

# ÉVOLUTION GÉOCHIMIQUE DES SÉDIMENTS DU FJORD DU SAGUENAY (QUÉBEC, CANADA) DEPUIS LA PERTURBATION ENVIRONNEMENTALE DE JUILLET 96 : RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

B. DEFLANDRE <sup>1</sup>, J.-P. GAGNÉ <sup>2</sup> ET G. DESROSIERS <sup>2</sup>

## Résumé

Nous présentons l'évolution géochimique des nouveaux sédiments déposés dans le Fjord du Saguenay (Québec, Canada) au cours de la crue éclair de juillet 1996. Une importante perturbation de la colonne sédimentaire et de forts gradients verticaux et horizontaux des paramètres géochimiques sont observés dans la Baie des Ha! Ha! un mois après l'apport des nouveaux sédiments. Les traceurs géochimiques mesurés permettent de préciser l'épaisseur de la nouvelle couche de sédiments dans la Baie des Ha! Ha!. Elle est comprise entre 4 et 40 cm pour les stations visitées. La matière organique (MO) présente dans le nouveau sédiment montre nettement son origine terrigène et l'absence de contaminations organiques. L'évolution géochimique des sédiments entre 1996 et 1997 indique une atténuation des anomalies géochimiques observées en 1996 qui demeurent toutefois visibles un an après les événements catastrophiques. Ces observations suggèrent une altération possible de la MO présente dans les sédiments et un retour vers des conditions géochimiques non-perturbées.

## Introduction

Entre le 18 et le 21 juillet 1996, des pluies diluviennes (entre 100 et 200 mm, Environnement Canada) sont tombées sur la région du Saguenay - Lac Saint-Jean (Québec, Canada) (Fig. 1) entraînant une crue soudaine de nombreuses rivières bordant le Fjord du Saguenay. Environ 15 millions de tonnes de sédiments et de débris (Lapointe et al., 1998) ont été transportés vers les secteurs de la Baie des Ha! Ha! et du Bras Nord recouvrant les sédiments déjà en place. La première expédition océanographique réalisée dans le Fjord du Saguenay trois semaines après la crue éclair nous a permis d'observer une couche de nouveaux sédiments déposée non uniformément dans l'ensemble de la partie amont du fjord. Le prélèvement d'une première carotte à boîte dans la Baie des Ha! Ha! montre une importante couche de nouveaux sédiments (épaisseur d'environ 20 cm) qui se différencie des sédiments déjà en place par sa couleur brune et sa grande fluidité.

L'objectif de cette étude est de caractériser la géochimie des sédiments nouvellement déposés au cours du déluge de juillet 1996 et d'évaluer leurs impacts récents sur la mobilité diagenétique et la redistribution de la MO. Plus spécifiquement, nous cherchons à: i) caractériser la géochimie des sédiments déposés en juillet 1996; ii) évaluer l'épaisseur de la nouvelle couche sédimentaire; iii) déterminer la nature de la MO présente dans le sédiment, et; iv) suivre l'évolution diagenétique des sédiments entre 1996 et 1997.

---

<sup>1</sup> Université du Québec à Rimouski, 310 allée des Ursulines, Rimouski (Québec), G5L 3A1, Canada

<sup>2</sup> Institut des Sciences de la Mer, Université du Québec à Rimouski, 310 allée des Ursulines, Rimouski (Québec), G5L 3A1, Canada

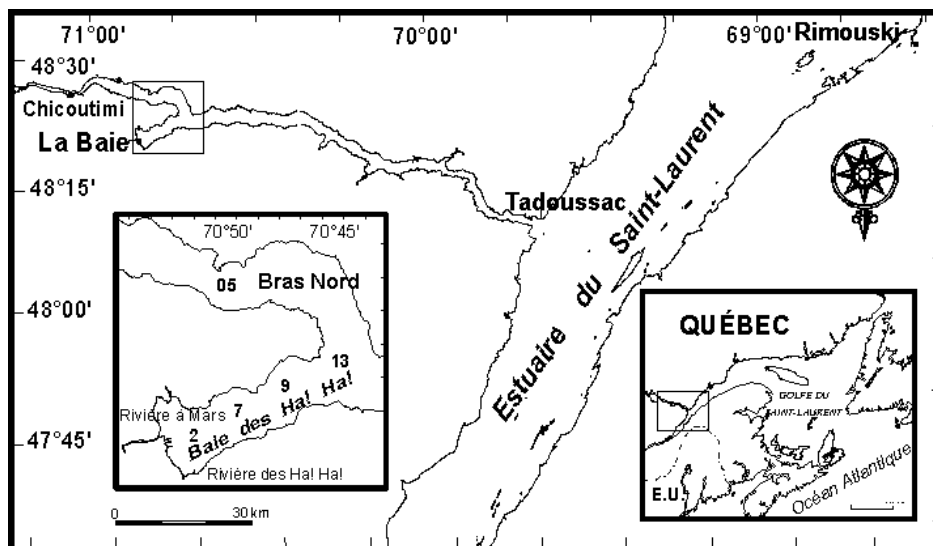


Fig. 1. Localisation des stations échantillonnées dans la Baie des Ha! Ha! et dans le Bras Nord du Fjord du Saguenay

### Site d'étude et paramètres mesurés

Les sédiments ont été prélevés à l'aide d'un carottier à boîte de type Hessler dans la Baie des Ha! Ha! aux stations 2, 7, 9 et 13 en septembre 1996 et 1997, et dans le Bras Nord à la station 05 du Fjord du Saguenay en août 1996 et 1997 (Fig.1). Les paramètres mesurés dans les sédiments sont la porosité, la composition en carbone total (% $C_T$ ), le rapport élémentaire  $C_T/N$  et les n-alcanes. La salinité et le carbone organique dissous (COD) sont mesurés à partir des eaux interstitielles extraites. Le COD est mesuré par détection ultraviolet (Deflandre et Gagné, Soumis).

### Caractéristiques géochimiques des sédiments déposés en 1996

Les distributions de la porosité et de la salinité (Fig.2) mettent en évidence une importante perturbation de la colonne sédimentaire. Cette perturbation, considérable dans la Baie de Ha! Ha!, diminue progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne des sources potentielles d'apports sédimentaires que sont la rivière à Mars et la rivière des Ha! Ha!. Les propriétés géochimiques des sédiments localisés dans le bras Nord sont moins perturbées que celles observées dans la Baie des Ha! Ha! (malgré un dépôt d'environ 10 cm). Certains traceurs géochimiques tels que %  $C_T$ ,  $C_T/N$  et COD (non présentés ici) indiquent de nettes anomalies de distribution à une profondeur correspondant à l'ancienne interface eau/sédiment, ensevelie en juillet 1996 sous une épaisse couche de nouveaux dépôts (interface nouveau/ancien sédiment).

Les anomalies de distribution les plus importantes, et inhabituelles pour cette région, sont observées pour la salinité. La présence d'eau de moindre salinité (autour de 25) est observée dans les sédiments perturbés. Un apport sédimentaire important et rapide aurait ainsi piégé l'eau douce transportée par les rivières jusque dans la baie où la suspension fluviale se serait diluée, en partie, avec l'eau marine produisant une turbidite saumâtre. Cette turbidite se serait ensuite déposée dans la Baie des Ha! Ha! causant les anomalies de salinité observées. L'importance des variations de salinité sur la solubilité de la MO et des contaminants est connue (Means, 1995; Turner, 1996; Whitehouse, 1984; Yeats et Bewers, 1976; Yeats, 1990), suggérant une mobilité de la MO et des contaminants (organiques et inorganiques) déjà en place au moment du déluge.

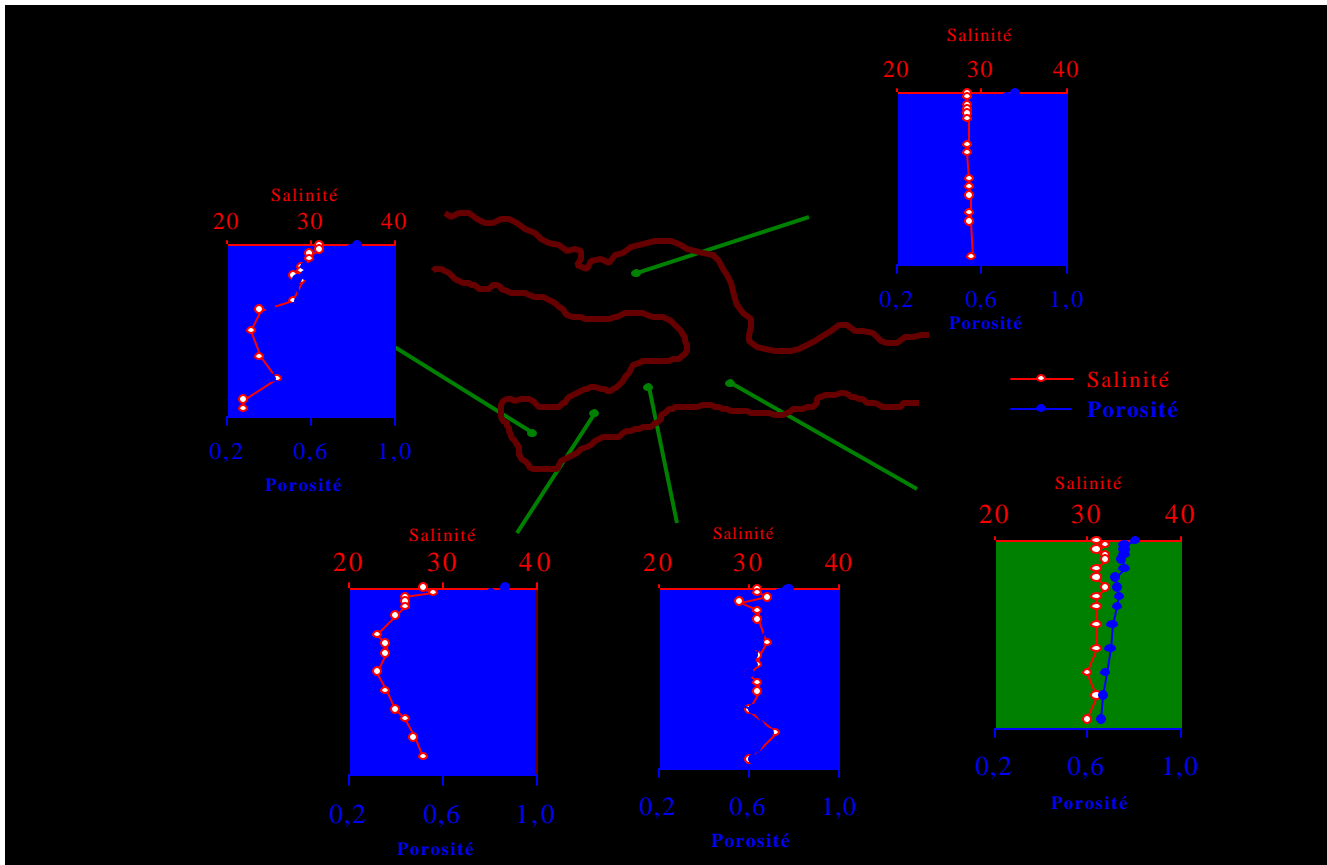


Fig. 2. Distribution en fonction de la profondeur de la porosité et de la salinité de la Baie des Ha! Ha! et du bras Nord du Fjord du Saguenay

La distribution de la porosité en fonction de la profondeur est très similaire à celle de la salinité. Les valeurs faibles observées (autour de 0,5) dans les profondeurs intermédiaires sont associées à du matériel sédimentaire relativement grossier. De telles anomalies de porosité n'ont jamais été rapportées pour cette région. Le matériel grossier se dépose généralement lors des crues printanières (Schafer et al., 1990). Ce matériel grossier, observé au cours du découpage de la

carotte, aurait été transporté par les rivières à Mars et Ha! Ha! dont les débits ont atteint jusqu'à 1100 m<sup>3</sup>/s au cours du déluge (Lapointe et al., 1998).

De façon générale, la couche de nouveaux sédiments est relativement pauvre en carbone total (< 2%). L'horizon situé autour de l'interface ancien/nouveau sédiment révèle une augmentation significative de la teneur en carbone total (jusqu'à 8 % pour la station 2). Une aussi grande valeur peut être due à un enfouissement rapide de MO fraîchement déposée à l'interface eau/sédiment (Mucci et Edenborn, 1992). Ouellet (1979) indiquait déjà des teneurs de carbone organique total élevées (14,0 %) dans le secteur industriel de la ville de La Baie (Fortin and Pelletier, 1995; Ouellet, 1990). La pauvreté en carbone total de ces sédiments nouvellement déposés nous permet de l'utiliser comme traceur pour évaluer l'épaisseur de cette nouvelle couche sédimentaire. La concentration du COD (non montrée) présente une distribution classique dans les sédiments marins avec une augmentation avec la profondeur. Cependant, à l'interface nouveau/ancien sédiment, nous observons une nette diminution suivie d'une soudaine augmentation significative des teneurs de COD.

L'étude détaillée de ces traceurs géochimiques pour chacune des stations échantillonnées dans la Baie des Ha! Ha! nous permet de préciser l'épaisseur de la nouvelle couche de sédiments déposée au cours du déluge de juillet 1996 avec pour les stations 2, 7, 9 et 13 environ 40, 35, 21, et 4 cm respectivement. Ces résultats mettent en évidence l'existence d'un gradient horizontal du dépôt sédimentaire dans la Baie des Ha! Ha!.

#### **Nature de la matière organique déposée en juillet 1996**

La composition chimique des n-alcanes (NA) (Tableau 1) dans les sédiments reflète la contribution relative des différentes sources naturelles ou anthropiques de la MO.

Les concentrations en NA totaux sont élevées à l'interface eau/sédiment (36,9 µg/g) et significativement plus faibles dans les sédiments sous-jacents (entre 9 et 2 µg/g). Ces concentrations sont du même ordre de grandeur que celles rapportées par Ouellet (1990) exceptées les valeurs obtenues au niveau de l'interface eau/sédiment.

Le NA majoritaire est souvent associé aux C15, C17 et C19 pour les algues marines et aux C27, C29 et C31 pour les végétaux supérieurs terrestres (Colombo et al., 1989). La couche de surface de la station 2 révèle une prédominance du C17 (MO autochtone) alors que le C27 domine dans les couches inférieures (MO principalement terrestre). Saliot (1981) précise que les NA légers (C17) ont un temps de résidence très court dans les sédiments. Une aussi grande concentration de C17 s'explique donc par une rapide sédimentation du matériel autochtone (Deflandre, 1994; Marty et al., 1994) vers les sédiments suite au déluge de juillet 1996. L'ensemble des autres stations de la Baie des Ha ! Ha ! est dominée par des NA à haut poids moléculaire (C23, C27 et C29), marqueurs des végétaux terrestres. La distribution des NA majoritaires avec la profondeur révèle une altération progressive des composés de faible poids moléculaire.

Le rapport des NA de faible poids moléculaire sur ceux de haut poids moléculaire (FPM/HPM) est supérieur à 1 pour les algues planctoniques et inférieur à 1 pour les plantes supérieures, les bactéries et les sédiments (Colombo et al., 1989). Cet indice confirme les observations faites précédemment avec la prédominance d'une MO autochtone dans la couche de surface des

sédiments de la station 2 (FPM/HPM = 2,11) et une prédominance d'un MO terrigène pour le reste de la Baie des Ha! Ha! (FPM/HPM < 0,4).

L'indice préférentiel de carbone IPC donne une valeur proche de 1 pour les hydrocarbures pétrogéniques et de 2 à 6 pour les plantes vasculaires et les sédiments non contaminés. Les résultats (environ 2,4) indiquent un caractère non contaminé du sédiment et indique une signature principalement terrigène de la MO dans les stations étudiées

### Évolution géochimique des sédiments entre 1996 et 1997

L'évolution géochimique de la salinité entre 1996 et 1997 (Fig.3) montre que les anomalies rencontrées en 1996 dans les stations les plus perturbées (stations 2 et 7) sont fortement réduites mais néanmoins toujours visibles en 1997. Par contre, celles observées en 1996 dans les stations peu ou non perturbées ont disparu en 1997. La salinité permet actuellement de suivre la récupération géochimique récente des sédiments de la Baie des Ha! Ha!. Le comportement du COD entre 1996 et 1997 présente une augmentation des concentrations de COD. Ces observations suggèrent une possible altération géochimique de la MO présente dans les sédiments et/ou une plus grande solubilité de la MO qui serait directement causée par les anomalies de salinité observées dans les sédiments de la Baie des Ha! Ha!.

Tableau 1 : Concentrations en NA et indices de biomarqueurs de la nature et de l'origine de la MO dans les sédiments des stations 2 et 13 [NA majoritaire : NA présent en plus forte concentration dans une couche de sédiments donnée; FPM/HPM : NA de faible poids moléculaire (nbC≤20) / NA de haut poids moléculaire (nbC≥21); Indice Préférentiel de Carbone :  $IPC = 2(C27+C29)/(C26+2C28+C30)$ ]

Station	Profondeur (cm)	N-alcane total µg/g sedt sec	N-alcane majoritaire	FPM/HPM	Indice Préférentiel de Carbone
2	0	36,88	C17	2,11	3,00
	13	9,52	C23	0,37	1,85
	26	2,96	C27	0,34	2,77
	36	2,73	C27	0,51	1,87
	38	2,62	C27	0,37	2,31
13	0	19,01	C23	0,09	2,17
	3	9,24	C29	0,16	2,29
	18	4,59	C29, C27	0,11	2,55
	38	9,68	C27	0,08	2,79

L'indice préférentiel de carbone IPC donne une valeur proche de 1 pour les hydrocarbures pétrogéniques et de 2 à 6 pour les plantes vasculaires et les sédiments non contaminés. Les résultats (environ 2,4) indiquent un caractère non contaminé du sédiment et indique une signature principalement terrigène de la MO dans les stations étudiées

### Évolution géochimique des sédiments entre 1996 et 1997

L'évolution géochimique de la salinité entre 1996 et 1997 (Fig.3) montre que les anomalies rencontrées en 1996 dans les stations les plus perturbées (stations 2 et 7) sont fortement réduites mais néanmoins toujours visibles en 1997. Par contre, celles observées en 1996 dans les stations peu ou non perturbées ont disparu en 1997. La salinité permet actuellement de suivre la récupération géochimique récente des sédiments de la Baie des Ha! Ha!. Le comportement du COD entre 1996 et 1997 présente une augmentation des concentrations de COD. Ces observations suggèrent une possible altération géochimique de la MO présente dans les sédiments et/ou une plus grande solubilité de la MO qui serait directement causée par les anomalies de salinité observées dans les sédiments de la Baie des Ha! Ha!.

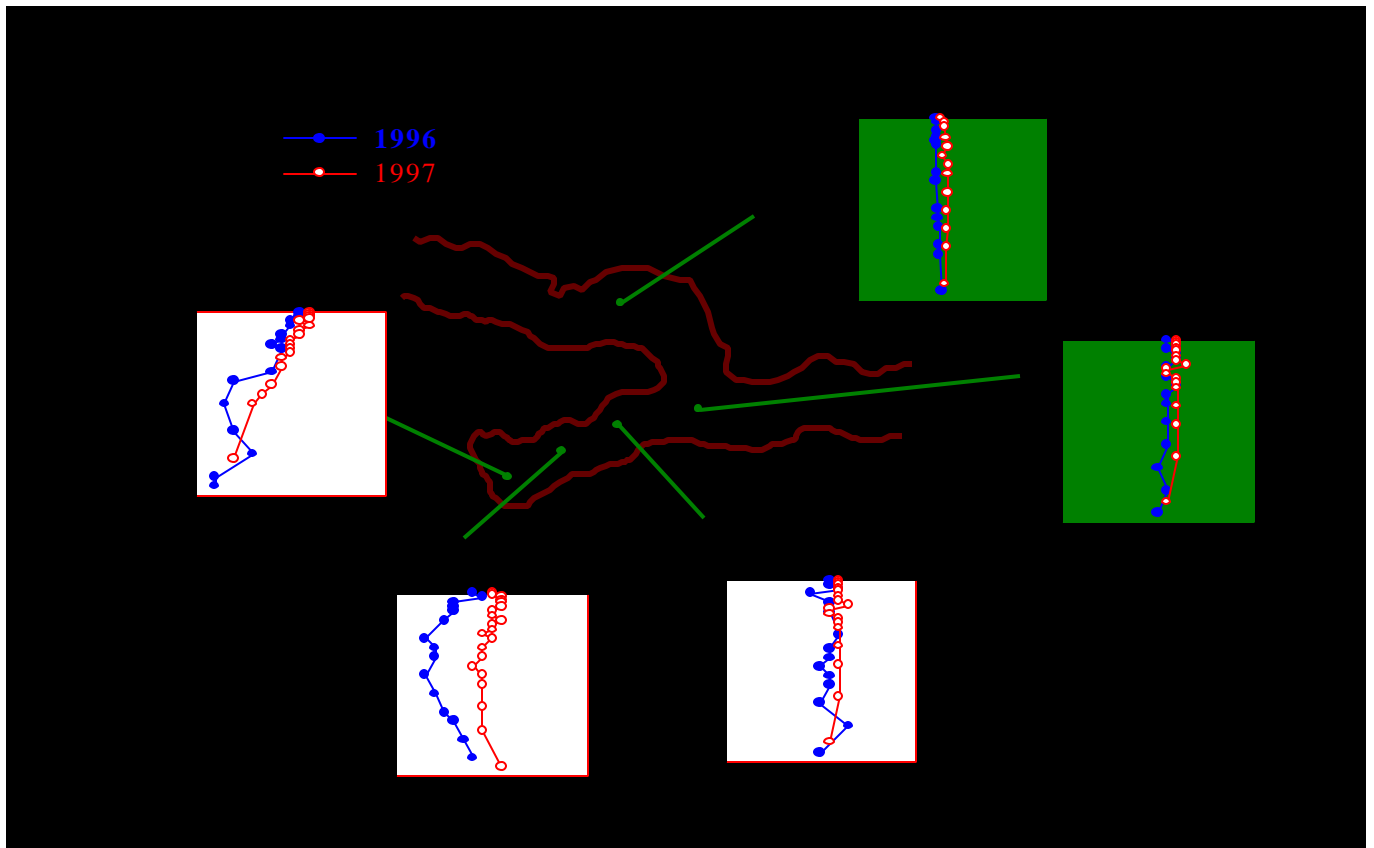


Fig. 3. Évolution géochimique de la salinité mesurée dans les eaux interstitielles des sédiments du Fjord du Saguenay entre 1996 et 1997

## Conclusion

Les propriétés géochimiques de la couche de sédiments déposée au cours de juillet 1996 montrent : i) des gradients horizontaux et verticaux pour les traceurs géochimiques étudiés ; ii) des anomalies de salinité dans les sédiments des stations les plus perturbées suggérant une plus grande solubilité de la MO présente dans les sédiments, et ; iii) une couche de sédiments relativement pauvre en carbone total.

La caractérisation de la nature de la MO déposée au cours du déluge de juillet 1996 indique : i) des concentrations en NA totaux du même ordre de grandeur que celles révélées avant le déluge ; ii) la présence de MO principalement terrigène, et ; iii) le caractère non contaminé de la MO présente dans la nouvelle couche de sédiments.

Un an après le déluge de juillet 1996, une atténuation des modifications géochimiques des sédiments perturbés est observée. L'ensemble de ces travaux préliminaires indique que le système retourne vers l'état géochimique dans lequel il se trouvait avant le déluge.

## Références bibliographiques

- Colombo J.C., Pelletier E., Brochu C. et M. Khalil, 1989. Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de La Plata estuary, Argentina. *Environ. Sci. Technol.* 23: 888-894.
- Deflandre B. et J-P. Gagné. A rapid ultraviolet detection method for dissolved organic carbon in marine pore water using nanoliter sample. *Limnology and Oceanography* (soumis).
- Deflandre B., 1994. Flux vertical de matière organique particulaire dans le bassin nord occidental de la Méditerranée. Diplôme d'Études Approfondies en Météorologie, Océanographie et Environnement. Option: Chimie marine, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6, Villefranche-sur-mer, 58 pp.
- Fortin G.R. et M. Pelletier, 1995. Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du Saguenay. Zones d'intervention prioritaire 22 et 23, Environnement Canada, région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Lapointe M.F., Secretan Y., Driscoll S.N., Bergeron N. et M. Leclerc. 1998. Response of the Ha! Ha! river to the flood of July 1996 in the Saguenay region of Quebec : Large-scale avulsion in a glaciated valley. *Wat. Resour. Res.* 34 : 2383-2392.
- Marty J.C., Nicolas E., Miquel J.C. et S.W. Fowler, 1994. Particulate fluxes of organic compounds and their relationship to zooplankton fecal pellets in the northwestern Mediterranean Sea. *Mar. Chem.* 46: 387-405.
- Means J.C., 1995. Influence of salinity upon sediment-water partitioning of aromatic hydrocarbons. *Mar. Chem* 51: 3-16.
- Mucci A. et H.M. Edenborn, 1992. Influence of an organic-poor landslide deposit on the early diagenesis of iron and manganese in a coastal marine sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56** : 3909-3921.

- Ouellet S., 1990. Études des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques polycycliques dans les sédiments du fjord du Saguenay, Université du Québec à Rimouski.
- Pelletier É., Deflandre B., Nozais C., Tita G., Desrosiers G., J-P. Gagné et A. Mucci. Crue éclair de juillet 96 dans la région du Saguenay (Québec): 2. Impacts sur les sédiments et le biote de la baie des Ha! Ha! et du fjord du Saguenay. J. Can. Sci. Halieut. Aquat. (soumis).
- Saliot A., 1981. Natural hydrocarbons in sea water. Dans: E.K. Duursma et R. Dawson (Editors), Marine Organic Chemistry, pp. 327-374.
- Schafer C.T., Smith, J.N. et R. Côté, 1990. The Saguenay fjord: a major tributary to the St. Lawrence Estuary. Dans : M.I. El-Sabh et N. Sylverberg (Editors), Oceanography of a large-scale estuarine system the St. Lawrence. Coastal and estuarine studies, pp. 378-420.
- Turner A., 1996. Trace-metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration. Mar. Chem. 54: 27-39.
- Whitehouse B.G., 1984. The effects of temperature and salinity on the aqueous solubility of polynuclear aromatic hydrocarbons. Mar. Chem. 14: 319-332.
- Yeats P.A. et J.M. Bewers, 1976. Trace metals in the waters of the Saguenay fjord. Can. J. Earth Sci. 13: 1319-1327.
- Yeats P.A., 1990. Reactivity and transport of nutrients and metals in the St. Lawrence Estuary. Dans: M.I. El-Sabh et N. Sylverberg (Editors), Oceanography of a large-scale estuarine system the St. Lawrence. Coastal and estuarine studies, pp. 155-169.

### **Remerciements**

Ce travail a été supporté par le FCAR, le CRSNG et le GREC (subventions de recherche accordées à J-P. Gagné). Nous exprimons notre reconnaissance au Pr. Alfonso Mucci (Université McGill, Montréal) pour sa collaboration au cours des missions et dans le travail qui a suivi. Un grand merci au capitaine et à l'équipage du navire océanographique *Alcide C. Horth* pour leur collaboration durant l'échantillonnage. Une mention spéciale à D. Bérubé, I. Marcotte, M. Levasseur, B. Gouteux, L. Tremblay et B. Pelletier.