

INVENTAIRE DES COUCHES ACCIDENTELLES RÉCENTES DANS LE FJORD DU SAGUENAY À PARTIR DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE CAROTTES DE FORAGES

Guillaume St-Onge

Claude Hillaire-Marcel

GEOTOP-Université du Québec à Montréal

Montréal, Canada

RÉSUMÉ Les sédiments de 4 carottes prélevées dans le bassin supérieur du fjord du Saguenay et dans la baie des Ha!Ha! ont fait l'objet d'analyses de certaines propriétés physiques (susceptibilité magnétique, densité, couleur), sédimentologiques (description détaillée, granulométrie) et géochimiques (carbone organique, CaCO₃) dans le but de calibrer et d'identifier les propriétés physiques spécifiques des couches accidentelles déposées à la suite de séismes, de crues ou de glissements de terrain. Par la suite, à partir de la seule observation des propriétés physiques d'une carotte longue (MD99-2222; 37,6 m), nous avons identifié au moins 9 couches accidentelles antérieures à celle du séisme de 1663. Cette dernière atteint 16 m d'épaisseur alors que les autres couches varient de quelques dizaines de centimètres à environ 2 mètres d'épaisseur.

ABSTRACT Physical property (magnetic susceptibility, density, colour reflectance), sedimentological (detailed core descriptions, grain size) and geochemical (organic carbon, CaCO₃) analyses were performed on 4 sediment cores sampled in the Saguenay Fjord inner basin and in the Baie des Ha!Ha! to calibrate and identify the specific physical properties of rapidly deposited layers (RDL). Then, based only on the physical properties of the sediment of a long piston core (MD99-2222; 37.6 m), we identify at least 9 RDL's prior to that of the 1663 earthquake. The latter is approximately 16 m in thickness, while the others range from a few tens of centimetres to about 2 m.

1. INTRODUCTION

Le fjord du Saguenay a été touché par de fréquents événements accidentels au cours des derniers siècles. Ils incluent notamment les tremblements de terre de 1663 et de 1988, les glissements de terrain de Kénogami, en 1924, et de Saint-Jean-Vianney, en 1971, ainsi que la crue exceptionnelle de 1996. Plusieurs études ont révélé la présence de dépôts de plusieurs centimètres, voire plusieurs mètres, dans le bassin supérieur du fjord et dans la baie des Ha!Ha! associés à ces événements accidentels (Locat et Leroueil, 1988; Perret et al., 1995; Smith et Walton, 1980; Schafer et Smith, 1987, 1988; Syvitski et Schafer, 1996; Syvitski et Praeg, 1989; Praeg et Syvitski, 1991; St-Onge et al., 1999; St-Onge et Hillaire-Marcel, 2000). Ces dépôts sont généralement constitués d'une argile silteuse facilement identifiable par sa couleur gris pâle et son homogénéité qui diffèrent fortement des sédiments beaucoup plus foncés et bioturbés caractéristiques d'une sédimentation "régulière". Nous utiliserons le terme "régulier" pour désigner les sédiments qui se déposent en temps normal dans le fjord, par opposition aux sédiments mis en place à la suite d'événements accidentels.

L'analyse des propriétés physiques du sédiment à l'aide d'instrument tel un MST (*Multi Sensor Track*) est très rapide, non-destructive et permet d'obtenir une résolution de l'ordre du centimètre. Dans cette étude, nous montrerons que l'analyse des propriétés physiques d'une carotte longue (MD99-2222; 37,6 m) prélevée à bord du Marion Dufresne, en 1999, dans le cadre du projet

international IMAGES (*International Marine Global Change Study*), permet une identification rapide et efficace des couches accidentelles déposées à la suite de séismes, crues ou glissements de terrain.

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET SÉDIMEN-TOLOGIQUE

Le fjord du Saguenay est une longue (90 km) et étroite (1-6 km) vallée submergée qui s'étend de Saint-Fulgence à Tadoussac (Fig. 1). Le fjord est constitué de trois bassins principaux qui, de l'amont vers l'aval, atteignent respectivement des profondeurs de 275, 180 et 250 m (Schafer et al., 1990).

Le fjord est encaissé dans les roches cristallines précambriennes du Bouclier canadien et occupe une ancienne dépression tectonique (Drainville, 1968) dont témoigne une forte sismicité régionale. Durant les derniers 350 ans, la région du fjord a en effet connu au moins 5 tremblements de terre de magnitude supérieure à 6 sur l'échelle de Richter (Smith, 1962; Basham et al., 1985). Le relief actuel de vallée glaciaire du fjord a été accentué par le passage des glaciers au Quaternaire. Il y a environ 10 000 ans, après le retrait glaciaire, les eaux salées de la Mer de Laflamme ont recouvert la région et mis en place des argiles légèrement carbonatées de couleur gris pâle (Lasalle et Tremblay, 1978). Ces argiles ont été qualifiées de sensibles (Locat et al., 1984) et plusieurs glissements de terrain s'y sont produits,

Carotte	Station	Latitude	Longitude	Profondeur(m)
MB97-01-01TWC04	SAG-05	48°24.75'N	70°49.85'W	85
MB97-01-17PC09	Baie des Ha!Ha!	48°22.00'N	70°46.29'W	165
MB97-01-12TWC12	SAG-30	48°21.77'N	70°23.72'W	270
MB97-01-14PC13	SAG-36	48°15.72'N	70°09.75'W	241
MD99-2222	-	48°18.28'N	70°15.44'W	271

TABLEAU 1 : Coordonnées des carottes étudiées.

notamment ceux de Kénogami en 1924 et Saint-Jean-Vianney en 1971 (Schafer et Smith, 1988).

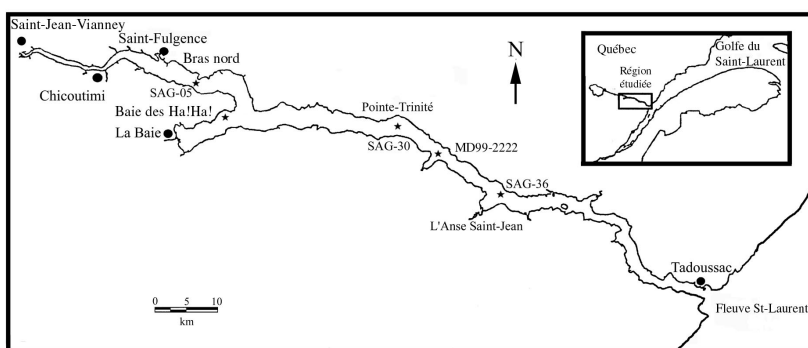
L'épaisseur moyenne des sédiments quaternaires du fjord est de 800 m, mais peut atteindre 1300 m dans le bassin intermédiaire (Syvitski et Praeg, 1989). Le sédiment de surface est sableux en amont et composé d'argile silteuse dans le fond du bassin supérieur (Perret et al., 1995). Les vitesses de sédimentation récentes varient de 7,0 cm/an près de Saint-Fulgence, à 0,2-0,4 cm/an à la station SAG-30 et à moins de 0,1 cm/an au plus profond du bassin supérieur (Smith et Walton, 1980; Perret, 1994; Zhang, 2000).

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les sédiments de 4 carottes prélevées dans le bassin supérieur du fjord du Saguenay et dans la baie des Ha!Ha! (Tableau 1; Fig. 1) ont d'abord fait l'objet d'analyses de certaines propriétés physiques (susceptibilité magnétique, densité et échelle de gris), sédimentologiques (description détaillée et granulométrie laser) et géochimiques (carbone organique et CaCO₃) dans le but de calibrer et d'identifier les propriétés physiques spécifiques des couches accidentelles.

Par la suite, à partir de la seule observation des propriétés physiques (susceptibilité magnétique, densité et échelle de gris) d'une carotte longue (MD99-2222; Tableau 1; Fig. 1), nous avons identifié l'ensemble des couches accidentelles présentes dans cette carotte.

FIGURE 1. Localisation du fjord du Saguenay et des stations de carottage.



L'analyse des propriétés physiques de la carotte MD99-2222 a été effectuée à bord du Marion Dufresne durant le LEG 2 de la campagne IMAGES V (Hillaire-Marcel, Turon et participants, 1999). La susceptibilité magnétique et la densité ont été déterminées à l'aide d'un appareil MST de marque GEOTEK™ avec maille de 2 cm. La densité humide a été mesurée par atténuation des rayons gamma d'une source de ¹³⁷Cs. La susceptibilité magnétique volumétrique est exprimée en unités SI (x 10⁻⁵ SI) et constitue une mesure de la concentration de matériel ferromagnétique dans les sédiments; elle peut servir à retracer des événements sédimentaires détritiques (e.g., Stoner et al., 1995; Stoner et al., 1996). L'analyse de l'échelle de gris a été effectuée à partir d'un spectrophotomètre portatif de marque Minolta™ à 5 cm d'intervalle. Les valeurs de l'échelle de gris sont étalonnées linéairement de 0 (noir) à 100 (blanc). Cette échelle de gris a déjà été utilisée par Cortijo et al. (1995) pour mettre en évidence la sédimentation biogénique carbonatée dans des carottes océaniques et par St-Onge et Hillaire-Marcel (2000) pour mettre en évidence les apports de sédiments remaniés de la Mer de Lafflamme dans des carottes du fjord du Saguenay et de la baie des Ha!Ha! En ce qui a trait aux analyses sédimentologiques et géochimiques, une description détaillée des méthodes est donnée dans St-Onge et Hillaire-Marcel (2000).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les figures 2 et 3 montrent les résultats des analyses sédimentologiques, géochimiques et physiques des carottes prélevées aux stations SAG-05, SAG-30, SAG-36 et dans la baie des Ha!Ha! Sur la base de la texture, de la couleur, de la teneur en eau et des teneurs en

carbone organique et inorganique, St-Onge et Hillaire-Marcel (2000) ont corrélé certaines couches accidentelles de ces carottes, identifiées antérieurement par plusieurs chercheurs, au séisme de 1663 (Perret et al., 1995; Schafer et Smith, 1987, Syvitski et Schafer, 1996, St-Onge et al., 1999), au glissement de terrain de Saint-Jean-Vianney de 1971 (Smith et Walton, 1980; Schafer et Smith, 1987, 1988; Smith et Schafer, 1987; Locat et Leroueil, 1988) et à la crue exceptionnelle de 1996.

L'analyse des 4 carottes montre que, en général, les couches accidentelles se caractérisent par des teneurs en CaCO_3 plus élevées que les sédiments réguliers, de faibles teneurs en carbone organique (C_{org}) et par des valeurs de l'échelle de gris plus élevées. Dans le cas de turbidites, on observe une couche sableuse, à la base, sur laquelle reposent des silts argileux homogènes de couleur gris pâle. La base des turbidites est marquée par des pics de susceptibilité magnétique et de densité. De telles caractéristiques indiquent un remaniement des sédiments légèrement carbonatés de la Mer de Laflamme et leur sédimentation rapide. Par ailleurs, l'analyse comparative des teneurs en ^{13}C de la matière organique de l'argile de la Mer de Laflamme et des sédiments des couches accidentelles des carottes prélevées aux stations SAG-05, SAG-30, SAG-36 et dans la baie des Ha!Ha! démontre que la matière organique provient essentiellement des argiles de la Mer de Laflamme (St-Onge et Hillaire-Marcel, 2000).

À partir de la susceptibilité magnétique, de la densité et de l'échelle de gris mesurées dans la carotte MD99-2222 et en supposant que les couches accidentelles de cette carotte avaient des propriétés physiques semblables aux 4 carottes étudiées précédemment, nous avons recensé au moins 9 couches accidentelles antérieures à celle mise en place lors du séisme de 1663 (Fig. 4). Cette dernière atteint 16 m d'épaisseur alors que les autres couches varient de quelques dizaines de centimètres à environ 2 mètres d'épaisseur. À la base de la majorité de ces couches, on relève des valeurs élevées de la susceptibilité magnétique et de la densité, illustrant ainsi la présence de couches sableuses et probablement de turbidites. Les valeurs de l'échelle de gris indiquent des teneurs en CaCO_3 plus élevées dans ces couches et laissent croire à un remaniement des sédiments légèrement carbonatés de la Mer de Laflamme.

5. CONCLUSIONS PRÉLIMINAIRES

L'analyse des propriétés physiques de la carotte MD99-2222 nous a permis d'identifier rapidement la présence de couches accidentelles. À l'étape actuelle des travaux, l'identification univoque du mécanisme déclencheur de la mise en place de ces couches accidentelles (séisme, crue ou glissement de terrain) reste à établir. Toutefois, la forte similitude entre la plupart de ces couches et celle mise en place lors du séisme de 1663, laisse supposer que la majorité des celles-ci se seraient déposées à la suite d'événements séismiques, plus que de crues ou de glissements de terrain. L'analyse des propriétés

sédimentologiques (granulométrie, rayons-X, CAT-scan) et magnétiques sont actuellement en cours et devraient permettre d'identifier de façon plus certaine le type d'événement associé à chacune des couches observées.

Une étude probabilistique des événements accidentels tels séismes ou crues ne peut être envisagée que si le cadre chronostratigraphique est bien défini. Or, les sédiments du fjord du Saguenay sont difficiles à dater de façon conventionnelle (^{14}C). En effet, la probabilité de dater du matériel organique remanié est élevée, comme l'indiquent nos études antérieures (St-Onge et al., 1999). Par surcroît, les sédiments du fjord semblent affectés par une importante dissolution des carbonates (St-Onge et al., 1999); celle-ci interdit à toutes fins pratiques le recours à la datation des carbonates biogéniques synsédimentaires (e.g., tests de foraminifères benthiques). L'approche que nous utiliserons pour palier ce problème consistera à déterminer les propriétés magnétiques du sédiment. Leur analyse, dans la carotte MD99-2222, est actuellement en cours à l'Université de la Californie à Davis. Les résultats permettront d'établir des corrélations avec des carottes de l'estuaire du St-Laurent (MD99-2220, -2221), qui font actuellement l'objet d'analyses ^{14}C -AMS sériées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Kate Jarrett (BIO) pour l'analyse des propriétés physiques, Louise Cournoyer et Guy Bilodeau (GEOTOP) ainsi que Constance Guignard (McGill) pour leur aide précieuse en laboratoire, Christian Beck et Françoise Mougin (Université de Savoie) pour les analyses granulométriques. Nous remercions également tout le personnel et membres de l'équipage du Marion Dufresne pour les analyses effectuées à bord. Ce projet a bénéficié de subventions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). Guillaume St-Onge est récipiendaire d'une bourse d'études supérieures du CRSNG et du Fonds pour la Formation de Chercheurs et l'Aide à la Recherche (FCAR).

RÉFÉRENCES

- Basham, P.W., Weichert, D.H., Anglin, F.M. et Berry, M.J., 1985. New probabilistic strong seismic ground motion maps of Canada: A compilation of earthquake source zones, methods and results. Earth Physics Branch, Energy, Mines and Ressources Canada, Open File 82-33: 205 p.
- Cortijo, E., Yiou, P., Labeyrie, L. et Cremer, M., 1995. Sedimentary record of rapid climatic variability in the North Atlantic Ocean during the last glacial cycle. *Paleoceanography*, 10, 911-926.
- Drainville, G., 1968. Le fjord du Saguenay: contribution à l'océanographie. *Le Naturaliste canadien*, 95, 809-855.
- Hillaire-Marcel, C., Turon, J.L., et participants, 1999. Preliminary cruise report IMAGES V on board the Marion Dufresne, 2nd Leg 30 June-24 July 1999.

- Commission géologique du Canada. Open File, 3782.
- Lasalle, P. et Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles Saguenay lac Saint-Jean. Rapport 191, Ministère des Richesses naturelles du Québec, 61 p.
- Locat, J., Lefebvre, G. et Ballivy, G., 1984. Mineralogy, chemistry, and physical properties interrelationships of some sensitive clays from Eastern Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, 21, 530-540.
- Locat, J. et Leroueil, S., 1988. Physical and geotechnical characteristics of recent Saguenay Fjord sediments. *Canadian Geotechnical Journal*, 25, 382-388.
- Perret, D., 1994. Diagenèse précoce des sédiments fins du fjord du Saguenay. Thèse de doctorat, Université Laval, 412 p.
- Perret, D., Locat, J., et Leroueil, S., 1995. Strength development with burial in fine-grained sediments from the Saguenay Fjord. *Canadian Geotechnical Journal*, 32, 247-262.
- Praeg, D.B. et Syvitski, J.P.M., 1991. Marine geology of Saguenay Fjord. Commission géologique du Canada, Open File, 2395: 14 feuillets.
- Schafer, C.T. et Smith, J.N., 1987. Hypothesis for submarine landslide cohesionless sediment flows resulting from a 17th-century earthquake-triggered landslide in Quebec, Canada. *Geo-Marine Letters*, 7, 31-37.
- Schafer, C.T. et Smith, J.N., 1988. Evidence of the occurrence and magnitude of terrestrial landslides in recent Saguenay Fjord sediments, p. 137-145. *In* M.J. El-Sabh et T.S. Murty, édit., *Natural and Man-Made Hazards*, D. Reidel, Dordrecht, 858 p.
- Smith, J.N. et Walton, A., 1980. Sediment accumulation rates and geochronologies measured in the Saguenay Fjord using Pb-210 dating method. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 225-240.
- Smith, W.E.T., 1962. Earthquakes of eastern Canada and adjacent areas 1534-1927. *Publications of the Dominion Observatory*, 26, 271-289.
- St-Onge, G., Leduc, J., Bilodeau, G., de Vernal, A., Devillers, R., Hillaire-Marcel, C., Loucheur, V., Marmen, S., Mucci, A., et Zhang, D., 1999. Caractérisation des sédiments récents du fjord du Saguenay à partir de traceurs physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques. *Géographie physique et Quaternaire*, 53 (3).
- St-Onge, G. et Hillaire-Marcel, C., 2000. Isotopic constraints of sedimentary inputs and organic carbon burial rates in the Saguenay Fjord, Quebec. *Mémoire de maîtrise*. Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada, 53 p.
- Stoner, J.S., Channell, J.S. et Hillaire-Marcel, C., 1995. Magnetic properties of deep-sea sediments off southwest Greenland: Evidence for major differences between the last two deglaciations. *Geology*, 23, 241-244.
- Stoner, J.S., Channell, J.S. et Hillaire-Marcel, C., 1996. The magnetic signature of rapidly deposited detrital layers from the deep Labrador Sea: Relationship to North Atlantic Heinrich layers. *Paleoceanography*, 11, 309-325.
- Syvitski, J.P.M. et Praeg, D.B., 1989. Quaternary sedimentation in the St. Lawrence Estuary and adjoining areas, Eastern Canada: An overview based on high-resolution seismo-stratigraphy. *Géographie physique et Quaternaire*, 43, 291-310.
- Syvitski, J.P.M. et Schafer, C.T., 1996. Evidence for earthquake-triggered basin collapse in Saguenay Fjord, Canada. *Sedimentary Geology*, 104, 127-153.
- Zhang, D., 2000. Flux de radio-isotopes à courte période dans les bassins marins marginaux de l'est canadien. Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, Montréal, 193 p.