

LE DÉLUGE DU SAGUENAY EN JUILLET 1996: LES PERTURBATIONS PHYSIQUES ET CHIMIQUES DANS LA COLONNE D'EAU DU FJORD

S. ALPAY¹, A. MUCCI¹, et L. LEFRANÇOIS²

Introduction

Les précipitations abondantes sur le bassin versant du Saguenay ont déclenché le déluge dévastateur et les glissements de terrain du 19 au 21 juillet 1996 (ex., Brooks et al., 1997; Yu et Lin, 1997). Conséquemment, un volume important de sédiments provenant des rivières a été transporté rapidement vers le fjord (ex., Brooks et al., 1997). Lapointe et al. (1998) ont estimé à quinze tonnes métriques la quantité de sédiments transportée vers le fjord du Saguenay par suite d'une brèche dans le cours de la Rivière des Ha! Ha!. Le flux rapide et important de sédiments vers le fjord a potentiellement perturbé les caractéristiques physiques, chimiques, et biologiques de la colonne d'eau.

Le programme d'échantillonnage s'étalant sur une période de trois ans a visé à identifier les processus de transfert des métaux traces de la colonne d'eau du fjord du Saguenay vers les sédiments. Les mesures qui ont enregistré les effets du déluge étaient strictement fortuites car les échantillonnages prévus ont coïncidé avec les périodes avant et après les événements du 19 au 21 juillet 1996. Dans ce résumé, ces mesures forment la base d'évaluation des effets du déluge sur les propriétés physiques et chimiques de la colonne d'eau du fjord.

Le fjord du Saguenay est un milieu de transition (continental à océanique). Les eaux douces provenant principalement de la Rivière Saguenay sont transportées au dessus d'une masse d'eau salée (salinité \cong 30) issue de l'incursion d'eau froide de l'estuaire St-Laurent au dessus du seuil situé à l'embouchure du fjord (ex., Schafer et al., 1990). La présence d'une halocline bien définie, qui sépare la couche d'eau douce de l'eau marine sous-jacente, fait du fjord un estuaire stratifié (ex., Drainville, 1968).

Un effet immédiat et anticipé suite au déluge est l'augmentation de la concentration de la matière particulaire en suspension (MPS) dans la colonne d'eau du fjord. Les autres effets potentiels prévus sont une modification de la stratification de la colonne d'eau, une diminution de la concentration d'oxygène dissous suite à un apport élevé de matière organique, l'augmentation de la prédominance de la MPS terrestre, et une perturbation des écosystèmes fauniques.

Méthodes

Les échantillons ont été prélevés aux stations SAG-05, SAG-15, SAG-30 et SAG-36 (Figure 1) pendant les missions de recherche à bord des navires Alcide C. Horth (20-27 mai 1995; 15-20 mai, 18-25 août 1996; 1-7 juin, 5-12 octobre 1997; 8-18 mai, 19-24 août 1998), et N.G.C.C. Martha L. Black (21-26 août 1997), ainsi que d'un bateau de plaisance (12-13 octobre 1996; 7 juillet 1997). Les eaux douces de surface (3-5 m), de l'halocline (salinité \cong 18-22) et les eaux marines peu profondes (\leq 50 m) ont été échantillonnées à l'aide d'une pompe pneumatique en

¹ Sciences de la Terre et des Planètes, Université McGill, 3450 Rue Université, Montréal, Qc, Canada, H3A 2A7; courrier électronique, respectivement: salpay@eps.mcgill.ca, al_m@eps.mcgill.ca

² ISMER, Université du Québec à Rimouski, 310 allée des Ursulines, Rimouski, Qc, Canada, G5L 3A1

Téflon® actionnée à l'azote comprimée à partir du bateau. Les eaux marines plus profondes ont été échantillonnées à tous les 50 m avec des bouteilles Niskins® de 12 et/ou 30 L, attachées en série à un mètre d'intervalle au câble galvanisé du treuil et centrées à la profondeur désirée. La salinité et la température ont été mesurées par un profileur STD 548 de Applied Microsystems®. La méthode modifiée de Winkler (Carpenter, 1965) a été utilisée pour mesurer l'oxygène dissous à bord du navire en août 1996. Le pourcentage de saturation de l'oxygène dissous a été calculé selon l'équation de Carpenter (1966). Les concentrations de MPS ont été mesurées suite à la filtration sous vide de volumes connus d'eau sur des filtres de microfibre de verre (0.3 µm; Whatman® EPM 2000). Avant l'utilisation, les filtres ont été brûlés à 500°C pendant six heures et pesés. Après les filtrations, ils ont été congelés et lyophilisés avant d'être repesés. Les filtrations étaient complétées quand les filtres étaient colmatés ou un volume minimum de 10 L a été filtré pour chacun des trois réplicats. La moyenne des déviations standards relatives pour les trois réplicats des concentrations de MPS est 11% (n=149). Les concentrations de carbone et azote totaux de la MPS ont été déterminées par un analyseur élémentaire Carlo Erba (NA 1500) avec une moyenne des déviations standards relatives, respectivement, de 10 et 14% (n=144).

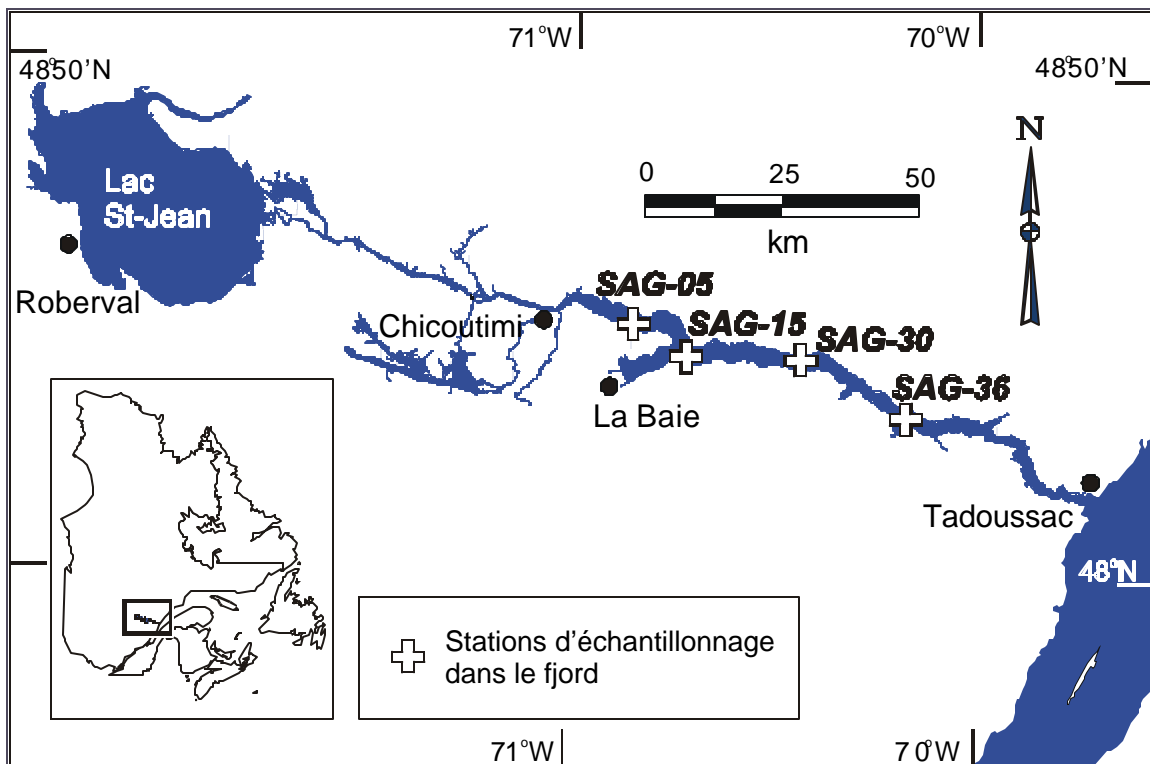


FIGURE 1. Site d'étude et stations d'échantillonnage.

Résultats et discussion

Malgré l'apport massif de sédiments de la Rivière Saguenay et du bassin versant de la région de La Baie vers le fjord, la stratification de la colonne d'eau a été maintenue ou a été rétablie en moins d'un mois après le déluge. Les profils de salinité et de température obtenues en mai 1995 (Figure 2a), juin 1996 (Pelletier et al., soumis), et après le déluge (août 1996; Figure 2b) révèlent

des variations de température et de salinité dans les eaux de surface ainsi que de la profondeur de l'halocline. Cependant, ces changements correspondent aux variations saisonnières observées dans une série de profils enregistrés entre 1992 et 1998 (Alpay et Mucci, données non publiées). Pendant le déluge, la stratification de la colonne d'eau aurait pu être préservée aux stations d'échantillonnage à cause de la distance qui les sépare des sources principales d'eau douce et de sédiment. Par exemple, les stations SAG-05 et SAG-15 sont situées, respectivement, à 17 et 12 km de la Rivière Saguenay et de la Rivière des Ha! Ha!.

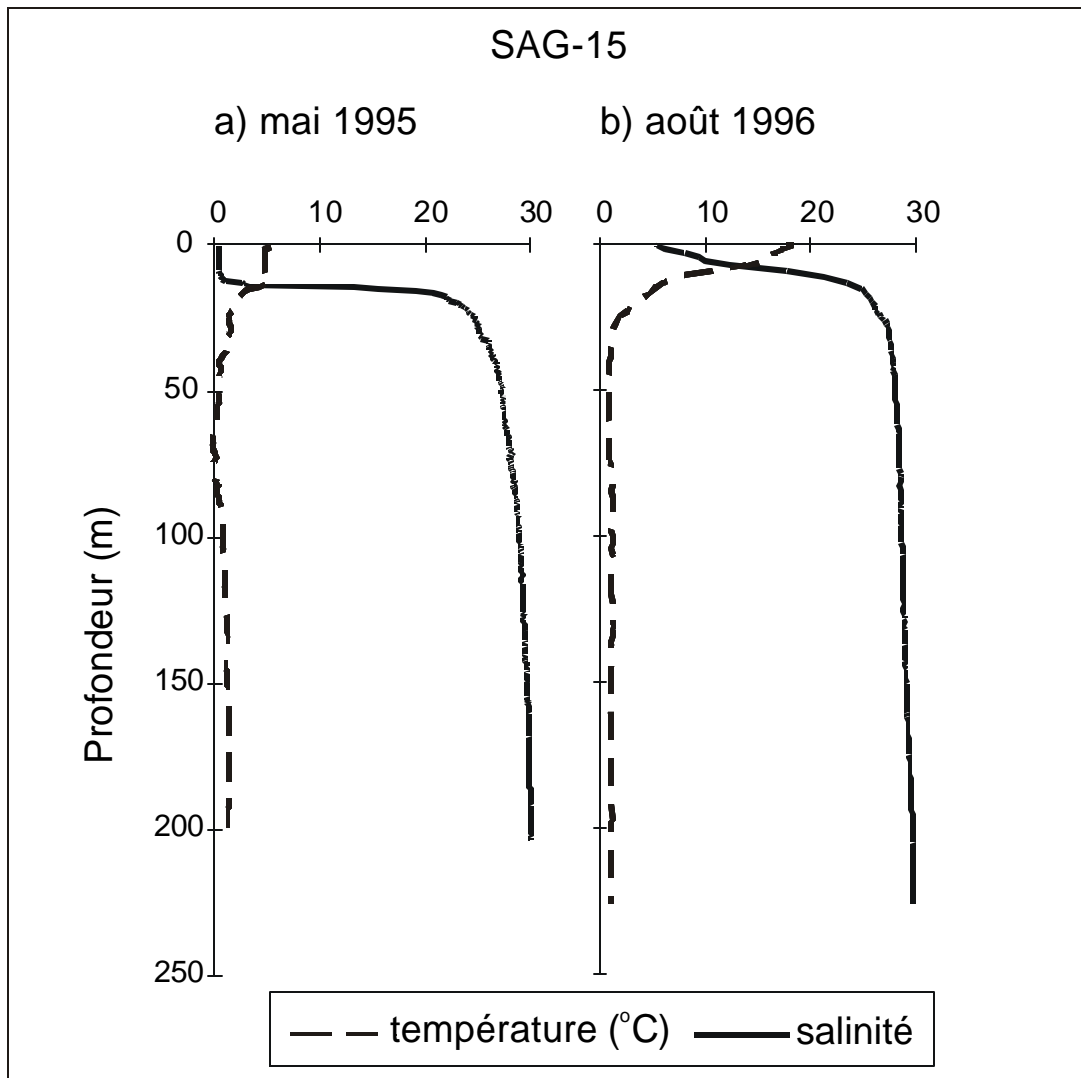


Figure 2. Profils de température et de salinité dans la colonne d'eau à la station SAG-15 a) le 21 mai 1995, avant le déluge, et b) le 22 août, un mois après le déluge.

Quoique l'apport rapide de matière organique terrigène aurait pu épuiser la réserve d'oxygène dans la colonne d'eau, l'oxygénation a été maintenue après les événements du déluge. Des mesures répétées, y compris celles de cette étude, démontrent que la colonne d'eau est demeurée

bien oxygénée (Figure 3). Aux trois stations échantillonnées en août 1996 (SAG-05, SAG-30 et SAG-36), les concentrations d'oxygène dissous ont été minimums dans l'eau de surface, ont augmenté avec la profondeur jusqu'à l'atteinte d'un maximum à 50 m, et ont diminué faiblement avec la profondeur jusqu'à l'interface eau-sédiment. En fait, les résultats révèlent que la colonne d'eau marine était sursaturée en oxygène dissous (jusqu'à 125%), tandis que les résultats rapportés par Drainville (1968) issus d'une étude effectuée en 1961-62 indiquent que la colonne d'eau marine était saturée en oxygène dissous (jusqu'à 99.7%). Un mélange des eaux douces et marines ou un réchauffement des eaux marines par conduction pourraient expliquer la sursaturation observée en oxygène dissous. Pendant la même période d'échantillonnage, la distribution verticale de l'oxygène dans les sédiments à la station SAG-05 a été mesurée à l'aide d'une microélectrode voltampérométrique selon la méthode à balayage linéaire de Brendel et Luther (1995). Quoique la pénétration d'oxygène est peu profonde (~2 mm), elle est semblable à celle obtenue avant le déluge. Le maintien ou le rétablissement rapide de l'interface oxygène-anoxique dans les sédiments un mois après le déluge confirme que la colonne d'eau dans son ensemble est restée bien oxygénée jusqu'à l'interface eau-sédiment.

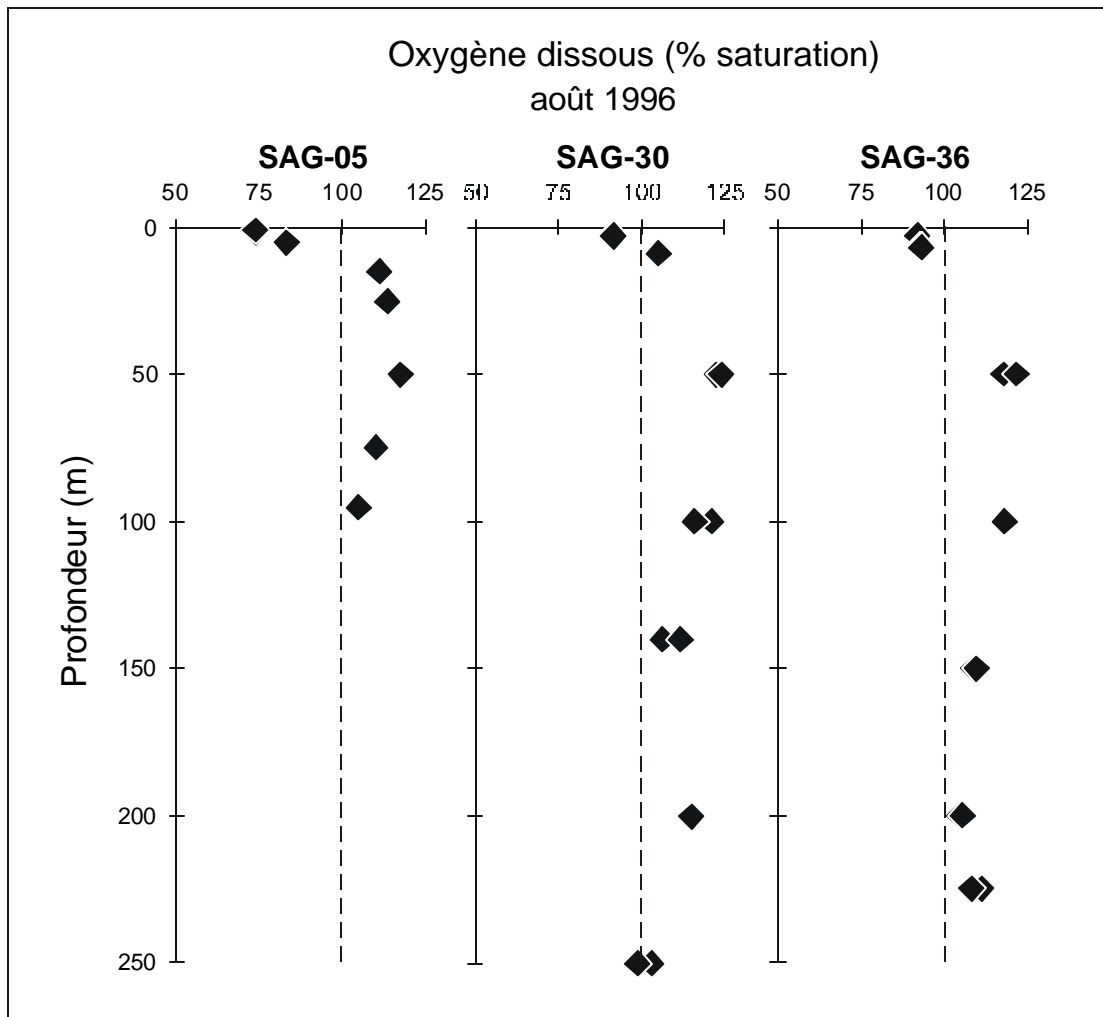


FIGURE 3. Profils d'oxygène dissous dans la colonne d'eau aux stations SAG-05, SAG-30 et SAG-36 en août 1996.

Les perturbations causées par le déluge ne sont pas discernables par rapport aux variations saisonnières du rapport carbone total:azote total (C_{tot}/N) de la MPS au cours des périodes d'échantillonnages (1996-98; Alpay, données non publiées). Pourtant, les rapports C_{tot}/N des dépôts du déluge sont plus élevés que ceux des sédiments sous-jacents (Mucci, données non publiées). Or, si le rapport C_{tot}/N du dépôt du déluge est corrigé pour son contenu en carbonate détritique (~0.5% poids sec), le rapport carbone organique:azote total (C_{org}/N) du dépôt du déluge ne peut pas être distingué du rapport C_{org}/N ou C_{tot}/N des sédiments sous-jacents. La carbone inorganique est absent dans les sédiments sous-jacents, tandis que sa présence dans le dépôt du déluge a été causée par l'érosion, le transport, la sédimentation et l'enfouissement rapide des sables, limons et argiles post-glaciaires (sédiments de la Mer de Laflamme) au-dessous de la zone oxygène dans les sédiments. Donc, une augmentation de la prédominance des particules d'origine terrestre causée par le déluge ne peut pas être décelée à partir des rapports C_{org}/N de la phase solide que ce soit dans la colonne d'eau ou dans les sédiments du fjord.

Les concentrations de la MPS dans la colonne d'eau varient temporellement à un tel point que les perturbations qui auraient pu être causées par le déluge ne peuvent pas y être attribuées uniquement (Alpay, données non publiées). Pourtant, une concentration anormalement élevée de la MPS a été observée en août 1996 à une profondeur de 100 m à la station SAG-15 (Figure 4), 12 km en aval de l'embouchure de la Rivière des Ha! Ha!. Puisque les profils de température et de salinité n'indiquent pas de modification de la stratification de la masse d'eau marine (Figure 2b), cette anomalie pourrait être associée aux événements du déluge. Le transport latéral des fines particules en suspension de la Baie des Ha! Ha! (~110-160 m de profondeur) vers le fjord en est probablement la cause. D'autre part, la MPS élevée à la station SAG-15 pourrait refléter un transport vertical par impulsion des particules érodées des pentes abruptes du fjord (ex., Syvitski et Farrow, 1989).

La MPS de granulométrie grossière s'est probablement déposée rapidement après le déluge près des sources de sédiments dans la Rivière Saguenay, à l'amont du fjord, et dans la Baie des Ha! Ha!. Bien que ces particules n'aient probablement pas persistées en suspension dans la colonne d'eau un mois après le déluge, elles auraient été sous-échantillonnées par les appareils d'échantillonnage (ouvertures de 1,6 cm pour la pompe ou 7,2 à 12,5 cm pour les bouteilles Niskin®). Réciproquement, la matière colloïdale fine n'aurait pas été retenue par les filtres de microfibre de verre. Quoique la plupart du matériel du déluge ait été déposé près de ses sources, les particules de taille inférieure au sable fin ont été déposées dans le fjord jusqu'à SAG-15 ainsi que sur une couche mince et discontinue à SAG-30. Puisque le temps de séjour de l'eau douce dans le fjord est de 6 à 8 jours (ex., Laforêt, 1994), les particules provenant du déluge et qui sont demeurées en suspension dans la couche d'eau douce ont pu être transportées rapidement par advection vers l'estuaire St-Laurent.

Seule une faible augmentation de la concentration de la MPS ayant été détectée sur l'ensemble de la colonne d'eau, il est vraisemblable que les écosystèmes pélagiques du fjord n'ont pas été affectés de façon significative par le déluge, tel que démontré dans la Baie des Ha! Ha! par Pelletier et al. (soumis). Cependant, le carottage à boîte aux stations SAG-05 et SAG-15 en août 1996 a démontré que la faune benthique a été enfouie par les nouveaux dépôts, mais la recolonisation observée en juin 1997 indique un rétablissement de cet écosystème.

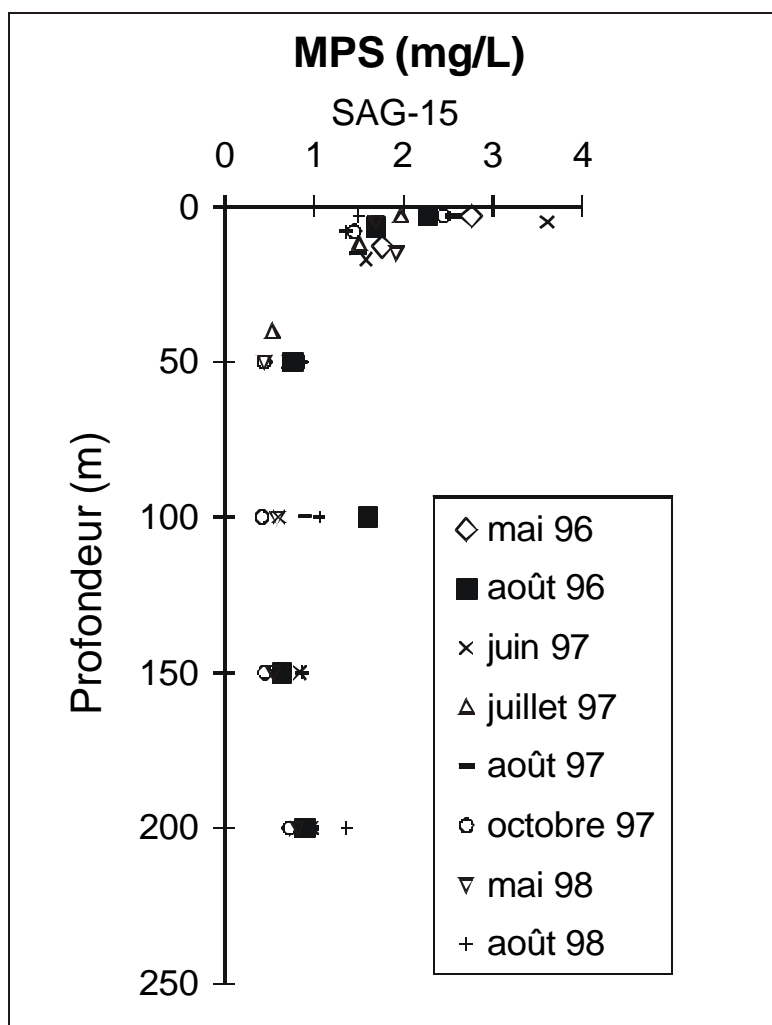


Figure 4. La distribution verticale de la concentration de la MPS à la station SAG-15 pendant les échantillonnages de la colonne d'eau dans le fjord du Saguenay, 1996-1998.

Conclusions et implications

Aucun changement détectable de la stratification ou de l'oxygénation de la colonne d'eau n'a été observé un mois après le déluge du Saguenay en juillet 1996. Une seule concentration élevée de la MPS a été observé à mi-profondeur dans la masse d'eau marine à l'embranchement de la Baie des Ha! Ha! et le bras nord du fjord. La MPS élevée peut être imputée au transport latéral en profondeur des fines particules en suspension provenant du déluge ou à l'érosion locale.

Les perturbations du rapport C/N des particules et des concentrations de la MPS dans la colonne d'eau avant et après les événements du 19 au 21 juillet 1996 ne peuvent pas être attribuées uniquement au déluge puisqu'elles s'insèrent aux variations saisonnières. Les effets du déluge dans la colonne d'eau auraient pu être de courte durée et limités principalement dans la Rivière Saguenay, à l'amont du fjord, et dans la Baie des Ha! Ha!. Sur la base des paramètres mesurés (profils de salinité, température, oxygène dissous et la MPS), les effets spatiaux et temporels du déluge dans la colonne d'eau peuvent être contraints à moins de 12 km (la station SAG-15

jusqu'à l'embouchure de la Rivière des Ha! Ha!) un mois après l'évènement.

Un programme de recherche élaboré spécifiquement pour déterminer les effets diluviens dans la colonne d'eau doit comprendre l'identification des paramètres sensibles au déluge, les données historiques pour une base de comparaison, un court délai entre le déluge et les échantillonnages, et l'échantillonnage à une échelle spatiale et temporelle appropriée jusqu'à ce que les effets soient disparus. Par contre, les effets des déluges sont plus persistants dans les sédiments que dans la colonne d'eau (ex., Smith et al., 1987). Les études des dépôts diluviens peuvent fournir une compréhension essentielle de l'échelle et de la durée de la sédimentation, le retour aux conditions normales (ex., pour la faune benthique), ainsi que la source et le mode de transport des sédiments. Donc, les dépôts diluviens peuvent fournir des informations supplémentaires des processus dans la colonne d'eau plus qu'il en serait possible d'obtenir d'une façon pratique pendant l'évènement.

Remerciements

Les auteurs voudraient remercier le Capitaine André Richard et l'équipage du navire de recherche, Alcide C. Horth, ainsi que le Capitaine Sylvain Bertrand et l'équipage du N.G.S.S. Martha L. Black pour leur assistance et ingéniosité. L'avis scientifique de Y. Gratton et l'assistance analytique de C. Gobeil et L. Cournoyer sont très appréciés. L'assistance technique lors des missions de R. Tremblay, les chercheurs(euses), technicien(ne)s, et étudiant(e)s de McGill, UQÀM, Laval, UQÀR, et INRS-Océanologie est inestimable. Cette étude a reçu le support financier du CRSNG à A. Mucci ainsi que des subventions FCAR-Équipe et Centre accordées au GEOTOP.

Références

- Brendel, P.J. et Luther, G.W.III, 1995. Development of a gold amalgam voltammetric microelectrode for the determination of dissolved Fe, Mn, O₂, and S(-II) in porewaters of marine and freshwater sediments. *Environmental Science and Technology*, 29(3): 751-761.
- Brooks, G.R., Lawrence, D.E., Fung, K., Bégin, C., et Perret, D., 1997. Flooding from the July 18-21, 1996 rainstorm in the Saguenay area, Quebec: fluvial geomorphic effects and slope stability along selected major river reaches. Geological Survey of Canada, Open File 3498.
- Carpenter, J.H. 1965. Notes and Comment. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler Dissolved Oxygen Method. *Limnology and Oceanography*, 10: 141-143.
- Carpenter, J.H. 1966. New measurements of oxygen solubility in pure and natural water. *Limnology and Oceanography*, 11: 264-277.
- Drainville, G., 1968. Le fjord du Saguenay. 1. Contribution à l'océanographie. *Le Naturaliste Canadien*, 95: 809-855.
- Laforêt, R.G., 1994. Oceanographic and acoustic implications of freshwater releases into the Laurentian Channel. M.Sc. Thesis, Royal Roads Military College, Victoria, B.C., Canada, 95 p.
- Lapointe, M.F., Secretan, Y., Driscoll, S.N., Bergeron, N., et Leclerc, M., 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. *Water Resources Research*, 34(9): 2383-2392.
- Pelletier, É., Mostajir, B., Roy, S., Gosselin, M., Gratton, Y., Chanut, J.-P., Belzile, C., Demers, S., et Thibault, D., *soumis*. Crue éclair de juillet 1996 dans la région du Saguenay (Québec) 1. Impacts sur la colonne d'eau de la baie des Ha! Ha! et du fjord du Saguenay. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science*.

- Schafer, C.T., Smith, J.N., et Côté, R., 1990. The Saguenay Fiord: A Major Tributary to the St. Lawrence Estuary. *Dans* M.I. El-Sabh and N. Silverberg, *Éditeurs*, Oceanography of a large-scale estuarine system – The St. Lawrence. Springer-Verlag, New York, 296-320.
- Smith, J.N., Ellis, K.M., et Nelson, D.M., 1987. Time-dependent modeling of fallout radionuclide transport in a drainage basin: Significance of «slow» erosional and «fast» hydrological components. *Chemical Geology*, 63: 157-180.
- Syvitski, J.P.M. et Farrow, G.E. 1989. Fjord sedimentation as an analog for small hydrocarbon-bearing submarine fans. *Dans* M.K.G. Whateley et K.T. Pickering, *Éditeurs*, Deltas: Sites and Traps for Fossil Fuels. Geological Society Special Publications 41: 21-43.
- Yu, W. et Lin, C.A., 1997. High resolution simulation of the severe precipitation event over the Saguenay, Quebec region in July 1996. *Geophysical Research Letters*, 24(15): 1951-1954.