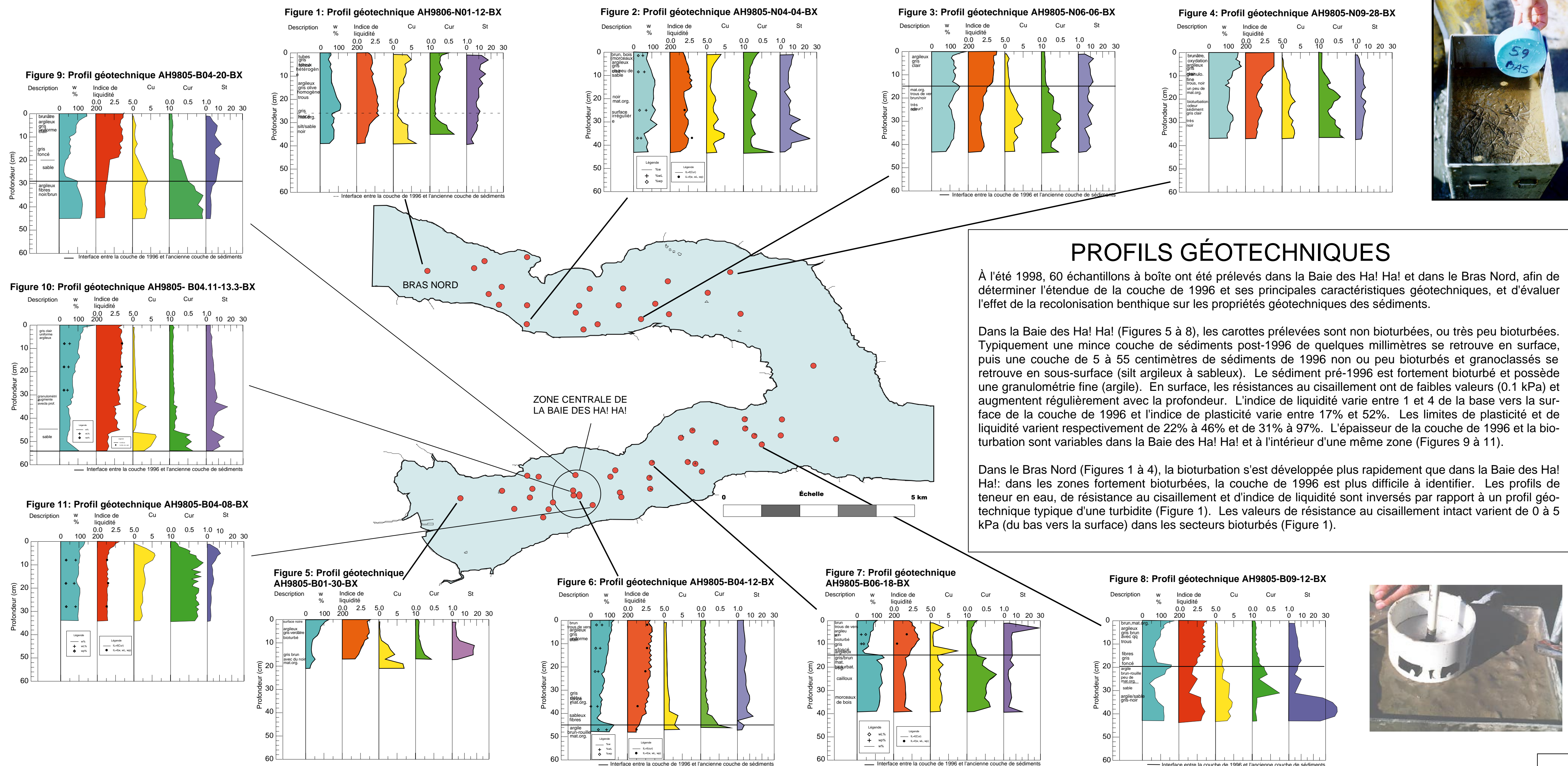


Effets de la bioturbation sur les caractéristiques géotechniques de la couche de 1996 dans la Baie des Ha! Ha! et dans le Bras Nord, fjord du Saguenay (Québec, Canada)

par France Maurice¹, Jacques Locat¹, Serge Leroueil², Priscilla Desgagnés¹, Francis Martin¹, Rosa Galvez-Cloutier², René Therrien¹.
 1. Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval 2. Département de génie civil de l'Université Laval



PROFILS GÉOTECHNIQUES

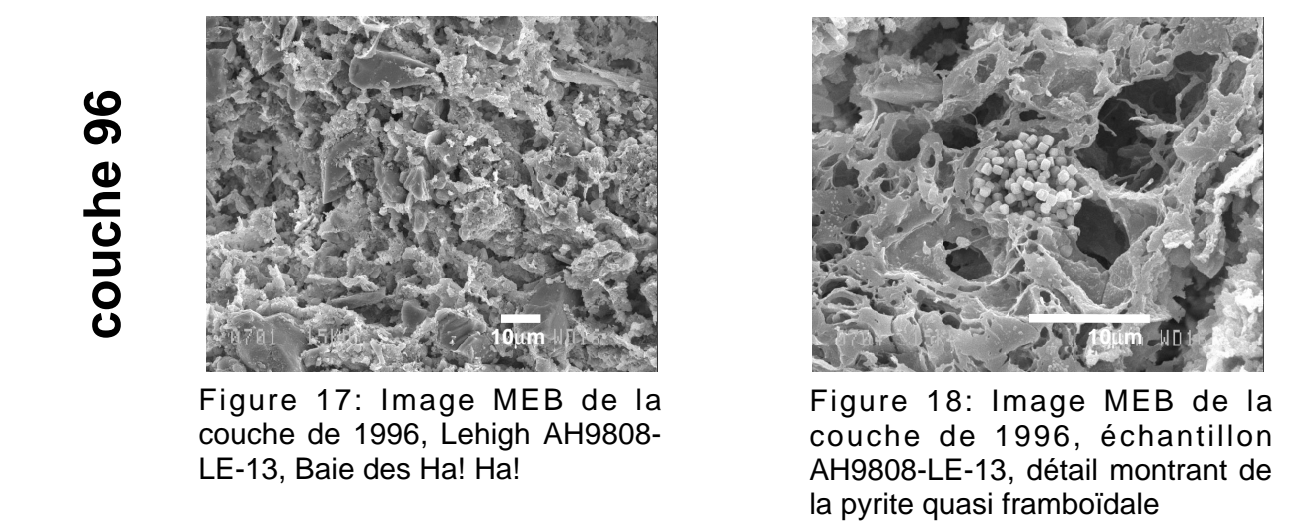
À l'été 1998, 60 échantillons à boîte ont été prélevés dans la Baie des Ha! Ha! et dans le Bras Nord, afin de déterminer l'étendue de la couche de 1996 et ses principales caractéristiques géotechniques, et d'évaluer l'effet de la recolonisation benthique sur les propriétés géotechniques des sédiments.

Dans la Baie des Ha! Ha! (Figures 5 à 8), les carottes prélevées sont non bioturbées, ou très peu bioturbées. Typiquement une mince couche de sédiments post-1996 de quelques millimètres se retrouve en surface, puis une couche de 5 à 55 centimètres de sédiments de 1996 non ou peu bioturbés et granoclasseés se retrouve en sous-surface (silt argileux à sableux). Le sédiment pré-1996 est fortement bioturbé et possède une granulométrie fine (argile). En surface, les résistances au cisaillement ont de faibles valeurs (0.1 kPa) et augmentent régulièrement avec la profondeur. L'indice de liquidité varie entre 1 et 4 de la base vers la surface de la couche de 1996 et l'indice de plasticité varie entre 17% et 52%. Les limites de plasticité et de liquidité varient respectivement de 22% à 46% et de 31% à 97%. L'épaisseur de la couche de 1996 et la bioturbation sont variables dans la Baie des Ha! Ha! et à l'intérieur d'une même zone (Figures 9 à 11).

Dans le Bras Nord (Figures 1 à 4), la bioturbation s'est développée plus rapidement que dans la Baie des Ha! Ha! : dans les zones fortement bioturbées, la couche de 1996 est plus difficile à identifier. Les profils de teneur en eau, de résistance au cisaillement et d'indice de liquidité sont inversés par rapport à un profil géotechnique typique d'une turbidite (Figure 1). Les valeurs de résistance au cisaillement intact varient de 0 à 5 kPa (du bas vers la surface) dans les secteurs bioturbés (Figure 1).



IMAGES PRISES AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE



Une étude microstructurale a été réalisée sur un échantillon Lehigh provenant de la zone centrale de la Baie des Ha! Ha! pour observer les effets du bioremaniement sur le comportement géotechnique du sédiment. Les échantillons ont été examinés à l'aide d'un microscope électronique à balayage de type JSM-8404 de la compagnie JEOL, possédant un grossissement minimal de 10X et maximal de 30000X. Les échantillons ont été préalablement lyophilisés (congélation à l'aide d'azote liquide). Les surfaces d'observations sont donc contrôlées par les plans formés par la glace, ce qui donne une vue optimum pour le réseau poreux et pour les microfossiles.

La microstructure des sédiments de la Baie des Ha! Ha! est typique d'un sédiment marin flocculé (Figures 17 à 20). Les éléments qui composent ce sédiment sont des agrégats de particules argileuses et silteuses, des grains de sable (quartz, feldspath, micas), des agrégats de pyrite, de la matière organique, des pellets, des tubes de vers et des diatomées. La couche de 1996 (Figures 17 et 18) a un réseau poreux plus ouvert que les sédiments bioturbés et enfouis, en plus de présenter très peu de microfossiles. Les échantillons SEDCON consolidés à 200 kPa (30 mètres d'enfouissement) ont une porosité plus fermée (Figures 15 et 16).

D'autres analyses de la microstructure seront nécessaires pour évaluer les effets du bioremaniement sur le comportement géomécanique du sédiment de 1996 et de l'ancien sédiment à cause de la qualité moyenne de l'échantillon Lehigh. Des échantillons seront prélevés à l'été 1999 au Saguenay à cet effet.

couche pré-1996

Bioturbation effects on the geotechnical characteristics of the 1996 layer in Baie des Ha! Ha! and Bras Nord, Saguenay fjord, (Québec, Canada)

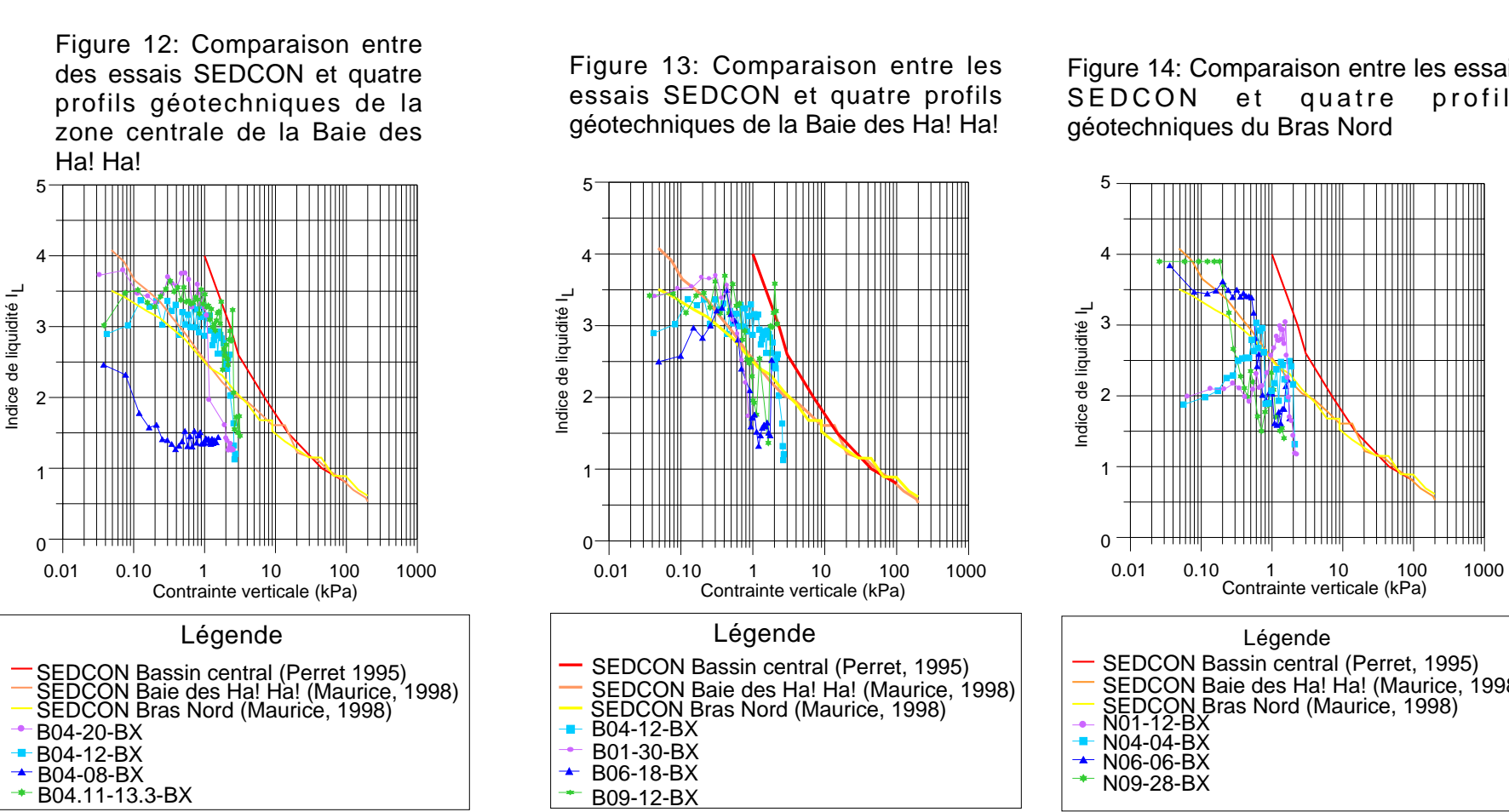
The 1996 Saguenay flood carried 6×10^6 tons of material in Baie des Ha! Ha!. These sediments deposited as a turbidite are covering bioturbated and contaminated sediments. Sixty box core samples were taken in Summer 1998, and were analysed to determine the geotechnical characteristics of the 1996 layer, and to evaluate the effects of the benthic recolonisation on the geotechnical properties of the sediments.

In Baie des Ha! Ha! and Bras Nord, bioturbated sediments and non- or slightly bioturbated sediments are present. Typically, samples from Baie des Ha! Ha! have a thin layer of freshly deposited sediments (a few mm) at the surface which are underlain by 5 to 55 cm of 1996 sediments (non- or slightly bioturbated) in a fining upward sequence (sand to silty clay). The old sediment is mostly a homogenous clay strongly bioturbated. Intact and remolded shear strength values are quite low in subsurface, but regularly increase with depth. The liquidity index varies from 1 to 4 from bottom to surface of the 1996 layer, whereas the plasticity index values range between 17% and 52%. Plastic and liquid limits vary between 22% and 46%, and between 31% and 97% respectively (Figures 5 to 11).

In Bras Nord, the 1996 layer is difficult to identify, mostly because the bioturbation started acting soon after the flood (due to the presence of more organic matter). The water content profiles, intact and remolded shear strength profiles are inverted compared to a typical turbidite geotechnical profile in Baie des Ha! Ha!. Values of intact shear strength vary from 0 to 5 kPa (from bottom to top) in bioturbated zones (Figures 1 to 4).

Liquidity index profiles of box core samples are compared to laboratory results from SEDCON tests (Figures 12 to 14). These tests provide a non-bioturbated reference curve against which in situ profiles can be compared to illustrate the effect of bioturbation. Scanning electron microscope images from the 1996 layer are also shown to observe the micro-fabric of the 1996 sediment (Figures 15 to 20).

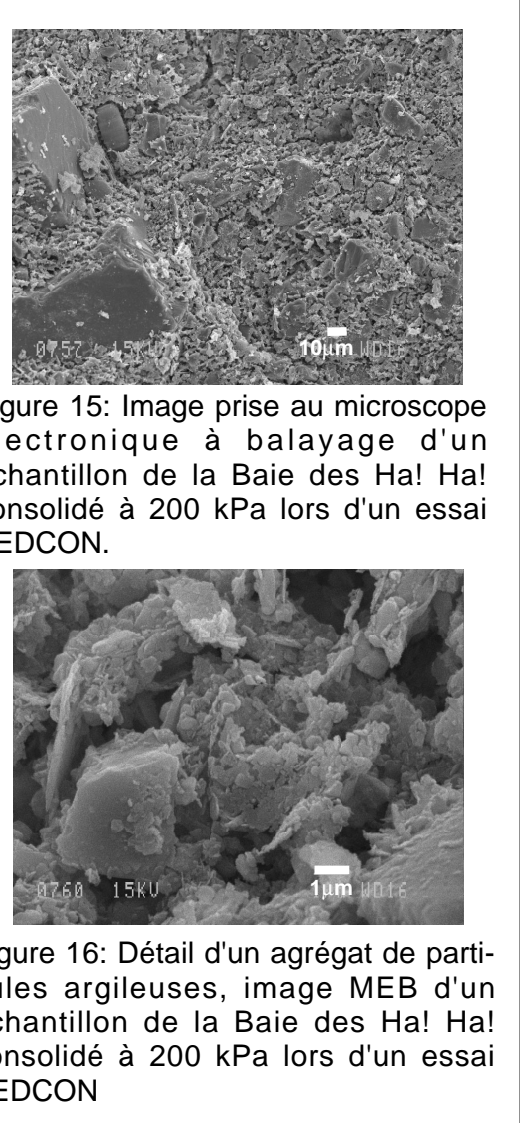
ESSAIS SEDCON



Les profils d'indice de liquidité de terrain sont comparés à des courbes de laboratoire obtenues par des essais SEDCON (sédimentation et consolidation en grandes cellules). Ces essais permettent d'obtenir une courbe de référence applicable à une mise en place rapide des sédiments, comme dans le cas de la turbidite de 1996 au Saguenay. Les courbes de laboratoire (Figures 12 à 14) ne tiennent pas compte de la bioturbation lors de la consolidation des sédiments, donc les profils des sédiments de terrain qui sont bioturbés se retrouvent sous les courbes de laboratoire. Ceci permet d'évaluer l'effet de la bioturbation sur les sédiments. La bioturbation accélère les phénomènes de drainage, en plus de modifier la granulométrie. Le sédiment étant plus grossier lorsqu'il est bioturbé, le poids volumique de celui-ci augmente, ce qui se traduit par une diminution de la teneur en eau et de l'indice de liquidité. Un autre rôle de la bioturbation est l'augmentation de la résistance du sédiment (cimentation ou autres phénomènes chimiques). La bioturbation se faisant de façon hétérogène, la variabilité des propriétés géotechniques est donc plus prononcée dans les zones bioturbées.

Des essais SEDCON ont été réalisés sur des échantillons intégrés du Bras Nord et de la Baie des Ha! Ha!, jusqu'à une contrainte simulant un enfouissement de 30 mètres (200 kPa). Pour les échantillons de la Baie des Ha! Ha!, les profils de terrain se situent surtout au dessus des courbes SEDCON pour une contrainte inférieure à 2 kPa, soit pour la couche de 1996. Dans le cas des échantillons du Bras Nord, à partir de 0,5 kPa les courbes de terrain se retrouvent sous les courbes de laboratoire. Ceci indique donc que dans le Bras Nord, les échantillons sont plus bioturbés que dans la Baie des Ha! Ha!. La bioturbation augmente la résistance du sédiment à l'état intact et remanié.

Les échantillons consolidés en laboratoire ont été observés au microscope électronique à balayage (Figures 15 et 16). Les échantillons SEDCON présentent la même microstructure que les échantillons naturels de la couche de 1996, soit des agrégats de particules argileuses et silteuses, des grains de sable (quartz, feldspath, micas), des agrégats de pyrite, de la matière organique et peu de diatomées. La porosité des échantillons SEDCON est plus fermée, à cause de la contrainte de consolidation de 200 kPa.



RÉFÉRENCES:
 MAURICE, F. (1998). Consolidation de la couche 1996 recouvrant les sédiments contaminés du secteur de la Baie des Ha! Ha! (fjord du Saguenay), Québec : données préliminaires. Projet de fin d'études, Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, 68 pages.
 PERRET, Didier (1995). Diagenèse mécanique précoce des sédiments fins du fjord du Saguenay. Thèse présentée pour l'obtention du grade Ph.D., Faculté des Sciences et de Génie de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec, 412 pages.

L'auteure principale tient à remercier le Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada et l'Alcan.

