

Cas d'un glissement dans les argiles sensibles provoqué à la suite d'un sautage à La Romaine, Basse-Côte Nord, Québec, Canada



Pascal Locat, Marie-Christine Delisle, Denis Demers, Denis Robitaille et Gilles Grondin
Ministère des Transports du Québec, Québec, Canada

ABSTRACT

In summer 2009, a landslide in sensitive clay of the Goldthwait Sea was triggered by blasting of a rocky hillock, during construction of a section of Highway 138, near Village de La Romaine on Québec's Lower North Shore. The approximate dimensions of the landslide mass are 300 m by 175 m, with a vertical soil displacement of up to 8 m in places. This article describes the landslide and its environment and presents an analysis of the situation based on detailed terrain investigations.

RÉSUMÉ

À l'été 2009, un glissement de terrain dans des argiles sensibles de la mer de Goldthwait a été déclenché à la suite du sautage d'une butte rocheuse, lequel était effectué dans le cadre de la construction d'une section de la route 138, près du village de La Romaine sur la Basse-Côte-Nord au Québec. Les dimensions approximatives de la masse qui a glissé sont de 300 m par 175 m, avec un déplacement vertical du sol pouvant atteindre jusqu'à 8 m par endroits. Cet article décrit le glissement et son environnement, et présente une analyse de la situation basée sur des investigations de terrains détaillées.

1 INTRODUCTION

Le 1^{er} août 2009 en fin d'après-midi, un glissement de terrain dans des argiles sensibles de la Mer de Goldthwait a été déclenché à la suite du sautage d'une butte rocheuse, lequel était effectué dans le cadre de la construction d'une section de la route 138, près du village de La Romaine sur la Basse Côte-Nord au Québec (figure 1). Les dimensions approximatives de la masse qui a glissée sont de 300 mètres par 175 mètres (figure 2), avec un déplacement vertical du sol pouvant atteindre jusqu'à 8 mètres par endroits. Il n'y a eu aucun mort ni blessé, ni dommage matériel à des infrastructures autre que la route en construction.

Des relevés aériens (lidars aéroportés et photographies verticales) ont été faits rapidement dans la semaine suivant le glissement et ont pu être comparés avec des relevés aériens antérieurs au glissement. Par la suite, une série de sondages et de forages géotechniques ont été réalisés ainsi que des piézomètres installés afin de caractériser le site de façon à pouvoir analyser la situation, de déterminer les causes du glissement ainsi que d'évaluer l'impact du phénomène sur la poursuite de la construction de la route.

Dans les argiles sensibles de l'est du Canada, peu de cas de glissements de terrain en lien avec un sautage ont été documentés par le passé. À notre connaissance, il y aurait eu les cas de La Baie en 1910 (Dion, 1986), de Hawkesbury en 1955 (Eden, 1956) et de Toulousteuc

en 1962 (Conlon, 1966). Tous ces cas impliquaient une déstabilisation du massif argileux par la base du talus.

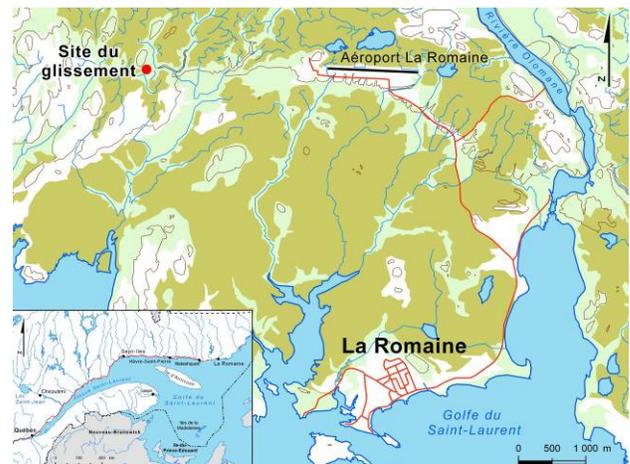


Figure 1. Localisation du site. Les grandes surfaces colorées en kaki correspondent à des zones de tourbières.

Le cas de La Romaine représente un cas d'espèce en soi puisque la déstabilisation du massif argileux s'est faite par le sommet du talus.

Cet article présente premièrement le contexte géologique de la région où s'est produit le glissement de terrain, deuxièmement un aperçu des investigations géomorphologiques et géotechniques réalisées, troisièmement une analyse de la situation basée sur ces investigations et finalement les conclusions et les mises en garde que l'on peut en tirer.

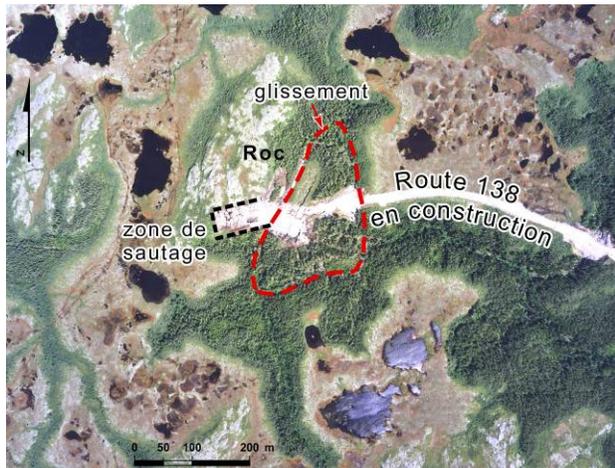


Figure 2. Photographie aérienne n° Q09103-11, prise le 6 août 2009 à la verticale du glissement de terrain (source de la photo: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec)

2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE

La région du village de La Romaine se présente sous la forme d'une immense plaine recouverte principalement de tourbières (fig. 1), qui s'abaisse en pente très douce du nord au sud, en direction du golfe du Saint-Laurent. Les rares reliefs positifs sont constitués principalement d'affleurements rocheux perçant la couverture de sédiments quaternaires et se présentant sous forme de buttes pouvant surmonter la plaine de quelques dizaines de mètres. Quelques cours d'eau ont entaillé cette plaine et forment des ravins dont la profondeur ne dépasse généralement pas 15 mètres.

Selon Corriveau et Bonnet (2005), le substratum rocheux dans le secteur du glissement serait âgé d'environ 1,5 Ga et serait constitué d'un gneiss granitique du Groupe de Wakeham, Province géologique de Grenville (Gobeil et al., 2003).

La morphologie du secteur a été modélisée par la dernière glaciation dont les marques montrent que l'écoulement glaciaire s'effectuait vers le sud, sud-est (Ochietti et al., 2004; Ghismond, 2003). Le retrait des glaces le long du littoral s'est par la suite effectué en contact avec les eaux de la mer de Goldwaith, vers le nord-ouest,

approximativement entre 11 000 et 10 000 ans (Ochietti et al., 2004; Dubois et Dionne, 1985). Dans cette région, la limite de la submersion marine, est située entre 120 et 150 mètres d'altitude selon les endroits (Dubois, 1977). D'après Ghismond (2003), les dépôts meubles de cette région correspondent à une séquence classique de déglaciation : soit à la base un till de fond surmonté de sédiments fluvioglaciaires, qui le long de la frange littorale, sont en contact avec des sédiments marins. Les sédiments marins sont fins, massifs et contiennent peu de fossiles. On note aussi dans cette unité la présence de galets de délestage glaciaire. Habituellement, ces sédiments marins sont surmontés de sédiments deltaïques ou estuariens (Ghismond, 2003). Le passage des sédiments marins à estuariens est graduel et est caractérisé par l'apparition d'une pseudo stratification qui devient de plus en plus nette, et par un changement de couleur de bleu-gris à gris pâle (Ghismond, 2003). Les sédiments estuariens sont des matériaux fins, sablo-silteux. Les sédiments deltaïques sont quant à eux composés de sables et graviers. Aux endroits où ils se superposent aux sédiments marins, le contact entre les deux unités est discordant.

3 DESCRIPTION DU GLISSEMENT DE TERRAIN

Le site du glissement de terrain est à environ 3 km au nord de la limite marine actuelle du Golfe Saint-Laurent, et à environ 2 km à l'ouest de l'aéroport de La Romaine (figure 1). Des relevés lidars aéroporté (RLA) ont été effectués en décembre 2006, avant le début des travaux de construction de la route, et en septembre 2009, après le glissement. Ces relevés permettent d'avoir une image précise de la topographie du secteur, avant et après le glissement de terrain (figure 3). De plus, une série de photographies aériennes verticales à l'échelle 1:5000 (Q09103 #10 et # 11) dont un extrait est montré à la Figure 2, ont été prises le 6 août 2009. Elles ont pu être comparées avec les photographies aériennes antérieures, dont celles de 1975 à l'échelle 1:12000 (MTQ75122 #71 et # 72)

La morphologie du site du glissement est caractérisée par la présence d'une butte rocheuse, dont les sommets arrondis atteignent 50 mètres d'altitude, surplombant la plaine tourbeuse environnante, dont l'altitude moyenne est de 27 mètres (figures 2 et 4). Deux principaux ruisseaux, coulant perpendiculairement, longent à l'est et au sud de la butte rocheuse avant de confluer au sud-est du site du glissement.

Le glissement s'est produit à la suite des travaux de sautage de la butte rocheuse qui était située dans l'alignement de la future route 138 (figures 2, 3 et 4). Les matériaux de déblai de cette butte devant être utilisés pour la construction des remblais de la route, il semblerait que l'entrepreneur ait voulu projeter ceux-ci sur la plaine en contrebas afin d'en faciliter la récupération. La majeure partie du roc dynamité s'est alors étalée sur la surface tourbeuse adjacente (fig. 5).

La masse qui a glissé est presque de forme triangulaire (figures 2 et 4). Cette dernière est limitée au nord-ouest par la butte rocheuse, et au sud et à l'est par les deux ruisseaux dont la profondeur est d'une dizaine de mètres par rapport au niveau de la plaine (figure 3). La surface du terrain qui a glissé est inclinée mais très peu perturbée (fig. 5). Les arbres sont tous demeurés à la verticale, bien qu'ils soient parfois fortement inclinés. La surface tourbeuse est pratiquement intacte, sauf aux endroits où elle est parcourue par des fissures, dont une très longue au centre de la masse et parallèle à l'escarpement arrière du glissement (fig. 5). Seule la partie où sont atterris les matériaux rocheux du sautage est fortement perturbée. Ces matériaux ont formé une dépression de forme ovale (grand axe : 60 m, petit axe : 35 m) en expulsant la tourbe de surface sur le pourtour du cratère qu'ils ont formé (fig. 5). De ce cratère s'élancent quelques fissures hémisphériques entourant l'axe principal du mouvement (fig. 3b et 5).

Les informations que nous avons actuellement concernant le sautage sont incomplètes. Le glissement se serait déclenché à la suite d'un deuxième sautage effectué pour excaver la butte rocheuse. Selon ce qui nous a été transmis, la quantité d'explosif par trou aurait été supérieure à ce qui est habituellement nécessaire pour un sautage dans ce type de roc (Pierre Dorval, communication personnelle). La distance de projection et le degré de fragmentation relativement élevé des matériaux rocheux concordent avec cette information (fig. 5). Le volume sauté, déterminé en comparant les RLA, est d'environ 5000 m³. La superficie couverte par les éjectas du sautage est d'environ 2000 m² (fig. 5), ce qui donne une épaisseur moyenne de roc sur la tourbière d'environ 2,5 mètres.

La comparaison entre les RLA a aussi permis de délimiter et de mesurer précisément la masse impliquée dans le glissement et de cartographier la différence d'élévation entre la morphologie avant et après le glissement de terrain.

La figure 6 montre une image obtenue en soustrayant en tout point la valeur d'élévation de 2006 à celle de 2009. On observe sur cette figure que la partie arrière du glissement qui est adossée à la butte rocheuse s'est abaissée d'environ 7 mètres alors que les fronts est et sud de la masse de débris ont pratiquement comblé totalement les vallées des deux ruisseaux sur environ 8 mètres d'épaisseur. En incluant l'escarpement arrière et la partie comblée des ruisseaux, la superficie touchée par le glissement de terrain est d'environ 36 600 m².

L'escarpement arrière (figure 4) et l'intérieur des fissures au niveau du glissement montrent la stratigraphie suivante : un dépôt silto-argileux bleu-gris, massif, contenant peu de fossiles et extrêmement sensible, surmonté d'une mince couche de sable beige (< 30 cm), et coiffé d'un dépôt de tourbe dont l'épaisseur est d'environ 4 mètres (Figure 4).

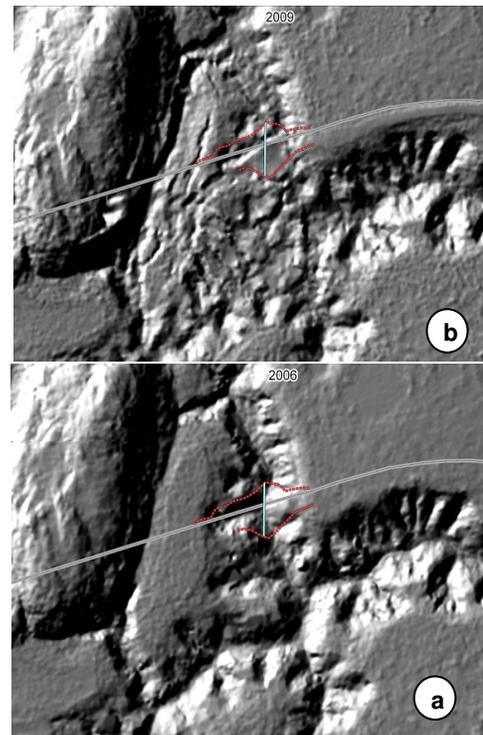


Figure 3. Images « hillshade » en a) obtenue à partir du RLA de 2006 et en b) obtenue à partir du RLA de 2009. La ligne gris pâle indique l'axe de la route. La ligne pointillée rouge indique les limites d'un remblai sous lequel était enfoui un ponceau représenté par une ligne bleutée.

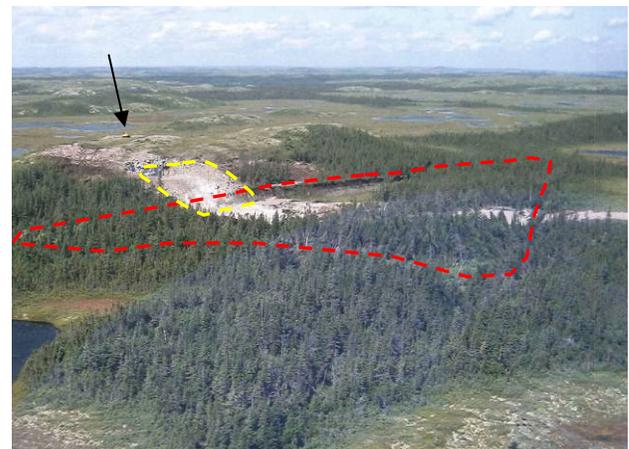


Figure 4. Vue générale du site étudié, objectif vers le nord-ouest. La ligne en pointillés rouges représente le contour approximatif du glissement de terrain. La ligne en pointillés jaunes localise la zone de sautage. Une pelle mécanique, indiquée par la flèche noire, donne une approximation de l'échelle.



Figure 5. Vue hélicoptérée (vers le sud) de la partie centrale du glissement de terrain, où on voit la zone fraîchement dynamitée dans la butte rocheuse et les débris rocheux étalés sur la plaine tourbeuse. L'escarpement arrière du glissement est bien visible à droite, ainsi que la longue fissure longitudinale.

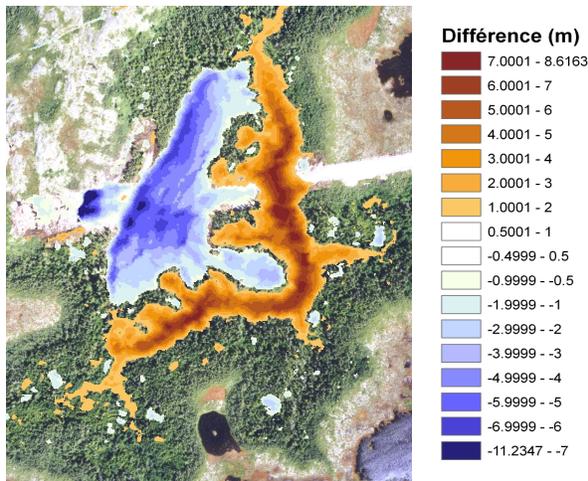


Figure 6. Image de la différence d'élévation entre le RLA de 2006 et de le RLA de 2009.

4 INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE

Les objectifs de l'investigation géotechnique étaient de déterminer les propriétés géotechniques du dépôt d'argile, de détecter d'éventuels lits de sables intercalés dans le dépôt argileux et de localiser la surface de rupture. Pour atteindre ces objectifs, une trentaine de sondages ont été réalisés, dont 15 piézocônes avec lectures au centimètre (CPTU), 9 scissomètres avec mesures au mètre et 4 forages avec échantillonnage (figure 7). Afin de caractériser les conditions d'eau souterraine, 4 nids de piézomètres ont aussi été installés, soit un en sommet de talus et un autre en fond

de ravin dans une zone à proximité non affectée par le glissement de terrain, ainsi qu'à deux endroits dans la cicatrice.



Figure 7. Vue rapprochée de l'escarpement arrière du glissement.



Figure 8. Localisation des sondages effectués. La ligne en tirets rouges représente la position de la section montrée à la figure 11.

Le sondage de référence 93030 a été réalisé à une trentaine de mètres du côté est, à l'extérieur du glissement de terrain (figure 8). Les propriétés géotechniques du dépôt d'argile au droit de ce forage sont présentées à la figure 9. En résumé, le dépôt est constitué d'argile et silt de couleur gris, homogène, dont la teneur en eau sous la croûte varie entre 60 et 70 %. L'indice de plasticité varie entre 3 et 13 au dessus de 11 mètres de profondeur alors qu'il est d'environ 20 entre 11 et 16 mètres de profondeur. L'indice de liquidité est très élevé, atteignant jusqu'à une valeur de 10 près de 11 mètres de profondeur. La sensibilité est par le fait même extrêmement élevée, atteignant des valeurs de plus de 800 à certains niveaux. Le profil au piézocône du

sondage 93030 montré à la figure 10 et le scissomètre réalisé au même endroit, montré à la figure 9, indiquent un hiatus dans le profil de résistance entre l'argile au dessus et sous 11 mètres de profondeur. La résistance au cisaillement non drainée, obtenue au scissomètre de chantier, augmente de 20 à 40 kPa entre 5 et 11 mètres, alors qu'elle demeure autour de 45 kPa plus en profondeur. Aucun lit de sol pulvérulent n'a été détecté dans tous les sondages au piézocône dans la partie de sol affectée par la rupture.

Lorsque l'on superpose les profils de résistance en pointe (q_T) des sondages au piézocône effectués dans les débris avec le profil de q_T du sondage de référence, il est possible d'estimer la position du plan de rupture comme étant l'endroit où le profil de résistance, qui est plus faible dans les débris au dessus de la surface de rupture, vient se superposer au profil de référence. Par exemple, à la figure 10, le profil de q_T du sondage 93021 superposé au profil de q_T du sondage de référence 93030, montre que la résistance du premier devient comparable à la résistance du deuxième sous l'élévation 8 mètres. On estime donc que la surface de rupture passe à ce niveau. Il a donc été possible de délimiter

cette surface aisément dans tous les sondages au piézocône réalisés dans la cicatrice du glissement. La coupe de la figure 11 a été effectuée dans l'axe de l'étalement des débris rocheux provenant du sautage. Lorsque l'on reporte sur cette section topographique la position de la surface de rupture observée dans les différents sondages effectués selon cet axe, il a été possible d'en définir la position et la forme. Dans le cas du glissement de terrain de La Romaine, la forme de la surface de rupture obtenue à la figure 11 est approximativement circulaire, avec la partie la plus profonde située environ au centre de cette surface.

Lorsque mis en section, les autres sondages plus au nord ont aussi montré une surface de rupture circulaire. Tous les sondages effectués dans les débris indiquent aussi que la surface de rupture est plus profonde que le seuil du ravin. Ce dernier coule à une profondeur d'environ 10 mètres alors que la profondeur moyenne observée de la surface de rupture est d'environ 16 mètres, sauf dans l'axe du sautage (figure 11) où sa profondeur est de 20 mètres.

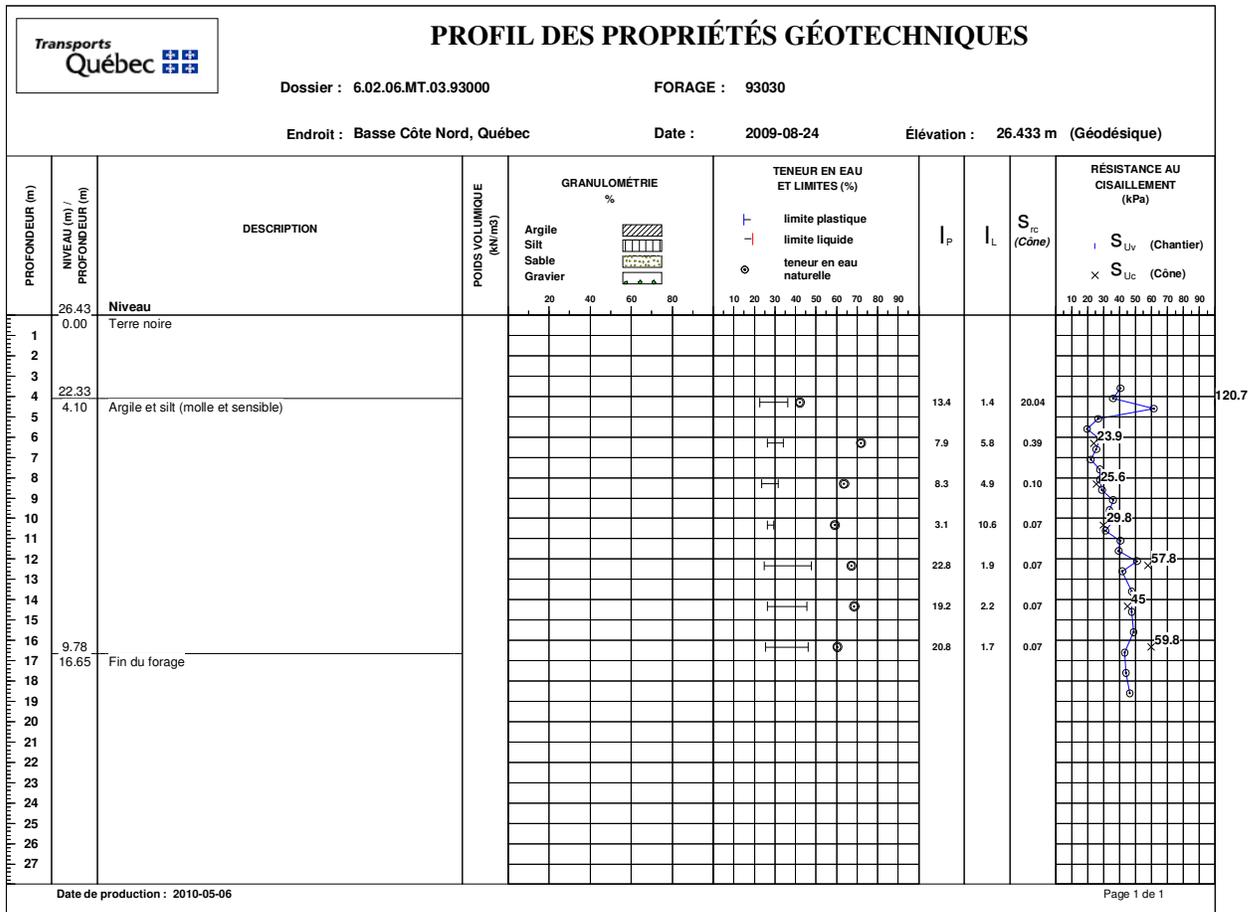


Figure 9. Profil des propriétés géotechniques du forage 93030.

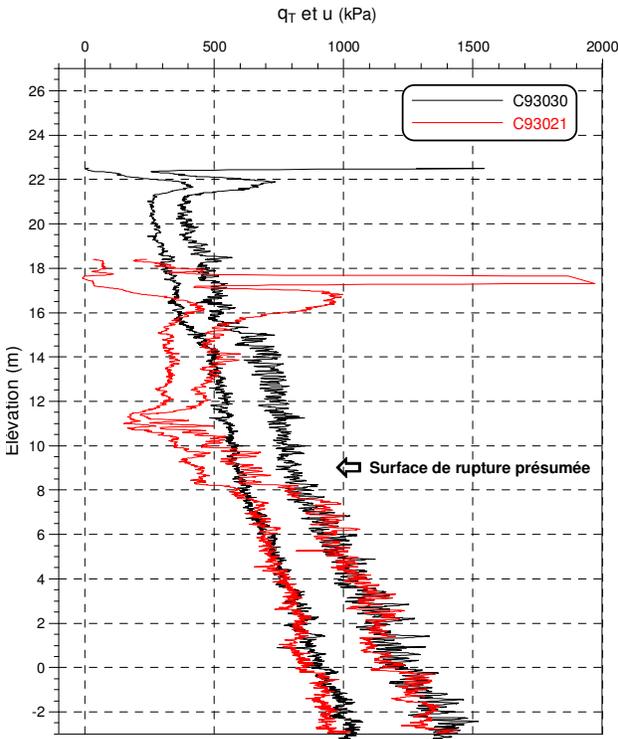


Figure 10. Comparaison entre le sondage de référence (C93030) et l'un des sondages effectués dans les débris (C93021). Ces sondages sont localisés à la figure 8.

L'épaisseur moyenne de débris est d'environ 11,5 mètres. En multipliant par la superficie de la zone touchée par le glissement on obtient un volume approximatif de 400 000 m³.

5 ANALYSE DE LA SITUATION

Puisqu'il n'y avait pas de témoin visuel du glissement de terrain, il n'est pas possible de savoir si celui-ci est survenu au moment du sautage, provoqué alors par les vibrations ainsi induites, ou plutôt à la suite de l'impact des matériaux rocheux s'étant affaissés sur la plaine en contrebas de la butte rocheuse.

Dans le cas d'une liquéfaction due aux vibrations, la forme de la rupture aurait dû être horizontale. Aussi, l'absence de lits de sables continus dans l'espace et d'une épaisseur suffisante, autant dans les sondages au CPTU que dans les échantillons analysés en laboratoire, nous porte à croire que les vibrations du sautage n'ont pas pu provoquer une liquéfaction des sols.

La surface de rupture détectée à l'aide des sondages au piézocône est de forme circulaire (figure 11). Nous avons fait une analyse de la stabilité du talus en condition non drainée en spécifiant la position de la surface de rupture. Le coefficient de sécurité ainsi obtenu variait entre 2,8 et 3,0 selon les endroits.

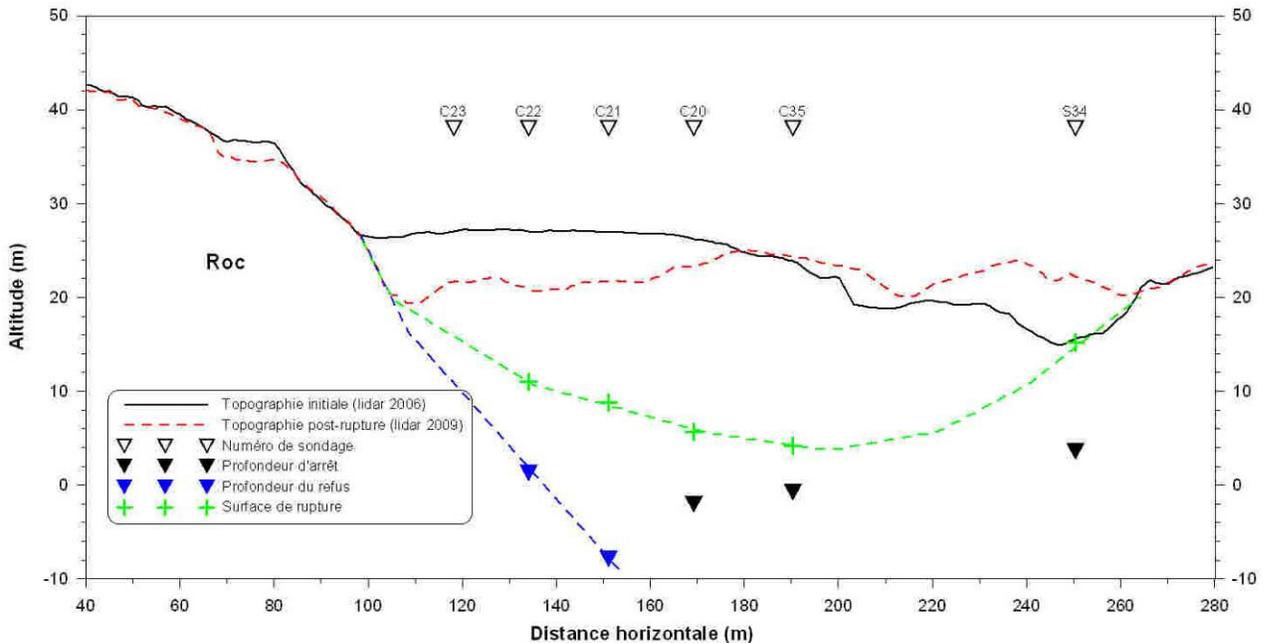


Figure 11. Section topographique dans l'axe de l'étalement des débris du sautage. L'exagération verticale est de 2x.

Par ailleurs, le poids statique des 2,5 mètres de matériaux rocheux provenant du sautage n'est pas suffisant à lui seul pour provoquer la rupture du talus. Il semble donc que l'énergie d'impact des éjectas du sautage semble avoir été suffisante pour créer une rupture circulaire profonde dont l'étendue a été limitée par les ravins. La présence d'une frange de tourbe pulvérisée au pourtour de la zone d'impact ainsi que de larges fissures concentriques à la zone d'impact (fig. 5), combiné au fait que la surface de rupture soit plus profonde sous cette zone, nous laisse croire que l'impact des matériaux rocheux sur la surface de la tourbière fut assez puissant pour faire baisser le facteur de sécurité sous la barre de l'unité et générer une rupture rotationnelle profonde.

Il est intéressant de noter que bien que l'argile soit extrêmement sensible, l'énergie d'impact n'a pas été suffisante pour remanier suffisamment ces sols et provoquer leur écoulement dans le ravin. Toutefois, on remarque que sous les matériaux rocheux du sautage, l'argile est plus intensément remaniée qu'ailleurs dans la cicatrice, ce qui compliquera la construction de la route à cet endroit.

6 CONCLUSIONS

Le glissement de terrain provoqué lors du sautage d'une butte rocheuse juste à sa proximité a emporté une masse de sol très importante. Sa surface de rupture, de forme circulaire, est située beaucoup plus profondément que la partie la plus basse du ravin par où celle-ci est ressortie.

Les vibrations induites lors du sautage ne semblent pas avoir été la cause du glissement de terrain. Celui-ci possède toutes les caractéristiques d'une rupture de remblai standard par chargement statique dans un sol homogène, avec une surface de rupture circulaire profonde. Cependant, étant donné que le remblai résultant des matériaux de sautage ne constitue pas une surcharge suffisante à elle seule, il semblerait plutôt que ce soit la charge dynamique créée par la retombée de ces matériaux qui aurait causé le glissement. Une étude plus détaillée pour simuler l'effet de cet impact est en cours de réalisation.

Finalement, le présent cas montre qu'il est hasardeux de projeter, dans une telle situation morphologique et géotechnique, les matériaux de sautage sur les plateaux de sols argileux sensibles au remaniement, particulièrement s'il y a des ravins à proximité.

REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier tous les collègues qui ont contribué de près ou de loin à cet article mais plus particulièrement M. Denis Hudon pour la réalisation de certaines figures et M. Stéphane Paradis

pour l'aide lors de l'analyse de stabilité. Le contenu de cette publication a été autorisé par le ministère des Transports du Québec.

BIBLIOGRAPHIE

- Conlon, R.J. 1966. Landslide on the Toulmoustouc River, Quebec. *Revue canadienne de géotechnique*, 3(3) : 113-144.
- Corriveau, L and Bonnet A.L. 2005. Pinwarian (1.50 Ga) volcanism and hydrothermal activity at the eastern margin of the Wakeham Group, Grenville Province, Quebec. *Revue canadienne des sciences de la terre*, 42:1749-1782
- Dion, D.J. 1986. *Levé géotechnique de la région de Jonquière-Chicoutimi-LaBaie*. Manuscrit brut du Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, MB-86-51.
- Dionne, J.C 1977. La mer de Goldthwait au Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 31, nos 1-2, p. 61-80, 1 fig.
- Dubois, J.M.M. 1977. La déglaciation de la Côte-Nord du Saint-Laurent : analyse sommaire. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(3-4) : 229-246.
- Dubois, J.M.M. et Dionne, J.C. 1984. The Québec North Shore Moraine System: A major feature of Late Wisconsin deglaciation. In: Late Pleistocene History of North Eastern New England and Adjacent Quebec. The Geological Society of America, Special Paper 197, 125-133
- Eden, W.J. 1956. The Hawkesbury landslide. Dans: *Comptes rendu de la 10^{ème} conférence canadienne sur la mécanique des sols*, Ottawa, 1 : 14-22.
- Gobeil, A., Brisebois, D., Clark, T., Verpaelst, P., Madore, L., Wodicka, N., and Chevé, S. 2003. *Synthèse géologique de la région de Manito-Wakeham (Moyenne-Côte-Nord)*. In Géologie et ressources minérales de la partie orientale de la Province Grenville. Edited by D. Brisebois and T. Clark. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec, DV-2002-03, pp. 9-58.
- Martineau, G. 2003. *Géologie du Quaternaire de la moyenne Côte-Nord*. Edited by D. Brisebois and T. Clark. Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec, DV-2002-03, pp. 173-177.
- Ochiatti, S., Govare, É., Klassen, R., Parent, M. et Vincent, J.-S., 2004. Late Wisconsinan-Early holocene deglaciation of Quebec-Labrador, In: J. Ehlers and P.L. Gibbard, Editor(s), *Developments in Quaternary Science*, Elsevier, 2004, Volume 2, Part 2, Quaternary Glaciations-Extent and Chronology - Part II: North America, Pages 243-273.