Document généré le 25 juin 2025 11:24

Géographie physique et Quaternaire

Caractérisation des sédiments récents du Fjord du Saguenay (Québec) à partir de traceurs physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques

Characterization of recent Saguenay Fjord (Québec) sediments based on physical, geochemical, isotopic and micropaleontological tracers.

Charakterisierung der jüngsten Sedimente des Saguenay-Fjords (Québec) auf der Basis von physikalischen, geochemischen, isotopischen und mikropaläontologischen Indikatoren.

G. St-Onge, J. Leduc, G. Bilodeau, A. de Vernal, R. Devillers, C. Hillaire-Marcel, V. Loucheur, S. Marmen, A. Mucci et D. Zhang

Volume 53, numéro 3, 1999

URI : https://id.erudit.org/iderudit/004873ar
DOI : https://doi.org/10.7202/004873ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)
1492-143X (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

St-Onge, G., Leduc, J., Bilodeau, G., de Vernal, A., Devillers, R., Hillaire-Marcel, C., Loucheur, V., Marmen, S., Mucci, A. & Zhang, D. (1999). Caractérisation des sédiments récents du Fjord du Saguenay (Québec) à partir de traceurs physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques. *Géographie physique et Quaternaire*, *53*(3), 339–350. https://doi.org/10.7202/004873ar

Résumé de l'article

Des analyses physiques (susceptibilité magnétique, densité, porosité et couleur), géochimiques ($C_{org.}$, $C_{inorg.}$, N), isotopiques (^{13}C et ^{15}N de la matière organique) et micropaléontologiques (foraminifères, diatomées, kystes de dinoflagellés, pollen, spores etc.) ont été réalisées dans les sédiments d'une carotte de ~2 m prélevée dans le bassin supérieur du fjord du Saguenay. La séquence étudiée représente environ 330 ans de sédimentation. Deux unités sédimentaires peuvent y être définies. Elles indiquent des changements majeurs dans la dynamique sédimentaire. La base de la séquence (endessous de ~70 cm) renferme des apports terrigènes dominants dont témoignent de faibles teneurs en ^{13}C et 15N de la matière organique, des rapports C/N élevés, la présence de carbonates détritiques et une faible concentration de microfossiles marins. Cette unité aurait été mise en place à la suite du tremblement de terre de 1663. La deuxième unité (~70-0 cm) présente de fortes teneurs en $C_{org.}$, des apports biogéniques marins notables et évoque une sédimentation de type hémipélagique. Les assemblages diversifiés de dinokystes et les concentrations élevées de diatomées y témoignent d'une productivité planctonique autotrophe et hétérotrophe. L'abondance des réseaux organiques de foraminifères révèle une productivité benthique considérable, mais la rareté de leurs tests indique une dissolution du carbonate de calcium. Enfin, les profils polliniques illustrent, au sommet de la séquence (30-0 cm), l'augmentation des apports rudéraux en relation avec le déboisement récent.

Tous droits réservés © Les Presses de l'Université de Montréal,1999

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

Géographie physique et Quaternaire, 1999, vol. 53, n° 3, p. 339-350, 9 fig.

CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS RÉCENTS DU FJORD DU SAGUENAY (QUÉBEC) À PARTIR DE TRACEURS PHYSIQUES, GÉOCHIMIQUES, ISOTOPIQUES ET MICROPALÉONTOLOGIQUES

ST-ONGE G.*, J. LEDUC, G. BILODEAU, A. de VERNAL, R. DEVILLERS, C. HILLAIRE-MARCEL, V. LOUCHEUR, S. MARMEN, A. MUCCI et D. ZHANG, GEOTOP, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec H3C 3P8, sauf A. MUCCI, Département des sciences de la Terre et des planètes, Université McGill, 3450, rue Université, Montréal, Québec H3A 2A7.

RÉSUMÉ Des analyses physiques (susceptibilité magnétique, densité, porosité et couleur), géochimiques ($C_{org.}$, $C_{inorg.}$, N), isotopiques (^{13}C et ^{15}N de la matière organique) et micropaléontologiques (foraminifères, diatomées, kystes de dinoflagellés, pollen, spores *etc.*) ont été réalisées dans les sédiments d'une carotte de ~2 m prélevée dans le bassin supérieur du fjord du Saguenay. La séquence étudiée représente environ 330 ans de sédimentation. Deux unités sédimentaires peuvent y être définies. Elles indiquent des changements majeurs dans la dynamique sédimentaire. La base de la séquence (endessous de ~70 cm) renferme des apports terrigènes dominants dont témoignent de faibles teneurs en ^{13}C et ^{15}N de la matière organique, des rapports C/N élevés, la présence de carbonates détritiques et une faible concentration de microfossiles marins. Cette unité aurait été mise en place à la suite du tremblement de terre de 1663. La deuxième unité (~70-0 cm) présente de fortes teneurs en $C_{org.}$, des apports biogéniques marins notables et évoque une sédimentation de type hémipélagique. Les assemblages diversifiés de dinokystes et les concentrations élevées de diatomées y témoignent d'une productivité planctonique autotrophe et hétérotrophe. L'abondance des réseaux organiques de foraminifères révèle une productivité benthique considérable, mais la rareté de leurs tests indique une dissolution du carbonate de calcium. Enfin, les profils polliniques illustrent, au sommet de la séquence (30-0 cm), l'augmentation des apports rudéraux en relation avec le déboisement récent.

ABSTRACT *Characterization of recent Saguenay Fjord* (*Québec*) *sediments based on physical, geochemical, isotopic and micropaleontological tracers.* Physical (magnetic susceptibility, density, porosity and color), geochemical ($C_{org.}$, $C_{inorg.}$ and N), isotopic (^{13}C and ^{15}N of organic matter) and micropaleontological (foraminifera, diatoms, dinoflagellate cysts, pollen, spores) analyses were performed along a ~2 m core recovered from the inner basin of the Saguenay Fjord. The studied sequence spans approximatively 330 years. Two distinct lithostratigraphic units are defined. They indicate major changes in sedimentary dynamics. The bottom unit (below ~70 cm) reveals high terrigenous inputs characterized by low $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values, high C/N ratios and the presence of detrital carbonates. This unit also depicts low marine microfossil concentrations and is tentatively assigned to the 1663 earthquake. The upper unit (~70-0 cm) is characterized by high organic matter content, high marine biogenic content and reflects a hemipelagic sedimentation. The high diversity of the dinocyst assemblages and the high concentration of diatoms reveal both autotrophic and heterotrophic planktic production. The abundance of foraminifera linings suggests significant benthic production, whereas the rarity of benthic foraminifera shells provides evidence for calcium carbonate dissolution. Finally, pollen data, from the upper 30 cm of sediments, reflect an increase in non-arboreal inputs as a consequence of anthropogenic deforestation.

ZUSAMMENFASSUNG *Charakterisierung der jüngsten Sedimente des Saguenay-Fjords (Québec) auf der Basis von physikalischen, geochemischen, isotopischen und mikropaläontologischen Indikatoren.* Physikalische (magnetische Empfindlichkeit, Dichte, Porosität und Farbe), geochemische (C_{org}, C_{inorg}, N), isotopische (^{13}C und ^{15}N von organischem Material) und mikropaläontologische (Foraminiferen, Kieselalgen, Zysten von Dinoflagellaten, Pollen, Sporen u.s.w.) Analysen wurden in den Sedimenten eines Bohrkerns von ~2 m aus dem oberen Becken des Saguenay-Fjords durchgeführt. Die untersuchte Folge erstreckt sich über etwa 330 Jahre Sedimentation. Zwei Sedimenteinheiten können definiert werden. Sie weisen auf bedeutende Veränderungen in der Sedimentdynamik hin. Die Basis der Folge (unterhalb von ~70 cm) enthält vorwiegend terrigene Zufuhren, was niedrige ^{13}C- und ^{15}N-Werte des organischen Materials bezeugen, sowie hohe C/N Relationen, das Vorkommen von Trümmerkarbonat und eine niedrige Konzentration von Meeresmikrofossilen. Diese Einheit dürfte nach dem Erdbeben von 1663 entstanden sein. Die zweite Einheit (~70-0 cm) charakterisiert sich durch hohen C-Gehalt, bemerkenswerte biogene Meeres-Beiträge und lässt an eine Sedimentation des hemipelagischen Typs denken. Die Vielfalt der Dinozysten-Verbindungen und die hohe Konzentration an Kieselalgen belegen hier eine autotrophe und heterotrophe Plankton-Aktivität. Die Fülle von organischen Netzen von Foraminiferen weist auf beträchtliche benthische Produktivität, aber die Seltenheit ihrer Schalen deutet auf eine Auflösung des Kalziumkarbonats. Zuletzt spiegeln die Pollen-Profile aus dem obersten Teil der Folge (30-0 cm) die Zunahme der baumfremden Zufuhren wegen der jüngsten Rodung.

Manuscrit reçu le 6 janvier 1999 ; manuscrit révisé accepté le 21 juillet 1999
* Adresse électronique : m363574@er.uqam.ca

INTRODUCTION

D'après les documents historiques (Smith, 1962), la région du Saguenay a été perturbée à plusieurs reprises par des catastrophes naturelles. Au cours des 350 dernières années, au moins cinq séismes de forte magnitude (≥6 sur l'échelle de Richter ; voir Smith, 1962 ; Basham *et al.*, 1985) se sont produits dans la région de l'estuaire du Saint-Laurent près de l'embouchure du fjord du Saguenay. La région du fjord, où se sont accumulées les argiles de la Mer de Laflamme, est également sujette à de fréquents glissements de terrain ; ceux de Kénogami en 1924 et de Saint-Jean-Vianney en 1971 en sont des exemples récents (Schafer et Smith, 1988). Enfin, durant l'été 1996, une crue spectaculaire a touché la région, déplaçant plus de 6,2 x 10^6 m^3 de sédiments (Pelletier, 1997).

Séismes, glissements de terrain et crues sont à l'origine d'apports sédimentaires considérables dans le fjord du Saguenay. Les profils sismiques révèlent la présence de plusieurs réflecteurs qu'on peut leur associer (Syvitski et Praeg, 1989 ; Praeg et Syvitski, 1991). Dans le bassin supérieur, l'un des plus récents réflecteurs correspondrait à une turbidite de dimension métrique qui se serait déposée à la suite d'un séisme majeur survenu en 1663 (Perret *et al.*, 1995 ; Syvitski et Schafer, 1996). Il s'agirait d'un séisme d'une magnitude estimée à 7 sur l'échelle de Richter (Smith, 1962 ; Basham *et al.*, 1985) et dont l'épicentre aurait été localisé près de l'embouchure du Saguenay (Doig, 1986). Des études sédimentologiques réalisées sur des carottes prélevées dans le fjord ont permis de signaler la présence de cette turbidite entre 3 m de profondeur sous la surface sédimentaire, près de Saint-Fulgence, à l'amont du fjord, et 70 cm au centre du bassin supérieur (Schafer et Smith, 1987, 1988 ; Locat et Leroueil, 1988 ; Perret *et al.*, 1995 ; Syvitski et Schafer, 1996).

Dans le cadre de la présente étude, nous avons analysé une séquence sédimentaire de 2 m prélevée dans le centre du bassin supérieur du fjord du Saguenay lors de la campagne MB97-01 du Martha L. Black (*cf.* station SAG-30 ; fig. 1). En procédant à l'analyse des propriétés physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques des sédiments, nous nous sommes fixés deux objectifs principaux. Le premier était de définir les caractéristiques des sédiments récents (hémipélagiques ou perturbés) du fjord. Le deuxième était d'élaborer une approche méthodologique pour identifier les événements sédimentologiques brefs de fortes amplitudes (par ex., paléoséismes, paléocrues et glissements de terrain) à partir de l'étude de carottes de forage et, par la suite, d'évaluer leur fréquence à l'échelle des derniers milliers d'années. Des carottages longs ont donc été réalisés à cette fin dans le fjord lors de la mission IMAGES V (*International Marine Global Change Study*) à l'été 1999. D'autres sont prévus dans le cadre de l'ODP (*Ocean Drilling Program* ; proposition en examen). Les traceurs que nous avons explorés incluent des mesures physiques telles que la susceptibilité magnétique volumétrique, la densité et la porosité du sédiment ainsi que la couleur (voir échelle de gris). Des traceurs géochimiques (teneurs en carbone organique, carbone inorganique et azote) ont également été retenus ; ils sont susceptibles de fournir des indices sur la nature des apports biogéniques et sur la provenance de la matière organique (MO). Des analyses isotopiques (^{13}C et ^{15}N de la MO sédimentaire) ont aussi été réalisées dans le but de retracer l'origine de cette MO. Enfin, des analyses micropaléontologiques (foraminifères, diatomées, kystes de dinoflagellés, pollen et spores) ont été faites afin de déterminer la productivité benthique ou pélagique ainsi que les conditions environnementales terrestres.

CONTEXTE PHYSIOGRAPHIQUE, HYDROGRAPHIQUE ET SÉDIMENTOLOGIQUE

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 composé de trois bassins principaux qui, de l'amont vers l'aval, ont une profondeur respective de 275, 180 et 250 m (fig. 2). Les seuils intermédiaires s'échelonnent de 130 à 65 et 20 m de profondeur, respectivement (Schafer *et al.*, 1990).

Le fjord est encaissé dans les roches cristallines précambriennes du Bouclier canadien et occupe une ancienne dépression tectonique (Drainville, 1968). Son relief actuel de vallée glaciaire a été accentué par le passage des glaciers au Quaternaire. Après le retrait glaciaire, voici environ

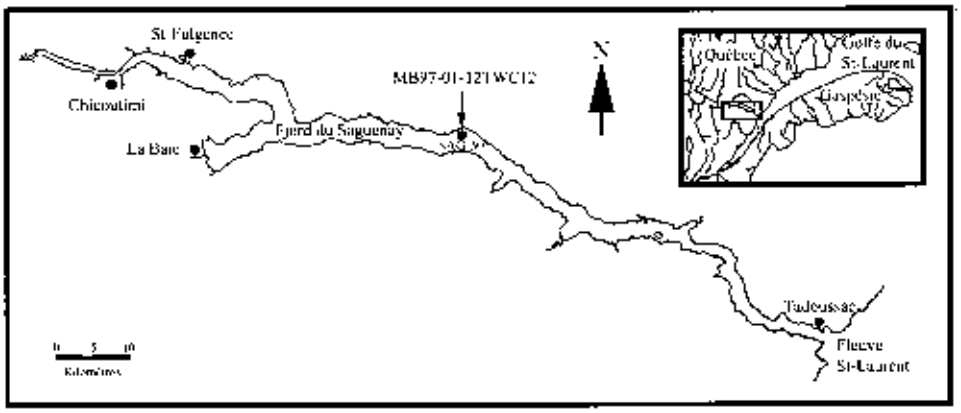

FIGURE 1. Localisation de la station d'échantillonnage (SAG-30) de la carotte MB97-01-12TWC12.

Location of the sampling site (SAG-30) for core MB97-01-12TWC12.

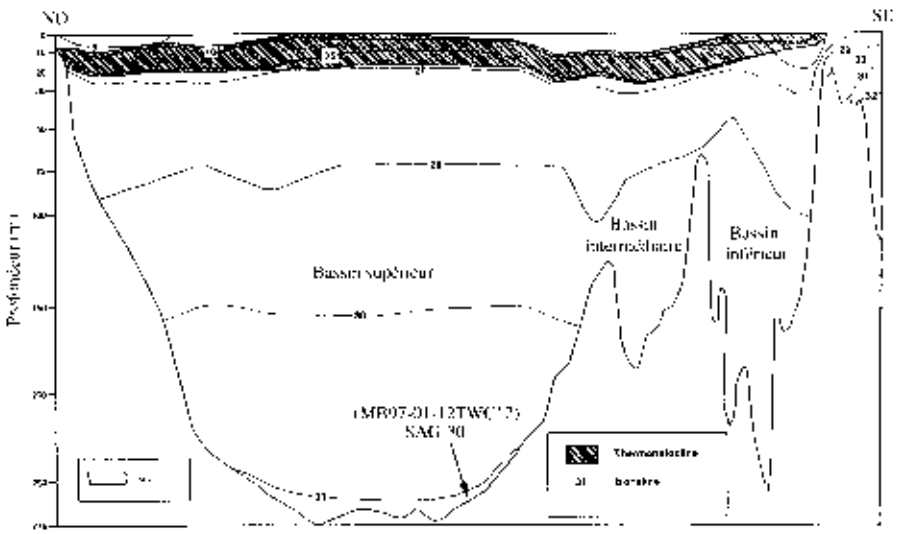

FIGURE 2. Profil longitudinal de salinité dans le fjord du Saguenay (modifié à partir de Drainville, 1968).

Longitudinal salinity profile in the Saguenay Fjord (modified from Drainville, 1968).

10 000 ans, les eaux salées de la Mer de Laflamme ont recouvert la région et mis en place des argiles légèrement carbonatées (Lasalle et Tremblay, 1978). Les traces de l'invasion marine s'observent aujourd'hui jusqu'à une altitude de 198 m (Lasalle et Tremblay, 1978). Sur le plan géotechnique, les argiles de la Mer de Laflamme ont été qualifiées de « sensibles » du fait des nombreux glissements de terrain qui s'y produisent (Locat *et al.*, 1984).

La rivière Saguenay draine le lac Saint-Jean et l'ensemble de son réseau hydrographique. Le bassin de drainage couvre une superficie de 85 500 km^2 (Fortin et Pelletier, 1995). Plus de 90 % des apports d'eaux douces dans le fjord proviennent du Saguenay dont le débit mensuel moyen est d'environ 1500 m^3/s, mais peut atteindre 5000 m^3/s lors de la crue printanière. Dans le fjord, on distingue deux masses d'eau bien stratifiées : une mince couche d'eau peu salée en surface (0-10 m) et une masse d'eau relativement salée en profondeur (fig. 2). Les eaux de surface présentent un fort gradient de salinité variant de 0 à la tête du fjord, à 29,0 près de l'embouchure. Les eaux profondes ont une salinité assez stable de 30,5 (Syvitski et Schafer, 1996). La thermohalocline se situe entre 10 et 25 m et varie verticalement selon la saison. Son épaisseur est d'environ 10 à 15 m. Les eaux de surface gèlent en hiver et fondent au printemps. Les températures y atteignent 16,0 °C en été. Les eaux profondes sont bien oxygénées et la température y varie annuellement de 0,4 à 1,7 °C (Fortin et Pelletier, 1995). La profondeur maximale de la couche photique ne dépasse jamais plus de 10 m (Côté et Lacroix, 1979). Au vu de sa forte stratification et de ses caractéristiques halines et thermiques, le fjord du Saguenay constitue un environnement singulier. Le fjord du Saguenay est en effet « un milieu peu typique quant au déroulement des processus productifs » (Côté et Lacroix, 1979).

Les études sismiques ont révélé l'accumulation de puissantes séries sédimentaires dans le fjord depuis la glaciation wisconsinienne (par ex., Syvitski et Praeg, 1989 ; Praeg et Syvitski, 1991). 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 consiste en des argiles silteuses dans le fond du bassin supérieur (Perret *et al.*, 1995). Dans le bassin inférieur, le sédiment est constitué de sable d'origine glaciaire. Des analyses des teneurs en ^{210}Pb et en ^{137}Cs des sédiments du fjord indiquent des vitesses de sédimentation récentes variables, allant 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). De telles vitesses de sédimentation traduisent des apports terrigènes plus élevés en amont du fjord.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La carotte analysée (MB97-01-12TWC12) a été prélevée par gravité à une profondeur de 260 m à la station SAG-30 (48°21,77'N-70°23,72'W ; fig. 1 et 2). Ce type de carottage permet généralement de recouvrer le sédiment de surface, mais le matériel au sommet de la carotte était très fluide. Il est donc possible qu'une perte partielle du sédiment se soit produite. La carotte a été sous-échantillonnée de 0 à 200 cm selon des intervalles de 10 cm et sur une épaisseur de 1 cm. Diverses analyses ont été réalisées en suivant les protocoles brièvement résumés ci-dessous. Les résultats sont présentés sous forme de figures. Les données sont archivées au GEOTOP et sont disponibles sur demande.

ANALYSES PHYSIQUES

Des mesures de la densité, de la porosité et de la susceptibilité magnétique volumétrique ont été effectuées avec un appareil de type MST (*multisensor track*). La densité humide a été mesurée par atténuation des rayons gamma avec une source de ^{137}Cs. La porosité a été calculée simultanément à partir des données de densité humide. La susceptibilité magnétique est exprimée en unités SI (x 10^{-5} SI). La susceptibilité magnétique volumétrique constitue une mesure de la quantité de matériel ferromagnétique dans les sédiments et peut servir à retracer des événements sédimentaires détritiques (Stoner *et al.*, 1995 ; Stoner *et al.*, 1996). Des mesures colorimétriques ont été réalisées à l'aide

d'un spectrophotomètre de marque Minolta. Ici, nous utilisons une échelle de gris étalonnée linéairement de 0 (noir) à 100 (blanc). Cette échelle de gris a été élaborée par Cortijo *et al.* (1995) pour mettre en évidence la sédimentation biogénique carbonatée dans des carottes océaniques.

ANALYSES GÉOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES

Les teneurs en carbone organique ($C_{org.}$), inorganique ($C_{inorg.}$) et en azote (N) ont été mesurées en deux étapes avec un analyseur élémentaire de type Carlo-Erba™. Les échantillons séchés non traités ont d'abord été analysés pour leurs teneurs en carbone et en azote total. Des parties aliquotes ont ensuite été traitées au HCl 1N pour détruire les carbonates et déterminer les teneurs en carbone organique. Après correction pour exprimer les teneurs en $C_{org.}$ et $C_{inorg.}$ par rapport au poids sec du sédiment initial, les teneurs en $C_{inorg.}$ ont été exprimées en équivalent $CaCO_3$ et, comme les teneurs en $C_{org.}$, en pourcentage pondéral (par rapport au poids sec). Les résultats représentent la moyenne de deux séries d'analyse. La reproductibilité analytique relative (1σ), telle que déterminée à partir d'analyses répétées de standards, est de l'ordre de ± 5 %. Notons que si cette approche s'avère généralement satisfaisante pour déterminer les teneurs en $C_{org.}$, elle peut conduire à des erreurs d'estimations des teneurs en $C_{inorg.}$ lorsque, en sus des carbonates, des minéraux hydrolysables par HCl 1N sont présents (par ex., Rainswell *et al.*, 1994 ; Leventhal et Taylor, 1990). La méthode fournit toutefois une première approximation acceptable des teneurs en $C_{inorg.}$ comme nous l'ont indiquées des mesures comparatives par coulométrie. Le rapport atomique C/N de la MO sédimentaire livré par la deuxième analyse élémentaire (après attaque acide) a été retenu comme indice de mélange des fractions organiques terrestres par rapport aux fractions organiques marines, en négligeant, en première approximation, les effets diagénétiques éventuels. En effet, ceux-ci sont généralement faibles dans les milieux sédimentaires à forte vitesse de sédimentation (par ex., Ingall et Van Cappellen, 1990 ; Canfield, 1994), ce qui est le cas ici.

L'analyse des teneurs en ^{13}C et en ^{15}N de la MO a été réalisée en suivant le protocole analytique décrit par Macko (1981). Après combustion en présence d'oxyde de cuivre et de cuivre natif dans un tube de quartz à 850 °C, N_2 et CO_2 sont récupérés respectivement à l'aide d'un tamis moléculaire et de pièges cryogéniques. Les analyses isotopiques ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre de masse à triple-collecteur (VG-Prism™). Les étalons utilisés sont respectivement un étalon interne du GEOTOP (UQ6) calibré par comparaison aux étalons de l'Agence internationale de l'énergie atomique de Vienne et de l'azote atmosphérique (Mariotti, 1983). Les résultats sont exprimés en unités δ, après les corrections usuelles (Craig, 1957), par comparaison aux étalons V-PDB pour le carbone et N_2 atmosphérique pour l'azote. La reproductibilité analytique globale (1σ), telle que déterminée à partir d'analyses répétées de standards, est de l'ordre de ± 0,1 ‰ pour les mesures du ^{13}C et du ^{15}N.

La fraction supérieure à 63 µm a été utilisée pour extraire des macrorestes aux fins de datation par le ^{14}C. Microfaune et macrofossiles végétaux étaient extrêmement rares dans la carotte. À 60 cm de profondeur, toutefois, 4 mg de brindilles ont pu être récoltés. L'extraction du CO_2 a été effectuée au GEOTOP et le gaz a été envoyé au laboratoire IsoTrace de l'université de Toronto pour analyse du ^{14}C par accélérateur.

ANALYSES MICROPALÉONTOLOGIQUES : LES FORAMINIFÈRES

Après le tamisage humide d'une fraction aliquote de 5 cm^3, la fraction sableuse supérieure à 63 µm a été pesée et a fait l'objet d'observation, de tri et de dénombrement des foraminifères. Les comptages ont été réalisés sous la loupe binoculaire. Les foraminifères ont été répartis selon leur habitat (planctonique ou benthique) et selon la nature de leur test (calcaire ou agglutinant).

ANALYSES MICROPALÉONTOLOGIQUES : LES DIATOMÉES

La préparation des échantillons pour l'analyse des diatomées a été réalisée selon la méthode décrite par de Vernal *et al.* (1996). Une fraction aliquote de sédiment sec et défloculé a été montée entre lame et lamelle pour observation au microscope optique en lumière naturelle transmise avec contraste de phase à un grossissement de 1000x. Les valves de diatomées centrales et pennales ainsi que les valves fragmentées ont été dénombrées dans des champs répartis de façon aléatoire. Une demi-valve de diatomée centrale a été comptée lorsque le nœud central était observé tandis qu'une demi-valve de diatomée pennale a été comptée lorsque l'une des deux extrémités était observée. Un minimum de 200 valves a été compté dans chaque partie aliquote. La reproductibilité des comptages, déterminée à partir de lames différentes du même échantillon, est de l'ordre de ±10 %. À partir du postulat selon lequel les diatomées pennales dominent en eau douce et les formes centrales sont surtout associées à des eaux marines et saumâtres, nous avons utilisé le rapport centrales/pennales comme indicateur qualitatif de la productivité en eau salée par rapport à d'éventuels apports fluviatiles. En effet, l'étude de Lapointe (1998) révèle que les diatomées centrales présentes dans les sédiments de surface du fjord du Saguenay sont des taxons qui tolèrent des salinités élevées. Au contraire, d'après cette même étude, la très grande majorité des diatomées pennales sont caractéristiques des eaux douces alors que seulement 8 à 10 % des taxons sont caractéristiques des eaux saumâtres à marines. Par ailleurs, nous avons calculé un indice de fragmentation des valves qui correspond au pourcentage de valves brisées et qui apporte ainsi des informations sur la dynamique sédimentaire du milieu (un milieu de dépôt turbulent renferme une plus grande proportion de valves brisées).

ANALYSES MICROPALÉONTOLOGIQUES : LES PALYNOMORPHES

La préparation du sédiment pour l'analyse palynologique a été effectuée en suivant le protocole décrit par de Vernal *et al.* (1996). Après tamisage, les sédiments compris entre 10 et 125 µm sont traités au HCl (10 %) et au HF (49 %) à 90 °C afin de dissoudre respectivement carbonates et silica-

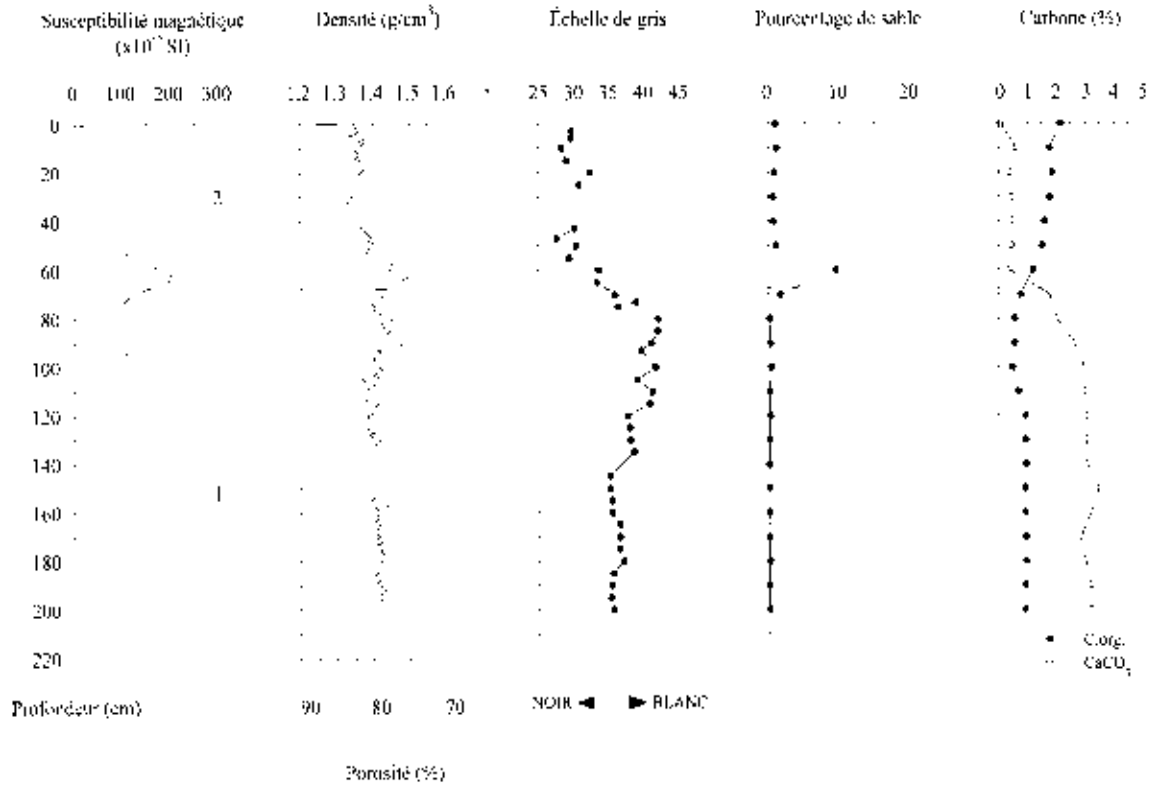

FIGURE 3. Propriétés physiques, pourcentage de sable, de carbone organique et de $CaCO_3$ dans la carotte MB97-01-12TWC12. Ces mesures ont permis de définir deux unités lithostratigraphiques (unités 1 et 2). Entre 136 et 149 cm, les mesures de susceptibilité magnétique, de densité et de porosité présentent des anomalies liées aux limites des deux sections de la carotte. Elles n'ont pas été reportées sur la figure.

Physical properties, percentage of sand, organic carbon and $CaCO_3$ in core MB97-01-12TWC12. These measurements permitted the distinction of two lithostratigraphic units (units 1 and 2). Between 136 and 149 cm, at the core section ends, measurements of magnetic susceptibility, density and porosity presented a few anomalies. The corresponding values are not reported here.

tes. Les lames minces ont été montées sous glycérine gélatinée et observées au microscope en lumière naturelle à un grossissement de 400x à 1000x. Tous les palynomorphes ont été dénombrés. Ils comprennent les grains de pollen, les spores de ptéridophytes et de sphaignes, les kystes de dinoflagellés (= dinokystes ; division des pyrrophytes), les réseaux organiques de foraminifères, les thécamoebiens (protozoaires, sarcodinés), les tintinnides (protozoaires, ciliés), l'algue coloniale *Pediastrum* (chlorophyte), le kyste *Hexasterias problematica* et le phycoma de *Cymatiosphaera* (prasinophyte). Les concentrations de palynomorphes ont été évaluées avec la méthode des grains marqueurs (Matthews, 1969). La reproductibilité analytique de cette méthode est de l'ordre de ± 10 % pour un intervalle de confiance de 0,95 (de Vernal *et al.*, 1987). Les palynomorphes fournissent des indications sur la productivité pélagique (dinokystes, tintinnides, *Cymatiosphaera*) et benthique (foraminifères, thécamœbiens) et sur les apports d'origine terrestre (pollen et spores) ou dulcicole (*Pediastrum*). Une attention particulière a été portée au pollen et aux dinokystes qui ont été identifiés au niveau du genre, sinon de l'espèce. La proportion relative des dinokystes et du pollen constitue un traceur de l'origine pélagique autochtone ou terrestre allochtone des apports de MO dans les fractions granulométriques concernées (de Vernal *et al.*, 1991).

RÉSULTATS

LITHOSTRATIGRAPHIE

La description visuelle de la carotte, les mesures physiques ainsi que les mesures géochimiques ont permis de définir deux unités lithostratigraphiques. Les sédiments de l'unité 1, située au-dessous de ~70 cm de profondeur, constituent une couche homogène grise argilo-silteuse dépourvue de sable. Ils renferment environ 3 % de $CaCO_3$ et moins de 1 % de carbone organique (fig. 3). La description visuelle de la carotte et l'échelle de gris y révèlent des teintes beaucoup plus pâles que dans l'unité sus-jacente. L'unité 1 se caractérise par une susceptibilité magnétique moyenne de (87×10^{-5} SI, une densité moyenne de ~1,4 g/cm^3 et une porosité moyenne de ~77,6 %.

La transition entre l'unité 1 et 2 s'observe entre ~70 et ~55 cm de profondeur. Elle est notamment marquée par une diminution progressive des valeurs de l'échelle de gris (fig. 3). La base de l'unité 2 se définit par un maximum de la susceptibilité magnétique (203×10^{-5} SI), un maximum de la densité (1,5 g/cm^3) ainsi qu'une porosité minimale (71,5 %) qui répond à l'augmentation du pourcentage de sable (9,4 %) atteignant un maximum à 60 cm de profondeur. Les valeurs de la susceptibilité magnétique, de la densité et de

l'échelle de gris diminuent graduellement jusqu'à 50 cm tandis que les valeurs de la porosité et du $C_{org.}$ augmentent progressivement jusqu'à cette profondeur.

L'unité 2 sus-jacente est constituée d'une boue argilo-silteuse, foncée, riche en carbone organique (~2 %) avec des traces de bioturbation ; elle correspond à une sédimentation de type hémipélagique (Syvitski et Schafer, 1996). À partir de 50 cm de profondeur jusqu'au sommet de la carotte, l'unité 2 se caractérise par peu de variation des paramètres physiques : la susceptibilité magnétique y est d'environ 59 x 10^{-5} SI (58,9 ± 15,7 x 10^{-5} SI), la densité d'environ 1,36 g/cm^3 (1,36 ± 0,03 g/cm^3) et la porosité d'environ 81 % (80,6 ± 1,4 %).

CONTENU BIOGÉOCHIMIQUE DES DÉPÔTS

Les deux unités lithostratigraphiques se singularisent par des contenus biogéochimiques qui indiquent des sources différentes de MO.

Unité 1

Dans l'unité 1, la valeur moyenne du rapport C/N s'établit à 21,4. Les teneurs en ^{13}C et en ^{15}N de la MO atteignent respectivement des minimums de -27,9 ‰ et de 2,8 ‰ (fig. 4). De telles valeurs sont voisines de celles caractérisant la MO d'origine continentale, soit ≥20 pour le rapport C/N et environ -26 à 27 ‰ et 2 ‰ pour les teneurs en ^{13}C et ^{15}N, respectivement (Tan et Strain, 1979 ; Pocklington et Leonard, 1979 ; Létolle, 1980 ; Gearing, 1988 ; Meyers, 1994 ; Muzuka et Hillaire-Marcel, 1999). Le contenu géochimique et isotopique de la MO de cette unité dénote donc des apports sédimentaires essentiellement terrigènes.

Unité 2

L'unité 2 se distingue par une concentration moyenne élevée en carbone organique (1,7 %). Dans cette unité, la MO se caractérise par un rapport C/N moyen de 18,4. Une telle valeur indique que la MO est surtout d'origine terrestre avec une influence marine discrète (Pocklington et Leonard, 1979 ; Meyers, 1994). Dans cette unité, la MO présente des teneurs moyennes en ^{13}C et en ^{15}N de -26,1 et 4,1 ‰, respectivement. Les teneurs en ^{13}C sont comparables à celles déjà mesurées par Tan et Strain (1979) sur le sédiment de surface du fjord du Saguenay et confirment que la MO sédimentaire est principalement d'origine terrestre. En supposant des rapports C/N ≥23 pour le pôle continental et d'environ 6 pour le pôle marin (par ex., Meyers, 1994), une équation de mélange basée sur les rapports C/N permet de calculer que le $C_{org.}$ terrestre représenterait ≥70 % du stock de $C_{org.}$ de l'unité 2. Comparativement, une équation de mélange, basée sur des teneurs en ^{13}C de -26,7 ‰ pour le pôle continental et de -21,9 ‰ pour le pôle marin (St-Onge, en évaluation ; Muzuka et Hillaire-Marcel, 1999), indiquerait que le $C_{org.}$ terrestre représenterait ~88 % du $C_{org.}$ de l'unité 2. Ces deux estimations sont suffisamment proches pour conclure à une composante continentale dominante représentant entre ~70 et 90 % du $C_{org.}$ sédimentaire. Le même exercice, réalisé avec des teneurs en ^{15}N de 2,0 ‰ pour le pôle continental et de 8,0 ‰ pour le pôle marin (Létolle, 1980 ; Gearing, 1988 ; Muzuka et Hillaire-Marcel, 1999), indiquerait que les apports terrestres contribueraient pour environ deux tiers du stock d'azote sédimentaire. Enfin, mentionnons que des macrorestes végétaux (brindilles) prélevés à 60 cm de profondeur pour datation au ^{14}C par accélérateur ont livré un âge apparent de 2980 ± 60 BP (TO-7327).

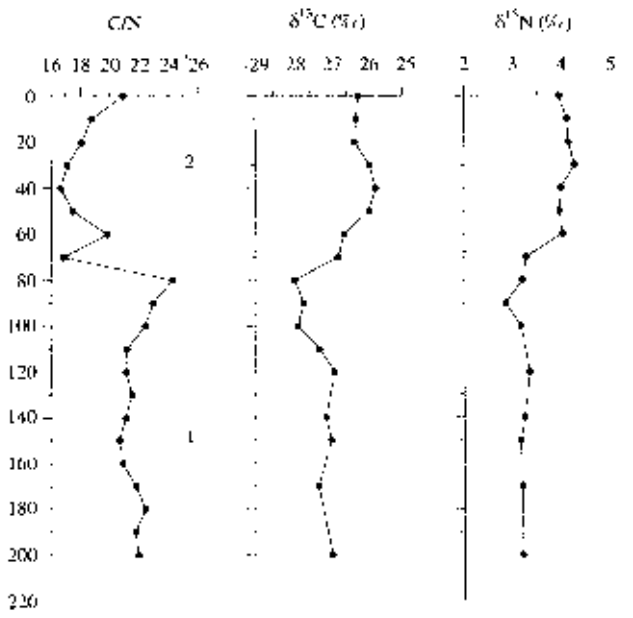

FIGURE 4. Propriétés géochimiques et isotopiques de la carotte MB97-01-12TWC12. Le rapport C/N correspond au rapport atomique entre le $C_{org.}$ et N total. Les teneurs en ^{13}C sont exprimées en unité delta par rapport au V-PDB et celles en ^{15}N en unité delta par rapport à l'azote atmosphérique.

Geochemical and isotopic properties of core MB97-01-12TWC12. C/N ratios correspond to the atomic ratio of C_{org} over total N. ^{13}C values are reported against V-PDB and ^{15}N values against atmospheric nitrogen.

CONTENU MICROPALÉONTOLOGIQUE

Dans l'ensemble, les sédiments se caractérisent par d'abondants microfossiles organiques et siliceux, mais par de rares microfossiles carbonatés.

Unité 1

Les concentrations des foraminifères et des dinokystes de cette unité sont très basses (fig. 5 et 7). Cette unité est aussi marquée par un faible rapport entre les diatomées centrales et les formes pennales ainsi que par un pourcentage élevé de valves pennales fragmentées (fig. 6). Ces observations indiquent des apports pélagiques limités, sinon très dilués par des apports turbulents de matériel terrigène. De plus, le rapport entre les grains de pollen et les dinokystes est élevé (Pollen+Spores/Dinokystes ; fig. 8). Ce rapport tend vers 0 en milieu océanique et tend vers l'infini en milieu continental (de Vernal *et al.*, 1991). Les valeurs de ce rapport dans l'unité 1 atteignent près de 850 et sont beaucoup plus élevées que celles observées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (soit 171 à 6 de l'amont vers l'aval ; *cf.* de

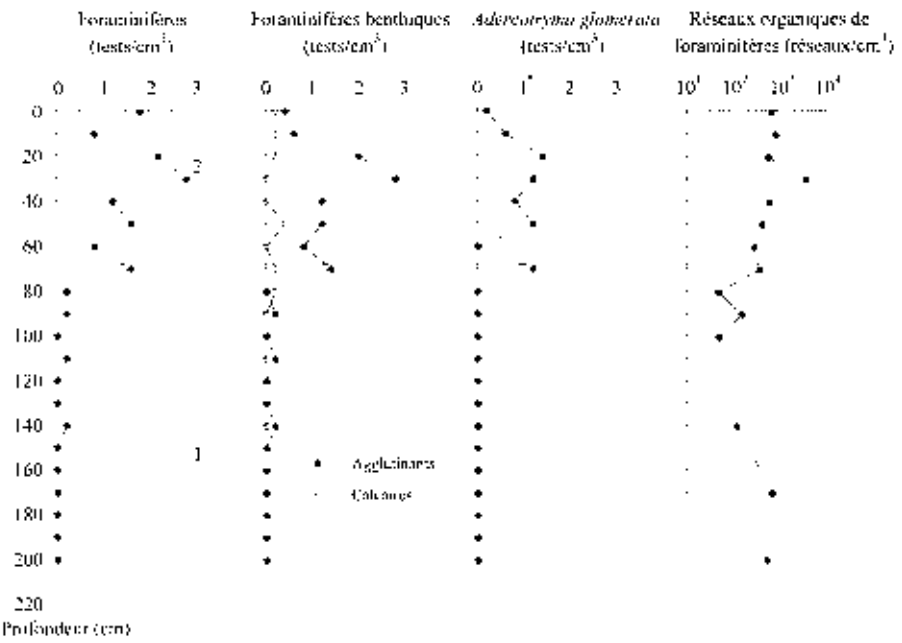

FIGURE 5. Distribution des foraminifères : concentrations totales, des foraminifères benthiques, d'*Adercotryma glomerata* et des réseaux organiques.

Distribution of foraminifera: total, benthic foraminifera, Adercotryma glomerata *and foraminifera linings concentrations.*

Vernal *et al.*, 1991). Ceci indique des apports terrigènes dominants. Les concentrations des réseaux organiques de foraminifères et de tous les microfossiles aquatiques sont basses (fig. 5 et 8), reflétant également la prédominance des sources terrigènes pour le sédiment de cette unité. Les faibles rapports entre les grains de pollen non arborescents et arborescents (NAP/AP) (fig. 9) indiquent que les assemblages polliniques proviennent d'un milieu forestier. Ils sont sans doute issus de sols développés avant la colonisation.

Unité 2

Comparativement à l'unité sous-jacente, l'unité 2 se singularise par des concentrations élevées de tous les microfossiles aquatiques marins (foraminifères, diatomées et dinokystes). Les tests de foraminifères enregistrent des concentrations de 0,8 à 2,8 tests/cm^3 (fig. 5). Les assemblages sont dominés par des formes benthiques agglutinantes, notamment *Adercotryma glomerata* qui constitue près de 50 % des assemblages. De rares tests calcaires de l'espèce planctonique *Neogloboquadrina pachyderma* (levogyre) ont également été dénombrés. De tels assemblages sont comparables à ceux déjà décrits par Syvitski et Schafer (1996) dans les sédiments du fjord.

En dépit de la faible abondance relative des tests de foraminifères benthiques, notamment des formes carbonatées, les réseaux organiques produits par ces derniers et dénombrés dans les préparations palynologiques sont nettement plus abondants. Dans l'unité 2, les concentrations varient de 400 à 3600 réseaux par cm^3 (fig. 5). En considérant une vitesse de sédimentation moyenne de 0,2 cm/an (voir la section discussion de cet article), ces concentrations indiquent une productivité benthique de l'ordre de la centaine d'individus par cm^2.an. La différence entre la concentration des tests de foraminifères et celle de leurs réseaux organiques révèle une dissolution des tests carbonatés ou du ciment carbonaté des tests agglutinants. Toutefois, une étude de la systématique des réseaux organiques de foraminifères devra être réalisée afin d'associer de façon univoque les réseaux organiques aux tests, de déterminer quels sont les taxons préférentiellement touchés par la dissolution dans les sédiments du fjord et, ultérieurement, d'établir un indice de dissolution basé sur le rapport entre tests et réseaux (de Vernal *et al.*, 1992).

Les concentrations de diatomées de l'unité 2 atteignent 40 x 10^6 valves/cm^3 (fig. 6). De telles concentrations dénotent des flux de l'ordre du million de diatomées/cm^2.an. Ces flux sont légèrement plus élevés que ceux observés par Lapointe (1998) dans deux carottes boîtes du fjord (95 x 10^3 et 528 x 10^3 valves/cm^2.an). Cette unité se caractérise également par une proportion maximale de diatomées centrales par rapport aux diatomées pennales, ce qui tend à confirmer le caractère marin ou saumâtre des apports microfloristiques et du milieu de production. L'analyse des populations d'échantillons de surface dans le fjord révèle, par ailleurs, des assemblages diversifiés de diatomées et une flore endémique marine (Lapointe, 1998).

La concentration des dinokystes atteint 1600 kystes/cm^3 dans l'unité 1 (fig. 8). Des flux de l'ordre d'une centaine de kystes/cm^2.an indiquent une productivité pélagique comparable à celle observée dans l'estuaire du Saint-Laurent (de Vernal et Giroux, 1991 ; de Vernal *et al.*, 1991). Les assemblages sont dominés par des espèces hétérotrophes (*Brigantedinium* spp., *Selenopemphix quanta*, *Protoperidinium americanum*, *Dubridinium* spp.) et par *Pentapharsodinium dalei* (fig. 7). Les espèces autotrophes de la famille des Gonyaulaceae (*Operculodinium centrocarpum*, *Nematosphaeropsis labyrinthus* et *Spiniferites* spp.) sont rares et ne représentent jamais plus de 8 % des assemblages. Les assemblages du fjord sont distincts de ceux du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent (de Vernal et Giroux, 1991 ; Meki-

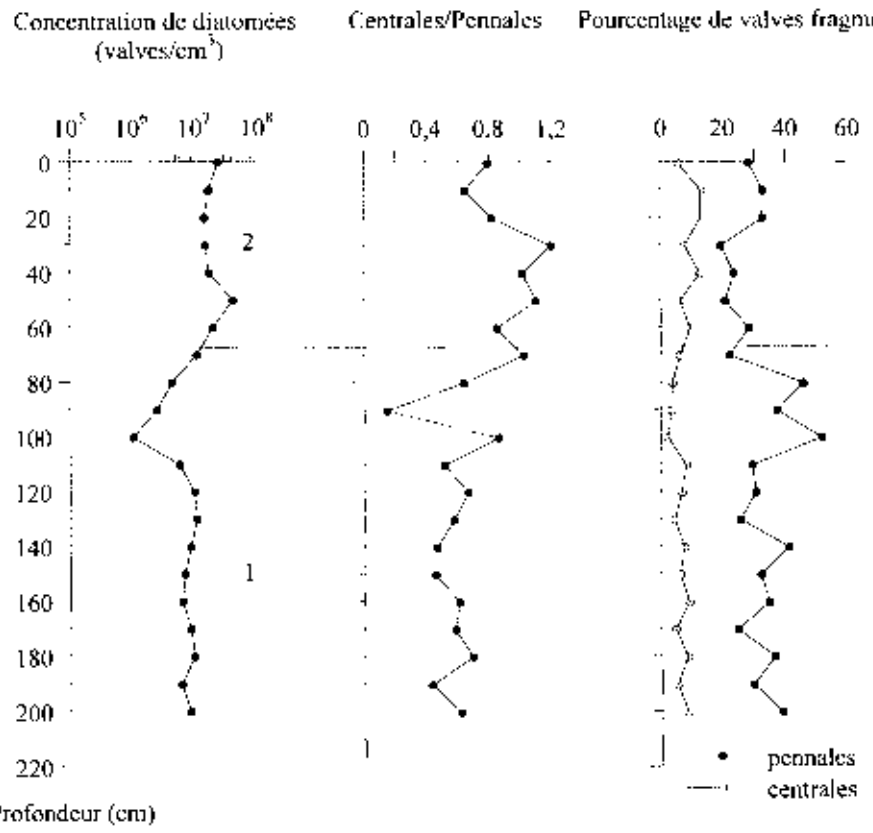

FIGURE 6. Distribution des diatomées : concentration totale, rapport centrales/pennales et pourcentage des valves fragmentées.

Distribution of diatoms: total concentration, centrale/pennale ratio and percentage of fragmented valves.

reche-Telmat, 1997), en particulier par la présence du genre *Dubridinium*, qui n'a encore jamais été signalé le long des côtes de l'est du Canada. Celui-ci constituerait donc un taxon endémique du fjord du Saguenay.

Parmi les autres palynomorphes, on recense différents taxons d'eau douce (*Pediastrum* et les thécamoebiens) qui reflètent des apports biogéniques fluviatiles, lacustres ou tourbicoles (fig. 8). D'autres taxons comme *Cymatiosphaera*, *Hexasterias problematica* et les tintinnides auraient une origine marine. Le rapport Pollen+Spores/Dinokystes de cette unité varie de 21 à 56. De tels rapports sont semblables à ceux observés dans l'estuaire du Saint-Laurent et indiquent une prédominance d'apports de MO réfractaire d'origine terrestre, en dépit des flux relativement importants de MO autochtone (de Vernal et Giroux, 1991 ; de Vernal *et al.*, 1991).

Les concentrations des grains de pollen varient de 18 x 10^3 à 85 x 10^3 grains/cm^3 (fig. 8). De telles concentrations illustrent le caractère épicontinental du milieu sédimentaire et permettent de calculer des flux de l'ordre du millier de grains/cm^2.an. Ces flux sont semblables à ceux observés dans l'estuaire du Saint-Laurent (de Vernal et Giroux, 1991 ; de Vernal *et al.*, 1991). Les assemblages polliniques (fig. 9) sont dominés par les conifères (*Pinus*, *Picea* et *Abies*) ainsi que par *Betula* et fournissent une image de la forêt boréale avoisinante (par ex., Anderson, 1985 ; Richard, 1994). Toutefois, de 30 cm de profondeur jusqu'au sommet de l'unité 2, on observe une augmentation de la proportion des taxons arbustifs (*Alnus*, *Salix*) et herbacés (Poaceae et *Ambrosia*) au détriment de *Pinus*. Les rapports NAP/AP varient ainsi de 0,04 à 0,11. Cette tendance peut être associée au déboisement du territoire et à l'augmentation des apports agricoles et rudéraux.

DISCUSSION

L'unité 1 de la carotte MB97-01-12TWC12 est composée d'une couche homogène grise, argilo-silteuse et pauvre en carbone organique. Cette unité correspond à la partie sommitale de la turbidite décrite par Perret *et al.* (1995). En effet, sur une carotte prélevée à proximité de notre site d'échantillonnage, Perret *et al.* (1995) ont observé une turbidite de 5,3 m d'épaisseur dont la partie sommitale (0,7-4,3 m) est composée d'une argile silteuse, homogène, grise et pauvre en MO alors que le passage des horizons sableux à argileux n'est observé que dans la partie inférieure de la turbidite (4,3-6 m). La profondeur à laquelle on observe le sommet de la turbidite (~70 cm) dans la carotte MB97-01-12TWC12 est semblable à la profondeur signalée par Perret *et al.* (1995), soit 70 cm. Une autre étude, reposant sur l'examen des rhizopodes, a mis en évidence le sommet de la turbidite à 64 et 84 cm sur deux carottes prélevées en amont de notre site d'échantillonnage (Schafer et Smith, 1987). Le carottier n'ayant pénétré que dans le sommet de la turbidite, le granoclassement caractéristique d'une turbidite n'a pu être observé dans la carotte MB97-01-12TWC12. On note cependant une légère diminution de la densité entre 200 et 105 cm de profondeur (fig. 3).

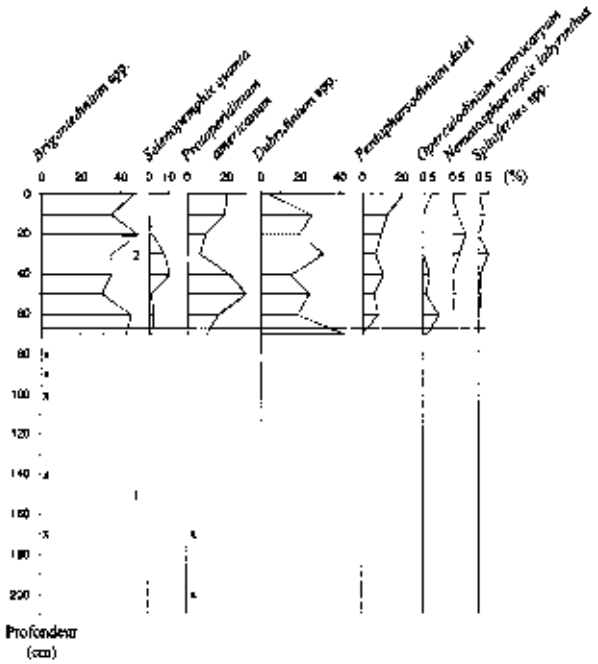

FIGURE 7. Diagramme des assemblages de dinokystes. Les X signifient que les taxons étaient présents, mais que le nombre de dinokystes comptés est trop faible (<20 dinokystes) pour le calcul du pourcentage.

Diagram of dinocysts assemblages. X represents the taxa being present, but the counts were too low (<20 dinocysts) for percentage calculations.

Les teneurs en $CaCO_3$ relativement élevées de l'unité 1 ne peuvent s'expliquer par des apports biogéniques et correspondent donc à des apports de carbonates d'origine détritique. L'unité 1 proviendrait du remaniement des sédiments marins postglaciaires (argiles légèrement carbonatée de la Mer de Laflamme) ou récents le long des parois du fjord à la suite du séisme de 1663 tel que proposé par Schafer et Smith (1987) et Syvitski et Schafer (1996). Il est également possible que le $CaCO_3$ de l'unité 1 provienne de l'érosion des carbonates paléozoïques affleurant autour du lac Saint-Jean et près de Chute-aux-Galets, au nord de Jonquière (Lasalle et Tremblay, 1978), à la suite d'une crue particulièrement intense provoquée par le séisme de 1663 (Syvitsky et Schafer, 1996 ; Mulder et *al.*, 1998). En effet, un glissement de terrain de 0,2 km^3 déclenché par le séisme de 1663 aurait bloqué la rivière Saguenay et la rupture de ce barrage naturel au printemps aurait provoqué une crue avec un débit aussi élevé que 7500 m^3/s (Syvitski et Schafer, 1996).

L'unité 2, qui correspondrait à des sédiments postérieurs à la couche turbiditique de 1663, évoque une sédimentation de type hémipélagique. Eu égard à son épaisseur (~70 cm) et à l'âge du séisme, on peut estimer que cette unité représente environ 334 ans de sédimentation. La vitesse de sédimentation moyenne au cours de cet intervalle serait ainsi de l'ordre de 0,2 cm/an, sous réserve des corrections que les teneurs en eau imposeraient. Une telle vitesse de sédimentation est compatible avec celles de 0,2 à 0,4 cm/an qui ont été proposées par Smith et Walton (1980) et Zhang (2000) sur la base d'analyse des teneurs en ^{210}Pb et en ^{137}Cs à la station SAG-30. La vitesse de sédimentation obtenue ici est également en accord avec les données palynologiques. En effet, l'augmentation du rapport pollinique NAP/AP à partir de 30 cm reflète une déforestation qui est associée à l'établissement de colons en 1837, près de la baie des Ha!Ha!, dont la principale activité était la coupe d'arbres (Blanchard, 1935).

Dans l'unité 2, à 60 cm de profondeur, des macrorestes végétaux (brindilles) ont livré un âge apparent de 2980 ± 60 BP (TO-7327). Un tel âge est incompatible avec les informations radiochronologiques et stratigraphiques dont on dispose. L'âge au ^{14}C indique une origine ancienne du matériel daté qui proviendrait de l'érosion de sols forestiers. Il ne peut donc pas être utilisé à des fins chronostratigraphiques. Dans la mesure où un remaniement de matériel plus ancien est fréquent dans un milieu sédimentaire comme le Saguenay, la datation au ^{14}C ne peut livrer que des limites chronologiques maximales.

CONCLUSIONS

Les traceurs utilisés dans le cadre de cette étude permettent de caractériser les sédiments de deux unités lithostratigraphiques distinctes. L'une est hémipélagique tandis que l'autre évoque le sommet d'une couche turbiditique ou sismite mise en place lors du tremblement de terre de 1663. Les critères diagnostiques de cette sismite sont les suivants : une couleur gris pâle due au contenu en carbonates détritiques (~3 %) et aux faibles teneurs en MO ; des teneurs en ^{13}C <-26 ‰, des teneurs en ^{15}N <4 ‰ ainsi que des rapports C/N > 20, indiquant une source terrigène ; une très forte proportion de palynomorphes terrestres et des rapports Pollen+Spores/Dinokystes supérieurs à 70. La proportion élevée de valves de diatomées pennales fragmentées indique également une dynamique sédimentaire turbulente.

Les éléments caractéristiques de la couche hémipélagique postérieure au séisme de 1663 incluent une couleur plus foncée, des traces de bioturbation et un contenu en carbone organique élevé (~2 %). Cette couche se caractérise aussi par des indices d'une productivité biogénique marine importante, tant phytoplanctonique ou planctonique hétérotrophe que benthique, en dépit des apports de MO terrestre dominants. Les rapports C/N, les teneurs en ^{13}C et en ^{15}N de la MO sédimentaire indiquent en effet que ~70 à 90 % de la MO sédimentaire serait d'origine terrestre.

Dans l'unité 2, des variations de faibles amplitudes sont enregistrées par les différents traceurs. Ces variations pourraient être associées à des événements sédimentologiques brefs plus récents comme le glissement de terrain de Saint-Jean-Vianney et la crue de 1996. Toutefois, la position du site d'échantillonnage au centre du bassin supérieur est distale par rapport aux sources sédimentaires du glissement de terrain de Saint-Jean-Vianney (Schafer et Smith, 1988) et de la crue de 1996 (Locat *et al.*, 1998). Ces deux événements ont donc laissé peu de traces dans les sédiments de la carotte MB97-01-12TWC12. Une maille d'échantillonnage beaucoup plus serrée réalisée au centimètre, sinon au milli-

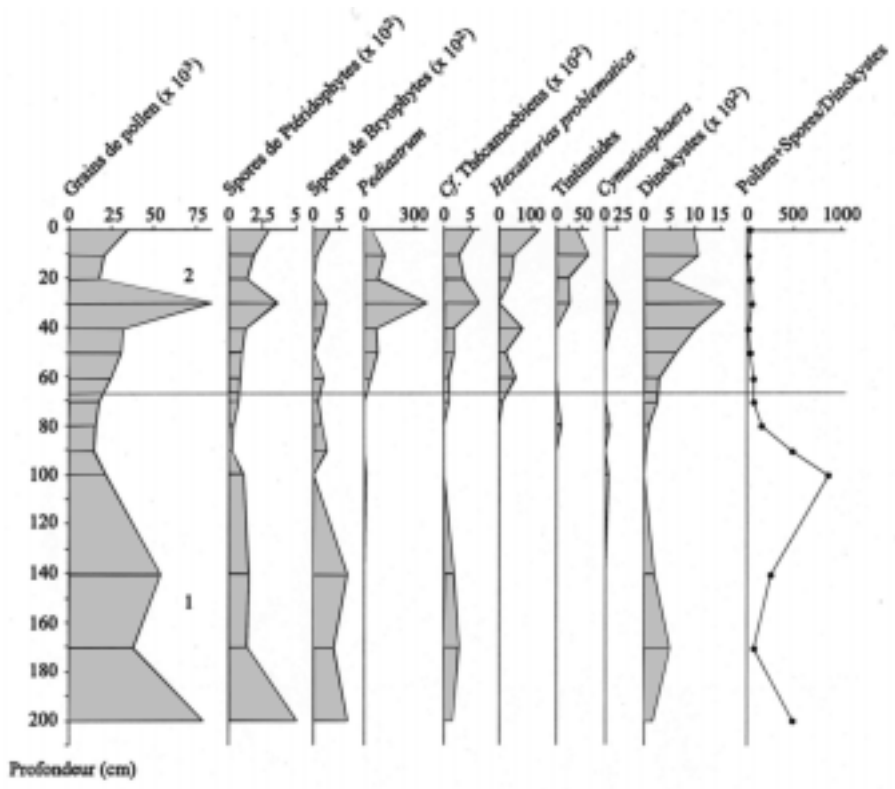

FIGURE 8. Diagramme de concentration des palynomorphes. Sous l'appellation *cf.* thécam-œbiens, nous avons regroupé principalement les genres *Halo-dinium* et *Radiosperma*. Ceux-ci sont généralement associés à des thécamœbiens sur la base de la présence d'un pylôme et de leur forme sub-sphérique. Ils sont surtout observés dans des sédiments de milieux estuariens (de Vernal *et al.*, 1991 ; Kunz-Pirrung, 1997).

Palynomorph concentrations diagram. Under cf. thecamoebian, we included the genera Halodinium *and* Radiosperma. *Those two genera are classified as the camoe-bian on the basis of their subspheric shape and the presence of a pylome. They are generally found in sedi-ments of estuarian environ-ments (de Vernal et al., 1991; Kunz-Pirrung, 1997).*

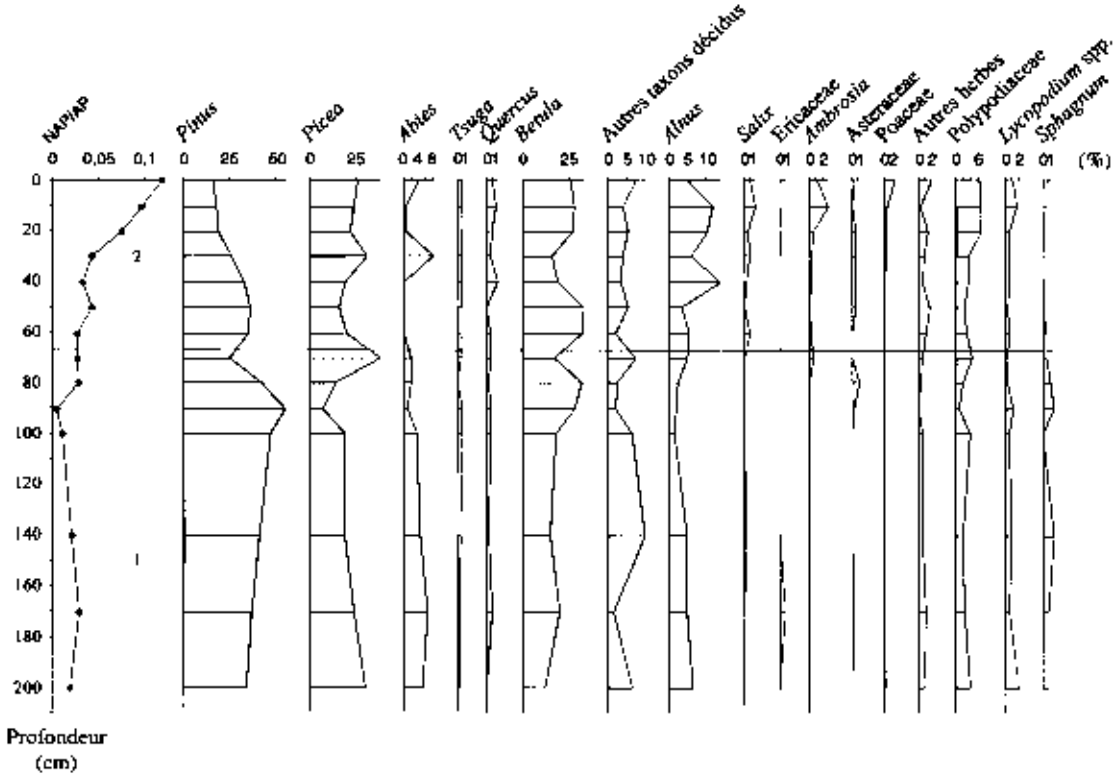

FIGURE 9. Diagramme résumé des assemblages polliniques. Le rapport NAP/AP correspond à la proportion entre les grains de pollen non arborescents et arborescents. La somme pollinique exclue les spores de ptéridophytes et de *Sphagnum*.

Pollen summary diagram. The NAP/AP ratio corresponds to the proportion between non-arboreal pollen and arboreal pollen. The pollen sum excludes the spores of pteridophytes and Sphagnum.

mètre permettrait éventuellement d'identifier ces deux événements.

L'identification de couches sédimentaires accidentelles à partir de l'étude de séquences sédimentaires plus longues est envisageable. Toutefois, les critères diagnostiques permettant de distinguer des couches de crue et de glissement de terrain restent à préciser. Il reste aussi à préciser dans quelle mesure celles-ci différeront des sismites. L'analyse de séquences holocènes pourrait permettre d'évaluer la fréquence de telles couches à une échelle régionale.

L'étude que nous avons réalisée visait à déterminer l'utilisation potentielle de différents traceurs physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques des événements sédimentologiques accidentels survenus dans la région du fjord du Saguenay. Chacun de ces traceurs a fourni des indices probants, mais certains semblent plus intéressants quant aux coûts et au temps requis pour leur analyse. Sur cette base, une stratégie peut être proposée pour l'étude de carottes longues qui ont été prélevées dans le cadre de la mission IMAGES V ou le seront dans le cadre de l'ODP. Ainsi, l'analyse des propriétés physiques pourra fournir une stratigraphie en quelques minutes seulement et permettre d'identifier le nombre de couches perturbées. L'analyse subséquente des propriétés géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques pourra être ensuite réalisée pour en déterminer l'origine de façon plus circonstanciée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Kate Jarrett (BIO) pour l'analyse des propriétés physiques, Louise Cournoyer et Maryse Henry (GEOTOP) pour leur aide en laboratoire ainsi que Martine Lapointe (GEOTOP) pour ses conseils sur les diatomées. Ce projet a bénéficié d'une subvention stratégique 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. Nous remercions également Bernard Long (UQAR) pour ses commentaires ainsi que P. Hill (UQAR)*, pour leur évaluation critique.

RÉFÉRENCES

Anderson, W.T., 1985. Late-Quaternary pollen records from eastern Ontario, Quebec and Atlantic Canada, p. 281-352. *In* M.V. Bryant et R.G. Holloway, édit., Pollen records of late-Quaternary North American sediments. AASP Foundation, 426 p.

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.

Blanchard, R., 1935. L'est du Canada français. Tome 2, Masson, Paris, p. 7-155.

Canfield, D.E., 1994. Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. Chemical Geology, 114: 315-329.

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.

Côté, R. et Lacroix, G., 1979. Variabilité journalière de la chlorophylle a et des taux de production primaire dans le fjord du Saguenay. Le Naturaliste canadien, 106 : 189-198.

Craig, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors. Geochimica and Cosmochimica Acta, 12: 133-149.

de Vernal, A., Larouche, A. et Richard, P.J.H., 1987. Evaluation of palynomorph concentrations: Do the aliquot and the marker-grain methods yield comparable results ? Pollen et Spores, XXIX: 291-304.

de Vernal, A. et Giroux, L., 1991. Distribution of organic walled microfossils in recent sediments from the Estuary and Gulf of St. Lawrence: Some aspects of the organic matter fluxes, p. 189-199. *In* J.-C. Thériault , édit., The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary ? Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 113: 359 p.

de Vernal, A., Giroux, L. et Hillaire-Marcel, C., 1991. Distribution des palynomorphes et flux de matière organique dans un milieu de transition. Exemple de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Palynosciences, 1 : 145-157.

de Vernal, A., Bilodeau, G., Hillaire-Marcel, C. et Kassou, N., 1992. Quantitative assessment of carbonate dissolution in marine sediments from foraminifer linings *vs.* shell ratios: Davis Strait, northwest North Atlantic. Geology, 20: 527-530.

de Vernal, A., Henry, M. et Bilodeau, G., 1996. Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie. Cahier du GEOTOP 3, 28 p.

Doig, R., 1986. A method for determining the frequency of large-magnitude earthquakes using lake sediments. Canadian Journal of Earth Sciences, 23: 930-937.

Drainville, G., 1968. Le fjord du Saguenay: contribution à l'océanographie. Le Naturaliste canadien, 95: 809-855.

Fortin, G.R. et Pelletier, M., 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, Centre Saint-Laurent, Rapport technique, 212 p.

Gearing, J.N., 1988. The use of stable isotope ratios for tracing the nearshore-offshore exchange of organic matter, p. 69-101 *In* B.O. Jansson, édit., Lectures Notes on Coastal-Offshore Ecosystem Studies. Springer-Verlag, Berlin, 23: 367 p.

Ingall, D. E. et Van Cappellen, P., 1990. Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54: 373-386.

Kunz-Pirrung, M., 1997. Rekonstruktion des Oberflächenwassermassen der östlichen Laptevsee im Holozän anhand von aquatischen Palynomorphen. Thèse de doctorat, Université de Kiel, 112 p.

Lapointe, M., 1998. Assemblages diatomologiques et paléoenvironnements au Quaternaire supérieur de l'estuaire maritime et du golfe du St-Laurent (Québec, Canada). Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, 473 p.

Lasalle, P. et Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles Saguenay lac Saint-Jean. Rapport 191, Ministère des Richesses naturelles du Québec, 61 p.

Létolle, R., 1980. Nitrogen-15 in the natural environment, p. 407-433. *In* P. Fritz et J. Fontes, édit., Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Vol. 1A. Elsevier, New York, 545 p.

Leventhal, J. et Taylor, C., 1990. Comparison of methods to determine degree of pyritization. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54: 2621-2625.

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.

Locat, J., Desrosiers, G., de Vernal, A., Gagné, J.-P., Galvez-Cloutier, R., Gratton, Y., Hill, P., Hillaire-Marcel, C., Long, B., Mucci, A., Pelletier, É., Simpkin, P., Therrien, R., 1998. Performance de la couche de sédiments du déluge de 1996 recouvrant les sédiments contaminés du fjord du Saguenay : une occasion de développement technologique. Congrès annuel conjoint AGC/AMC, Recueil des résumés, 23 : 111.

* M. Hay et R. Pienitz (Univ. Laval)

Macko, S.A., 1981. Stable nitrogen isotope ratios as tracers of organic geochemical processes. Thèse de doctorat, University of Texas at Austin, 181 p.

Mariotti, A., 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ^{15}N abundance measurements. Nature, 303: 685-687.

Matthews, J., 1969. The assessment of a method for the determination of absolute pollen frequencies. New Phytologist, 68: 161-166.

Mekireche-Telmat, R., 1997. Contenu palynologique et flux microfloristiques récents dans l'estuaire maritime du St-Laurent. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, 81 p.

Meyers, P.A., 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chemical Geology, 114: 289-302.

Mulder, T., Syvitski, J.P.M. et Skene, K.I., 1998. Modeling of erosion and deposition by turbidity currents generated at river mouths. Journal of Sedimentary Research, 68: 124-137.

Muzuka, A.N.N. et Hillaire-Marcel, C., 1999. Organic matter burial rates along the eastern Canadian margin and stable isotope constraints on its origin and diagenetic evolution. Marine Geology, 160: 251-270.

Pelletier, É., 1997. Compte-rendu du mini-colloque sur le fjord du Saguenay post-déluge. Groupe de recherche en environnement côtier, rapport interne, INRS-Océanologie, Rimouski, 11 p.

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. Strengh development with burial in fine-grained sediments from the Saguenay Fjord. Canadian Geotechnical Journal, 32 247-262.

Pocklington, R. et Leonard, J.D., 1979. Terrigenous organic matter in sediments of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 36: 1250-1255.

Praeg, D.B. et Syvitski, J.P.M., 1991. Marine geology of Saguenay Fjord. Commission géologique du Canada, Open File, 2395, 14 feuillets.

Rainswell, R., Canfield, D.E. et Berner, R.A., 1994. A comparison of iron extraction methods for the determination of degree of pyritisation and the recognition of iron-limited pyrite formation. Chemical Geology, 111: 101-110.

Richard, P.J.H., 1994. Postglacial palaeophytogeography of the eastern St. Lawrence River watershed and the climatic signal of the pollen record. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 109: 137-161.

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.

———— 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.

Schafer, C.T., Smith, J.N. et Côté, R., 1990. The Saguenay Fjord: A major tributary to the St. Lawrence Estuary, p. 378-420. *In* M.I. Sabh et N. Silverberg, édit., Oceanography of a Large-Scale Estuarine System. The St.-Lawrence. Springler-Verlag, New York, 39: 434 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.

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.

St-Onge, G., en évaluation. Aspects isotopiques et effets des événements sédimentologiques brefs (crues, séismes, glissements de terrain) sur les sources et taux d'enfouissement du carbone organique dans les sédiments récents du fjord du Saguenay, Québec. Mémoire de maîrise, Université du Québec à Montréal, 40 p.

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.

Tan, F.C. et Strain, P.M., 1979. Organic carbon isotope ratio in recent sediments in the St. Lawrence Estuary and the Gulf of the St-Lawrence. Estuarine and Coastal Marine Science, 8: 213-225.

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, 193 p.