

LE GLISSEMENT DE LA RUE MCNICOLL, 20 JUILLET 1996, SAGUENAY, QUÉBEC : CAUSES ET CONSÉQUENCES

Régis Bouchard, ing., M.Sc.

Techmat, Ville Saguenay, Québec, Canada, bouchard.regis@techmat.qc.ca

Valérie Michaud, ing., M.Sc.

Techmat, Ville Saguenay, Québec, Canada

Denis Demers, ing. Ph.D.

Ministère des Transports, Service Géotechnique et Géologie, Québec, Canada

RÉSUMÉ

Le matin du 20 juillet 1996, un glissement de terrain s'est produit en crête d'un talus argileux de près de soixante mètres de hauteur, surplombant les résidences de la rue McNicoll à Ville Saguenay, dans le secteur de La Baie. Ce glissement a provoqué le décès de deux enfants, la destruction d'une maison, l'évacuation temporaire de quelques dizaines de résidences et l'évacuation permanente de 11 d'entre elles. L'étude géotechnique postérieure à l'événement a permis de mettre en évidence les causes de l'amorce du glissement reliées à la présence de couches drainantes inclinées dans le massif argileux. Après la réalisation des investigations, des résidences ont été évacuées définitivement pour permettre la réalisation de travaux de protection réalisés pour sécuriser les résidences restantes au pied de la pente.

ABSTRACT

On the morning of July 20th 1996, a landslide occurred in Saguenay City (La Baie area), affecting the upper part of a 60 meters high cliff. Two of the houses located at the toe of the slope, on the McNicoll street, were bumped, causing the death of two children, the destruction of one house, the temporary evacuation of tens of houses and the permanent evacuation of 11 of these ones. The following geotechnical investigations shown that inclined permeable stratifications in the clay deposit acted as an aggravating factor for the landslide. Following investigations, some houses were permanently evacuated to enable the completion of mitigation works to protect the houses remaining at the bottom of the slope.

1. INTRODUCTION

Les 19 et 20 juillet 1996, une dépression atmosphérique majeure toucha la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean, située à environ 170 km au nord de la ville de Québec (figure 1), et entraîna des pluies de 150 à 280 mm sur une période d'un peu plus de 40 heures. Selon Nicolet *et al.* (1997), ces précipitations furent 2 à 3 fois plus importantes que toutes les autres enregistrées depuis plus d'un siècle dans cette région. Ces précipitations provoquèrent des crues dévastatrices (Brooks *et al.*, 1997), entraînant l'endommagement et la destruction de nombreuses maisons, routes, ponts et barrages (Gouvernement du Québec, 2000).

Le matin du 20 juillet 1996, un glissement de terrain s'est produit en crête d'un talus argileux d'une soixantaine de mètres de hauteur, surplombant les résidences de la rue McNicoll à Ville Saguenay, dans le secteur de La Baie (figure 1). Ce glissement a provoqué le décès de deux enfants (Perron, 1998), l'endommagement de deux maisons, l'évacuation temporaire de quelques dizaines de résidences et, finalement, l'évacuation permanente de 11 d'entre elles.

De concert avec les autorités gouvernementales, la municipalité de La Baie (maintenant Ville Saguenay) demanda une étude géotechnique détaillée afin de mieux comprendre le phénomène et de proposer des mesures de mitigation adéquates (Bouchard, 1997).

Bien que l'érosion des berges lors des crues conduisit au développement de nombreuses ruptures de talus le long des principaux cours d'eau, la majeure partie des glissements de terrain fut déclenchée par l'infiltration des eaux de pluie. Un premier inventaire partiel réalisé dans les mois suivant ces événements (Perret et Bégin, 1997) permit de dénombrer 769 glissements de terrain, dont la plupart s'étaient produits le long de corridors fluviaux mais en dehors des zones d'érosion. Une compilation ultérieure pour l'ensemble du territoire touché montra que plus de 1000 glissements de terrain survinrent dans la seule région du Saguenay – Lac-Saint-Jean (Demers *et al.*, 1999), et que ceux-ci étaient principalement des glissements de nature superficielle.

L'article décrit le contexte géologique régional et local, le glissement de terrain, les travaux d'investigations qui ont mené à la compréhension des phénomènes ayant amorcé la rupture et les événements qui ont justifié les évacuations temporaires et permanentes. On y présente aussi la description des travaux de protection ainsi que les paramètres de conception de l'ouvrage de protection.

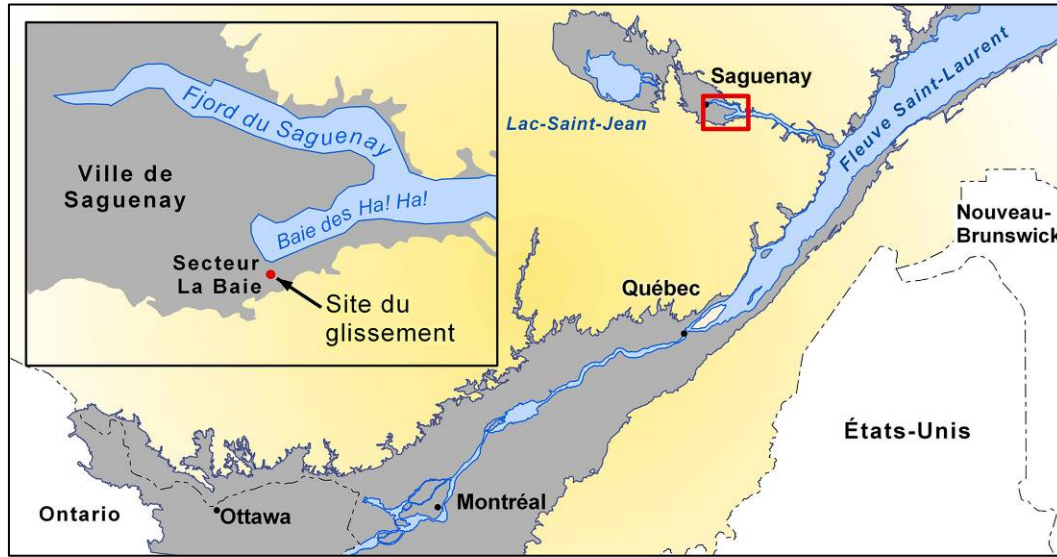


Figure 1 – Localisation générale (les zones en gris indiquent les anciennes mers post-glaciaires).

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HISTORIQUE DES ÉVÉNEMENTS

Le territoire de la Ville de La Baie est situé dans une ancienne vallée préglaciaire, large de quelques kilomètres, et comblée principalement de sédiments argileux marins (Robitaille *et al.*, 2000). Malgré un relief très accidenté, la cuvette rocheuse, d'âge Précambrien (Laurin et Sharma, 1975), s'incline et s'ouvre en direction de la Baie des Ha ! Ha!. Les sédiments d'épandage fluvio-glaciaires ou morainiques (Lasalle et Tremblay, 1978), qui ceignent la cuvette et qui sont sous-jacents aux sols argileux, s'intercalent avec les sédiments marins et constituent une recharge majeure pour les eaux souterraines dont l'écoulement régional s'effectue de façon concentrique vers la Baie des Ha ! Ha !

Les sédiments marins silto-argileux peuvent atteindre des épaisseurs considérables dans le centre de la cuvette, avec des valeurs de 70 m et plus. Les sols situés en bordure de la cuvette sont beaucoup moins épais et constitués de sédiments argileux contenant plus ou moins de strates silteuses ou même sableuses.

Le contexte de la sédimentation de la rive sud de la Baie des Ha! Ha! présente une situation unique. En effet, le profil asymétrique de la vallée (entre les parois nord et sud) provient probablement de l'érosion différentielle provoquée par les glaciers continentaux se déplaçant du nord vers le sud. La paroi rocheuse située du côté sud présente donc une inclinaison beaucoup plus faible que celle de la paroi nord. Après le retrait des glaciers et pendant l'invasion marine qui suivit, la sédimentation a débuté sur la pente sud en suivant la pente moyenne d'inclinaison du socle rocheux, ce qui explique que la stratification du dépôt présente aussi cette inclinaison vers le nord.

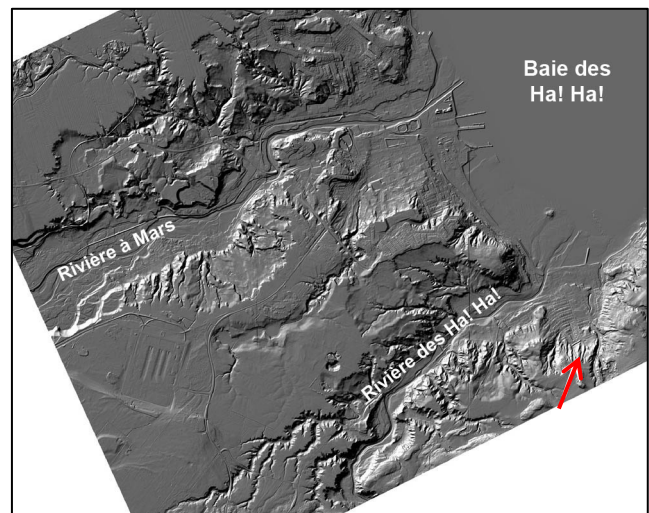


Figure 2 –Secteur de La Baie (image de synthèse 3D à partir de levés LiDAR). La flèche pointe le site du glissement.

La Baie des Ha! Ha! n'a jamais été comblée par les sédiments (Bouchard *et al.*, 1983), laissant donc, dans les marges de la vallée, des sédiments inclinés vers la zone centrale plus profonde.

Les sols argileux du secteur sont généralement raides à très raides mais leur résistance au cisaillement à l'état remanié est souvent extrêmement faible (parfois même sous le seuil de mesure du cône suédois), ce qui leur confère des valeurs de sensibilité très élevées. Cette caractéristique explique la présence de très nombreuses cicatrices d'anciennes coulées argileuses dont les dimensions sont souvent de plusieurs centaines de mètres. Ces cicatrices forment de gigantesques amphithéâtres délimités par des

escarpements dont la hauteur peut varier de 10 à 60 m environ (figure 2). Le glissement de terrain de la rue McNicoll s'est produit dans un de ces talus d'une hauteur d'environ 60 m.

La pente au site du glissement était fortement boisée d'arbres matures, laissant supposer que le talus en question était demeuré stable pendant plusieurs décennies. Le sommet du talus était aussi partiellement boisé alors qu'un quartier résidentiel était situé à sa base (figure 3).

C'est vers 6h20 au matin du 20 juillet 1996, alors que la majorité des gens dormait encore, que le glissement s'est déclenché.

d'excavation à l'aide de pelles mécaniques afin de libérer les victimes des débris. Par mesure préventive, les autorités municipales firent évacuer dans les heures suivantes quelques dizaines de résidences du quartier puis demandèrent le support d'experts en géotechnique pour juger de la situation.

3. TRAVAUX D'INVESTIGATION

Une première investigation visuelle fut réalisée dès les premiers jours suivant la catastrophe, afin de statuer sur la situation et les avis d'évacuation.

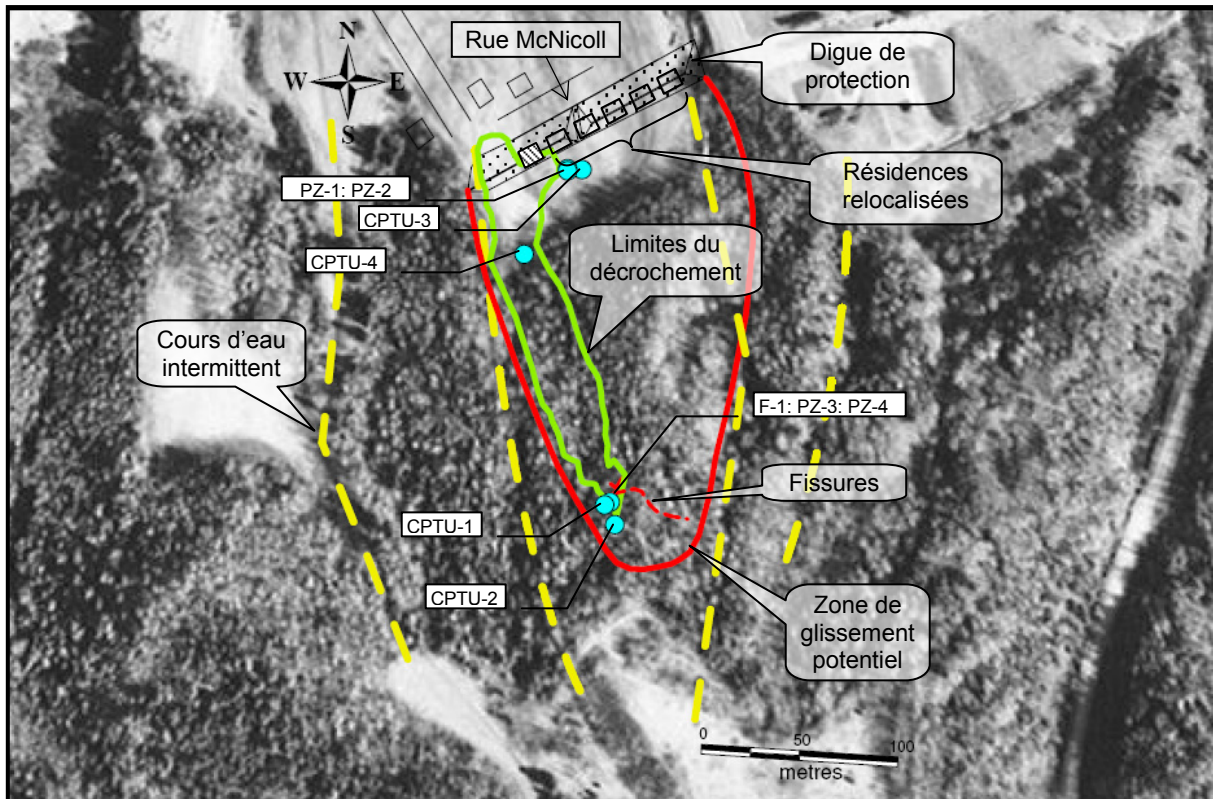


Figure 3 - Photo aérienne datant de 1984 montrant le contexte avant la rupture du talus le 20 juillet 1996, ainsi que la localisation des travaux de sondages et forages.

Malgré l'heure matinale, l'enquête policière révèle que quelques personnes furent témoins de l'événement (Girard, 1996). La résidence no 1860 fut complètement cisailée de son solage en béton et poussée sur une distance d'environ 7 m (figure 4). Les débris firent basculer le mur arrière du solage et comblèrent le sous-sol, tuant du même coup les deux enfants qui y dormaient, et recouvrirent le terrain de près de 2 m de boue. Les parents et un troisième enfant qui étaient couchés au rez-de-chaussée eurent heureusement la vie sauve. La maison voisine (no 1880) ne fut quant à elle que légèrement endommagée.

C'est sous une pluie encore intense que les premiers secours arrivèrent et procédèrent à des travaux



Figure 4 – Vue rapprochée de la maison déplacée par les débris du glissement. Le solage est situé à droite de la maison.

Lors d'une seconde visite des lieux (Demers, 1996), on détecta de nombreuses fissures sur le pourtour de la cicatrice et à proximité (figure 5), lesquelles délimitaient une masse instable dont le volume était environ 3 fois supérieur à celui ayant déjà glissé. De plus, on observa aussi de part et d'autres de la cicatrice du glissement principal, deux autres glissements similaires plus petits, mais dont les débris s'étaient arrêtés en cours de route dans la pente sans atteindre sa base. L'évacuation du quartier fut donc maintenue.



Figure 5 – Vue d'une des fissures majeures situées à proximité de la cicatrice du glissement. La personne se tient sur la partie qui a commencé à descendre.

Une étude plus détaillée fut entreprise (Bouchard, 1997) afin d'évaluer clairement la situation. Les travaux d'investigations ont consisté en la réalisation de quatre (4) sondages au piézocône et d'un forage conventionnel échantillonné, ainsi qu'à la pose de cinq piézomètres hydrauliques dans le massif argileux (figures 3 et 6). Le profil de la pente avant glissement a été déduit des informations cartographiques existantes, alors que le profil après glissement a été mesuré par arpentage.

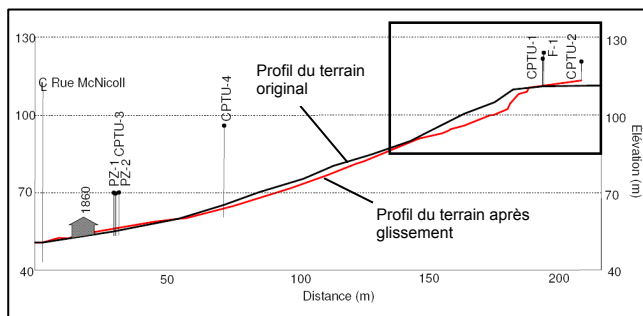


Figure 6 – Profil du talus et position des sondages. L'agrandi de l'encadré est présenté à la figure 9.

4. RÉSULTATS ET ANALYSE À REBOURS

Selon les données d'arpentage et la reconstitution approximative du terrain avant rupture, le talus initial peut se diviser en quatre sections (figure 6). Au sommet, on trouve la partie la plus escarpée, avec une inclinaison variant de 33° à 41° sur une hauteur de 6 m. La deuxième partie, sur une hauteur de 15 m, a une pente moyenne de 26° . La partie inférieure, la plus importante, a une pente moyenne de 20° , sur une hauteur de 30 m. Finalement, le talus se poursuit en pente très douce (entre 8° et 12°) sur une hauteur supplémentaire de 9 m jusqu'à la rue McNicoll. La pente moyenne, entre le centre de la rue McNicoll et la crête du talus, est d'environ 18° soit à peu près la même que celle du socle rocheux présumée à 16° .

Le glissement se caractérise par une niche en sommet de talus, d'une largeur d'environ 15 m sur 20 m de long. Cette niche est délimitée par des escarpements arrière et latéraux d'une hauteur d'environ 7 m (figure 7). Elle s'ouvre ensuite rapidement vers le bas en un long corridor d'une largeur d'une trentaine de mètres sur une distance de l'ordre de 115 m le long de la pente (figure 8). Ce corridor est caractérisé par une partie centrale plus profonde et des rebords parfois surélevés où se sont accumulés des débris. La partie plus profonde est localement désaxée par rapport à l'axe longitudinal central du corridor, comme si les débris avaient rebondi de part et d'autres sur les flancs en dévalant la pente.



Figure 7 – Vue de l'escarpement arrière du glissement. À noter les fines strates visibles dans la partie à gauche.

La masse de sol située dans la niche au sommet aurait bougé en premier selon les témoins visuels de l'événement (Girard, 1996). En dévalant la pente, cette masse aurait incorporé sur son parcours d'autres sols argileux et la végétation. Les débris se sont étalés à la base sur une largeur de 40 m, jusqu'à une distance d'environ 50 m au pied du talus.

Les données de forages et sondages indiquent que la couche de sols argileux recouvrant le substratum (matériaux morainiques et roc) avait une épaisseur variable le long de la pente du talus. Cette épaisseur était, en crête, de l'ordre de 15 m environ alors qu'elle diminuait à aussi peu que 2 à 3 m pour près de 80 % de la pente. L'inclinaison moyenne du socle rocheux a été estimée à environ 16° vers le nord, soit la même inclinaison que celle de la surface du talus.



Figure 8 – Vue de face de l'ensemble de la cicatrice du glissement.

Les sols présents au site sont constitués d'argile et silt à silt et argile, avec des stratifications de sols pulvérulents (sable et un peu de gravier) dont le pendage était d'environ 8 à 16° (figure 9).

Il est intéressant de constater que les sondages au piézocône réalisés en crête du talus, au sud de la niche créée par le glissement, ont mis en évidence la présence de couches "drainantes" dans le massif argileux. Ces couches sont bien marquées sur les profils de sondages reproduits schématiquement sur la vue en coupe de la figure 9. L'échantillonnage ciblé de ces couches drainantes a permis d'en déterminer la nature. Il s'agit de matériaux pulvérulents

allant du silt au sable fin et même d'un lit de sable contenant aussi des traces de gravier. La description des échantillons indique que les strates sont inclinées de 6 à 18°. Ces horizons drainants et inclinés sont enchâssés dans un massif de matériaux cohérents constitué de silt et argile. Ce matériau argileux montre une teneur en eau naturelle variant de 28 à 57%, alors que les limites de plasticité et de liquidité varient respectivement de 22 à 25% et de 46 à 59%. De façon générale, la teneur en eau est légèrement inférieure à la limite de liquidité sauf à 13 m de profondeur où c'est l'inverse.

Bien que la consistance ($c_u \approx 100$ kPa) soit raide à très raide, la plasticité du matériau est moyenne à élevée de même que sa sensibilité. La résistance au cisaillement dans le dépôt argileux en crête varie de 50 à 150 kPa, augmentant avec la profondeur. Des essais CIU en cellule triaxiale ont permis d'évaluer la cohésion effective c' à environ 6 kPa et l'angle de frottement à 37°.

Les conditions d'eau dans la pente avant glissement ne sont évidemment pas connues. Après le glissement, les valeurs mesurées dans les piézomètres situés juste au sommet du talus sont basses, ce qui ne surprend pas tellement puisque la présence de couches drainantes connectées avec la cicatrice du glissement ont contribué au drainage du sol situé en crête. Sur la base de ces observations, on ne peut pas reconstituer avec assurance le niveau d'eau dans la pente avant le glissement.

Si on utilise dans un calcul à rebours les propriétés du massif argileux telles que mentionnées ci-dessus, considérant celui-ci homogène, et dont la géométrie reconstituée avant glissement est représentative, on ne peut pas arriver à la conclusion que le coefficient de sécurité ait atteint l'unité, même en mettant la position de la nappe d'eau pratiquement à la surface du terrain. C'est donc en examinant les profils obtenus avec le piézocône que l'on peut reconstituer la cause du glissement.

Ces profils mettent en évidence la présence de couches drainantes inclinées dans le massif argileux (figure 9). Les conclusions de l'analyse sont que les fortes pluies ont alimenté la nappe phréatique et augmenté la pression interstitielle dans les couches drainantes, provoquant de ce fait une diminution de la contrainte effective et diminuant au final la stabilité de la pente. Ce scénario semble plausible si on considère que les strates drainantes dans le massif argileux sont en lien avec les fortes épaisseurs de matériaux fluvio-glaciaires situés à proximité du sommet du talus. La station météorologique située à quelques kilomètres (aéroport de Bagotville) indique que le glissement de terrain est survenu après une accumulation de 130 mm de pluie en moins de 24 heures, ce qui représente des conditions tout à fait exceptionnelles. La charge hydraulique requise pour annuler la contrainte effective dans les couches drainantes est d'environ 5 m au-dessus du niveau du sol. L'élévation du terrain de la niche avant glissement était d'environ 100 à 110 m alors que la topographie des sols situés au sud de la niche montre la présence de plateaux dont l'élévation est d'environ 125 m. Cette élévation était donc amplement suffisante pour

générer une pression interstitielle supérieure à celle requise pour annuler la contrainte effective et contribuer à amorcer le glissement.

Le bloc de sol, rendu instable, était constitué de silt et argile avec une sensibilité moyenne à élevée. Il se serait mis à glisser en se remaniant, entraînant dans sa chute les arbres et des couches superficielles de matériaux jusqu'à la résidence localisée en contrebas avec les conséquences que l'on sait.

5. TRAVAUX DE CONFORTEMENT

La topographie de la pente au sud de la rue McNicoll est complexe. Outre le fait qu'on soit en présence d'une pente plus ou moins régulière ascendante vers le sud, on note la présence de ravins secondaires orientés nord-sud, dans lesquels s'écoulent des cours d'eau intermittents. Ces ravins secondaires ont des pentes entre 25° et 32° et les ruisseaux génèrent parfois de l'érosion.



Figure 10 – Photographie de l'érosion active des sols par les ruisseaux intermittents en mai 2007

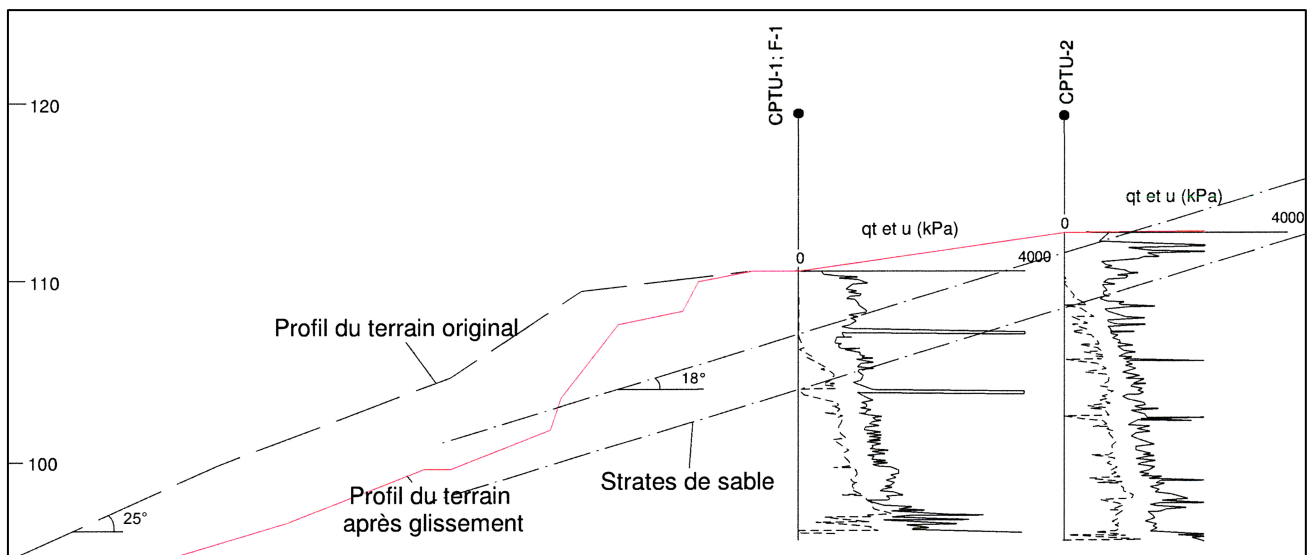


Figure 9 – Vue en coupe du profil déduit des résultats des sondages au piézocône réalisés en crête du talus

La présence de fissures dans la partie supérieure de la pente délimitant une forte masse instable (figure 6) ainsi que l'érosion plus ou moins active des ruisseaux (figure 10) ont nécessité de maintenir l'avis d'évacuation pour les résidences situées en contrebas.

En plus, pour assurer la sécurité des utilisateurs de la route, il fut recommandé d'installer une digue de protection (merlon) au pied du talus

Il était difficile d'envisager la réalisation d'une intervention dans l'ensemble de la pente. Cette intervention majeure aurait de plus entraîné un déboisement complet, ce qui aurait eu un impact négatif sur la sécurité.

Il fut recommandé d'abord de stabiliser le massif argileux qui était resté "accroché" en crête du talus qui avait glissé, de rabattre les parois les plus raides sur tout le pourtour du glissement et d'y installer une végétation arbustive et herbacée pour contrôler l'érosion.

Un merlon a été conçu et dimensionné pour contenir et contrôler les débris d'un éventuel prochain glissement. La figure 11 illustre une section transversale à travers celui-ci.

- Demers, D., 1996. Expertise sur la stabilité des talus – Sites divers, Ville de La Baie. *Dossier 15(019)96*, Ministère des Transports du Québec, Service de la géotechnique et de la géologie, rapport interne, 8 p.
- Demers, D., Potvin, J., et Robitaille, D. 1999b. Gestion des risques de glissement de terrain liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay – Lac-Saint-Jean. *Rapport soumis au Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean*. Ministère des Transports du Québec; 128 p.
- Girard, L., 1996. Rapport d'enquête de Laurent Girard (LAB-960720-001), glissement de terrain Henry-McNicoll. *Rapport non publié du Bureau des enquêtes criminelles*, Protection publique de Ville de la Baie.
- Gouvernement du Québec, 2000. Les pluies diluviennes des 19 et 20 juillet 1996 : bilan de la reconstruction. *Rapport du Secrétariat du Comité ministériel de la coordination pour la reconstruction et la relance économique*, Ministère du Conseil exécutif, 401 p.
- Lasalle, P. et Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles Saguenay-Lac-Saint-Jean. *Rapport géologique RG-191*, Ministère des Richesses naturelles, Québec, 61 p.
- Laurin, A.F., et Sharma, K. N. M. 1975. Région des rivières Mistassini, Péribonca et Saguenay. *Rapport géologique RG-161*, Ministère des Richesses naturelles du Québec, Québec, 89 p.
- Nicolet, R., Roy, L., Arès, R., Dufour, J., Marinier, G., et Morin, G., 1997. Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages. *Rapport soumis au Ministère du Conseil exécutif*, Gouvernement du Québec.
- Perret, D., et Bégin, C.. 1997. Inventaire des glissements de terrain associés aux fortes pluies de la mi-juillet 1996 — Région du Saguenay / Lac-Saint-Jean. Institut national de la recherche scientifique (INRS — Géoressources). *Rapport remis au Bureau de la reconstruction et de la relance du Saguenay-Lac-Saint-Jean*, Ministère du Conseil Exécutif du Québec. 29 p.
- Perron, G., 1998. Rapport d'enquête concernant le décès de Mathieu et Andréa Paquet-Garceau. *Rapport d'enquête du Coroner A-11368 & 113669*. Gouvernement du Québec, 80 p.
- Robitaille, D, Demers, D., Potvin, J., et D'astous, J. J. 2000. Travaux de stabilisation contre les risques liés aux coulées argileuses à La Baie et Métabetchouan. *Comptes rendus de la 53^{ème} Conférence de la Société canadienne de géotechnique*, Montréal, 15 au 18 octobre 2000, Bitech Publishers Ltd, vol. 2, p. 815-822.