>r de Spearman</i>
Pourcentage de saturation en oxygène (%)	122	0,181*	178	0,107
Conductivité ( $\mu\text{mhos cm}^{-1}$ )	122	0,445***	178	0,430***
Coefficient d'extinction lumineuse ( $\eta$ )	108	-0,285**	143	-0,091

\*  $p \leq 0.05$ .

\*\*  $p \leq 0.01$ .

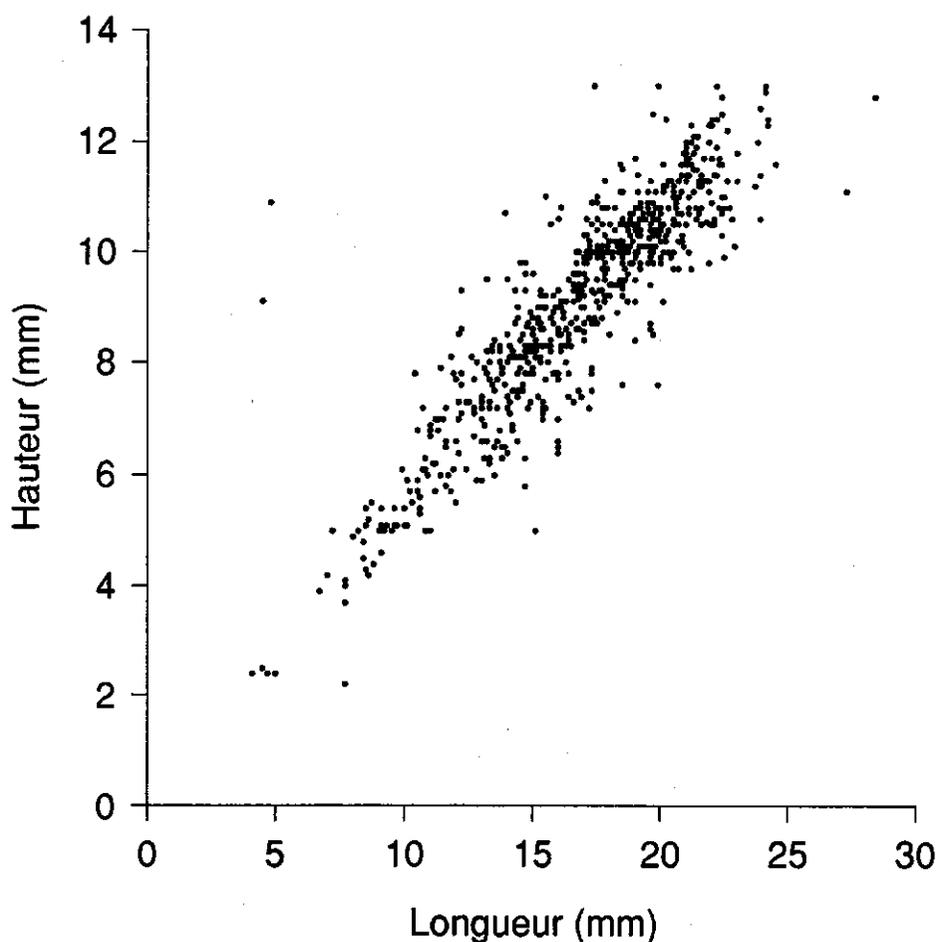
\*\*\*  $p \leq 0.001$ .

### 3.1.3 Taille

La régression de la longueur en fonction de la hauteur des moules démontre que la longueur peut être utilisée comme seul critère de taille pour les traitements subséquents. La relation longueur - hauteur de la coquille est décrite par l'équation :

$$\ln(\text{hauteur}) = 0,897 \times \ln(\text{longueur}) - 0,326$$

$$r^2 = 0,96 \quad (p < 0,001, n = 664) \text{ (figure 3).}$$



**Figure 3** Régression linéaire simple de la longueur en fonction de la hauteur des Moules zébrées fixées sur des substrats solides (indépendamment de leur strate ou station d'origine) en 1991

La longueur moyenne des 611 individus récoltés en 1991 dans toutes les strates de profondeur est de 16,46 mm ( $s_x = 3,84$ ) (tableau 14). Les spécimens les plus petits mesuraient 4,1 mm, et les plus longs, 28,4 mm. La taille des moules ne varie pas de façon significative entre les diverses strates de profondeur ( $p = 0,0974$ ) pour l'ensemble des secteurs du fleuve (tableau 14). De plus, les six stations testées (stations 9, 10, 16, 22, 27 et 31) démontrent une distribution homogène de la longueur entre les strates de profondeur (test de Kruskal-Wallis) (tableau 14).

Les longueurs moyennes des moules récoltées diffèrent entre les stations (Kruskal-Wallis,  $p = 0,0001$ ). La taille des moules récoltées aux stations de Tracy (22), Bécancour (27) et Lévis (31) est significativement supérieure à celle des moules récoltées aux autres sites échantillonnés (comparaison multiple de Noether) (tableau 15). Ces différences peuvent être reliées aux dates d'échantillonnage. En effet, la régression linéaire entre la longueur moyenne de la moule et le jour d'échantillonnage permet de mettre en évidence une relation significative :

$$\text{Longueur moyenne (mm)} = 0,075 \times (\text{jour Julien}) - 0,519$$

$$(r = 0,626, n = 13, p = 0,022) \text{ (figure 4).}$$

La pente de cette équation équivaut au taux de croissance qui est donc de 0,075 mm/jour. Une régression linéaire simple a également été réalisée entre les longueurs individuelles et le jour Julien :

$$\text{Longueur (mm)} = 0,162 \times (\text{Jour Julien}) - 18,187$$

$$(r = 0,534, n = 664, p < 0,001).$$

Le taux de croissance se situe donc entre 0,075 et 0,162 mm/jour, ce qui est comparable aux taux de 0,09 à 0,21 mm/jour mesurés par Nichols *et al.* (1992) aux lacs Ontario et Érié. L'application de ces taux de croissance aux stations où l'on notait une différence significative entre les longueurs des Moules zébrées montre que pour la plupart des stations, la croissance entre les périodes d'échantillonnage explique les différences de taille observées (tableau 15). Les stations faisant exception sont les stations de Boucherville (station 16 et 17) où les moules récoltées étaient de taille inférieure aux autres moules.

**Tableau 14** Longueur moyenne (Lmoy.) des Moules zébrées fixées à des substrats solides, par strate de profondeur, pour toutes les stations échantillonnées dans le Saint-Laurent entre Cornwall et Lévis

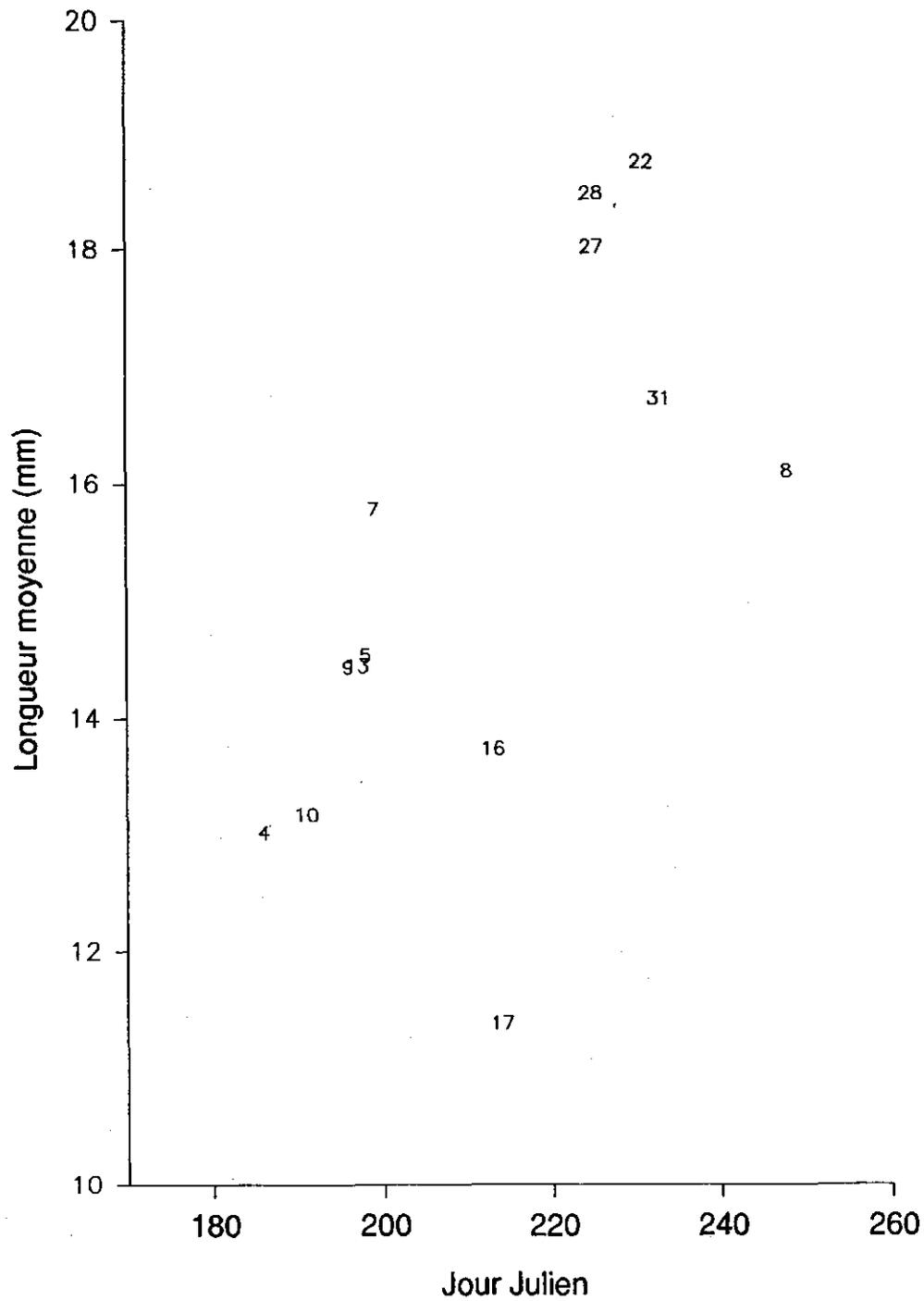
N°	Station	Type de station	Longueur moyenne, écart type et effectif par strate									Comparaison <sup>1</sup> entre les long- ueurs des mou- les entre les strates (probabi- lité)	Total		
			0-1 m			1-3 m			3-5 m				Lmoy. (mm)	s <sub>x</sub>	n
			Lmoy. (mm)	s <sub>x</sub>	n	Lmoy. (mm)	s <sub>x</sub>	n	Lmoy. (mm)	s <sub>x</sub>	n				
01	Cornwall	muret	28,40	0	1								28,40	0	1
04	Pointe McKillop	muret	13,01	4,11	23								13,01	4,11	23
05	Coteau-Landing	muret	14,53	2,53	11								14,53	2,53	11
07	Île aux Chats	transect	16,70	0	1	15,55	3,35	4					15,78	2,95	5
08	Saint-Timothée	transect							16,10	5,75	4		16,10	5,75	4
09	Melocheville	muret	14,25	4,35	8	14,45	2,91	71				0,366 (NS)	14,43	3,05	79
10	Beauharnois	transect	17,63	4,35	7	11,25	2,18	13	13,06	3,95	52	0,168 (NS)	13,17	4,03	72
13	Pointe à Péladeau	roche	14,44	2,66	30								14,44	2,66	30
16	Boucherville	transect				14,10	3,14	8	13,48	1,66	11	0,140 (NS)	13,74	2,34	19
17	Boucherville	muret	11,37	0,40	3								11,37	0,40	3
22	Tracy	muret	18,57	2,17	42	18,93	2,41	51	18,76	1,99	45	0,349 (NS)	18,77	2,20	138
27	Port de Bécancour	muret				18,28	2,82	83	17,81	3,39	98	0,262 (NS)	18,02	3,14	181
28	Gentilly	transect	18,50	0	1								18,50	0	1
31	Lévis	muret				15,97	4,95	25	17,75	2,49	19	0,337 (NS)	16,74	4,13	44
TOTAL			15,81	3,91	127	16,58	3,74	255	16,67	3,90	229	0,097 <sup>2</sup> (NS)	16,46	3,84	611

<sup>1</sup> Test de Kruskal-Wallis utilisé si le nombre de strates K = 3; Test de Wilcoxon-Mann-Whitney utilisé si le nombre de strates K = 2.

<sup>2</sup> ANOVA critère de classification = strate.

s<sub>x</sub> écart-type.

n effectif.



**Figure 4** Longueur moyenne (mm) des Moules zébrées fixées à des substrats solides en fonction de la date d'échantillonnage, pour toutes les stations échantillonnées entre Cornwall et Lévis en 1991. Les stations sont identifiées par leur numéro.

**Tableau 15 Stations présentant des différences significatives de la longueur des Moules zébrées fixées à des substrats solides**

Stations	Comparaison entre les sta- tions Probabilité <sup>2</sup>	Différence de longueur réelle moyenne	Nombre de jours entre l'échantil- lonnage des deux stations	Différence de longueur théorique <sup>1</sup> due à la croissance (mm)	Différence théorique <sup>3</sup> due à la croissance (mm)
Tracy (22) - Pointe McKillop (4)	$p < 0,001$	5,76	45	4,05-9,45	3,38-7,29
Tracy (22) - Coteau-Landing (5)	$p < 0,001$	3,49	33	2,97-6,93	2,48-5,35
Tracy (22) - Melocheville (9)	$p < 0,001$	4,34	35	3,15-7,35	2,63-5,67
Tracy (22) - Beauharnois (10)	$p < 0,001$	5,6	40	3,6-8,4	3-6,48
Tracy (22) - Pointe à Péladeau (13)	$p < 0,001$	4,33	34	3,06-7,14	2,55-5,51
Tracy (22) - Boucherville (16)	$p < 0,001$	5,03	18	1,62-3,78	1,35-2,92
Tracy (22) - Boucherville (17)	$p < 0,001$	7,4	17	1,53-3,57	1,28-2,75
Bécancour (27) - Pointe McKillop (4)	$p < 0,001$	5,01	39	3,51-8,19	2,93-6,32
Bécancour (27) - Coteau-Landing (5)	$p < 0,05$	3,49	27	2,43-5,67	2,03-4,37
Bécancour (27) - Melocheville (9)	$p < 0,001$	3,59	29	2,61-6,09	2,18-4,70
Bécancour (27) - Beauharnois (10)	$p < 0,001$	4,85	34	3,06-7,14	2,55-5,51
Bécancour (27) - Pointe à Péladeau (13)	$p < 0,001$	3,58	28	2,52-5,88	2,1-4,54
Bécancour (27) - Boucherville (16)	$p < 0,001$	4,28	12	1,08-2,52	0,9-1,94
Lévis (31) - Pointe McKillop (4)	$p < 0,05$	3,73	47	<u>4,23-9,87</u>	3,53-7,61
Lévis (31) - Melocheville (9)	$p < 0,001$	2,31	37	<u>3,33-7,77</u>	<u>2,78-5,99</u>
Lévis (31) - Beauharnois (10)	$p < 0,001$	3,57	42	<u>3,78-8,82</u>	3,15-6,80
Lévis (31) - Boucherville (16)	$p < 0,05$	5,37	20	1,8-4,2	1,5-3,24

**gras** = croissance réelle supérieure à celle prédite par la croissance théorique.

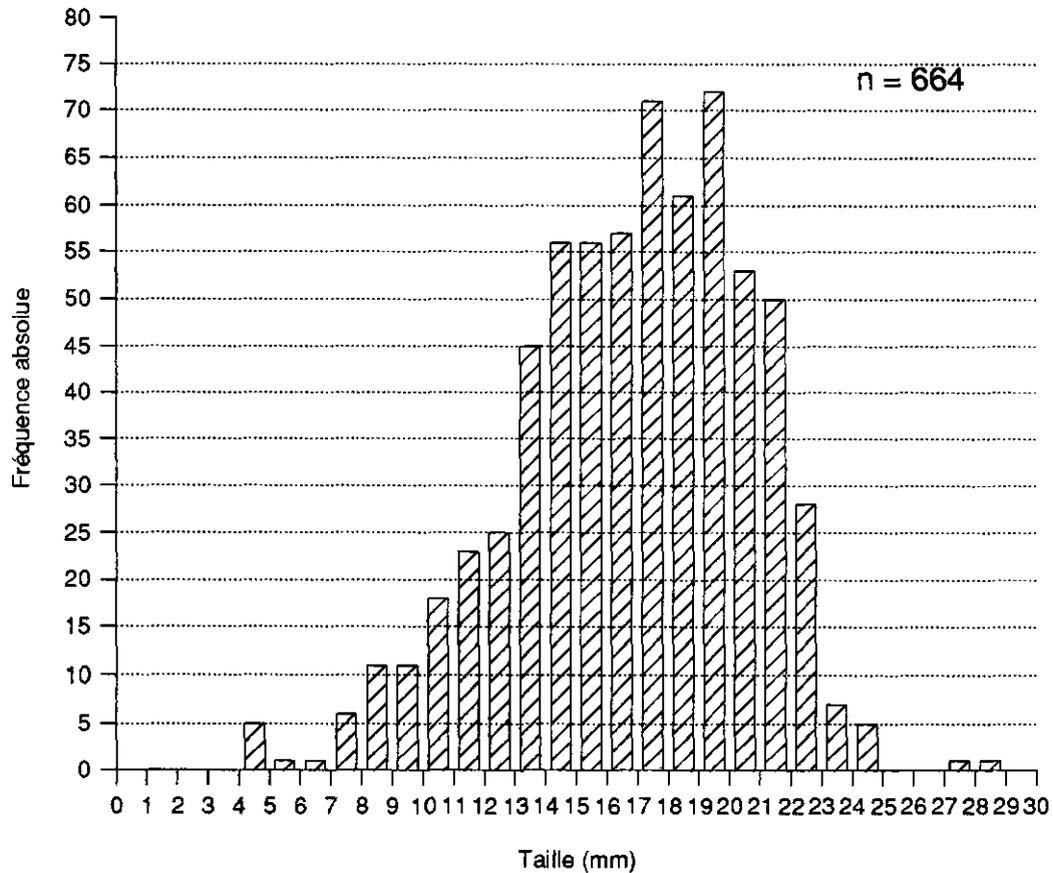
**souligné** = croissance réelle inférieure à celle prédite par la croissance théorique.

<sup>1</sup> La croissance appliquée est celle de Nichols *et al.*, 1992 aux lacs Ontario et Érié, soit 0,09 à 0,21 mm par jour. Différence = nb de jours X croissance

<sup>2</sup> Test non paramétrique de comparaison multiple de Noether.

<sup>3</sup> La croissance appliquée est de 0,075 et 0,162 déterminée par la présente étude. Différence = nb de jours X croissance

La distribution de fréquence des longueurs des Moules zébrées fixées (figure 5) indique la présence d'une population unimodale. Le mode se situe entre 18 et 20 mm de longueur. Il y a très peu de moules mesurant moins de 7 mm et plus de 23 mm.



**Figure 5** Distribution de fréquence selon la taille des Moules zébrées fixées à des substrats solides pour toutes les moules échantillonnées entre Cornwall et Lévis en 1991

### **3.2 Organismes fixés sur les estrans**

Sur les douze stations échantillonnées sur les estrans à marée basse, celle de Saint-Nicolas est la seule où l'on a observé des Moules zébrées (tableau 16). Les moules étaient absentes de toutes les stations sises en rive nord ainsi que de toutes les stations échantillonnées en milieu saumâtre. La densité au transect de Saint-Nicolas était très faible (0,007 moules par m<sup>2</sup>) et la longueur moyenne des moules récoltées était de 15,4 mm (n = 10, s<sub>x</sub> = 4,4).

**Tableau 16**      **Densité de Moule zébrée sur les estrans à marée basse en 1991**

Station	Rive/type d'eau	N° du transect	Longueur du transect	Substrat	Remarques	Nombre de moules récoltées	Densité (Nb. par m <sup>2</sup> )
Portneuf	nord/douce	1	100 m	Ciment	Côté ouest du quai	0	0
		2	100 m	Roches	Côté ouest le long du quai	0	0
		3	100 m	Roches	Côté est le long du quai	0	0
Cap-Santé	nord/douce	4	100 m	Roches	Bord ouest du quai	0	0
		5	100 m	Roches	Berge est du quai	0	0
Saint-Antoine-de-Tilly (Les Fonds)	sud/douce	6	100 m	<i>Scirpus americanus</i>	Herbier côté ouest du quai	0	0
		7	20 m	Ciment	Côté est du quai	0	0
		8	20 m	Ciment	Côté ouest du quai	0	0
Cap-Rouge	nord/douce	9	100 m	Grosses roches	Plage Saint-Laurent	0	0
Saint-Nicolas	sud/douce	10	200 m	Grosses, petites roches	Plage en face du 1185 du Moulin, bord de l'eau	0	0
		11	500 m	Grosses roches	Toutes les moules face est des roches	10	0,007
Sainte-Foy	nord/douce	12	200 m	Grosses roches	Bord de l'eau	0	0
		13	50 m	Ciment	Côté est égout pluvial	0	0
Québec	nord/douce	14	50 m	Grosses roches	Parc du Port de Québec	0	0
Île d'Orléans	nord/douce	15	200 m	Plaques rocheuses	Berge rue Horatio Walker, sur plage en bas de l'escalier	0	0
Sainte-Pétronille	nord/douce	16	50 m	Plaques rocheuses	Anse à Petit	0	0
Petite rivière Saint-François	nord/saumâtre	17	100 m	Herbier	Bord du quai	0	0
Montmagny	sud/saumâtre	18	100 m	Roches	Berge	0	0
Baie-Saint-Paul	nord/saumâtre	19	200 m	Roches, Herbier	Berge ouest du quai	0	0

## 4 RÉSULTATS - LARVES VÉLIGÈRES

### 4.1 Larves : étude sur transects

#### 4.1.2 Densité des larves

Des larves de Moule zébrée ont été récoltées à toutes les stations, mais de façon générale, les densités au cours de 1991 sont jugées faibles (tableau 17). Les densités les plus fortes (54,3 larves l<sup>-1</sup>) ont été notées à l'île aux Chats et les plus faibles (0,03 larves l<sup>-1</sup>) dans la rivière des Prairies. Les dates d'échantillonnage ayant varié d'une station à l'autre, la possibilité de comparaison entre les stations est par le fait même limitée. Les coefficients de variation à chaque station sont élevés et varient de 4,4 à 192 p. 100. Pour dix des 14 stations, le coefficient de variation était supérieur à 30 p. 100 et dépassait même 50 p. 100 pour six d'entre elles.

Les densités les plus fortes ont été observées à la mi-juillet (jour Julien 199 = 18 juillet) tandis qu'à partir du début août (jour Julien 213 à 225), elles diminuent nettement pour atteindre des densités très faibles à la fin août (jour Julien 235) (figure 6). Les densités larvaires inférieures retrouvées en aval sont donc en relation avec la date d'échantillonnage plutôt qu'avec la position des stations. Certaines stations situées dans les mêmes zones géographiques (stations 7 et 8 par exemple) montrent des écarts considérables dans les densités larvaires, ce qui serait attribuable aux différentes dates d'échantillonnage. Les données physico-chimiques des stations échantillonnées sont fournies au tableau 4.

Les densités larvaires moyennes par station sont positivement corrélées avec la conductivité (0,715) et le pH (0,746) (tableau 18). Les stations situées dans les eaux vertes avec les conductivités et les valeurs de pH plus élevées ont donc plus de larves que les eaux brunes de la rivière des Prairies.

Nous devons cependant interpréter l'ensemble de ces résultats avec prudence puisqu'il ne s'agit pas d'un échantillonnage temporel à une seule station.

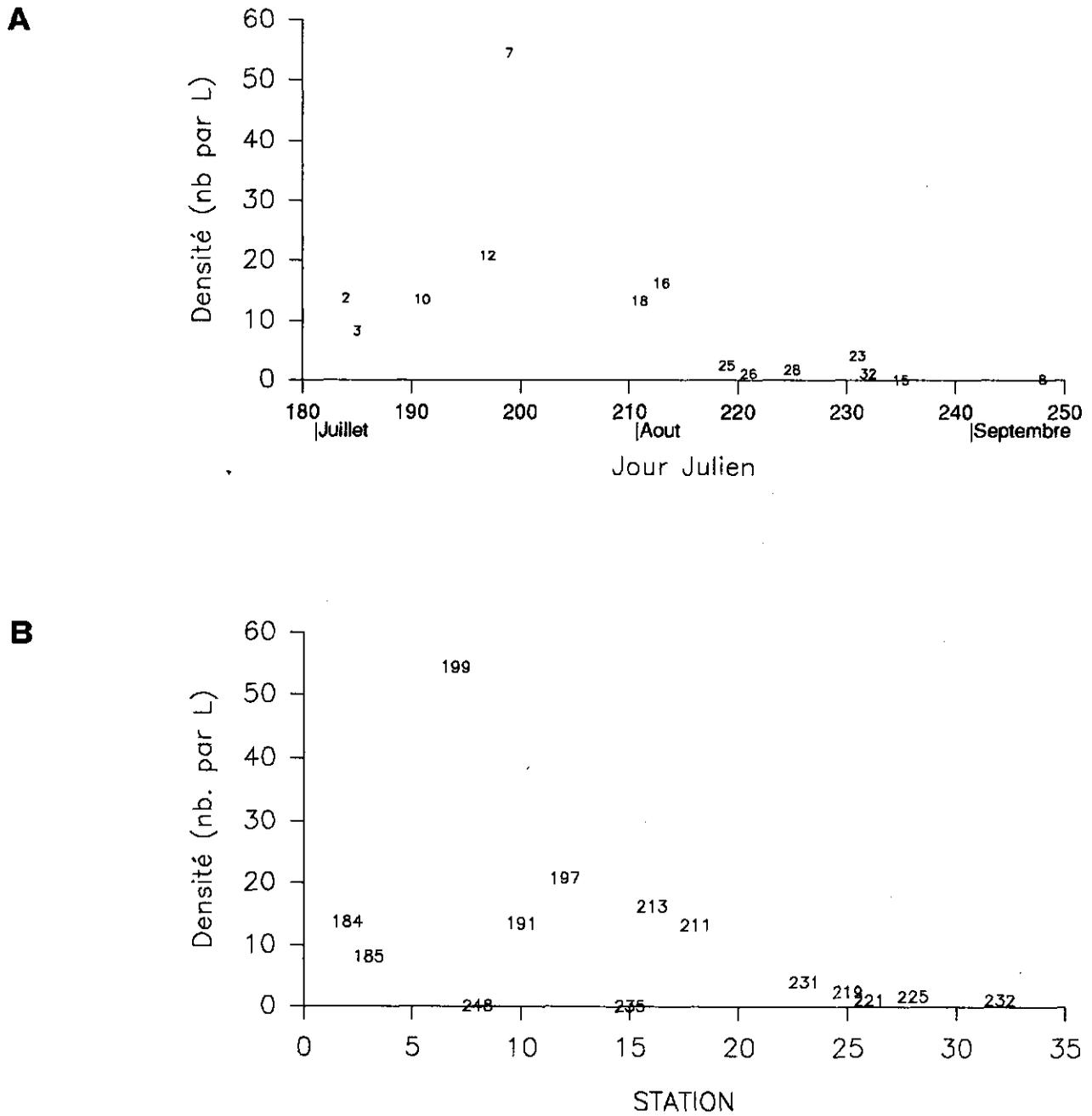
**Tableau 17** Moyenne, écart type et coefficient de variation (C.V. %) des densités de larves véligères de Moule zébrée à chaque station d'échantillonnage entre le 3 juillet et le 5 septembre 1991

N°	Station	Date	Nombre de répliqués	Densité moyenne par répliquat (larves l <sup>-1</sup> )			Densité moyenne par station (larves l <sup>-1</sup> )	Écart type	C.V. (%)
				1	2	3			
2	Pointe Farlingers	3/7/91	2	13,06	14,31	—	13,69	0,88	4,4
3	Port Lewis	4/7/91	2	4,06	12,27	—	8,17	5,81	33
7	Île aux Chats	18/7/91	3	40,50	59,12	63,37	54,33	12,16	22,39
8	Saint-Timothée	5/9/91	3	0,0	0,10	0,19	0,10	0,10	95,04
10	Beauharnois	10/7/91	3	3,68	9,63	27,05	13,45	12,15	90,30
12	Pointe à Péladeau	16/7/91	3	17,64	21,12	23,48	20,75	2,94	14,16
15	Rivière des Prairies	23/8/91	3	0,0	0,0	0,10	0,03	0,06	192,45
16	Boucherville	1/8/91	2	11,94	20,37	—	16,16	5,96	30
18	Île Bellegarde	30/7/91	2	12,57	13,83	—	13,20	0,89	45,5
23	Tracy	19/8/91	3	1,91	4,86	5,26	4,01	1,83	45,63
25	Île Lapierre	7/8/91	3	0,95	2,25	4,00	2,40	1,53	63,77
26	Île aux Sternes	9/8/91	3	0,38	0,48	2,27	1,04	1,06	102,26
28	Gentilly	13/8/91	3	0,64	1,86	2,55	1,68	0,97	57,57
32	Berthier-sur-Mer	20/8/91	2	0,70	1,41	—	1,05	0,50	25

## 4.2 Larves : étude en dérive

### 4.2.1 Conditions physico-chimiques

La température de l'eau a varié entre 21 et 24,5 °C aux différents sites d'échantillonnage (tableau 19). La variation maximale à l'intérieur des transects était de 2 °C à Cornwall, de 0,5 °C à Les Grèves et de 1,5 °C à Port-Saint-François. Les pourcentages de saturation en oxygène sont proches de 100 p. 100 aux dix stations pour lesquelles on dispose de données. La conductivité à la station nord du transect Les Grèves est indicatrice de la masse d'eaux brunes (<100 µmhos cm<sup>-1</sup>), alors qu'aux stations centre et sud, elle reflète celle de la masse d'eaux vertes des Grands Lacs (>250 µmhos cm<sup>-1</sup>).



**Figure 6** Densités moyennes de larves de Moule zébrée pour chaque station, en fonction : A) de la date d'échantillonnage (Jour Julien), les chiffres identifient de stations; B) du numéro de la station, les chiffres identifient le Jour Julien d'échantillonnage - 1991

**Tableau 18** Coefficients de corrélation de Spearman entre certaines variables physico-chimiques et les densités larvaires

Variables	Saturation en oxygène (%)	Conductivité	Vitesse du courant	pH	Coefficient d'extinction lumineuse	Densité larvaire moyenne (larves l <sup>-1</sup> )
Température (°C)	-0,229 NS 12	0,212 NS 13	0,516 <0,05 13	-0,458 NS 9	0,253 NS 11	-0,140 NS 13
Saturation en oxygène (%)		0,429 NS 12	-0,105 NS 12	0,897 <0,01 9	-0,803 <0,01 11	0,480 NS 12
Conductivité			-0,176 NS 13	0,562 NS 9	-0,396 NS 11	0,715 <0,01 13
Vitesse du courant (m/s)				-0,269 NS 9	-0,120 NS 11	-0,196 NS 13
pH					-0,721 <0,01 9	0,746 <0,05 9
Coefficient d'extinction lumineuse						-0,388 NS 11

Légende : -0,229 Coefficient de corrélation.  
 <0,005 Probabilité. NS = non significatif.  
 12 n

#### 4.2.2 Variabilité Intra-station

Les coefficients de variation des réplicats à chacune des stations variaient de 50 à 200 p. 100 indiquant une variabilité analytique élevée (tableau 20). Aucune différence significative n'a cependant été observée entre les réplicats d'une même station (tableau 20). La variation analytique est en fait supérieure à la variation intra-station comme l'indiquent les coefficients de variation de chaque station (qui varient entre 2,6 et 114,9 p.100) (tableau 21).

**Tableau 19**      **Conditions physico-chimiques aux stations du suivi de la masse d'eaux échantillonnées pour les larves de Moule zébrée dans le Saint-Laurent en 1991\***

Date	Transect	Station	Latitude (degrés minutes centièmes)	Longitude (degrés minutes centièmes)	Physico-chimie				
					Température de l'eau (°C)	Saturation en oxygène (%)	Conductivité (µmhos cm <sup>-1</sup> )	Coefficient d'extinction lumineuse	Profondeur maximale (m)
27/08/91	Cornwall	Nord	45°01',91	74°36',83	21,0	102,0	n.d.	0,5878	4,5
27/08/91	Cornwall	Centre	45°00',67	74°37',70	22,5	110,0	n.d.	0,8210	5,0
27/08/91	Cornwall	Sud	45°00',35	74°36',98	23,0	102,0	n.d.	0,6932	5,0
28/08/91	Les Grèves	Nord	45°58',73	73°11',77	23,0	95,0	97	2,0614	5,0
28/08/91	Les Grèves	Centre	45°58',65	73°11',48	23,0	100,0	220	1,2321	5,0
28/08/91	Les Grèves	Sud	45°58',55	73°11',13	23,5	101,0	206	1,1130	1,5
29/08/91	Port Saint-François	Nord	46°16',95	72°37',45	24,5	n.d.	n.d.	0,9471	5,0
29/08/91	Port Saint-François	Centre	46°16',55	72°37',25	23,0	n.d.	n.d.	1,4950	5,0
29/08/91	Port Saint-François	Sud	46°16',37	72°37',17	23,5	n.d.	n.d.	3,0698	4,0

\* Les valeurs de température de l'eau, du pourcentage de saturation, et de la conductivité sont prises à 0,5 mètre de profondeur et le coefficient d'extinction lumineuse à 1 mètre.

n.d. = données non disponibles.

**Tableau 20** Densité de larves de Moule zébrée pour les répliquats de chaque station

<i>Station</i>	<i>Répliquat</i>	<i>n</i>	<i>Densité moyenne (larves l<sup>-1</sup>)</i>	<i>Écart type (s<sub>x</sub>)</i>	<i>C.V. (%)</i>	<i>Probabilité<sup>1</sup></i>
Cornwall nord	1	5	0,75	1,02	125	NS
	2	5	0,47	1,06	200	
	3	5	0,38	0,85	200	
Cornwall centre	1	5	0,38	0,84	200	NS
	2	5	0,38	0,84	200	
	3	5	0,37	0,84	200	
Cornwall sud	1	5	0,00	0,00	--	NS
	2	5	0,00	0,00	--	
	3	5	0,00	0,00	--	
Les Grèves nord	1	5	0,76	1,04	150	NS
	2	5	1,92	1,92	100	
	3	5	1,50	1,56	100	
Les Grèves centre	1	5	0,38	0,86	200	NS
	2	5	1,12	1,02	100	
	3	5	1,48	2,42	150	
Les Grèves sud	1	5	1,15	1,05	100	NS
	2	5	0,76	1,70	200	
Port-Saint-François nord	1	5	0,34	0,76	200	NS
	2	5	0,00	0,00	--	
	3	5	0,35	0,78	200	
Port-Saint-François centre	1	5	2,62	2,13	100	NS
	2	5	2,18	2,37	100	
	3	5	2,90	1,00	50	
Port-Saint-François sud	1	5	0,34	0,77	200	NS
	2	5	1,06	0,97	100	
	3	5	0,00	0,00	--	

<sup>1</sup> Lorsque l'on disposait de trois répliquats, le test de Kruskal-Wallis (Scherrer, 1984) a été utilisé, alors que le test de Wilcoxon-Mann-Whitney (Scherrer, 1984) a été appliqué lorsqu'il n'y avait que deux répliquats.

NS = Aucune différence significative n'a été détectée entre les répliquats respectifs des stations.

#### 4.2.3 Variabilité inter-station

Les densités larvaires étaient inférieures à deux larves par litre à la majorité des stations lors du suivi de la masse d'eaux au mois d'août 1991 (tableau 21). La variation des densités entre les stations d'un même transect était significative à Cornwall et à Port-Saint-François (tableau 21) (Kruskal-Wallis  $p < 0,05$ ; Scherrer, 1984). Au transect de Cornwall, les densités larvaires étaient plus élevées aux stations nord (0,50 l<sup>-1</sup>) et centre (0,38 l<sup>-1</sup>) qu'à la station sud (0 l<sup>-1</sup>). À Port-Saint-François, les densités sont plus élevées à la station centre qu'aux stations nord et sud. Les densités larvaires n'étaient pas significativement différentes entre les stations nord, centre et sud au transect de Les Grèves. Les stations centre sont localisées au niveau de la voie maritime.

**Tableau 21** *Densité de Moule zébrée aux stations nord, centre et sud pour chacun des transects échantillonnés dans le cadre du suivi de la masse d'eaux*

Transect	Station	n	Densité moyenne (larves l <sup>-1</sup> )	Écart type (s <sub>x</sub> )	C.V.	Test <sup>1</sup>
Cornwall	Nord	3	0,53	0,21	42	Nord= Centre > Sud
	Centre	3	0,38	0,01	2,6	
	Sud	3	0,00	0,00	-	
Les Grèves	Nord	3	1,39	0,59	42,4	Nord= Centre= Sud
	Centre	3	0,99	0,56	56	
	Sud	2	0,96	0,28	29,2	
Port-Saint-François	Nord	3	0,23	0,20	86,9	Nord=Sud < Centre
	Centre	3	2,57	0,36	14,0	
	Sud	3	0,47	0,54	114,9	

<sup>1</sup> Test : ANOVA sur les rangs (Kruskal-Wallis) suivi du test de comparaison multiple de S.N.K. dans les cas de différences significatives ( $p < 0,05$ ).

Une comparaison des densités larvaires entre les transects pour chaque station (nord, centre, sud) indique des différences significatives (ANOVA sur les rangs  $p < 0,05$ , suivi de S.N.K.) entre les stations situées en rive nord et au centre le long du

Une comparaison des densités larvaires entre les transects pour chaque station (nord, centre, sud) indique des différences significatives (ANOVA sur les rangs  $p < 0,05$ , suivi de S.N.K.) entre les stations situées en rive nord et au centre le long du fleuve. La station nord du transect Les Grèves supporte des densités supérieures à celles enregistrées à la station correspondante des transects de Cornwall et Port-Saint-François. Au centre, correspondant à la voie maritime, les densités sont supérieures au transect de Port-Saint-François qu'à ceux de Les Grèves et Cornwall. Aucune différence significative n'a été observée dans les densités larvaires entre les trois stations sud.

Les différences entre les transects et les rives lorsqu'elles sont significatives sont cependant très faibles. Les coefficients de variation élevés entre les réplicats pourraient expliquer partiellement ces différences. L'évidence d'une zone de reproduction de la Moule zébrée dans la zone de la voie maritime entre Les Grèves et Port-Saint-François ne peut cependant pas être prouvée hors de tout doute.

## **5 DISCUSSION**

### **5.1 Larves de Moule zébrée dans le Saint-Laurent**

Selon Griffiths *et al.* (1989) et Hebert *et al.* (1989), le pic de ponte de la Moule zébrée se situe à des températures variant entre 20 et 25 °C. Les températures enregistrées lors de l'échantillonnage des différentes stations du fleuve ont varié entre 19 et 24 °C, ce qui suggère que ce facteur ne serait pas limitant pour la reproduction de cet organisme dans le Saint-Laurent.

Les pourcentages de saturation en oxygène ont varié de 81 à 128 p. 100, ce qui n'apparaît pas limitant pour la survie de cette espèce dans le fleuve. Selon Fisher *et al.* (sous-presse), la consommation d'oxygène par les moules augmente avec la température de l'eau. Il se pourrait donc que l'oxygène dissous devienne un facteur limitant durant la période chaude avec l'augmentation des densités de moules dans certains types de milieux, notamment dans les milieux à courant faible et où le renouvellement des eaux s'opère lentement.

#### **5.1.1 Variabilité intra-station**

Les coefficients de variation des densités larvaires pour chaque station sont relativement élevés, atteignant parfois plus de 100 p. 100, et peuvent s'expliquer par une distribution larvaire en taches et l'erreur analytique élevée lors du tri. Dans plusieurs cas, les densités sont extrêmement faibles, ce qui a pour conséquence d'augmenter le coefficient de variation. Afin de minimiser cette variabilité, une concentration de l'échantillon serait indiquée. De cette façon, une plus grande proportion de l'échantillon pourrait être examinée.

#### **5.1.2 Variabilité inter-station**

Haag et Garton (1992) ont démontré une production synchrone d'oeufs de Moule zébrée dans la partie ouest du lac Érié. Si ce phénomène est valable pour les conditions fluviales, les comparaisons de stations échantillonnées dans des périodes

différentes sont donc, par le fait même, impossibles. Les densités de véligères observées dans le fleuve en 1991 (tableau 17) sont relativement faibles et la densité moyenne pour l'ensemble des stations est de 10,7 larves l<sup>-1</sup>. Ces valeurs sont comparables aux observations faites en début de colonisation dans les Grands Lacs (tableau 22).

Le relâchement synchrone des oeufs (Haag et Garton, 1992) nous permet de supposer une distribution en taches des larves par la suite. Les différences notées entre deux stations peuvent donc être reliées à cette distribution en taches plutôt qu'à des différences réelles des densités. Ainsi, les différences de densités notées entre la station de l'île aux Chats (54,33 larves l<sup>-1</sup>) et la station pointe à Péladeau (20,75 larves l<sup>-1</sup>) pourraient être liées à ce phénomène.

Les densités maximales de larves dans le fleuve sont observées à la mi-juillet (figure 6). Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par les Laboratoires SAB (1992) lors d'une étude des variations temporelles de densité des larves véligères dans le canal de Beauharnois effectuée à trois stations, toutes les deux semaines durant la même période (juillet 1991), étude qui a montré que l'abondance des larves était maximale au début de juillet et déclinait par la suite. Un pic de densité larvaire au mois de juillet a été rapporté dans divers milieux et correspond en général à des périodes de température de l'eau supérieure à 18 °C (Kirpichenko, 1964; Lewandowski, 1982; Lewandowski et Ejsmont-Karabin, 1983; Zhdanova et Gusynskaya, 1986).

Les coefficients de corrélation établis entre les variables physico-chimiques et les densités larvaires sont généralement non significatifs. Les coefficients significatifs plus élevés avec la conductivité et le pH peuvent être reliés au type de masses d'eaux. Les eaux brunes ne sont pas pour l'instant colonisées par la Moule zébrée et les densités larvaires y sont donc nulles ou très faibles.

## **5.2 Larves de Moule zébrée en suivant la masse d'eaux**

La comparaison effectuée entre les stations nord, centre et sud de chaque transect a démontré que les transects de Cornwall et Port-Saint-François affichaient des différences significatives, quoique très faibles.

**Tableau 22 Comparaison des densités larvaires dans le Bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent**

Lieu	Année	Date	Profondeur	Densité (larves l <sup>-1</sup> )			Source
				Moyenne	Minimum	Maximum	
Lac Érié Ouest	1988	Mai à novembre		3,6			Leach, 1992
	1989	Mai à novembre		30		200-500	Leach, 1992
	1990	Mai à novembre		96			Leach, 1992
	1991	Mai à novembre		85			Leach, 1992
	1990	Mai à septembre			20	250	Fraleigh <i>et al.</i> , 1990
Bassin central ouest Lac Érié	1989	Mai à novembre		0,9			Leach, 1992
	1990	Mai à novembre		68			Leach, 1992
	1991	Mai à novembre		5			Leach, 1992
Bassin Ouest Lac Érié	1989	14 juin au 30 octobre	0-6 m		0	451	Garton et Haag, 1993
	1990	10 juin au 6 octobre	0-6 m		0	255	Garton et Haag, 1993
Bassin Est Lac Érié	1990	Juin à octobre	0-fond (10 à 20 m)	<1		3, 100	Riessen <i>et al.</i> , 1990
Silver Creek	1990			3			Riessen <i>et al.</i> , 1990
Canal de Beauharnois	1991	Juin à octobre	0-5 m		0	14,5	Laboratoires SAB, 1992
Fleuve Saint-Laurent	1991	Juillet	0-5 m	10,7	0	63	Cette étude

L'augmentation de densités larvaires notée entre les transects de Cornwall et Les Grèves en rive nord et celle notée entre les stations centre (voie maritime) des transects de Cornwall, Les Grèves et Port-Saint-François sont très faibles. Trois hypothèses peuvent expliquer ces différences : la présence de zones de reproduction larvaire entre les stations, la présence de taches de larves en dérive dans la masse d'eaux provenant de l'amont ou encore un suivi non efficace des masses d'eaux. Pour l'instant, ces différences bien que significatives sont trop faibles pour conclure sur l'existence de zones de reproduction de la Moule zébrée dans le fleuve.

### **5.3 Moules zébrées fixées sur des substrats naturels et artificiels du Saint-Laurent**

Les densités de Moule zébrée dans le Saint-Laurent en 1991 étaient faibles en comparaison des valeurs précédemment rapportées dans les Grands Lacs (tableau 23). Il semble donc que la Moule zébrée ait été introduite très récemment dans le fleuve et que la colonisation de ce plan d'eau soit encore dans sa phase initiale. La Moule zébrée montre une répartition spatiale verticale assez homogène dans le Saint-Laurent en début de colonisation. On remarque cependant une colonisation plus importante dans les régions portuaires ou encore dans les zones de mouillage de bateaux (stations 9, 10, 13, 22, 27, 31). Ce phénomène suggère que la présence de la Moule zébrée peut être le résultat non seulement de la dérive de larves en provenance des Grands Lacs, mais aussi d'introductions séparées et(ou) répétées d'individus à l'état de larves ou adultes via le transport maritime.

Une association entre la présence de moules unionides indigènes et de Moules zébrées est apparue significative. Dans les endroits à fond vaseux et dépourvus de roche, les moules indigènes constituent pratiquement le seul substrat colonisable pour la Moule zébrée. L'étude de Lewandowski (1976) au lac Mikolajskie, en Pologne, a montré que 85 p. 100 des moules unionides sont colonisées par *Dreissena polymorpha*. Selon cet auteur, les moules unionides vivantes ainsi que les colonies de Moules zébrées seraient les substrats préférés comparativement aux coquilles de bivalves vides ou même des roches.

**Tableau 23 Comparaison des densités de Moules zébrées fixées dans le Bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent**

<i>Lieu</i>	<i>Année</i>	<i>Densité (nombre par m<sup>2</sup>)</i>	<i>Source</i>
Bassin Nord-Ouest du lac Érié	1990	384 (mai) 2551 (juillet) 54317 (novembre)	Dermott <i>et al.</i> , 1992 <i>in</i> Nalepa & Schlosser, 1992
Bassin Ouest du lac Érié	1989	112 000 à 233 000	Leach, 1992 <i>in</i> Nalepa & Schlosser, 1992
	1990	900 000	M.R.N.O., 1990
	1990	142 000 à 342 000	Leach, 1992
Canal Érié à Albion	1990	100 000	Schaner et Letendre, 1991
Lac Saint-Clair	1988	195 (maximum)	Hebert <i>et al.</i> , 1989
	1989	6100 (maximum)	Hebert <i>et al.</i> , 1991
	1990	2500 à 7500 10 000 (maximum)	Griffiths, 1992 <i>in</i> Nalepa & Schloesser, 1992
	1991	20 000 (maximum)	Griffiths, 1992 <i>in</i> Nalepa & Schloesser, 1992
Lac Ontario	1991	4000 (maximum)	Schaner <i>et al.</i> , 1992
Fleuve Saint-Laurent	1991	0,0 à 20,2	Cette étude

Ce phénomène a aussi été rapporté dans les Grands Lacs où 25 p. 100 des coquilles de moules indigènes mortes portaient des Moules zébrées alors que 90 p. 100 des moules indigènes vivantes étaient colonisées par la Moule zébrée (Hebert *et al.*, 1989).

Il ne semble pas y avoir d'association entre la quantité de macrophytes et la densité de Moules zébrées, en début de colonisation. Les herbiers ne constituent probablement pas un milieu propice à la colonisation par cet organisme, le fond étant généralement vaseux, et les substrats solides, rares. Aucune Moule zébrée n'a été

observée fixée sur les macrophytes lors de notre échantillonnage qualitatif. Par contre, Lewandowski (1983) mentionne que les macrophytes peuvent être de bons substrats pour les stades juvéniles de la moule. Lors d'un échantillonnage à la fin du mois d'octobre et au début de novembre 1991, donc deux mois après nos travaux sur le terrain, des individus juvéniles de Moule zébrée ont été observés à la base de macrophytes, notamment dans la région de Boucherville (Mellina, 1992).

En fait, le fleuve Saint-Laurent présente peu de substrats rocheux et les substrats colonisables sont principalement les macrophytes, les moules unionides indigènes, ainsi que le ciment des murets et des prises et conduites d'eau. Les impacts liés à l'introduction de la Moule zébrée dans l'écosystème du Saint-Laurent devraient donc se faire sentir surtout au niveau des populations de moules indigènes, ainsi qu'au niveau des installations des municipalités, des industries riveraines et des installations portuaires.

Il ne semble pas y avoir de relation entre le degré de morcellement du substrat et le nombre d'individus de *D. polymorpha* dans le fleuve, bien que Marsden (1992) mentionne que la Moule zébrée tend à se fixer dans les fissures, les coins et les crevasses. Les faibles densités de moules dans le fleuve, de même que le peu de données recueillies sur des substrats présentant de petites anfractuosités (tableau 11) expliquent probablement l'absence de relation entre le morcellement du substrat et le nombre de Moules zébrées.

Selon Snyder (1990), les moules adultes ont besoin d'une teneur élevée en oxygène dissous (pourcentage de saturation supérieur à 90 p. 100). Les pourcentages de saturation obtenus lors de l'échantillonnage des différentes stations sont dans pratiquement tous les cas supérieurs à 90 p. 100. Les stations faisant exception sont celles de l'île Lapierre (81 p. 100) et de l'île aux Sternes (89,5 p. 100).

Les corrélations obtenues entre la conductivité et le coefficient d'extinction lumineuse par rapport aux densités de moules peuvent s'expliquer, en partie, par la présence des eaux «vertes» et «brunes» dans le fleuve. En effet, les eaux en provenance des Grands Lacs, dites «eaux vertes», sont caractérisées par une faible turbidité, une forte minéralisation et une faible teneur en éléments nutritifs. Au niveau du lac

Saint-Louis, ces eaux sont confrontées aux «eaux brunes» en provenance de la rivière des Outaouais et, de façon générale, de tous les affluents de la rive nord qui coulent sur les roches du bouclier canadien. Les eaux brunes sont caractérisées par leur couleur foncée et leur turbidité élevée, et par une faible minéralisation. Comme le mélange des eaux est lent, l'influence de la rivière des Outaouais se fait sentir le long de la rive nord du fleuve jusqu'à Repentigny, là où s'opère le mélange avec les eaux de la rivière L'Assomption. À Trois-Rivières, on retrouve l'influence des tributaires du nord du lac Saint-Pierre, puis de la rivière Saint-Maurice, parfois jusqu'à Portneuf. Les différentes masses d'eaux se mélangent à partir de Leclercville avec le reflux causé par la marée, et sont homogènes à la hauteur de Québec. Ainsi, les stations de la rive nord qui sont influencées par les eaux brunes de l'Outaouais soit partiellement (stations 12, 18, 19, 20, 21, 25, 26) ou totalement (stations 14 et 15) sont caractérisées par de faibles densités, voire l'absence de Moules zébrées fixées. Par contre, les stations de la rive sud étant majoritairement influencées par les eaux vertes des Grands Lacs présentent des densités nettement plus importantes (stations 9, 10, 16, 17, 22, 24, 27, 28). De plus, les trois stations avec des densités de Moule zébrée significativement plus importantes que les autres stations (Tracy - 22, Bécancour - 27 et Lévis - 31), sont toutes situées sur la rive sud du fleuve. Les coefficients de corrélation positifs entre les densités de Moule zébrée et la conductivité sont également reliés à ce phénomène, la conductivité des eaux vertes étant supérieure à celle des eaux brunes. L'intensité de la colonisation future dans les eaux brunes ne peut pas être présumée pour l'instant. Par contre, si l'on s'appuie sur les valeurs historiques connues de pH et de concentration de calcium, le risque d'une colonisation importante de ces eaux par la Moule zébrée semble peu élevé. En effet, les valeurs moyennes de calcium (7,7 mg/l) et de pH (6,7) des eaux provenant de la rivière des Outaouais (Désilets et Langlois, 1989) sont inférieures aux valeurs considérées limitantes dans certains modèles de distribution (Neary et Leach, 1992). Il faut cependant rappeler que la plupart de ces modèles ont été établis dans les écosystèmes lacustres plutôt que fluviaux.

La corrélation négative entre le coefficient d'extinction lumineuse et la densité de moules est également attribuable à l'origine des masses d'eaux. L'extinction lumineuse

étant plus forte en eaux brunes qu'en eaux vertes, et les eaux brunes n'étant pas pour l'instant colonisées par la Moule zébrée, les densités sont donc inversement reliées au coefficient d'extinction lumineuse.

L'absence de stratification verticale des Moules zébrées dans le fleuve semble contraire à l'hypothèse de Marsden (1992) stipulant que cette moule est surtout retrouvée dans des endroits sombres. L'intensité lumineuse diminuant avec la profondeur, il serait plausible d'observer de plus fortes densités à mesure que la profondeur augmente. D'autres phénomènes, tel le type de substrat, peuvent également influencer la répartition verticale de la Moule zébrée. Il sera intéressant de voir si, en cours de colonisation, une distribution verticale des moules se développera en accord avec l'hypothèse de Marsden (1992).

En comparant les longueurs moyennes des Moules zébrées récoltées dans le fleuve avec les valeurs obtenues au lac Saint-Clair et en supposant un taux de croissance équivalent (tableau 24), la moyenne d'âge des moules serait donc de un an. À peine 5,24 p. 100 seraient âgées de deux ans. Le plus grand spécimen (28,4 mm) trouvé lors de notre étude provenait de Cornwall et pouvait être âgé d'environ trois ans. Au lac Saint-Clair, les longueurs maximales de moules atteignent entre 23 et 25 mm, correspondant à une longévité de 2,5 ans (Pathy et Mackie, 1992). En supposant que la relation âge - longueur établie par McMahon (1990) est applicable aux Moules zébrées du fleuve Saint-Laurent et que les Moules zébrées adultes ne se déplacent pas, les résultats de notre étude suggèrent que la colonisation initiale à Cornwall remonterait vraisemblablement à 1988, et que la colonisation en aval du lac Saint-François aurait eu lieu entre 1989 et 1990.

Étant donné que les stations de Tracy, Lévis et Bécancour ont été échantillonnées plus tard (13-19 août) que les autres stations (2 juillet au 2 août) (tableau 4), il est plausible de supposer que la différence de taille (entre 4 et 5 mm) des moules entre les stations serait due à la croissance individuelle. Aux lacs Érié et Ontario, les moules croissent de 4 à 5 mm en trois à cinq semaines (Nichols *et al.*, 1992). Si on applique le taux de croissance de 0,09 mm à 0,21 mm par jour établi par ces auteurs, les différences de longueur seraient explicables par le délai dans la période d'échantillonnage (tableau

15). Par contre, tel ne serait pas le cas pour les différences de longueurs entre les moules récoltées à la station de Boucherville et celles provenant des autres stations.

**Tableau 24** *Relation entre la longueur (en mm) de la coquille et l'âge des Moules zébrées*

<i>Âge (années)</i>	<i>Longueur (mm)</i>	<i>Référence</i>
1	10	Hebert <i>et al.</i> , 1989
1	7	McMahon, 1990
2	22	McMahon, 1990
3	29	McMahon, 1990
4	36	McMahon, 1990
5	40	McMahon, 1990

\* Selon la documentation.

Les Moules zébrées n'occupent pas de façon importante les estrans du fleuve, aussi bien en eaux saumâtres qu'en eaux douces. À la station de Saint-Nicolas, seule station où l'on ait trouvé des moules sur les estrans, les densités sont extrêmement faibles. Elles sont en effet 500 fois plus faibles que les densités de la strate 0-1 m à Lévis, station la plus proche où des moules ont été récoltées en plongée sub-aquatique (tableau 5). Par contre, les longueurs moyennes entre les deux stations sont quasi identiques (15,4 mm à Saint-Nicolas versus 15,97 mm à Lévis). Deux hypothèses principales peuvent être avancées pour expliquer ce résultat : a) les individus fixés sur les estrans ne subissent pas plus de stress lorsqu'exposés à l'air à marée basse et n'ont pas une croissance différente des moules toujours immergées entre 0-1 m; b) les individus sur les estrans ne sont pas issus d'une colonisation larvaire mais ont été déplacés récemment («translocators»).

Les estrans surveillés en eaux saumâtres n'étaient pas colonisés en 1991. Ceci ne signifie cependant pas que les moules ne survivront pas aux salinités présentes dans cette zone. Les études de Kilgour et Mackie (1992) ont montré que la Moule zébrée survit à des salinités de 8 ppt (avec acclimatation préalable de 1,0 ppt par jour) bien que la croissance soit légèrement inférieure. La CL 96 h était de 7,6 ppt sans acclimatation préalable. Ceci laisse supposer que la Moule zébrée pourrait survivre à de faibles salinités (0 - 5 ppt).

La colonisation du fleuve par la Moule zébrée est récente, ce qui explique le peu d'effets démontrés par la présente étude. Cependant, au fur et à mesure que les populations augmenteront, certaines conséquences de la prolifération de cette moule pourront être visibles. Parmi les conséquences possibles, mentionnons des changements dans la physico-chimie de l'eau par la modification de la pénétration de la lumière causée par la filtration efficace des particules en suspension dans l'eau (Jorgensen *et al.*, 1984), et la modification de la bioaccumulation des substances toxiques (Renberg *et al.*, 1986). La Moule zébrée peut aussi affecter les espèces indigènes en augmentant la compétition pour les ressources, en recouvrant les aires de fraye (IJC/GLFC, 1990), en modifiant les chaînes trophiques, et en augmentant la contamination des organismes prédateurs (Lewis, 1990). Finalement, ce mollusque peut affecter les usages des plans d'eau du fleuve par, entre autres, le colmatage des prises d'eau (McMahon et Tsou, 1990) et la souillure des zones de baignade (Snyder, 1990).

La présente étude a vérifié la répartition spatiale de la Moule zébrée dans le fleuve Saint-Laurent et a permis de confirmer ou d'infirmer les hypothèses de départ :

**1) La Moule zébrée est présente dans le Saint-Laurent.** En 1991, les Moules zébrées fixées avaient colonisé l'ensemble du tronçon fluvial et l'estuaire du Saint-Laurent à l'exception du couloir fluvial entre Repentigny et Lanoraie. Par contre, la rivière des Prairies ne semblait pas être colonisée.

**2) Il existe des différences significatives dans l'abondance de Moule zébrée entre les différents sites échantillonnés dans le Saint-Laurent.** On trouve davantage de Moules zébrées aux stations situées dans les régions portuaires (Tracy, Bécancour) et en aval des zones de mouillage de bateaux (Melocheville) qu'ailleurs.

**3) Nous ne pouvons confirmer l'hypothèse suivante :** la colonisation ne s'étant pas effectuée de façon synchrone dans l'ensemble des sections étudiées, il existe des zones où les moules sont plus âgées donc de taille plus grande que dans d'autres zones. Des études plus précises seraient requises sur la croissance pour pouvoir vérifier cette hypothèse. En effet, les différences de taille observées entre les différentes stations échantillonnées dans le cadre de cette étude peuvent être attribuées à des périodes d'échantillonnage différentes. Les stations de Tracy, Bécancour et Lévis présentent des individus de taille significativement supérieure à celle des individus des autres régions. La croissance des individus entre les périodes d'échantillonnage expliquerait ces différences. Les seules comparaisons où la croissance ne peut expliquer ces différences de taille sont celles faites entre la station de Boucherville et les trois stations que nous venons de mentionner. Au mois d'octobre 1991, des moules juvéniles ont été observées sur les substrats présents à Beauharnois. Il est donc possible que l'échantillonnage réalisé en juillet ne tienne pas compte du recrutement de l'année. Des échantillonnages devraient donc être réalisés en automne afin de pouvoir suivre la prolifération annuelle de *D. polymorpha*.

Finalement, les résultats de la taille des individus échantillonnés nous permettent de supposer que la colonisation initiale du fleuve Saint-Laurent par la Moule zébrée aurait vraisemblablement débuté en 1988 (l'individu le plus long mesurait 28 mm, ce qui correspond à une moule de 3 ans). La moyenne d'âge des 664 individus récoltés en 1991 est cependant d'environ un an, ce qui correspond à une colonisation réelle en 1990.

**4) Certains substrats soit par leur texture, soit par leur nature, favorisent une abondance plus grande de Moule zébrée.** Les substrats les plus colonisés sont les moules unionides et les substrats de ciment. Les macrophytes ne semblent pas, en début de colonisation du moins, constituer des substrats préférentiels. Les substrats meubles ne sont pas plus colonisés que les substrats rocheux. Il n'y a pas de différences significatives dans l'abondance des moules selon le morcellement du substrat. Les substrats situés parallèlement au courant comportent significativement plus de moules que ceux exposés au courant ou à l'abri de celui-ci.

**5) Il ne semble pas exister une stratification verticale de la Moule zébrée pouvant être reliée à des variables physico-chimiques du milieu.** Entre 0 et 5 m de profondeur, on n'a pas observé de répartition verticale des Moules zébrées en début de colonisation, sauf dans une station. À celle-ci cependant, la densité de moules étaient moins élevée entre 0 et 1 mètre de profondeur que dans les autres strates de profondeur. Les études ne permettent pas de statuer sur les profondeurs plus élevées. La corrélation entre les densités d'individus et la conductivité est représentative d'une situation de début de colonisation, où les stations avec les plus faibles conductivités correspondent à des stations situées en eaux brunes où la colonisation n'a pas encore débuté.

**6) Les zones d'estrans sont moins colonisées que les autres zones du fleuve.** En fait, à une exception près, les zones d'estrans ne sont pas colonisées par la Moule zébrée, et à la station où des moules étaient présentes, les densités étaient moins élevées que là où les substrats sont toujours submergés. Il n'y a pas de différences entre les longueurs des moules trouvées à cet endroit par rapport à celles provenant de stations toujours submergées situées à proximité.

**7) Des larves de Moule zébrée sont présentes partout dans les deux premiers secteurs du Saint-Laurent, ainsi que dans la rivière des Prairies, ce qui indique un potentiel de colonisation à la grandeur du tronçon fluvial et de l'estuaire. Les densités de larves sont similaires à celles observées dans les Grands Lacs durant la première année de colonisation. L'échantillonnage réalisé en suivant la masse d'eaux n'a pas permis de déceler hors de tout doute des zones de reproduction. Un nouvel échantillonnage devrait être effectué en suivant la masse d'eaux durant la période optimale de dérive larvaire, c'est-à-dire au mois de juillet.**

Des études supplémentaires seront nécessaires afin de déterminer si dans les phases subséquentes de la prolifération de la Moule zébrée dans le système fluvial du Saint-Laurent, les conclusions auxquelles nous en sommes arrivés sont encore valables. De plus, il se pourrait que la colonisation soit différente dans les strates de profondeur plus grandes que celles étudiées.

Des études complémentaires sont donc requises afin de :

- a) Éclaircir la relation existant entre la Moule zébrée et les moules unionides. Déterminer les effets de la colonisation par la Moule zébrée sur les moules unionides.
- b) Déterminer la croissance des populations de Moule zébrée dans le Saint-Laurent.
- c) Vérifier si au-delà de cinq mètres de profondeur, la colonisation est plus importante ou différente.
- d) Évaluer comment la prolifération de la Moule zébrée dans le fleuve affecte le milieu.
- e) Vérifier si les constatations faites dans la phase initiale de colonisation demeurent valables au cours des phases subséquentes de colonisation.

## RÉFÉRENCES

- De Boer, D.H., C. Lemieux et K.R. Lum. (1991). «Evaluating contaminant transport using Lagrangian sampling in the St. Lawrence River, Canada». *Hydrology for the Water Management of Large River Basins (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991)*. IAHS Publ. n° 201, p. 281-290.
- Dermott, R., J. Mitchell, I. Murray et E. Fear. (1992). «Biomass and Production of Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) in Shallow Waters of Northeastern Lake Erie». in Nalepa et Schloesser (ed.) *Zebra Mussels Biology, Impacts, and Control*, Lewis Publishers, Ann Arbor.
- Désilets, L. et C. Langlois. (1989). *Variabilité spatiale et saisonnière de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent*. Centre Saint-Laurent, Direction des eaux intérieures, Environnement Canada, Région du Québec.
- Fisher, S. W., D. C. Gossiaux, K. A. Bruner et P. F. Landrum (sous-presse). *Preliminary Investigations of the Toxicokinetics of Hydrophobic Contaminants in the Zebra Mussel, Dreissena polymorpha Pallas*.
- Fraleigh, P.C., P.L. Klerks et R. C. Stevenson. (1990). «Temporal changes in zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pall.) veliger densities and veliger settling rates in Western Lake Erie near Maumee Bay». *Proceedings of the International Zebra Mussel Research Conference*. Ohio State University, 5-7 décembre 1990.
- Garton, D.W. et W.R. Haag. (1993). «Seasonal Reproductive Cycles and Settlement Patterns of *Dreissena polymorpha* in Western Lake Erie». in Nalepa et Schloesser ed.: *Zebra Mussels Biology, Impacts, and Control*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Griffiths, R.W., W.P. Kovalak and D.W. Schloesser. (1989). *The zebra mussel, Dreissena polymorpha (Pallas 1771), in North America: impact on raw water users*.
- Haag et Garton. (1992). «Synchronous spawning in a recently established population of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in western Lake Erie, USA». *Hydrobiologia* 234 : 103-110.
- Hebert, P.D.N, B.W. Muncaster et G.L. Mackie. (1989). «Ecological and genetic studies on *Dreissena polymorpha* (Pallas): a new mollusc in the Great Lakes». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46 : 1587-1591.

- Hebert, P.D.N., C. C. Wilson, M.H. Murdoch et R. Lazar. (1991). «Demography and ecological impacts of the invading mollusc *Dreissena polymorpha*». *Can. J. Zool.*, 69 : 405-409.
- Hopkins, G.J. (1990). *The zebra mussel, Dreissena polymorpha: A photographic guide to the identification of microscopic veligers*.
- Hydro-Ontario. (1990). *Zebra Mussel Invasion of the Great Lakes and connecting waterways*.
- International Joint Commission and The Great Lakes Fishery Commission. (1990). *Exotic species and the shipping industry : the Great Lakes-St-Lawrence ecosystem at risk*. Rapport spécial aux gouvernement des États-Unis et du Canada.
- Jenner, H.A. et J.P.M. Janssen-Mommen. (1993). «Monitoring and Control of *Dreissena polymorpha* and other macrofouling bivalves in the Netherlands». in Nalepa and Schloesser (ed.) : *Zebra Mussels : Biology, Impacts and Control*. Lewis Publishers, Boca Raton, Floride.
- Jorgensen, C.B., T. Kiorboe, F. Mohlenberg et H.U. Riisgard. (1984). «Ciliary and mucus net filter feeding with special reference to fluid mechanical characters». *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 15 (3) : 283-292.
- Kilgour, B. et G. Mackie. (1992). *Effect of Salinity on Growth and Survival of Zebra Mussels*. Conférence prononcée au Second International Zebra Mussel Conference, 19 au 21 février 1992, Toronto, Ontario.
- Kirpichenko, M. Y. (1964). «Phenology, population dynamics and growth of *Dreissena* larvae in the Kuibyshev reservoir». In B.K. Shtegman (ed.) : *Biology and Control of Dreissena : A Collection of Papers*. Institute of the Biology of Inland Waters, Moscou. (Washington, D.C.: Federal Clearinghouse for Scientific and Technical Information, TT67-51396), pp. 15-24.
- Kovalak, W.P., G.D. Longton et R.D. Smithee. (1990). *Infestation of Monroe Power Plant by the Zebra Mussel (Dreissena polymorpha)*. Technical and Engineering Services Detroit Edison Company Detroit, Michigan.
- Laboratoires SAB. (1992). *Distribution des véligères de moules zébrées, (Dreissena polymorpha) dans le canal de Beauharnois*. Rapport final rédigé pour Vice-présidence Environnement, Hydro-Québec.
- Leach, J. (1992). *Population dynamics of larvae and adult zebra mussels and changes in water quality in Western Lake Erie*. Conférence prononcée au Second International Zebra Mussel Conference, 19 au 21 février 1992, Toronto, Ontario.

- Legendre, L. et P. Legendre. (1984). *Le traitement multiple des données écologiques. Écologie numérique. Tome 1.* Collection Écologie, Masson et Presses de l'Université du Québec.
- Lewandowski, K. (1976). «Unionidae as a substratum for *Dreissena polymorpha* Pall.» *Pol. Arch. Hydrobiol.* 23 (3) : 409-420.
- Lewandowski, K. (1982). «The role of early developmental stages in the dynamics of *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia) populations in lakes. I. Occurrence of larvae in the plankton». *Ekol. pol.* 30 (1-2) : 81-109.
- Lewandowski, K. (1983). «Formation of annuli on shells of young *Dreissena polymorpha* (Pallas)». *Pol. Arch. Hydrobiol.* 30 (4) : 343-351.
- Lewandowski, K. et J. Ejsmont-Karabin. (1983). «Ecology of planktonic larvae of *Dreissena polymorpha* (Pall.) in lakes with different degree of heating». *Pol. Arch. Hydrobiol.* 30 (3) : 255-262.
- Lewis, D. (1990). «Zebra Mussels - a growing problem in the Great Lakes». *Environmental Science and Engineering*, mars 1990, p. 30-31.
- Mackie, G.L., W.N. Gibbons, B.W. Muncaster et I.M. Gray. (1989). *The zebra mussel, Dreissena polymorpha : a synthesis of european experiences and a preview for North America.* Division des ressources en eau, Ministère de l'Environnement de l'Ontario.
- Marsden, J.E. (1992). *Standard protocols for monitoring and sampling zebra mussels.* Illinois Natural History Survey.
- Marsden, J.E. (1991). *Standard protocols for monitoring and sampling zebra mussels.* Draft. Center for Aquatic Ecology.
- McMahon, R.F. (1990). *The zebra mussel- U.S. utility implications.* Rapport préparé pour Electric Power Research Institute.
- McMahon, R.F. et J.L. Tsou. (1990). *Impact of European Zebra Mussel infestation to the electric power industry.* Avant-tirage d'un travail présenté au Annual Meeting of the American Power Conference, Chicago, April 23-25.
- Mellina, E. (1992). Université McGill, Département de biologie. Communication personnelle.
- Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. (1991). *Lake Erie Fisheries Report 1990, Région du sud-ouest.*

- Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario. (1990). *Les Dreissenas polymorphes-plaisanciers et pêcheurs sportifs*. Actualités.
- Mongeau, F. et B. Jacquaz. (1991). *Abondance et distribution des moules zébrées (Dreissena polymorpha) dans le fleuve Saint-Laurent*. Rapport préparé pour le Centre Saint-Laurent, Environnement Canada, Région du Québec.
- Nalepa, T.F. et D.W. Schloesser. (1992). *Zebra Mussels Biology, Impacts and Control*. Lewis Publishers, Ann Arbor.
- Neary, B.P. et J.H. Leach. (1992). «Mapping the potential spread of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* in Ontario)». *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 406-415.
- Nichols, S.J., A. Bitterman et F. Ely. (1992). *Growth and mortality of Dreissena polymorpha in the St. Clair River, Lake Erie, and Lake Ontario, June 1990-August 1991*. Conférence prononcée à la Second International Zebra Mussel Conference, 19 au 21 février 1992, Toronto, Ontario.
- Pathy, D. et G. Mackie. (1992). *Life history and demographics of the Zebra Mussel Population in Lake St. Clair*. Conférence prononcée à la Second International Zebra Mussel Conference, 19-21 février 1992, Toronto, Ontario.
- Renberg, L., M. Tarkpea et G. Sundstrum. (1986). «The Use of the Bivalve *Mytilus edulis* as a Test Organism for Bioconcentration Studies. II. The Bioconcentration of Two <sup>14</sup>C-labeled Chlorinated Paraffins». *Ecotox Environ. Safety*, 11 : 361-372.
- Riessen, H.P., T.A. Ferro et R. A. Kamman. (1990). «Distribution of zebra mussel veligers in eastern lake Erie during the first year of colonization». *Proceedings of the International Zebra Mussel research conference*, décembre 5-7, 1990. Ohio Sea Grant College Program - The Ohio State University.
- SAS Institute Inc. (1988). *SAS Procedures Guide*. Release 6,03 edition. Cary, NC.
- Schaner, T. (1992). *Zebra Mussels in Lake Ontario in 1991; Abundance, Monitoring and Density Studies*. Ontario Ministry of Natural Resources, Conférence prononcée à la Second International Zebra Mussel Conference, 19-21 février, 1992, Toronto, Ontario.
- Schaner, T. et G.C. Letendre. (1991). *Sightings of Zebra Mussel in Lake Ontario and the St. Lawrence River in 1990*. Ontario Ministry of Natural Resources.
- Scherrer, B. (1984). *Biostatistique*. Gaétan Morin (éd.), Paris.

- Snyder, F.L. (1990). *Zebra mussels in the Great Lakes: the invasion and its implications*. Fact sheet 045, Ohio Sea Grant College Program, The Ohio State University, Columbus.
- Sokal, R.R. et F.J. Rohlf. (1969). *Biometry*. Freeman and Co., San Francisco.
- Strayer, D.L. (1991). «The Projected Distribution of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, in North America». Soumis pour publication dans le *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48 (8) : 1389-1395.
- Wetzel, R.G. (1975). *Limnology*. W.B. Saunders Company. Toronto.
- Zhdanova, G.A. et S.L. Gusynskaya. (1986). «Distribution and seasonal dynamics of *Dreissena* larvae in Kiev and Kremenchug reservoirs». *Hydrobiological Journal*, 3 : 35-40.

