

DFO - Library / MPO - Bibliothèque



14001471

Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche

Rapport de Colloque

19-20 mai 1993

61^{ème} Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas)

Rimouski, Québec

Éditeurs

Jean-Marie Sévigny et Catherine M. Couillard

Direction des Sciences

Ministère des Pêches et des Océans

Institut Maurice-Lamontagne

C.P. 1000, Mont-Joli (Québec), G5H 3Z4

1994

**Rapport manuscrit canadien des sciences
halieutiques et aquatiques 2270**

SH
223
F55
No 2270
Ex. 1

Pêches
et Océans

Fisheries
and Océans

Canada

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports manuscrits contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui traitent de problèmes nationaux ou régionaux. La distribution en est limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports manuscrits peuvent être cités comme des publications complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports manuscrits sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

Les numéros 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de manuscrits (série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés comme manuscrits (série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 901 à 1425 ont été publiés à titre de rapports manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 sont parus à titre de rapports manuscrits du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 1551.

Les rapports manuscrits sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Manuscript reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which deals with national or regional problems. Distribution is restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. However, no restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Manuscript reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

Numbers 1-900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 901-1425 were issued as Manuscript Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426-1550 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Manuscript reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2270

1994

Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche

Rapport de Colloque

19-20 mai 1993

61^{ème} Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences
(Acfas)

Rimouski, Québec

Édité par

Jean-Marie Sévigny et Catherine M. Couillard

Direction des Sciences
Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec), G5H 3Z4

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1994
Cat. No. Fs 97-4/2270F ISSN 0706-6473

On devra citer la référence comme suit:

Sévigny, J.-M. et C. M. Couillard (éds.) 1994. Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 2270 : v + 118 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
RÉSUMÉ DES PRÉSENTATIONS	4
Allocution d'ouverture	5
Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche. <i>J. Boulva</i>	5
Géologie et circulation du Fjord	7
Océanographie physique du fjord du Saguenay. <i>Y. Gratton, M. Couture et D. Lefavre</i>	8
Saguenay fjord: current investigations of paleohydrology and postglacial history. <i>C. Schafer, J.N. Smith, A. Pryor, M. MacInnis et I. Kaczmarska-Ehrman</i>	17
Dix ans de travaux en géotechnique marine au fjord du Saguenay. <i>J. Locat</i>	18
Océanographie biologique du Fjord	36
Mécanismes d'adaptation au cuivre chez les organismes du phytoplancton. <i>R. Côté, C. Bastien et É. St-Pierre</i>	37
Inventaire et biogéographie des invertébrés des fonds meubles du fjord du Saguenay. <i>L. Bossé, B. Sainte-Marie, J. Fournier et P. Brunel</i>	44
Variation génétique chez le flétan du Groenland (<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>) et la crevette nordique (<i>Pandalus borealis</i>) du fjord du Saguenay. <i>J.-M. Sévigny</i>	50
L'utilisation des parasites du flétan du Groenland (<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>) pour la séparation des stocks du fjord du Saguenay et du golfe du Saint-Laurent. <i>J.R. Arthur et E. Albert</i>	63
Caractéristiques de la population de flétan du Groenland (<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>) du fjord du Saguenay. <i>A. Talbot et J.-M. Sévigny</i>	65

Biologie du sébaste atlantique (<i>Sebastes</i> sp.) dans le fjord du Saguenay. <i>A. Talbot, A. Bourgèois et J.-M. Sévigny</i>	77
Biologie et biochimie du développement chez le buccin, <i>Buccinum cyaneum</i> , récolté dans le Saguenay. <i>P. Miloslavich et L. Dufresne</i>	83
Toxicologie du Fjord	85
La biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments du fjord du Saguenay. <i>E. DeMarco et K. Lee</i>	86
Accumulation anormale de monosulfures de fer dans un sédiment côtier marin: implications pour la séquestration des métaux traces. <i>C. Gagnon, A. Mucci et É. Pelletier</i>	88
Transfert des contaminants dans le fjord du Saguenay. <i>É. Pelletier</i>	90
Chemical contamination of surface sediments and biota of the Saguenay fjord. <i>P.V. Hodson, É. Pelletier, R. McLeod, J. Hellou, B. Sainte-Marie, C.M. Couillard et J.-M. Sévigny</i>	97
Un profil de distribution verticale des concentrations en mercure dans les eaux du bassin intérieur du fjord du Saguenay. <i>D. Cossa et C. Gobeil</i>	105
Le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent	106
Le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent: vers une nouvelle vision de la conservation et de la mise en valeur. <i>C. Bégin</i>	107
Défis que représentent la protection et la gestion des ressources naturelles du parc marin du Saguenay - Saint-Laurent. <i>S. Dionne</i>	111
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	115
REMERCIEMENTS	117
LISTE DES PARTICIPANTS	118

RÉSUMÉ

Sévigny, J.-M. et C. M. Couillard (éds.) 1994. Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 2270 : v + 118 p.

Ce colloque d'une durée de deux jours a été organisé dans le cadre du 61^{ème} Congrès de l'Acfas (Association-canadienne française pour l'avancement des sciences) qui s'est tenu à Rimouski en mai 1993. Les objectifs étaient de faire le point sur l'état des connaissances scientifiques sur le fjord du Saguenay et d'identifier les principaux axes de recherche qui devraient être poursuivis pour approfondir notre connaissance de cet environnement. En plus des objectifs scientifiques, ce colloque devait aussi permettre de discuter et de décrire le projet de développement du parc marin. Les présentations étaient regroupées sous les quatre thèmes suivants: 1) géologie et circulation du fjord du Saguenay, 2) océanographie biologique du fjord du Saguenay 3) toxicologie du fjord du Saguenay, 4) le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent. Ce manuscrit présente, sous forme de résumés ou articles, le contenu de la plupart des présentations effectuées à ce colloque. Les conclusions et recommandations sont également présentées dans ce rapport.

ABSTRACT

Sévigny, J.-M. et C. M. Couillard (éds.) 1994. Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 2270 : v + 118 p.

This two-day symposium was part of the 61st Acfas (Association-canadienne française pour l'avancement des sciences) Congress that was held in Rimouski in May 1993. The objectives of the symposium were to bring up-to-date the scientific knowledge related to the Saguenay fjord and to point out the main fields where research should be pursued in order to improve our understanding of this environment. An additional objective of this symposium was to provide a forum to describe and discuss the marine park development project. The presentations were grouped under four different themes: 1) geology and circulation of the Saguenay fjord, 2) biological oceanography of the Saguenay fjord, 3) toxicology of the Saguenay fjord, 4) the Saguenay - St. Lawrence marine park. The abstracts and articles of this report summarize most of the seminars presented at the symposium. Conclusions and recommendations are also presented.

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, le fjord du Saguenay a suscité un intérêt grandissant aussi bien auprès du grand public que de la communauté scientifique. Le fjord du Saguenay peut être considéré comme un laboratoire naturel qui permet l'étude de phénomènes océanographiques dans un milieu relativement fermé et extrêmement dynamique (Figure 1). A ce titre, il suscite beaucoup d'intérêt chez les chercheurs en sciences marines. La dimension de ce fjord, de l'ordre de 100 km de Saint-Fulgence à Tadoussac, en fait le plus grand de l'est du Canada. Il est également le fjord le plus méridional de l'est de l'Amérique du Nord et possède les caractéristiques morphologiques et océanographiques des fjords du nord de l'Europe. Le seuil élevé à son embouchure qui limite les échanges avec l'estuaire du Saint-Laurent en fait un environnement relativement isolé qui a déjà été décrit comme une enclave biogéographique arctique située dans une zone boréale. C'est en raison de ce caractère particulier que le Ministère du Patrimoine Canadien et le ministère de l'Environnement et de la Faune se proposent de faire de ce milieu exceptionnel le premier parc marin du Canada.

Malgré l'intérêt que suscite le Saguenay et la réalisation de plusieurs travaux par des chercheurs universitaires et gouvernementaux, le fjord du Saguenay est mal connu d'un point de vue scientifique et il pourrait être menacé par les développements industriels et touristiques des dernières décennies. Le fjord du Saguenay a reçu dans le passé et continue à recevoir des rejets anthropiques (industriels, urbains et agricoles) de la région du Saguenay et du Lac Saint-Jean. Dans le futur, il est à prévoir que la fréquentation de ce site unique s'accroîtra. Par exemple, une pêche sportive hivernale d'importance économique régionale s'est développée à divers endroits du Fjord au cours de la dernière décennie. L'observation des mammifères marins attire également un nombre croissant de touristes. L'exploitation des ressources halieutiques en l'absence d'une connaissance approfondie de la biologie et de la dynamique des espèces visées, ou l'accroissement inconsidéré des rejets industriels pourraient se traduire par une diminution de la biodiversité, une disparition de certaines espèces uniques au fjord du Saguenay ou un épuisement des ressources.

Récemment, des groupes pluridisciplinaires se sont constitués dans le but d'entreprendre des travaux de recherche nécessaires pour accroître les connaissances scientifiques sur le Saguenay et ainsi fournir l'information requise pour améliorer les méthodes de gestion environnementale du Parc marin. Une meilleure compréhension de l'écosystème du fjord du Saguenay permettrait un développement durable des ressources du Fjord présentement exploitées. Les nouvelles connaissances pourraient également être mises à profit pour créer de nouvelles avenues d'exploitation.

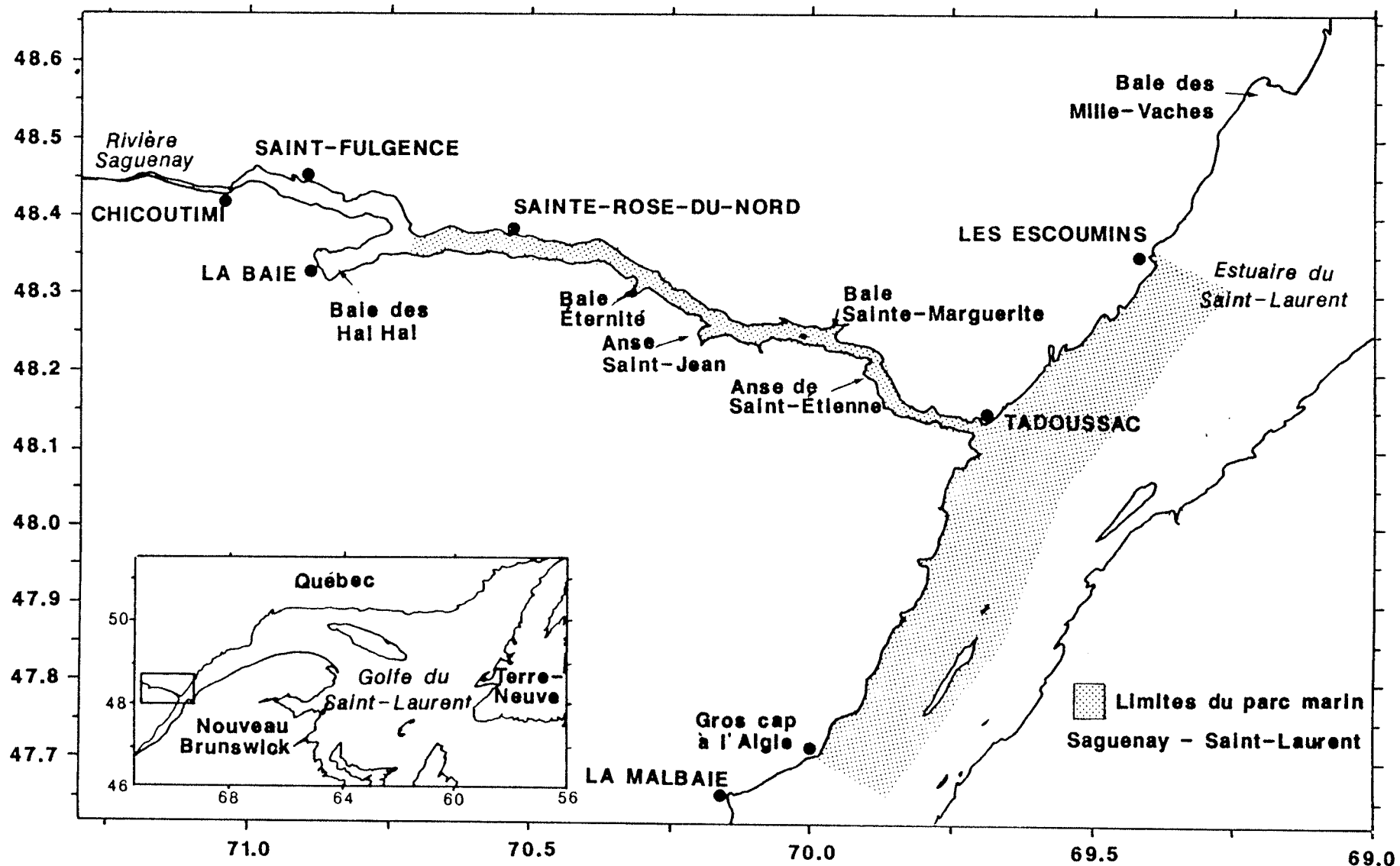


Figure 1. Carte du fjord du Saguenay et d'une partie de l'estuaire du Saint-Laurent illustrant les principaux sites d'échantillonnage et les limites du parc marin Saguenay - Saint-Laurent.

Le moment semble donc être propice pour la tenue d'un colloque sur le Saguenay. En effet, l'objectif poursuivi lors de ce colloque est de faire le point sur l'état des connaissances scientifiques sur le fjord du Saguenay et d'identifier les principaux axes de recherche à développer pour approfondir notre connaissance de cet environnement. Pour effectuer cette mise au point, des scientifiques de diverses disciplines notamment en géologie, en océanographie physique et biologique et en toxicologie ont été invités à ce colloque ainsi que des représentants gouvernementaux impliqués dans le développement du parc marin.

Depuis la présentation de cette conférence au 61^{ème} congrès de l'Acfas, plusieurs modifications ont été apportées au projet de parc marin dans le fjord du Saguenay. Des audiences publiques ont été tenues sur la proposition de mise en valeur du parc. Les gouvernements rendaient public le bilan de cette consultation en novembre 1993, et ils amorçaient la rédaction d'un plan directeur à la lumière des nombreux commentaires transmis par les intervenants. Le nouveau nom du parc marin, le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent, a été annoncé conjointement par les coprésidents du Comité d'harmonisation en août 1994. Depuis janvier 1994, le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche a été fusionné au ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) qui est responsable du dossier du Parc marin pour le gouvernement provincial. Pour le gouvernement fédéral, le ministère du Patrimoine canadien, auquel s'est joint le service canadien des parcs, est maintenant responsable de ce dossier.

RÉSUMÉ DES PRÉSENTATIONS

ALLOCUTION D'OUVERTURE**LE FJORD DU SAGUENAY: UN MILIEU EXCEPTIONNEL DE RECHERCHE**

Jean Boulva

Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

C'est avec plaisir que j'ai accepté d'ouvrir ce colloque sur le Saguenay, tenu dans le cadre du 61^{ème} Congrès de l'Acfas. Ayant passé plusieurs années de ma jeunesse à explorer ses rives et à étudier sa faune et sa flore, ce n'est pas sans une certaine émotion que je vois des scientifiques issus de nombreux centres de recherche se réunir en vue de faire le point sur notre connaissance du milieu marin de ce superbe Fjord.

Long d'environ 105 km en aval de Chicoutimi et ne dépassant pas 4 km dans sa section la plus large, il fut formé lors de la dernière glaciation, voilà 10 000 ans. Deux bassins de 250 et 275 m en constituent les parties les plus profondes, alors qu'un seuil de 20 m à l'entrée, près de Tadoussac, limite considérablement les échanges avec l'Estuaire. On observe des marées de 6 m dans sa partie amont. Sous des eaux relativement douces en surface, provenant du lac Saint-Jean, on retrouve un milieu marin remarquable caractérisé par des eaux très froides et une faune boréale et arctique. Ses rives sont, sur une bonne portion de son parcours, caractérisées par des escarpements de plus de 450 m de hauteur recouverts par la forêt boréale.

Voie de transport et de commerce depuis les débuts de la colonie, il a longtemps gardé ses secrets. On disait ignorer sa profondeur que l'on croyait être considérable et l'on connaissait de sa faune marine surtout le saumon qui fréquentait ses affluents et le béluga qui le remontait jusqu'à Saint-Fulgence l'été venu. Au fil des années, ses montagnes majestueuses et l'atmosphère de mystère l'enveloppant contribuèrent à attirer un nombre grandissant de touristes.

Les scientifiques s'intéressèrent au milieu marin, essentiellement après 1960. La première étude océanographique complète est celle de G. Drainville (1968, 1970) qui en a décrit tant les aspects physiques que biologiques. Par la suite, on note une croissance rapide des publications scientifiques consacrées à ses eaux, ses ressources ou aux aspects marins de sa géologie. Aucune publication n'a été consacrée au Fjord entre 1950 et 1959. Les nombres de publications s'élevaient respectivement à 6, 31 et 42 pour les périodes de 1960 à 1969, 1970 à 1979 et 1980 à 1989. Ces chiffres sont extraits de la bibliographie de Schafer *et al.* (1990).

Depuis une dizaine d'années, de nombreux scientifiques ont choisi d'utiliser le Saguenay comme laboratoire naturel, particulièrement en recherche halieutique. La présence dans un milieu aussi confiné, d'espèces d'importance commerciale cependant non exploitées par l'industrie de

la pêche, telles la morue, le sébaste, la crevette et le crabe des neiges, permet d'effectuer de nombreuses études sur la dynamique des populations, la génétique, la physiologie et autres sujets. De telles études seraient difficilement réalisables dans un milieu aussi ouvert que le golfe du Saint-Laurent ou l'Atlantique où les stocks sont l'objet de la pêche depuis plusieurs siècles. La réalisation, au cours des dernières cinq années, d'un programme de recherche plus intensif bénéficiant de financement important comme celui pour la mise en oeuvre du parc marin Saguenay - Saint-Laurent ou encore du Plan d'Action Saint-Laurent aura permis d'améliorer considérablement notre compréhension de ce milieu exceptionnel.

Ce colloque est donc pour nous tous, réunis à cette occasion, le moment de mesurer les progrès accomplis et d'identifier pour les prochaines années, des pistes de recherche. Puissent vos discussions être des plus profitables!

RÉFÉRENCES

- Drainville, G. 1968. Le fjord du Saguenay: contribution à l'océanographie. *Naturaliste can.* 95: 809-855.
- Drainville, G. 1970. Le fjord du Saguenay: II. La faune ichtyologique et les conditions écologiques. *Naturaliste can.* 97: 623-666.
- Schafer, C.T., J.N. Smith et R. Côté. 1990. The Saguenay fjord: a major tributary to the St. Lawrence estuary, p. 378-420. *In* M.I. El-Sabh et N. Silverberg (éds). *Oceanography of a large-scale estuarine system: the St. Lawrence*. Coastal and Estuarine Studies (Vol. 39). Springer-Verlag, New York, NY.

Géologie et circulation du Fjord

OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE DU FJORD DU SAGUENAY

Yves Gratton¹, Mario Couture et Denis Lefaiivre

Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

INTRODUCTION

Le Saguenay est un fjord classique: long (170 km) et étroit (1 à 6 km). On y retrouve deux principaux seuils: un premier seuil à l'entrée (profondeur de 20 m) et un second seuil à 18 km en amont de Tadoussac (profondeur de 60 m) divisent le fjord en deux bassins distincts. Les profondeurs peuvent atteindre 250 m dans le bassin aval et 275 m dans le bassin amont. Les échanges entre les bassins, ainsi qu'entre le bassin aval et l'estuaire du St-Laurent, sont contrôlés par la marée et l'apport d'eau douce qui pénètre par la rivière Saguenay (90% des apports: débit moyen de 1 200 m³.s⁻¹). Une mince couche de surface (5 à 10 m) entraîne l'eau saumâtre vers l'Estuaire, tandis que l'eau salée pénètre dans le fjord avec la marée montante. Il existe peu de données sur l'océanographie physique du Saguenay en général et sur les échanges entre les deux bassins et l'Estuaire, en particulier. La plus récente revue de l'océanographie du Saguenay (Schafer *et al.* 1990) doit se référer aux travaux non publiés (rapports techniques de l'Institut Bedford) de Taylor (1975) et de Loucks et Smith-Sinclair (1975) pour décrire la circulation et la stratification du Fjord. Depuis ce temps, plusieurs missions de recherche ont été effectuées dans le Saguenay. Malheureusement, les données physiques sont peu nombreuses ou non publiées.

Dans les prochaines sections, nous allons tenter d'illustrer sommairement et de comprendre la circulation du fjord du Saguenay, à partir d'un modèle simple.

L'EAU DOUCE ET LA MARÉE: UN MODÈLE SIMPLE

Il n'est pas facile de définir une stratification "moyenne" pour le fjord du Saguenay. D'après les données présentées par Taylor (1975) et Siebert *et al.* (1979), pour la période d'avril à septembre, nous avons choisi une couche de surface de 10 m d'épaisseur dont la salinité diminue de 25 ‰ au niveau du premier seuil à zéro, 100 km en amont. Nous séparons le fjord en deux bassins de 250 m de profondeur à l'aide d'un deuxième seuil situé 20 km en amont d'un premier seuil à l'embouchure. La largeur choisie est celle du Fjord à la hauteur de Tadoussac (1,4 km), tandis que la profondeur des seuils est de 20 m et de 60 m, respectivement. Ce modèle

¹ Présente adresse: Centre Océanographique de Rimouski, Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Océanologie), 310 Allée des Ursulines, Rimouski (Québec) G5L 3A1.

simple est présenté sur la Figure 1. L'eau douce pénètre dans le fjord à la tête tandis qu'à l'embouchure, l'eau salée pénètre en profondeur et sort en surface avec des débits de R, E et S $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, respectivement. A l'aide des relations de Knudsen (Pickard et Emery 1982), il est possible de calculer les vitesses moyennes à l'embouchure. Pour le mois de juin 1991, le débit moyen R étant de $1\,400\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (Ministère de l'Environnement du Québec), la salinité à l'entrée de 25‰ en surface et de 29‰ en profondeur, les vitesses V_s (sortie) et V_e (entrée) seront de 0,6 et de 0,7 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivement. D'autre part, les cartes marines du Service Hydrographique du Canada indiquent, pour la période des marées de vive eau, des courants d'approximativement 3,0 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ sortant du Saguenay au jusant et de 1,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y pénétrant au flot. Finalement, des données de vitesse recueillies entre les marées de vive eau et de morte eau, en juin 1991, à l'aide d'un profileur de courant (ADCP) (Figure 2) confirment qu'effectivement, sous la couche de surface, l'eau pénètre et sort du Saguenay avec la marée. Ces données sont présentées sur la Figure 3.

Des calculs de la dérive du navire pendant la cueillette des données CTD démontrent que, sur un cycle semi-diurne complet, c'est-à-dire de basse mer (BM) à haute mer (HM), à basse mer (BM), les courants de surface ont varié de 1,4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à 0,4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à 1,1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivement. Ces vitesses positives indiquent que, pendant toute cette période de 12 heures, l'eau de surface sortait du Fjord. Des calculs simples (deux équations à deux inconnues) où la sortie (V_s) est simplement la somme d'une composante due à la rivière (D) et d'une composante due à la marée (M), vont nous permettre de comparer modèle et données. Les trois systèmes d'équations utilisés sont présentés au tableau 1.

Le modèle simple, avec un courant de sortie en surface de l'ordre de 0,7 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, est représentatif de la situation dans le fjord du Saguenay. Nous devons cependant retenir que la grandeur et la direction des courants de surface dépendront à la fois des inégalités semi-diurnes et des variations semi-mensuelles dans les courants de marées, en plus des variations saisonnières dans les débits d'eau douce.

ÉCHANGES À LA TÊTE DU FJORD

La situation décrite dans la section précédente ne tient compte ni du déplacement de la zone frontale au-dessus du seuil, ni de la pénétration des eaux de l'Estuaire, qui sont pourtant bien documentés (Therriault et Lacroix 1975; Siebert *et al.* 1979; Therriault *et al.* 1984). La pénétration des eaux intermédiaires de l'Estuaire est illustrée sur la Figure 4 (voir la Figure 2, pour la position des stations de CTD utilisées) où l'on peut suivre la pénétration, en profondeur, de l'isoline de $25\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (densité) et la formation d'un front en surface.

Jusqu'ici, nous avons présenté une image bi-dimensionnelle du fjord du Saguenay: sans variations latérales. Quoique suffisante pour étudier les transports et les phénomènes d'échange et de mélange, cette image n'est probablement pas totalement réaliste. La Figure 5 nous présente l'évolution des courants longitudinaux, sur une section transversale du sud vers le nord, au cours d'un cycle de marée semi-diurne (voir la Figure 2 pour la localisation de la section). On y

remarque un manque de symétrie entre le flot et le jusant. Ces données méritent d'être étudiées plus à fond.

CONCLUSION

Le fjord du Saguenay est un fjord classique dont les propriétés générales peuvent être décrites en termes simples. Cependant, les mécanismes qui contrôlent les échanges entre le Fjord et l'Estuaire, ainsi qu'entre les deux bassins sont encore mal connus. Des données récentes montrent, pour la première fois, que les débits d'eau douce en surface peuvent parfois empêcher la marée de pénétrer dans le fjord. De plus, nous observons une asymétrie latérale dans les courants de marée en profondeur. Il est donc nécessaire de développer un programme multidisciplinaire de modélisation et d'échantillonnage du Fjord.

RÉFÉRENCES

- Loucks, R.H. et R.E. Smith-Sinclair. 1975. Report on the physical oceanography of the Saguenay fjord. Rapport non-publié, Chemical Oceanography Division of Bedford Institute of Oceanography, Dartmouth, N.S., 77 p.
- Pickard, G.L. et W.J. Emery. 1982. Descriptive Physical Oceanography. Pergamon Press, 4^{ème} éd. 249 p.
- Schafer, C.T., J.N. Smith et R. Côté. 1990. The Saguenay fjord: a major tributary to the St. Lawrence estuary, p. 378-420. *In* M.I. El-Sabh et N. Silverberg (éds). Oceanography of a large-scale estuarine system: the St. Lawrence. Coastal and Estuarine Studies (Vol. 39). Springer-Verlag, New York, NY.
- Siebert, G.H., R.W. Trites et S.J. Reid. 1979. Deepwater exchange processes in the Saguenay fjord. *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 42-53.
- Taylor, G.B. 1975. Saguenay River sections from fifteen cruises 1961-1974. Rapport non publié. Bedford Institute of Oceanography. Data Series BI-D-75-2. 38 p.
- Therriault, J.-C. et G. Lacroix. 1975. Penetration of the deep layer of the Saguenay fjord by surface waters of the St. Lawrence Estuary. *J. Fish. Res. Board Can.* 32: 2373-2377.
- Therriault, J.-C., R. de Ladurantaye et R.G. Ingram. 1984. Particulate matter exchange across a fjord sill. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.* 19: 51-64.

Tableau 1. Estimation, à l'embouchure du Saguenay, de la composante de la vitesse due à la marée (M) et de la composante due à la circulation estuarienne (D).

Vitesse (Vs en m.s ⁻¹)	Équations	Rivière (D en m.s ⁻¹)	Marée (M en m.s ⁻¹)	Source des données
0,4 = 1,4 =	D1 - M1 D1 + M1	D1 = 0,90	M1 = 0,50	ADCP
0,4 = 1,1 =	D2 - M2 D2 + M2	D2 = 0,75	M2 = 0,35	ADCP
-1,6 = 3,0 =	D3 - M3 D3 + M3	D3 = 0,70	M3 = 2,80	Carte marine

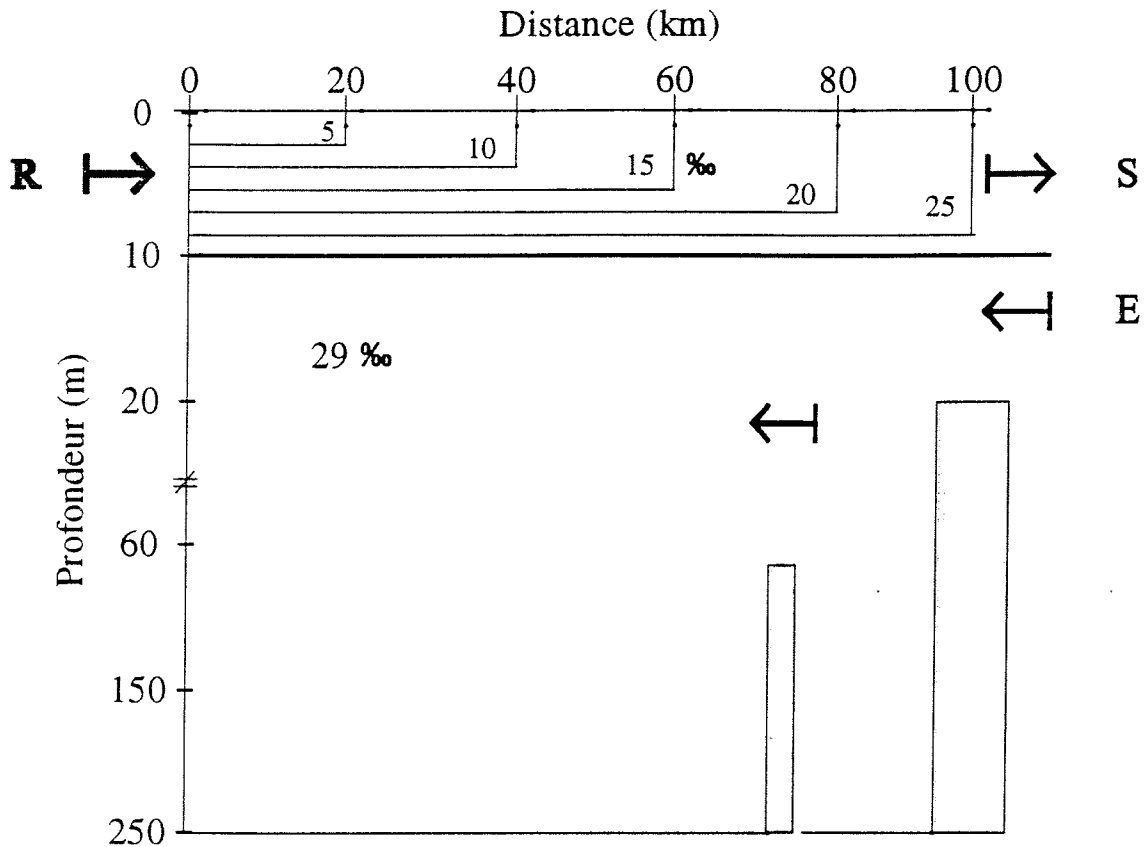


Figure 1. Modèle simple du fjord du Saguenay. Le Fjord est divisé en deux bassins de 250 m de profondeur et de 20 km et 80 km de long, respectivement. Verticalement, nous retrouvons une couche de surface de 10 m d'épaisseur et une couche profonde de 240 m, sauf au-dessus des deux seuils. La salinité de la couche profonde est de 29‰ tandis que la salinité de la couche de surface varie de 0‰ à la tête (à gauche) jusqu'à 25‰ à l'embouchure (à droite). À la tête, le débit d'eau douce est de $R \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tandis qu'à l'embouchure, l'eau salée pénètre en profondeur et sort en surface avec des débits de $E \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et de $S \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivement.

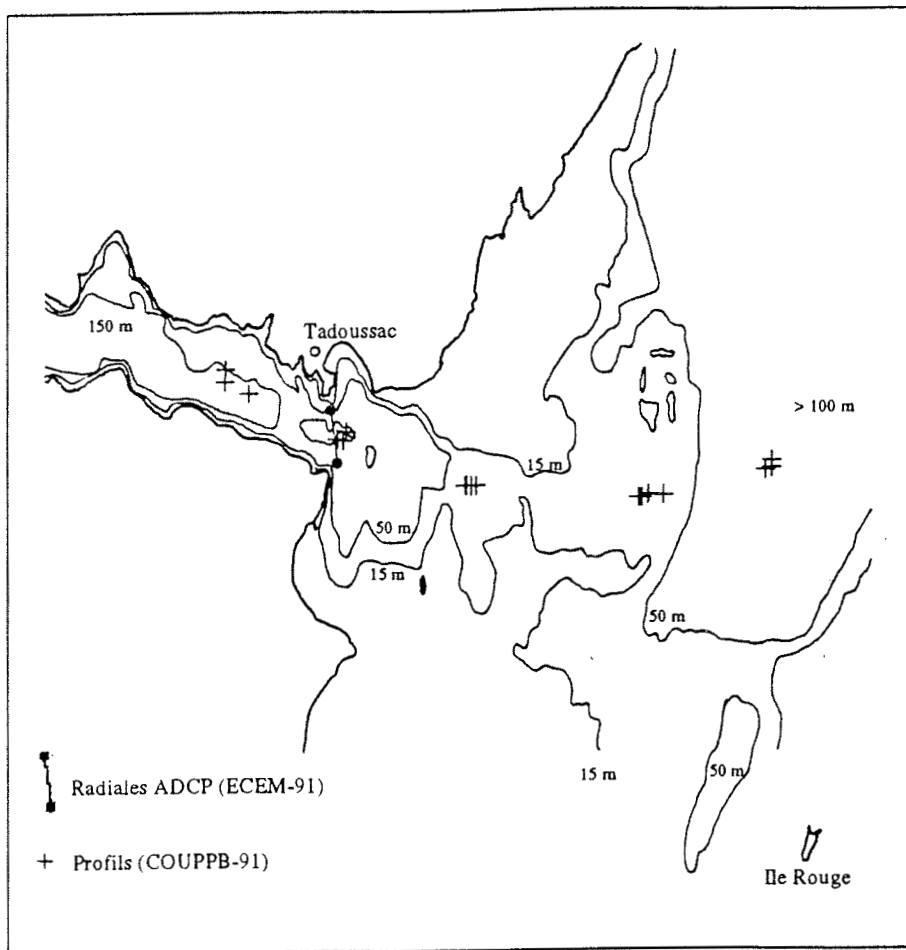


Figure 2. Localisation de la station d'ADCP dont les enregistrements sont présentés sur la figure 3, des stations CTD (+) présentées à la figure 4 et des sections d'ADCP de la figure 5.

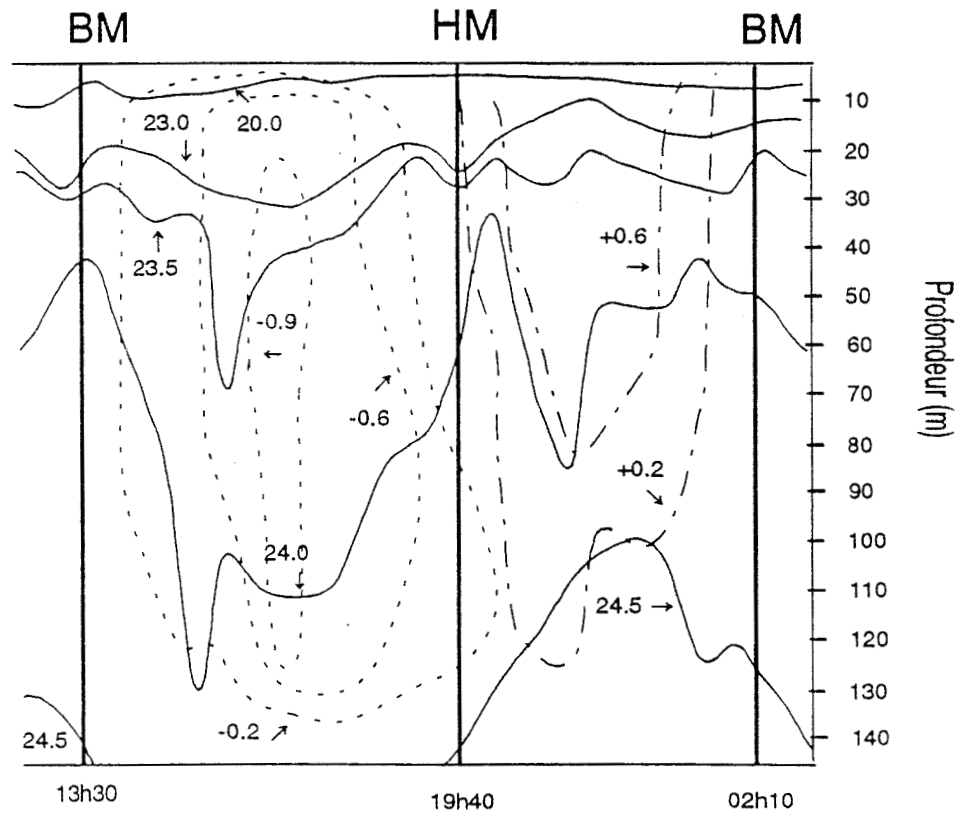


Figure 3. Variation de la densité (lignes continues) et de la vitesse axiale (lignes pointillées) pendant un cycle semi-diurne. Les valeurs négatives de vitesse indiquent une pénétration d'eau dans le Fjord.

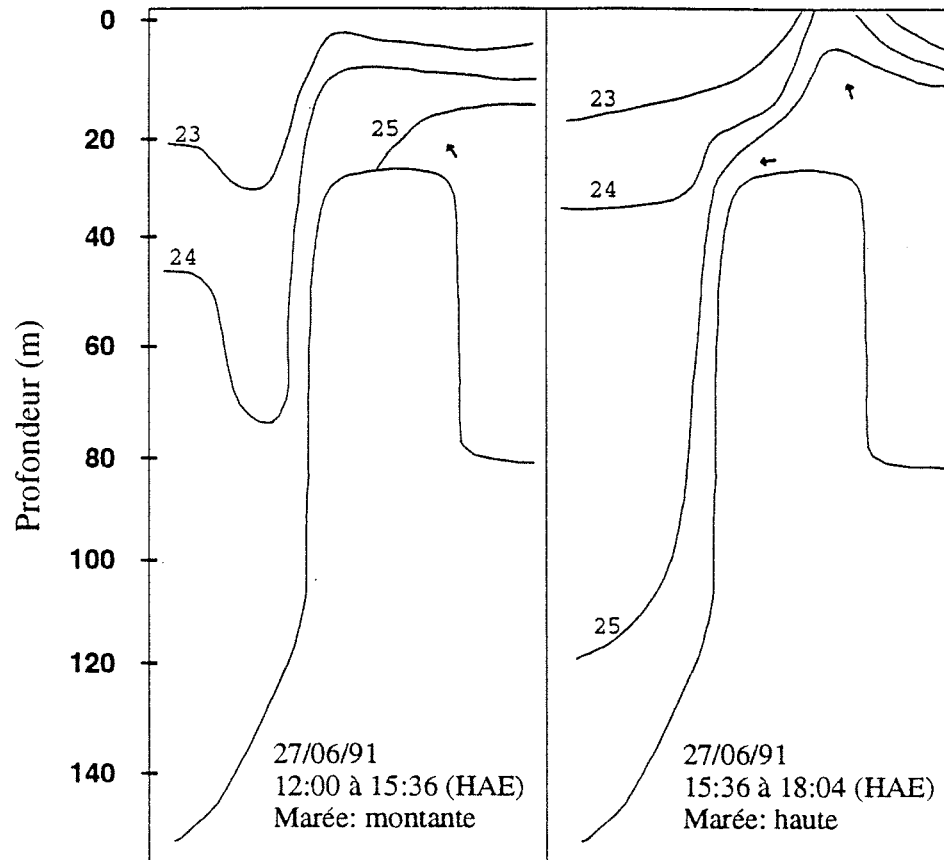


Figure 4. Pénétration avec la marée des eaux denses de l'Estuaire à l'intérieur du Saguenay avec la marée. On remarque que l'isoligne de ($\sigma\text{-t}$) 25 kg.m^{-3} progresse au-dessus du seuil à la marée montante et "coule" par la suite à l'intérieur du premier bassin.

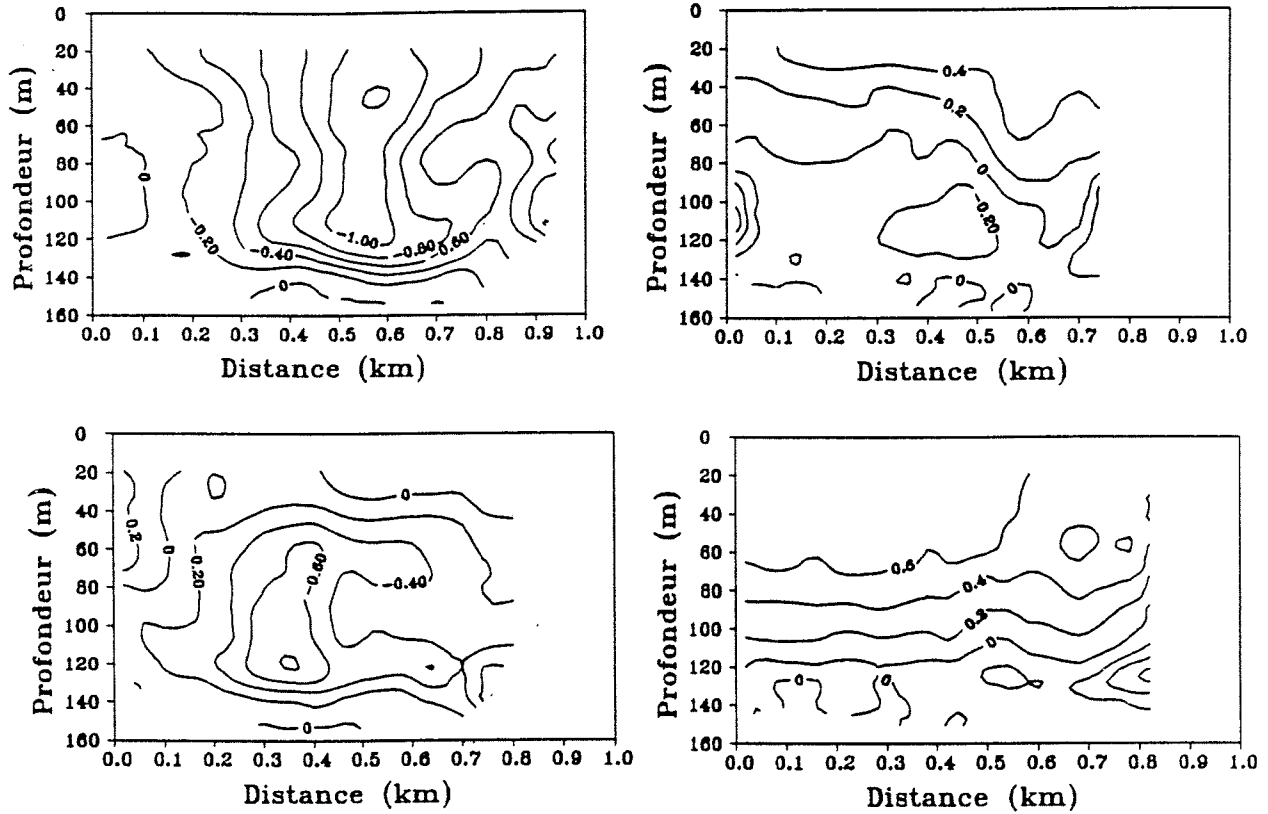


Figure 5. Séquence temporelle de quatre sections latérales des courants longitudinaux (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) à quatre différents moments de la marée semi-diurne. L'origine est sur la rive sud du Fjord. Voir la Figure 2 pour la localisation de ces sections. Les vitesses positives sortent du Fjord. La première section (en haut à gauche) est à marée montante; la seconde (en bas à gauche), à marée haute; la troisième (en haut à droite) est un peu après la marée haute; la dernière (en bas à droite) est à marée descendante.

SAGUENAY FJORD: CURRENT INVESTIGATIONS OF PALEOHYDROLOGY AND POSTGLACIAL HISTORY

Charles Schafer¹, John N. Smith¹, Angela Pryor², Maura MacInnis³,
and Irena Kaczmarska-Ehrman³

¹ Geological Survey of Canada
Bedford Institute of Oceanography
Dartmouth, (Nova Scotia) B2Y 4A2

² Faculty of Engineering
Memorial University,
St. John's, (Newfoundland) A1B 3X5

³ Department of Biology
Mt. Allison University,
Sackville, (New Brunswick) EOA 3CO

Benthos piston cores and Lehigh gravity cores are presently being studied to determine the response of the Saguenay drainage system to postglacial climate variations. Core 82008-72 is a 5,5 m long sample of predominantly varved sediment that was collected near the head of the North Arm. It has been dated using the Pb²¹⁰ method and analyzed for textural variation at one cm intervals. Results to date indicate the occurrence of several major discharge events in the late 1700's and early 1800's. Two discharge events may have had mean monthly discharge levels more than 1,5 times larger than the highest measured 20th century value (1976). A 1,8 m long Lehigh core (82008-39) was collected about half way down the North Arm. Its diatom assemblages indicate a shift in species composition in the late 1800's which appears to be coincident with the onset of post Little Ice Age warming. A 10 m long piston core (90028-043) collected in the central basin of the Fjord near Baie Trinité contains a much longer record than the North Arm cores. Its lower 5 m section appears to be material deposited as a single block during a slumping event of probable early Holocene age. The block contains relatively large numbers of thecamoebians and a benthonic foraminifera species (*Islandiella islandica*) that occurs widely in glacial and postglacial age sediments. C¹⁴ dates for this core will be available later this year.

DIX ANS DE TRAVAUX EN GÉOTECHNIQUE MARINE AU FJORD DU SAGUENAY

Jacques Locat

Groupe de recherche en géologie de l'ingénieur (GREGI)
Département de géologie et de génie géologique
Faculté de sciences et de génie
Université Laval, Sainte-Foy (Québec) G1K 7P4

RÉSUMÉ

Depuis 1983, plusieurs expéditions océanographiques en géotechnique marine ont été organisées dans la région du fjord du Saguenay à bord de divers navires dont le NSC *Louis M. Lauzier* et NSC *Hudson*, et auxquelles ont participé plusieurs scientifiques et étudiant(e)s diplômé(e)s. Lors de ces expéditions, on a intégré les méthodes océanographiques, sédimentologiques, géophysiques et géotechniques pour comprendre les relations entre les processus sédimentaires ayant cours dans le Fjord et leurs diverses actions sur le développement des caractéristiques géotechniques des sédiments. Les travaux ont été réalisés selon deux axes: (1) origine de la résistance au cisaillement des sédiments argileux et (2) rôle de la sismicité sur le développement des zones instables et la génération de coulées de débris et de courants de turbidité. En fait, en dix années de recherche, le fjord du Saguenay est devenu un laboratoire scientifique unique. Les éléments les plus significatifs qui émergent de nos travaux sont: (1) la découverte de multiples glissements sous-marins dont quelques uns ont eu lieu après le tremblement de terre de Chicoutimi de 1988, (2) des empilements quasi-continus de turbidités, même dans le bassin central, (3) la relation entre la bioturbation et le développement des propriétés géotechniques et son héritage subséquent, (4) des épaisseurs de sédiments pouvant atteindre plus de 1 400 ms. Le futur s'oriente vers: mobilité des sédiments et dispersion des contaminants, mesures *in situ*, forages profonds, et paléosismicité.

INTRODUCTION

Le fjord du Saguenay (Figure 1), long de plus de 90 km, est le fjord le plus au sud de l'est de l'Amérique du Nord. Il conserve tous les attributs d'un fjord nordique: profond, allongé, eaux froides. Il est par contre au coeur d'une zone industrielle importante et aujourd'hui, il est entouré d'une végétation abondante. Sous de profonds abîmes, le fjord du Saguenay camoufle un héritage géologique important tant ancien que récent. Le sillon structural du Saguenay, sorte d'immense graben, a été au cours des diverses glaciations un site préférentiel d'écoulement, d'érosion et de déposition glaciaire. Lors des phases de retraits successifs, la même dépression, tout comme aujourd'hui, a aussi servi de bassin sédimentaire. Les aller-retour des glaciers dans la région ont donc façonné ce relief unique dans l'est de l'Amérique du Nord. Le fjord du

Saguenay, comme témoin de changements environnementaux continuels, recèle donc un bagage de connaissances géoscientifiques que l'on commence à peine à découvrir et à mettre en valeur. À titre d'exemple, on a récemment découvert que le fjord du Saguenay contenait d'épaisses couches de dépôts quaternaires atteignant plus de 1 400 m d'épaisseur à certains endroits (Praeg et Syvitski 1991; Locat et Syvitski 1991) et cela sous plus de 200 m d'eau. Il y a donc là une dépression totale de plus de 2 000 m, et cela en tenant compte du relief au-dessus du niveau de la mer. Le fjord du Saguenay est bien un réceptacle important de sédiments depuis fort longtemps. Ce grand et long bassin a donc accumulé divers types de sédiments qui ont enregistré plusieurs données environnementales allant des changements de température aux tremblements de terre. Il constitue en fait une sorte de laboratoire naturel.

Le fjord du Saguenay et sa région offrent un environnement unique pour étudier la formation des sédiments fins postglaciaires et pour comprendre l'origine du comportement particulier des sédiments argileux émergés. En effet, ces derniers ont un comportement très particulier. Une fois remaniée, l'argile s'écoule comme un fluide de telle sorte que sa résistance remaniée est plusieurs dizaines de fois inférieure à sa résistance au cisaillement intacte; on affuble alors ces argiles de l'épithète "sensible". L'origine de cette sensibilité provient en partie de la nature des sédiments, des caractéristiques du milieu de sédimentation ainsi que de l'histoire postdépositionnelle de ces sédiments suite à leur émergence (*e.g.* lessivage des sels; Locat et Lefebvre 1986). De telles caractéristiques se retrouvent dans d'autres régions du monde qui ont subi des glaciations semblables: la Norvège, la Suède, la Finlande, la Russie et l'Alaska. Le bassin actuel du Fjord reçoit les sédiments provenant de l'érosion des bassins environnants émergés depuis la déglaciation du secteur. Dès la déglaciation, le Fjord, alors la mer de Laflamme, occupait une étendue bien supérieure, surtout par le biais de ses vallées secondaires inondées. On considère que le niveau relatif de la mer était, il y a environ 10 000 ans, 140 m plus haut qu'aujourd'hui (Lasalle et Tremblay 1978). Dans ce bras de mer se sont donc déposés des sédiments argileux, aujourd'hui émergés (sauf ceux toujours sous le niveau de la mer) lesquels ont depuis été continuellement érodés (*e.g.* glissement de terrain de Saint-Jean-Vianney de 1971) pour se retrouver à nouveau, comme sédiment récent, dans le Fjord actuel. En plus de l'effet régulier de l'érosion fluviale, des facteurs externes tels que des séismes et des feux de forêts ont provoqué respectivement d'immenses mouvements de terrain ou de l'érosion des sols, contribuant ainsi à des apports irréguliers mais importants de sédiments dans le bassin actuel du Fjord. Comment peut-on comparer les sédiments récents actuels du Fjord à ceux qui sont émergés? Comment se compare l'environnement sédimentaire actuel avec celui qui pouvait exister il y a 10 000 ans? Ces informations font partie des données de base qui vont permettre de comprendre et d'expliquer l'origine du comportement particulier des argiles sensibles. Pour y arriver, il faut tout d'abord comprendre les environnements actuels et la formation des sédiments récents autant dans le fjord du Saguenay que dans des fjords analogues comme celui de Cambridge qui ressemble à ce qu'il était il y a 10 000 ans (Masson et Locat 1986).

Mais, qu'est-ce que la géotechnique marine et quels sont les problèmes qui s'y rattachent dans le fjord du Saguenay? La géotechnique marine consiste généralement en l'étude de propriétés mécaniques et physico-chimiques des sédiments dans une perspective de prévision du comportement de ces matériaux lors de différentes situations maritimes: constructions portuaires,

dragage, stabilité, érosion, etc... Par contre, mis-à-part le fait que la plupart des travaux sont réalisés sur et sous l'eau, les principes de la mécanique des sols prévalent toujours. Quant aux problèmes qui intéressent le géotechnicien au fjord du Saguenay, ils comprennent la diagenèse des sédiments, la stabilité des fonds marins (aspects statiques et dynamiques), la mobilité des sédiments et les corrélations marines/terrestres tant de la distribution des sédiments que de la comparaison de propriétés mécaniques et physico-chimiques.

Avant de procéder aux aspects scientifiques des travaux de recherche, on soulignera l'importance des besoins technologiques dans la réalisation de tels projets en milieu marin. Avec en arrière scène un fjord encore très nordique dans ses caractéristiques physiques et aquatiques, nous allons, ci-après, relever les éléments importants des travaux de recherche en géotechnique marine réalisés au cours des dix dernières années. Finalement, nous profiterons de l'occasion de ce travail pour rassembler les divers titres de rapports ou d'articles scientifiques produits au cours des dix dernières années.

LOGISTIQUE ET TECHNOLOGIE REQUISES

Réaliser des travaux en mer nécessite toujours des ressources importantes, surtout si on doit manoeuvrer des équipements lourds, ce qui est souvent le cas pour l'échantillonnage des sédiments. Par contre, la période de l'année compte peu en autant qu'il n'y ait pas de glace. Les expéditions ont donc été réalisées à différentes périodes de l'année, la plupart du temps en mai et juin, mais quelques fois à l'automne (Tableau 1). Il faut donc des navires, mais surtout des équipages attentifs et des scientifiques qui n'ont pas peur des longues journées de travail en mer. En fait, chaque expédition est intense tant de par ses activités que par l'interaction entre les scientifiques et l'équipage. Les travaux réalisés à bord de ces navires sont variés, allant de l'échantillonnage (surtout le jour), aux levés de géophysique (surtout la nuit) en passant par le détubage et l'analyse des échantillons de sols de même que de l'eau. Le NSC *Louis M. Lauzier* a été le navire le plus fréquemment utilisé (Tableau 1). D'autres expéditions ont permis d'utiliser le NSC *Hudson*, le NSC *Dawson*, le N/M *Fogo Isle*, le *Navimar II*, le *Limnos*, et le NSC *Frederick G. Creed*. À noter ici que depuis 1990 nous utilisons le positionnement GPS, ce qui aide grandement à la planification et à la compilation des levés géophysiques et d'échantillonnage.

Échantillonnage

Les diverses expéditions au fjord du Saguenay ont permis d'utiliser la plupart des techniques existantes sur l'échantillonnage des sédiments: shipek (en surface), à boîte (0 à 0,60 m maximum), Lehigh (0 à 3,0 m maximum), piston (0 à 10 m maximum) et LCF (Long Coring Facility) (0 à 30 m maximum). La plus longue carotte extraite du fond du fjord du Saguenay faisait au plus 18 m de longueur. Bien qu'ayant une faible profondeur de pénétration, l'échantillonneur à boîte constitue la meilleure façon d'obtenir des sédiments intacts. L'utilisation couplée de l'échantillonneur à boîte et du carottier Lehigh a donné des résultats satisfaisants, permettant de bien décrire la nature et les propriétés mécaniques des sédiments. Dans

la plupart des cas, le carottier utilisé était équipé d'un système de repérage acoustique assurant le déclenchement approprié de l'échantillonneur.

Méthodes géophysiques

Le milieu aquatique est propice à l'utilisation de méthodes géophysiques, la colonne d'eau fournissant un excellent couplage entre l'appareil de mesure et le milieu géologique. La figure 2 illustre le déploiement des diverses méthodes géophysiques utilisées au fjord du Saguenay. Depuis 1984, diverses techniques ont été utilisées, la plus fréquente étant la réflexion sismique. Divers systèmes ont été utilisés: Raytheon 1000 avec des fréquences de 7 et 12 kHz et Hunttec (3,5 kHz). Lors de certaines expéditions (1986 et 1990, Tableau 1), on a disposé d'un système à air comprimé suffisamment puissant pour pénétrer les sédiments jusqu'au roc.

Nous avons aussi utilisé régulièrement un sonar à balayage latéral, soit le sonar BIO ou un Klyne du Centre géoscientifique de l'Atlantique (CGA). Dans tous les cas, les enregistrements étaient analogiques. Il faut donc numériser toutes les informations si on veut produire une mosaïque corrigée. Un sonar à balayage latéral a récemment été acquis. Il s'agit d'un MESOTECH 992 numérique qui pourra donc être plus facilement utilisé pour réaliser des mosaïques. Il peut aussi être utilisé sur de plus petites embarcations.

Tout récemment, nous avons utilisé la nouvelle technologie d'échosondage multi-faisceaux. Cette technique, utilisant un SIMRAD EM-1000 utilise un émetteur de 250 kHz pour produire une carte bathymétrique très détaillée nous fournissant une vue d'ensemble jusqu'alors inégalée de la morphologie (Figure 3). Cette technique utilise un mode de positionnement dynamique, ce qui permet la production sur place de cartes sans distorsion et très précises.

Il faut souligner ici que l'utilisation et l'opération de ces diverses techniques nécessitent la formation et l'entraînement d'un personnel spécialisé, ce support technique étant essentiel à la bonne marche d'expéditions océanographiques d'envergure. Les diverses expéditions ont permis la saisie de 800 km de levés géophysiques au cours des dix dernières années. À titre d'exemple, la figure 4 présente une grille de levés géophysiques obtenus lors de la seule expédition de 1988 et pour le Bras Nord seulement.

INNOVER: LA GÉOTECHNIQUE MARINE AU QUÉBEC

Les premières expéditions au fjord du Saguenay ont tout d'abord permis une familiarisation avec les diverses techniques océanographiques ainsi qu'une adaptation de certaines, surtout celles concernant l'échantillonnage et la mesure, à bord du navire, de propriétés mécaniques. Les expéditions à bord du NSC *Louis M. Lauzier* étant la plupart du temps principalement planifiées pour des travaux de géotechnique marine, il était plus facile d'y arriver. Peut-être le plus simple, mais le plus significatif des changements, est le fait que la plupart de nos échantillons étaient coupés en cylindres plutôt qu'en demi-cylindres (*split cores*) afin

d'assurer une meilleure qualité d'échantillons pour les divers essais de mécanique des sols. Cet élément était important car il nous permettait de réaliser des essais conventionnels et donc de mieux recaler les résultats par rapport aux sédiments argileux émergés. Les premiers résultats de ces travaux ont été présentés par Locat et Leroueil (1988) afin d'illustrer le comportement des sédiments récents et de discuter déjà de l'influence du milieu notamment la présence de la matière organique. Un autre exemple de développement de méthode est lié à la mesure de la résistance au cisaillement des sédiments très mous. En effet, le cône suédois, couramment utilisé pour mesurer la résistance remaniée des argiles sensibles (Garneau et Le Bihan 1977) est limité à une résistance minimale de 0,07 kPa, ce qui équivaut à un indice de liquidité d'environ 3. Afin de mesurer la résistance remaniée des sédiments très mous, nous avons utilisé un viscosimètre pour établir des relations empiriques entre la viscosité et la résistance au cisaillement et cela pour des boues ayant un indice de liquidité pouvant atteindre 6 (Locat et Demers 1988). Ces premières expéditions océanographiques constituaient donc les premières expéditions de géotechnique marine au Canada.

LE FJORD DU SAGUENAY: UN LABORATOIRE NATUREL

Très rapidement, il est apparu que le fjord du Saguenay cachait des données extrêmement intéressantes du point de vue géotechnique. Les travaux de Schafer et Smith (1987) venaient de révéler la présence d'horizons marqueurs laissés par des dépôts générés par des glissements subaériens dont les sédiments atteignirent le fjord et qui correspondent aux glissements de Saint-Jean-Vianney de 1663 et de 1971. L'arrivée soudaine d'un important volume de sédiments dans le fjord vient former une couche de sédiment dont l'emplacement (espace et profondeur) peut être identifié précisément à partir de carottes (Locat et Leroueil 1988). L'étendue de cet horizon marqueur est variable. Quelques forages ont permis de relever précisément leurs positions (Figure 5). On y observe que les horizons repères se retrouvent à une profondeur de plus en plus faible au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point d'entrée, *i.e.* le delta du Saguenay. Ceci est tout à fait prévisible dans un environnement sédimentaire où il n'y a qu'une seule source de sédiment et où la profondeur d'eau augmente graduellement. Les secteurs où les sédiments entrent dans le fjord sont bien connus (voir la Figure 1), le principal étant toujours la rivière Saguenay. Tout le secteur du Bras Nord, et même jusqu'au Bassin Central a ainsi une sédimentation principalement influencée par la rivière Saguenay. La compilation des données granulométriques du secteur du Bras Nord et du Bassin Central indique aussi une telle progression régulière vers une augmentation moyenne des particules fines, avec la distance à partir de l'embouchure de la rivière Saguenay (Figure 6).

La présence de tels horizons nous fournit en plus une occasion unique de mieux comprendre le développement de la résistance au cisaillement dans un sédiment récent. Étant donné que nous pouvons donner un âge à un niveau précis, calculer le taux de sédimentation et donc le taux de chargement, nous pouvons donc obtenir, sur le terrain, une relation entre la variation de la porosité en fonction des contraintes d'enfouissement et du temps. L'analyse des données du Bras Nord indique que pour une période de moins de 400 ans seulement, deux événements majeurs ont provoqué la mise en place d'horizons marqueurs pouvant atteindre presque un mètre d'épaisseur pour celui du glissement de 1663. Il devient donc plausible de

retrouver des couches plus anciennes témoins d'événements catastrophiques terrestres ou marins. L'étude plus poussée à l'aide de carottes plus longues a clairement indiqué que même le Bassin Central était le lieu d'arrivée de turbidités provenant soit de glissements subaériens ou encore, comme nous le verrons plus loin, de glissements sous-marins, la distinction entre les deux étant le contenu en matière organique beaucoup plus élevé pour les sédiments provenant du Fjord (plus de 3%; Perret *et al.* 1993).

Avec des sédiments aussi variés et avec la présence de matière organique pouvant atteindre 10% par poids sec, le milieu sédimentaire actuel offre donc une opportunité unique pour étudier le développement de la résistance au cisaillement d'un sédiment et ainsi mieux comprendre leur évolution et leur diagenèse. Le fjord du Saguenay constitue donc un véritable laboratoire naturel de géotechnique marine.

LE FJORD DU SAGUENAY: UN ENDROIT MOUVEMENTÉ

Tel qu'indiqué plus haut, Schafer et Smith (1987) ont retracé, dans les sédiments du Fjord, les marques d'anciens glissements de terrain importants, particulièrement ceux de Saint-Jean-Vianney (1663 et 1971). Plus récemment, Pelletier et Locat (1993) ont répertorié des glissements sous-marins très diversifiés incluant des indications de mouvements récents reliés au tremblement de terre de Chicoutimi de novembre 1988. En fait, le fond du fjord du Saguenay, à tout le moins dans le Bras Nord et à un moindre degré dans le Bassin Central, est loin d'être un endroit tranquille. On y retrouve une morphologie mouvementée composée de plusieurs types de reliefs la plupart associés à des glissements sous-marins ou à des coulées. Les travaux de Locat et Bergeron (1988) ont conclu que la cause la plus vraisemblable de tels mouvements de terrain devait être d'origine sismique. Rien de surprenant puisque le fjord du Saguenay se retrouve dans une région adjacente au secteur de Charlevoix qui a connu en 1663 un des plus gros tremblements de terre du Canada (Chagnon et Locat 1988; Locat et Chagnon 1989). À l'aide de levés géophysiques (réflexion sismique et sonar à balayage latéral), outils essentiels pour établir la morphologie sous-marine, des levés géophysiques variés ont permis de bien circonscrire les glissements sous-marins dans le secteur du Bras Nord, sans doute le segment le plus actif du Fjord (Pelletier et Locat 1993; Figure 6).

Plusieurs types de mouvements ont été répertoriés dans le Bras Nord, allant des ruptures localisées aux glissements se transformant en coulées qui ont parcouru des distances de plusieurs kilomètres. Une telle vue d'ensemble a été mise définitivement en évidence récemment lors de l'utilisation d'un sondeur multifaisceaux qui a permis d'acquérir une carte bathymétrique très détaillée du Bras Nord du Saguenay. Il apparaît clairement que le fond du fjord du Saguenay a été et est toujours perturbé par des catastrophes naturelles le plus souvent liées aux séismes de la région (Figure 6). Dans un tel contexte, il est difficile de ne pas utiliser ces données morphologiques dans le cadre d'un programme d'évaluation de la contamination des sédiments. En effet, il faut tout d'abord s'assurer que ces sédiments n'ont pas été transportés ou déplacés lors de glissements, comme ce fut le cas à certains endroits du Fjord lors du séisme de Chicoutimi en novembre 1988 (Pelletier et Locat 1993).

LA TRANSITION AVEC LE MILIEU TERRESTRE

Le fjord du Saguenay, par les divers points d'entrée de sédiments, a toujours été en contact avec les autres composantes du bassin hydrologique. Depuis la déglaciation, certains secteurs, dont celui de l'Anse St-Jean, ont enregistré l'évolution des conditions marines et fluviales de la région (Russell et Locat soumis). Nous avons porté une attention particulière au fait de tenter de lier des données marines de la région de l'Anse St-Jean avec les données terrestres, afin de produire une section continue illustrant la transition entre les deux milieux. Ce premier travail s'inscrit dans une approche méthodologique qui vise à mieux cerner les apports en sédiments en provenance des terrains environnants. Si on veut quantifier ces apports depuis la déglaciation, il nous faut donc tout d'abord bien intégrer les techniques d'analyses et d'investigations du milieu marin et du milieu terrestre, telles que l'établissement d'une carte sous-marine tri-dimensionnelle des dépôts marins, les levés sismiques sur les rives et en amont de la rivière, les forages en milieu marin et terrestre et finalement les levés cartographiques terrestres (Russell 1992). Ces travaux ont permis de confronter les données des divers milieux et de conclure que la stratigraphie de la vallée secondaire occupée par la rivière et l'anse diffère de celle du Fjord lui-même, surtout par la présence d'un dépôt glaciaire probablement mis en place par un glacier de vallée alors que l'axe principal du Fjord était déjà dégagé et occupé par la mer. On réalise donc que plus on perce les secrets du fjord du Saguenay, plus l'image est complexe mais par contre notre base de données étant de plus en plus solide, le modèle géologique et sédimentologique du fjord du Saguenay se précise davantage. Les travaux en cours et à venir vont d'ailleurs tenter de fournir une description complète de ces aspects du fjord du Saguenay afin de présenter à la communauté scientifique l'image la plus réaliste possible de ce milieu unique.

PROJETS FUTURS

La recherche, tout en solutionnant certains problèmes, amène à des découvertes et des réflexions qui proposent de nouvelles avenues. Fort d'une connaissance plus approfondie du fjord du Saguenay, nous prévoyons orienter nos travaux futurs sur quatre volets différents mais reliés: (1) la stratigraphie et les changements globaux, (2) le transport de sédiments et des contaminants, (3) les effets de site lors de tremblement de terre et (4) le développement de méthodes de mesures *in situ*.

Les travaux de Praeg et Syvitski (1991) ayant souligné la présence d'épaisses couches de dépôts quaternaires dans le fjord du Saguenay, un effort collectif des chercheurs est déployé afin de réaliser des forages profonds permettant d'identifier la stratigraphie de ces dépôts et ainsi d'apporter un éclairage nouveau sur l'évolution paléogéographique de la région ainsi que sur les changements climatiques depuis le quaternaire (Syvitski *et al.* 1990). Ces résultats vont faire en sorte que le fjord du Saguenay pourra servir d'étalon dans l'analyse des changements climatiques globaux récents et anciens.

Avec la mise en évidence de plusieurs glissements sous-marins au Saguenay, il devient impérieux de se doter de moyens de calcul permettant de prédire le transport des sédiments et les

transferts possibles de contaminants des sédiments ainsi remobilisés vers la colonne d'eau ambiante. Une première ébauche de l'analyse numérique des glissements sous-marins a été présentée par Norem *et al.* (1990). Des travaux sont en cours afin de se doter d'un modèle numérique à trois dimensions, lequel va permettre de simuler les coulées de débris observées au fjord du Saguenay. Ce travail de modélisation numérique devra s'appuyer sur une couverture bathymétrique excellente ainsi que sur des essais sur modèles réduits. Ce projet en cours s'insère dans un autre effort collectif qui vise à rassembler toutes nos connaissances sur le fjord du Saguenay en vue de mieux comprendre l'interaction entre le fjord du Saguenay et ses communautés riveraines (programme ECO-Recherche).

La forme et l'empilement des sédiments font du fjord du Saguenay un lieu propice pour étudier les effets de site lors de séismes. Les multiples glissements sous-marins que l'on y observe font souvent partie de tels effets. Si on veut utiliser les données sur les glissements sous-marins afin de mieux déterminer la paléosismicité de la région, il nous faut établir un modèle de terrain capable de tenir compte des effets de site (Chagnon et Locat 1988). Un tel modèle tiendra compte des facteurs d'amplification associés à la morphologie particulière du Fjord. On pose ainsi comme hypothèse que le Fjord amplifie sensiblement les ondes sismiques, ce qui résulterait en une fréquence anormalement élevée de glissements sous-marins.

Finalement, avec une connaissance accrue des caractéristiques des sédiments du fjord du Saguenay et du milieu sédimentaire, il sera intéressant d'utiliser le fort taux de sédimentation au delta du Saguenay afin d'y tester des techniques appropriées tant pour la mesure de la pression interstitielle dans les sédiments que pour la température, la salinité et même la sismicité. Nous allons aussi continuer le développement des méthodes acoustiques tant pour la stratigraphie des sédiments que pour leurs propriétés mécaniques, surtout pour ce qui concerne l'utilisation des ondes de cisaillement.

CONCLUSION

Le fjord du Saguenay offre un potentiel unique à plusieurs points de vue notamment celui de la géotechnique marine. Avec les coûts de plus en plus élevés reliés aux opérations en mer, il devient impérieux de former des liens de coopération si on veut maintenir le même rythme de développement de nos connaissances dans ce secteur. La mise en place d'un parc marin devrait favoriser la concertation des chercheurs tout en fournissant une occasion de transmettre au public en général la connaissance acquise.

Dans le domaine de la géotechnique marine, le fjord du Saguenay a été et demeure un lieu fort intéressant. Une connaissance fine de ce Fjord nous permet d'en faire un laboratoire naturel de géotechnique marine. Avec des apparences extérieures calmes, on a souligné que le fjord agit comme point de focalisation des ondes sismiques, ce qui a produit au fond du Fjord une morphologie diversifiée dominée par la présence de nombreux et d'énormes glissements sous-marins.

Finalement, les différentes expéditions de géotechnique marine ont offert à plusieurs jeunes l'opportunité de travailler en mer et d'apprécier les beautés du fjord du Saguenay où chaque expédition était une aventure mémorable.

REMERCIEMENTS

Tous ces travaux ont été possibles grâce à la collaboration de plusieurs étudiants et scientifiques de même que par le soutien logistique et financier du gouvernement fédéral. Le temps de navire a été fourni par le ministère des Pêches et des Océans Canada, l'aide financière par le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada, alors que plusieurs composantes de la logistique des expéditions étaient offertes par le Centre géoscientifique de l'Atlantique.

Je voudrais remercier particulièrement le docteur Charles T. Schafer pour m'avoir à la fois fait connaître le fjord du Saguenay en 1984 et transmis son enthousiasme et son amour pour ce magnifique fjord. Je tiens aussi à souligner la participation essentielle de plusieurs étudiantes et étudiants qui ont participé aux diverses expéditions ainsi que des professionnels du Groupe de recherche en géologie de l'ingénieur (GREGI) qui ont participé à ces travaux au cours de ces années, particulièrement A. Masson, J. Bélanger et P. Therrien. Je voudrais souligner aussi le travail méticuleux et fort significatif des étudiants dont les projets de maîtrise et de doctorat ont été liés au fjord du Saguenay, D. Perret (doctorat), M. Bergeron, M. Pelletier et H. Russell (maîtrise). Au CGA, je voudrais remercier particulièrement des collaborateurs, J.P. Syvistki et K. Manchester. Finalement un merci chaleureux à tous ces équipages et ces capitaines qui nous ont si bien supportés lors de ces mémorables expéditions. Il fut un temps où le meilleur restaurant flottant de l'est du Canada avait pignon sur rue à bord du NSC *Louis M. Lauzier*.

RÉFÉRENCES

- Bergeron, M. et J. Locat. 1988. Analyses géotechniques à rebours de glissements sous-marins, fjord du Saguenay, Québec. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec. Rapport GGL-89-40.
- Bergeron, M. et J. Locat. 1989. Investigations géophysiques de glissements sous marins, fjord du Saguenay, Québec. Acfas, Montréal.
- Chagnon, J.-Y. et J. Locat. 1988. The effects of seismic activity on the soils of the Charlevoix Area - Québec, Canada, p. 125-136. *In* M.I. El-Sabh et T.S. Murry (éds). Natural and man-made hazards. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Garneau, R. et J.-P. Le Bihan. 1977. Estimation of some properties of Champlain clays with the Swedish fall cone. *Revue canadienne de géotechnique* 14: 571-581.

- Lasalle, P. et G. Tremblay. 1978. Dépôts meubles, Saguenay Lac St-Jean. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec. Rapport géologique 191. 61 p.
- Locat, J. et M. Bergeron. 1988. Back analysis of a submarine slide in the Saguenay fjord, Québec, Canada. p 336-353. Comptes rendus de la 41^{ème} Conférence canadienne de Géotechnique. Waterloo.
- Locat, J. et J.-Y. Chagnon. 1989. Risques de catastrophes naturelles dans le centre et l'est du Canada, p. 779-794. Dans Le Quaternaire du Canada et du Groenland, chap. 12, direction de R.J. Fulton, Commission géologique du Canada, Géologie du Canada (vol. 1).
- Locat, J. et D. Demers. 1988. Viscosity, yield stress, remolded strength, and liquidity index relationships for sensitive clays. *Revue Canadienne de Géotechnique* 25: 799-806.
- Locat, J. et G. Lefebvre. 1986. The origin of structuration of the Grande-Baleine marine sediments, Québec, Canada. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 19: 365-374.
- Locat, J. et S. Leroueil. 1988. Physico-chemical and geotechnical properties of Saguenay fjord sediments. *Revue Canadienne de Géotechnique* 25: 382-388.
- Locat, J. et J. Syvitski. 1991. Le fjord du Saguenay et le golfe du St-Laurent: étalons pour l'évaluation des changements globaux au Québec. *Collection Environnement et Géologie* 12: 309-318.
- Masson, A. et J. Locat. 1986. Description et essais géotechniques effectués sur des échantillons provenant du fjord de Cambridge, Terre de Baffin, Canada. Département de géologie et de génie géologique, Univ. Laval, Québec (Québec). Rapport GGL-86-08. 26 p.
- Norem, H., J. Locat et B. Scheldrup. 1990. A new approach to the study of the dynamics of submarine slides. *Marine Geotechnology* 9: 93-112.
- Paradis, J.-F. 1988. Géophysique au Saguenay: analyse des sections sismiques effectuées à Anse-St-Jean et à Baie Éternité le 18 et 19 juin 1988. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, Québec (Québec). Rapport GGL-88-24. 18 p.
- Pelletier, M. et J. Locat. 1993. Glissements sous-marins du fjord du Saguenay: aspects géotechniques et géomorphologiques. p. 554-581. *Compte rendu de la 4^{ème} conférence canadienne de géotechnique marine (vol. 2)*. St. John's, Terre-Neuve.
- Perret, D. 1994. Développement de la résistance au cisaillement dans un sédiment récent. Thèse doctorale, Univ. Laval, Québec (Québec).

- Perret, D., J. Locat et S. Leroueil. 1993. Strength development with burial during early diagenesis in fine grained sediments from Saguenay fjord, Québec. p.140-170. *Compte-rendu de la 4^{ème} Conférence canadienne de géotechnique marine (Vol. 1)*. St. John's, Terre-Neuve.
- Praeg, D.B. et J. Syvitski. 1991. Marine geology of Saguenay fjord. CGC Dossier Public # 2395. 14 feuillets.
- Russell, H. 1992. Stratigraphy and sedimentology of the recent and Quaternary sediments of Anse St-Jean, Québec. Mémoire de maîtrise. Univ. Laval, Québec, (Québec). 75 p.
- Russell, H. et J. Locat. Soumis. Stratigraphic evolution of a fjord-side delta, Anse-St.Jean, Saguenay fjord, Québec, Canada. *Revue Géographie physique et quaternaire*.
- Schafer, C. T. et J.N. Smith. 1987. Hypothesis for a submarine landslide and cohesionless sediment flow resulting from a 17th century earthquake-triggered landslide in Quebec, Canada. *Geo-marine Letters* 7: 31-37.
- Schafer, C. T. et J.N. Smith. 1988. Evidence of the occurrence and magnitude of terrestrial landslide in recent Saguenay fjord sediments, p. 137-145. *In* M.I. El-Sabh et T.S. Murry (éds). *Natural and man-made hazards*. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holland.
- Schafer, C.T., J. Smith et D.H. Loring. 1980. Recent sedimentation events at the head of the Saguenay fjord, Canada. *Environmental Geology* 3: 139-150.
- Syvitski, J.P.M., R. Everhøi, R. Powell, J.T. Andrews, J. Locat, B. Long, C.T. Schafer, R. Cranston, G. Vilks, J. Cravitz, C. Hilaire-Marcel, A. De vernal, I. Kaczmarska, B. Mucci, P. Steinek, P. Mudie, J.N. Smith et R. Pocklington. 1990. Global climatic change as measured through a continuous Late Wisconsinian Quaternary record with special emphasis on the Holocene. Preliminary Proposal No. 341/A, ODP Canada Publication 03, 20 p.
- Syvitski, J. P. M. et D.B. Praeg. 1989. Quaternary sedimentation in the St-Laurent estuary and adjoining areas, eastern Canada: an overview based on high resolution seismo-stratigraphy. *Géographie Physique et Quaternaire* 43: 291-310.

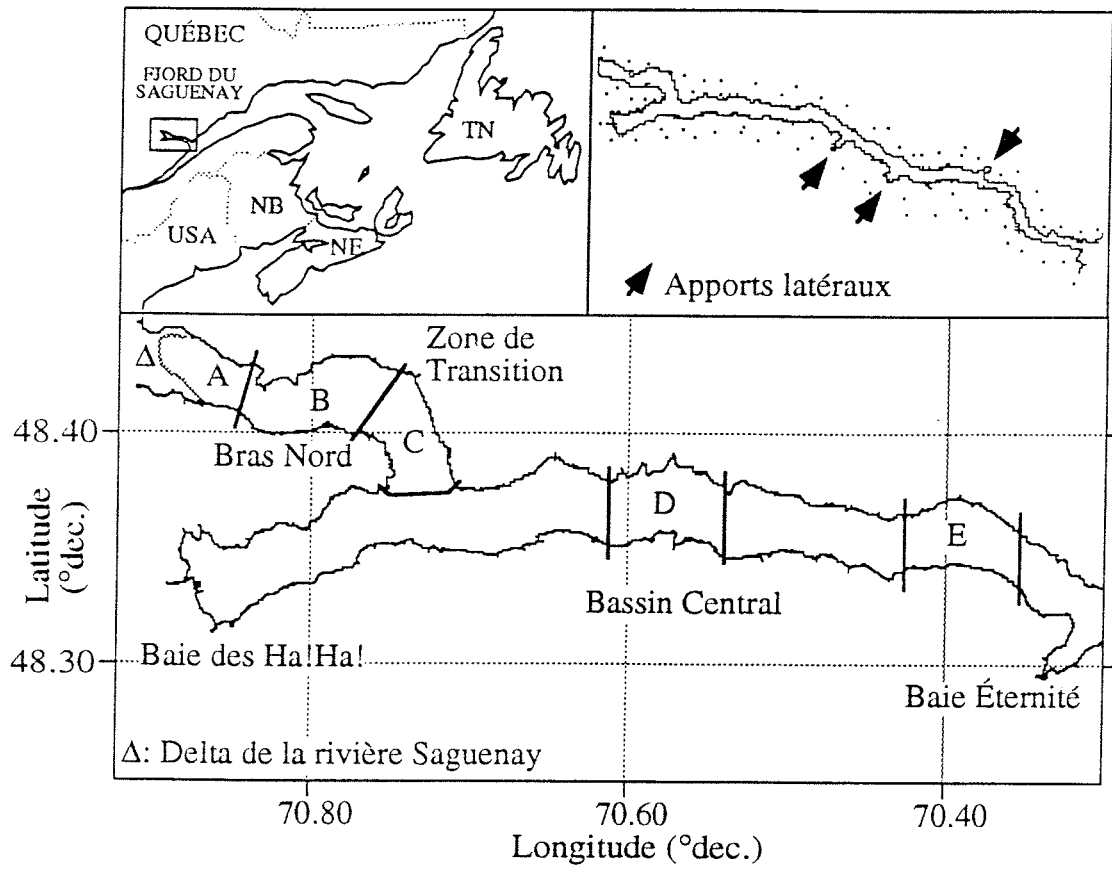


Figure 1. Localisation du fjord du Saguenay et des secteurs les plus étudiés (Perret *et al.* 1993).

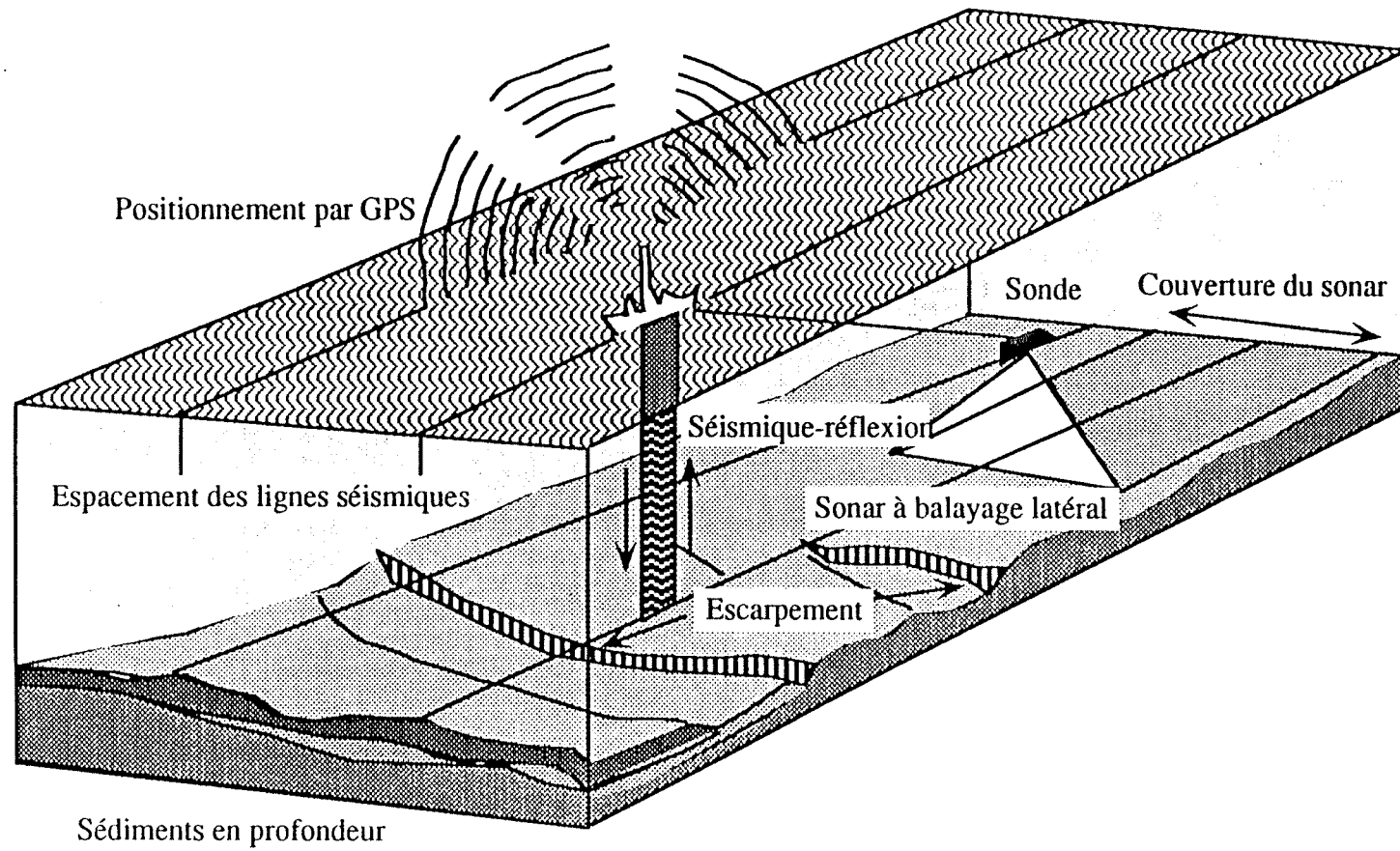


Figure 2. Illustration du déploiement des diverses méthodes géophysiques utilisées en mer (Pelletier et Locat 1993).

Vue du Bras-Nord au Fjord du Saguenay

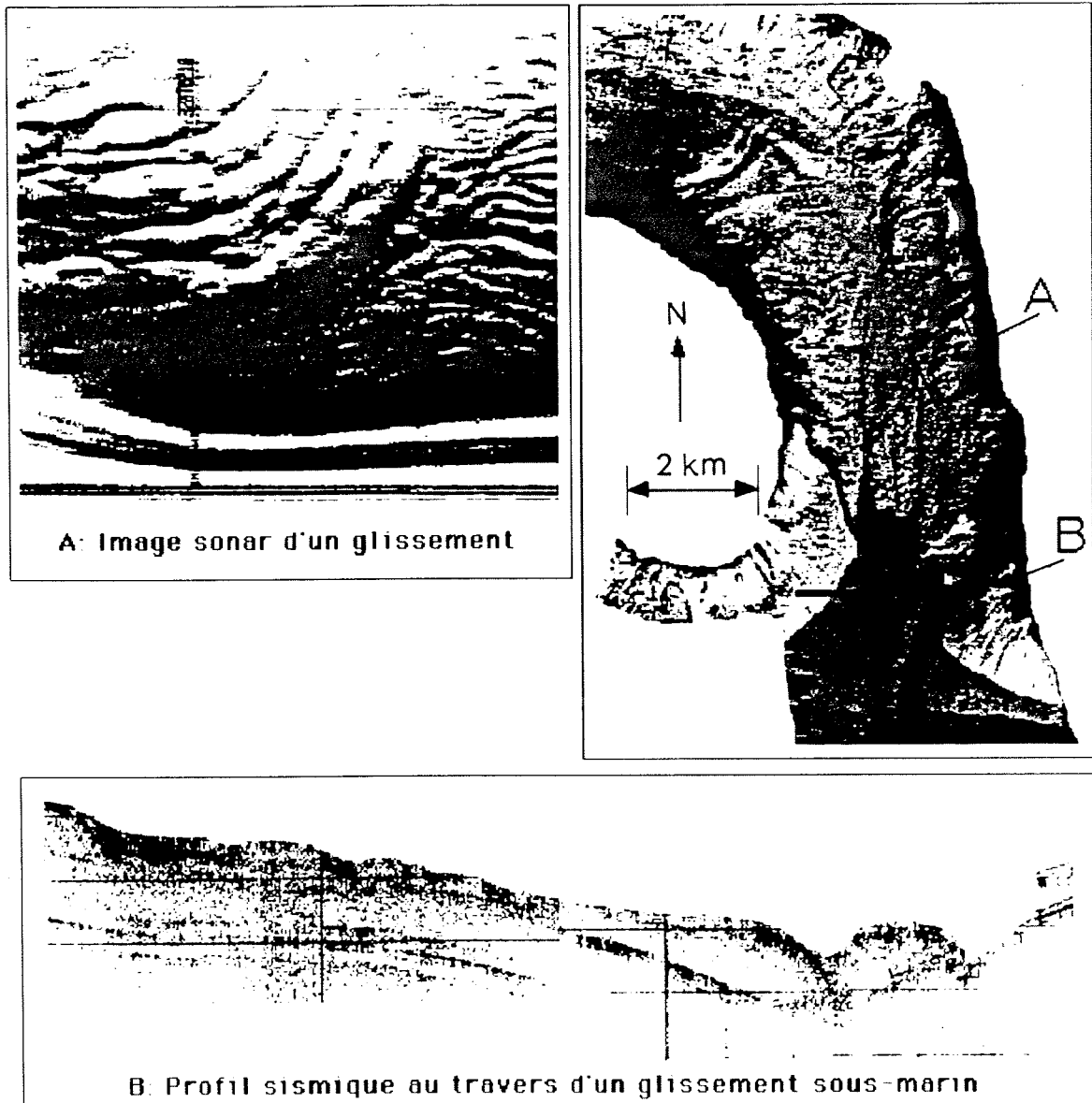


Figure 3. Exemples de données géophysiques obtenues pour le Bras Nord du fjord du Saguenay, incluant les données de sondage multifaisceaux ainsi qu'un exemple de sondage effectué au moyen d'un sonar à balayage latéral (A) et de réflexion sismique (B).

Ligne sismique 01. Lauzier, 88/06/16 et 17, stations 2 à 129.

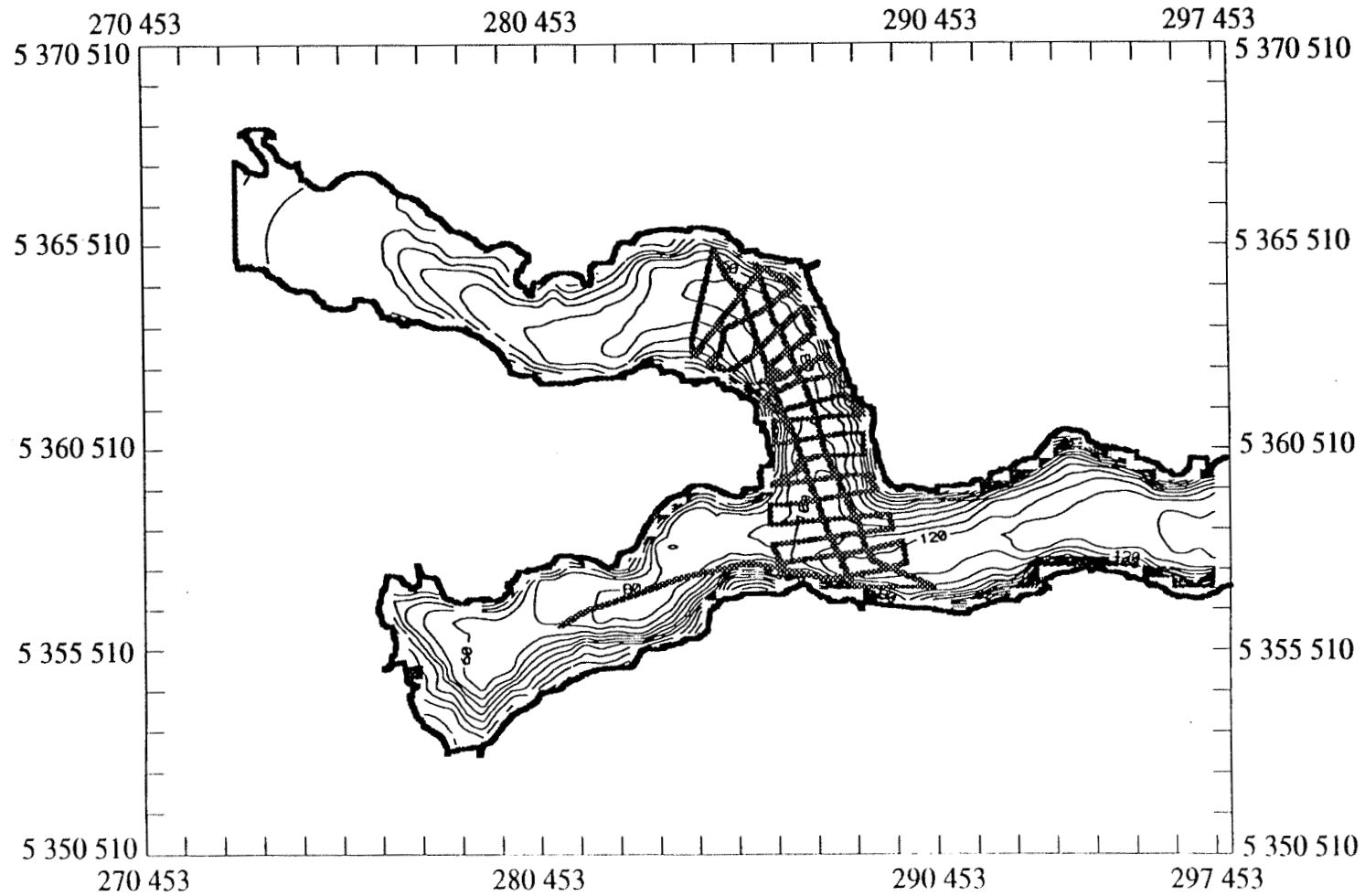


Figure 4. Exemple de maillage de levés de géophysique (réflexion sismique) réalisés en 1988 (Pelletier et Locat 1993). (Projection UTM).

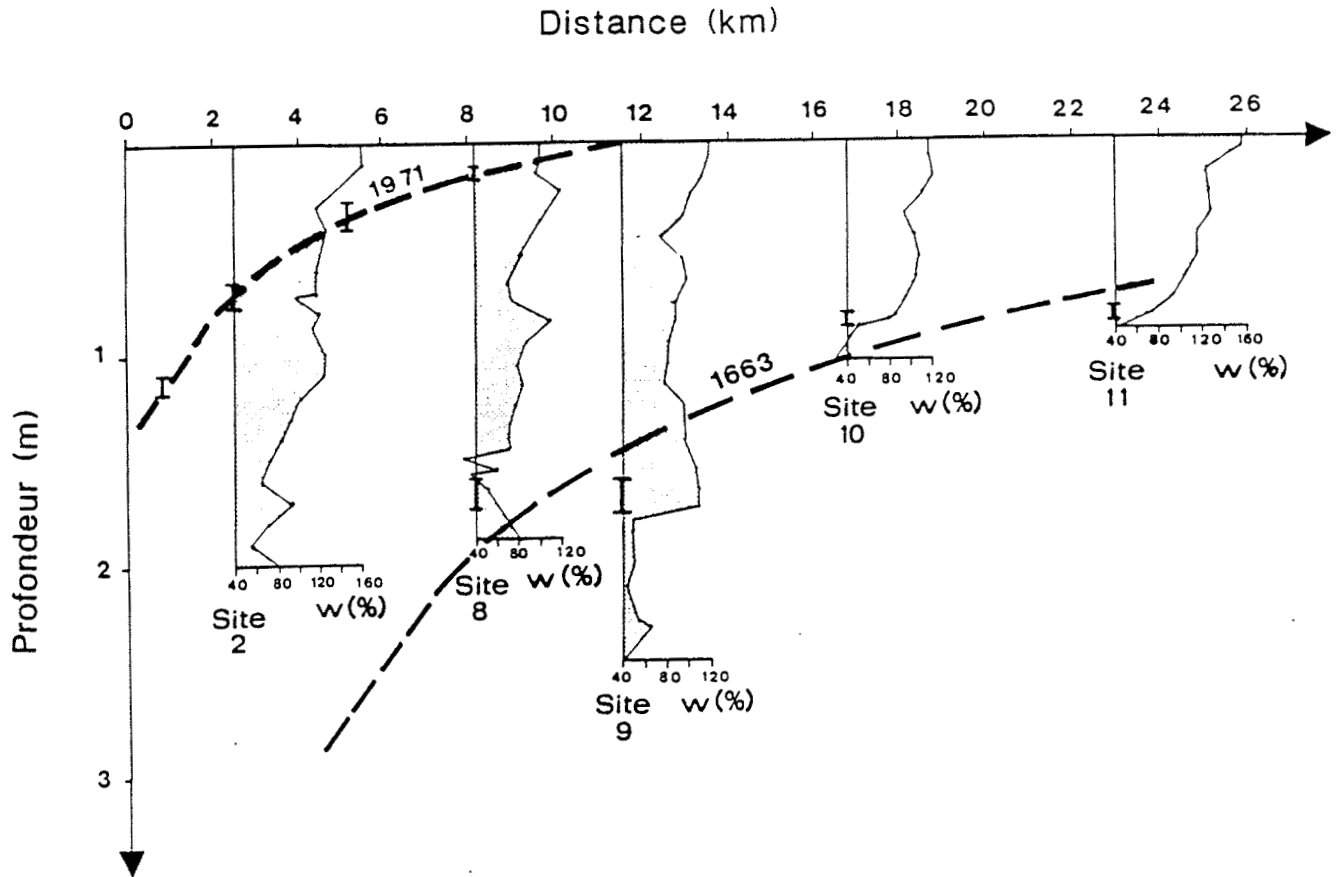


Figure 5. Traces des glissements survenus à Saint-Jean-Vianney en 1663 et 1971 (Locat et Leroueil 1988) (w = teneur en eau; Distance = distance de l'embouchure de la rivière Saguenay).

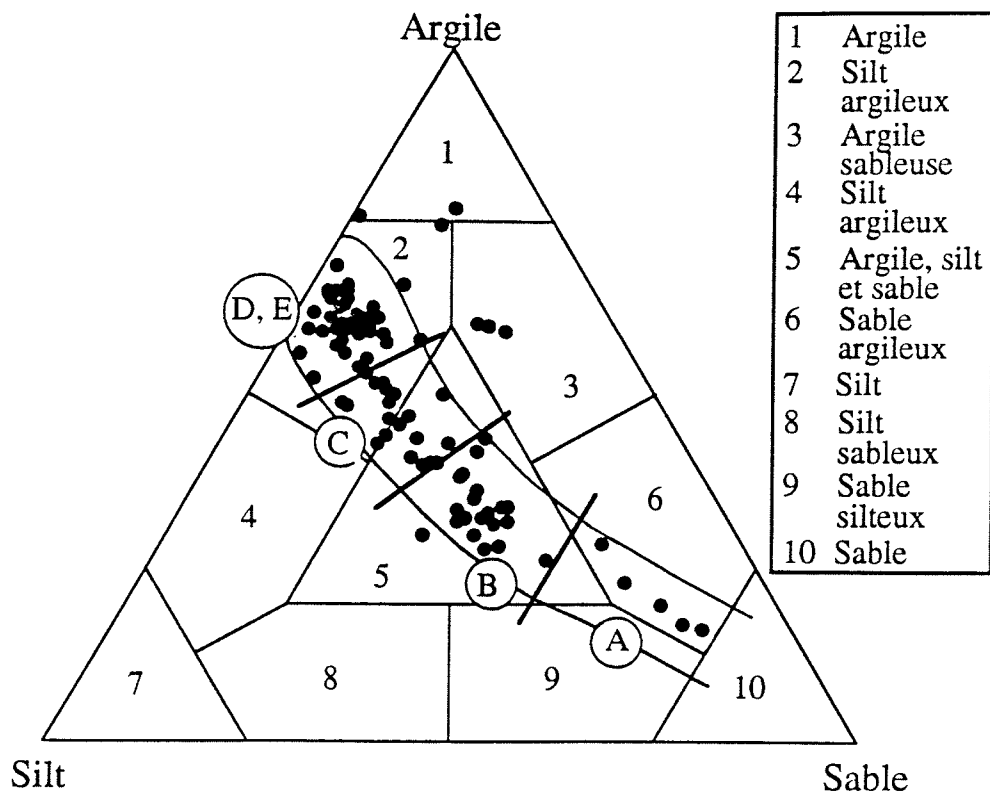


Figure 6. Distribution des données (points) sur la granulométrie des sédiments depuis le delta de la rivière Saguenay jusqu'au bassin central (voir la figure 1 pour les différentes zones; tiré de Perret *et al.* 1994).

Océanographie biologique du Fjord

MÉCANISMES D'ADAPTATION AU CUIVRE CHEZ LES ORGANISMES DU PHYTOPLANCTON

Raynald Côté, Christian Bastien et Édith St-Pierre

Université du Québec à Chicoutimi
Département des sciences fondamentales
555, boul. de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

INTRODUCTION

La région saguenéenne est favorisée par un système hydrographique important. Plusieurs industries énergivores (alumineries, papeteries) ont vite perçu l'intérêt de cette ressource naturelle qu'est l'eau. L'arrivée de ces établissements industriels s'est traduite par le rejet d'eaux usées contenant des produits chimiques toxiques pour les organismes aquatiques. L'interdiction de la mise en marché de la crevette nordique (*Pandalus borealis*) du fjord du Saguenay depuis 1971 représente un cas patent des conséquences de la pollution industrielle.

D'autres organismes, notamment ceux du phytoplancton, bien qu'ils soient plus difficilement observables, en subissent des effets non moins négligeables. Ces organismes sont soumis à des conditions environnementales stressantes dans le fjord du Saguenay. D'ailleurs, à partir de certaines études axées sur la dynamique saisonnière de la production primaire (Côté 1977), il a été démontré que les taux de productivité primaire dans ce Fjord sont beaucoup plus faibles que ceux mesurés dans les eaux adjacentes de l'estuaire du Saint-Laurent ou dans d'autres fjords canadiens.

Le cuivre est un élément trace essentiel au métabolisme cellulaire des algues; il est un constituant de la plastocyanine (transporteur d'électrons avant d'atteindre le photosynthème I) et il contrôle la cytochrome-oxydase (transfert des électrons à l'oxygène moléculaire dans la phosphorylation oxydative). C'est également un des éléments les plus toxiques pour les organismes du phytoplancton (Hollibaugh *et al.* 1980). Sa toxicité est due à sa grande affinité pour les groupements SH des protéines (Sunda et Gillepsie 1979) et il forme des complexes avec les groupements carboxyles et les amines (Mandeli 1969).

Sur le plan physiologique, plusieurs travaux tels que ceux d'Anderson et Morel (1978) et de Côté (1983) ont montré que le cuivre diminue les taux de fixation du carbone et réduit les pigments photosynthétiques. L'ion agit surtout au niveau de la membrane plasmique en altérant le processus d'osmorégulation. Sur le plan ultrastructural, les études sont beaucoup plus rares.

Cet exposé résume les travaux accomplis par notre équipe de recherche pour: 1) déterminer les effets de différentes concentrations de cuivre sur l'ultrastructure de *Scenedesmus*

quadricauda et 2) déterminer la séquence temporelle des modifications ultrastructurales lors d'une exposition à court et à long terme à une dose subléthale de cuivre. Ces travaux ont fait l'objet de deux publications (Bastien et Côté 1989a et 1989b).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour atteindre le premier objectif, nous avons utilisé une culture en lots à différentes concentrations de cuivre (25, 50, 100, 250, 500, 1 000 et 2 500 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) et l'étude des paramètres s'est déroulée durant une période de 7 jours (0, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 et 168 heures).

Pour réaliser le deuxième objectif, nous avons utilisé une culture en continu à une concentration de 250 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ et l'expérience s'est déroulée durant une période de 50 jours. Les méthodes sont décrites dans Bastien et Côté (1989a et 1989b).

Les cellules destinées à l'observation ultrastructurale ont été récoltées par centrifugation et fixées dans une solution de glutaraldéhyde 2% dans le tampon cacodylate 0,1 M à pH = 7,00 pendant 2 heures à 4°C. Elles ont été post-fixées au tétraoxyde d'osmium 1% dans le même tampon pendant une heure à la température de la pièce (22°C). Elles ont ensuite été déshydratées dans une série de bain d'éthanol (30, 60, 90 et 100%) et infiltrées dans une résine Spurr (Spurr 1969). Les enrobages ont été polymérisés sous vide à 70°C durant une période de 8 heures. Des sections argent ont été réalisées avec un couteau de diamant sur un ultramicrotome Reichert et montées sur des grilles de cuivre de 200 ou 300 μm d'ouverture sans support formvar. Elles ont été colorées à l'acétate d'uranyl (Reimann 1980) et au citrate de plomb selon la méthode de Reynolds (1963). Les observations ont été réalisées au microscope électronique à transmission Phillips 201.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La souche de *S. quadricauda* est relativement tolérante au cuivre puisque la croissance est encore importante même à une concentration de 1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (Figure 1). Cependant, dans les ballons expérimentaux, la cellule renferme de nombreuses petites vacuoles contenant des inclusions denses aux électrons. La fréquence d'apparition et le nombre moyen d'inclusions par cellule augmentent graduellement avec la concentration de l'ion cuivrique libre; le coefficient de corrélation de Pearson est de 0,87 ($\alpha = 0,05$). La formation des inclusions intravacuolaires se fait par palier de concentrations et ce type de réponse reflète probablement l'existence des concentrations seuils auxquelles les processus physiologiques ayant lieu au niveau membranaire seraient modifiées de façon rapide (Figure 2) (Bastien et Côté 1989a).

Nous réalisons aussi que les chloroplastes soumis à une concentration de cuivre de 250 $\mu\text{g Cu}\cdot\text{L}^{-1}$ présentent une désorganisation importante des membranes et une dissociation avec la paroi cellulaire et le cytoplasme. La paroi cellulaire devient très épaisse et nous observons une forte accumulation d'amidon et de lipides au niveau du cytoplasme cellulaire. Certaines cellules deviennent binuclées et nous avons remarqué la présence de petites inclusions dans le noyau (Bastien et Côté 1989b). Les cellules semblent peu actives et ces observations permettent de croire à une forte déshydratation au niveau des cellules. Or, en poursuivant la culture, nous remarquons qu'à partir du 22^{ème} jour, les réserves d'amidon et de lipides disparaissent, la paroi cellulaire redevient plus mince et à partir du 32^{ème} jour, les structures cellulaires sont comparables à celles du témoin, le réticulum endoplasmique devient apparent et les ribosomes du cytoplasme sont nombreux et visibles. Il y a donc augmentation dans l'activité de synthèse. La disparition des inclusions intravacuolaires nous porte à croire à l'existence d'un second mécanisme impliqué dans la tolérance des cellules aux ions cuivriques (Bastien et Côté 1989b).

Dans une étude récente (St-Pierre 1992) en spectrophotomètre d'absorption atomique, nous avons remarqué qu'après 324 heures, les protéines extraites des cellules du ballon expérimental contiennent du cuivre qui est associé à un peptide de faible masse moléculaire (entre 2 100 et 800 daltons).

L'étude de Thompson et Côté (1985) a montré que la présence d'une teneur élevée en matière organique dissoute et en fibre de cellulose en suspension dans les eaux amont du Saguenay est un facteur important qui contrôle la toxicité du cuivre pour le phytoplancton dans ce milieu côtier, car la toxicité est fonction de la spéciation du métal. Par ailleurs, d'autres travaux, notamment ceux de Cloutier et Côté (1985) ont également permis de montrer que, même si le cuivre est un élément très toxique, il exerce une toxicité sélective sur les différentes espèces de la communauté phytoplanctonique du Fjord, permettant ainsi d'assurer une certaine biomasse végétale disponible pour le zooplancton herbivore qui est relativement important dans le fjord du Saguenay (De Ladurantaye *et al.* 1984). Comme les autres métaux lourds, le cuivre a la propriété de s'accumuler dans les divers niveaux de la chaîne alimentaire.

En conclusion, les divers travaux poursuivis sur l'écologie du phytoplancton du fjord du Saguenay n'expliquent pas tous les processus qui sous-tendent la productivité primaire du Fjord mais ils permettent de cerner un peu mieux les répercussions des activités humaines sur les ressources halieutiques de ce milieu estuarien.

CONCLUSION

Nous suggérons 3 types de mécanismes impliqués dans la tolérance des cellules phytoplanctonique aux ions métalliques.

- à court terme, la cellule réagit par la séquestration du cuivre à l'intérieur des inclusions (possiblement des polyphosphates);

- à moyen terme, lorsque les sites de complexation (inclusions ou autres) sont saturés, il y a un développement de l'appareil de synthèse (réticulum endoplasmique, ribosomes);
- à long terme, la synthèse de certaines protéines permettrait l'excrétion de molécules complexantes dans le milieu extracellulaire ou la mise en branle d'un mécanisme d'exclusion de l'ion vers le milieu extracellulaire.

RÉFÉRENCES

- Anderson, D.M. et F.M. Morel. 1978. Copper sensitivity of *Gonyaulax tamarensis*. *Limnol. Oceanogr.* 23: 283-295.
- Bastien, C. et R. Côté. 1989a. Effets du cuivre sur l'ultrastructure de *Scenedesmus quadricauda* et *Chlorella vulgaris*. *Int. Revue Gesamten Hydrobiol.* 74: 51-71.
- Bastien, C. et R. Côté. 1989b. Variations temporelles de l'ultrastructure de *Scenedesmus quadricauda* exposée au cuivre lors d'une expérience à long terme. *Int. Revue Gesamten Hydrobiol.* 74: 207-219.
- Cloutier, S. et R. Côté. 1985. Études expérimentales sur la sensibilité du phytoplancton d'eau douce aux variations de salinité dans le fjord du Saguenay (Estuaire du Saint-Laurent), Canada. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 70: 187-201.
- Côté, R. 1977. Aspects dynamiques de la production primaire dans le Saguenay, fjord subarctique du Québec. Thèse doctorale. Univ. Laval, Québec, (Québec). 194 p.
- Côté, R. 1983. Aspects toxiques du cuivre sur la biomasse et la productivité du phytoplancton de la rivière Saguenay, Québec. *Hydrobiol.* 98: 85-95.
- De Ladurantaye, R., J.C. Thériault, G. Lacroix et R. Côté. 1984. Processus advectifs et répartition du zooplancton dans un fjord. *Mar. Biol.* 82: 21-29.
- Hollibaugh, J.T., D.L.R. Seibert et W.H. Thomas. 1980. A comparison of the acute toxicities of ions of 10 heavy metals to phytoplankton from Saanich Inlet, B.C., Canada. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 10: 93-105.
- Mandeli, E.F. 1969. The inhibitory effects of copper on marine phytoplankton. *Mar. Sci.* 14: 47-57.
- Reimann, E.F.B. 1980. Fixation, embedding, sectioning and staining of algae for electron microscopy, p. 205-203. *In* E. Grant, E. (éd.). *Handbook of phycological methods: developmental and cytological methods*. Cambridge University Press.

- Reynolds, E.S. 1963. The use of lead citrate at high pH as an electron opaque stain in electron microscopy. *J. Cell. Biol.* 17: 208-212.
- Saint-Pierre, E. 1992. Mise en évidence d'un mécanisme de tolérance chez *Scenedesmus quadricauda* suite à une intoxication à long terme au cuivre. Mémoire de maîtrise. Univ. du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, (Québec). 73 p.
- Spurr, A.R. 1969. A low viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J. Ultra. Res.* 26: 31-43.
- Sunda, W.G., et P.A. Gillepsie. 1979. The response of a marine bacterium to cupric ion and its use to estimate cupric ion activity. *J. Mar. Res.* 37: 761-777.
- Thompson, P.A., et R. Côté. 1985. Influence de la spéciation du cuivre sur les populations phytoplanktoniques naturelles de la rivière Saguenay, Québec, Canada. *Int. Revue. ges. Hydrobiol.* 70: 711-731.

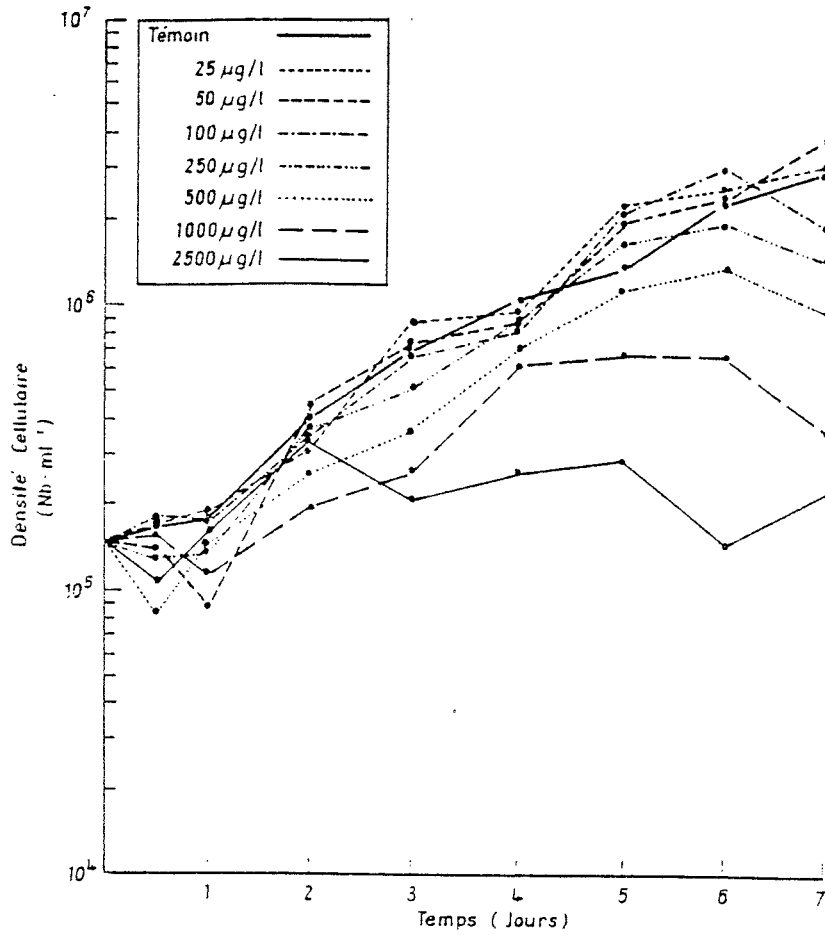


Figure 1. Variations temporelles de la densité cellulaire de *Scenedesmus quadricauda* à différentes concentrations de cuivre (Bastien et Côté 1989a).

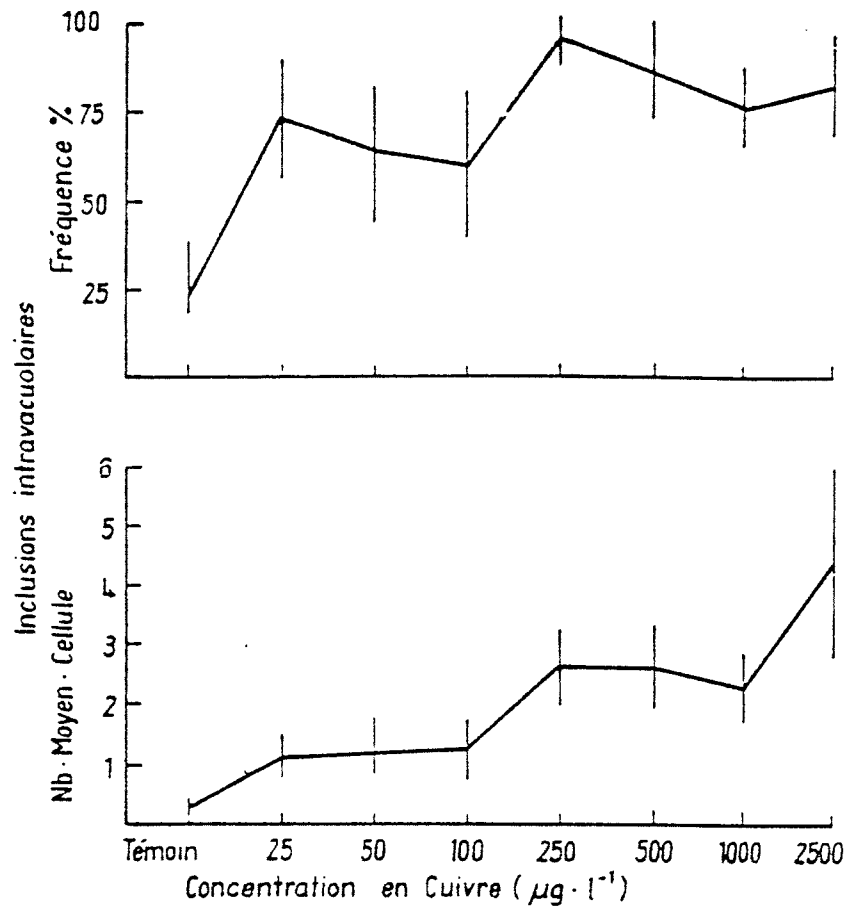


Figure 2. Fréquence d'apparition et nombre moyen d'inclusions intravacuolaires chez *Scenedesmus quadricauda* à différentes concentrations de cuivre (Bastien et Côté 1989a).

INVENTAIRE ET BIOGÉOGRAPHIE DES INVERTÉBRÉS DES FONDS MEUBLES DU FJORD DU SAGUENAY

Luci Bossé¹, Bernard Sainte-Marie¹, Judith Fournier², Pierre Brunel³

¹ Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

² Musée canadien de la Nature, Ottawa (Ontario) K1P 6P4

³ Département de Biologie, Université de Montréal
Montréal (Québec) H3C 3J7

L'implantation du parc marin du Saguenay - Saint-Laurent a suscité un renouveau d'intérêt pour la faune du fjord du Saguenay, encore mal connue (Drainville *et al.* 1963; Brunel 1970; Drainville *et al.* 1978). Nous avons voulu en compléter l'inventaire, premier objectif de ce travail, et éprouver l'hypothèse de Drainville *et al.* (1963) selon laquelle le Fjord contient une «enclave arctique» dans la province biogéographique boréale; Drainville (1970) reprend cette hypothèse, fondée cette fois sur la faune des poissons. Nous l'examinons à l'aide des invertébrés benthiques, meilleurs indicateurs en raison de leur diversité et sédentarisme bien plus grands.

En été, le Fjord contient deux masses d'eau, une mince (max. 10 m) couche de surface chaude (11 à 16°C) et saumâtre (± 5 à 26‰) et une masse profonde (15 à 276 m) glaciale (0,4° à 1,7°C) et salée (26 à 31‰) séparées par une thermo-halocline mince et très marquée. La masse profonde est alimentée, en partie, au rythme des marées par la couche intermédiaire froide de l'estuaire maritime du Saint-Laurent via un seuil externe de moins de 25 m de profondeur. Pour sa part, la couche intermédiaire froide (27 à 31,5‰; -0,1 à 2°C) de l'Estuaire est recouverte en été d'une couche plus chaude et moins salée d'une cinquantaine de mètres et elle se superpose à une couche profonde plus chaude (4,5°C) et très salée (33-34,5‰) recouvrant le Chenal laurentien (Silverberg *et al.* 1990).

Pendant les étés 1990 et 1991, les fonds meubles des trois bassins et des deux seuils intérieurs du fjord du Saguenay ont été échantillonnés, à dix stations, à l'aide d'un carottier à boîte, d'une benne Shipek, d'un traîneau épibenthique Hessler-Sanders et de casiers appâtés.

Les inventaires antérieurs rapportent 232 espèces et notre étude en compte 320, pour un total de 410 espèces maintenant connues au Fjord. Les 169 mentions nouvelles (52,8% de nos captures) pour le Fjord sont composées de 59 (35,3%) Polychètes et 43 (25,3%) Amphipodes Gammaridiens. De plus, 15 de ces nouvelles mentions pour le Fjord n'ont encore jamais été retrouvées dans le Golfe et l'Estuaire (Tableau 1), et quatre espèces (un cumacé et trois polychètes) seraient nouvelles pour la science. Les taxons dominants, pour la totalité des espèces

répertoriées dans le Fjord, sont les Amphipodes (27%), les Polychètes (22%), les Mollusques Bivalves (10%) et Gastéropodes (10%). Des 410 espèces du Fjord, 320 (80%) sont communes à l'Estuaire maritime, où l'on en a dénombré 820.

Les connaissances sur l'affinité biogéographique de très nombreuses espèces, notamment de l'étage bathyal (pentes continentales atlantiques, Chenal laurentien et bassins profonds du Saguenay), sont encore imprécises. D'autre part, l'information sur la distribution bathymétrique de beaucoup d'entre elles n'est pas encore compilée, ni dans leur aire totale, ni dans le Golfe, l'Estuaire et le Saguenay. Cette donnée est particulièrement importante en biogéographie marine, puisque la température des masses d'eau est un facteur déterminant et directement tributaire de la profondeur. Pour contourner cette difficulté, nous avons intégré les différentes profondeurs pour comparer les deux écosystèmes; ainsi c'est une image globale et préliminaire de la biogéographie de la faune de toutes les masses d'eau réunies que nous obtenons.

Nous avons fait une analyse préliminaire grossière en associant chaque espèce à une ou deux provinces biogéographiques selon sa seule distribution géographique horizontale, telle qu'elle est résumée dans nombre de rapports faunistiques traditionnels. En comparant ainsi la faune de l'Estuaire maritime et du Fjord, en ne considérant que le nombre d'espèces présentes et non l'abondance relative de celles-ci, on constate que la faune benthique des deux écosystèmes est largement (54% et 58%) dominée par des espèces dont le centre de distribution se situe dans la province boréale², où elles peuvent toutefois habiter les eaux subarctiques submergentes. On voit aussi que les proportions d'espèces associées aux différentes provinces biogéographiques sont semblables dans les deux écosystèmes ($\chi^2=3,535$, $P>0,05$ à 5 dl). Figures 1a et 1b). Par contre, en ne considérant que les espèces exclusives à chacun de ces deux écosystèmes (Figure 1c), la composition de la faune selon l'appartenance aux provinces biogéographiques diffère significativement ($\chi^2=11,07$, $P>0,05$ à 5 dl). En effet, le Saguenay contient une plus grande proportion (22%) que l'Estuaire (8%) de ces espèces qui ont une distribution arctique. Les 18 espèces arctiques exclusives au Saguenay seraient reliquales et chez la grande majorité d'entre-elles la capacité de dispersion est limitée puisqu'elles ont un développement direct ou sans larve pélagique (Tableau 2).

Il est tout à fait probable que les espèces arctiques exclusives au Saguenay et apparemment reliquales aient déjà été présentes dans l'Estuaire à la fin de la dernière glaciation, il y a environ 12 000 ans. Mais maintenant, les substrats privilégiés par ces espèces n'y seraient plus baignés par une couche d'eau suffisamment froide, même si des températures assez basses existent encore dans la couche froide intermédiaire. Ces espèces se seraient alors maintenues dans le Saguenay où les facteurs édaphiques et thermiques adéquats sont encore associés. D'autres espèces arctiques sont confinées, selon les données actuelles, à quelques endroits particuliers dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent; leur caractère reliqual n'y sera confirmé que par une exploration plus intensive.

² Nous avons adopté les définitions des provinces arctique, subarctique et boréale (= tempérée froide) proposées par Ekman (1953) et Dunbar (1968).

Puisque le Fjord partage 80% de sa faune avec celle de l'Estuaire maritime, que la faune dominante dans le Fjord semble affiliée à la province boréale et que la présence d'espèces arctiques reliquales n'est apparemment pas unique à celui-ci, il est donc erroné de le qualifier «d'enclave arctique». Cette qualification laisse entendre, à tort, que la faune dominante est d'affiliation arctique.

RÉFÉRENCES

- Brunel, P. 1970. Catalogue d'Invertébrés benthiques du golfe Saint-Laurent recueillis de 1951 à 1966 par la station de biologie marine de Grande-Rivière. *Trav. Pêch. Qué.* 32: 1-54
- Drainville, G. 1970. Le fjord du Saguenay. II. La faune ichtyologique et les conditions écologiques. *Naturaliste can.* 9: 623-666.
- Drainville, G., M. Tiphane, et P. Brunel. 1963. Croisière océanographique dans le fjord du Saguenay, 14-22 juin 1962. *Rapp. ann. Stn. Biol. mar. Grande-Rivière* 1962: 133-141.
- Drainville, G., L.M. Lalancette et L. Brassard. 1978. Liste préliminaire d'invertébrés marins du fjord du Saguenay recueillis de 1958 à 1970 par le Camp des Jeunes Explorateurs. *Min. Industrie et Commerce, Cahiers Information* 83: 1-27.
- Dunbar, M.J. 1968. *Ecological development in polar regions: a study in evolution.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y. 119 p.
- Ekman, S.G. 1953. *Zoogeography of the sea.* Sidgwick & Jackson, Londres. 417 pp.
- Silverberg, N. et M.I. El-Sabh. 1990. The St. Lawrence Estuary: concluding remarks, p. 422-429. *In* M.I. El-Sabh et N. Silverberg (éds). *Oceanography of a large-scale estuarine system: the St. Lawrence.* Coastal and Estuarine Studies (Vol. 39). Springer-Verlag, New York, NY.

Tableau 1. Espèces capturées dans le Saguenay qui n'ont pas encore été répertoriées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (*: identification incertaine et qui doit être confirmée par un expert-taxonomiste de ce groupe).

MOLLUSCA Gasteropoda:

- Alvania moerchi* (Collins 1886)
Alvania wyvillethomsoni (Friele 1877)
Natica cf. affinis Gmelin 1791
Cylichna occulta (Mighels & C.B. Adams 1842)

ANNELIDA Polychaeta:

- Euchone incolor* Hartman 1965
Eusyllis lamelligera Marion & Bobretsky 1875
Leaena ebranchiata (Sars 1865)
Parougia eliasoni (Oug 1978)
Spio thulini Maciolek 1990

ANNELIDA Hirudinea:

- Calliobdella vivida* (Verrill, 1872)

CRUSTACEA Isopoda:

- Munna kroyeri* Goodsir 1842

ECHINODERMATA Holothuroidea:

- Thyone* sp.

ECHINODERMATA Asteroidea:

- Stephanasterias albula* * (Stimpson, 1853)

ECHINODERMATA Ophiuroidea:

- Amphipholis torelli* Ljungman 1871
Stegophiura stuwitzii (Lütken 1857)

Tableau 2. Espèces arctiques du Saguenay ne se retrouvant pas dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent (*: identification incertaine et qui doit être confirmée par un expert-taxonomiste de ce groupe).

BRACHIOPODA

Glaciarcula spitzbergensis (Davidson, 1852)

MOLLUSCA Prosobranchiata

Alvania moerchi (Collins 1886)

Alvania wyvillethomsoni (Friele 1877)

Buccinum hydrophanum Hancock 1846

Natica cf. affinis Gmelin 1791

MOLLUSCA Bivalvia

Cuspidaria subtorta * (G.O. Sars, 1878)

Macoma moesta (Deshayes, 1855)

CRUSTACEA Amphipoda gammaridea

Acanthonotozoma inflatum (Krøyer 1842)

Atylus carinatus (J.C. Fabricius 1793)

Eusirus cuspidatus Krøyer 1845

Gammaracanthus loricatus (Sabine 1821)

Gronella groenlandica (Hansen 1887)

Monoculodes simplex Hansen 1887

Tmetonyx gulosus (Krøyer 1845)

Tryphosella spitzbergensis (Chevreux 1926)

CRUSTACEA Decapoda caridea

Sclerocrangon ferox (G.O. Sars, 1877)

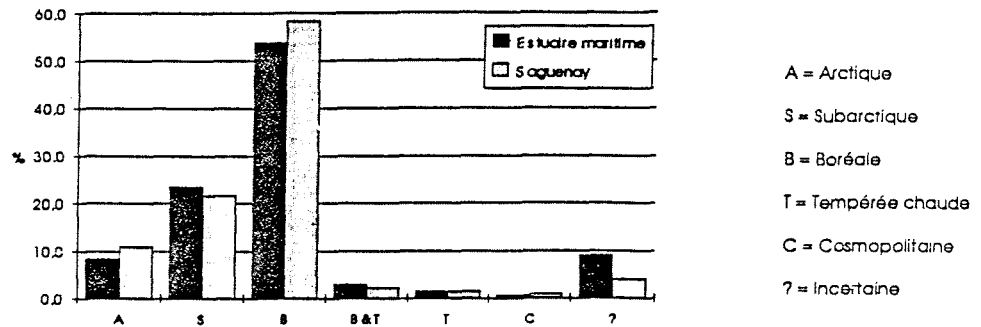
PYCNOGONIDA

Nymphon serratum * G.O. Sars, 1891

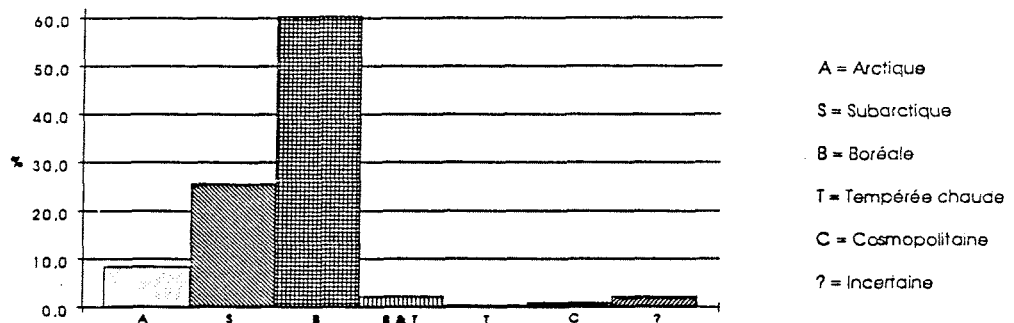
ECHINODERMATA Ophiuroidea

Amphipholis torelli Ljungman 1871

a) Toutes les espèces répertoriées dans l'Estuaire maritime et le Saguenay



b) Espèces communes au Saguenay et à l'Estuaire maritime



c) Espèces exclusives à chacun des deux milieux

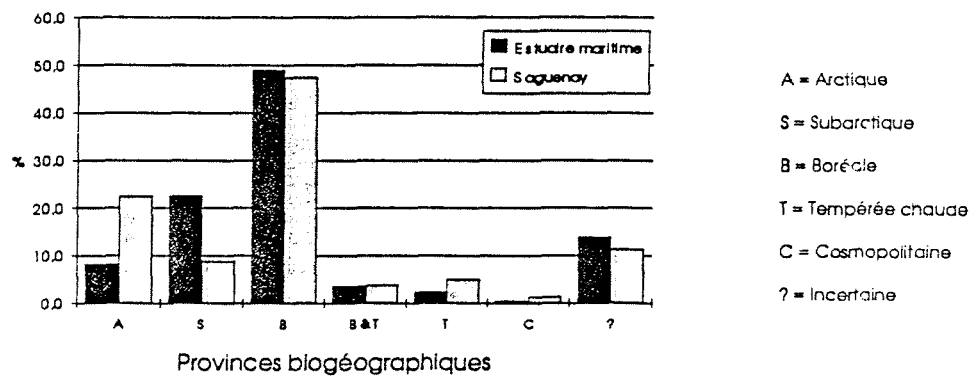


Figure 1. Espèces répertoriées dans l'Estuaire maritime et dans le fjord du Saguenay et leur appartenance aux différentes provinces biogéographiques.

**VARIATION GÉNÉTIQUE CHEZ LE FLÉTAN DU GROENLAND (*REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES*) ET LA CREVETTE NORDIQUE (*PANDALUS BOREALIS*)
DU FJORD DU SAGUENAY**

Jean-Marie Sévigny

Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

Le fjord du Saguenay constitue un environnement unique dans le système du Saint-Laurent. Ses caractéristiques topographiques comme la présence d'un seuil peu profond à son embouchure et de ses deux bassins intérieurs ainsi que la présence d'une couche d'eau douce superficielle pourraient représenter une barrière à la migration des diverses espèces marines vivant dans le Fjord et entraîner leur isolement. Malgré l'intérêt grandissant porté récemment à la faune du Saguenay, aucune étude n'a, jusqu'à présent, tenté de caractériser les espèces du Fjord d'un point de vue génétique et tenté de décrire l'importance des échanges entre le Saguenay et l'estuaire du Saint-Laurent. De telles connaissances sont toutefois essentielles pour la mise en place de mesures visant la conservation de la diversité génétique de ces espèces. La caractérisation génétique des espèces du Saguenay revêt un caractère d'autant plus essentiel que certaines espèces de poissons subissent une exploitation par la pêche sportive hivernale dont l'importance s'est beaucoup accrue au cours de la dernière décennie (Talbot 1992 et 1993).

Au cours des dernières années, une étude de la variabilité génétique de diverses espèces d'importance commerciale a été entreprise dans le but de déterminer si ces espèces forment, dans le Saguenay, des populations génétiquement différenciées de celles de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les résultats présentés décrivent la variabilité génétique observée chez le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) et la crevette nordique (*Pandalus borealis*).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le flétan du Groenland a été échantillonné à Sainte-Rose-du-Nord et à l'Anse de Saint-Étienne, pendant l'été 1990, à l'aide de filets maillants et de palangres. Des échantillons ont aussi été obtenus à Sainte-Rose-du-Nord pendant la pêche sportive hivernale de 1991. Les spécimens provenant de l'Estuaire ont été capturés pendant la mission de relevé des poissons de fond de septembre 1990 effectuée sur le navire NSC *Alfred Needler*.

La crevette nordique a été échantillonnée, pendant l'été 1990, dans la Baie des Ha! Ha!, à Sainte-Rose-du-Nord et dans la baie Trinité à l'aide de casiers appâtés. Les spécimens provenant de l'estuaire du Saint-Laurent ont été capturés pendant la mission de relevé des poissons de fond

de septembre 1990 effectuée sur le navire NSC *Alfred Needler*. Trois stades de développement (mâles, femelles primipares et femelles multipares) ont été échantillonnés.

Les systèmes enzymatiques polymorphes, chez le flétan du Groenland et la crevette nordique, dans la région étudiée (fjord du Saguenay et estuaire du Saint-Laurent) ainsi que les techniques d'analyse sont présentés au tableau 1.

Les analyses statistiques ont été effectuées en partie à l'aide du logiciel Biosys-1 (Swofford et Selander 1989). Le test d'adéquation du khi carré (χ^2) (*goodness of fit*) a été utilisé pour vérifier l'ajustement des fréquences génotypiques aux proportions d'équilibre de Hardy-Weinberg. Les génotypes dont les effectifs étaient inférieurs à 3 ont été regroupés pour réaliser ces tests (Sokal et Rohlf 1981). Les variations des fréquences alléliques entre les stades de maturité chez la crevette et entre les sites d'échantillonnage ont été comparées à l'aide du test du χ^2 d'hétérogénéité. Les classes d'allèles dont les effectifs attendus étaient inférieurs à 3 ont été regroupées pour la réalisation de ces tests.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les fréquences alléliques par site sont présentées pour le flétan du Groenland au tableau 2 et pour la crevette nordique au tableau 3.

Flétan du Groenland

Pour l'échantillon du Saguenay, les fréquences génotypiques observées sont généralement conformes aux proportions d'équilibre de Hardy-Weinberg bien que des déviations significatives aient été observées pour les loci *EST-1** (χ^2 , $p = 0,02$; 1 dl) et *IDDH** (χ^2 , $p < 0,001$; 1 dl). Par contre, pour l'échantillon provenant de l'Estuaire, les déviations significatives sont plus nombreuses et ont été observées au locus *ADA** (χ^2 , $p = 0,04$; 1 dl), *EST-1** (χ^2 , $p = 0,009$; 1 dl), *IDDH** (χ^2 , $p < 0,001$; 1 dl) et *PGM** (χ^2 , $p = 0,007$; 1 dl). Toutes les déviations observées sont causées par des déficiences en hétérozygotes excepté celle du locus *PGM** qui est due à un surplus d'hétérozygotes. Ces déficiences en hétérozygotes peuvent être attribuables à divers facteurs dont une pression de sélection contre l'hétérozygote, la présence dans un même échantillon de populations dont les fréquences alléliques sont différentes (effet Wahlund), des accouplements assortis et la consanguinité (Smith et Francis 1984). Dans le cas du flétan du Groenland, il est peu probable que la consanguinité soit à l'origine du surplus d'homozygotes étant donné la phase de dispersion pélagique des larves.

La comparaison des fréquences alléliques des échantillons récoltés pendant la pêche sportive hivernale et durant l'été à Sainte-Rose-du-Nord n'a révélé qu'une différence significative au locus *IDHP** (χ^2 , $p = 0,03$; 1dl). Aucune différence significative n'a été observée entre les échantillons de Sainte-Rose-du-Nord (échantillons d'hiver et d'été combinés) et celui de l'Anse de Saint-Étienne. Les résultats des analyses effectuées indiquent donc que le flétan du Groenland forme, à l'intérieur du Saguenay, un groupe homogène.

La comparaison des fréquences alléliques entre l'échantillon du Saguenay (tous les sites regroupés) et celui de l'estuaire du Saint-Laurent a révélé l'existence d'une faible différence significative au locus *EST-1** seulement (χ^2 , $p = 0,04$; 4dl).

Au cours de cette étude, aucun allèle caractéristique du flétan du Groenland du Saguenay n'a été détecté. Les allèles *ADA*F*, *G3PDH-2*B*, *G3PDH-2*C*, *LDH*B*, *MDH*C* et *PGM*E* présents dans l'échantillon du Saguenay et qui n'ont pas été détectés dans l'estuaire du Saint-Laurent, sont cependant présents dans d'autres échantillons du Golfe et de la côte est de l'Atlantique (Sévigny *et al.* 1992). L'absence des allèles *ADA*G*, *EST-2*B*, *IDHP*C*, *IDHP*D*, *MDH*D* et *MDH*E* de l'échantillon du Saguenay, pourrait indiquer un certain isolement de la population de cette population par rapport à celle de l'Estuaire. Cependant, la fréquence de ces allèles est faible et ils pourraient ne pas avoir été détectés dans l'échantillon provenant du Fjord.

L'étude de la variabilité génétique chez le flétan du Groenland du Saguenay et de l'Estuaire n'a pas permis de montrer une différenciation entre les organismes de ces deux écosystèmes. Les résultats indiquent que le flux génique est présentement ou a été dans un passé récent important entre le Saguenay et l'estuaire du Saint-Laurent. Ils sont en accord avec ceux obtenus par Sévigny *et al.* (1992) montrant que le niveau de différenciation est faible chez cette espèce et ce, même entre les sites qui sont séparés par de grandes distances. La distribution géographique des allèles rares indique aussi un fort taux de migration. En effet, plusieurs allèles dont la fréquence est faible se retrouvent à presque tous les sites échantillonnés incluant le Saguenay (Sévigny *et al.* 1992.). Une telle distribution géographique de ces allèles indique l'existence d'un taux de migration élevé (Slatkin 1985). Comme pour les échanges entre le golfe du Saint-Laurent et l'Atlantique (Bowering 1982), les échanges entre l'Estuaire et le fjord du Saguenay s'effectueraient passivement par le transport des oeufs et des larves, et activement par la migration des jeunes individus. En effet, Arthur et Albert (1993 et ce document) ont montré, en utilisant les parasites comme étiquettes biologiques, que les déplacements des adultes étaient restreints et que les individus provenant du Saguenay pouvaient être différenciés de ceux provenant de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.

Crevette nordique

L'ajustement aux proportions d'équilibre de Hardy-Weinberg a été testé en regroupant les divers stades de développement à chaque site. Les résultats de ces tests sont présentés au tableau 4. Des déviations significatives par rapport aux proportions d'équilibre de Hardy-Weinberg ont surtout été observées pour les loci *EST**, *HK-1** et *HK-2**. Toutes ces déviations sont causées par des déficiences en hétérozygotes. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus, pour d'autres loci, chez le flétan du Groenland et les facteurs qui permettent de les expliquer ont été mentionnés antérieurement. Des déviations similaires ont aussi été enregistrées dans d'autres études sur la crevette dans le golfe du Saint-Laurent (Chagnon 1986; Savard 1989; Savard *et al.* 1993).

Les analyses n'ont pas révélé de différences significatives des fréquences alléliques entre les stades de développement pour les trois sites du Saguenay. Cependant, une différence significative

a été observée pour le locus *TR** lorsque tous les échantillons du Saguenay sont regroupés (χ^2 , $p = 0,01$; 2dl). Une différence significative a également été observée entre les stades de développement au locus *HK-1** pour le site d'échantillonnage de l'Estuaire (χ^2 , $p = 0,02$; 2dl).

Les fréquences alléliques ont été comparées entre les sites situés à l'intérieur du Saguenay pour les locus *EST-1**, *HK-1*, *HK-2**, *MDH**, *6-GPDH** et *TR**. Des différences significatives sont observées entre ces trois sites pour les loci *EST** (χ^2 , $p = 0,006$; 4dl), *HK-1** (χ^2 , $p = 0,04$; 2dl) et *HK-2** (χ^2 , $p = 0,01$; 2dl) lorsque tous les stades de développement sont regroupés.

Les différences significatives dans les fréquences alléliques ont été observées entre le Saguenay (tous les sites et les stades de développement regroupés) et l'Estuaire (tous les stades de développement regroupés) au locus *HK-1** (χ^2 , $p < 0,001$; 1dl) et *HK-2** (χ^2 , $p < 0,001$; 1dl).

Les allèles *EST*E*, *G3PDH*C*, *HEX-1*D* qui n'ont pas été détectés dans l'échantillon de l'Estuaire ont été observés à d'autres sites du Golfe et de l'Atlantique (Savard *et al.* 1993). Ces allèles ne sont donc pas caractéristiques d'une population du Saguenay qui serait isolée.

Les différences dans les fréquences alléliques entre les sites du Saguenay de même que les déficiences en hétérozygotes observées à plusieurs loci indiquent que la crevette nordique ne constitue pas un groupe homogène dans le Saguenay. En effet, les différences observées dans les fréquences alléliques sont aussi importantes entre les sites situés à l'intérieur du Saguenay (Baie des Ha! Ha!, Sainte-Rose-du-Nord, Baie Trinité) que la différence observée entre les sites du Saguenay et le site de l'estuaire du Saint-Laurent. Il est important de noter que cette hétérogénéité se produit malgré un potentiel de dispersion apparemment élevé chez cette espèce. En effet, le cycle de vie de la crevette, comme celui du flétan du Groenland, est caractérisé par une phase planctonique de longue durée qui devrait favoriser la dispersion des individus et, de ce fait, prévenir la différenciation génétique.

Dans des études antérieures sur la crevette, Chagnon (1986) et Savard (1989) ont aussi souligné l'importance des variations intrapopulations dans les fréquences alléliques et des déficiences en hétérozygotes. Comme mentionné précédemment, divers facteurs peuvent causer ces déficiences en hétérozygotes (Smith et Francis 1984) et des études complémentaires devront être effectuées pour déterminer l'importance de ces différents facteurs sur la structure génétique de cette espèce.

CONCLUSION

La description détaillée de la structure génétique des espèces du Saguenay est essentielle à la mise en place de mesures visant à la conservation des populations et de leur diversité génétique. Chez les espèces marines, le degré de différenciation génétique résulte des interactions entre les facteurs environnementaux tels que les patrons de circulation, la présence de fronts qui peuvent limiter ou favoriser le déplacement ou le transport des individus et les caractéristiques

du cycle de vie de chaque espèce telles que la présence ou l'absence de la phase planctonique et sa durée, la mobilité des adultes et des juvéniles. Pour obtenir une image globale de la différenciation génétique des populations du Saguenay et pour mettre en lumière les mécanismes qui les gouvernent, des travaux de recherche devront être élargis à des espèces dont les caractéristiques du cycle de vie sont différentes.

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement Stéphane Lévesque, Éric Parent et Geneviève Ross qui ont effectué les analyses de laboratoire et la validation des données. Je remercie également Luc Foisy et Suzan Dionne du service canadien des parcs et Louise Savard et Catherine Couillard du ministère des Pêches et des Océans pour leur collaboration pendant la réalisation de ce projet. La collaboration d'André Talbot a également été précieuse spécialement dans la réalisation de l'étude du flétan du Groenland. Je remercie également les équipes scientifiques et les membres d'équipage du navire NSC *Alfred Needler*.

Ce projet a été financé par le ministère de l'Environnement (service canadien des parcs) et le ministère des Pêches et des Océans.

RÉFÉRENCES

- Arthur, J.R. et E. Albert. 1993. Use of parasites for separating stocks of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the Canadian Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2175-2181.
- Bowering, W.R. 1982. Population dynamics of Greenland halibut in the Gulf of St. Lawrence. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 3: 141-147.
- Chagnon, Y. 1986. Différenciation génétique des stocks de crevette nordique (*Pandalus borealis*) du golfe du Saint-Laurent. Bio-Conseil Inc., rapport remis au MPO et au MAS, nov. 1986, 54 p.
- Savard, L. 1989. Évaluation des concentrations de crevettes (*Pandalus borealis*) du golfe du Saint-Laurent. CSCPCA Doc. Rech. 89/7. 71 p.
- Savard, L., S. Hurtubise et J.-M. Sévigny. 1993. Les nouvelles unités de gestion de la pêche à la crevette nordique (*Pandalus borealis*) dans le nord du golfe du Saint-Laurent. MPO Doc. Rech. 93/21. 32 p.
- Sévigny, J.-M., G. Ross, D. Archambault, et E. Parent. 1992. Genetic variation on Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* from the Saint-Lawrence system and the Northwest Atlantic. CSCPCA Doc. Rech. 92/99. 21 p.

- Slatkin, M. 1985. Rare alleles as indicator of gene flow. *Evolution* 39: 53-65.
- Smith, P.J., et R.I.C.C. Francis. 1984. Glucose phosphate isomerase genotype frequencies, homozygous excess and size relationships in the sand flounder *Rhombosolea plebia*. *Mar. Biol.* 79: 93-98.
- Sokal, R.R., et F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*. 2nd edition. W.H.Freeman and Co., San Francisco, 859 p.
- Swofford, D.L. et R.B. Selander. 1989. A computer program for the analysis of allelic variation in population genetics and biochemical systematics (release 1.7). D.L. Swofford, Illinois Natural History survey.
- Talbot, A. 1992. Description de la pêche sportive hivernale dans le fjord du Saguenay et de ses effets potentiels sur la ressource. Groupe de recherche en productivité aquatique, Université du Québec à Chicoutimi et A. Talbot et Associés. Présenté au ministère de l'Environnement (service canadien des parcs). 123 p. + 4 cartes topographiques.
- Talbot, A. 1993. Évolution de la pêche sportive hivernale du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) et de la morue franche (*Gadus morhua*) dans le fjord du Saguenay. Rapport final, Groupe de recherche en productivité aquatique, Université du Québec à Chicoutimi et A. Talbot et Associés. Présenté au ministère de l'Environnement (service canadien des parcs).

Tableau 1. Systèmes enzymatiques polymorphes chez le flétan du Groenland (FG) et la crevette nordique (CN) dans le fjord du Saguenay et à un site de l'estuaire du Saint-Laurent. (E.C. No = Code d'identification de l'enzyme, Union internationale de biochimie; M = muscle; F = foie; H = hétopancréas; CA = acétate de cellulose; FI = focalisation isoélectrique; P = polyacrylamide).

ENZYME	ABRÉVIATION	E.C. No	NO. D'ALLÈLES	STRUCTURE QUATERNAIRE	TISSU	MÉTHODE	ESPÈCE
Adénosine déaminase	ADA	3.5.4.4	<i>ADA</i> * : 7	monomère	M	AC	FG
Estérases	EST	3.1.1.-	<i>EST-1</i> * : 6 <i>EST-2</i> * : 2 <i>EST</i> * : 6	monomère monomère dimère	M M H	P P P	FG FG CN
Glucose-6-phosphate isomérase	GPI	5.3.1.9	<i>GPI</i> * : 5 <i>GPI</i> * : 3	dimère dimère	M M	AC AC	FG CN
Glycérol-3-phosphate déshydrogénase	G3PDH	1.1.1.8	<i>G3PDH-1</i> * : 2 <i>G3PDH-2</i> * : 2 <i>G3PDH</i> * : 3	dimère dimère dimère	M F H	AC AC AC	FG FG CN
Hexokinase	HK	2.7.1.1	<i>HK-1</i> * : 4 <i>HK-2</i> * : 2	monomère monomère	H H	AC AC	CN CN
L-Iditol déshydrogénase	IDDH	1.1.1.14	<i>IDDH</i> * : 3	dimère	F	AC	FG
Isocitrate déshydrogénase	IDHP	1.1.1.42	<i>IDHP</i> * : 4	dimère	F	FI	FG
L-Lactate déshydrogénase	LDH	1.1.1.27	<i>LDH</i> * : 2	tétramère	M	AC	FG
Malate déshydrogénase	MDH	1.1.1.37	<i>MDH</i> * : 5 <i>MDH</i> * : 2	dimère dimère	M M	AC	FG CN
Mannose-6-phosphate isomérase	MPI	5.3.1.8	<i>MPI</i> * : 3	monomère	F	AC	FG
Phosphoglucomutase	PGM	5.4.2.2	<i>PGM</i> * : 5 <i>PGM</i> * : 2	monomère monomère	F M	AC AC	FG CN
Phosphogluconate déshydrogénase	PGDH	1.1.1.44	<i>PGDH</i> * : 2	dimère	M	AC	CN
Tétrazolium réductase	TR		<i>TR</i> * : 2	dimère	H	AC	CN

Tableau 2. Flétan du Groenland. Fréquences alléliques, hétérozygoties observée (H_{obs}) et attendue (H_{att}) à chaque site échantillonné dans le fjord du Saguenay et l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que pour tous les sites du Saguenay regroupés. Les allèles sont désignés alphabétiquement. Toutes les classes d'âge ont été combinées pour le site de l'estuaire du Saint-Laurent (N = effectif).

Locus/ allèle	Population				
	Saint-Rose- du-Nord (été)	Saint-Rose- du-Nord (hiver)	Anse Saint-Étienne	Saguenay total	Estuaire du St-Laurent
<i>ADA*</i>					
N	34	34	31	99	150
*A	,044	,059	,065	,056	,050
*B	,353	,412	,387	,384	,360
*C	,324	,265	,145	,247	,253
*D	,044	,015	,113	,056	,053
*E	,235	,235	,290	,253	,247
*F	,000	,015	,000	,005	,000
*G	,000	,000	,000	,000	,037
H_{obs}	,765	,706	,710	,727	,620
H_{att}	,712	,701	,728	,721	,739
<i>EST-1*</i>					
N	35	29	32	96	151
*A	,014	,034	,047	,031	,010
*B	,214	,276	,250	,245	,215
*C	,343	,362	,344	,349	,298
*D	,243	,190	,281	,240	,254
*E	,186	,138	,078	,135	,232
H_{obs}	,629	,448	,563	,552	,636
H_{att}	,743	,737	,733	,742	,751
<i>EST-2*</i>					
N	34	29	32	95	148
*A	1	1	1	1	,993
*B	,000	,000	,000	,000	,007
H_{obs}	,000	,000	,000	,000	,014
H_{att}	,000	,000	,000	,000	,013
<i>GPI-1*</i>					
N	35	35	32	102	153
*A	,729	,786	,656	,725	,712
*B	,100	,057	,063	,074	,065
*C	,171	,143	,250	,186	,199
*D	,000	,014	,016	,010	,010
*E	,000	,000	,016	,005	,013
H_{obs}	,514	,314	,531	,451	,477
H_{att}	,430	,359	,502	,433	,448

(Tableau 2 suite)

Locus/ allèle	Population				
	Saint-Rose- du-Nord (été)	Saint-Rose- du-Nord (hiver)	Anse Saint-Étienne	Saguenay total	Estuaire du St-Laurent
<i>GPI-2*</i>	35	35	32	102	153
N					
*A	1	1	1	1	1
<i>G3PDH-1*</i>					
N	35	35	32	102	153
*A	,771	,814	,813	,799	,846
*B	,229	,186	,188	,201	,154
H _{obs}	,229	,314	,313	,284	,260
H _{att}	,353	,302	,305	,321	,268
<i>G3PDH-2*</i>					
N	34	33	31	98	149
*A	,971	,970	1	,980	1
*B	,029	,000	,000	,010	,000
*C	,000	,030	,000	,010	,000
H _{obs}	,059	,061	,000	,041	,000
H _{att}	,057	,059	,000	,040	,000
<i>IDDH*</i>					
N	33	6	30	69	137
*A	,197	,167	,217	,203	,223
*B	,394	,250	,267	,326	,292
*C	,273	,333	,317	,297	,292
*D	,136	,250	,200	,174	,193
H _{obs}	,485	,500	,367	,435	,526
H _{att}	,713	,736	,742	,734	,743
<i>IDHP*</i>					
N	34	24	31	89	134
*A	,294	,104	,129	,152	,112
*B	,706	,896	,871	,848	,877
*C	,000	,000	,000	,000	,004
*D	,000	,000	,000	,000	,007
H _{obs}	,588	,208	,225	,281	,231
H _{att}	,415	,187	,194	,257	,218

(Tableau 2 suite)

Locus/ allèle	Population				
	Saint-Rose- du-Nord (été)	Saint-Rose- du-Nord (hiver)	Anse Saint-Étienne	Saguenay total	Estuaire du St-Laurent
<i>LDH*</i>					
N	35	35	32	102	153
*A	1	1	,984	,995	1
*B	,000	,000	,016	,005	,000
H _{obs}	,000	,000	,031	,010	,000
H _{att}	,000	,000	,031	,010	,000
<i>MDH*</i>					
N	34	34	31	99	150
*A	1	,985	1	,995	,993
*B	,000	,000	,000	,000	,000
*C	,000	,015	,000	,005	,000
*D	,000	,000	,000	,000	,003
*E	,000	,000	,000	,000	,003
H _{obs}	,000	,029	,000	,010	,013
H _{att}	,000	,029	,000	,010	,013
<i>MPI*</i>					
N	33	30	26	89	148
*A	1	1	1	1	1
<i>PGM*</i>					
N	34	34	31	99	150
*A	,765	,750	,839	,783	,770
*B	,147	,176	,145	,157	,150
*C	,088	,044	,016	,051	,057
*D	,000	,015	,000	,005	,023
*E	,000	,015	,000	,005	,000
H _{obs}	,382	,382	,323	,364	,440
H _{att}	,386	,404	,275	,360	,381

Tableau 3. Crevette nordique. Fréquences alléliques, hétérozygoties observée (H_{obs}) et attendue (H_{att}) à chaque site échantillonné dans le Saguenay et l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que pour tous les sites du Saguenay regroupés. Les trois stades de développement ont également été regroupés. Les allèles sont désignés alphabétiquement (N = effectif).

Locus/ allèle	Population				
	Baie des Ha!Ha!	Saint-Rose- du-Nord	Baie Trinité	Saguenay total	Estuaire du St-Laurent
<i>EST*</i>					
N	42	110	110	262	74
*A	,583	,618	,559	,588	,649
*B	,381	,332	,305	,328	,304
*C	,024	,009	,077	,040	,020
*D	,000	,005	,018	,010	,020
*E	,000	,005	,009	,006	,000
*F	,012	,032	,032	,029	,007
H_{obs}	,405	,400	,445	,420	,243
H_{att}	,514	,507	,587	,544	,486
<i>GPI*</i>					
N	44	120	124	288	80
*A	,989	,996	1	,997	,994
*B	,011	,004	,000	,003	,006
H_{obs}	,023	,008	,000	,007	,013
H_{att}	,022	,008	,000	,007	,012
<i>G3PDH*</i>					
N	44	120	124	288	80
*A	1	,983	1	,993	,988
*B	,000	,008	,000	,003	,013
*C	,000	,008	,000	,003	,000
H_{obs}	,000	,000	,000	,000	,000
H_{att}	,000	,033	,014	,025	,025
<i>HEX-1*</i>					
N	37	109	111	257	78
*A	,959	,899	,950	,930	,686
*B	,041	,096	,036	,062	,301
*C	,000	,000	,000	,000	,013
*D	,000	,005	,014	,008	,000
H_{obs}	,027	,147	,063	,093	,372
H_{att}	,078	,182	,095	,131	,439

(Tableau 3 suite)

Locus/ allèle	Population				
	Baie des Ha!Ha!	Saint-Rose- du-Nord	Baie Trinité	Saguenay total	Estuaire du St-Laurent
<i>HEX-2*</i>					
N	43	107	113	263	74
*A	,640	,542	,677	,616	,399
*B	,360	,458	,323	,384	,601
H _{obs}	,302	,486	,345	,395	,176
H _{att}	,461	,496	,437	,473	,479
<i>MDH*</i>					
N	44	120	124	288	80
*A	,432	,396	,435	,418	,481
*B	,568	,604	,565	,582	,519
H _{obs}	,545	,392	,532	,476	,438
H _{att}	,491	,478	,492	,487	,499
<i>PGM*</i>					
N	44	120	124	288	80
*A	,977	,996	,996	,993	,981
*B	,023	,004	,004	,007	,019
H _{obs}	0	,008	,008	,007	,038
H _{att}	,044	,008	,008	,014	,037
<i>PGDH*</i>					
N	42	117	102	277	72
*A	,857	,859	,902	,913	,917
*B	,143	,141	,098	,087	,083
H _{obs}	,286	,231	,176	,144	,167
H _{att}	,245	,242	,177	,158	,153
<i>TR*</i>					
N	44	120	124	288	80
*A	,932	,908	,883	,901	,944
*B	,068	,092	,117	,099	,056
H _{obs}	,136	,167	,218	,177	,106
H _{att}	,127	,150	,207	,178	,112

Tableau 4. Résultats des tests d'adéquation du χ^2 effectués pour vérifier l'ajustement des fréquences génotypiques observées aux proportions d'équilibre de Hardy-Weinberg chez la crevette nordique (un degré de liberté). Tous les stades de développement ont été regroupés à chaque site. Les trois sites du Saguenay ont aussi été regroupés (Total). (*p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001; N.T. = non testé).

Locus	Baie des Ha!Ha!	Sainte-Rose-du-Nord	Baie Trinité	Saguenay (total)	Estuaire
<i>EST</i> *	1,35	*4,22	*4,93	**10,33	***21,04
<i>HK-1</i> *	N.T.	*4,32	***13,52	***21,32	3,23
<i>HK-2</i> *	*5,47	0,07	*5,25	**7,3	***30,39
<i>MDH</i> *	0,44	*4,12	0,76	0,17	1,35
<i>PGDH</i> *	1,06	0,32	0,01	2,25	0,54
<i>TR</i> *	0,19	1,33	0,32	0,02	0,25

L'UTILISATION DES PARASITES DU FLÉTAN DU GROENLAND (*REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES*) POUR LA SÉPARATION DES STOCKS DU FJORD DU SAGUENAY ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT

J. Richard Arthur et Éline Albert

Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

La seule étude traitant des parasites de poissons du fjord du Saguenay jusqu'à maintenant, est celle de Fréchet *et al.* (1983). Les auteurs ont alors constaté la quasi absence de parasites dans l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) de cette région. Seul le protozoaire *Glugea hertwigi* fut retrouvé dans 5 des 621 poissons examinés.

Pour compléter une étude portant sur l'utilisation des parasites comme étiquettes biologiques pour l'identification des stocks de flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) du golfe du Saint-Laurent et du large du Labrador, 30 poissons immatures et adultes provenant du fjord du Saguenay ont été examinés. Vingt-et-une espèces de parasites (4 Protozoaires, 8 Digéniens, 3 Cestodes, 3 Nématodes, 2 Acanthocéphales et 1 Crustacé) ont été identifiées dans cette région sur un total de 46 taxons retrouvés parmi tous les échantillons. Ce nombre est légèrement inférieur au nombre d'espèces retrouvées chez les poissons des eaux adjacentes de l'estuaire du Saint-Laurent (24 espèces dans 21 poissons) et considérablement inférieur à celui des poissons de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent combinés (31 espèces parmi les 110 poissons examinés).

Même si les poissons du fjord du Saguenay n'étaient pas infectés par des parasites uniques à cette région, les différences qualitatives et quantitatives entre leur faune parasitaire et celle des poissons du golfe du Saint-Laurent (incluant l'Estuaire) ont permis la séparation de ces deux régions en utilisant des analyses discriminantes non paramétriques (SAS Institute, Inc. 1989). Tous les poissons ont été classifiés dans leur région d'origine. Nos résultats indiquent qu'il y a très peu ou pas de déplacement des flétans du Groenland de grande taille (immatures ou adultes) entre le fjord du Saguenay et le golfe du Saint-Laurent. Le flux génique observé entre ces régions (Sévigny 1994) doit donc avoir lieu au début de la vie des poissons.

RÉFÉRENCES

- Arthur, J. R. et E. Albert. 1993. The use of parasites for separating stocks of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the Canadian northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2175-2181.

- Fréchet, A., J. J. Dodson et H. Powles. 1983. Les parasites de l'éperlan d'amérique (*Osmerus mordax*) anadrome du Québec et leur utilité comme étiquettes biologiques. *Can. J. Zool.* 61: 621-626.
- SAS Institute, Inc. 1989. SAS/STAT user's guide version 6, 4th ed, Vol. 1 et 2. Cary, N.C.
- Sévigny, J.-M. 1994. Variation génétique chez le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) et la crevette nordique (*Pandalus borealis*) du fjord du Saguenay. p.50-63. *In* J.-M. Sévigny et C.M. Couillard (éds). Le fjord du Saguenay: un milieu exceptionnel de recherche. *Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat.* 2270.

CARACTÉRISTIQUES DE LA POPULATION DE FLÉTAN DU GROENLAND (*REINHARDTIUS HIPPOGLOSSOIDES*) DU FJORD DU SAGUENAY

André Talbot¹ et Jean-Marie Sévigny²

¹ A. Talbot & associés
1030, rue du Domaine
Cap-Rouge (Québec) G1Y 2C6

² Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

INTRODUCTION

La morphologie du bassin amont du Fjord et le patron de circulation entre l'estuaire du Saint-Laurent et le Fjord pourraient favoriser le développement de populations résidentes de poissons dans le fjord du Saguenay. Au cours de la dernière décennie, la pêche sportive hivernale a pris beaucoup d'importance et le développement de cette activité pourrait se traduire par une augmentation de la pression sur les populations résidentes. Une connaissance adéquate des caractéristiques du cycle de vie des espèces exploitées est essentielle à la compréhension de l'effet de l'exploitation sur ces populations. L'objectif de cet exposé est de décrire les caractéristiques des populations telles que la croissance, la structure par âge et par taille, le rapport des sexes et la maturité pour le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) du fjord du Saguenay. Ces paramètres des populations sont aussi comparés à ceux des stocks de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et de l'Atlantique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données nécessaires à la réalisation des analyses ont été recueillies lors d'un échantillonnage effectué pendant l'été 1990 à Sainte-Rose-du-Nord et à l'Anse de Saint-Étienne à l'aide de filets maillants et de palangres. Des données ont aussi été obtenues par le biais de la pêche sportive hivernale à l'Anse-Saint-Jean, Baie-des-Ha!Ha!, Baie Éternité, Sainte-Rose-du-Nord et Saint-Fulgence en 1991 ainsi qu'à Sainte-Rose-du-Nord en 1992. La brimbale est largement utilisée dans ce type de pêche. Des mesures de la longueur mâchoire-opercule ont aussi été effectuées sur des carcasses dans le but de reconstituer la longueur et le poids total des spécimens incomplets et ainsi, d'augmenter l'effectif de l'échantillon. Les régressions utilisées ont été décrites par Talbot (1992 et 1993).

L'âge des spécimens a été déterminé à partir des otolithes selon la méthode de Lear et Pitt (1975). Elle s'est cependant avérée plus difficile à appliquer sur les spécimens du fjord du Saguenay dont les annuli étaient moins bien définis que ceux des spécimens provenant du Saint-Laurent (D. Archambault, comm. pers.). Ces difficultés de détermination d'âge pourraient biaiser les comparaisons effectuées avec les résultats obtenus par d'autres équipes de recherche.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La longueur de la plupart des individus capturés varie entre 40 et 56 cm inclusivement (68%), mais l'étendue de la distribution était de 32 à 90 cm (Figure 1). Aucun individu de taille inférieure à 30 cm n'a été capturé malgré les efforts d'échantillonnage dirigés vers les individus de cette taille (utilisation d'hameçons plus petits). La fréquence des tailles des individus capturés pendant l'été 1990 ne diffère pas de celle des individus provenant des échantillons prélevés en hiver. Cependant, la distribution de la taille des spécimens capturés pendant l'échantillonnage de l'été est moins étendue et bimodale. Pour la même période de temps, la taille modale des prises commerciales dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent variaient entre 38 et 43 cm, selon l'engin de pêche. Il y avait cependant 2 modes dans la fréquence des tailles, soit 17 cm et 27 cm, lors du relevé scientifique d'été effectué sur le NSC *Alfred Needler* en 1991 (Morin *et al.* 1992). Avant la chute des rendements de la pêche commerciale en 1989, les tailles modales se situaient entre 43 et 52 cm (1984-86).

La relation entre le poids et la longueur totale est décrite par l'équation:

$$P_t = 0,0021 L_t^{3,373} \quad (n=241, r^2=0,953), \text{ où:}$$

P_t = poids total

L_t = longueur totale

Pour chaque classe d'âge, le poids des flétans du Groenland capturés en été était légèrement plus élevé que celui des spécimens capturés en hiver ($F=110,7$, $dl=1, 311$, $P<0,0001$). Des différences significatives dans la longueur totale des prises ont aussi été observées entre les différents sites de pêche sur le Saguenay. La longueur totale et l'âge varient entre les sites d'échantillonnage (longueur totale: $F=3,95$, $dl=4, 379$, $P=0,004$; Âge: $F=2,371$, $dl=4, 259$, $P=0,05$). Ces différences sont cependant faibles (corrélation intraclasse=20%, $r^2=0,04$ pour la longueur totale; corrélation intraclasse=18,8% et $r^2=0,035$ pour l'âge) et les effectifs sont petits pour les sites de Baie des Ha! Ha!, Anse-Saint-Jean et Rivière-Éternité.

Trois fois plus de femelles que de mâles ont été capturées pendant l'échantillonnage expérimental de l'été 1990 et au cours des pêches sportives hivernales de 1991 de 1992. Cette asymétrie dans le rapport des sexes, qui a été observée à tous les sites d'échantillonnage, n'est pas observée dans les prises commerciales effectuées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Une déviation importante dans le rapport des sexes en faveur des femelles a cependant été rapportée pour un échantillon provenant de la baie de Cumberland par Sévigny *et al.* 1992.

Les femelles atteignent trois ans de plus que les mâles dans les prises. En effet, l'âge maximum des mâles capturés est de 8 ans alors que celui des femelles est de 11 ans. La taille des femelles est légèrement supérieure à celle des mâles à l'âge de huit ans bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative. Une différence comparable a aussi été observée chez le flétan du Groenland du golfe du Saint-Laurent et des régions Nord-ouest (Bowering 1983) et Nord-est de l'Atlantique (Godø et Haug 1989).

Les taux de mortalités estimés à partir des fréquences d'âges selon la méthode de Gulland (1965) sont beaucoup plus élevés pour les mâles (>50 %) que pour les femelles (27 % à 43 %), et augmentent en 1992 pour les deux sexes (Figure 2). Ces taux de mortalité peuvent être associés à la différence des effectifs de chaque sexe dans les captures. La différence apparente du taux de mortalité entre les sexes peut être attribuée à plusieurs causes potentielles autres qu'une simple mortalité plus élevée des mâles. En effet, il est possible que la pêche se fasse principalement sur des bancs de femelles matures, soit parce qu'il existe une migration spécifique aux sexes ou que la relation de la population avec l'habitat est spécifique aux sexes. De plus, l'activité hivernale des mâles peut être réduite par rapport à celle des femelles ce qui aurait pour effet de réduire leur probabilité de capture. L'augmentation du taux de mortalité dans le temps (Figure 2) peut aussi être attribuée à plusieurs causes potentielles. En effet, puisque la pêche s'est intensifiée depuis quelques années, il est probable que la structure des âges est en mutation vers un nouvel équilibre écologique. Par contre, les mêmes sites n'ont pas été échantillonnés d'une année à l'autre même s'ils sont tous situés dans le bassin amont du Fjord et que la majorité des spécimens proviennent de la région immédiate de Sainte-Rose-du-Nord. Cette lacune dans l'échantillonnage pourrait néanmoins biaiser les résultats obtenus. Les taux de mortalité sont très élevés pour cette espèce, et ce, particulièrement en 1992. Si les taux de mortalité sont un reflet fidèle de la situation dans le Fjord, l'espèce ne pourra pas supporter une telle mortalité sans qu'il y ait risque d'effondrement de la population dans quelques années.

Les gonades des mâles étaient très peu développées et n'ont pas fait l'objet d'analyses détaillées. La maturation des gonades des femelles commence vers l'âge de sept ans dans le fjord du Saguenay et la majorité des individus atteignent leur maturité sexuelle à l'âge de neuf ans, ce qui correspond à une longueur totale de 55 cm. Les courbes ajustées probit prédisant la proportion de femelles mûres dans la population du Saguenay sont décrites, pour l'âge et la longueur totale, par les équations [avec erreurs-types]:

$$M = \Phi (-7,68[\pm 1,87] + 0,97[\pm 0,23] \text{ âge})$$

$$M = \Phi (13,13[\pm 3,38] + 0,26[\pm 0,07] L_t)$$

où M = proportion de femelles matures

L_t = longueur totale

Φ = la fonction de probabilité normale cumulative

Ces courbes prédisent que 50 % des femelles sont mûres à l'âge de 7,9 ans et 50,9 cm (Figures 3, 4). Une diminution du poids relatif des ovaires observé chez les femelles capturées en hiver

indique que cette espèce pourrait frayer dans le Saguenay. Bien que cette diminution du poids relatif des ovaires corresponde à la période de fraye probable de l'espèce (Smidt 1969), elle pourrait aussi être attribuable à une résorption du tissu gonadique.

Plusieurs paramètres de la population de flétan du Groenland du Saguenay diffèrent de ceux des populations du golfe du Saint-Laurent et de l'Atlantique (Tableau 1). En effet, l'âge et la taille à laquelle 50 % des individus atteignent la maturité sexuelle (7,9 ans et 50,9 cm) sont les plus faibles de toutes les populations du Nord-ouest de l'Atlantique (Bowering 1983). Les taux de croissance sont aussi inférieurs à ceux de la population du golfe du Saint-Laurent (régions 4RST de l'OPANO), mais la taille et l'âge modal de la population du Saguenay sont plus élevés. D'une manière générale, les captures de flétan du Groenland dans le Saguenay sont composées d'individus plus âgés et plus gros que ceux des captures commerciales et expérimentales de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Cette différence dans la taille et l'âge modaux s'est amplifiée progressivement depuis 1980 et pourrait être attribuée à l'exploitation des stocks du Golfe et de l'Atlantique (Talbot 1993).

Les caractéristiques de la population du Saguenay sont souvent des extrêmes pour l'espèce. Cependant ses caractéristiques la rapprochent davantage de la population du Saint-Laurent que de celles de l'Atlantique (Figure 5), ce qui laisse supposer l'existence d'un lien entre ces deux populations. Par contre les différences observées entre la population du Saguenay et de celles du Saint-Laurent montrent que le flétan du Groenland passe une partie importante de son cycle de vie dans le fjord.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Luc Foisy et Suzan Dionne (service canadien des parcs) qui ont assuré le soutien technique du projet. Marie Harkin a saisi et validé les données et coordonné divers aspects du travail. Christine Simard, Alain Bourgeois et Louise Nadon ont recueilli les données. Richard Arthur nous a permis d'utiliser ses données expérimentales. Catherine Couillard, Élane Albert et Peter Hodson ont participé à la réalisation des recensements. Diane Archambault a déterminé les âges des spécimens.

Le projet a été financé par le ministère de l'Environnement (service canadien des parcs). L'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) par l'entremise d'André Leclerc a gracieusement fourni des espaces de laboratoires et de stockage. Nous remercions particulièrement les pêcheurs (hommes et femmes) qui ont collaboré à l'étude.

RÉFÉRENCES

Bowering, W.R. 1978. Age and growth of the Greenland halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum), in the ICNAF subareas 2-4. ICNAF Res. Bull. 13: 5-10.

- Bowering, W.R. 1983. Age, growth, and sexual maturity of Greenland halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum), in the Canadian Northwest Atlantic. Fish. Bull. 81: 599-611.
- Bowering, W.R. et D.E. Stansbury. 1984. Regressions of weight on length for Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) from Canadian waters of the Northwest Atlantic. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 5: 107-108.
- Fréchet, A. 1987. Exploitation du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) du golfe du Saint-Laurent en 1986. CSCPCA Doc. Rech. 87/56. 23 p.
- Godø, O.R. et T. Haug. 1989. A review of the natural history, fisheries, and management of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the eastern Norwegian and Barents Seas. J. Cons. int. Explor. Mer 46: 62-75.
- Gulland, J.A. 1965. Estimation of mortality rates. Annex to Rep. Arctic Fish Working Group. Int. Counc. Explor. Sea. C.M. 3: 71-79.
- Lear, W.H. 1968. Length-weight relationship of commercial-size Greenland Halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum). ICNAF Res. Bull. 5:19-121.
- Lear, W.H. et T.K. Pitt. 1975. Otolith age validation of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*). J. Fish. Res. Board Can. 32: 289-292.
- Morin, B., A. Fréchet, M. Aparicio, L. Lefèbvre et B. Bernier. 1992. Evaluation du stock de flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) du golfe du Saint-Laurent. CSCPCA Doc. Rech. 92/85. 39 p.
- Smidt, E.L.B. 1969. The Greenland halibut, *Reinhardtius hippoglossoides* (Walb.), biology and exploitation in Greenland waters. Medd. Dan. Fisk. Hav. 6: 79-148.
- Sévigny, J.-M., G. Ross, D. Archambault et É. Parent. 1992. Genetic variation on Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* from the Saint-Lawrence system and the Northwest Atlantic. CSCPCA Doc. Rech. 92/99. 21 p.
- Talbot, A. 1992. Description de la pêche sportive hivernale dans le fjord du Saguenay et de ses effets potentiels sur la ressource. Rapport final, Groupe de recherche en productivité aquatique, Université du Québec à Chicoutimi et A. Talbot et Associés. Présenté au Ministère de l'environnement (service canadien des parcs). 123 pp. + 4 cartes topographiques.

- Talbot, A. 1993. Évolution de la pêche sportive hivernale du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) et de la morue franche (*Gadus morhua*) dans le fjord du Saguenay. Rapport final, Groupe de recherche en productivité aquatique, Université du Québec à Chicoutimi et A. Talbot et Associés. Présenté au Ministère de l'environnement (service canadien des parcs).
- Tremblay, C et F. Axelsen. 1982. Données sur la pêche, la biologie et l'abondance du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) dans le golfe du Saint-Laurent. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec. Cahier d'information No 98. 27p.

Tableau 1. Comparaison des caractéristiques de populations du flétan du Groenland provenant de différentes régions.

Population	Croissance (cm/année)		Relation L./P.	Sexe ratio	Mortalité moyenne (z)		Âge modal	50% Maturité (femelles)	
	M	F	L_{tot}	M:F	Mâles	Femelles	(bimodale : 2 valeurs)	Âge	Taille (cm)
Saguenay	4,7	4,8	$0,0021L^{3,37}$	26,4:73,6	0,77	0,45	8	7,9	50,9
Estuaire Saint-Laurent ^a			$0,000525L^{3,125}$	50,9:49,1 ^d	,74 (0,32-1,37)		6	$\pm 10^d$	
Terre-Neuve (3k) ^b	5,77	6,47	$0,0000039L^{3,23}$	$\pm 50:50$					
Terre-Neuve (3L) ^b	6,79	6,89		$\pm 50:50$					
Terre-Neuve (3P) ^b	7,17	7,51		$\pm 50:50$					
Baffin Bank ^c	6,4	6,5		$\pm 50:50$			M : 4 F : 4	10,6	71,8
Saglek Bank ^c	6,5	6,7	$0,00291L^{3,28f}$	$\pm 50:50$			M : 6,8 F : 5,8	9,6	64,8
Nain Bank ^c	6,3	6,4	$0,0021L^{3,36f}$	$\pm 50:50$			M : 4,8 F : 4	10,8	73,1
Hamilton Bank ^c	6,3	6,4	$0,0022L^{3,35f}$				M : 3,6 F : 3,6	12	80,9
NorthEast NFLD Shelf ^c	6,2	6,6	$0,0023L^{3,33f}$ $0,0000087L^{3,23e}$	$\pm 50:50$			M : 3,6 F : 3,6	12	79,6
Golfe Saint-Laurent ^c	6	6,4	$0,0052L^{3,13f}$	$\pm 50:50$			M : 6 F : 7	7,8	57,8

^a : Données des prises commerciales 1986 (Fréchet 1987; voir Talbot 1993); ^b : Bowering (1978); ^c : Bowering (1983);
^d : Tremblay et Axelsen (1982); ^e : Lear (1968); ^f : Bowering et Stansbury (1984)

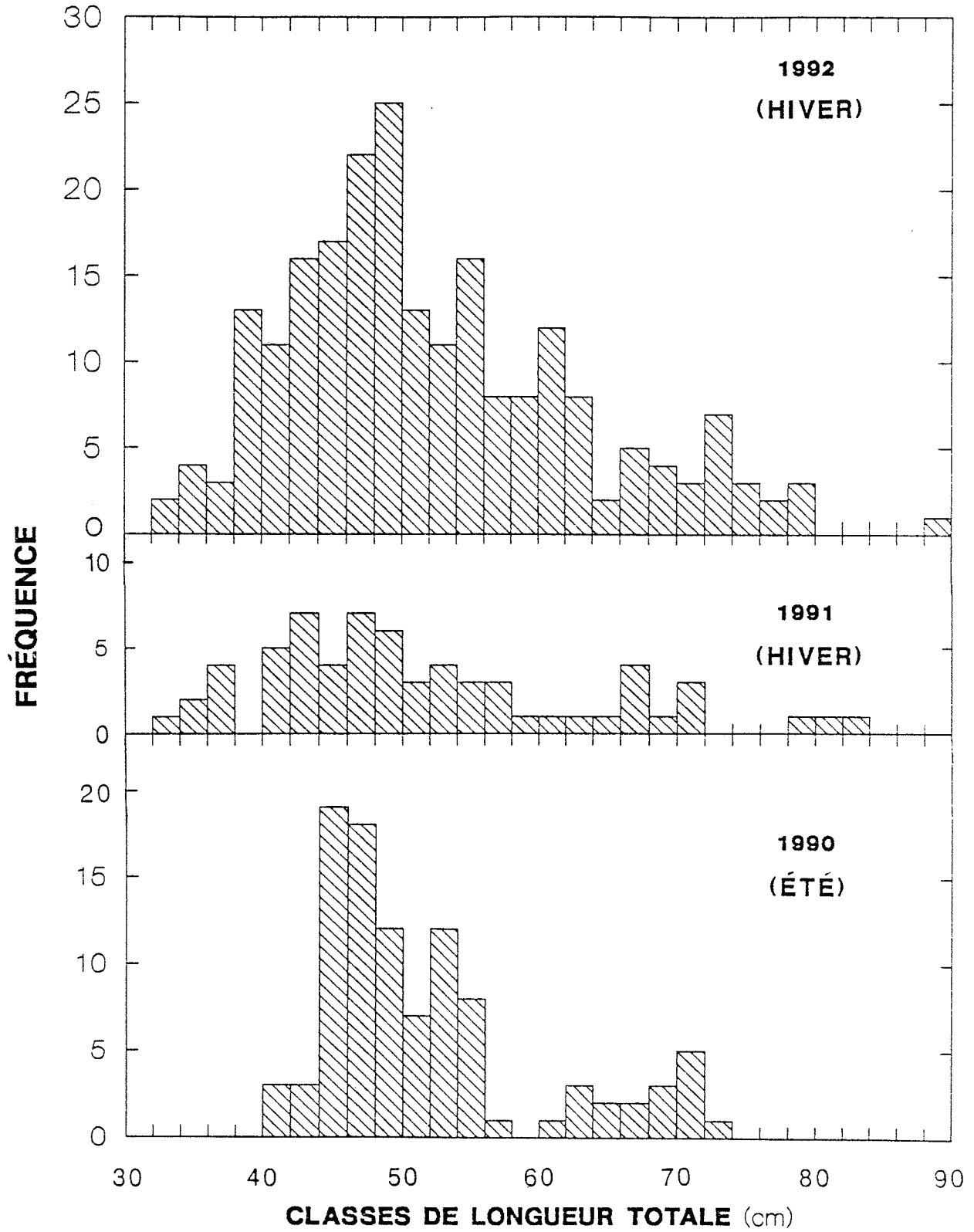


Figure 1. Distribution de la fréquence de longueur totale du flétan du Groenland pour chaque année d'échantillonnage.

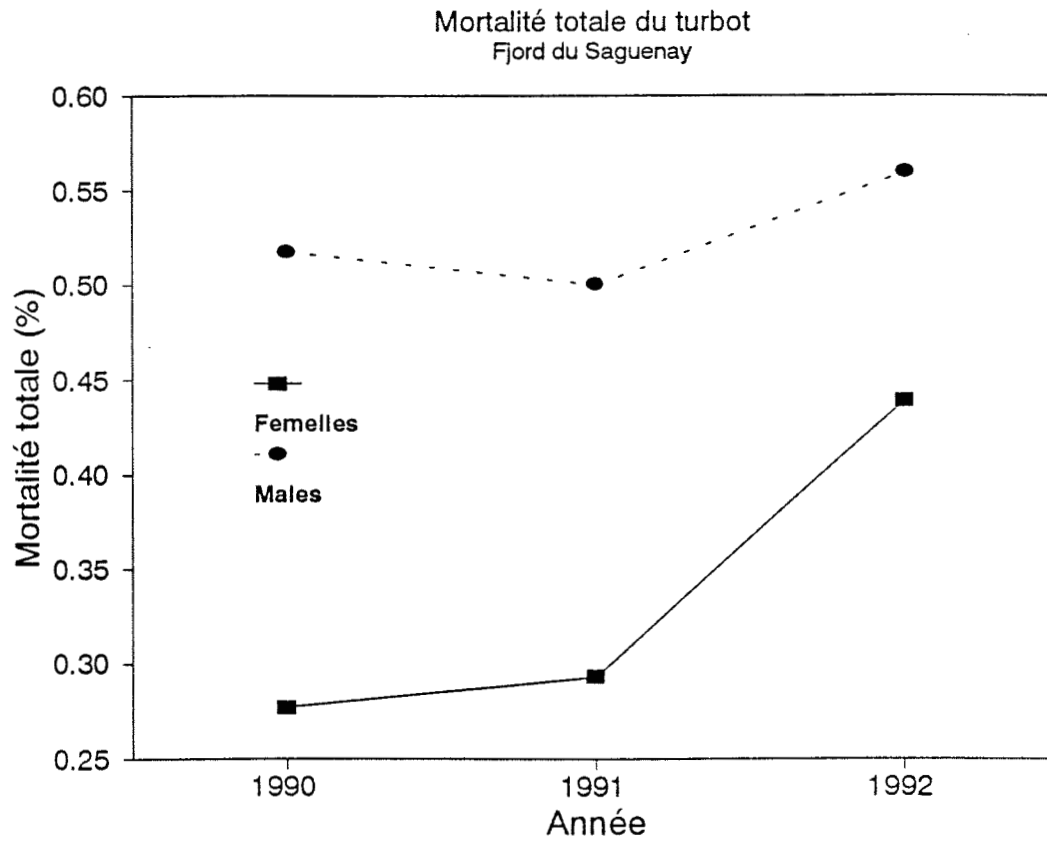


Figure 2. Estimation de la mortalité totale pour le flétan du Groenland dans le fjord du Saguenay.

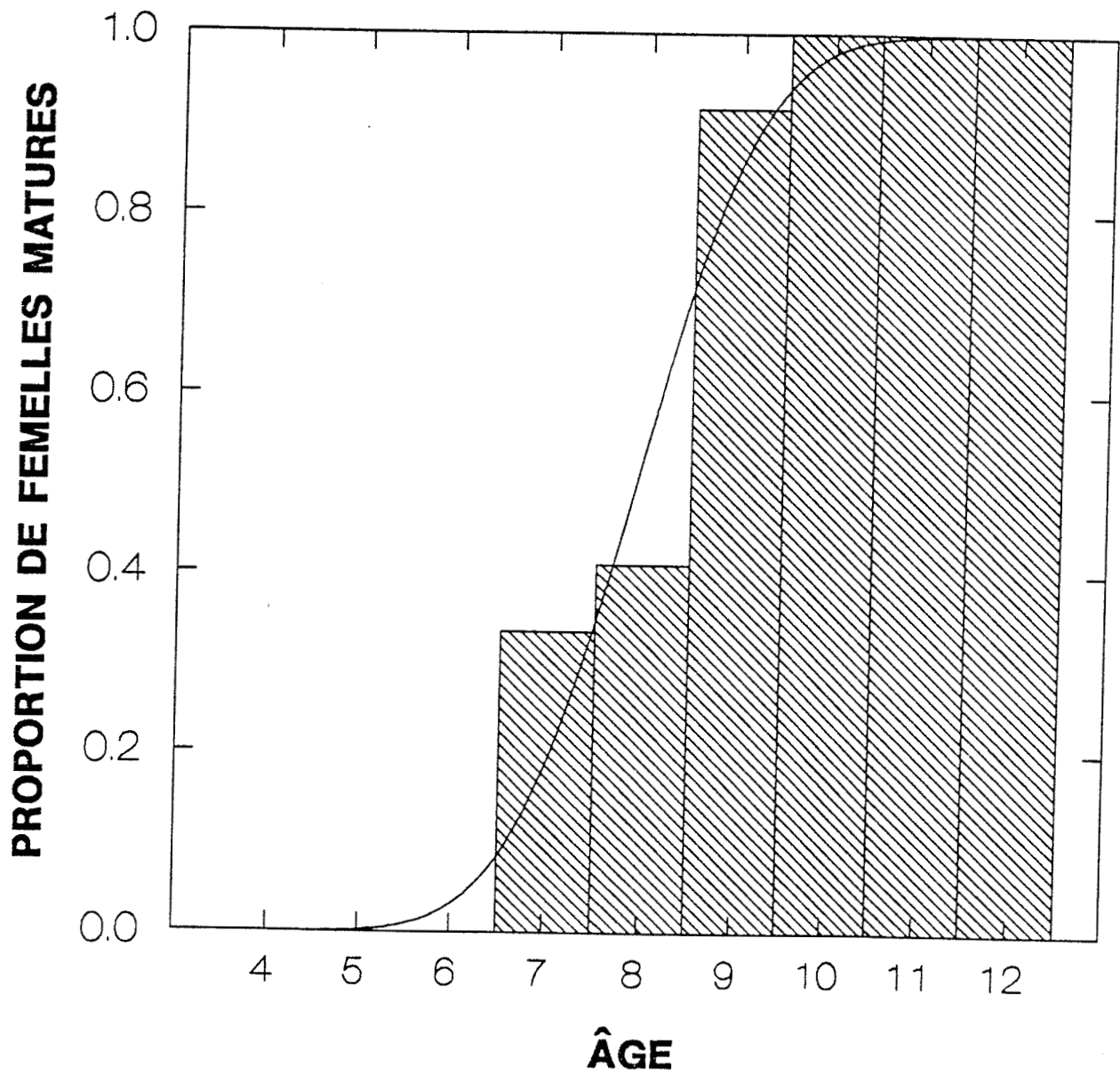


Figure 3. Proportion des femelles matures en relation avec l'âge des flétans du Groenland dans le fjord du Saguenay. La courbe ajustée est une régression probit.

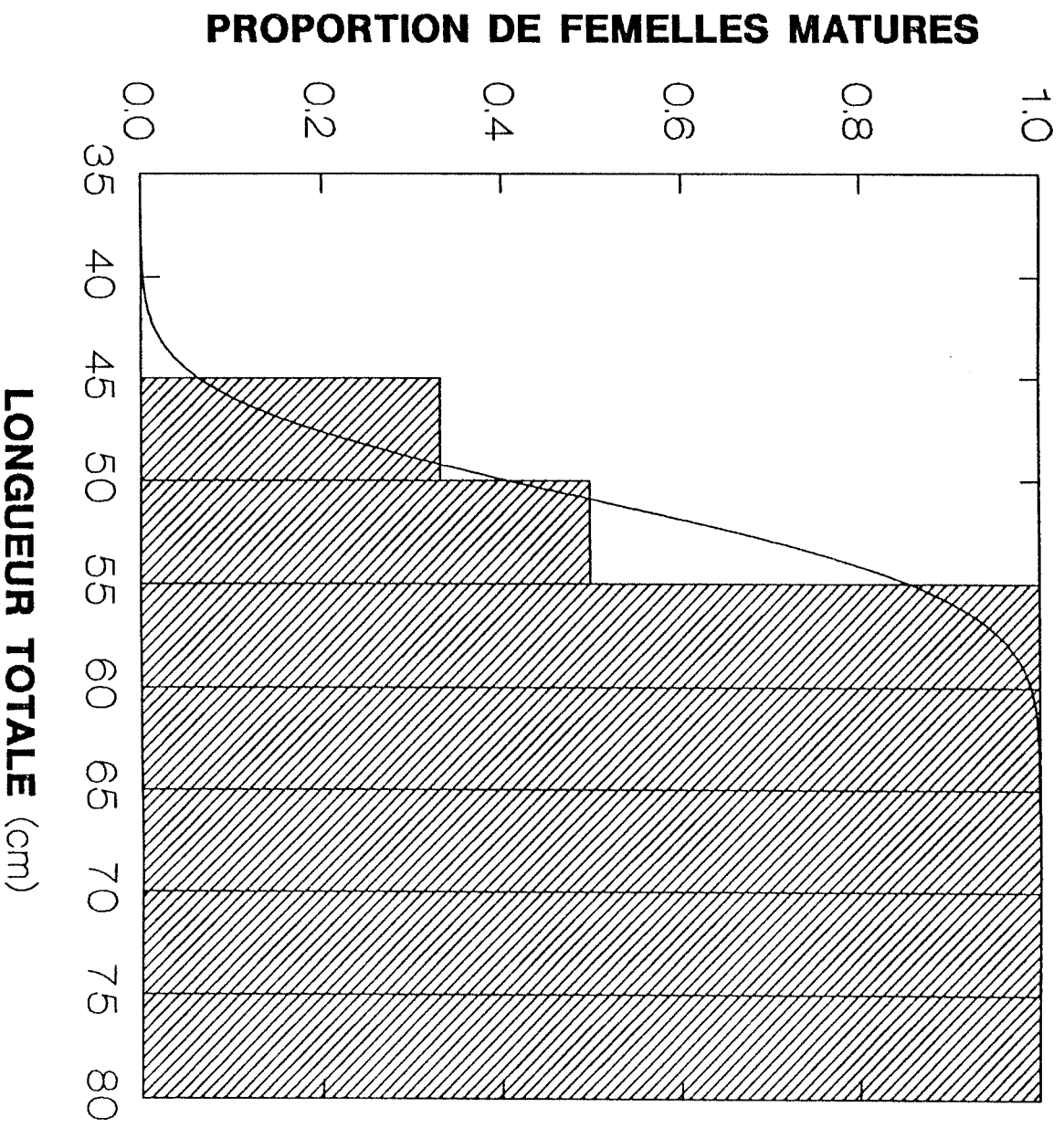


Figure 4. Proportion des femelles matures en relation avec la longueur totale des Nétans du Groenland dans le fjord du Saguenay. La courbe ajustée est une régression probit.

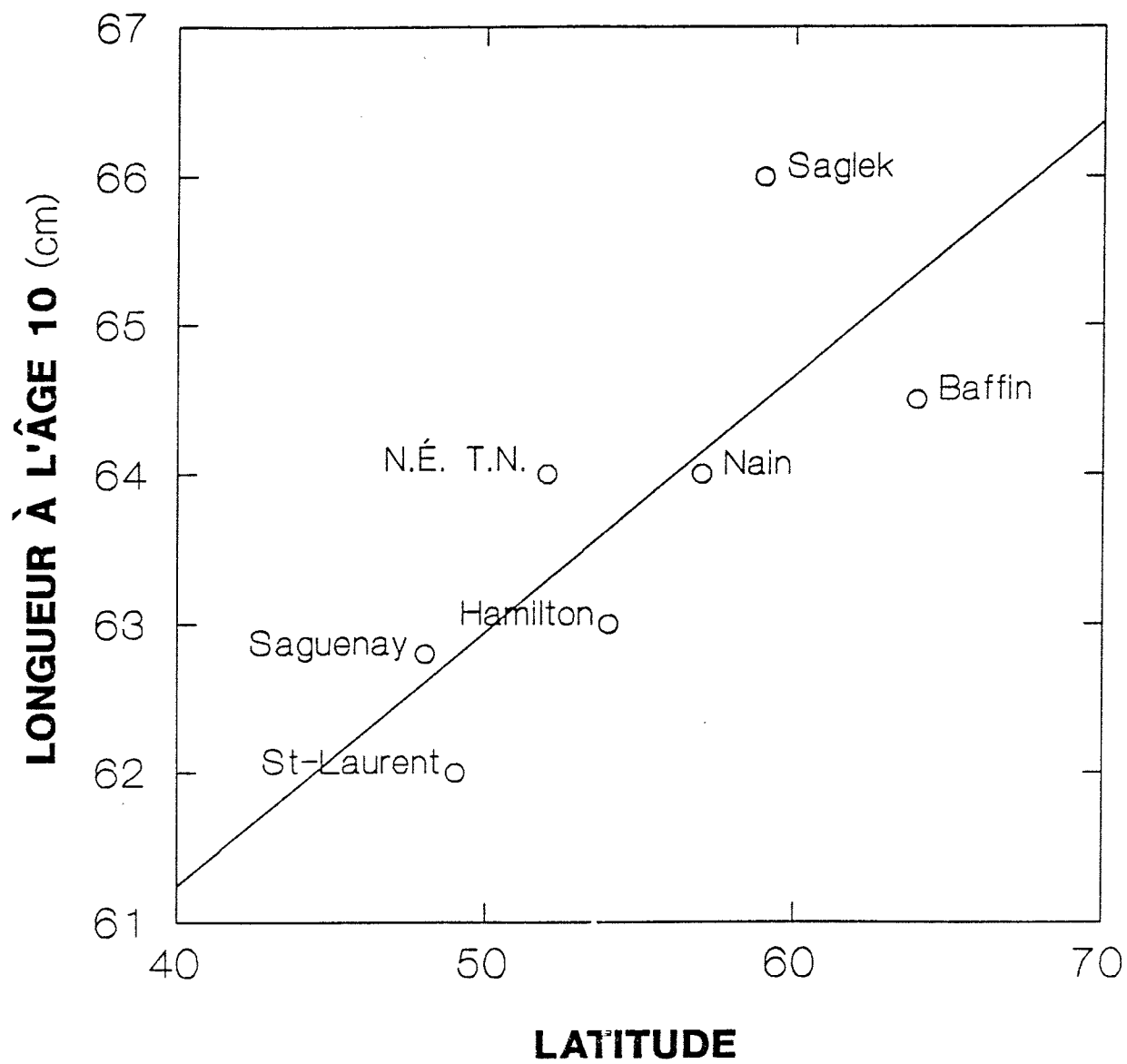


Figure 5. Relation entre la longueur à l'âge de 10 ans et la latitude. Les points représentent des populations de flétans du Groenland du Nord-ouest de l'Atlantique (source: Bowering 1983).

BIOLOGIE DU SÉBASTE ATLANTIQUE (*SEBASTES* SP.) DANS LE FJORD DU SAGUENAY

André Talbot¹, Alain Bourgeois² et Jean-Marie Sévigny³

¹ A. Talbot & associés
1030, rue du Domaine
Cap-Rouge (Québec) G1Y 2C6

² Université du Québec à Chicoutimi
Département des Sciences fondamentales
555, boul. de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1

³ Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

INTRODUCTION

Le sébaste est l'espèce marine dont les taux de capture sont les plus élevés pendant la pêche sportive hivernale qui se déroule sur le fjord du Saguenay entre les mois de décembre et mars de chaque année (Talbot 1992; Bourgeois 1993). Malgré son importance, la biologie de cette espèce est très peu connue dans le Fjord. Cette étude vise à combler certaines de ces lacunes en décrivant divers aspects de la biologie du sébaste (*Sebastes* sp.) dans le fjord du Saguenay.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'échantillonnage s'est déroulé pendant la pêche sportive hivernale de janvier à mars 1991 dans la Baie des Ha!Ha!, à Sainte-Rose-du-Nord, à Baie-Éternité et à l'Anse-Saint-Jean. Les spécimens nécessaires à la réalisation de cette étude ont été obtenus auprès des pêcheurs des différents villages de pêche. Les spécimens étaient capturés à des profondeurs variant entre 30 et 50 m, à l'aide de lignes à main équipées de 2 ou 3 hameçons. Ces lignes étaient appâtées avec de l'éperlan. Les sébastes étaient conservés à -20°C jusqu'à la réalisation des diverses analyses.

Les analyses électrophorétiques de la malate déshydrogénase (MDH) du foie, nécessaires à l'identification des espèces présentes dans le fjord du Saguenay ont été réalisées sur des gels d'acétate de cellulose selon la méthode de Hebert et Beaton (1989).

L'âge des spécimens a été déterminé à partir des otolithes. Les indices gonadosomatiques (IGS) ont été calculés pour chacun des sites et pour les sexes séparés à partir des poids humides selon l'équation:

$$\text{IGS} = \text{Poids des gonades (g)} \times 100 / [\text{Poids corporel (g)} - \text{Poids gonades (g)}].$$

La croissance a été évaluée pour chaque site et a été représentée par la pente de la régression longueur-âge.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse électrophorétique de la MDH a permis de déterminer que l'espèce présente dans le Saguenay lors de cet échantillonnage est le sébaste atlantique (*Sebastes mentella*). En effet, les tests d'adéquation de G n'ont pas révélé de déviations significatives des fréquences génotypiques observées par rapport à celles attendues selon l'équation d'équilibre de Hardy-Weinberg. Ces résultats suggèrent donc que le sébaste du Fjord forme un groupe homogène (voir McGlade *et al.* 1983; Rubec *et al.* 1991; Sévigny et de Lafontaine 1992 pour une discussion concernant l'identification des différentes espèces de sébaste).

La courbe de croissance de von Bertalanffy pour l'ensemble des échantillons est estimée à $L_t = 37,29 (1 - e^{-0,071(t+2,34)})$, ($n=1\ 188$). La valeur de l'indice k (0,071) est faible et caractéristique d'une espèce à croissance faible et à longue vie.

Les caractéristiques des échantillons récoltés dans les différents sites sont présentées au tableau 1. Le poids moyen et l'âge des mâles et des femelles capturés sont plus élevés aux sites de Sainte-Rose-du-Nord et de Baie-Éternité. Il faut noter que ces deux sites sont aussi les plus profonds qui ont été échantillonnés.

La distribution des captures en fonction de l'âge varie également selon les sites. Cette distribution est bimodale dans la Baie des Ha!Ha! où les individus âgés de 11-12 ans et de 16 ans forment deux pics d'abondance distincts. Le pic formé par les individus âgés d'environ 11-12 ans est le plus important (Figure 1). Les captures effectuées à Saint-Rose-du-Nord et à Baie-Eternité sont dominées par les individus de 16 ans alors que celles effectuées à l'Anse Saint-Jean sont dominées par les individus de 13 ans. La distribution à ces sites est unimodale (Figure 1). Il semble donc que 2 classes d'âge soient proportionnellement plus abondantes dans le Saguenay. Les différences dans la distribution des captures en fonction de l'âge pourraient indiquer la tendance qu'ont les individus plus âgés et plus gros à migrer vers les sites plus profonds (Atkinson 1989).

La croissance telle qu'estimée par la pente de la relation longueur/âge diffère entre les sites (Tableau 1). Cette variabilité est principalement due au site de Sainte-Rose-du-Nord et semble associée à la composition en âge observée aux différents sites. L'index gonadosomatique

varie entre les sites, mais la composante majeure de la variance inter-sites est due au site de Sainte-Rose-du-Nord.

La croissance du sébaste est plus faible dans le Saguenay que dans l'estuaire du Saint-Laurent et l'Atlantique (Bourgeois 1993; Doubleday *et al.* 1984). Un sébaste prend en moyenne 11,4 ans pour atteindre une longueur de 20 cm dans le Saguenay. De faibles taux de croissance ont aussi été observés chez d'autres espèces marines qui passent au moins une partie de leur cycle de vie dans le Fjord (Talbot 1992 et 1993).

L'importance des captures de sébastes a été évaluée par l'entremise d'un recensement complet de l'activité de pêche durant la saison 1990-1991. Nous avons estimé le nombre de pêcheurs actifs et le rendement moyen pour chaque site durant la semaine et durant la fin de semaine. Le nombre de sébastes capturés en hiver 1990-1991 est estimé entre 110 000 et 184 000 pour l'ensemble du Saguenay, et 77 000 pour la Baie des Ha!Ha! seulement. La Baie des Ha!Ha! est le site le plus important de pêche au sébaste dans le Saguenay, avec 70% des pêcheurs-jours. Le taux de la mortalité totale dans le Saguenay, estimé à partir de l'abondance des classes d'âge selon la méthode de Gulland (1965), est de 28%. En présumant que le taux de mortalité naturelle dans le Saguenay est comparable à celui estimé pour les populations de l'Atlantique (Mayo 1980), la mortalité due à la pêche s'élèverait à environ 18% dans le Saguenay.

Les différences observées dans les caractéristiques des captures aux différents sites de pêche indiquent que les déplacements du sébaste sont limités durant la saison de la pêche. Une migration limitée pourrait avoir des conséquences sur la réponse de la population face à la pression d'exploitation. Elle pourrait également avoir des effets sur les niveaux de contamination de la chair entre les sites de pêche.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Raynald Côté qui a co-superviser les travaux de thèse de M. Alain Bourgeois. Luc Foisy et Suzan Dionne (service canadien des parcs) qui ont assuré le soutien technique du projet. Christine Simard a participer à la cueillette des données. Brigitte Bernier a initié Alain Bourgeois à la détermination de l'âge à partir de la lecture des otolithes.

Le projet a été supporté financièrement par le ministère de l'Environnement (service canadien des parcs).

RÉFÉRENCES

- Atkinson, D.B. 1989. Diel movements of beaked redfish and the implications of these for stratified random bottom trawl estimates of biomass and abundance. *North Amer. J. Fish. Man.* 9: 163-170.

- Bourgeois, A. 1993. Évaluation de l'exploitation du sébaste atlantique (*Sebastes mentella*) par la pêche sportive hivernale sur le Saguenay, saison 1990-91. Mémoire de maîtrise. Univ. du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, (Québec). 73 p.
- Doubleday, W.G., D. Rivard et W.D. McKone. 1984. Estimation of partial recruitment and yield per recruit for an otter trawl fishery for deepwater redbfish. North Amer. J. Fish. Manag. 4: 15-31.
- Hebert, P. D. N. et M. J. Baeton. 1989. Methodologies for allozyme analysis using cellulose acetate electrophoresis. Depart. Biol. Sc. Gr. Lakes Inst. 31 p.
- Gulland, J.A. 1965. Estimation of mortality rates. Annexe au Rap. Arctic Fish Working Group. Cons. Int. Explor. mer. C.M. 46: 71-79.
- Mayo, R.K. 1980. Exploitation of redbfish, *Sebastes marinus* (L) in the Gulf of Maine-Georges Bank region, with particular reference to the 1971 yearclass. J. Northw. Atl. Fish Sci. 1: 21-37.
- McGlade, J. M., M. C. Annand et T. J. Kenchinton. 1983. Electrophoretic identification of *Sebastes* and *Helicolenus* in the Northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1861-1870.
- Rubec, P. J., J. M. McGlade, B. L. Trottier et A. Ferron. 1991. Evaluation of methods for separation of gulf of St. Lawrence beaked redbfishes, *Sebastes fasciatus* and *S. mentella*: Malate dehydrogenase mobility patterns compared with extrinsic gasbladder muscle passages and anal fin ray counts. Can. J. Fish Aquat. Sci. 48: 640-660.
- Sévigny, J.-M. et Y. de Lafontaine. 1992. Identification of redbfish juveniles in the Gulf of St. Lawrence using genotypic specific variations, p. 69-73. In Y. de Lafontaine, T. Lambert, G.R. Lilly, W.D. McKone, et R.J. Miller (éds.). Juvenile stages: the missing link in fisheries research. Report of a Workshop. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1990: vii + 139 p.
- Talbot, A. 1992. Description de la pêche sportive hivernale dans le fjord du Saguenay et de ses effets potentiels sur la ressource. Rapport final, Groupe de recherche en productivité aquatique, Université du Québec à Chicoutimi et A. Talbot et Associés. Présenté au ministère de l'Environnement (service canadien des parcs). 123 pp. + 4 cartes topographiques.
- Talbot, A. 1993. Évolution de la pêche sportive hivernale du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) et de la morue franche (*Gadus morhua*) dans le fjord du Saguenay. Rapport final, Groupe de recherche en productivité aquatique, Université du Québec à Chicoutimi et A. Talbot et Associés. Présenté au ministère de l'Environnement (service canadien des parcs).

Tableau 1. Caractéristiques des échantillons récoltés pendant la pêche sportive hivernale de 1991. (N = effectif; M = moyenne; E.T. = erreur type; IGS = indice gonado-somatique).

PARAMÈTRES	SITES											
	Anse Saint-Jean			Baie-Éternité			Baie des Ha! Ha!			Sainte-Rose-du-nord		
	N	M	E.T.	N	M	E.T.	N	M	E.T.	N	M	E.T.
Longueur	150	23,7	0,2	266	24,4	0,1	502	22,8	0,1	287	25,2	0,1
Poids	150	260	5,4	266	290	4	502	238	3	287	307	4
Âge	149	13,7	0,1	261	14,9	0,1	497	13,6	0,1	281	15,5	0,1
Pourcentage mâles:femelles	150	57:43	--	266	48:52	--	502	57:53	--	286	51:49	--
Croissance (pente) mâles	85	0,93	0,07	126	0,95	0,06	282	1,01	0,04	141	0,86	0,07
Croissance (pente) femelles	64	1,09	0,09	135	0,89	0,06	215	1,07	0,04	139	0,81	0,06
EGS mâles	85	0,107	0,006	128	0,113	0,007	275	0,095	0,005	141	0,154	0,008
IGS femelles	64	0,44	0,09	135	0,40	0,05	207	0,28	0,03	129	0,75	0,09

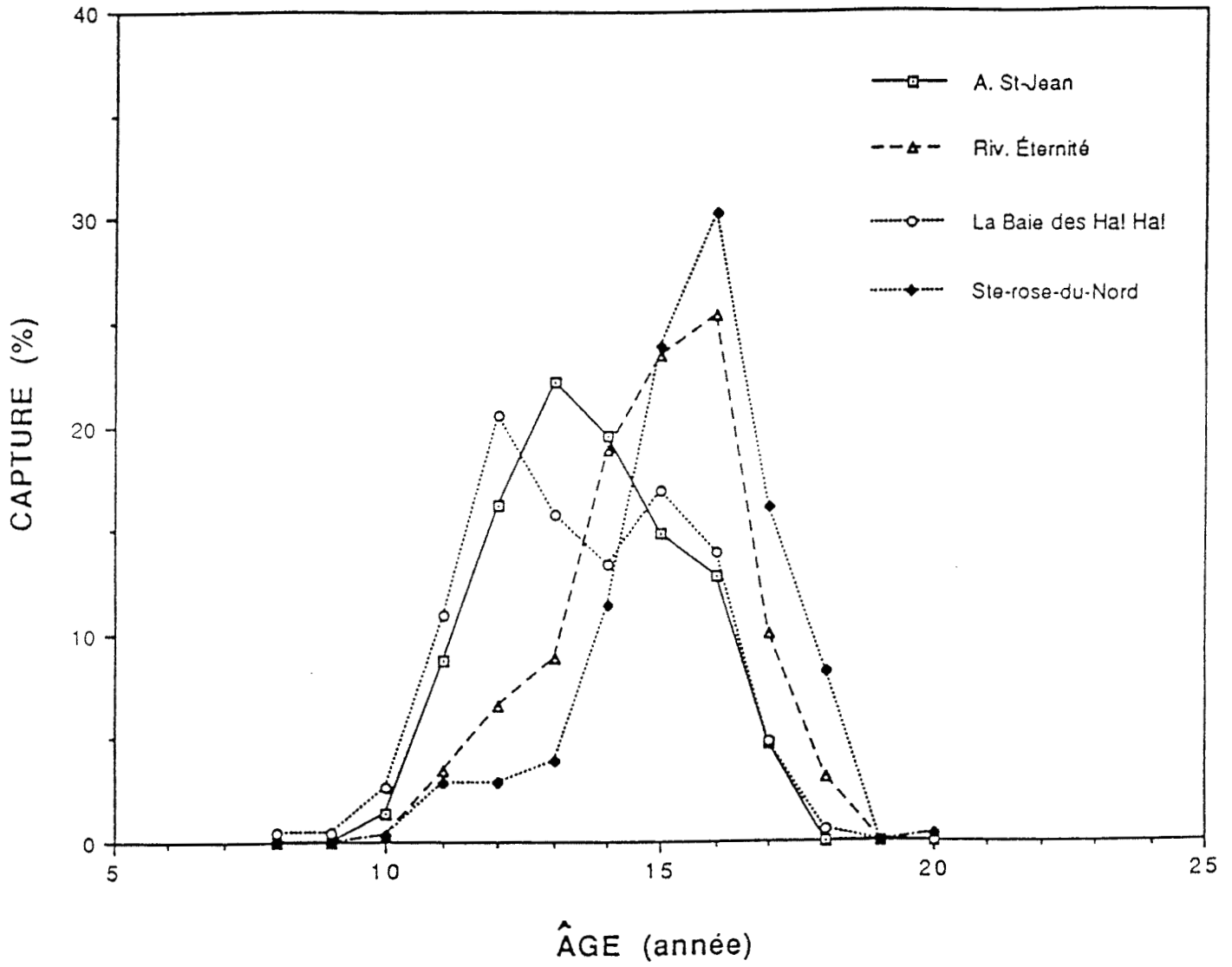


Figure 1. Courbes des captures à l'âge établies pour chacun des sites échantillonnés pendant la pêche sportive hivernale de 1991.

BIOLOGIE ET BIOCHIMIE DU DÉVELOPPEMENT CHEZ LE BUCCIN, *BUCCINUM CYANEUM*, RÉCOLTÉ DANS LE SAGUENAY

Patricia Miloslavich³ et Louise Dufresne

Centre Océanographique de Rimouski (COR-UQAR)
Département d'Océanographie
Université du Québec à Rimouski
310 Allée des Ursulines, Rimouski (Québec) G5L 3A1

L'exploitation commerciale d'espèces dont les caractéristiques de reproduction sont mal connues peut avoir des conséquences néfastes. Ceci a été mis en évidence chez le buccin *Buccinum undatum* (Villemure et Lamoureux 1975; Martel *et al.* 1986) ainsi que chez un gastéropode tropical, *Strombus gigas* (Rodriguez 1991; Garcia Saez 1991). Ces faits nous ont conduit à étudier la biologie du développement chez le buccin. Le but de cette étude est de déterminer s'il existe une relation entre l'effort reproducteur de cette espèce et la taille de la femelle. Les paramètres étudiés ont été: le nombre de capsules produites, le nombre d'oeufs et de zygotes par capsule. Les contenus en protéines, lipides et glycogène des oeufs provenant de femelles de tailles variées ont aussi été analysés.

L'espèce étudiée a été *Buccinum cyaneum* (spécimens gracieusement fournis par le Dr Bernard Sainte-Marie de l'Institut Maurice-Lamontagne, MPO). Les individus ont été récoltés en août 1991, au sud-est de l'Anse Saint-Jean dans le fjord du Saguenay à des profondeurs variant entre 20 à 40 m. Ils ont été maintenus dans des viviers à la station aquicole de Pointe-au-Père. Ils étaient nourris une fois par semaine avec du poisson congelé. Le sexe a été déterminé chez une centaine d'individus.

L'analyse de la distribution des tailles a révélé une distribution normale. La plus forte fréquence se situait autour de 35-40 mm et ce, autant chez les femelles que chez les mâles. Cependant, pour chaque classe de taille donnée, les plus grandes tailles sont toujours notées chez les femelles. La taille à laquelle la maturité sexuelle est observée est de 27 mm chez les mâles et de 37 mm chez les femelles. La ponte a débuté en novembre. Une femelle pond environ 100 capsules de forme concave qui mesurent en moyenne $6,3 \pm 0,7$ mm et qui contiennent chacune 567 ± 227 oeufs de 240 µm de diamètre. La composition biochimique est de $2,2 \pm 0,7$ µg protéine, de $2,4 \pm 1,3$ µg glycogène et de $2,9 \pm 2,2$ µg lipide par oeuf. Entre 0,18 % et 1,8 % des oeufs pondus sont des embryons en développement. L'ingestion des oeufs nourriciers, non fécondés, débute en mars et se termine en avril. Les individus atteignent le stade véligère en mai. Le velum est alors très réduit. Entre juin et juillet, le stade

³ Adresse actuelle: Universidad Simon Bolivar, INTECMAR, C.P. 89000, Caracas 1080, Vénézuéla.

juvénile est atteint et l'éclosion des juvéniles hors de la capsule prend place en juillet-août. Une semaine avant l'éclosion, la présence d'une enzyme aux propriétés apparentées à celle de la trypsine est détectée dans le liquide intracapsulaire. La taille des juvéniles varie alors entre 2,6 à 3,2 mm de longueur et leur composition biochimique est la suivante: 289 ± 175 μg protéines, 534 ± 152 μg glycogène, et 249 ± 153 μg lipides.

Nous avons observé une corrélation entre la taille de la femelle, celle des capsules et le nombre d'oeufs ainsi que de zygotes. Toutefois, la taille des juvéniles, à l'éclosion, est indépendante de celle de la femelle. Par ailleurs, il faudrait préciser s'il existe une relation entre le contenu énergétique et biochimique des juvéniles et leur taille.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par des subventions F.I.R.-UQAR et CRSNG accordées à Louise Dufresne et par une bourse de l'Université du Québec à Rimouski à P. Miloslavich.

RÉFÉRENCES

- Villemure, L. et P. Lamoureux. 1975. Inventaire et biologie des populations de buccin (*Buccinum undatum* L.) sur la rive sud de l'estuaire maritime du St-Laurent en 1974. Min. Industrie et Commerce, Cahiers Information 69. 41 p.
- Martel, A., D.H. Larrivée, K.R. Klein et J.H. Himmelman. 1986. Behaviour and timing of copulation and egg-laying in the neogastropod *Buccinum undatum* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 96 : 27-42.
- Rodriguez, B. 1991. Revision historica de la pesqueria del botuto (*Strombus gigas*, L.) y el alcance de su program de manejo en el Parque Noacional Archipiélago de Los Rogues, Vénézuéla. Primer Congreso Latinoamericano de Malacologia. Univ. Simon Bolivar, Caracas, (Vénézuéla).
- Garcia Saez, C. 1991. Edad y talla de la primera reproduccion y esfuerzo de pesca en *Strombus gigas* : existe alguna relacion ? Primer congreso Latinoamericano de Malacologia. Univ. Simon Bolivar, Caracas, (Vénézuéla).

Toxicologie du Fjord

**LA BIODÉGRADATION DES HYDROCARBURES AROMATIQUES
POLYCYCLIQUES (HAP) DANS LES SÉDIMENTS
DU FJORD DU SAGUENAY**

Elizabeth DeMarco¹ et Kenneth Lee²

¹ University of Toronto, Department of Botany
Institute for Environmental Studies

² Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) 5H 3Z4

La biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans le fjord du Saguenay a été quantifiée en mesurant la transformation et la minéralisation de trois HAP représentatifs des classes de 2-, 3- et 5-anneaux à quelques stations le long du Fjord. En se basant sur les concentrations expérimentales en HAP, le temps d'un cycle complet ("*turnover*") est de: 10 - 63 jours pour le naphthalène; 14 - 105 jours pour le phénanthrène; et de 111 - 390 jours pour le benzo(α)pyrène.

Les relations entre (1) le nombre total de bactéries, (2) le nombre le plus probable (MPN) de bactéries qui peuvent dégrader les HAP, (3) l'activité hétérotrophe relative, (4) la concentration des HAP, (5) le pourcentage de carbone dans le sédiment, (6) la taille des particules de sédiment et les taux de biodégradation ont été déterminés.

La concentration totale obtenue pour des HAP dans le sédiment est inférieure ou égale aux valeurs déjà rapportées (Smith et Levy 1990; Martel *et al.* 1987) à toutes les stations étudiées, sauf la station 5 (près de Cap Trinité) où des niveaux plus élevés ont été observés.

Le taux de transformation des HAP de faible poids moléculaire et le taux de métabolisme partiel d'un HAP plus lourd ont été corrélés avec le MPN des bactéries qui peuvent dégrader des HAP et la concentration des HAP dans le sédiment. Le taux de transformation d'un HAP plus lourd, le benzo(α)pyrène, a été corrélé avec le nombre total de bactéries dans le sédiment et le pourcentage de carbone dans le sédiment. L'activité hétérotrophe relative et la taille des particules dans le sédiment n'ont pas été corrélées avec la biodégradation d'aucun des trois HAP qui ont été étudiés. L'étude des HAP dans l'écosystème du fjord du Saguenay se prête bien à l'application d'un modèle mathématique pour la détermination du devenir des contaminants.

RÉFÉRENCES

- Martel, L., M.J. Gagnon, R. Masse, A. Leclerc et L. Tremblay. 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Saguenay fjord, Canada. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 37: 133-140.
- Smith, J.N. et E.M. Levy. 1990. Geochronology for polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in the sediments of the Saguenay fjord. *Environ. Sci. Technol.* 24: 874-879.

ACCUMULATION ANORMALE DE MONOSULFURES DE FER DANS UN SÉDIMENT CÔTIER MARIN: IMPLICATIONS POUR LA SÉQUESTRATION DES MÉTAUX TRACES

Christian Gagnon¹, Alfonso Mucci² et Émilien Pelletier¹

¹ Centre Océanographique de Rimouski (COR-INRS-O)
Institut National de la Recherche Scientifique - Océanologie
310 Allée de Ursulines, Rimouski (Québec) G5L 3A1

² Department of Earth and Planetary Sciences, Université McGill
Montréal (Québec) H3A 2A7

L'accumulation de soufre réduit, suite à la réduction des sulfates, est un processus actif dans les sédiments côtiers marins, riches en matière organique. La pyrite (FeS_2) et les monosulfures de fer (FeS_x) sont les deux principaux produits finaux dans ces sédiments (Howarth et Jørgensen 1984). La formation des sulfures de fer est un important processus d'enfouissement de soufre, de fer et de métaux traces adsorbés. L'abondance et la réactivité de la matière organique et du fer, ainsi que la disponibilité des sulfates sont des facteurs majeurs contrôlant la formation des sulfures de fer (Berner 1984). La formation de FeS_2 authigénique dans les sédiments marins exige la formation de monosulfure de fer tel un précurseur: $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + 2\text{H}^+$. La conversion des sulfures volatils après acidification ($\text{AVS} \approx \text{FeS}$ amorphe + mackinawite) en pyrite mise en présence de soufre élémentaire ou de polysulfures est bien documentée: $\text{FeS} + \text{S}^0 \rightarrow \text{FeS}_2$ (Berner 1970; Middelburg 1991). Les sédiments du fjord du Saguenay, avec une active production de soufre réduit, offrent l'opportunité de documenter et d'expliquer un processus anormal d'accumulation et de préservation des AVS dans un sédiment côtier marin.

Les sédiments non-perturbés ont été recueillis à l'aide d'un carottier à boîte et sous-échantillonnés sous atmosphère d'azote. Les eaux interstitielles ont été extraites avec un compresseur de type Reeburgh. Les concentrations de sulfate, fer et manganèse ont été analysées dans les eaux interstitielles. Les espèces du soufre réduit dans la phase solide (AVS, pyrite et S élémentaire) ont été déterminées par diffusion, suivant des réactions sélectives (Hsied et Yang, 1989). D'autres constituants de la phase solide tels que le Fe HCl-extractible, carbone organique et azote ont aussi été mesurés.

Les rapports $\text{FeS}:\text{FeS}_2\text{-S}$ obtenus de la colonne sédimentaire échantillonnée sont très élevés et atteignent des valeurs excédant 7 à la tête du Fjord. Les valeurs de degré de pyritization (DOP) sont faibles (0,3 - 21,8%) et diminuent vers l'aval du Fjord. Par contre, les valeurs estimées de degré de sulfidization (DOS) sont élevées et atteignent des valeurs jusqu'à 97% à la tête du Fjord. Les concentrations de fer dans les eaux interstitielles sont plus grandes que 4 mg.L^{-1} sous la zone de pénétration de l'oxygène tandis que les sulfures dissous sont maintenus à des valeurs

inférieures à $5\mu\text{M}$. Les valeurs relativement élevées de DOS et faibles de DOP indiquent que la formation de pyrite n'est pas limitée par la disponibilité du fer mais que la conversion des AVS en pyrite en est restreinte. De plus, les profils de Fe_{PR} (Fe_{HCl} moins Fe_{AVS}) indiquent un large excès de fer réactif dans les sédiments étudiés. Cette disponibilité en fer réactif peut, en fait, limiter la présence de sulfures ($\Sigma\text{H}_2\text{S}$) dans les eaux interstitielles, une conséquence de la précipitation en AVS. En l'absence de fort gradient de $\Sigma\text{H}_2\text{S}$, une lente diffusion vers la redoxocline et la formation limitée d'espèces intermédiaires réduites pourraient contrôler la conversion des AVS en pyrite. La connaissance des facteurs gouvernant la conversion des AVS en pyrite est importante puisque celle-ci est un enfouisseur beaucoup plus stable du soufre réduit et de métaux traces tel que l'arsenic, le mercure, etc...(Pankow et Morgan 1980; Huerta-Diaz et Morse 1992).

RÉFÉRENCES

- Berner R.A. 1970. Sedimentary pyrite formation. *Am. J. Sci.* 268: 1-23.
- Berner R.A. 1984. Sedimentary pyrite formation: an update. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 605-615.
- Howarth R.W. et B.B. Jørgensen. 1984. Formation of ^{35}S -labelled elemental sulfur and pyrite in coastal marine sediments (Limfjorden and Kysing Fjord, Denmark) during short-term $^{35}\text{SO}_4^{2-}$ reduction measurements. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 1807-1818.
- Huerta-Diaz M.A. et J.W. Morse. 1992. Pyritization of trace metals in anoxic marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56: 2681-2702.
- Hsied Y.P. et C.H. Yang. 1989. Diffusion methods for the determination of reduced inorganic sulfur species in sediments. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1126-1130.
- Middelburg J.J. 1991. Organic carbon, sulphur, and iron in recent semi-euxinic sediments of Kau Bay, Indonesia. *Geochim. Cosmochim. Acta* 55: 815-828.
- Pankow J.F. et J.J. Morgan. 1980. Dissolution of tetragonal ferrous sulfide (mackinawite) in anoxic aqueous systems. 2. Implications for the cycling of iron, sulfur, and trace metals. *Environ. Sci. Technol.* 14: 183-186.

TRANSFERT DES CONTAMINANTS DANS LE FJORD DU SAGUENAY

Émilien Pelletier

Centre Océanographique de Rimouski (COR-INRS-O)
Institut National de la Recherche Scientifique - Océanologie
310 Allée de Ursulines, Rimouski (Québec) G5L 3A1

Dans le cadre du volet sur les risques environnementaux et l'intégrité du capital naturel du programme de recherche sur le Saguenay et ses communautés riveraines, nous avons conçu un modèle empirique permettant de décrire et de prédire, éventuellement, le cheminement de quelques contaminants cibles dans l'écosystème du Fjord. Il y a trois éléments clés du modèle à considérer. Dans un premier temps, il faut établir les modes d'entrée du contaminant dans le vivant. Il y a essentiellement deux modes de transfert de l'inerte vers le vivant: soit par le milieu aqueux ou par la nourriture. Les poissons et les autres organismes nageurs sont souvent affectés par les composés dissous dans l'eau alors que les organismes benthiques, dont les filtreurs et les fouisseurs, sont généralement affectés par la contamination de leur nourriture qui est constituée de particules en suspension et de sédiment. Il faudra aussi tenter de déterminer quelle est la porte d'entrée principale d'un contaminant donné dans l'écosystème. Pour chaque contaminant, il faudra tenter d'identifier quelles espèces sont les plus susceptibles de servir de véhicule à l'entrée du contaminant.

Le deuxième élément clé du modèle est l'établissement des modes de transport dans l'écosystème. Il faudra établir les principaux vecteurs du transport trophique de chacun des contaminants étudiés. Ce travail est intimement lié à la connaissance du réseau trophique du Fjord aussi bien dans la zone pélagique que dans la zone benthique. Il sera aussi important d'établir comment l'écosystème peut être un facteur de dispersion du contaminant ou au contraire un facteur de concentration de ce même contaminant.

Le troisième élément du modèle est l'établissement des modes de sortie de l'écosystème. Les deux principaux modes de sortie de l'écosystème sont la biodégradation et l'excrétion. Certains contaminants sont facilement biodégradés par certains organismes alors que d'autres sont pratiquement inaltérables et peuvent cycler dans un même écosystème pendant des années sans être modifiés. Dans la mesure du possible, il faudra déterminer l'importance relative de la biodégradation pour toutes les substances sensibles à ce processus. L'excrétion sous la forme de débris fécaux ou de substances dissoutes est la forme normale de sortie de l'écosystème à la condition que ces excréments ne soient pas immédiatement repris par des utilisateurs secondaires. Pour plusieurs contaminants organiques, l'excrétion et l'enfouissement conduisent à la minéralisation à plus ou moins long terme. L'une des questions importantes à poser dans le cadre de l'étude des modes de sortie est: «Y a-t-il transport biologique de certains contaminants hors du Saguenay?».

Les contaminants cibles que nous avons choisis sont le mercure (Hg), l'arsenic (As) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Dans le cas particulier du mercure (Figure 1), de nombreux travaux ont montré sa présence historique dans les différentes couches sédimentaires récentes ainsi que dans le biota du Saguenay (Pelletier *et al.* 1989 et les références qui y sont citées). Quelque soit sa forme chimique, le mercure rejeté en milieu naturel a tendance à s'adsorber non seulement sur les substances organiques vivantes ou détritiques mais aussi sur le matériel particulaire de nature minérale comme les oxydes et hydroxydes métalliques et les argiles. On peut donc concevoir deux cheminements indépendants du mercure dans le Saguenay dont le principal est l'adsorption du Hg inorganique sur les particules minérales, suivie d'une sédimentation et d'un enfouissement dans les couches sédimentaires anoxiques où la formation de HgS devrait contribuer à le maintenir définitivement hors de l'écosystème. La deuxième voie fait par contre intervenir l'adsorption du Hg sur la matière organique particulaire et peut contribuer directement à l'introduction du mercure dans le réseau trophique par la méthylation et la bioaccumulation subséquente du méthylmercure chez les organismes suspensivores ou détritivores. Le modèle du mercure se complique à l'interface eau/sédiment où la faune bactérienne peut non seulement méthyler le mercure inorganique déjà enfoui par un cheminement minéral mais aussi déméthyliser le mercure déjà méthylié. Il est donc tout à fait possible que du mercure méthylié ou inorganique soit remis en circulation dans l'écosystème via les couches superficielles du sédiment soit par diffusion à travers un gradient de concentration (hypothèse de faible probabilité selon plusieurs auteurs) ou par «transport biologique» par les organismes macro-benthiques.

Le cas de l'arsenic est beaucoup moins bien documenté que celui du mercure et son modèle de circulation dans l'écosystème du Saguenay est quelque peu spéculatif (Figure 2). Les rares informations que nous possédons indiquent, d'une part, que la concentration en arsenic dans les eaux du Fjord est plus faible que celle de l'eau de mer normale (Tremblay et Gobeil 1990), et d'autre part, que cette concentration d'As semble par contre élevée dans certaines parties du Fjord dont la baie des Ha! Ha! (Ouellet 1990). L'arsenic n'a pas été choisi dans cette étude pour des raisons de pollution du Fjord mais plutôt comme un composé modèle représentant le comportement de plusieurs métalloïdes comme le phosphore et possiblement le silicium et le sélénium.

D'une façon plus générale, le comportement environnemental de l'arsenic et son devenir dans les organismes aquatiques ont été le sujet de nombreux travaux (Phillips 1990 et les références qui y sont citées). Des travaux récents ont montré la complexité des interactions chimiques et biochimiques entre les diverses formes organiques de l'arsenic et l'écosystème marin (Hanaoka *et al.* 1992). La figure 2 présente un sommaire très schématisé de nos connaissances sur le cycle probable de l'arsenic dans un milieu marin côtier, cycle qui pourrait s'appliquer au cas du Saguenay. L'arsenic dissous, tout comme le mercure peut suivre deux routes; soit l'adsorption sur des particules minérales et l'enfouissement sous la forme de As_2S_3 ou l'absorption directe par le phytoplancton et les macro-algues marines. Ainsi incorporé dans le réseau trophique, l'arsenic subit une série de transformations qui peuvent mener aussi bien à l'enfouissement qu'au recyclage sous la forme d'arsenic inorganique.

La présence des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments du Saguenay est aussi ancienne et aussi bien documentée que celle du mercure (Martel *et al.* 1987; Pelletier *et al.* 1990). Curieusement, la prise en charge et la transformation des HAP par l'écosystème du Fjord n'a fait l'objet d'aucune étude détaillée jusqu'à maintenant. Le modèle du cheminement des HAP dans le fjord (Figure 3) est basé sur les connaissances générales que nous possédons sur les processus d'adsorption, de prise en charge et de transformation des hydrocarbures aromatiques dans un environnement aquatique (Gibson 1968; Laflamme et Hites 1978; Broman *et al.* 1990). Les HAP sont très fortement hydrophobes et atteignent pratiquement toujours le milieu aquatique sous la forme de particules de suie émanant de cheminées ou de véhicules moteurs ou encore adsorbés sur des particules minérales. Ces particules, selon leur densité, peuvent sédimenter plus ou moins rapidement et entraîner l'enfouissement des HAP. Par contre, une prise en charge par le réseau trophique va entraîner une série de transformations chimiques (métabolisme) et aussi une sédimentation des composantes les plus récalcitrantes à l'attaque biochimique. De façon générale, les cycles aromatiques ne sont pas complètement minéralisés en CO₂ dans un écosystème aquatique. Il s'agit plutôt d'une oxydation partielle produisant des phénols, des catéchols et des acides organiques qui deviennent alors relativement solubles dans l'eau. Le plus célèbre HAP est le benzo(α)pyrène dont la dégradation partielle produit des tétrahydrotétrols qui ont la capacité de s'ajouter à l'ADN (Shugart 1988). Des travaux devront être menés pour établir la présence de ces adduits chez quelques organismes cibles du Saguenay. De même, des travaux seront nécessaires sur la présence possible de métabolites des HAP dans la bile de certains poissons non-résidents du Fjord afin de déterminer leur degré d'exposition ainsi que leur capacité de transporter hors du Saguenay les HAP et leurs métabolites.

Avec la mise en place du programme Saguenay, nous comptons poursuivre le développement de ces modèles empiriques du cheminement de certains contaminants dans le Fjord et de valider leurs principales composantes par l'obtention de nouvelles données chimiques, biochimiques, microbiologiques et écologiques à la fois sur les sédiments et le réseau trophique de l'ensemble du Fjord. L'objectif final est d'unir ces modèles conceptuels en un seul modèle général qui fournisse des éléments prédictifs pour toutes des grandes familles de contaminants présents dans le Fjord.

RÉFÉRENCES

- Broman, D., C. Naf, I. Lundbergh et Y. Zebuhr. 1990. An *in situ* study on distribution, biotransformation and flux of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an aquatic food chain (seston-*Mytilus edulis* L.-*Somateria mollissima* L.) from the Baltic: an ecotoxicological perspective. Environ. Toxicol. Chem. 9: 429-442.
- Gibson, D.T. 1968. Microbial degradation of aromatic compounds. Science. 161: 1093-1097.
- Hanaoka, K., S. Tagawa et T. Kaise. 1992. The fate of organoarsenic compounds in marine ecosystems. Appl. Organomet. Chem. 6: 139-146.

- Laflamme, R.E. et R.A. Hites. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 42: 289-303
- Martel, L., M.J. Gagnon, R. Massé, et A. Leclerc. 1987. The spatio-temporal variations and fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Saguenay fjord, Québec, Canada. *Water Res.* 21: 699-707.
- Ouellet, M. 1990. Géochimie et granulométrie des sédiments superficiels du lac Saint-Jean et de la rivière Saguenay: synthèse, p. 271-303. *In* D. Messier, P. Legendre et C.E. Delisle (éds). *Symposium sur le Saint-Laurent - un fleuve à reconquérir*. Collection Environnement et Géologie (Vol.11). Université de Montréal.
- Pelletier, É., C. Rouleau, et G. Canuel. 1989. Niveau de contamination par le mercure des sédiments de surface et des crevettes du fjord du Saguenay. *Rev. Sci. Eau* 2: 13-17.
- Pelletier, É., S. Ouellet et S. Maheu. 1990. Étude comparative de la distribution du mercure total et des hydrocarbures polyaromatiques dans les sédiments récents du fjord du Saguenay, p. 241-252. *In* D. Messier, P. Legendre, et C.E. Delisle (éds). *Symposium sur le Saint-Laurent - un fleuve à reconquérir*. Collection Environnement et Géologie (Vol.11). Université de Montréal.
- Phillips, D.J.H. 1990. Arsenic in aquatic organisms: a review, emphasizing chemical speciation. *Aquat. Toxicol.* 16: 151-186.
- Shugart, L. 1988. Quantitation of chemicals induced damage to DNA of aquatic organisms by alkaline unwinding assay. *Aquat. Toxicol.* 13: 43-52.
- Tremblay, G.-H. et C. Gobeil. 1990. Dissolved arsenic in the St. Lawrence Estuary and the Saguenay fjord, Canada. *Mar. Pollut. Bull.* 21: 465-469.

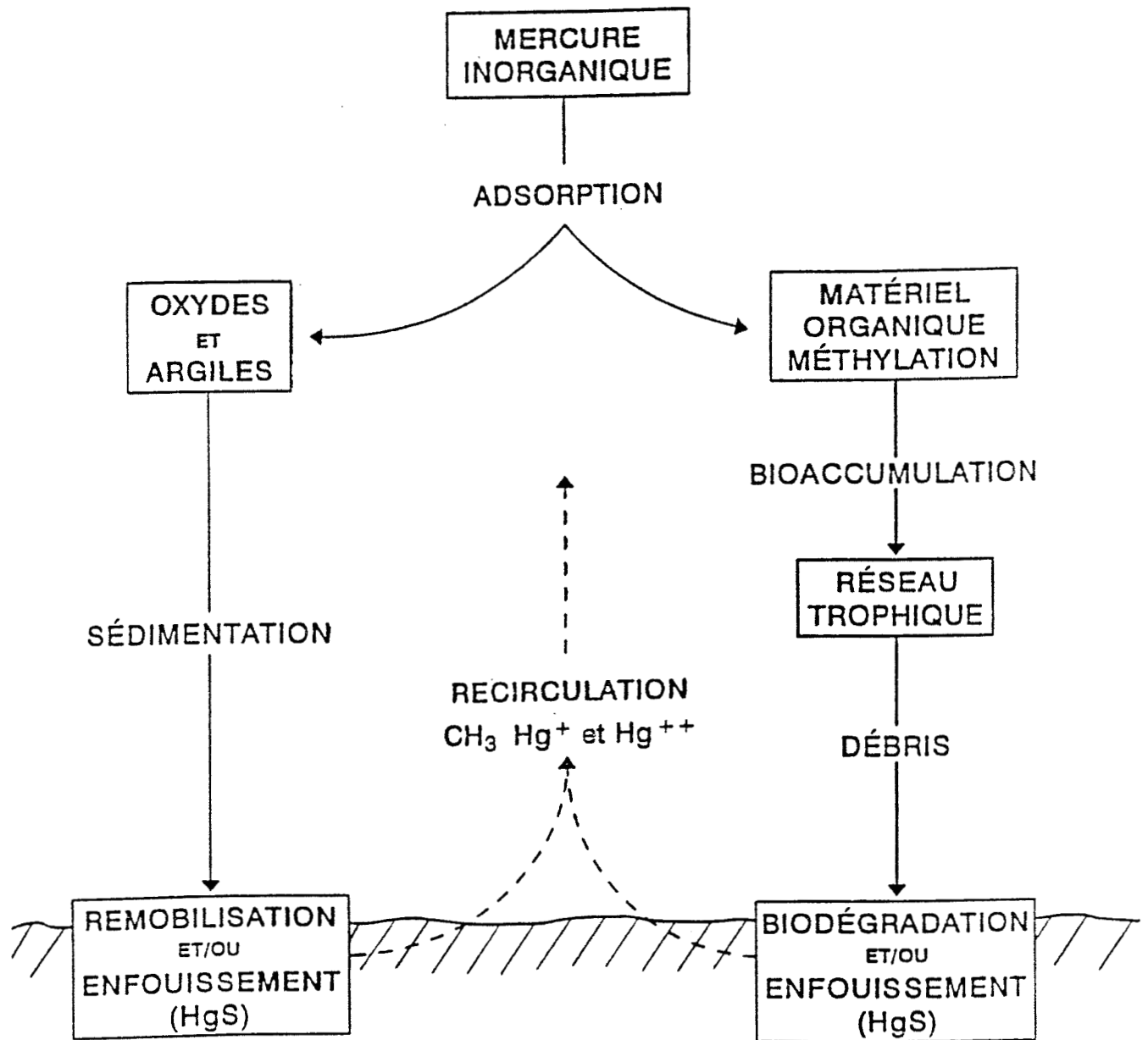


Figure 1. Représentation schématique de la circulation du mercure dans l'écosystème du fjord du Saguenay.

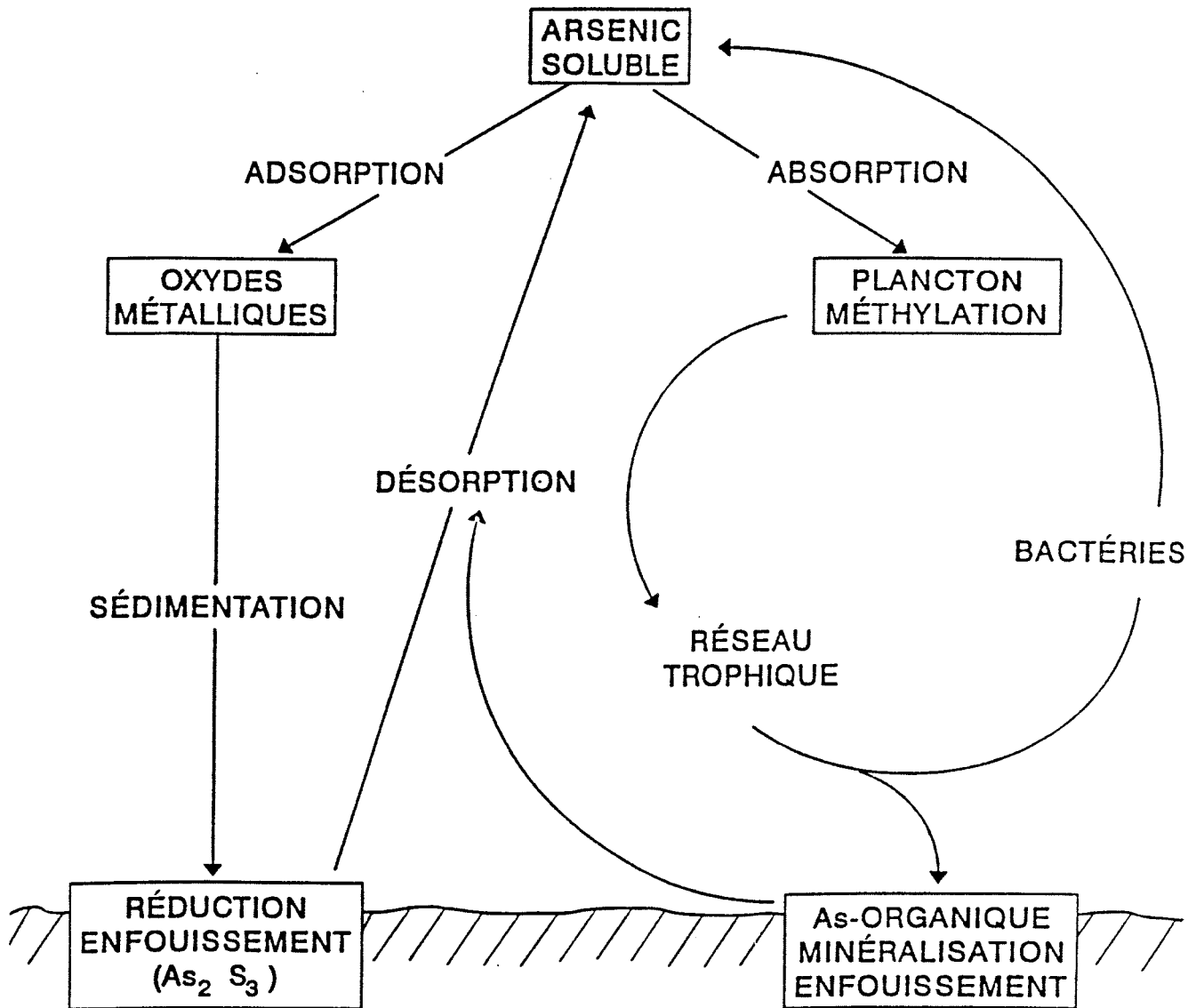


Figure 2. Représentation schématique de la circulation de l'arsenic dans un écosystème marin type et applicable au fjord du Saguenay.

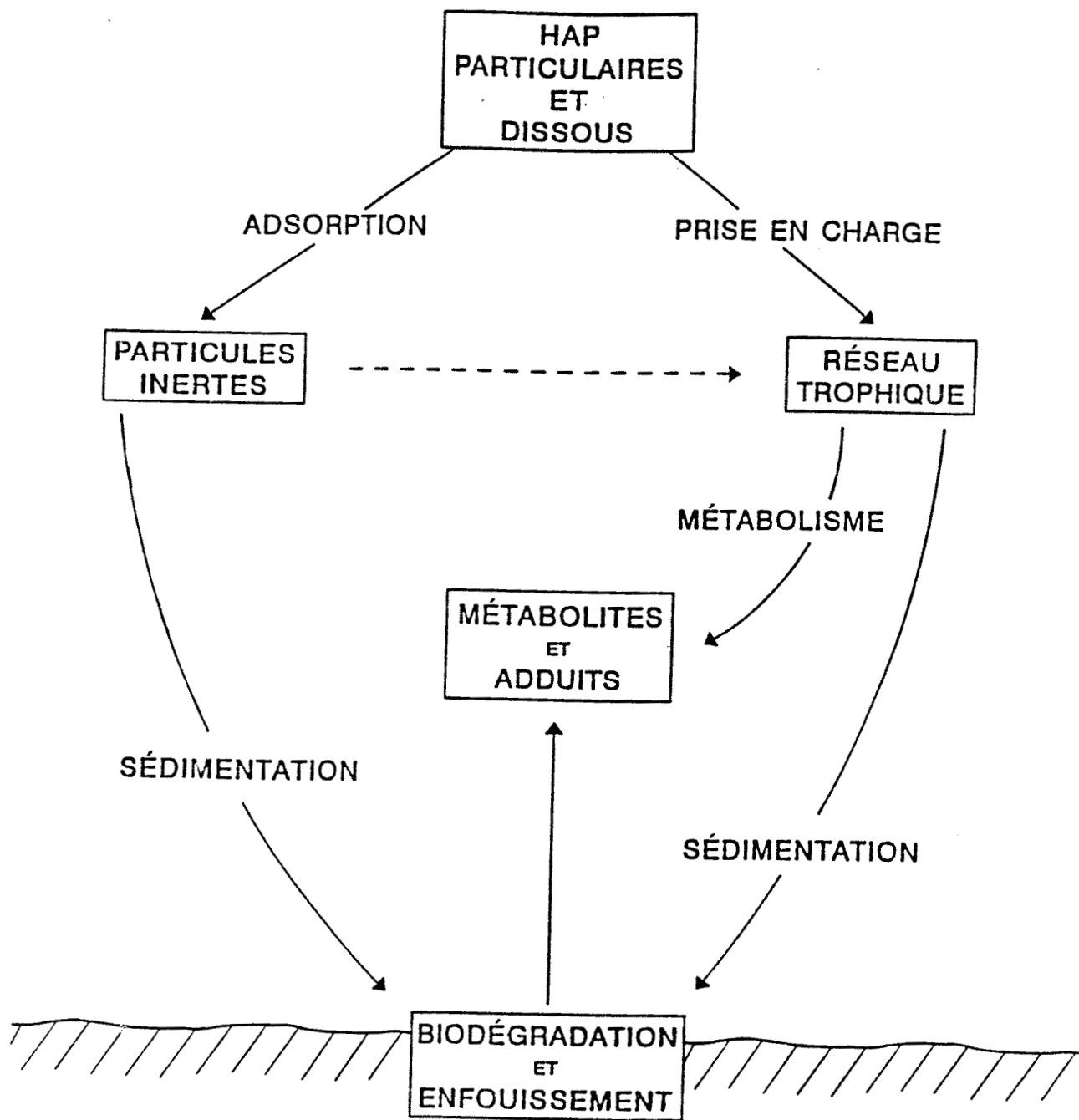


Figure 3. Représentation schématisée de la circulation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de leurs principaux métabolites dans le fjord du Saguenay.

CHEMICAL CONTAMINATION OF SURFACE SEDIMENTS AND BIOTA OF THE SAGUENAY FJORD

Peter V. Hodson¹, Émilien Pelletier², R. McLeod³, J. Hellou⁴, Bernard Sainte-Marie⁵,
Catherine M. Couillard⁵ and Jean-Marie Sévigny⁵

¹ Environment Canada
N.W.R. Institute
Canada Centre for Inland Water
P.O. Box 5050, Burlington (Ontario) L7R 4A6

² Centre Océanographique de Rimouski (COR-INRS-O)
Institut National de la Recherche Scientifique-Océanologie
310 Allée des Ursulines, Rimouski (Québec) G5L 3A1

³ Zenon Environmental Laboratories
5555 North Service Road
Burlington (Ontario) L7L 5H7

⁴ Ministère des Pêches et des Océans
C.P. 5667, St. John's (Newfoundland) A1C 5X1

⁵ Ministère des Pêches et Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C. P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

The Saguenay fjord retains sediments containing heavy metals and organic compounds from industries upstream; fisheries have been closed due to mercury contamination since the 1970s. Mercury in sediments and biota has since declined due to pollution control, but there are no data for chemicals such as chlorinated dioxins and furans. Therefore, metals (Hg, Cd, Cu, Cr, and Zn), polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs), unsaturated hydrocarbons, PCBs, and chlorinated pesticides, phenols, dioxins and furans were measured in sediments, fish, and benthic invertebrates within the Fjord and at Baie-des-Anglais and Baie des Mille-Vaches (Estuary). Levels in PAHs in sediments decreased with distance from their source in the Saguenay, are much higher than in the Estuary, and similar to those at Baie-des-Anglais. PAHs were rarely detectable in fish or invertebrate species. Unsaturated hydrocarbons were found only in plaice and halibut, following the trends of PAHs in sediments. In contrast, chlorinated organics were found in all organisms at all sites, and dioxins and furans were highest in the Saguenay and least at Baie des Mille-Vaches. Mercury exceeded 0.5 ppm, the Canadian Guideline for fisheries products, in most crabs, cod and halibut sampled from the Fjord.

INTRODUCTION

The Saguenay fjord receives wastes from a variety of industries and municipalities located at Baie-des-Ha!-Ha!, Lac St. Jean, and along the Saguenay river, the main tributary of the Fjord. These inputs are at the upper end of the Fjord, into a basin that is very deep (about 200 m) and that accumulates fine sediments. An outer basin, closer to the mouth, is thoroughly flushed by currents from the gulf of St. Lawrence, and does not retain fine particulates as efficiently. As a consequence, chemicals accumulate to high levels in the sediments of the upper Fjord (Schafer *et al.* 1990). The most commonly studied chemicals are the polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) from aluminum smelters, polychlorinated biphenyls (PCBs) from all types of industry, and mercury, from mercury cell electrodes used in aluminum smelters. Contamination by mercury was sufficiently high that commercial fisheries for shrimp were closed in 1971 to protect human health (Cossa and Desjardins 1984).

Since the fisheries closures, extensive remedial actions have been taken to reduce the loadings of contaminants to the Fjord, and concentrations of mercury in shrimp have declined steadily (Cossa and Desjardins 1984). However, there have been few studies of other chemical agents associated with industrial contamination, in particular chlorinated dioxins and furans. As part of the St. Lawrence Action Plan, we examined the levels of specific organic and inorganic chemicals in the sediments and biota of the Saguenay. Assuming that sediment contamination would lead to chemical accumulation in benthic organisms and in the food web based on benthic organisms, we compared the levels of chemicals in biota from the upper Saguenay (Saint-Fulgence, Baie-des-Ha!-Ha!, Sainte-Rose-du-Nord), where sediments are most contaminated, to levels in biota from sites closer to the mouth (Baie Eternité; Anse Saint-Étienne), and from a negative control site in the St. Lawrence estuary (Baie des Mille-Vaches). An additional site (Baie-des-Anglais) was added as a 'positive' control due to known sources of metals, PCBs and other organic chemicals discharged by an aluminum smelter and pulp and paper industry (Delval *et al.* 1986). We tested two null hypotheses for each contaminant:

1. There are no differences among sites in contamination of biota;
2. Differences among sites do not follow gradients of sediment contamination.

We also compared the current results with those from previous studies, to determine whether levels of contamination continue to decline, and with those from other freshwater and marine sites, to judge whether the levels of contamination were those associated with cases of severe pollution.

MATERIALS AND METHODS

Sediments, fish and invertebrates were collected during June, July and August of 1990. Sediments were sampled by box core and stored frozen. Cod (*Gadus morhua*), plaice (*Hippoglossoides platessoides*) and halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) were captured by long line and gill net (Sainte-Rose-du-Nord, Anse Saint-Étienne) or by trawl (Baie des Mille-Vaches, Baie-des-Anglais). The fish were kept alive for a few hours in tanks of flowing water until they were killed and tissues removed for other analyses. The gutted carcasses were frozen at -20°C until analysis. Shrimp were collected by baited traps in the Saguenay and by trawl in the St. Lawrence estuary. At all sites, snow crab (*Chionoecetes opilio*) were collected by baited traps. Whelks (*Buccinum cyaneum* L.) were also collected by traps but only at Baie-des-Anglais and Anse Saint-Étienne. Three species of shrimp were captured: *Argis dentata* (St. Lawrence estuary: Baie-des-Anglais; Baie des Mille-Vaches), *Pandalus montagui* (St. Lawrence estuary: Baie-des-Anglais; Baie des Mille-Vaches) and *Pandalus borealis* (Saguenay Fjord: Baie-des-Ha!-Ha!; Sainte-Rose-du-Nord; Baie Eternité). It is clear that valid comparisons can be made among sites in the Saguenay without confounding among species. Similarly, results can be compared within two different species between Baie des Anglais and Baie des Milles Vaches. However, comparisons between the Saguenay and the St. Lawrence are confounded by the different species. Without knowledge of the contamination of these species in the same habitat, the direction and size of the bias is impossible to judge.

Tissues were prepared for analyses by homogenizing individual gutted carcasses of fish or individual whole crab, or pools of whole shrimp or the soft tissues of whelks. Both fish and crab samples were subsequently pooled by mixing 100 g aliquots from 4-5 individuals. Homogenates were re-frozen in 100 g aliquots until analysis. After solvent extraction (organics) or acid digestion (metals), homogenates were analyzed by the methods of Hodson *et al.* (1992) for 20 priority PAH compounds, total PCB (as Aroclor 1254), chlorinated pesticides, chlorinated dioxins and furans, mercury, cadmium, copper, chromium and zinc. PAHs in fish tissue were also analyzed by UV/fluorescence spectroscopy (Hellou *et al.* 1994). Lipid content of tissue homogenates was measured as part of the analyses for chlorinated organic compounds. Sediments were analyzed only for PAHs, dioxins and furans to establish the general pattern of distribution of chemicals.

RESULTS

PAHs. Sediment samples contained levels of PAHs that ranged individually from <0.01 (detection limit) to 1.0 µg/g dry weight; the sum of all PAHs together ranged from <0.01 to 6.984 µg/g. Of 20 individual compounds, only three were never detected. The highest concentrations were always found at Baie-des-Anglais, the positive control site, while PAHs were always below the detection limit at Baie des Mille-Vaches, the negative control site. Sites in the Saguenay were intermediate in concentration, with highest levels at Saint-Fulgence and Baie-des-Ha!-Ha!, equivalent to about 50% of those at Baie-des-Anglais. Lower concentrations were found at Sainte-Rose-du-Nord, and lower still at Baie Eternité, demonstrating the anticipated gradient

of contamination from the upper to lower Saguenay. The total PAH levels in the Saguenay fell within the range reported by Martel *et al.* (1986) for the same sites.

The 20 priority PAH compounds measured by GC/MS were undetectable ($<0.01 \mu\text{g/g}$) in all fish and invertebrate samples. In contrast, unsaturated hydrocarbons measured by U-V fluorescence spectroscopy, using chrysene or Venezuelan crude as a standard, showed that levels on a dry weight basis in cod muscle varied from $0.01 - 0.08 \mu\text{g/g}$ with no discernable gradients of contamination within the study area (Hellou *et al.* 1995). Furthermore, the levels were equivalent to those in cod from the open Atlantic Ocean. For plaice and halibut, levels of fluorescing compounds in muscle were higher, ranging from $0.02 - 0.13 \mu\text{g/g}$ and $0.76 - 2.9 \mu\text{g/g}$ respectively, with a clear gradient of concentration: levels were lowest in the Atlantic Ocean and St. Lawrence estuary, higher at the mouth of the Saguenay and highest at Sainte-Rose-du-Nord (Hellou *et al.* 1994). PCB and DDE possibly contributed to the fluorescence observed in halibut, while alkylbenzenes and trialkylamines were tentatively identified in both species. These data reflect the gradients of contamination present in the sediments.

Dioxins and Furans. Sediments contained detectable levels of most congeners of chlorinated dioxins and furans, with a gradient of concentrations decreasing from the Upper Saguenay to the St. Lawrence estuary. Concentrations at Baie-des-Anglais were intermediate, equivalent to those at Baie Eternité. Nevertheless, concentrations were very low, ranging from $0.0013 - 0.044 \mu\text{g/kg}$ dry weight of sediment for the most toxic tetra- and penta-chlorinated congeners. For biota, levels were close to or below the detection limits and showed no systematic variations among sites. Levels were slightly higher in invertebrates than in fish, but concentrations remained far below the Canadian Guidelines for fisheries products of 20 ppt tetrachlorodibenzo(p)dioxin (TCDD) (summarized in Hodson *et al.* 1994); the highest level was 3.1 ppt ($0.0031 \mu\text{g/kg}$ wet weight) in halibut.

PCBs. Levels of PCBs in all biota ranged from 0.035 to $0.524 \mu\text{g/g}$ wet weight; none exceeded the Guideline of $2.0 \mu\text{g/g}$. Among the species, halibut, whelks and shrimp were the most contaminated. For crab, plaice, and cod, there were no systematic variations among sites that would suggest a gradient. In contrast, halibut from the upper Saguenay were twice as contaminated as those from the estuary (0.524 vs $0.225 \mu\text{g/g}$), and shrimp from Baie-des-Anglais ($0.229 \mu\text{g/g}$) were up to five times more contaminated than shrimp from other sites ($0.047 - 0.098 \mu\text{g/g}$). There was a slight gradient of contamination of shrimp within the Saguenay, indicating a source at the upper end. Whelks were found only at the two control sites where PCB concentrations were similar (0.217 and $0.220 \mu\text{g/g}$).

Chlorinated pesticides. The levels of all pesticides, summed together, ranged from $0.007 - 0.154 \mu\text{g/g}$ and all were well below the Guidelines. DDT and its derivatives comprised the bulk of the pesticides, followed by α -BHC (the α -isomer of hexachlorocyclohexane). Variations among species were small, with the exception of halibut, which contained concentrations 2 - 10 times higher than in other species. There was a clear gradient of contamination of shrimp within the Saguenay, with concentrations at Baie-des-Ha!-Ha! ($0.062 \mu\text{g/g}$) about 9 times higher than at Baie Eternité ($0.007 \mu\text{g/g}$). Halibut from Sainte-Rose-du-Nord ($0.154 \mu\text{g/g}$) were more contaminated

than halibut from the negative and positive control sites (0.105, 0.075 µg/g); for the other species, variations among sites were not evident.

Metals. There were clear variations among sites for all metals, but the patterns varied with the metal examined. For mercury, concentrations were higher in samples from the Saguenay, with highest concentrations at sites closest to the upper end. Average concentrations at both control sites in the Estuary were uniformly low, ranging from 0.01 - 0.08 µg/g, with no differences among species. In the Saguenay, crab (0.12 - 0.62 µg/g), cod (0.31-0.57 µg/g) and halibut (0.38 µg/g) were the most contaminated, with some samples of each species exceeding the 0.5 µg/g human health guideline (Hodson *et al.* 1994). Levels in shrimp were very uniform, ranging from 0.22 to 0.26 µg/g, and none exceeded the limit, although levels were 4-5 times higher than in shrimp from the estuary. This difference may reflect a difference among species in metal accumulation rather than a difference in metal concentrations in the estuary and fjord.

Concentrations of cadmium in fish were almost non-detectable (0.01 - 0.02 µg/g), but were elevated in crabs, shrimp and whelks (0.1 - 0.85 µg/g). While levels of cadmium in shrimp from the Saguenay showed no gradients of contamination, they were about three times higher than in shrimp from the estuary (see comment above on species difference). Cadmium was also elevated in crabs from the Saguenay, and a very strong gradient (0.29 - 0.85 µg/g) was evident from Baie Eternité to the upper Saguenay.

Chromium, copper and zinc appeared to be most concentrated at Baie-des-Anglais with the exception of copper in crabs: the highest levels were found in the upper Saguenay. There are no Guidelines for these metals since they are regarded as nutrients. The data suggest a source at Baie-des-Anglais, and an additional source of copper in the upper Saguenay.

DISCUSSION

Taken together, these data indicate that there are inputs of unsaturated hydrocarbons, dioxins, PCBs, pesticides, mercury and cadmium to the marine food chain in the upper Saguenay, and of dioxins, PCBs, copper, chromium and zinc in Baie-des-Anglais. These data are not without bias, however. For example, as indicated in the methods, the species of shrimp varied among sites. While one species was consistently present throughout the Saguenay and provided evidence of gradients of contamination, the comparisons between the Saguenay and sites in the estuary were confounded by the species differences.

This factor becomes important when lipid levels are considered. The lipid content of shrimp from the estuary was up to 2-fold higher than in the Saguenay. Since most of the contaminants measured are lipophilic, the pattern of distribution may reflect lipid distribution as much as chemical exposure. For example, our samples of halibut had 4 - 7 times more lipid than cod, and up to 150 times more than plaice, which would account for the much higher contamination of halibut compared to the other two species. The lipid distribution was also not constant within species. Shrimp showed a decline in lipid content with distance down the

Saguenay, while crab showed the exact opposite; the fattest crabs were found at Baie Eternité. Levels of lipid in crab from Baie des Mille-Vaches were similar to those at Baie Eternité, but levels at Baie-des-Anglais were about three times higher. Variations in lipid may reflect differences in ecosystem productivity or species reproductive cycles.

If all chemical data are expressed as $\mu\text{g/g}$ lipid, the differences of contamination among sites change considerably. Sites in the upper Saguenay appear much more contaminated with pesticides than the negative reference site, while PCBs appear elevated at both the upper Saguenay sites and at Baie-des-Anglais. The lipid normalization provides a very useful way of enhancing the 'signal' of contamination for lipophilic compounds, and for understanding chemical fate in terms of the structure of the food web and interactions with ecosystem productivity. However, it should not be interpreted in terms of the toxicological risk for aquatic biota, since chemical exposures causing effects are determined by 'dose', or the total amount consumed by an organism, and not by the concentration in lipid.

The importance of chemical levels in the Saguenay can be judged by comparisons to guidelines for protecting human health and to levels in other ecosystems known to be affected by chemical pollution. In terms of human health, the only chemical of interest is mercury. All others were far below the Canadian guidelines for fisheries products. For mercury, concentrations in samples of cod, halibut and crab exceeded the Guidelines. However, the levels in shrimp were about one-half the Guideline of $0.5 \mu\text{g/g}$ and similar to levels predicted from a decay curve ($0.11 \mu\text{g/g}$) calculated by Cossa and Desjardins (1984), based on a series of measurements between 1970 and 1983. Following the closure of the shrimp fishery in 1971 and the control of mercury sources in 1976, levels in sediments and shrimp have declined in a predictable way, likely at the same rate as contaminated sediments are slowly buried by cleaner surficial sediments (Cossa 1990).

With the exception of mercury, the Saguenay does not appear highly contaminated. Levels of PCBs in Saguenay invertebrates ranged from 0.046 to $0.23 \mu\text{g/g}$, whereas in U.S. East Coast sites, levels ranged from 0.015 to $21.7 \mu\text{g/g}$ (O'Connor and Huggett 1988). Similarly the highest level of DDT in Saguenay invertebrates was $0.012 \mu\text{g/g}$, much less than the maximum of $4.96 \mu\text{g/g}$ in crab reported by Matta *et al.* (1986) for the West Coast of the U.S. A similar comparison can be made for fish. Maximum levels of PCBs in fish from other locations ranged from 3.72 (West Coast, U.S.; Matta *et al.* 1986) to $12.5 \mu\text{g/g}$ (Great Lakes; Baumann and Whittle 1988), compared to a maximum of $0.524 \mu\text{g/g}$ for this study. The same trend was evident for DDT in fish. Chemical levels found in the Saguenay are not those currently associated with known ecological effects, although critical doses for the species analyzed have not been measured.

Overall, the sediments and biota of the Saguenay reflect man's influence in terms of chemical contamination. However, simple presence does not equal effects. Apart from mercury, which continues to decline, there appears to be no chemicals which exceed the Canadian guidelines for fisheries products and levels are below those typical of 'polluted' ecosystems. Nevertheless, since economic and ecological conditions are never constant, long-term monitoring

is needed to ensure that chemical levels are not increasing and that any increases can be detected and remedial actions taken to avoid ecological impacts.

REFERENCES

- Baumann, P.C. and D.M. Whittle. 1988. The status of selected organics in the Laurentian Great Lakes: an overview of DDT, PCBs, dioxins, furans, and aromatic hydrocarbons. *Aquat. Toxicol.* 11: 241-257.
- Cossa, D. 1990. Chemical Contaminants in the St. Lawrence estuary and Saguenay Fjord, p. 239-268. *In* M.I. El-Sabh and N. Silverberg (eds). *Oceanography of a large-scale estuarine system. The St. Lawrence.* Springer-Verlag, New York NY.
- Cossa, D. and C. Desjardins. 1984. Évolution de la concentration en mercure dans les crevettes du fjord Saguenay (Québec) au cours de la période 1970-83. *Rapp. Tech. Can. Hydrogr. Sci. Ocean.* no 32. 8 p.
- Delval, C., S. Fournier and Y. Vigneault. 1986. Polychlorinated biphenyl residues in some marine organisms from the Baie-des-Anglais (Baie-Comeau, Quebec, St. Lawrence Estuary). *Bull. Env. Contam. Toxicol.* 37: 823-829.
- Hellou, J., C. Upshall, J.F. Payne, and P.V. Hodson. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons in cod (*Gadus morhua*) from the Northwest Atlantic and St. Lawrence estuary. *Sci. Total Env.* 145:71-79.
- Hellou, J., P.V. Hodson, C. Upshall, and J.F. Payne. 1995. Contaminants in muscle of plaice and halibut collected from the St-Lawrence estuary and Northwest Atlantic. *Chem. Ecol* (accepted).
- Hodson, P.V., M. Castonguay, C.M. Couillard, C. Desjardins, E. Pelletier and R. McLeod. 1994. Spatial and temporal variations in chemical contamination of American eels (*Anguilla rostrata*) captured in the estuary of the St. Lawrence river. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 464-470.
- Hodson, P.V., C. Desjardins, É. Pelletier, M. Castonguay, R. McLeod and C.M. Couillard. 1992. Decrease in chemical contamination of American eels (*Anguilla rostrata*) captured in the Estuary of the St. Lawrence river. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1876. 57 p.
- Martel, L., M.J. Gagnon, R. Masse, A. Leclerc and L. Tremblay, 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Saguenay fjord, Canada. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 37: 133-140.

- Matta, M.B., A.J. Mearns and M.F. Buchman, 1986. Trends in DDT and PCBs in U. S. west coast fish and invertebrates. The National Status And Trends Program For Marine Environmental Quality. NOAA, Seattle, Washington. 95 p.
- O'Connor, J.M. and R.J. Huggett. 1988. Aquatic pollution problems, North Atlantic coast, including Chesapeake Bay. *Aquat. Toxicol.* 22: 163-190.
- Schafer, C.T., J.N. Smith and R. Cote, 1990. The Saguenay Fjord: A major tributary to the St. Lawrence estuary. p. 378-420. *In* M.I. El-Sabh and N. Silverberg (ed), *Oceanography of a large-scale estuarine system. The St. Lawrence.* Springer-Verlag, New York NY.

UN PROFIL DE DISTRIBUTION VERTICALE DES CONCENTRATIONS EN MERCURE DANS LES EAUX DU BASSIN INTÉRIEUR DU FJORD DU SAGUENAY

Daniel Cossa¹ et Charles Gobeil²

¹ Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
BP 1049, F44037 Nantes
France

² Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

Une colonne d'eau a été échantillonnée entre 5 m et 245 m, au centre du bassin intérieur du fjord du Saguenay au printemps 1992. Les prélèvements et les analyses ont été effectués selon les techniques en usage pour l'étude des traces métalliques en milieu marin. Le mercure total, le mercure "réactif" (espèces aisément réductibles), le mercure élémentaire et le diméthylmercure ont été dosés sur des échantillons non filtrés. La moyenne des concentrations en mercure total était de 3,14 pM pour un écart type (sn-1) de 1,82 (n=9). Ce niveau de concentration est environ 3 fois plus faible que celui mesuré 10 ans auparavant (Cossa 1990). L'allure du profil de concentrations montre un maximum près de la surface et un minimum entre 100 et 150 m. Cette distribution témoigne d'un apport en mercure par les eaux de surface et de l'advection d'eaux moins chargées en mercure et/ou d'un processus d'enlèvement dans les eaux intermédiaires. L'étude de spéciation fait apparaître que la somme des espèces chimiques recherchées est, quelle que soit la profondeur, inférieure à 25% du mercure total présent dans la colonne d'eau.

Cossa, D. 1990. Chemical contaminants in the St Lawrence estuary and the Saguenay fjord. p.239-268. In M.I. El-Sabh, et N. Silverberg (éds). Oceanography of a large-scale estuarine system: the St. Lawrence. Coastal and Estuarine Studies (Vol. 39). Springer-Verlag, New York, NY.

Le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent

LE PARC MARIN DU SAGUENAY - SAINT-LAURENT: VERS UNE NOUVELLE VISION DE LA CONSERVATION ET DE LA MISE EN VALEUR

Catherine Bégin

Ministère de l'Environnement et de la Faune
150, René-Lévesque Est, Québec (Québec)
G1R 4Y1

C'est avec grand plaisir que j'ai accepté aujourd'hui, au nom du ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, de venir vous parler du parc marin du Saguenay - Saint-Laurent pour le 61^{ème} congrès de l'Acfas. Je vais vous présenter un bref historique de la création du parc marin qui constitue une première au Québec et au Canada. Je vais ensuite décrire sommairement les objectifs visés pour ce territoire ainsi que le concept de mise en valeur et les modalités de gestion que nous soumettons actuellement à une consultation publique en vue de produire un plan directeur qui permettra de mettre en oeuvre ce projet avec l'appui des organismes et des partenaires concernés.

HISTORIQUE DE LA CRÉATION DU PARC MARIN

Sans relater l'historique des grands mouvements internationaux soulignant l'urgence et l'importance de créer des parcs marins, je dirais que le premier véritable jalon de l'histoire du parc marin remonte au 6 avril 1990, lors de la signature d'une entente concernant la création du parc marin du Saguenay Saint-Laurent. Cette entente amenait le gouvernement du Canada et celui du Québec à former un Comité d'harmonisation responsable de la cohérence de leurs actions respectives à l'égard du parc, notamment en matière:

- de planification,
- de recherche,
- de gestion et de programmation des activités,
- de consultation des personnes et des groupes intéressés
- et de toutes les autres modalités de gestion d'un parc par deux gouvernements.

Après la signature de l'entente d'avril 1990, un des premiers gestes posé par les ministères responsables des deux gouvernements fut de tenir, en décembre de cette même année, des audiences publiques sur les limites du parc marin. Plus de 70 mémoires ont été déposés par les organismes et intervenants concernés. Depuis, les gouvernements ont annoncé conjointement leur intention de porter la superficie de 746 km² à 1 138 km². Le territoire couvre tout le fjord du Saguenay, de Cap à l'Est situé à l'entrée de la baie des Ha!Ha!, jusqu'à son embouchure. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, il s'étend du Gros-Cap-à-l'Aigle jusqu'au quai de la traverse de Les Escoumins.

Il est important de préciser que le parc ne comprend que le milieu marin, et ce, jusqu'à la ligne des hautes marées sans débordements, ni inondations. Il ne comprend donc pas les îles ou les îlots, ni les infrastructures comme les quais et les marinas. De plus, une bande de 25 m autour de ces infrastructures a également été exclue du projet.

Après la consultation sur les limites, les deux gouvernements ont entrepris de rédiger une proposition de mise en valeur pour définir les grands objectifs et les modes de développement à privilégier.

Il faut souligner que le parc marin innove à bien des égards. D'être exclusivement en milieu marin, c'est déjà une première au Québec et au Canada. Mais c'est aussi la première fois que les deux gouvernements s'associent pour élaborer une proposition de conservation des ressources marines et de mise en valeur du milieu en vue d'une consultation publique conjointe. Les premières discussions sur le sujet ne furent pas toujours faciles: il faut comprendre que tout organisme a sa propre culture organisationnelle et ses façons de faire. Ainsi, les parties se sont entendues sur un processus d'ajustement qui a permis de définir ensemble ce que serait ce nouveau parc marin.

Cet exercice de rédaction d'une proposition de mise en valeur ne pouvait pas se faire en vase clos au sein des gouvernements. C'est pourquoi, les ministres qui étaient responsables de ce dossier, messieurs Jean Charest et Gaston Blackburn, ont convenu d'associer des organismes du milieu à la préparation de la proposition de mise en valeur. En juin 1992, se tenait la première réunion du comité consultatif, formé de représentants de trois municipalités régionales de comté touchées par le projet, de l'UQCN (Union québécoise pour la conservation de la nature), de la communauté scientifique et de la coalition pour le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Ces représentants devaient transmettre aux planificateurs des deux gouvernements leur perception des enjeux régionaux devant être pris en considération dans la proposition de mise en valeur. Cette façon de faire innovait encore. En effet, le milieu était maintenant associé à la préparation des documents qui allaient ensuite être soumis à une consultation publique élargie.

Il aura donc fallu près d'un an avant qu'une première version de la proposition de mise en valeur voit le jour. Pour certains cela peut sembler long, mais quand on connaît toute la complexité des écosystèmes marins et le dynamisme du milieu régional de Charlevoix, du Saguenay et de la Côte-Nord et du Bas-Saint-Laurent, régions déjà très développées sur le plan touristique, commercial et industriel, on peut se réjouir d'avoir une proposition dont les paramètres font l'objet d'un consensus. Car cette proposition reflète en effet une série d'accords de contenu qui ont nécessité de nombreux échanges. On peut penser par exemple aux enjeux de la chasse par rapport à ceux de la protection des ressources, à ceux des pôles de développement par rapport à ceux des différentes régions qui basent une grande partie de leur activité économique sur le tourisme. Il faut aussi penser à tous les risques de dédoublement et de chevauchement qu'un développement inconsidéré pourrait occasionner ou encore aux recherches et besoins de connaissance qu'il fallait baliser pour obtenir un portrait réaliste de la situation des écosystèmes marins et des ressources à protéger.

Tout ceci nous amène au 16 avril 1993, au moment où le ministre du Loisir de la Chasse et de la Pêche, responsable du parc marin pour le Québec, et le député de Chicoutimi, monsieur André Harvey qui agissait au nom du ministre de l'Environnement du Canada, responsable du parc marin pour la partie fédérale, annonçaient en conférence de presse le lancement des consultations publiques. Depuis, les deux gouvernements ont tenu une série de sessions d'information à Tadoussac, à la Malbaie, à ville de La Baie et à Montréal. C'est dans ces mêmes villes que devrait se tenir en juin 1993 les audiences publiques au cours desquelles les intervenants feraient valoir leurs opinions concernant la proposition de mise en valeur du parc marin.

PROPOSITION DE MISE EN VALEUR DU PARC MARIN

Le principal objectif du parc marin, la conservation des ressources, est un commun dénominateur à toutes les décisions de gestion. L'éducation et l'interprétation sont de la plus grande importance pour intéresser et sensibiliser les clientèles à la richesse et à la fragilité des composantes naturelles et culturelles du parc. Ces deux principes sont à la base du concept de mise en valeur du parc marin qui s'articule autour des trois grands écosystèmes que nous retrouvons dans le parc marin: le Fjord, l'Estuaire et, finalement la confluence de ces deux puissants cours d'eau. Une thématique a été attribuée à chacun de ces trois écosystèmes, ce qui permettra d'axer le message et de définir les équipements qui devraient être consolidés ou développés aux fins de réalisation et d'exploitation du parc marin. Ces trois pôles qui traiteront de façon globale de chacun de ces trois écosystèmes seront complétés par des pôles présentant chacun une thématique plus spécifique. Enfin, s'ajouteront à tous ces pôles une série de sites qui favorisent un contact particulier avec le parc marin, ou qui permettent la pratique d'une foule d'activités moins encadrées, ou encore qui contribuent efficacement à l'offre de service pour la clientèle du parc.

Le développement a été conçu de façon à établir un circuit touristique terrestre et maritime autour du Fjord et de l'Estuaire. L'objectif est d'inciter les visiteurs à parcourir et à découvrir l'ensemble des éléments qui constituent et qui entourent ce parc, tant sur le plan des composantes naturelles que culturelles.

Pour assurer la protection des ressources, il fallait également zoner le parc marin. Le zonage qui a été proposé constitue une autre innovation relative à ce projet. En effet, le parc marin, qui relève de plusieurs juridictions fédérale et provinciale, comporte des activités industrielles et commerciales importantes, bref une utilisation du milieu marin relativement contraignante dans un contexte de conservation. Ce contexte a amené les planificateurs à ajouter deux nouvelles dimensions au zonage traditionnel des parcs terrestres, soit un zonage vertical (pour la colonne d'eau ou la zone infralittorale par exemple), et un zonage temporel de façon à restreindre les activités pendant les périodes critiques, comme celle de l'alimentation ou de la nidification de certaines espèces, à titre d'exemple.

Un autre élément majeur de la proposition de mise en valeur traite de la gestion de ce nouveau parc. Sur le plan administratif, le document suggère qu'un comité de coordination soit mis sur pied pour la gestion et la mise en oeuvre de ce projet. Par comité de coordination, on entend une structure tripartite, formée des ministères responsables de la création du parc et de représentants du milieu. Cette nouvelle façon de faire permettrait de faire converger les efforts de tous en vue d'obtenir un « produit parc marin » de grande qualité et conforme aux attentes des personnes concernées.

Cette concertation s'étendra également aux programmes de recherche qu'il conviendra de développer au cours des prochaines années pour mieux connaître les composantes du parc marin. Ainsi, un comité pourra être mis sur pied pour assurer une coordination adéquate de tous les efforts de recherche qui seront consentis au cours des prochaines années. Un projet de symposium a souvent été mis sur la table pour amorcer une réflexion concernant la recherche dans le parc marin.

Enfin, il faut considérer les enjeux de gestion des activités qui ont un impact sur le milieu marin ou qui peuvent être jugées incompatibles avec la vocation de parc, par exemple les croisières d'observation des mammifères marins, la chasse à la sauvagine ou la chasse aux phoques, la cueillette de coquillages et le rejet des eaux usées. La proposition de mise en valeur suggère que ces activités fassent l'objet d'attentions particulières, de façon à ce que les gouvernements puissent contrôler les effets néfastes qu'elles pourraient avoir sur le milieu ou sur les autres activités associées au parc marin. Avant d'en interdire la pratique, les gouvernements proposent de mieux décrire ces activités afin d'en mesurer les impacts sur les écosystèmes marins et de prendre une décision éclairée en fonction de la réglementation actuelle. La décision de maintenir, de moduler ou d'interdire l'activité en question devrait au préalable faire l'objet de recommandations du Comité de coordination tripartite.

Comme vous le voyez, nous sommes assez loin de la mise en valeur des parcs terrestres et des façons de faire plus traditionnelles de création de parcs que ce soit au Québec ou ailleurs au Canada.

J'espère que cette brève présentation aura tout de même mis en lumière tous les enjeux de ce projet qui a soulevé l'enthousiasme des planificateurs des gouvernements et une passion indéfectible pour cette aire marine qui mérite tellement le statut de Parc qu'on s'apprête à lui donner.

DÉFIS QUE REPRÉSENTENT LA PROTECTION ET LA GESTION DES RESSOURCES NATURELLES DU PARC MARIN DU SAGUENAY - SAINT-LAURENT

Suzan Dionne

Ministère du Patrimoine Canadien
Parc Canada, Parc Marin du Saguenay - Saint-Laurent
C.P. 220, Tadoussac (Québec) G0T 2A0

Présentement, le but et les objectifs du parc marin du Saguenay - Saint-Laurent mettent l'accent sur la nécessité de favoriser la concertation pour la gestion des écosystèmes et des ressources naturelles, de façon intégrée, afin de garantir dans la mesure du possible la pérennité de la diversité biologique et l'intégrité des écosystèmes marins du parc.

Présomptions:

- La dimension de l'écosystème est dépendante de la problématique étudiée et des objectifs établis.
- L'intégrité écologique existe quand l'organisation structurale et fonctionnelle d'un écosystème n'est pas affectée par des stress ou des actions humaines. Le point essentiel de la gestion de base de l'intégrité écologique consiste à tendre vers le maintien de l'état et de l'évolution naturels des écosystèmes.
- Il est à noter que la plupart du temps la gestion ne s'applique pas directement aux écosystèmes, mais aux actions humaines qui affectent les écosystèmes.

En s'efforçant d'atteindre les objectifs du parc marin qui ne couvre qu'une minime portion de l'Estuaire, la nécessité d'intégrer la protection et la gestion des ressources à une échelle plus vaste apparaît très rapidement.

PROBLÉMATIQUES

Le parc n'est pas délimité en fonction d'écosystèmes entiers et fonctionnels

Le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent se trouvant dans un écosystème ouvert et particulièrement dynamique, il est difficile en pratique de circonscrire géographiquement les ressources naturelles et les liens écologiques de ce territoire. L'écosystème marin a trois dimensions. Son milieu est mouvant et caractérisé par une forte variabilité temporelle. Les frontières entre les écosystèmes marins sont diffuses et se déplacent ou disparaissent selon la saison. De plus, il est difficile de délimiter la région qui participe de façon significative à la production et à l'équilibre d'un écosystème ouvert.

Tous les océans sont reliés. La température, la salinité et la profondeur sont les principales barrières au libre mouvement des organismes marins. Le domaine vital de la plupart des espèces va bien au-delà des limites du parc. Le phoque du Groenland et le phoque gris sont de passage dans le territoire du parc. Ils mettent bas en dehors des limites du parc, soit aux Îles-de-la-Madeleine pour le phoque du Groenland et en Nouvelle-Écosse à l'île de Sable pour le phoque gris. Les bélugas se regroupent dans différentes parties de la région s'étendant de l'île aux Coudres à Sept-Îles, dépendant de la saison. La plupart des organismes benthiques qui sont fixés au substrat du territoire du parc ont eux aussi un stade de leur vie (stade larvaire) leur permettant de se disperser en dehors du parc.

Les milieux humides de la rive sud ne se retrouvent pas à l'intérieur du parc. Ces milieux humides jouent un rôle capital pour le contrôle de l'érosion, la régularisation des débits et l'épuration naturelle des eaux, sans oublier leur rôle d'habitats fauniques et leur productivité biologique exceptionnelle.

Le parc n'est ni isolé des terres et des eaux avoisinantes, ni à l'abri des incidents qui s'y produisent

Le parc marin Saguenay - Saint-Laurent n'est pas isolé biogéographiquement. Il pourrait être affecté par des modifications d'habitats, des facteurs de perturbation ou de la pollution à l'extérieur de ses limites.

Le parc a pour milieu un territoire non vierge

L'homme a modifié certaines caractéristiques du milieu. En construisant des barrages, il a changé le débit d'eau. Le développement urbain a amené la construction ou l'artificialisation des berges, la destruction systématique des marais, des battures et des milieux humides en général. Les prises d'eau potable, la pollution industrielle, agricole et urbaine, le traitement des eaux usées, le drainage ont modifié l'habitat de certaines espèces, etc.

Le ou les écosystèmes du parc sont soumis aux pressions de l'utilisation des ressources

Diverses activités de prélèvement (cueillette de moules, myes, pêche sportive hivernale) sont effectuées à l'intérieur du parc. Il est à noter que, puisque plusieurs organismes ont un stade de leur vie dans les eaux à l'extérieur du parc, ceux-ci se retrouvent d'une façon ou d'une autre exploités. De plus, le secteur du parc marin est un endroit convoité pour l'observation des mammifères marins. Les effets réels de ces pressions sur le ou les écosystèmes marins n'ont pas été évalués.

Il est impossible de restaurer le ou les écosystèmes du parc dans leur état originel

Il serait difficile de décrire qu'elles seraient les caractéristiques des écosystèmes du parc si l'influence humaine n'avait pas exercé son rôle.

UNE VISION GLOBALE DU SYSTÈME

Dans le cas du parc marin du Saguenay - Saint-Laurent, chaque ministère continue d'administrer le territoire dans le cadre de ses compétences législatives. Les gestionnaires du parc marin du Saguenay doivent harmoniser les interventions avec les différentes agences présentes en vue d'atteindre leurs objectifs. Ce mandat de protection est donc un défi important qui doit être relevé en adoptant des méthodes innovatrices et, surtout, en s'alliant à tous les partenaires disponibles et intéressés à nous assister. Les gestionnaires du territoire du parc marin se veulent des catalyseurs, des initiateurs et des incitateurs pour des interventions diverses qui permettront de conserver l'intégrité écologique de ce territoire.

Un des atouts disponibles est que les autorités fédérales et provinciales en matière d'environnement et d'économie sont à l'ère de l'exploitation rationnelle des ressources, du rendement soutenu et du développement durable (prospérité économique et qualité de vie dans le respect de la préservation de l'environnement pour le bénéfice des générations futures).

Le parc marin est une composante importante de la stratégie du développement durable, et forme un noyau qui peut apporter une certaine stabilité à l'écosystème régional. Il peut également être considéré comme une pièce essentielle au maintien de la biodiversité.

Le rôle des gestionnaires du parc marin n'est pas de se substituer aux organismes directeurs reconnus en vertu des lois, accords et précédents. Les gestionnaires du parc marin travailleront avec les agences responsables du secteur, les responsables des terres adjacentes ainsi que le public. Le parc marin agira comme organisme ressource afin que les parties concernées travaillent selon une approche intégrée et fondée sur les écosystèmes.

L'ensemble des gens voués à la conservation du territoire dans le parc devront utiliser une approche ou une perspective écosystémique. Les éléments fondamentaux du ou des écosystèmes ne devraient pas être isolés les uns des autres mais être regroupés dans un vaste contexte environnemental, social et économique. Nous devons avoir une vision globale du système dont le parc fait partie.

ACTIONS ENVISAGÉES

- Dresser l'inventaire des menaces internes et externes auxquelles le parc est exposé, en évaluer l'importance et prendre des mesures en vue d'y faire face, c'est-à-dire : examiner tous les programmes de conservation du parc - Plan d'action interministériel pour favoriser la survie du béluga, Plan d'action Saint-Laurent, Plan de conservation du parc (à être élaboré) - afin de vérifier si toutes les menaces sont bien identifiées.
- Identifier les organisations possédant les connaissances ou l'autorité nécessaires pour faire face à ces menaces; et préparer et mettre en oeuvre des stratégies afin d'y faire face.

- Élaborer des programmes appropriés et intégrés de contrôle et de gestion des ressources naturelles.
- Mettre en oeuvre les programmes prioritaires et évaluer les résultats d'une façon régulière.
- Conclure et appliquer d'autres ententes de coopération en matière de gestion des ressources et de recherche avec divers services ministériels, d'autres ministères fédéraux, des organismes provinciaux ou territoriaux, d'autres gestionnaires de terres avoisinantes ainsi que des établissements académiques.
- Organiser des comités consultatifs pilotes pour discuter des besoins en recherche et des approches pouvant conduire à la solution des problèmes de gestion des ressources.
- Élaborer et utiliser de nouvelles approches et méthodes en vue d'améliorer l'évaluation et la gestion des impacts environnementaux cumulatifs et synergiques tout en tenant compte des effets du développement à l'extérieur du parc; conclure des ententes avec des services d'Environnement Canada et d'autres organismes dans le but de mettre en oeuvre des programmes de surveillance de base à l'échelle régionale.
- Veiller à ce que les exigences relatives aux normes minimales et aux seuils acceptables de perturbation environnementale soient établies dans le plan de gestion du parc.

Voici donc un cheminement de pensée écosystémique. Maintenant, nous en sommes ou en serons bientôt à la phase de l'action écosystémique.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce colloque a permis de constater que les connaissances scientifiques ont beaucoup progressé au cours des dernières années. Malgré un manque de données publiées en océanographie physique, un modèle simple de la circulation dans le Saguenay a été présenté et a permis pour la première fois de démontrer que les débits d'eau douce en surface peuvent parfois empêcher la marée de pénétrer dans le Fjord. Il est nécessaire de développer un programme de recherche dont les objectifs seraient de comprendre les mécanismes qui contrôlent les échanges entre le Fjord et l'Estuaire, ainsi qu'entre les deux bassins. De meilleures connaissances sur la circulation sont essentielles car il s'agit d'un facteur déterminant pour l'organisation des écosystèmes, la distribution des organismes marins et pour le transport des contaminants. Les sédiments du Saguenay peuvent atteindre une épaisseur de plus de 1 400 m et sont riches en informations non encore dévoilées sur l'évolution paléogéographique du Fjord et sur les changements climatiques survenus depuis le quaternaire.

La composition et la distribution de la faune benthique sont maintenant mieux connues. Il semble que le fjord du Saguenay soit une zone refuge pour certaines espèces arctiques reliquales qui ne sont toutefois pas uniques au Fjord. Le Fjord partage 80% de sa faune avec celle de l'Estuaire mais abrite un certain nombre d'espèces qui lui sont propres. Les diverses organisations impliquées dans le développement du Saguenay et dans l'élaboration des politiques de conservation devront mettre en place des mécanismes pour protéger cette diversité biologique.

Au cours des dernières années, des travaux de recherche ont amorcé une description de la dynamique des populations des principales espèces d'intérêt commercial. On a montré que certaines caractéristiques notamment les taux de croissance d'espèces telles que le flétan du Groenland et le sébaste diffèrent de celles des populations de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Ces différences indiquent que ces espèces bouclent une partie importante de leur cycle de vie dans le Fjord. Une description de la faune parasitaire du flétan du Groenland a aussi permis de montrer que les adultes forment une population résidente dans le Fjord qui, toutefois, ne semble pas génétiquement isolée de celle de l'Estuaire ou du Golfe. La structure génétique de la crevette nordique est complexe et de l'hétérogénéité a été détectée à l'intérieur même du Fjord. Des projets de recherche devront être élaborés pour acquérir des connaissances sur les caractéristiques des populations et le degré d'isolement d'autres espèces pour mieux comprendre l'importance des échanges entre le Saguenay et l'estuaire du Saint-Laurent. Une meilleure compréhension de ces échanges permettra une évaluation plus adéquate des impacts possibles du développement industriel et touristique ainsi que de l'exploitation subie par certaines espèces, surtout lors de la pêche sportive hivernale. Les processus de recrutement dans le Saguenay devront être documentés car ils sont mal connus, même pour les espèces d'intérêt commercial.

Des travaux de recherche devront également porter sur la productivité du Fjord et la structure des communautés. Une meilleure description des relations trophiques est essentielle pour comprendre les mécanismes de transfert des contaminants. Des travaux ont montré que les polluants peuvent être transférés dans la chaîne alimentaire ou enfouis dans les sédiments et remis

en suspension par les organismes ou par des processus géologiques tels que les glissements de terrain. Une ébauche des modèles empiriques du cheminement des contaminants dans le fjord du Saguenay a été présentée. Le développement de ces modèles devra être poursuivi puis ceux-ci devront être validés par l'acquisition de nouvelles données chimiques, biochimiques, microbiologiques et écologiques à la fois sur les sédiments et le réseau trophique de l'ensemble du Fjord.

Les niveaux de plusieurs contaminants ont été mesurés dans les tissus de diverses espèces de poissons, de crustacés et de mollusques. Sauf pour le mercure dont les niveaux tendent à diminuer, les concentrations sont faibles et inférieures à celles associées à des effets écologiques. Les mesures effectuées dans les sédiments et les organismes aquatiques du Saguenay indiquent des apports anthropiques d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, de biphényles polychlorés, de dioxines, de furannes, de pesticides, de mercure et de cadmium dans la chaîne alimentaire de la partie amont du Saguenay. Il faudrait poursuivre la surveillance des concentrations de ces contaminants et élargir l'éventail des composés mesurés. De nouveaux travaux de recherche portant sur les effets des contaminants sur la santé des organismes aquatiques sont également nécessaires.

Ce colloque a permis de constater que, bien qu'elle ait progressé, la connaissance scientifique du Fjord est encore limitée. Le fjord du Saguenay est un milieu complexe et dynamique dont l'étude doit nécessairement être poursuivie avec des équipes multidisciplinaires. Le fjord du Saguenay constitue un héritage naturel remarquable qui mérite grandement d'être protégé. Le défi pour les prochaines années sera d'harmoniser toutes les activités centrées sur le fjord du Saguenay afin de préserver les caractéristiques qui en font un milieu exceptionnel et un laboratoire naturel unique au Canada.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à tous les participants pour leur dynamisme lors de la tenue de ce colloque. La qualité des présentations ainsi que les discussions stimulantes ont confirmé le très grand intérêt que suscite le fjord du Saguenay.

Nous voulons également remercier le comité organisateur du 61^{ème} Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (Acfas) qui a facilité l'organisation et la tenue du colloque.

Nous avons apprécié les commentaires judicieux de Martin Castonguay et de Louise Savard qui ont révisé le manuscrit. Leur suggestions ont permis d'améliorer de façon marquée la clarté et la qualité du document. Mme Louise Gendron et Diane Morin ont grandement contribué à l'édition finale du texte. Nous remercions Lionel Corriveau qui a retouché et réalisé plusieurs des figures et Patrice Gagné pour son travail de cartographie.

Finalement, nous tenons à remercier le ministère des Pêches et des Océans dont le support financier a permis la publication de ce rapport.

LISTE DES PARTICIPANTS

NOMS	AFFILIATION
ALBERT, Élaine	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
ARTHUR, Richard J.	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
BASTIEN, Christian	Université du Québec, Chicoutimi (Québec)
BÉGIN, Catherine	MEF, Québec (Québec)
BOSSÉ, Luci	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
BOULVA, Jean	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
BOURGEOIS, Alain	Université du Québec, Chicoutimi (Québec)
BRUNEL, Pierre	Université de Montréal, Montréal (Québec)
COSSA, Daniel	IFREMER, Nantes, France
CÔTÉ, Raynald	Université du Québec, Chicoutimi (Québec)
COUILLARD, Catherine M.	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
COUTURE, Mario	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
DEMARCO, Elizabeth	University of Toronto, Toronto (Ontario)
DIONNE, Suzan	MPC, Tadoussac (Québec)
FOURNIER, Judith	Musée canadien de la Nature, Ottawa (Ontario)
GAGNON, Christian	COR-INRS-O, Rimouski (Québec)
GOBEIL, Charles	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
GRATTON, Yves	COR-INRS-O, Rimouski (Québec)
HELLOU, Jocelyne	MPO, MWAF, St. John's (Terre-Neuve)
HODSON, Peter V.	ME, N.W.R. Institute, Burlington (Ontario)
KACZMARSKA-EHRMAN, Irena	Mt. Allison University, Sackville, (Nouveau Brunswick)
LEE, Kenneth	MPO, IML, Mont-Joli (Québec)
FEFAIVRE, Denis	MPO, IML Mont-Joli (Québec)
LOCAT, Jacques	Université Laval, Sainte-Foy (Québec)
MACINNIS, Maura	Mt. Allison University, Sackville, (Nouveau Brunswick)
MCLEOD, R.	Zenon Environmental Lab., Burlington (Ontario)
MILOSLAVICH, Patricia	Université Simon Bolivar, Caracas (Vénézuéla)
MUCCI, Alfonso	Université McGill, Montréal (Québec)
PELLETIER, Émilien	COR-INRS-O, Rimouski (Québec)
PRYOR, Angela	Memorial University, St. John's, (Terre-Neuve)
SCHAFFER, Charles	MPO, BIO, Dartmouth, (Nouvelle-Écosse)
SMITH, John N.	MPO, BIO, Dartmouth, (Nouvelle-Écosse)
SAINTE-MARIE, Bernard	MPO, IML Mont-Joli (Québec)
SAINT-PIERRE, Édith	Université du Québec, Chicoutimi, (Québec)
SÉVIGNY, Jean-Marie	MPO IML Mont-Joli (Québec)
TALBOT, André A.	Talbot & associés, Cap-Rouge (Québec)