

Étude d'une coulée argileuse avec une approche à rebours et le recensement des glissements historiques

François Saint-Pierre, Ing. Ph. D. & André Rancourt, Ing. Ph.D.
CIMA+, Montreal, Quebec, Canada

ABSTRACT

The Champlain River and its tributaries are located in the Champlain Sea formation and is the scene of a retrogressive clay slump and lateral spreading. In April 2017, a typical retrogressive clay landslide occurred in the town of Saint-Maurice, in the Province of Quebec. An aerial lidar survey was carried shortly after the slump. An extensive geotechnical borehole investigation was conducted in 2018. These data acquisition have allowed to validate our reverse landslide modelling. Finally, with ETL type software (Extract, Transform, Load) and using an algorithm of data classification from lidar aerial survey, scars of older landslides were revealed. Our case study demonstrates that the longest historical slump spread observed on the bank of a tributary of the Champlain river is 57 m.

RÉSUMÉ

La rivière Champlain et ses tributaires se situent dans la formation des argiles de la mer de Champlain et sont le théâtre de coulées argileuses rétrogressives et d'étalements latéraux. En avril 2017, un glissement de type coulée argileuse rétrogressive s'est produit à Saint-Maurice au Québec. Des prises de vue aérienne et un relevé lidar ont aussi été entrepris peu de temps après le glissement. Une campagne exhaustive de forages géotechniques a été conduite en 2018. Ces données nous ont permis de calibrer un modèle à rebours du glissement. Enfin, avec un logiciel de type ETL (Extract, Transform, Load) et en appliquant un algorithme de classification de points de mesure d'un relevé lidar aérien, il est possible maintenant de faire apparaître les cicatrices de glissements historiques. Notre étude démontre que le plus long recul au sommet d'une coulée historique, observée en rive d'un tributaire de la rivière Champlain, est de 57 m.

1 INTRODUCTION

Les argiles de la mer de Champlain sont à l'origine de nombreux mouvements de terrain connus (Morin, 1947, Tavenas et al., 1971, LaRochelle, 1974, Robert et Chagnon, 1976, Potvin et al., 2001). La rivière Champlain et ses tributaires sont situés dans cette formation et sont le théâtre de nombreux glissements rétrogressifs de type coulée argileuse et étalements latéraux. Un d'entre eux s'est produit en 1870 et a été meurtrier (Lamontagne et al., 2007).

Le glissement présenté dans cet article s'est produit en avril 2017 dans un champ agricole en bordure d'un ruisseau sans toponyme. Le glissement identifié par le chiffre (1) est localisé sur la Figure 1. Ce ruisseau est un affluent de la rivière Champlain et est appelé ruisseau sans nom dans la suite de cet article. Ce glissement est de type coulée argileuse rétrogressive dont le recul au sommet est de 57 mètres. La coulée a emporté une partie du rang Saint-Joseph et les débris du glissement ont provoqué une montée des eaux en amont du ruisseau sans nom endommageant la structure d'un ponceau. Heureusement, il n'y a pas plus de dégât que ceux décrits précédemment et aucune perte humaine n'a été déplorée. Mais ce glissement demeure intéressant à étudier par sa taille et

son mécanisme de rupture. De plus, l'occurrence de glissements dans ce secteur est importante et en rive de la rivière Champlain au nord-est du glissement étudié, se trouve aussi deux autres glissements récents de type étalements latéraux. Le premier est identifié par le chiffre

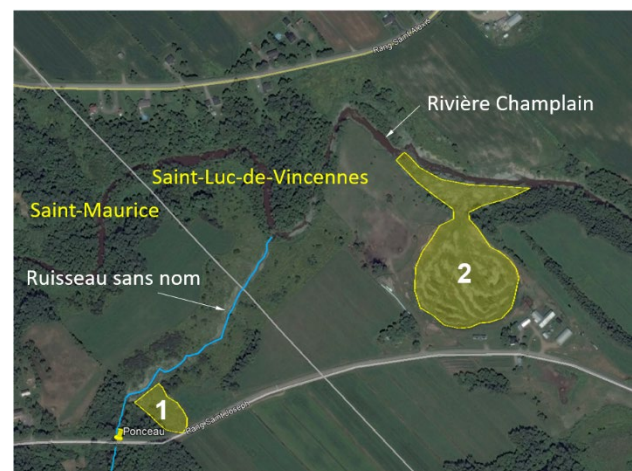


Figure 1. Localisation des glissements – (1) glissement à l'étude, (2) Glissement de Saint-Luc-de-Vincennes (2016)

(2) sur la Figure 1. Il est situé à environ 500 m du glissement 1 et s'est produit en 2016. Le deuxième, se trouvant à environ 1,3 km du glissement 1, a eu lieu en 1986 et sa position est montrée sur Figure 5 de la section 4.2.

Dans cet article, nous expliquons comment il a été possible d'estimer la longueur du recul au sommet du glissement, grâce à l'étude des modèles numériques de terrain obtenus à partir de relevés lidar aériens. Nous montrons aussi comment la précision des couvertures de relevé topographique aérienne disponible depuis 2012, couplée aux données recueillies par la Direction de la géotechnique et de la géologie du Ministère des Transports peu de temps après l'événement, a permis de modéliser à rebours les mécanismes de rupture de façon précise. En effet, après le glissement, le Ministère des Transports a réalisé des prises de vues aériennes afin d'immortaliser la scène du glissement (Figure 2). Puis, ils ont aussi procédé à un forage géotechnique vertical avec un sondage au piezocône deux semaines plus tard (FS28294-000-17, voir Figure 2). Enfin, un relevé lidar a aussi été commandé auprès d'une compagnie spécialisée quelques mois après le glissement. Toutes ces données ont largement contribué à ce que notre modèle de glissement à rebours se rapproche de la réalité.

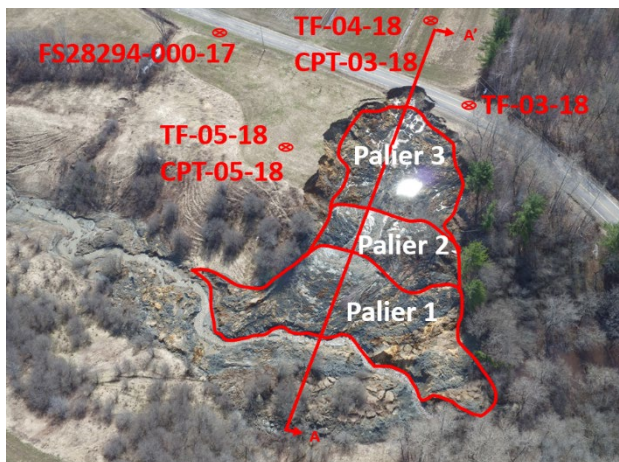


Figure 2. Vue aérienne du glissement, localisation des sondage et coupe AA' (Ministère de Transport le 25 avril 2017)

2 CONTEXTE RÉGIONAL

2.1 Géologie régionale

Au droit du glissement présenté dans cet article, la formation rocheuse fait partie de la plate-forme des basses-terres du Saint-Laurent. Cette dernière comporte du shale gris, des grès, du siltstone et du calcaire mis en place à l'Ordovicien supérieur et moyen. Mais ce socle rocheux se trouve à plus de 90 m de profondeur selon le système d'information hydrologique (SIH). L'information géologique est tirée de la carte « Géologie du Québec » DV 2012-06, Ressources naturelles Québec, échelle 1/2 000 000 et le SIH peut être consulté sur internet (www.sih.environnement.gouv.qc.ca, consulté en mai 2020).

D'autre part, dans le secteur du glissement, les dépôts en surface sont principalement constitués de sable des hautes terrasses provenant de cours d'eau ou d'estuaires et décrits comme étant du sable moyen à fin bien trié avec un peu de gravier fin. Dans le même secteur, nous retrouvons aussi les argiles de la mer Champlain décrites comme étant des sédiments en eau profonde. Ces argiles sont principalement vaseuses fossilifères avec trois faciès : 1) compact; 2) compact avec des taches sombres de matière organique; 3) feuilleté avec quelques lentilles de sables. Ces deux formations appartiennent à l'ère cénozoïque.

Les informations sur les dépôts meubles proviennent de la carte no 31-I/8, région de Bécancour, produite par la Commission géologique du Canada, ministère des Mines et des Relevés techniques Canada, Auteur N.R. Gadd, échelle 1 : 63 360, publiée en 1959.

2.2 Hydrologie du ruisseau sans nom

L'analyse hydrologique du ruisseau sans nom au droit du glissement de terrain a été réalisée à l'aide de la méthode rationnelle, tandis que les débits de crues de la rivière Champlain ont été estimés par transfert de bassin versant. Mais malheureusement, les données historiques qui permettraient de calibrer l'hydrologie du ruisseau sans nom sont inexistantes. C'est sur la base de ce modèle peu précis que nous avons établi que le jour du glissement le niveau d'eau se trouvait très approximativement à l'élévation $\pm 20,5$ m.

La Figure 3 représente les niveaux d'eau modélisés pour des crues de récurrence de 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans et 50 ans.

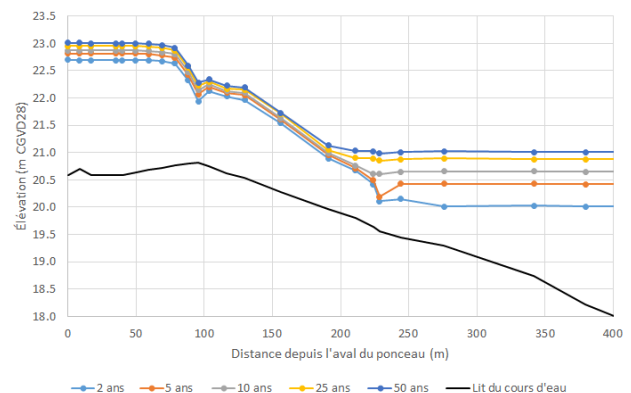


Figure 3. Modélisation des niveaux d'eau ruisseau sans nom

3 CARACTÉRISATION DU GLISSEMENT

3.1 Description du glissement

La géométrie de la cicatrice du glissement apparaît sur la photographie prise par drone et cette dernière montre que la rupture s'est produite en trois paliers (Figure 2). Les deux premiers paliers se sont formés par ruptures circulaires successives de l'argile et cette succession est typique d'un comportement rétrogressif. Par contre, le dernier palier a

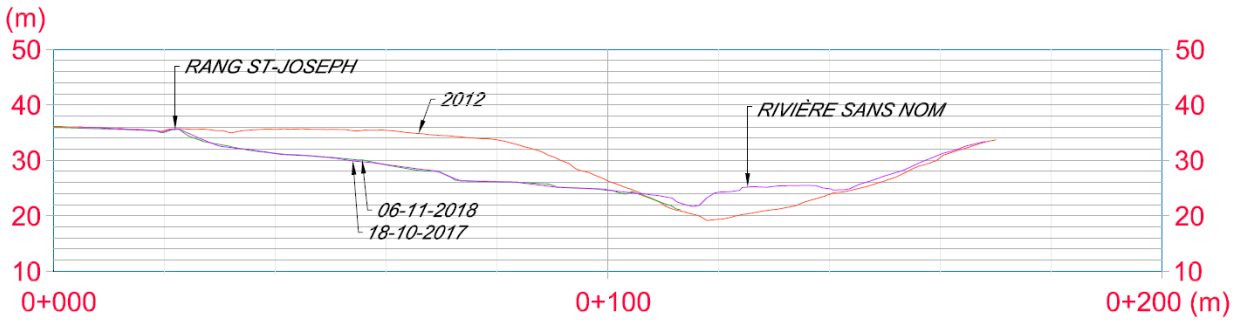


Figure 4. Profil de la cicatrice de glissement selon la coupe AA' en 2012, 2017 et 2018.

un recul plus important que les autres et s'est formé en partie dans le dépôt de sable uniforme situé au-dessus du dépôt d'argile. Un an après l'évènement, au sommet de la cicatrice, un filet d'eau pouvait être observé. Il provenait des eaux souterraines circulant au contact entre le sable perméable des hautes terrasses et l'argile de la mer de Champlain. La saturation probable du sable pendant l'évènement expliquerait la taille de ce palier. La coupe de la Figure 4 est parallèle au glissement et indique la géométrie du site avant, mais aussi après le glissement et un an après les évènements. Sur cette coupe, nous observons que la hauteur du glissement est d'environ 15 m et que son recul au sommet est de 57 m. La comparaison entre les relevés d'octobre 2017 et novembre 2018 montre que depuis un an, la géométrie de la cicatrice de glissement n'a pratiquement pas évolué.

3.2 Investigations géotechniques

À la fin de l'année 2018, trois forages géotechniques (TF-03-18 à TF-05-18) et deux sondages au piezocône (CPT-04-18 et CPT-05-18) ont été réalisés autour de la coulée argileuse. La position de ces forages et sondages est montrée sur la Figure 2. La profondeur des forages a atteint une vingtaine de mètres tandis que les sondages au piezocône ont été poursuivis jusqu'à 50 m. Des essais au scissomètre ont aussi été effectués à côté de chaque forage. Enfin, dans les trois forages des nids de piézomètres ont été installés.

Ces forages et sondages ont montré que sous la structure du rang Saint-Joseph ou bien directement sous les sols agricoles à contenu organique, 5 unités de sols inorganiques d'épaisseurs variables étaient rencontrées. L'unité A correspond à un sable naturel uniforme avec un peu de silt. Sa compacité est généralement lâche. L'unité B est une argile de croûte raide avec des valeurs de résistance au cisaillement non drainé (S_{uv}) mesuré au scissomètre de chantier pouvant atteindre 80 kPa. Cette unité s'épaissit à mesure de l'on se rapproche du ruisseau sans nom. Enfin, les unités C, D et E appartiennent au même dépôt, mais ont des consistances qui varient de molle à raide. Ces trois unités se décrivent comme étant des argiles avec des traces de sable. Ce dépôt présente un indice de liquidité (I_l) variant entre 1,3 et 1,9 et une sensibilité (S_t) comprise entre 24 à 34. Ces valeurs sont caractéristiques des argiles sensibles de la mer de

Champlain. Enfin, la résistance au cisaillement non drainé (S_{uv}) ne dépasse pas 20 kPa dans l'unité C, se situe généralement entre 30 et 40 kPa dans l'unité D et avoisine 50 kPa dans l'unité E, soit l'unité la plus profonde.

Les mesures de niveau d'eau ont été prises dans les nids de piézomètres en janvier 2019. Les piézomètres installés dans le forage TF-03-18 (nid de piézomètres PZ-03-18) aux élévations 25,62 m et 17,00 m donnent respectivement des niveaux d'eau situés à 30,10 m et 32,37 m, ceci correspond à un gradient descendant de 0,26.

Par contre, les piézomètres installés dans le nid PZ-05-18 aux élévations 22,63 m et 15,62 m donnent respectivement des niveaux d'eau situés à 32,16 m et 32,47 m, ceci correspond à un gradient pratiquement nul.

Ces gradients montrent que plus nos nids de piézomètre se rapprochent du ruisseau, moins on mesure de gradients hydrauliques descendants et il ne serait pas impossible que des pressions artésiennes soient mesurées sous le lit du ruisseau. Finalement, les pressions d'eau souterraine proches du ruisseau sans nom pourraient être un élément révélateur expliquant le déclenchement de la coulée argileuse et c'est ce que nous rencontrons dans d'autres études traitant des argiles de la mer de Champlain (Lefebvre, 1984, Charrois, 2014).

Notons que dans PZ-04-18, les valeurs mesurées dans deux des trois piézomètres semblent douteuses et elles n'ont pas été considérées dans notre raisonnement ou dans nos modélisations.

4 ÉTUDE DES GLISSEMENTS HISTORIQUES

4.1 Traitement des données lidar

Le terme lidar signifie « Light Detection and Ranging » ou en français « détection et télémétrie par la lumière ». Cette technique permet de relever la topographie en balayant la surface avec un faisceau lumineux et de recueillir une très grande quantité de points de mesure d'élévations de surface avec une précision pouvant atteindre 200 mm dans le cas de campagne d'investigation aéroportée. Par la suite, il est possible de conserver uniquement les points ayant atteint le sol avec l'aide d'un logiciel de type ETL (Extract, Transform, Load) et en appliquant un algorithme de classification de points de mesure. Nous obtenons alors

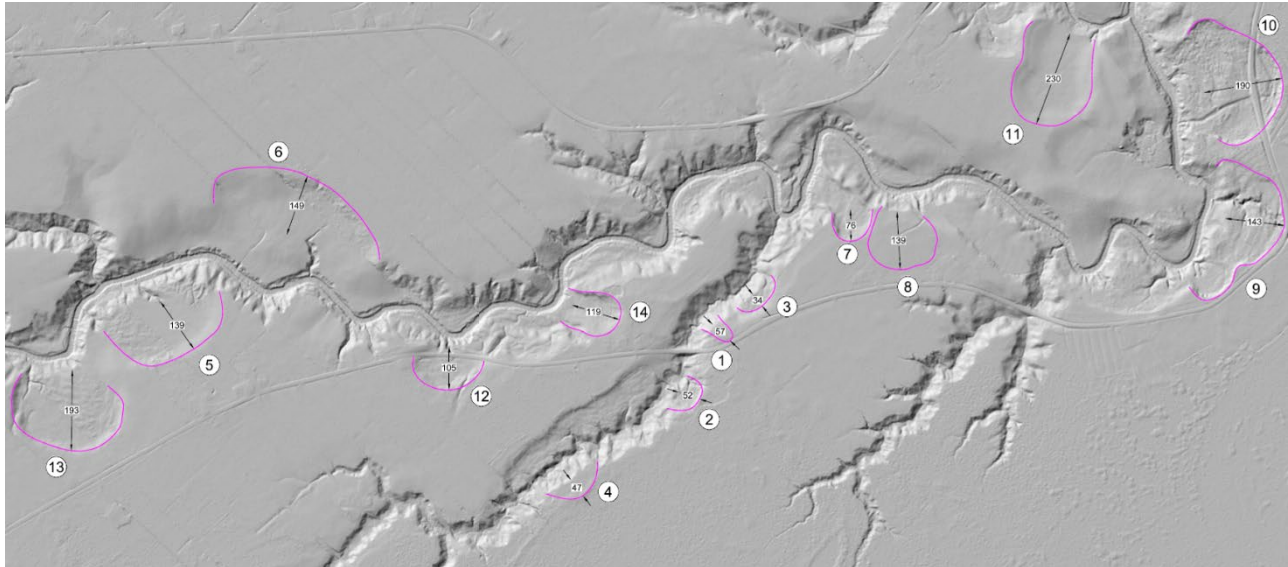


Figure 5. Modèle numérique de terrain basé un levé lidar – recensement des glissements historiques – (1) coulée argileuse à l'étude – (8) étalement latéral de 2016 – (10) étalement latéral de 1986 (Locat et al., 2007)

une image d'élévation de terrain, sans végétation, appelé modèle numérique de terrain (MNT). La Figure 5 représente le MNT de la région à l'étude avec un relief ombré obtenu avec un traitement de données de type « hillshade ».

4.2 Recensement des glissements historiques le long de la rivière Champlain et du ruisseau sans nom

L'étude présentée à la Figure 5 a permis d'identifier quatorze glissements historiques situés à moins de 1,5 km du glissement à l'étude (identifié 1 sur la Figure 5) et dont quatre appartiennent au ruisseau sans nom, tributaire de la rivière Champlain. Cette étude montre que seul le glissement 11, dont la hauteur du talus est de 19 m, présente un recul au sommet de 230 m. Tous les autres glissements ont un recul de moins de 193 m. On constate aussi que dans le tributaire, les glissements 1, 2, 3 et 4 ont un recul au sommet qui ne dépasse pas 57 mètres.

Ces observations montrent que les reculs des glissements dans les tributaires sont généralement deux à trois fois moins importants que dans le cours d'eau principal. Notons que dans notre étude de cas, nous avons recensé les deux types de glissement, à savoir les étalements latéraux et les coulées argileuses.

Finalement, cette étude nous montre que de part et d'autre de notre ruisseau sans nom, si d'autres glissements de type coulée argileuse ou bien étalement latéral surviennent, ils présenteront généralement un recul au sommet inférieur à 57 m.

5 ÉTUDE DE STABILITÉ À REBOURS

L'analyse de stabilité du talus avant glissement a été réalisée en contrainte effective. Autrement dit, en conditions drainées. Rappelons que la résistance

mobilisable d'un sol (τ_f) peut être définie par le critère de Mohr-Coulomb selon l'équation suivante :

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' \quad [1]$$

Où c' représente la cohésion, σ la contrainte normale qui est fonction de la masse γ , « u » la pression de l'eau interstitielle et ϕ' l'angle de frottement interne des sols.

Le mécanisme de rupture local d'un sol intervient lorsque le long d'une surface de rupture circulaire la contrainte de cisaillement devient égale à la résistance de cisaillement mobilisable τ_f .

C'est ce que l'on appelle l'équilibre limite, qui se traduit dans notre modèle par l'obtention d'un facteur de sécurité de 1.

L'étude à rebours consiste donc à obtenir le plus de paramètres précis sur la géométrie des couches de sol, la topographie et les pressions interstitielles afin qu'il ne reste qu'un minimum de paramètres inconnus à faire varier dans l'équation 1 pour atteindre l'équilibre limite le long du cercle de rupture associé au glissement qui s'est produit. C'est-à-dire, le moment juste avant que le glissement ne débute. Généralement, le paramètre qui présente le plus d'incertitude et qu'il est intéressant d'optimiser pour atteindre l'équilibre limite est l'angle de frottement ϕ' , car peu d'essais in situ ne le mesurent directement avec précision. Nous verrons aussi qu'à une certaine époque, la géométrie du talus avant glissement était difficile à retrouver, car les couvertures topographiques basées sur la technologie lidar n'existaient pas.

Les analyses de stabilité à rebours de notre talus ont été réalisées avec les logiciels Seep/W et Slope/W de la suite GéoStudio 2007 développés par la compagnie Geo-Slope International Ltd. de Calgary. L'approche utilisée pour modéliser les cercles de rupture est basée sur la méthode Morgenstern-Price.

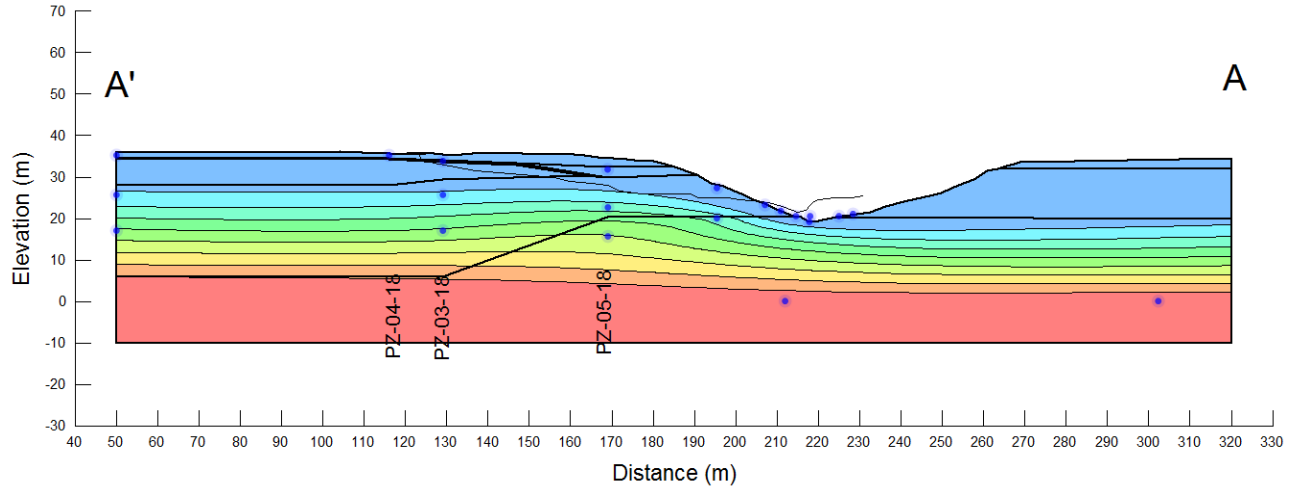


Figure 6. Isocontour des pressions interstitielles (kPa) modélisation dans Seep/W

5.1 Réseau d'écoulement

Préalablement à la modélisation du glissement avec le logiciel Slope/W, nous avons modélisé les conditions hydrogéologiques dans chacune de nos unités de sol avec le logiciel Seep/W. La Figure 6 représente les isocontours des pressions interstitielles (u) de notre modèle de stabilité à rebours. Les points bleus indiquent les niveaux d'eau que nous avons imposés à notre modèle en se basant sur nos mesures dans les nids de piézomètre ou en considérant le niveau d'eau dans le ruisseau sans nom le jour du glissement. Ce niveau d'eau a été estimé selon l'approche décrite à la section 3.1.

La modélisation du réseau d'écoulement nous permet donc d'introduire dans notre modèle des pressions qui deviennent de plus en plus ascendantes à mesure que l'on se rapproche du cours d'eau sans nom, autrement dit un phénomène caractéristique que l'on rencontre dans la formation de la mer de Champlain (Lefebvre, 1984, Charrois, 2014).

5.2 Caractéristique des sols

Les différents paramètres utilisés pour la modélisation sont présentés au tableau 1, pour chaque unité de sol.

Tableau 1. Propriétés des sols aux fins de la modélisation à rebours

Type de sol	Poids volumique γ (kN.m ⁻³)	Angle de frottement ϕ (degré)	Cohésion c' (kPa)
Unité A (sable)	18	35	0
Unité B (argile – croûte)	18,5	32	8
Unité C (argile molle)	17	28	7
Unité D (argile ferme)	18	29	8
Unité E (argile raide)	18,5	31,5	8,5

Ces valeurs ont été établies à partir de résultats d'essais in situ ou en laboratoire et validées à partir de références couramment utilisées pour les sols pulvérulents et les argiles de la mer de Champlain.

Pour l'unité de sol A, les paramètres ont été tirés des valeurs d'angle de friction et de poids volumique suggéré par Hoek et Bray (1981) pour un sable lâche mal trié.

Les unités B à E correspondent aux argiles de la mer de Champlain et leurs propriétés ont été établies à partir des références et équations 2 et 3.

Pour les argiles, le poids volumique peut être estimé à partir de la teneur en eau (w) selon la relation suivante :

$$\gamma = G \cdot \gamma_w \cdot (1+w) / (1+(w \cdot G/S_r)) \quad [2]$$

Où, « G » est la densité des grains solides (2,7 pour l'argile), γ_w le poids volumique de l'eau et S_r le degré de saturation (100 pour des argiles saturées). Les paramètres d'angle de frottement ϕ' et la cohésion c' provient de la relation empirique Lefebvre (1981). Cette relation empirique fait intervenir la contrainte de reconsolidation σ'_p et cette contrainte a été calibrée par l'auteur à partir d'essais triaxiaux. Dans notre cas d'étude, la contrainte σ'_p a été estimée à partir des données de piézocône selon l'équation suivante :

$$\sigma'_p = (q_t - \sigma_v) / N_{\sigma t} \quad [3]$$

Où σ_v est la contrainte verticale, q_t la résistante en pointe corrigée et $N_{\sigma t}$ est une constante variant entre 3,1 et 3,3.

5.3 Résultats de la modélisation à rebours

La Figure 7 représente les résultats de notre analyse à rebours. Le cercle de rupture représenté par la zone hachurée verticalement est celui qui est associé au plus petit facteur de sécurité calculé avec la méthode de Morgenstern-Price. Le facteur de sécurité de 1,0 a été obtenu dès notre première itération de calcul sans que nous ayons eu besoin de modifier les paramètres de notre modèle. Autrement dit, les paramètres de sol et la géométrie que nous avons considérés dans ce modèle sont réalistes puisque le résultat obtenu correspond à un cercle de grande profondeur à l'équilibre limite et tel

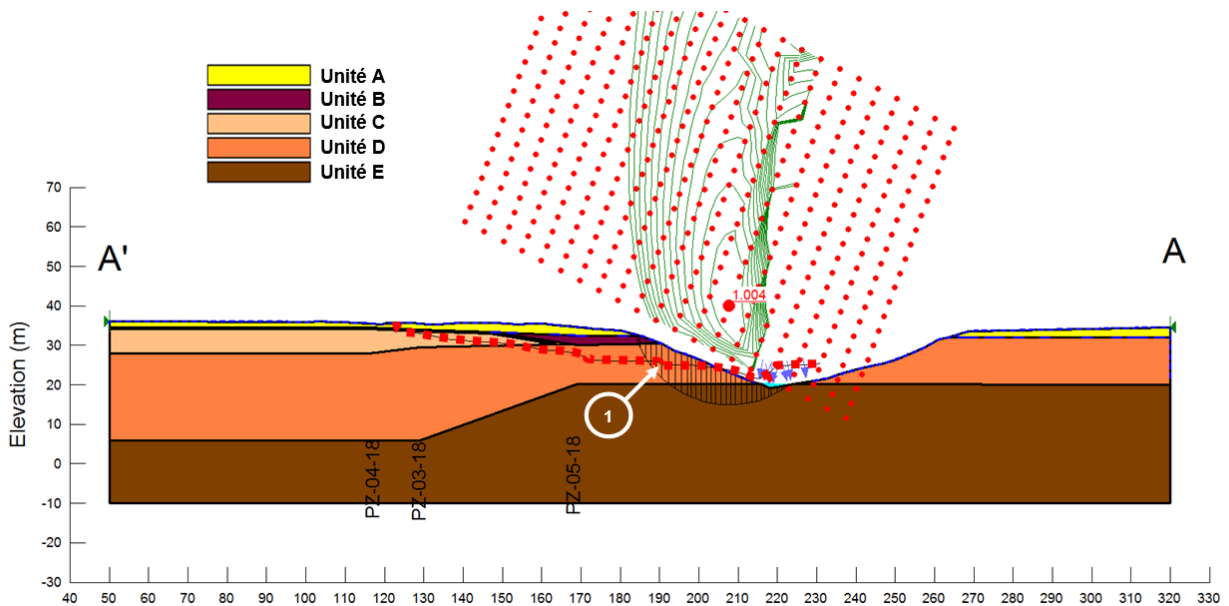


Figure 7 : Analyse à rebours pour une surface de rupture circulaire avec le logiciel Slope/W

qu'expliqué à la section 5, cet équilibre représente le moment juste avant que le glissement ne débute.

La ligne en tiret rouge que nous avons dessinée sur la Figure 7 représente la topographie de la cicatrice de glissement relevé en décembre 2017 et fait apparaître les trois paliers de glissement caractéristiques de la coulée argileuse (Figure 2). Nous pouvons aussi constater que le cercle représentant l'équilibre limite du talus passe très proche de la dénivellation entre le palier inférieur et celui du milieu noté (1) sur la Figure 7. Autrement dit, il représente non seulement un glissement de grande profondeur, mais aussi le premier glissement d'une succession de glissement rétrogressif.

Nous avons, aussi réalisé la même étude avec l'approche de Bishop et un résultat similaire.

6 DISCUSSION

Dans la littérature, nous retrouvons d'autres études géotechniques de glissement rétrogressif réalisées avec les outils de modélisation de la suite GéoStudio 2007. Dans le rapport d'étude du glissement de Saint-Jude en Montérégie, le glissement rétrogressif complet a été modélisé (Locat et al. 2011). Un de leur modèle présente une analyse en condition non drainée le long de la surface de rupture complète du glissement rétrogressif. C'est-à-dire du cours d'eau jusqu'au sommet de la cicatrice de glissement. Cependant, le mécanisme de la rupture du glissement de Saint-Jude est un étalement latéral et n'est pas le même que celui présenté dans notre cas d'étude. Dans un étalement latéral, la masse de sols se déplace dans la cicatrice selon un seul mouvement translationnel et les débris restent en grande partie dans la cicatrice. Lors d'une coulée argileuse (mécanisme de rupture de notre

étude de cas), plusieurs ruptures surviennent de façon séquentielle. Autrement dit, un premier glissement se produit puis les débris s'épanchent graduellement tandis qu'un autre glissement survient, ainsi de suite jusqu'à l'atteinte du recul au sommet maximum du glissement rétrogressif. Des publications au sujet de la coulée argileuse de Saint-Jean-Vianney expliquent ce mécanisme (LaRoche, 1974, Potvin et al. 2001). Les outils de modélisation que nous avons utilisés dans notre étude de cas ne permettent pas de modéliser une géométrie qui varie dans le temps. Par contre, serait-il possible avec nos outils de modéliser trois glissements statiques puisque nous avons observé trois paliers? Ceci ne nous semble pas non plus une approche possible puisqu'entre le premier et le deuxième glissement, le pied de talus est constitué des débris en mouvement qui s'épanchent dans le cours d'eau.

Les modèles basés sur des méthodes dérivées du critère de Mohr-Coulomb ne sont pas adaptés pour étudier le mécanisme complet d'une coulée argileuse et, à notre connaissance, il n'existe pas d'autre méthode permettant d'établir précisément le recul au sommet après glissement.

Par contre, l'approche consistant à exploiter les cartographies lidar pour estimer la taille des glissements rétrogressifs probables le long d'au cours d'eau est demeuré bien pratique.

7 CONCLUSION

Les outils de modélisation utilisés dans notre étude nous ont permis de modéliser uniquement le premier glissement d'une série de glissement rétrogressif. La couverture lidar régionale disponible depuis ces dix dernières années et les données recueillies en urgence par le Ministère des

Transports quelques jours à quelques mois après l'occurrence de la coulée argileuse, a permis de confectionner un modèle à rebours du premier cercle de rupture du mouvement rétrogressif qui se rapproche beaucoup de la réalité. Ce modèle à rebours permet de valider les propriétés mécaniques des sols qui constituent chaque unité stratigraphie située autour de notre glissement. Ces propriétés mécaniques vont pouvoir être réutilisées pour étudier la stabilité d'aménagement de talus éventuellement projeté en rive du cours d'eau sans nom.

L'apparition de cette coulée argileuse avait aussi suscité des questionnements. Est-ce que d'autres glissements rétrogressifs pourraient se produire le long du ruisseau sans nom? Quel serait son recul maximum au sommet? À quelle distance faudrait-il déplacer le rang Saint-Joseph pour être certain qu'il ne soit pas emporté par un nouveau glissement?

L'approche consistant à recenser les glissements de terrain historiques de la région a permis d'établir que sur une bande d'environ 60 m de large en crête des talus du ruisseau sans nom, d'autres glissements rétrogressifs pourraient se produire. Dans cette bande il a donc été recommandé de ne pas aménager de routes ou autres structures.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec l'aide précieuse de la section mouvement de terrain, Direction de la géotechnique et de la géologie du Ministère des Transports et nous tenons à les remercier. Nous tenons aussi à remercier la Ville de Saint-Maurice et en particulier le Maire, Monsieur Gérard Bruneau. Les auteurs souhaitent aussi souligner la participation de leurs collègues, en particulier Mathieu Lemay, Nathalie Fournier et Keven Painchaud.

BIBLIOGRAPHIE

Charrois, E., Grondin, G. et Saint-Pierre, F., 2014. Modélisation des surpressions cause par le battage de pieux et effet sur la stabilité des talus. *GeoRegina 2014*, 67^e conférence canadienne de géotechnique, Regina, SK.

- Hoek, E. et Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering*, 3^e éd, The Institution of Mining and Metallurgy, Londre, UK
- Lamontagne, M., Demers, D. et Savopol, F., 2007. Description et analyse du glissement de terrain meurtrier du 25 octobre 1870 dans le rang des Lahaie, Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Québec. *Canadian Journal of Earth Science*, 44: 947-960.
- LaRochelle, P., 1974, *Rapport de synthèse des études de la coulée d'argile de Saint-Jean-Vianney*. Québec, Ministère des Richesses naturelles du Québec, 75 p.
- Lefebvre, G., 1981, Fourth Canadian Geotechnical Colloquium: strength and slope stability in Canadian soft clay dispositis. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 18: 420-442.
- Lefebvre, G., 1984, Geology and slope instability in Canadian sensitive clays, 37^e *Conférence canadienne de géotechnique*, Toronto, ON.
- Locat, A., Leroueil, S., Demers, D. et Robitaille, D., 2013. Investigation géotechnique de l'étalement de 1986 à Saint-Luc-de-Vincennes, Québec. *GeoMontreal 2013*, 66^e conférence canadienne de géotechnique, Montréal, QC.
- Locat, P., Fournier, T., Robitaille, D. et Locat, A., 2011. *Glissement de terrain du 10 mai 2010, Saint-Jude, Montérégie, Rapport sur les caractéristiques et les causes*, Gouvernement du Québec, Bibliothèque et Archives nationales du Québec, QC, Canada, ISBN : 978-2-550-63733-2 (PDF).
- Morin, L.G., 1947. La coulée d'argile de Saint-Louis (comté de Richelieu), *Le Naturaliste canadien*, 73(5-6) : 125-143.
- Potvin, J., Pellerin, F., Demers, D., Robitaille, D., LaRochelle, P. et Chagnon, J.Y., 2001, Revue et investigation complémentaire du site du glissement de Saint-Jean-Vianney. 54^e *conférence canadienne de géotechnique*, an earth odyssey, Calgary, AB
- Robert, J. M., et CHAGNON J.Y., 1976, Caractéristique et correction d'un glissement de terrain dans les dépôts argileux de la mer de Champlain à Saint-Michel de Yamaska, 29^e *Conférence canadienne de géotechnique*, Vancouver, BC.