

Problématique des glissements fortement rétrogressifs dans les argiles sensibles Bassin de la mer de Champlain



3^{ème} Atelier international sur les glissements de terrain dans les argiles sensibles
Visite technique
2 octobre 2025

Recherche et rédaction :

Karine Bélanger, ing., M.Sc.

Denis Demers, Ing, Ph.D.

Alexis Fortin, Ing.

Thomas Fournier, ing.

Jean-François LeBlanc, historien, M. A.

Maryse Létourneau ing., M.Sc.

Hubert Michaud ing., M.Sc.

Stéphane Paradis,ing.

Julie Therrien ing., M.Sc.

Catherine Thibault ing., M.Sc.

Dominique Turmel, ing. Ph.D.

Sandra Veillette, ing., M.Sc.

Raphaël Vincent, tech.

Organisation logistique :

Karine Bélanger, ing., M.Sc.

Réalisations des affiches, des cartes et des figures :

Section de la géomatique, Direction de la géotechnique et de la géologie

Sommaire

Avant-propos et remerciements.....	1
Introduction.....	2
Arrêt 1 : Saint-Thuribe.....	5
Arrêt 2 : Sainte-Geneviève-de-Batiscan.....	17
Arrêt 3 : Nicolet.....	34
Arrêt 4 : Sainte-Monique.....	56
Bibliographie.....	67

Annexes

Capsule 1 : Saint-Alban – Glissement de terrain de 1894.....	73
Capsule 2 : Saint-Alban – Centre-ville.....	77
Capsule 3 : Saint-Alban – Glissement de terrain de 2022.....	81
Capsule 4 : Sainte-Anne-de-la-Pérade – Site expérimental.....	89
Capsule 5 : Trois-Rivières – Pont Laviolette.....	94

Avant-propos et remerciements

Cette visite technique s'inscrit dans le cadre du 3^{ème} Atelier international sur les glissements de terrain dans les argiles sensibles, événement tenu dans la ville de Québec, du 28 septembre au 2 octobre 2025. Lors du premier atelier en 2013, tenu aussi à Québec, la visite technique avait alors porté sur différentes situations le long de deux rivières importantes du sud de la province (la Yamaska et la Richelieu), comprenant des cas de glissements rotationnels simples et d'étalement (MTQ, 2013).

La présente tournée de 2025 comporte quatre arrêts, situés à l'intérieur des limites de l'ancienne mer post-glaciaire de Champlain, qui permettent d'illustrer différents aspects liés plus spécifiquement à la problématique des glissements fortement rétrogressifs dans les argiles sensibles, dont plusieurs ont été abordés lors de l'atelier.

Le parcours initial a été modifié afin de permettre d'aller voir deux cas très récents de glissements fortement rétrogressifs, survenus en mai et juillet 2025. Ces sites donneront l'occasion aux participants de se familiariser avec ce genre d'événements relativement rares.

Ce guide contient une description pour chacun des arrêts, accompagnée de nombreuses photos, de profils géotechniques, de coupes stratigraphiques, etc. Certains aspects sont soulevés afin de permettre une discussion entre les participants lors de la tournée.

Outre les renseignements donnés pour chacun des sites des arrêts, des informations supplémentaires sont présentées sous forme de « capsules » pour d'autres cas situés sur le parcours de la visite. Ces derniers, présentés en annexe du présent document, ne feront pas l'objet d'arrêts, mais seront soulignés lorsque l'autobus passera à proximité de ces sites.

Les auteurs tiennent à remercier toutes les personnes qui ont participé à la collecte d'information et à la préparation de ce document, ainsi que les présentateurs pour leur collaboration à la tournée et pour leur dévouement indispensable au succès de cette visite. Les auteurs remercient également les autorités du ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec qui ont autorisé la préparation de ce document et la visite de terrain.

En terminant, il est à noter que la présente version du document a été légèrement modifiée par rapport à celle fournie initialement aux participants à l'excursion, afin d'apporter de petites corrections mineures.

Introduction

Au Québec, la grande majorité de la population vit à l'intérieur des limites de l'ancienne mer de Champlain, qui a occupé la région géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent entre 13 000 et 9 500 ans avant aujourd'hui (Occhietti, 2007). Débutant aux alentours de la ville de Québec et s'étendant vers l'ouest jusque dans la région de l'Outaouais et au-delà des frontières avec la province voisine de l'Ontario et du nord-est des États-Unis, dans l'axe de l'actuel lac Champlain, la superficie totale de cet ancien bassin marin est de l'ordre de 54 000 km² (figure 1). Les sols argileux se rencontrent dans presque toute cette ancienne mer, mais avec des épaisseurs beaucoup plus faibles du côté sud par rapport au côté nord du fleuve Saint-Laurent, qui se trouve environ au centre du bassin. C'est d'ailleurs autour du lac Saint-Pierre, qui constitue une excroissance du fleuve environ à mi-chemin entre les grandes villes de Québec et Montréal, où l'on retrouve les plus grandes épaisseurs d'argile, lesquelles peuvent atteindre 80 m et plus.

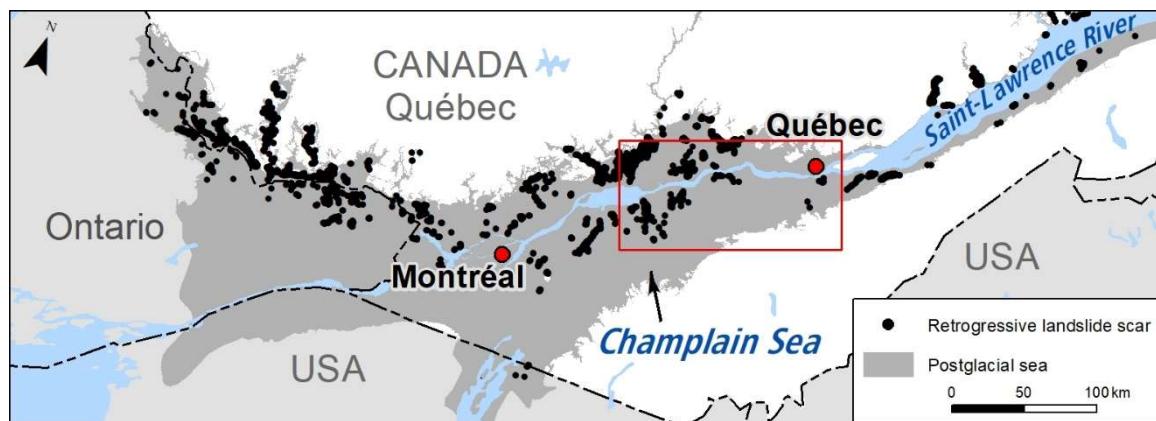


Figure 1 : Localisation générale de la mer de Champlain. Le rectangle rouge localise la figure 3 (modifié de Demers et al., 2025).

Le fort lessivage de ces argiles marines, à la suite de leur soulèvement post-glaciaire, a permis de développer des dépôts d'argile sensible presque partout le long des cours d'eau. Les plus grandes valeurs de sensibilité, dont certaines peuvent dépasser 1000, se trouvent plus souvent sur la rive nord du Saint-Laurent, notamment lorsque les massifs argileux jouxtent des dépôts glaciaires, comme dans la région de St-Alban – St-Thuribe (Paradis et al., 2025), qui fera l'objet du premier arrêt de la tournée.

La mise à jour récente de l'inventaire des glissements de terrain fortement rétrogressifs a permis de dénombrer au moins 4420 cicatrices de ce genre dans les mers post-glaciaires du Québec et du sud-est de l'Ontario (Demers et al., 2025), dont 2501 dans le seul bassin de la mer de Champlain. La recherche de cas historiques (David et al., 2022), toujours en cours, a permis de dénombrer jusqu'à présent 171 événements du genre entre 1770 et aujourd'hui, lesquels ont entraîné le décès de 151 personnes au total et en ont blessé au moins 58. Dans tous les cas, ces événements provoquent très souvent des dommages aux infrastructures, aux terrains agricoles et forestiers, et perturbent toujours beaucoup l'environnement, comme l'ont illustré Turmel et al. (2025) et Paradis et al. (2025) pendant l'atelier. Si l'on prend comme point de départ l'année 1960, à partir de laquelle les informations ont été mieux

colligées, il s'est produit 92 glissements fortement rétrogressifs¹ (GFR) durant cet intervalle de 66 ans, dont 68 ont atteint ou dépassé une superficie d'un hectare, ce qui donne une moyenne d'environ un cas par année.

Ces sols argileux sont le siège de différents types de glissements de terrain, dont de nombreux cas sont signalés chaque année aux autorités gouvernementales (Poulin-Leboeuf et al., 2022). La compilation la plus récente de ces signalements, mentionnée par Arel et al. (2025) lors de l'atelier, montre une nette tendance à l'augmentation lors des huit dernières années (figure 2). D'une moyenne de 125 cas signalés par année entre 2005 et 2016, cette valeur est passée à 268 cas/an depuis 2017.

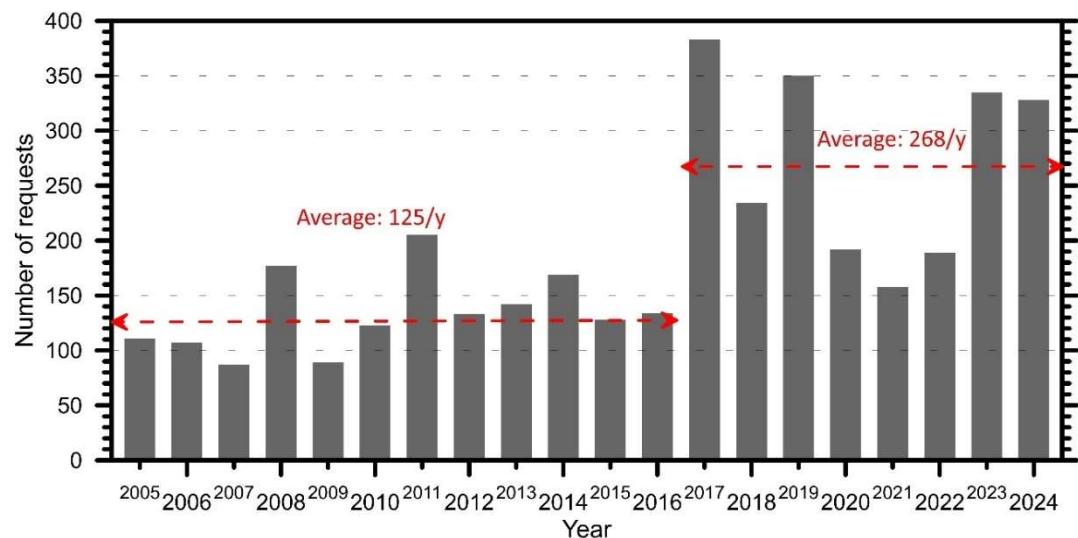


Figure 2 : Nombres de cas signalés au MSP par année entre 2005 et 2024 (tirée de Arel et al., 2025)

Cette recrudescence durant cette période récente est attribuable à deux genres d'événements climatiques extrêmes. En 2017 et 2019, ce sont des événements d'accumulation de quantités record de pluies printanières durant plusieurs semaines, accompagnées de la fonte nivale, qui sont à l'origine de ces années exceptionnelles où l'on a enregistré entre 350 et 380 signalements. En 2023 et 2024, ce sont plutôt des accumulations de pluies lors d'orages violents, s'étendant sur de courtes durées (de quelques heures à un peu plus d'une journée) et de façon plus ponctuelle, qui ont entraîné des séquences extrêmement rapides de problèmes de ravinement et de glissements de terrain, la grande majorité étant de nature superficielle. Ce genre d'événements génère alors une très grande pression sur les services publics pour gérer ces signalements en situation d'urgence.

Ces événements météorologiques extrêmes, souvent courts et intenses, qui engendrent de nombreux glissements dans les sols argileux, ne sont toutefois pas nécessairement liés à

¹ Pour ses besoins de cartographie liée aux glissements de terrain dans les sols argileux, le MTMD considère comme un glissement fortement rétrogressif ceux dont la distance de rétrogression dépasse une valeur égale à deux fois la hauteur du talus d'où s'est amorcé le mouvement, ou à une largeur dépassant quatre fois cette hauteur.

l'apparition des glissements fortement rétrogressifs, sauf si la situation perdure sur plusieurs semaines et s'accompagne de crues plus prononcées dans les cours d'eau, comme ce fut le cas au printemps 2017, où trois glissements fortement rétrogressifs ont été recensés durant cette période critique.

Les quatre sites qui font l'objet de la présente tournée se situent dans la partie est de l'ancienne mer de Champlain (figures 1 et 3). Tous ces cas concernent principalement des situations liées aux dangers de glissements fortement rétrogressifs. Ils concernent deux cas très récents (Saint-Thuribe et Sainte-Monique, 2025), ainsi qu'un plus ancien (Nicolet, 1955), mais aussi un site où des travaux préventifs viennent d'être réalisés en 2024 afin de se prémunir contre cet aléa (Sainte-Geneviève-de-Batiscan). Chacun de ces cas fait l'objet d'une description dans les sections suivantes du présent document.



Figure 3 : Localisation des quatre sites visités.

ARRÊT 1 : Le glissement de terrain du 15 juillet 2025 à Saint-Thuribe

Introduction et cas historiques

Ce premier arrêt à Saint-Thuribe a pour premier objectif de présenter le cas d'un glissement fortement rétrogressif mixte, de type « coulée argileuse \ étalement », qui est survenu très récemment, soit le 25 juillet 2025. Le site est situé dans une région qui a aussi connu plusieurs cas de glissements de terrain historiques (figure 1), dont notamment le plus grand d'entre eux (420 ha) survenu en 1894 dans le village voisin de Saint-Alban et qui a été décrit par Paradis et al (2025) lors de l'atelier.

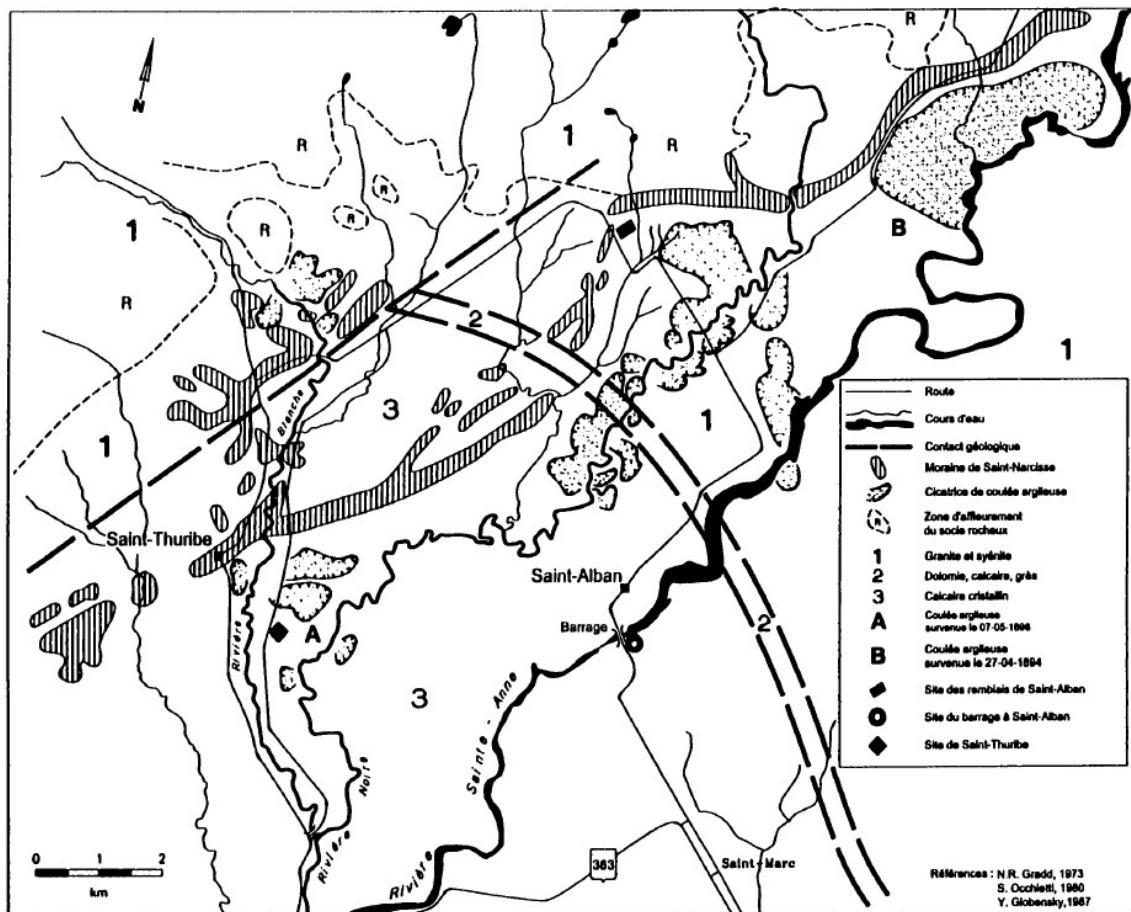


Figure 1 : Contexte géologique régional de la région de St-Thuribe/St-Alban (tiré de Demers 2001).

Le petit village de Saint-Thuribe est situé dans une région agricole et sa population était de 298 habitants lors du recensement de 2021 (Source : Statistique Canada). Bien que son territoire ait été habité dès les années 1830, ce n'est qu'en 1897 que la paroisse s'est détachée de celle de Saint-Casimir, située environ 6 km plus au sud (Source : Commission de toponymie du Québec). Dès l'année suivante, un immense glissement de terrain

fortement rétrogressif est survenu le 7 mai 1898, à environ 1 km au sud-est du village, en bordure de la rivière Blanche (Dawson, 1899), le même cours d'eau en bordure duquel est survenu celui du 15 juillet 2025.

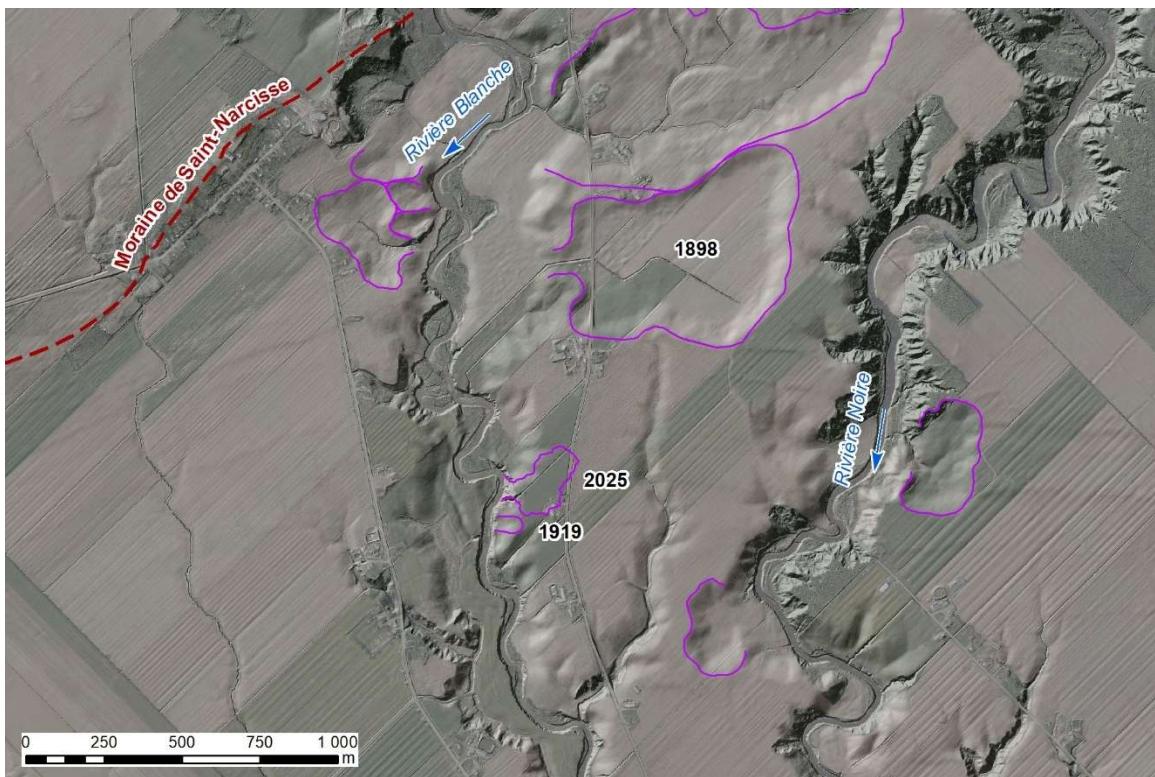


Figure 2 : Image de relief ombragé issue d'un levé lidar, montrant la topographie du secteur et divers éléments géomorphologiques, dont les cicatrices des glissements fortement rétrogressifs de 1898, 1919 et 2025 et la moraine de Saint-Narcisse.

L'événement de 1898 survient à 5h30 du matin, ce qui prend les habitants au dépourvu. La famille Douville a tout juste le temps de sortir de la résidence alors que le sol s'effondre sous leurs pas. Malheureusement, Régina Douville, âgée d'environ 5 ans, perd la vie lorsque sa sœur qui la transportait l'échappe pendant la fuite. Les dommages sont considérables. Deux maisons, plusieurs bâtiments de ferme avec leurs animaux, une école, un pont et une partie de la route sont emportés. Les pertes sont évaluées à 15 550\$ de l'époque.

Le mouvement se produit en plusieurs phases. Un premier glissement de terrain mineur serait déjà survenu la veille de la tragédie, en bordure de la rivière Blanche, sans que personne ne s'en alarme puisque ce genre d'événement est commun dans ce secteur. Toutefois, lors du mouvement principal débutant le matin suivant, la première tranche à partir est évaluée à 5 hectares par les journaux de l'époque, mais ce n'est pas clair pour la suite du glissement. La phase principale semble se terminer vers 11h. Selon l'évaluation des témoins visuels, la masse de débris se déplace à la vitesse du pas d'une personne. Ensuite, les sources indiquent que des tranches de terrain continuent à glisser pendant les deux jours suivants et que le sol est trop instable pour tenter de retrouver le corps de la victime.

À la suite du glissement, la rivière est bloquée sur une distance de 234 m. Le glissement de terrain crée une vague de 12 m de haut qui emporte des estacades, créant aussi un embâcle de billots de bois qui vient amplifier l'inondation qui cause des dommages aux terres environnantes.

Déjà à l'époque, certaines personnes commencent à faire le lien entre l'argile et les glissements de terrain et voudraient que le gouvernement intervienne. « *Toute cette région est ainsi ébouleuse si l'on en juge par les cours d'eau, tous salis de glaise, qui le traversent. L'argile est en grande quantité dans toute la région et l'on ne dira rien de nouveau en rappelant la fréquence des éboulements dans les terrains argileux. Et si bien qu'il conviendrait de demander au gouvernement de nommer des géologues qui étudieraient la nature de ces terrains et condamneraient, s'il le fallait, une région toute entière.* » (Journal *La Presse*, 9 mai 1898).

Cet ancien glissement de terrain, d'une superficie de 34 ha, présente une forme avec un goulot très étroit et une grande zone de déplétion à l'arrière (figure 2). Sur la base des informations fournies par Sharpe (1938) (figure 3), Terzaghi et Peck présentent ce cas dans la première édition de leur célèbre volume « Soil Mechanics in Engineering Practice » et leurs éditions subséquentes (1948, 1967 et 1996). Ce site est aussi mentionné par Taylor (1948) dans son livre « Fundamental of Soil Mechanics ». Peck et al. (1951) ont fait une première étude du comportement en laboratoire sur des échantillons d'argile très sensible prélevés à ce site. Ce cas a d'ailleurs été longtemps considéré comme un exemple typique des coulées argileuses dans les argiles sensibles et le croquis que Sharpe (1938) en a fait a inspiré de nombreuses figures dans des articles subséquents traitant des glissements de terrain dans les argiles sensibles, montrant un amphithéâtre en forme de poire ouvert par un goulot plus ou moins étroit en bordure du cours d'eau (Chagnon, 1967; Karrow, 1972; Mitchell & Klugman 1979).

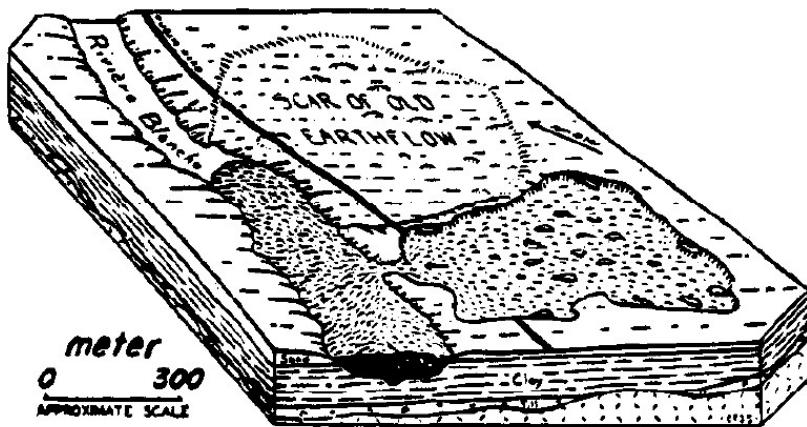


Figure 3 : Croquis de Sharpe (1938) du glissement de 1898 à St-Thuribe, utilisé ensuite par Terzaghi et Peck dans les trois éditions de leur livre « Soil mechanics in engineering practice ».

Toutefois, ce cas a été réévalué récemment par Therrien et al. (2025), qui l'ont défini comme un mouvement mixte « coulée argileuse / étalement », car quelques photos (figure 4) et témoignages d'époque indiquent bien la présence de horsts. Dawson mentionne dans son rapport en 1899 que « *The floor of the depression was formed by irregular mounds, pyramids, and blocks of clay [...]* ». Le cas du mouvement mixte de St-Luc-de-Vincennes en 2016, bien documenté par Tremblay-Auger (2021), démontre un bel exemple en forme de poire se terminant par un étalement, confirmant ainsi que cette forme n'est pas exclusive aux coulées argileuses dans les argiles sensibles.



Figure 4 : Photo d'époque montrant un horst dans le glissement de terrain de 1898. Vue en direction du goulot du glissement. (Source : Bibliothèque et Archives Canada, PA-050914)

Le glissement de 1898 n'est pas le seul à avoir eu lieu dans ce secteur puisqu'une cicatrice encore plus grande est visible tout juste à côté, mais il est survenu avant la colonisation du secteur. Ainsi, lorsqu'un nouveau glissement de plus petite envergure survient le 4 avril 1919 (figure 2), le gouvernement fédéral fait immédiatement une enquête et les géologues évaluent que la rétrogression pourrait être aussi grande qu'en 1898 (Wilson & Mackay, 1919). Nous n'avons toutefois pas trouvé de suite à ce rapport, et il est donc difficile de savoir quelles ont été les mesures de mitigation mises en place à ce moment.

Contexte géologique

Le secteur de St-Thuribe / St-Alban est localisé à la limite nord-est de la mer de Champlain, près de la limite géographique entre les Basses-Terres du Saint-Laurent et le Bouclier canadien, qui forme les contreforts laurentiens (figure 1). Cette zone montagneuse est située à environ 3,5 km au nord-ouest du village de Saint-Thuribe. L'autre particularité géologique du secteur est la présence d'une longue crête morainique, appelée « Moraine de Saint-Narcisse », qui est approximativement parallèle aux contreforts laurentiens (figure 1) et marque la position d'une réavancée glaciaire au sein de la mer de Champlain, aux environs de 12 200 à 12 800 ans BP (Occhietti, 2007; Parent & Occhietti, 1988). Le glissement du 15 juillet 2025 s'est produit à une distance d'environ 1,6 km au sud de la moraine de Saint-Narcisse. La présence du front morainique en contact avec le bassin marin a favorisé localement la mise en place de quelques stratifications au sein des dépôts argileux, mais il entraîne aussi la présence d'un gradient hydraulique ascendant à la base du massif argileux, dont l'intensité varie avec la proximité de la moraine. Cet environnement a donc favorisé le lessivage des dépôts argileux et on mesure des résistances à l'état remanié extrêmement faibles ($0,08 < s_{\text{sur cône}} < 1,19$), parfois même sous la limite minimale du cône suédois, dans les couches argileuses plus en profondeur. Ces couches extrêmement sensibles ont typiquement des indices de plasticité de l'ordre de 4 à 7, des indices de liquidité entre 2,9 et 5,5, avec des sensibilités comprises entre 120 et 300 (figure 5). Le pourcentage de particules inférieures à 2 microns est en moyenne de l'ordre de 35%.

Dans le secteur des glissements de terrain de 1898 et 2025 à Saint-Thuribe, le dépôt argileux commence dès la surface et atteint des profondeurs de l'ordre de 35 m. La résistance à l'état intacte, mesurée au scissomètre de chantier, est comprise entre 30 et 40 kPa sur toute la hauteur des berges de la rivière Blanche, qui est de l'ordre d'environ 20 m dans ce secteur.

La rivière Blanche est un cours d'eau mineur (de type « C » selon Turmel et al., 2025), d'une longueur totale d'environ 30 km, coulant principalement dans les sols argileux du bassin de la mer de Champlain. Son bassin versant a une superficie de 217 km² (Capsa, 2014). Dans le secteur de Saint-Thuribe, sa largeur est en moyenne de l'ordre de 20 m (figure 2). Elle forme de nombreux méandres, comprenant des plaines alluviales de quelques mètres de hauteur, composées principalement de débris argileux provenant d'anciens gigantesques glissements fortement rétrogressifs, notamment de celui de 1898 et d'un autre juste en amont (figure 2), de date inconnue, d'une superficie d'environ 48 ha. Dans les courbures externes des méandres, la rivière vient parfois saper directement le pied des berges argileuses.

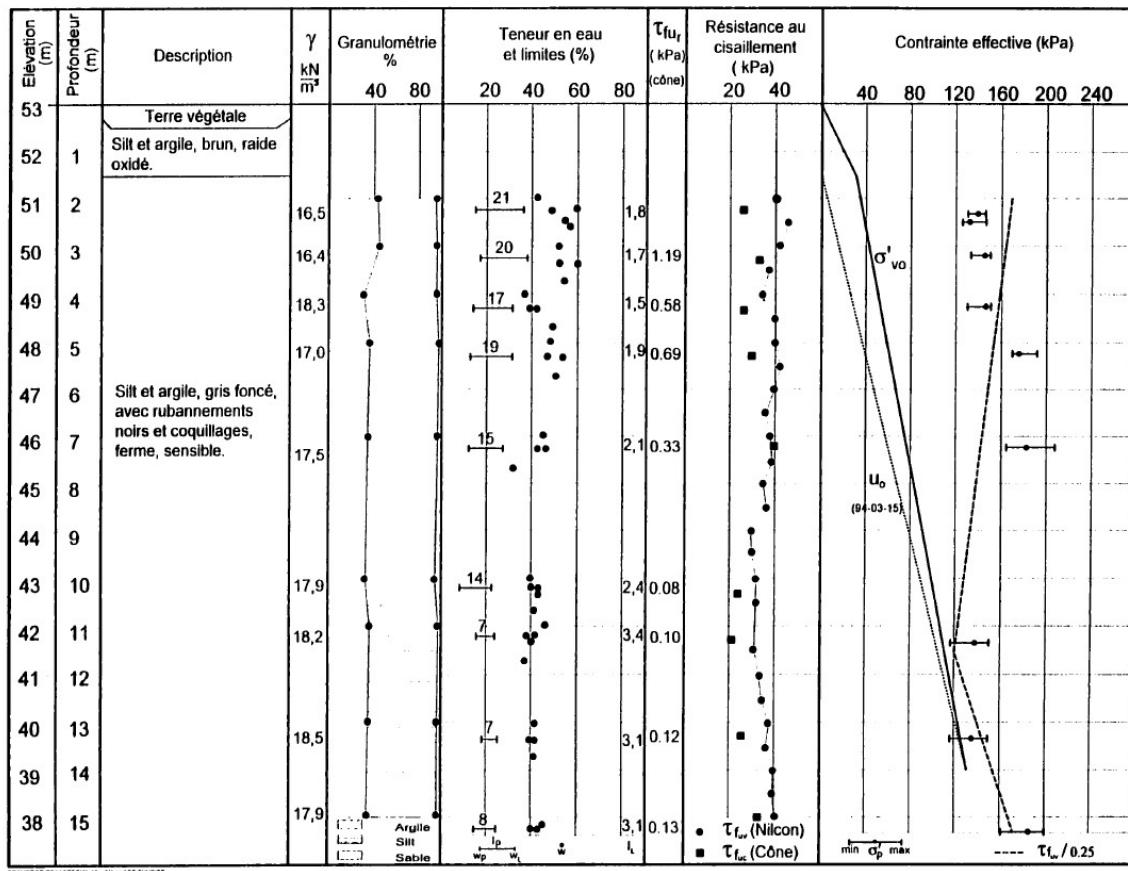


Figure 5 : Profil géotechnique au site du glissement de terrain du 15 juillet 2025 (Source : Demers, 2001).

Le glissement de terrain du 15 juillet 2025

Le glissement de terrain du 15 juillet 2025 est survenu aux environs de minuit, dans la nuit du 15 au 16 juillet 2025 (figure 6). Les premiers intervenants, interpellés plus tard dans la nuit, ont été déployés sur les lieux aux premières heures du matin. Rapidement, le rang de la Rivière-Blanche-Est a été fermé à la circulation et les résidences à proximité, sises aux n° 20, 25 et 30, ont été évacuées. Il est à noter que les résidents du n° 25 avaient déjà évacué leur résidence de leur propre chef peu de temps avant l'arrivée des premiers intervenants, après avoir constaté l'apparition du cratère à proximité de leur maison. Selon ce qui a été communiqué à la DGG, les circonstances des événements n'ont pas permis de constater la présence d'un premier glissement rotationnel profond aux abords de la rivière, dans les jours ou les heures qui ont précédé le déclenchement du processus de rétrogression, comme c'est généralement le cas pour ce type de glissement (à noter qu'il aurait pu survenir un premier glissement de type rotationnel en bordure du talus de la rivière dans les heures précédentes, sans que personne ne le remarque, notamment après le crépuscule).

Le glissement fortement rétrogressif présente autant des caractéristiques propres aux coulées argileuses (débris très fortement remaniés et chenalés sur de longues distances par la rivière, voir figure 6) qu'aux étalements (horsts et grabens, voir figure 7), tel que décrit par Therrien et al. (2025). En effet, l'importante quantité de débris ayant parcouru de longues distances le long du tracé de la rivière, en amont comme en aval, est typique d'un mouvement de type « coulée argileuse », tandis que la présence de horsts (pinacles) et de grabens (plateaux) parmi les débris témoigne d'un mécanisme de type « étalement ». La présence de horsts et de grabens à l'intérieur de la cicatrice, mais aussi en aval de son goulot (figure 6), suggère que des phases « coulée » et « étalement » se sont probablement succédées durant l'événement. Ces indices montrent que la cinématique du glissement est complexe.



Figure 6 : Vue d'ensemble de la cicatrice et d'une partie des débris obstruant la rivière Blanche le 16 juillet. À noter à gauche le nouveau chenal que la rivière a commencé à emprunter. (Source : MTMD – DJI_20250718131933_0159)



Figure 7 : Vue de horsts(h) et grabens (g) à l'intérieur de la cicatrice du glissement. (Source : MTMD)

Les escarpements laissés par le glissement de terrain sur tout le pourtour de la cicatrice étaient hauts et raides. Selon le modèle numérique de terrain (MNT) obtenu d'un levé photogrammétrique par drone le 18 juillet 2025, la hauteur de ces escarpements variait alors entre 7 m et 11 m. Par la suite, des pertes de terrain additionnelles sont survenues dans les jours suivants au droit des parois trop raides, soit par des ruptures rotationnelles (figure 8) ou par basculement le long de fissures subverticales (figure 9), dont la présence dans les massifs d'argile sensible a été observée à divers endroits, tel que décrit par Lemieux et al. (2025). Deux jours après l'événement, l'annexe située derrière la résidence n° 25 a été emportée, ainsi qu'un poteau d'électricité. Le lendemain matin, le reste de la résidence a été emportée (figure 8). D'autres ruptures ont également été observées subséquemment à différents endroits sur le pourtour de la cicatrice, notamment du côté de la route municipale, mais celles-ci sont toutes demeurées très limitées en dimension et leurs débris ont parcouru de faibles distances généralement (figures 8 et 10). En comparant les différents modèles numériques de surface (MNS) réalisés par drone dans les jours et semaines ayant suivis l'événement, jusqu'au 18 août, ces pertes de terrain supplémentaires ont été d'au plus 16 m par rapport au rebord initial de la cicatrice photographiée le 16 juillet au matin.



Figure 8 : Vue du glissement de terrain prise par drone le 20 juillet 2025. On peut y voir la résidence n° 25 qui a été emportée dans les heures précédentes, ainsi que des traces de ruptures rotationnelles récentes sur le pourtour de la cicatrice (flèches blanches). (Source : MTMD)



Figure 9 : Photographies prises par drone le 16 juillet 2025, montrant des fissures subverticales au pourtour de la cicatrice, facilitant le développement de ruptures par basculement. (source : MTMD)

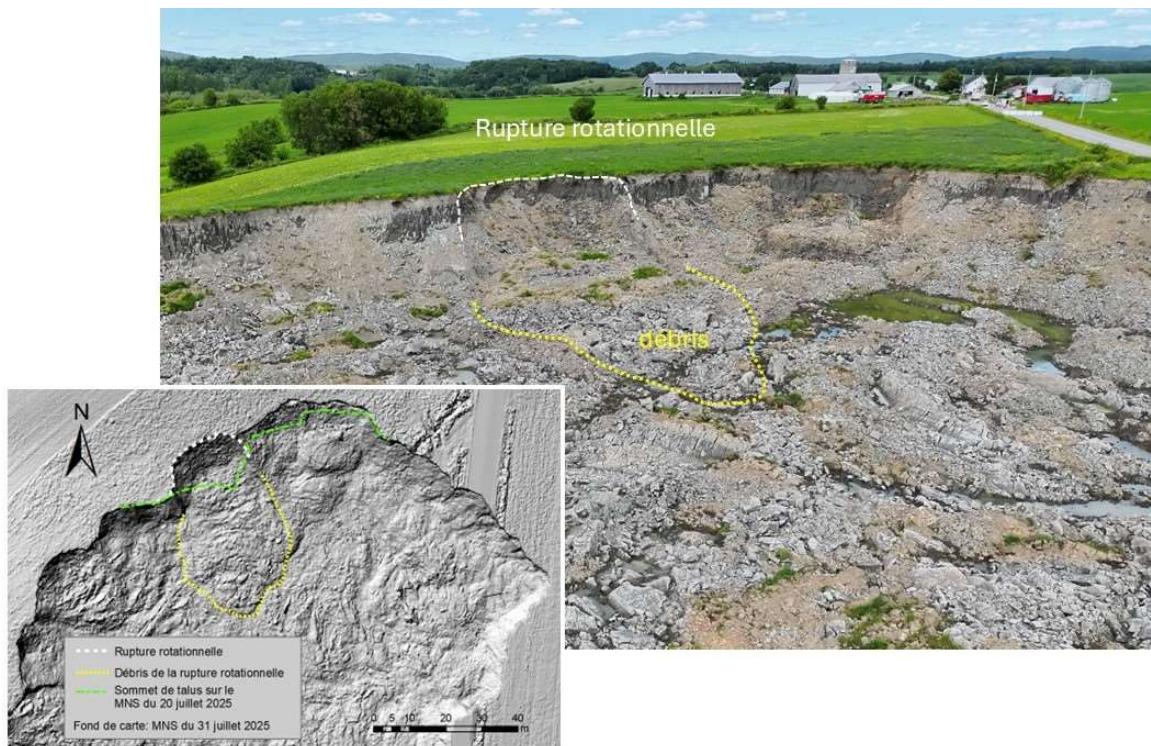


Figure 10 : Photographie prise par drone le 31 juillet 2025 montrant un exemple d'ajustement par rupture rotationnelle. L'image en insertion montre une vue en plan de la même rupture sur le MNS obtenu des photos du même jour. (Source : MTMD)

Selon le dernier levé du 18 août 2025, la distance de régression du glissement de terrain est d'environ 230 m et sa largeur d'environ 140 m (figure 11). La superficie totale des sols emportés par le glissement est de l'ordre de 30 000 m² (3 ha). La route municipale a été emportée sur une longueur totale d'environ 85 m. Le silo et le hangar sur la propriété n° 25 sont situés à 11 m et 12 m du pourtour de la cicatrice.

Les débris du grand glissement de terrain ont complètement entravé la Rivière Blanche sur une épaisseur d'environ 8 m au-dessus du niveau de l'eau selon les MNT disponibles. Ils se sont propagés le long de cette dernière sur une distance d'environ 740 m en aval du goulet et 300 m en amont. Dans les heures qui ont suivi le glissement, le niveau d'eau en amont des débris a monté d'environ 6 m et la majeure partie des eaux de la Rivière Blanche a rapidement contourné les débris qui entraînaient le chenal principal en empruntant un ancien bras situé au pied du versant opposé de la vallée, dont le lit se trouve à quelques mètres plus haut que celui du chenal principal (figure 11). La figure 12 montre deux photographies prises par drone à la confluence entre ces deux chenaux, en date du 18 juillet et du 12 août. Selon une photo satellitaire prise le 18 juillet 2025 (figure 13), le panache de sédiments causé par le glissement a pu être observé dans la rivière Blanche, dans la rivière Sainte-Anne, puis dans le Fleuve Saint-Laurent, soit sur une distance de plus de 46 km en aval du glissement,

jusqu'aux municipalités de Deschambault et Portneuf. Les débris du glissement de terrain qui se sont accumulés dans la Rivière Blanche ont entravé l'écoulement de cette dernière pendant plusieurs heures et ont causé l'inondation des terres en amont. Toutefois, aucun bâtiment ou bien essentiel ne semble avoir été impacté par cette retenue d'eau. D'autre part, les débris du glissement ont entraîné une perturbation importante de la dynamique hydraulique de la rivière, incluant le déplacement des points d'érosion et l'emprunt de l'ancien bras sur le versant ouest de la vallée. Étant donné le volume de débris dans la rivière, les perturbations sur la dynamique de la rivière Blanche sont susceptibles d'être ressenties pendant encore plusieurs mois.

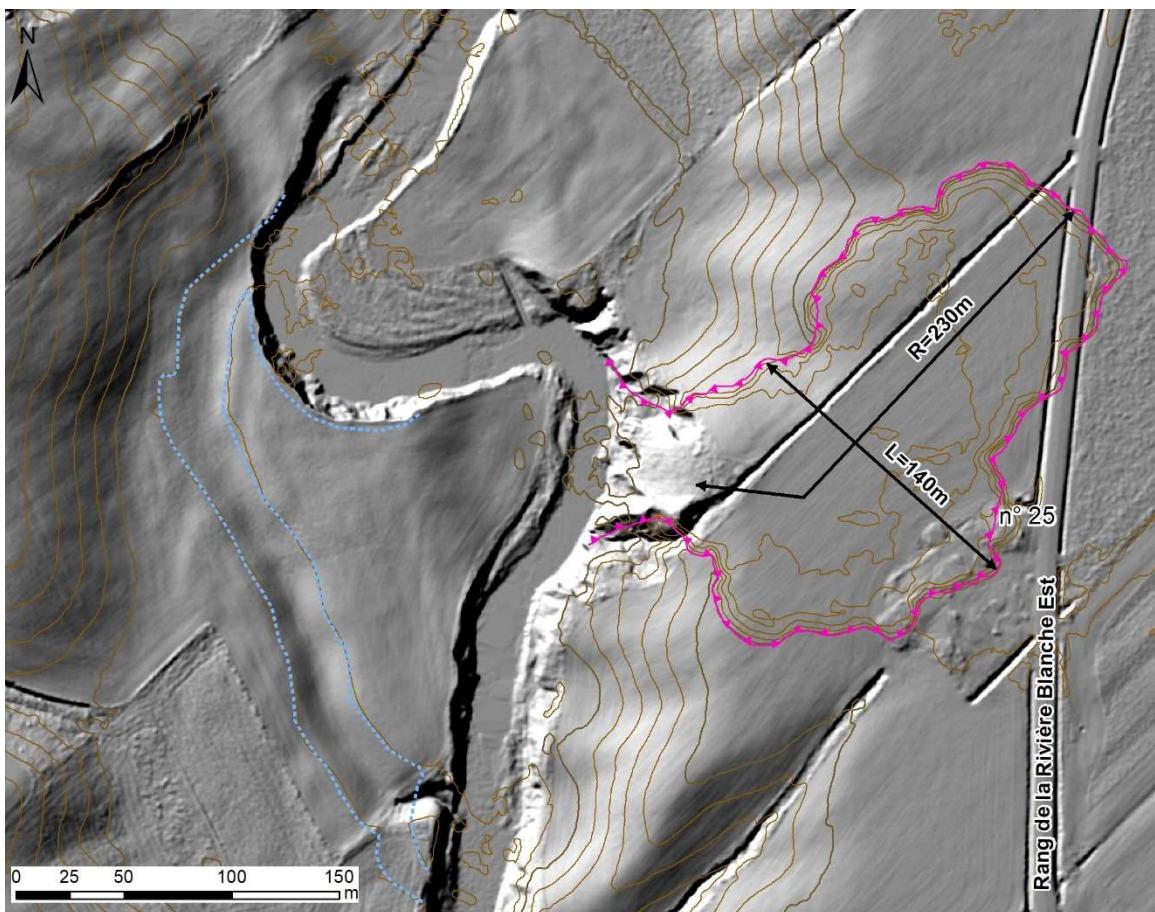


Figure 11 : Image de relief ombragé issue d'un levé lidar de 2021 (avant glissement), montrant les courbes hypsométriques aux 1 m (en brun) issues du MNT du 20 juillet 2025, montrant les dimensions de la cicatrice et l'ancien bras maintenant emprunté la rivière à la suite du glissement de terrain (en bleu).



Figure 12 : Photographies prises par drone à la confluence entre le chenal principal de la Rivière Blanche et d'un ancien bras emprunté par les eaux de la rivière après le glissement de terrain (source : MTMD-DGG). Les flèches indiquent le sens de l'écoulement.

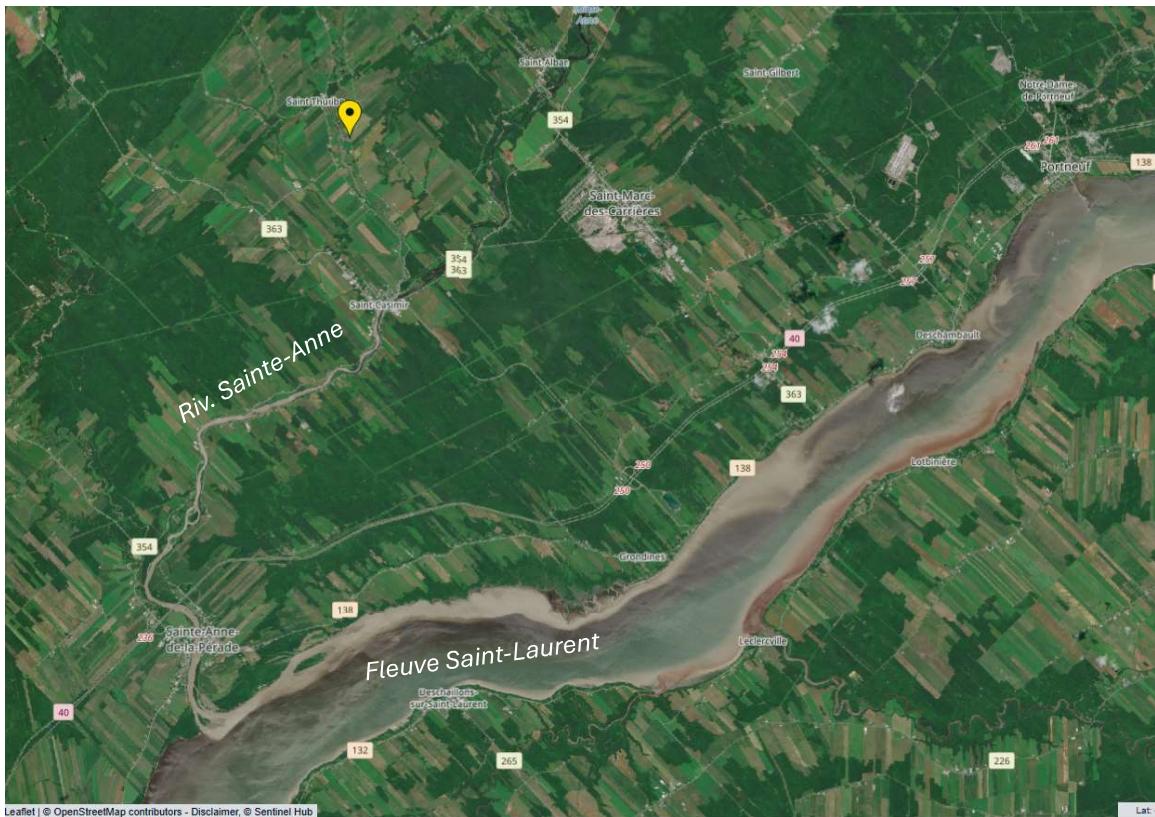


Figure 13 : Photographie satellitaire prise le 18 juillet 2025 (source : Sentinel-2 L2A, via Copernicus Browser), montrant le panache de sédiments en provenance du glissement du 16 juillet 2025, dont la localisation est indiquée par le marqueur jaune.

ARRÊT 2 : Sainte-Geneviève-de-Batiscan

Généralités

Le deuxième arrêt de la tournée se fait au village de Sainte-Geneviève-de-Batiscan, qui s'est développé à la confluence de la rivière à Veillet et de la rivière Batiscan (figure 1). Cette dernière est un affluent majeur du fleuve Saint-Laurent, où elle se jette à 6 km en aval du village. Son bassin versant est de 4 690 km², le long d'un parcours total de 192 km, et avec un débit moyen de 96 m³/s (mesuré à 14 km en amont du village, centrale de Saint-Narcisse). La rivière à Veillet est un cours d'eau mineur, dont le bassin versant est de 37 km². Cette dernière prend sa source dans le secteur de la moraine de Saint-Narcisse et coule vers le sud sur une longueur de 11,3 km pour se déverser dans la rivière Batiscan.

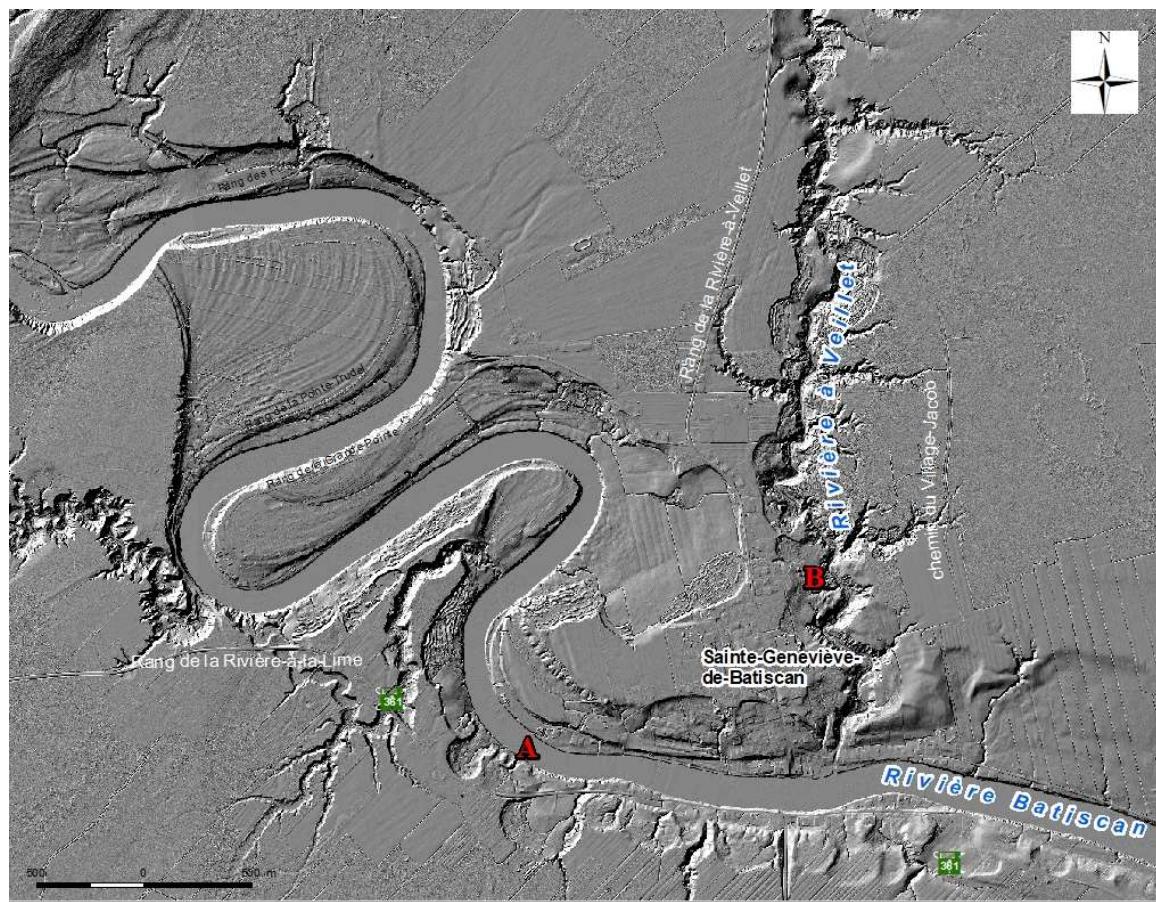
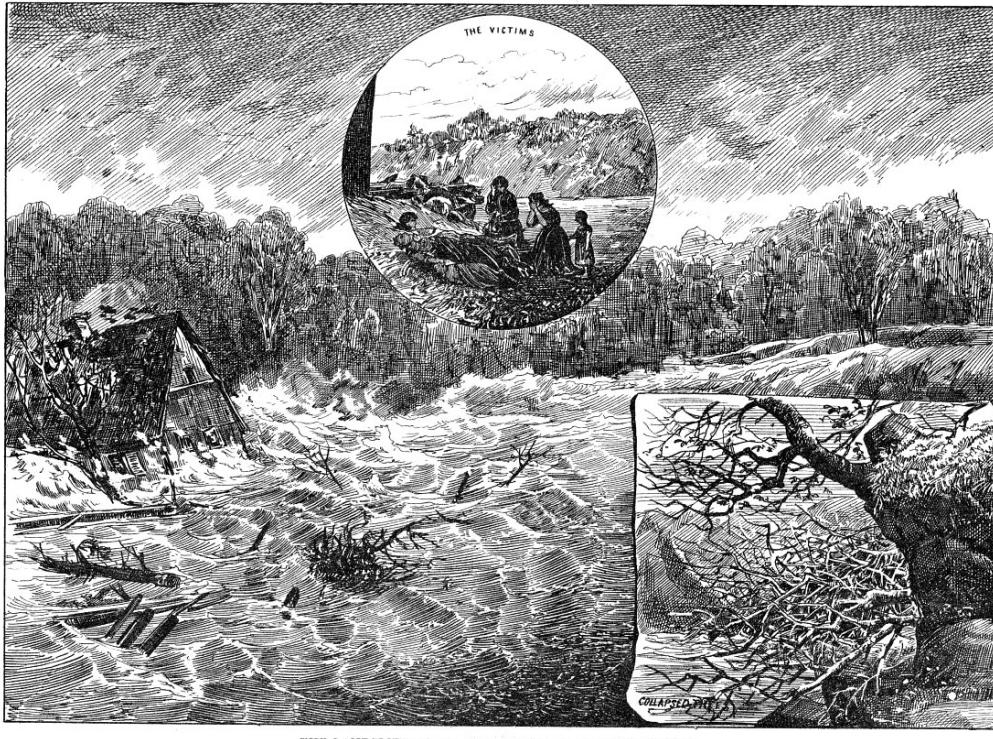


Figure 1 : Localisation générale de l'arrêt 2 à Sainte-Geneviève-de-Batiscan. A : Secteur de la rue des Brumes. B : Secteur de la rivière à Veillet.

Le parcours inférieur de la rivière Batiscan et celui de la rivière à Veillet se font essentiellement au travers des sédiments argileux de la mer de Champlain. Leurs berges sont festonnées de nombreuses cicatrices de glissements fortement rétrogressifs, dont au

moins huit sont des cas historiques (tableau 1). Parmi ces huit événements historiques, aucun ne s'est produit le long de la rivière Batiscan et c'est la rivière à Veillet qui a enregistré la grande majorité de ceux-ci. Le cas le plus ancien répertorié date de 1870, le long de la rivière Champlain, et provoqua 4 décès et 3 blessés (Lamontagne et al., 2007). Le plus grand d'entre eux s'est produit le 1^{er} mai 1877 causant 5 morts et 4 blessés lorsqu'une vague de 9 m de haut créée par le glissement vient percuter un moulin plus bas sur la rivière (figure 2). Les autres glissements survenus le long de ce cours d'eau ne sont pas aussi dramatiques, mais les autorités municipales et provinciales doivent intervenir à plusieurs reprises pour débloquer le ruisseau et pour niveler les terrains affectés (figure 3). Le ruisseau Marchand est moins actif, mais un étalement survenu le 9 août 1939 (Therrien et al., 2025a) cause sensation dans les journaux par la présence de témoins qui prennent le temps de bien décrire le phénomène observé. C'est ainsi qu'Alphonse Massicotte décrit ce qu'il a vu dans le journal *La Patrie* du 11 août 1939 : « C'est comme si elle avait fondu [la colline]. Et puis, elle s'est mise à glisser vers le chemin, elle fut obstruée un moment par un ponceau en ciment. Les vagues de boue et de terre glaise se mirent alors à s'amonceler sur une grande hauteur, deux fois par-dessus la grange, et bientôt le ponceau fut emporté et tout alla se jeter dans la rivière à 200 pieds (61m) plus bas. » (Figure 4) Toutefois, les cicatrices les plus importantes se trouvent le long de la rivière Batiscan, dont la plus grande, située juste au nord du village de Sainte-Geneviève-de-Batiscan, possède une superficie de l'ordre de 45 ha (figure 1).



*Figure 2 : Représentation du glissement de terrain du 1^{er} mai 1877 et de ses conséquences dans le journal *L'Opinion publique* du 24 mai 1877.*



Figure 3: Dans les années 1940, un programme du ministère de l'agriculture permet le prêt d'équipement moderne aux cultivateurs pour optimiser la surface cultivable et le nivelage du glissement du 13 mai 1939 sert de test pour cette politique publique. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, E6, S7, SS1, D2, P381.



Figure 4 : À peine trois mois après un glissement de 6 hectares le long de la rivière à Veillet, un autre glissement fortement rétrogressif survient à Sainte-Geneviève de Batiscan, le long du ruisseau Marchand. Collections de l'Université Laval, photo 1653.

Tableau 1 : Liste des cas historiques de glissements fortement rétrogressifs dans la municipalité de Sainte-Geneviève-de-Batiscan.

Date	Cours d'eau	Type	Superficie (ha)	Victimes
1870-10-25	Riv. Champlain	Coulée argileuse	4,2	4 décès, 3 blessés
1877-05-01	Riv. à Veillet	Coulée argileuse	8,1	5 décès, 4 blessés
1902-04-07	Riv. à Veillet	Étalement	4,5	Aucune
1927-08-16	Riv. à Veillet	Étalement	1,1	Aucune
1939-05-13	Riv. à Veillet	Étalement	6,0	Aucune
1939-08-09	Ruis. Marchand	Mixte	5,3	Aucune
1959-11-07	Ruis. Marchand	Coulée argileuse	0,5	Aucune
2017-04-10	Riv. à Veillet	Coulée argileuse	0,7	Aucune

En raison de ses nombreux cas historiques, la municipalité de Sainte-Geneviève-de-Batiscan se classe en deuxième place des municipalités au Québec, à égalité avec celle de Saint-Léon-Le-Grand, parmi celles qui en ont enregistré le plus grand nombre. Celle en première place, avec 9 cas, est le village voisin de Saint-Luc-de-Vincennes.

Une autre particularité du secteur de Sainte-Geneviève-de-Batiscan est la présence de cicatrices de GFR de 2^{ème} génération. Celles-ci se reconnaissent bien sur les levés lidars par la présence d'une cicatrice qui recoupe des plus anciennes, en présentant un plancher plus bas, comme on peut le voir sur les deux exemples de la figure 5.

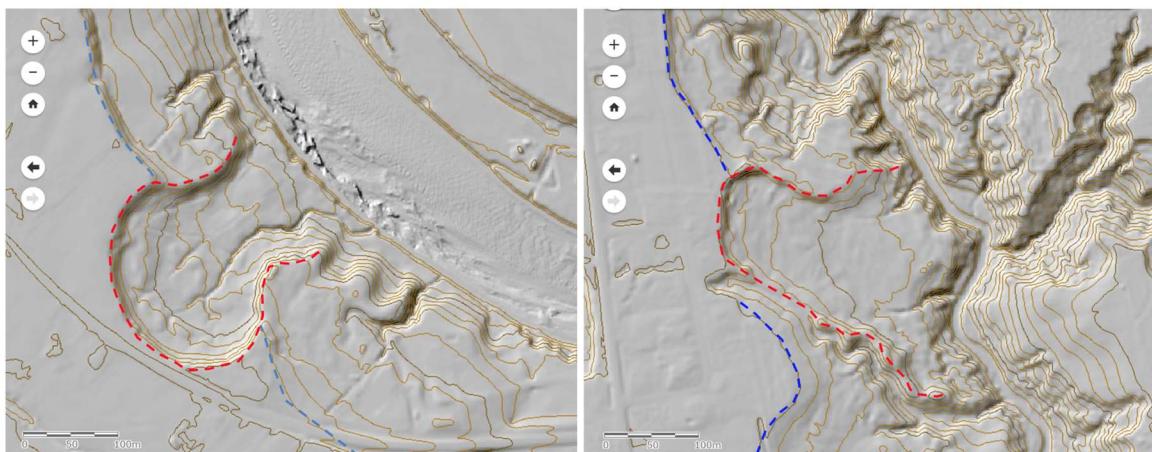


Figure 5 : Exemples de cicatrices de 1^{ère} (ligne bleu) et 2^{ème} génération (ligne rouge). À gauche : rivière Batiscan. À droite : rivière à Veillet.

Arrêt 2A : Secteur de la rue des Brumes – rivière Batiscan

En novembre 2016, un glissement de terrain de type rotationnel profond a été signalé en bordure de la rivière Champlain, le long du rang des Lahaie, dans la partie ouest de la municipalité de Sainte-Geneviève-de-Batiscan (secteur non représenté à la figure 1). Survenu dans un talus d'une hauteur d'environ 22 m, celui-ci était bordé de chaque côté par des zones fissurées s'étendant sur quelques dizaines de mètres de longueur. Ce site se trouvait à environ 350 m en amont du cas historique de 1870. De plus, plusieurs cicatrices d'anciens glissements fortement régressifs étaient visibles à proximité, dont certaines présentaient des distances de régression mesurant jusqu'à 160 m, et dont une avait une superficie de près de 10 ha. Un sondage réalisé au site en question, dans les jours suivant l'événement, confirma la présence d'argile sensible, avec des indices de liquidité variant de 1,2 à 1,9 jusqu'à 16 m de profondeur.

Anticipant la possibilité que se déclenche éventuellement un important glissement fortement régressif à partir de ce site, il fut recommandé de procéder à l'évacuation d'une résidence située à environ 145 m de la zone d'amorce potentielle. Les propriétaires des lieux se firent offrir alors par la municipalité une série de terrains où ils pouvaient se relocaliser de façon sécuritaire, sur la base de la cartographie des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain produite par le ministère des Ressources naturelles (MRN) dans les années 1980 pour le secteur. Soucieux de ne pas revivre les mêmes désagréments dans le futur, les propriétaires s'enquirent tout de même de la sécurité des sites préférés qu'ils avaient retenus, auprès du ministère de la Sécurité publique (MSP). Le mandat fut alors confié au MTMD pour analyser la situation en détail.

Un des terrains vacants en question se trouvait sur la rue des Brumes, dans un secteur localisé sur une plaine alluviale haute de quelques mètres par rapport au niveau moyen de la rivière. Bien que ce site n'était pas lui-même en danger d'être emporté par un éventuel glissement de terrain fortement régressif, il y avait une zone d'amorce potentielle pour ce genre d'aléa sur la berge opposée, qui avait été identifiée sur la cartographie des années 1980 (figure 6). Or, la cartographie de cette époque ne délimitait pas les zones qui pouvaient être frappées et ensevelies par les débris de glissement fortement régressif, alors que la question pouvait justement se poser pour ce site de la rue des Brumes. Une étude géotechnique détaillée fût donc entreprise, d'une part pour vérifier les propriétés des sols au point d'amorce sur la rive opposée, et d'autre part, pour évaluer si les débris d'un éventuel GFR pouvaient être dommageables pour le secteur de la rue des Brumes, où étaient d'ailleurs déjà installées quelques résidences permanentes (figure 6).

Les résultats des sondages et forages effectués sur la rive opposée confirmèrent que les sols argileux constituant le talus étaient bel et bien propices à développer des GFR, ce qui était prévisible en raison des nombreuses cicatrices de tels mouvements dans le secteur (figure 6). Selon le forage 26026, situé en sommet de talus, les indices de liquidité varient entre 1,3 et 1,6 sur toute la colonne argileuse composant la berge (figure 7). Et bien que le point d'amorce potentiel soit situé à l'intérieur d'une ancienne cicatrice de première génération, la partie du talus situé directement en bordure de la rivière, constituée d'argile intacte, avait encore une hauteur (environ 14 m) et une inclinaison « critique », considérant

les propriétés de l'argile. De plus, la base du talus montrait des signes d'érosion active (figure 8).

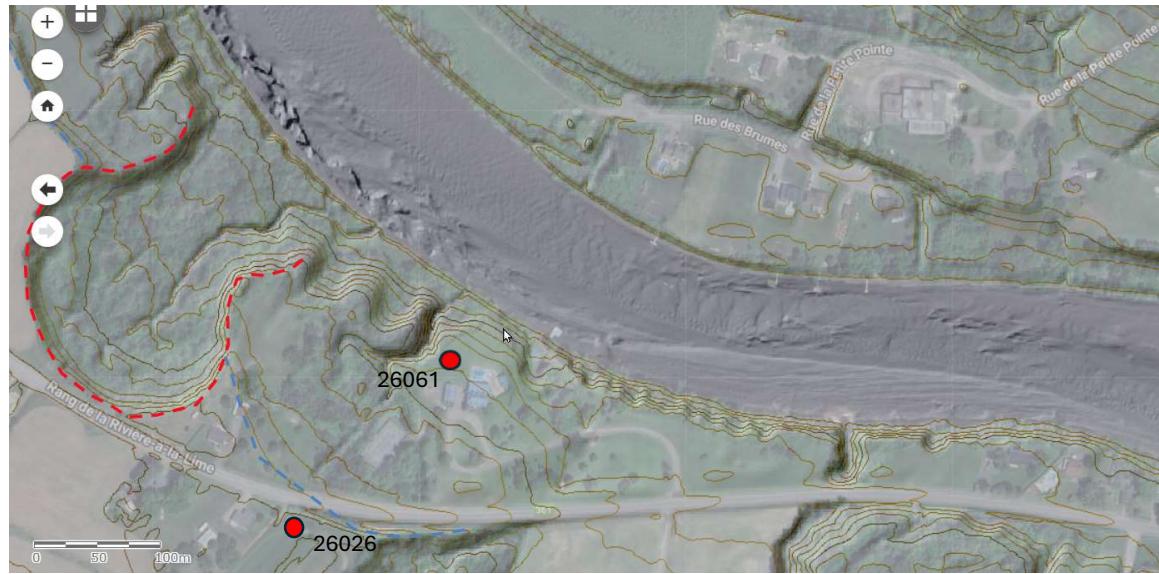


Figure 6 : Localisation du secteur de la rue des Brumes et du point d'amorce potentiel sur la rive opposée de la rivière Batiscan, où pointe la flèche blanche. La bathymétrie montre la présence d'un chenal sous-aquatique plus profond dans la courbure externe du méandre. Les points rouges localisent les sondages effectués pour l'étude. Les isocontours sont espacés aux 2 m.

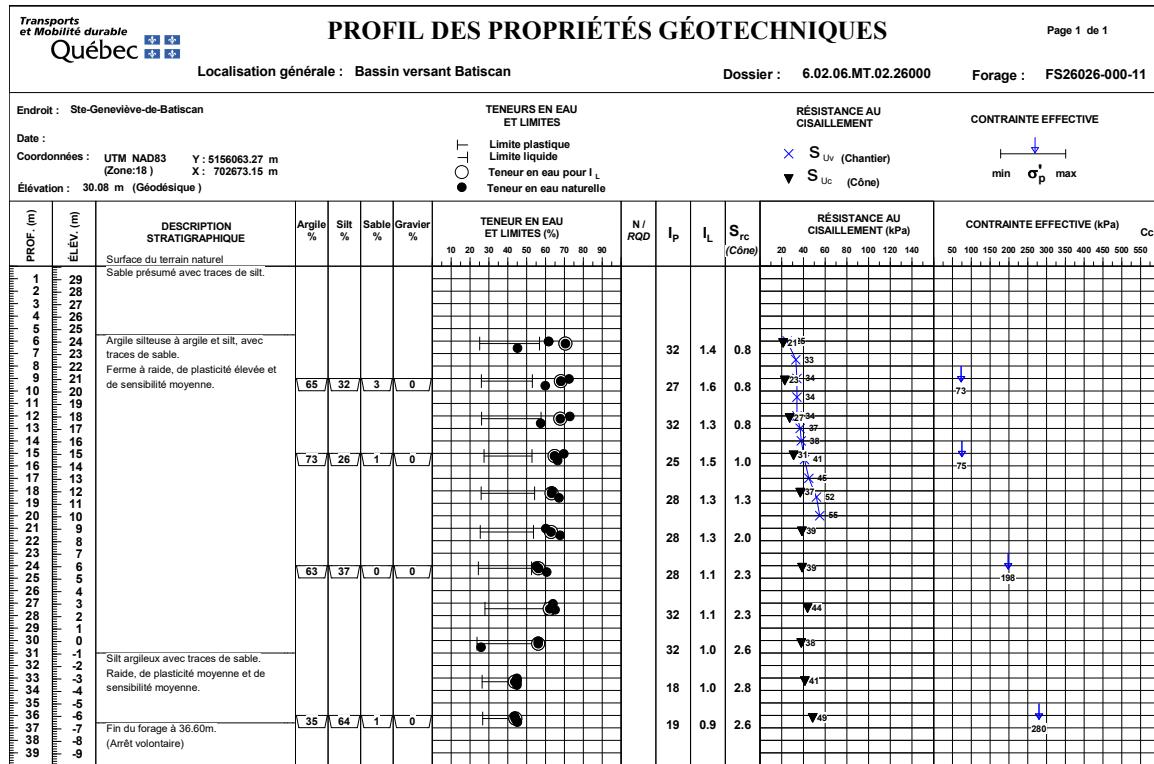


Figure 7 : Profil géotechnique du forage 26026, situé en sommet de talus de la berge opposée à la rue des Brumes (localisation sur la figure 6).



Figure 8 : Vue héliportée de la berge en face de la rue des Brumes, montrant des signes d'érosion active à la base.

Concernant la question de la propagation des débris, deux analyses furent entreprises afin d'évaluer la dangerosité pour les terrains situés sur la plaine alluviale de la rue des Brumes, en face du point d'amorce. À cet endroit, une distance d'environ 110 m sépare les deux berges. Selon l'approche empirique présentée par Turmel et al. (2018), la situation semblait effectivement préoccupante puisque la berge près de la rue des Brumes avait une hauteur un peu inférieure à l'épaisseur moyenne des débris compilée pour des coulées argileuses historiques ($0,2H_{\text{totale}}$ – Demers et al. 2014). Par conséquent, une simulation numérique fût entreprise pour raffiner le diagnostic, en suivant le modèle et l'approche présentée par Turmel et al. (2017a, 2017b), laquelle considère aussi le danger de tsunami provoqué par les débris pénétrant dans le cours d'eau. Locat J. et al. (2016, 2017) ont en effet rapporté des cas de tsunami associés à des glissements de terrain fortement rétrogressifs au Québec, dont notamment celui très meurtrier survenu dans un contexte similaire au site de la rue des Brumes lors du sinistre de Notre-Dame-de-la-Salette en 1908.

Les figures 9 et 10 illustrent une partie des résultats de cette analyse numérique (Turmel et Locat, A. 2020), qui confirmait que le secteur de la rue des Brumes était effectivement potentiellement en danger. Les modélisations ont été effectuées dans deux logiciels différents, soit un logiciel en 2D tenant compte de la vitesse de rétrogression potentielle des glissements, et un logiciel en 3D tenant compte de la présence de l'eau dans la rivière, permettant de simuler la vague d'impulsion (tsunami) créée par la masse de débris entrant dans la rivière. Ces simulations ont tenu compte de deux scénarios de volume potentiels, et ont fait varier les propriétés rhéologiques moyennes des matériaux, tout en tenant compte de l'énergie nécessaire au remaniement de l'argile, afin de déterminer l'étendue possible des débris et de la vague. Les résultats obtenus ont montré que pour la plupart des simulations d'un petit glissement potentiel, les débris iront s'adosser à la rive opposée bloquant ainsi la rivière, ou iront s'étendre sur la rive opposée, et ce autant en 2D qu'en 3D. Les distances de

parcours modélisés ne sont pas identiques en 2D et en 3D, et cela pourrait entre autres être dû à l'impact de l'eau sur la propagation des débris dans les cas 3D (figure 10). Les mêmes conclusions s'appliquent aussi pour le cas d'un grand glissement potentiel, qui a un volume plus élevé ainsi qu'une énergie moyenne plus élevée. Dans ce cas-ci, avec les paramètres moyens, les débris iraient recouvrir la rive opposée, et la vague produite atteindrait également la terrasse située à une élévation plus élevée.

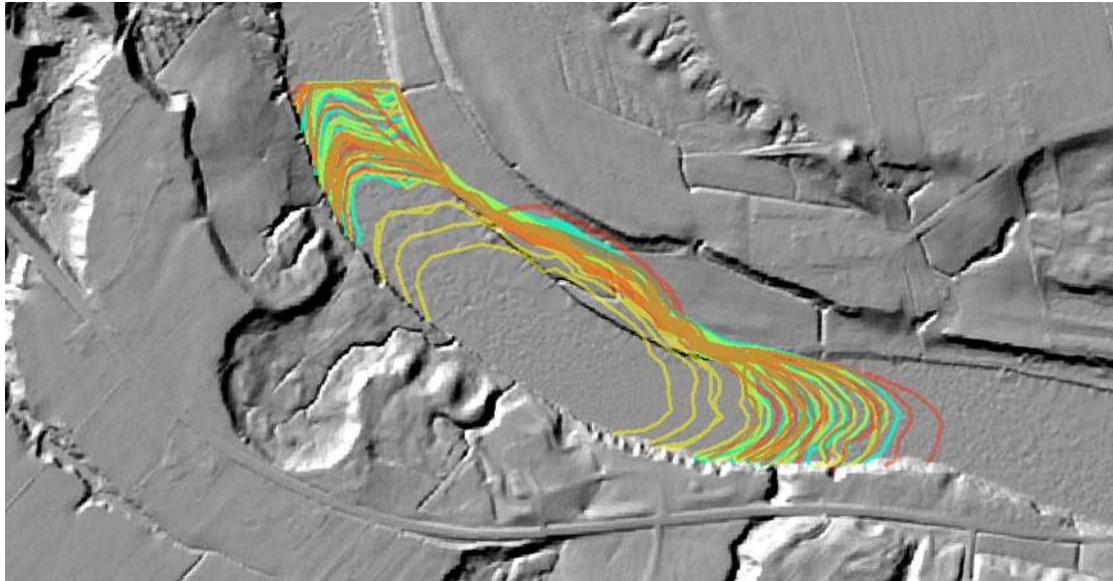


Figure 9 : Résultats de l'ensemble des modélisations 2D effectuées pour le cas du glissement fortement rétrogressif le plus petit des deux scénarios anticipés (comparable à celui de 2^{ème} génération juste au nord-ouest). Les lignes de différentes couleurs illustrent les distances que pourraient atteindre les débris en faisant varier la valeur du seuil d'écoulement, de l'énergie nécessaire pour remanier le matériel et de la vitesse de régression.

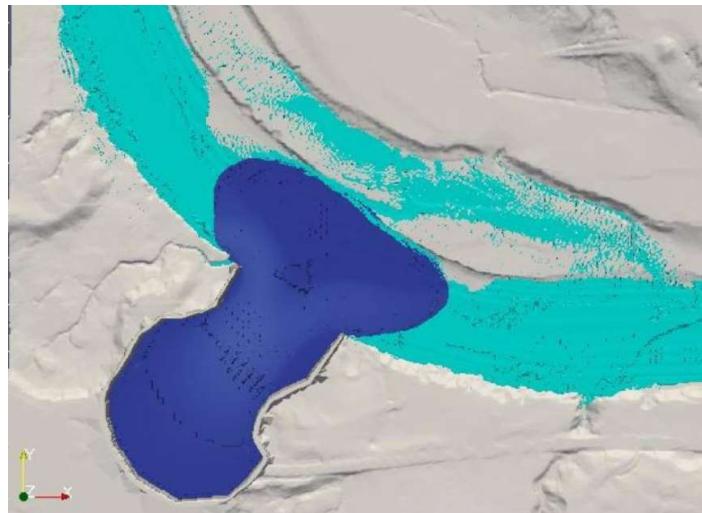


Figure 10 : Résultats pour un seuil d'écoulement de 750 Pa et un F_{ER} de 0.1 pour la modélisation 3D du scénario du plus petit glissement. La simulation montre que l'eau, représentée en bleu pâle, pourrait atteindre et inonder la majeure partie de la plaine alluviale de la rue des Brumes lorsque poussée par les éventuels débris du glissement.

Bien que le propriétaire préoccupé ne retînt pas finalement le site de la rue des Brumes pour se relocaliser, le problème restait présent pour les résidences déjà construites dans ce quartier. Diverses solutions furent analysées pour contrecarrer ces risques, dont la construction d'une parade en bordure de la plaine alluviale pour dévier d'éventuels débris de glissement ou un tsunami. Un tel ouvrage aurait coupé l'accès des riverains à la rivière.

La solution retenue fût plutôt de stabiliser le talus potentiellement instable sur la rive opposée, étant donné qu'il était le seul pouvant menacer le secteur de la rue des Brumes et qu'il nécessitait des travaux d'envergure mineure considérant sa faible longueur (environ 60 m de berges à protéger – figure 6). Les travaux ont donc consisté à la mise en place d'un enrochement au pied du talus problématique, jouant du même coup un rôle de contrepoids et de protection contre l'érosion (figure 11). La figure 12 donne les résultats des calculs de stabilité pour l'ouvrage retenu.

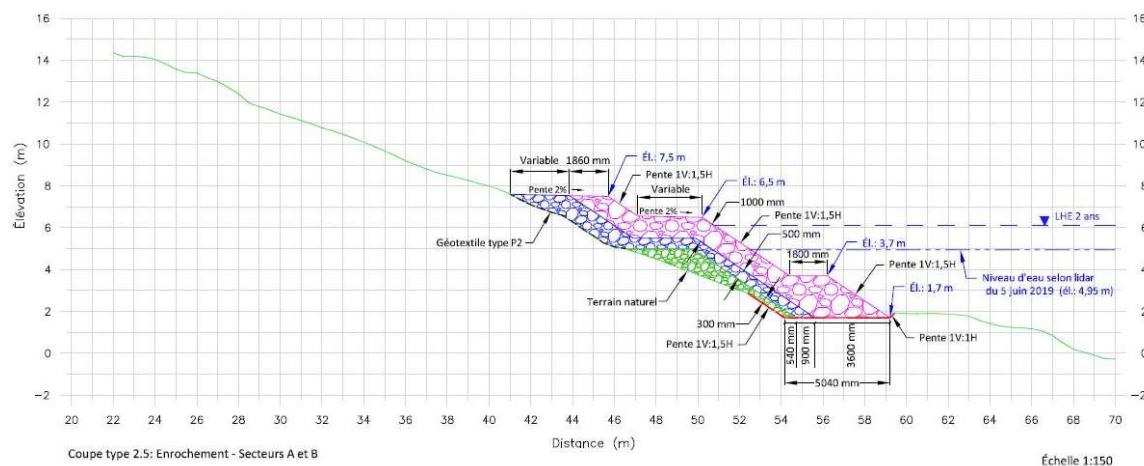


Figure 11 : Coupe-type de l'enrochement en bordure de la rivière Batiscan. Note : la figure ne montre que la demie inférieure du talus.

Bien que ces travaux d'enrochement présentaient peu de défis au point de vue géotechnique, leur réalisation a néanmoins rencontré des contraintes d'un point de vue environnemental. Des précautions et mesures particulières ont dû être mises en place afin de tenir compte des caractéristiques hydrauliques et fauniques du site, de manière à obtenir les autorisations environnementales. D'une part, lors de la caractérisation faunique et floristique du site, celui-ci a été identifié comme un habitat pour plusieurs espèces, incluant notamment une moule d'eau douce dont le statut est *en voie de disparition ou menacée* au niveau de la *Loi sur les espèces en péril*. Pour cette raison, Pêches et Océans Canada a exigé que soit réalisé, dans l'été précédent les travaux d'empierrement, un inventaire et une relocalisation par un spécialiste de l'espèce.

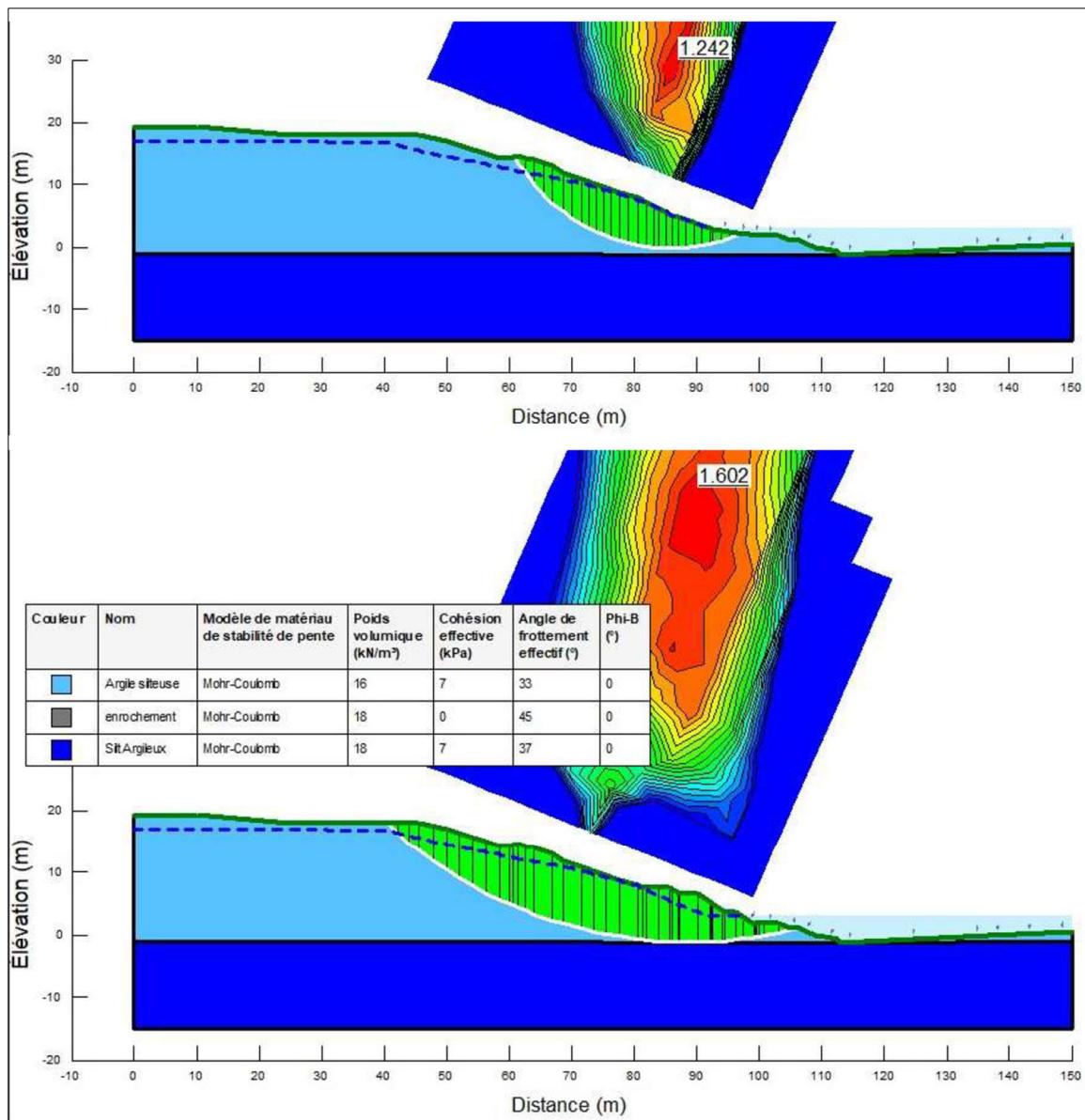


Figure 12 : Calcul de stabilité pour le talus naturel (image du haut) et pour le talus avec enrochement à la base (image du bas).

D'autre part, une problématique d'embâcle de glace connue pour ce secteur de la rivière Batiscan a nécessité de revoir la conception afin de modifier la géométrie du contre-poids stabilisateur. En effet, la distance d'empietement de l'ouvrage dans la rivière mesurée à l'élévation de la ligne des hautes eaux (LHE) de récurrence 2 ans a été réduite au maximum, puisque c'est cette valeur qui est prise en compte dans l'analyse de l'impact de l'ouvrage sur la problématique d'embâcle. La figure 13 montre les travaux en cours pendant leur phase finale et après leur achèvement.



Figure 13 : Travaux de stabilisation en face de la rue des Brumes, sur la rivière Batiscan. À gauche : en cours de réalisation. À droite : 11 mois après la fin des travaux.

Finalement, la réalisation de cet ouvrage de stabilisation a permis de retirer de la cartographie la zone potentiellement exposée aux glissements de terrain qui avait été identifiée dans les années 1980, protégeant non seulement les résidents de la rue des Brumes, mais aussi la route sur la rive opposée qui était en danger potentiel d'être emportée par une 2^{ème} génération de GFR. Ces travaux ont libéré du même coup quelques terrains potentiellement constructibles, ce qui représentait aussi un avantage pour la municipalité.

Arrêt 2B : Secteur de la Rivière à Veillet

Parmi les sites de relocalisation que la municipalité de Sainte-Geneviève-de-Batiscan avait proposés à la suite du glissement survenu en 2016 le long du rang des Lahaie, il s'en trouvait un autre qui était situé plus près du cœur du village, près du ruisseau appelé *Rivière à Veillet* (figure 14A). Le zonage des années 1980 n'avait pas identifié de zone potentiellement exposée à des glissements fortement rétrogressifs à cet endroit, bien que les talus aient des hauteurs de l'ordre de 18 m dans ce secteur. Le site proposé se trouvait en fait à l'intérieur d'une ancienne cicatrice de glissement fortement rétrogressif qui s'était produit au niveau d'une berge dont la hauteur totale initiale était de 26 m. La présence de cette cicatrice explique peut-être pourquoi les gens responsables de la cartographie à cette époque n'avaient pas cartographié de zone au-delà d'une bande de protection égale à deux fois la hauteur du talus actuel.

Or, les récentes données lidars ont permis de mettre en évidence la présence d'anciens glissements fortement rétrogressifs de 2^{ème} génération dans le secteur (voir l'image de droite à la figure 5). Par ailleurs, un sondage au piézocône effectué récemment à l'intérieur de l'ancienne cicatrice de 1^{ère} génération au site considéré a permis de détecter sa surface de rupture à environ 8,7 m de profondeur, soit environ 11,3 m au-dessus du niveau actuel de l'eau de la *Rivière à Veillet* (figure 14B). Selon les échantillons prélevés dans le forage adjacent au piézocône, les anciens débris ont des indices de liquidité qui varient de 1,3 à 2,0, alors que l'argile intacte sous-jacente, située au-dessus du niveau de la rivière, a des indices

de liquidité compris entre 1,1 et 1,2 et des valeurs de sensibilité entre 26 et 30. Bien que cette unité d'argile intacte ne présente pas les caractéristiques nécessaires au développement de coulée argileuse, ces valeurs pourraient néanmoins être possiblement suffisantes pour que s'y développe un étalement (Leroueil et al, 2025; Therrien et al, 2025b). De plus, des observations récentes ont montré que le pied des talus dans ce secteur subissait une érosion active par la rivière (figure 15), qui contribue à diminuer progressivement la stabilité globale de la pente.

Cette analyse préliminaire a conduit, d'une part, à ne pas recommander cet autre site proposé par la municipalité et, d'autre part, à revoir la cartographie du secteur considérant la présence de nombreux bâtiments existants situés à proximité. Les données de deux autres forages réalisés à l'intérieur des limites du village (26026 et 26040) ont ainsi montré que l'argile y était même plus sensible, avec des indices de liquidité compris entre 1,3 et 1,8, et des résistances au cisaillement à l'état remanié variant entre 0,2 à 0,8 kPa dans les deux tiers supérieurs du dépôt argileux, rendant celui-ci propice à des coulées argileuses.

Ces données géotechniques plus détaillées du secteur, combinées aux observations de terrain montrant une érosion active et parfois très sévère du pied des talus, ainsi que le contexte historique du cours d'eau, où sont survenus cinq événements de GFR depuis 1870, ont mené à la conclusion que des travaux préventifs de stabilisation des berges dans le secteur du village étaient pertinents.

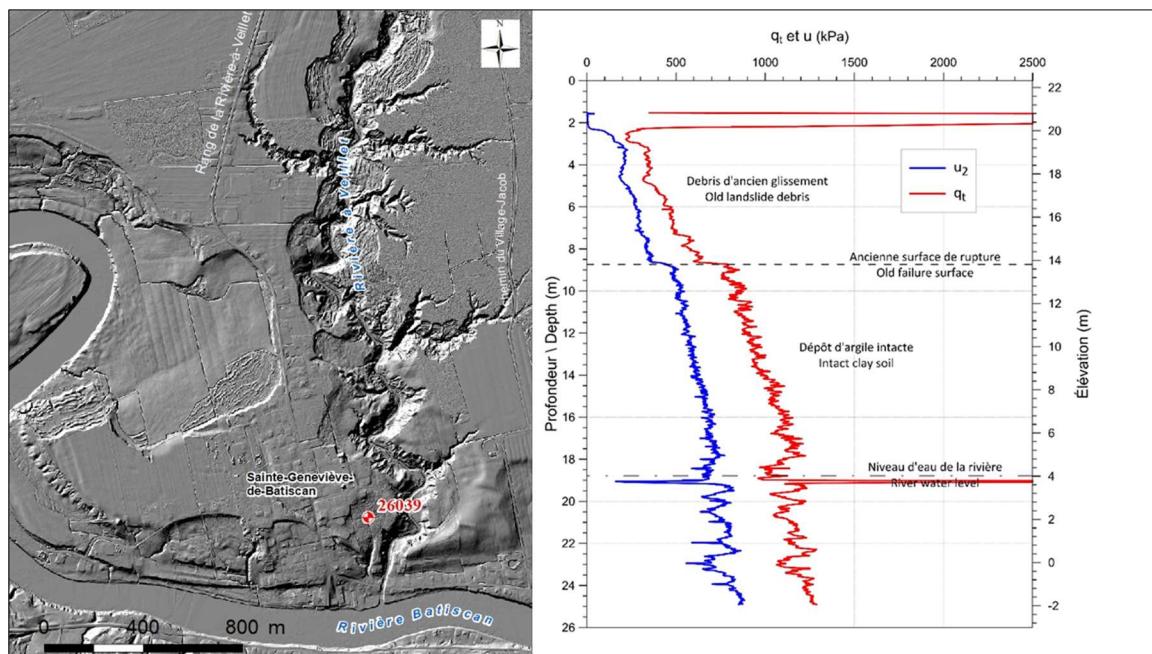


Figure 14 : A (à gauche) - Localisation du secteur de la Rivière à Veillet et du sondage 26039. B (à droite) : Profil du sondage au piézocône 26039.



Figure 15 : Vue de l'érosion au pied des talus longeant la Rivière à Veillet à proximité du village de Sainte-Geneviève-de-Batiscan. Hauteur totale : 26 m. (Source : MTMD – 2017).

La *Rivière à Veillet* pose toutefois des défis importants pour la réalisation de travaux de stabilisation en raison de sa configuration se rapprochant de celle d'un ravin : pentes très escarpées, cours d'eau étroit, plaine alluviale « sporadique », pente longitudinale du talweg prononcée, érosion active sur l'ensemble de son parcours.

Par ailleurs, par souci d'amélioration des façons de faire et pour diminuer le plus possible l'impact environnemental, le site de la *Rivière à Veillet* a été choisi comme projet pilote dans le but de devenir un modèle pour les projets de stabilisation qui se feront dans le futur. À cet effet, une caractérisation initiale pour mesurer différents aspects du cours d'eau (indices de qualité de l'eau, conditions hydrauliques à l'étiage, etc.) est prévue tout juste avant la réalisation des travaux. Un suivi sera ensuite instauré au fil des années dans le but de connaître et de quantifier les impacts des travaux sur le milieu à plus long terme. La caractérisation ainsi que le suivi à long terme sont effectués par un comité multidisciplinaire au sein du MTMD composé des Directions de la géotechnique et de la géologie (DGG), de l'hydraulique (DH) et de l'environnement (DEnv).

Par ailleurs, pour faciliter l'obtention des certificats d'autorisation (CA) environnementaux qui seront nécessaires pour la réalisation des travaux, le design des travaux est fait en concertation avec les différents intervenants de l'équipe multidisciplinaire : la DGG s'occupe du dimensionnement géotechnique, la DH du dimensionnement hydraulique et la DEnv d'inclure des propositions de concepts auto-compensatoires en environnement. Cette approche multidisciplinaire a pour but d'intégrer, dès le départ, plusieurs éléments qui contribueront à renforcer la valeur environnementale du projet.

Pour l'instant, le design est à un stade embryonnaire. Un concept de stabilisation combinant les aspects géotechniques et hydrauliques a été retenu au niveau du cours d'eau principal sur 1750 m de longueur. Ceci ne comprend pas les transitions en amont et en aval du secteur à protéger, ni l'enrochement au niveau des petits cours d'eau tributaires à la Rivière à Veillet.

En bref, le concept choisi est typique de ce contexte géomorphologique (Demers et al., 2025) et consiste en un rehaussement du lit du cours d'eau sur une hauteur de 1,5 m, jumelé à la mise en place d'un contrepoids au niveau des berges dont la stabilité a été jugée précaire. Le concept varie en fonction de la présence des plaines alluviales sporadiques tout le long du parcours des travaux. Aux endroits où une plaine alluviale est présente, le contrepoids est appliqué sur une seule berge et la plaine alluviale est protégée contre l'érosion par un enrochement encastré (coupe type 1, figure 16). Ailleurs, où les 2 rives correspondent à des talus à stabilité précaire ou si la géométrie du cours d'eau est trop étroite, le contrepoids en enrochement est nécessaire de chaque côté du cours d'eau (coupe type 2, figure 16). Les figures 17 à 20 montrent les résultats des calculs de stabilité pour l'ouvrage retenu.

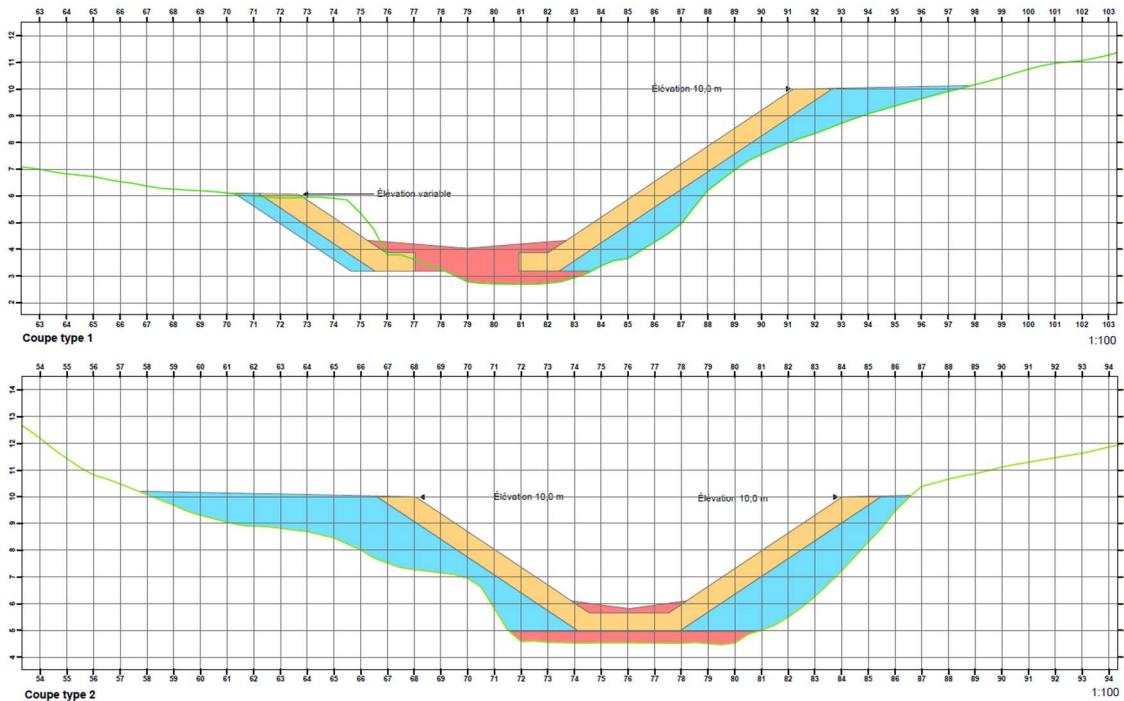


Figure 16 : Coupes types du design choisi pour les travaux de prévention de la Rivière à Veillet. Coupe type 1(en haut) : contrepoids au niveau d'une rive avec protection contre l'érosion encastrée en rive opposée. Coupe type 2(en bas) : contrepoids en enrochement au niveau des deux rives. Les trames en bleu correspondent à de la pierre tout-venant, en rouge à un mélange à granulométrie étalée et en orange à de la pierre de carapace.

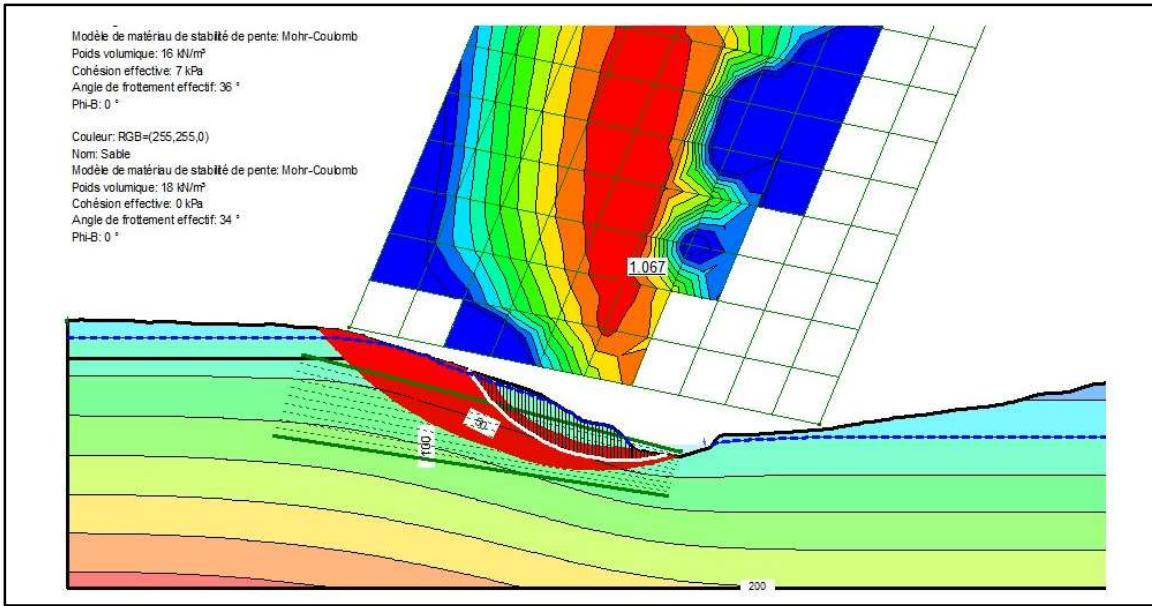


Figure 17 : Calcul de stabilité au niveau d'un talus à stabilité précaire avec présence d'une plaine alluviale sur la rive opposée.

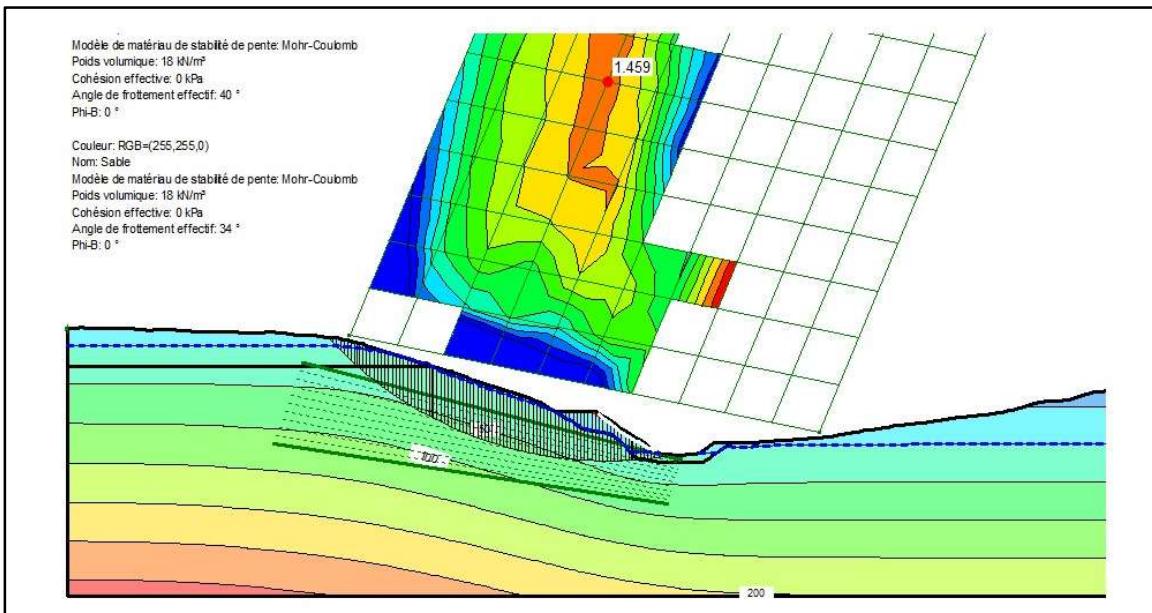


Figure 18 : Calcul de stabilité pour vérifier le gain de la mise en place du concept de stabilisation choisi au niveau d'un talus à stabilité précaire avec présence d'une plaine alluviale sur la rive opposée.

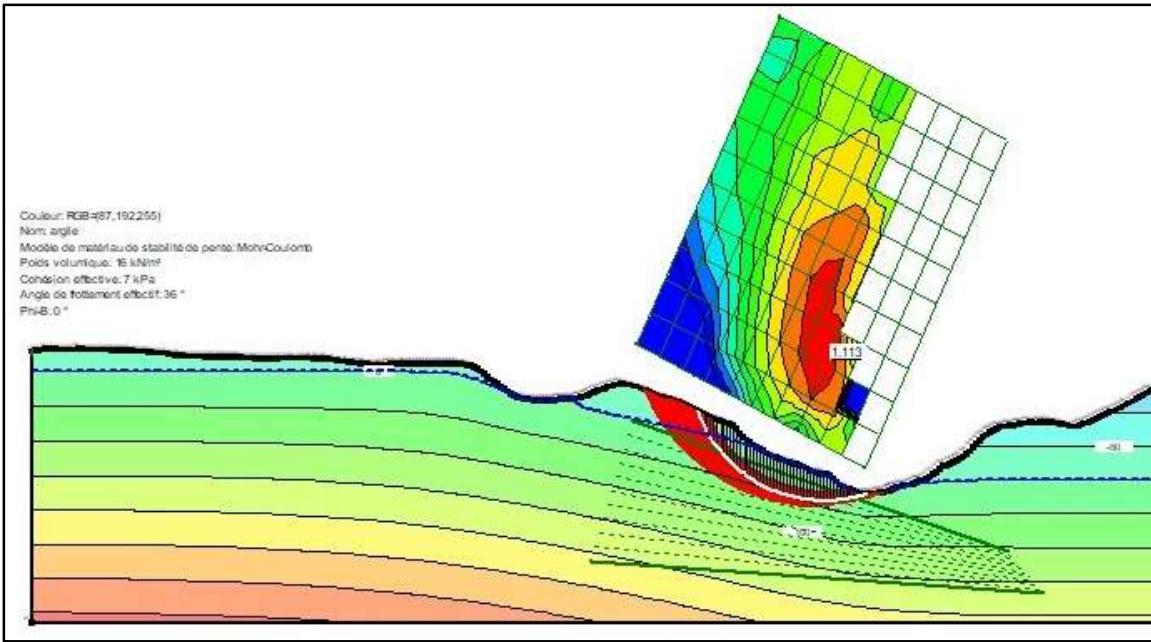


Figure 19 : Calcul de stabilité au niveau d'un talus à stabilité précaire sans la présence d'une plaine alluviale sur la rive opposée.

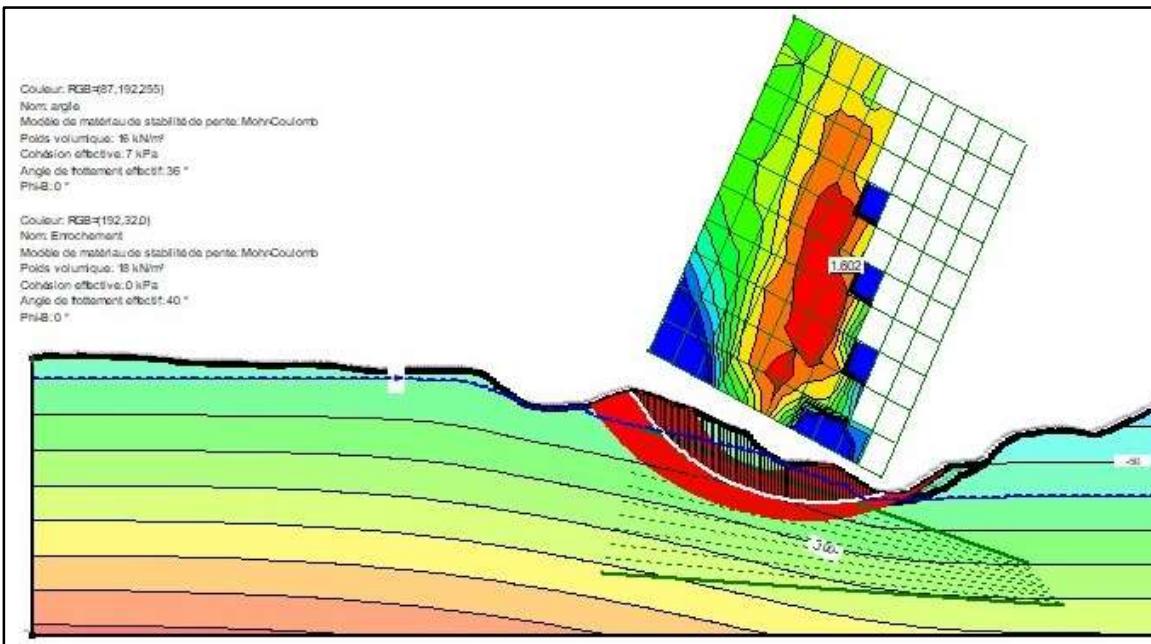


Figure 20 : Calcul de stabilité pour vérifier le gain de la mise en place du concept de stabilisation choisi au niveau d'un talus à stabilité précaire sans la présence d'une plaine alluviale sur la rive opposée.

Actuellement, le projet est rendu à l'étape d'impliquer plus activement les membres du comité multidisciplinaire de la DEnv, afin d'inclure au design les éléments qui serviront à augmenter sa valeur environnementale. Voici donc une liste de mesures qui ont été décidées ou qui sont actuellement à l'état de discussion concernant les efforts environnementaux qui sont faits dans le but d'optimiser le projet :

- Utilisation d'un mélange à granulométrie étalée pour le fond du lit reconstitué pour éviter les pertes d'eau au travers de l'ouvrage (matériel en rouge, figure 16);
- Utilisation des barrières d'argile enfouies dans le design (figure 21), selon les recommandations hydrauliques afin de permettre à l'eau qui pourrait s'infiltrer dans l'enrochement de refaire surface. Cette méthode est inspirée de travaux similaires réalisés en Norvège (L'Heureux et al., 2025);
- Utilisation de technique du génie végétal pour contrôler l'érosion aux endroits où la réserve de stabilité du talus est suffisante pour éviter d'enrocher les berges qui ne le nécessitent pas;
- Laisser le rehaussement du lit former une retenue d'eau à l'extrémité amont de la zone à stabiliser pour éviter de devoir mettre en place une longue transition en enrochement pour rejoindre le niveau du lit du cours d'eau et donc de limiter la superficie enrochée;
- Des rencontres de travail à l'interne entre la DGG, la DH et la DEnv sont prévues pour l'optimisation de la transition aval et le choix des concepts d'enrochement à utiliser au niveau des affluents de la Rivière à Veillet, ainsi que des aménagements particuliers à inclure au projet qui pourront servir à des fins d'auto-compensation environnementale.

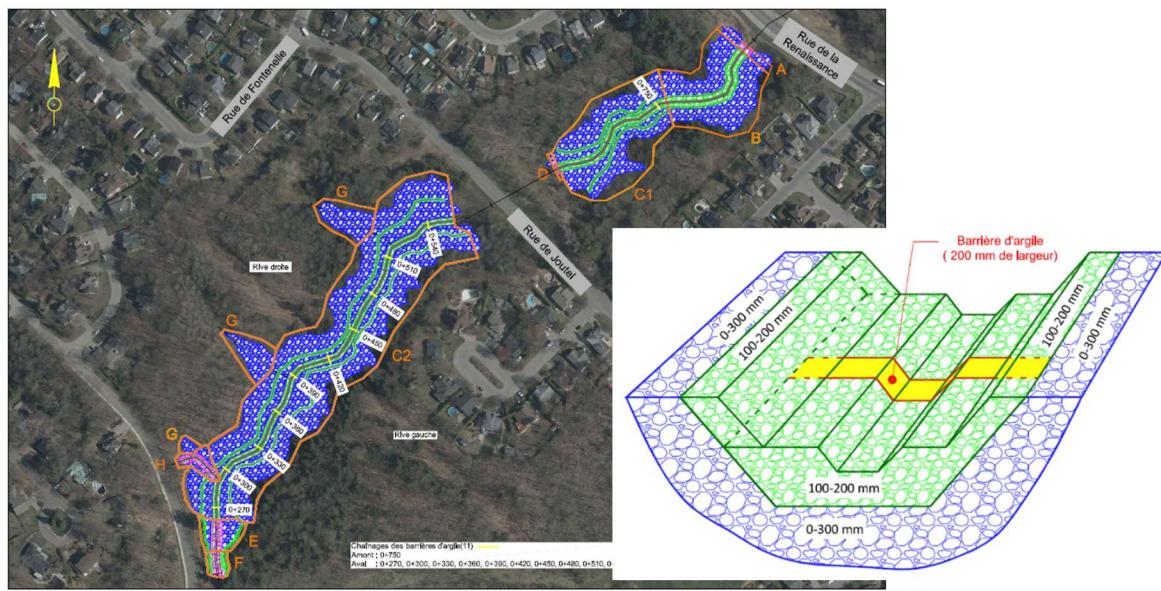


Figure 21 : Concept de « barrières » en argile pour créer plusieurs seuils le long du design, afin de s'assurer que de l'eau circule sur le lit du cours d'eau et ce, à longueur d'année (exemple d'un projet MTMD déjà réalisé dans le passé).

ARRÊT 3 : Glissement de terrain de 1955 à Nicolet

Historique du site

La ville de Nicolet est située dans une région où de nombreux glissements de terrain se produisent depuis sa fondation en 1672. Un total de 35 glissements de terrain ont été recensés entre 1851 et 1975, dont deux événements mortels : celui de 1955 et un autre en 1869 qui a causé la mort de quatre personnes.

Les origines de la catastrophe de 1955 remontent à dix ans plus tôt, lorsqu'un premier glissement de terrain, de type rotationnel, s'est produit sur le site. Dès lors, les autorités locales avaient anticipé la menace que ce glissement initial annonçait, comme le soulignait le maire dans une lettre adressée à la Commission des Eaux Courantes : « Si le lit de la rivière se change au printemps comme déjà c'est commencé, ce ne sera pas seulement le garage Fréchette qui disparaîtra, mais aussi les approches du pont Trahan, et peut-être aussi l'école appelée l'Académie Commerciale, la cathédrale et l'évêché de Nicolet. » (*Le Nouvelliste*, 12 février 1947)

À cette époque, aucune mesure n'a été prise. Ce n'est que lorsqu'un nouveau glissement de terrain, plus important que le premier, s'est produit le 25 mai 1950 que les premiers efforts pour stabiliser les berges de la rivière Nicolet ont été entrepris. Malheureusement, ces premières interventions n'ont fait qu'aggraver la situation, et c'est précisément au moment où un projet de stabilisation de la berge dans le secteur du centre-ville a été lancé que la tragédie s'est produite.

Caractéristiques du glissement de terrain

Le glissement de terrain s'est produit vers 11 h 40 le samedi 12 novembre 1955 et a duré environ sept minutes. Selon Therrien et al. (2025a), l'événement a été classé comme un glissement de terrain mixte. Le mouvement était principalement une coulée argileuse avec une composante d'étalement, comme le souligne l'étude citée.

Un témoignage publié dans *La Presse* le 14 novembre nous donne une idée précise du déroulement des événements : « *En me retournant, dit M. Brassard, je vis la terre qui commençait à dévaler. Soudain, le poste d'essence de M. Biron se mit à chanceler, puis il s'inclina et disparut. [...] Les pins du bocage se mirent à glisser vers le gouffre. Des milliers de tonnes de glaise, de terre, de pierre et de blocs de ciment dévalèrent la pente comme une véritable coulée de lave qui se serait échappée d'un volcan invisible. Puis la maison de M. Biron s'écroula, suivie bientôt par l'Académie des Frères, qui commença à se désagréger du côté sud-est. J'ai vu la terre s'affaisser pied par pied. Après que les maisons des Drs Georges-Étienne Roy et Moïse Vigneault eurent subi le même sort, tout sembla redevenir normal. Pendant deux ou trois minutes, nous n'avons absolument rien vu se produire. Nous étions encore tout à notre surprise quand, soudain, nous avons vu les murs de l'évêché s'écrouler.* »

Un aperçu du glissement de terrain et une vue de la rivière vers l'amont sont présentés dans les figures 1 et 2, respectivement. La largeur de la cicatrice a été mesurée à 125 m avec une

distance de rétrogression de 198 m. La profondeur moyenne de la surface de rupture était d'environ 10,5 m et la hauteur du talus arrière, illustrée dans la figure 3, était de 6 m.

La superficie totale affectée par le mouvement était de 21 307 m² (soit 2,1 ha), impliquant environ 160 000 m³ de matériaux déplacés. La distance de propagation des débris dans la rivière Nicolet, mesurée depuis le pied de la pente au centre du glissement, a atteint 300 m.

À l'endroit où le glissement de terrain aurait été déclenché, la hauteur totale de la pente était d'environ 16 m, et l'angle naturel de la pente avant l'événement était approximativement de 23 degrés. Des photographies aériennes prises avant et après le glissement de terrain sont présentées à la figure 4.



Figure 1 : Vue d'ensemble du glissement de terrain de 1955. Notez, sur le côté droit de la photo, le chemin menant au pied de la berge, caractérisé par une pente très abrupte. L'enrochement précédemment installé à la base de la berge est visible à l'extrémité des débris, sur le côté droit de la photo. (Source : Gouvernement du Québec)



Figure 2 : Vue du glissement de terrain en regardant vers l'amont. (Source : Canada Wide Photos)



Figure 3 : Escarpement nord-est de la cicatrice. (Source : Canada Wide Photos)

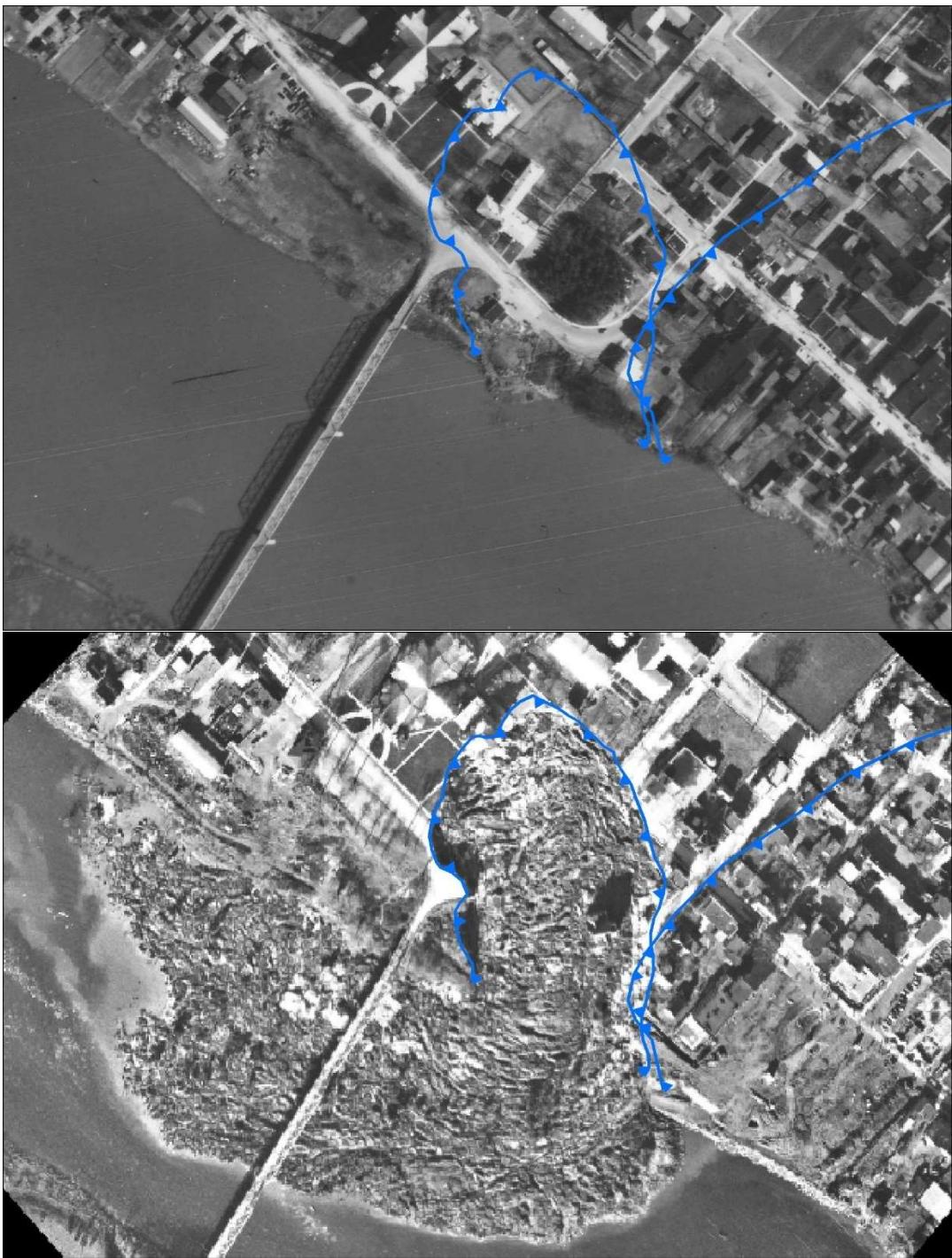


Figure 4 : Photos aériennes avant (1951) et peu après le glissement de terrain de 1955. (Source : Gouvernement du Québec)

Dommages causés par l'événement

Le glissement de terrain a eu des conséquences dévastatrices tant sur les infrastructures que sur la vie humaine. Trois personnes ont perdu la vie dans la catastrophe et quinze autres ont été blessées. Parmi les bâtiments touchés, deux maisons ont été complètement détruites, tandis qu'une troisième a glissé sur les débris, mais est demeurée intacte, comme le montrent les figures 5 et 6. Une station-service située dans la zone affectée a également été détruite (figure 7). L'Académie Commerciale a été entièrement emportée par le mouvement. Heureusement, près de 250 élèves avaient quitté les lieux environ quarante minutes avant l'événement et devaient revenir une heure plus tard pour une projection de film, évitant ainsi de justesse une tragédie encore plus grande.

De plus, une partie de l'évêché a été détruite (figure 8) et la cathédrale, bien qu'elle n'ait pas été immédiatement détruite par le glissement de terrain, a dû être démolie par la suite en raison des dommages structurels subis lors de l'événement. Les pertes totales ont été estimées entre 5 et 10 millions de dollars de l'époque, soit l'équivalent de 58,5 à 117 millions en 2025.



Figure 5 : Une maison construite sur une dalle a glissé sur les débris et est demeurée intacte.
(Source : Appartenance Mauricie, 3042-074)



Figure 6 : Maisons détruites et partiellement détruites. Comme dans la figure 1, remarquez sur le côté droit de la photo le chemin menant au pied de la berge avec une pente très raide. (Source : Canada Wide Photos)



Figure 7 : Station-service emportée par le glissement de terrain. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable)



Figure 8 : L'évêché partiellement détruit par le glissement de terrain. Notez la présence d'un pinacle en bas à droite sur la photo révélant la composante d'étalement du glissement. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable)

Rétablissement

À l'époque, les journaux évoquaient trois solutions possibles pour résoudre définitivement le problème : 1. Dévier le cours de la rivière 2. Construire un mur de soutènement d'une grande profondeur tout le long de la rivière 3. Reculer la ville d'un demi mille. La solution finalement retenue fut de combler presque entièrement le cratère. Les travaux furent achevés en juin 1957.

Cependant, la reconstruction de la route menant au pont s'est révélée plus complexe que prévu. De petits glissements de terrain se produisent pendant les travaux, mais le pont fut de nouveau accessible le 26 décembre après la catastrophe.

L'événement a poussé la ville à adopter une stratégie d'aménagement urbain et à revoir sa réglementation. Le centre-ville a été entièrement réorganisé. Les routes principales ont été élargies et l'accès au pont dégagé afin d'améliorer la fluidité de la circulation. Les bâtiments restants autour du cratère ont été soit démolis, soit déplacés. Finalement, le site de la catastrophe a été transformé en parc urbain, après avoir adouci les talus de la cicatrice du glissement de terrain et nivelé l'intérieur.

Investigations géotechniques

Au début des années 2000, afin de mettre à jour la cartographie des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain, une série de forages et d'essais in situ ont été réalisés

par le MTMD pour caractériser les sols dans et autour de la zone du glissement. Les emplacements de ces investigations sont présentés à la figure 9.

Des essais au piézocône (CPTU) ont été effectués : un au sommet de la cicatrice (C31003-001-03), présenté à la figure 10, et deux autres à l'intérieur de la cicatrice (C31001-001-03 et C31072R-000-04), illustrés aux figures 11 et 12. De plus, deux essais au scissomètre et deux forages ont été réalisés par Lefebvre (1974) à l'ouest de la cicatrice (figure 13). Deux essais au scissomètre et deux forages ont également été effectués par le MTMD du côté est de la cicatrice (F31003-002-05 et F31003R-006-05, figures 13 et 14).

La stratigraphie observée dans la zone est typique des dépôts de la mer de Champlain. Une couche superficielle de sable littoral d'environ 2 m d'épaisseur recouvre une séquence d'argile marine. Cette argile présente une variation nette de ses propriétés en fonction de la profondeur, caractéristique des argiles sensibles de la région.

La couche supérieure est constituée d'une argile silteuse homogène (environ 70 % < 2 µm), avec des traces de sable, une consistance ferme, une plasticité moyenne à élevée et une sensibilité également moyenne à élevée. La partie inférieure du dépôt est composée de silt et d'argile (environ 40 % < 2 µm), avec des traces de sable. Des taches noires caractéristiques de cette argile ont été observées sur les échantillons, qui présentent une consistance allant de ferme à rigide, une plasticité moyenne et une sensibilité extrêmement élevée.

Dans la partie centrale du bassin de la mer de Champlain, ces deux unités argileuses sont généralement séparées par une mince couche à résistance plus élevée, comme le soulignent J. Locat et al. (2021, 2025).

Un substratum ferme, possiblement constitué de till glaciaire, a été rencontré à une profondeur d'environ 28 m au sommet de la cicatrice. Cette couche serait inclinée doucement vers la rivière. Les propriétés géotechniques des sols argileux sont présentées au tableau 1.

Tableau 1: Propriétés géotechniques (F31003-002-03)

Propriétés	Élévation:	Élévation:
	17 à 7 m	7 m au refus
w (%)	65%	55%
I _L	2 to 3	2.3 to 4.4
I _P	14 to 32	5 to 13
s _{ur} (kPa)	0.55 to 0.97	0.43 to 0.64
s _{u-scissomètre} (kPa)	18 to 44	37 to 48



Figure 9 : Localisation des sondages.

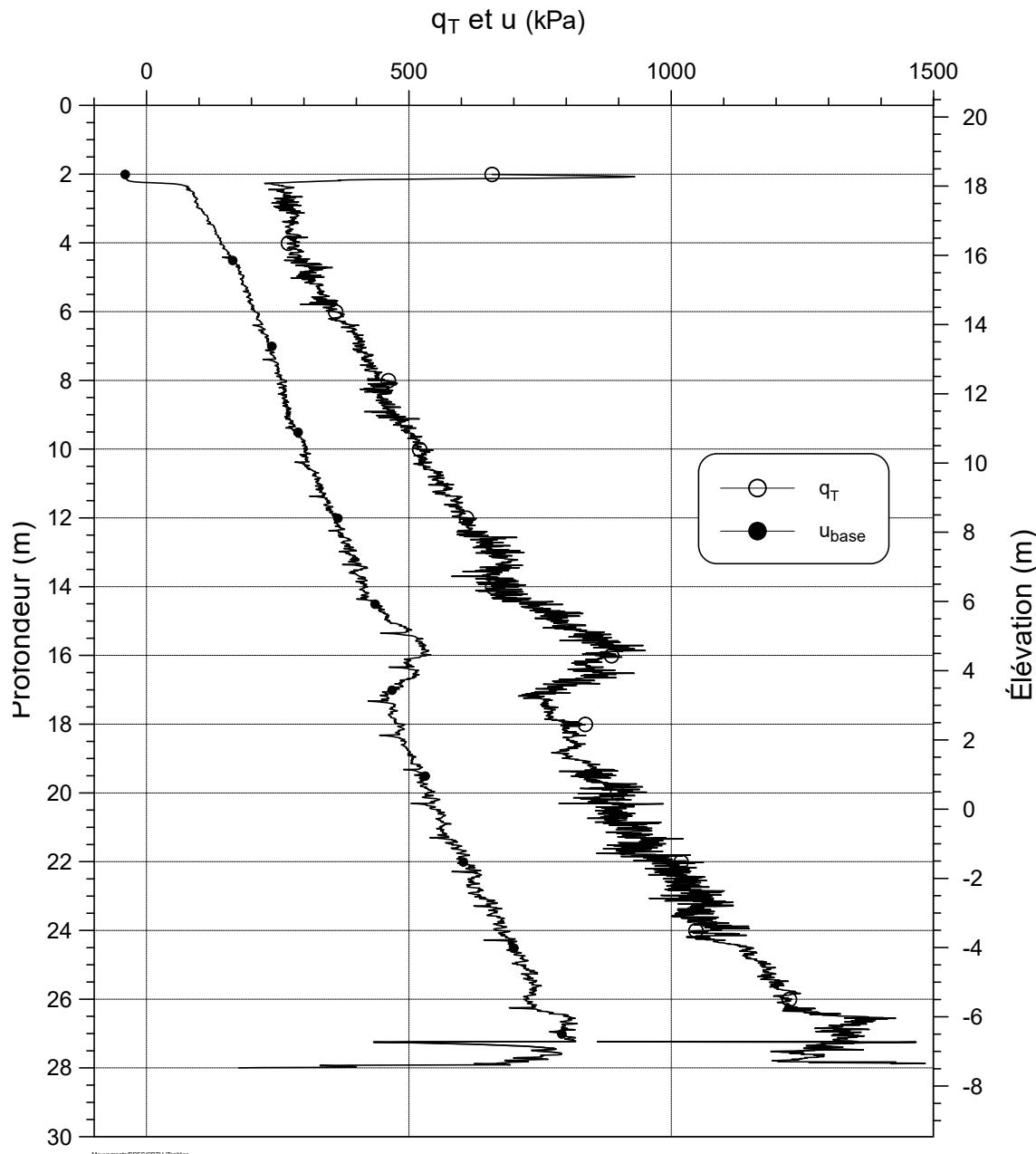
MINISTÈRE DES TRANSPORTS - ESSAI AU PIÉZOCÔNE

SITE: Nicolet (sommet coulée 1955)

ESSAI C31003-001-03

ÉLÉVATION T.N.: 20.564 m AVANT-TROU: 1.96 m

PROF. ATTEINTE: 28.17 m DATE: 2003-08-21



SONDE: Hogentogler 5T (Qualitas)

VITESSE: 60 cm/min

INCRÉMENT: 1,0 cm

Figure 10 : Piézocône C31003-001-03.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS - ESSAI AU PIÉZOCÔNE

SITE: Nicolet (intérieur coulée 1955)

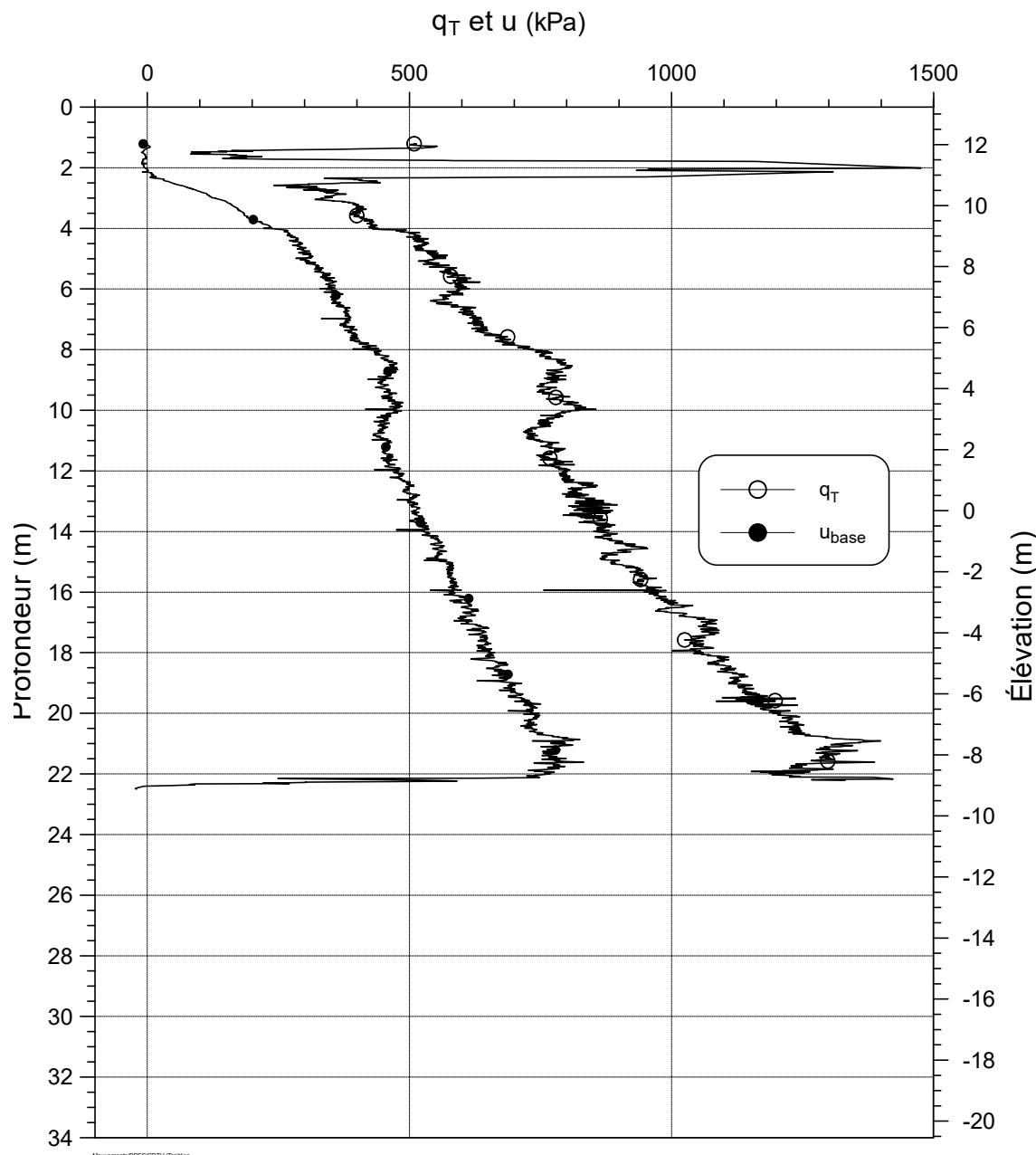
ESSAI: C31001-001-03

ÉLÉVATION T.N.: 13.488 m

AVANT-TROU: 1.68 m

PROF. ATTEINTE: 23.08 m

DATE: 2003-08-20



SONDE: Hogentogler 5T (Qualitas)

VITESSE: 60 cm/min

INCRÉMENT: 1,0 cm

Figure 11 : Piézocône C31001-001-03.

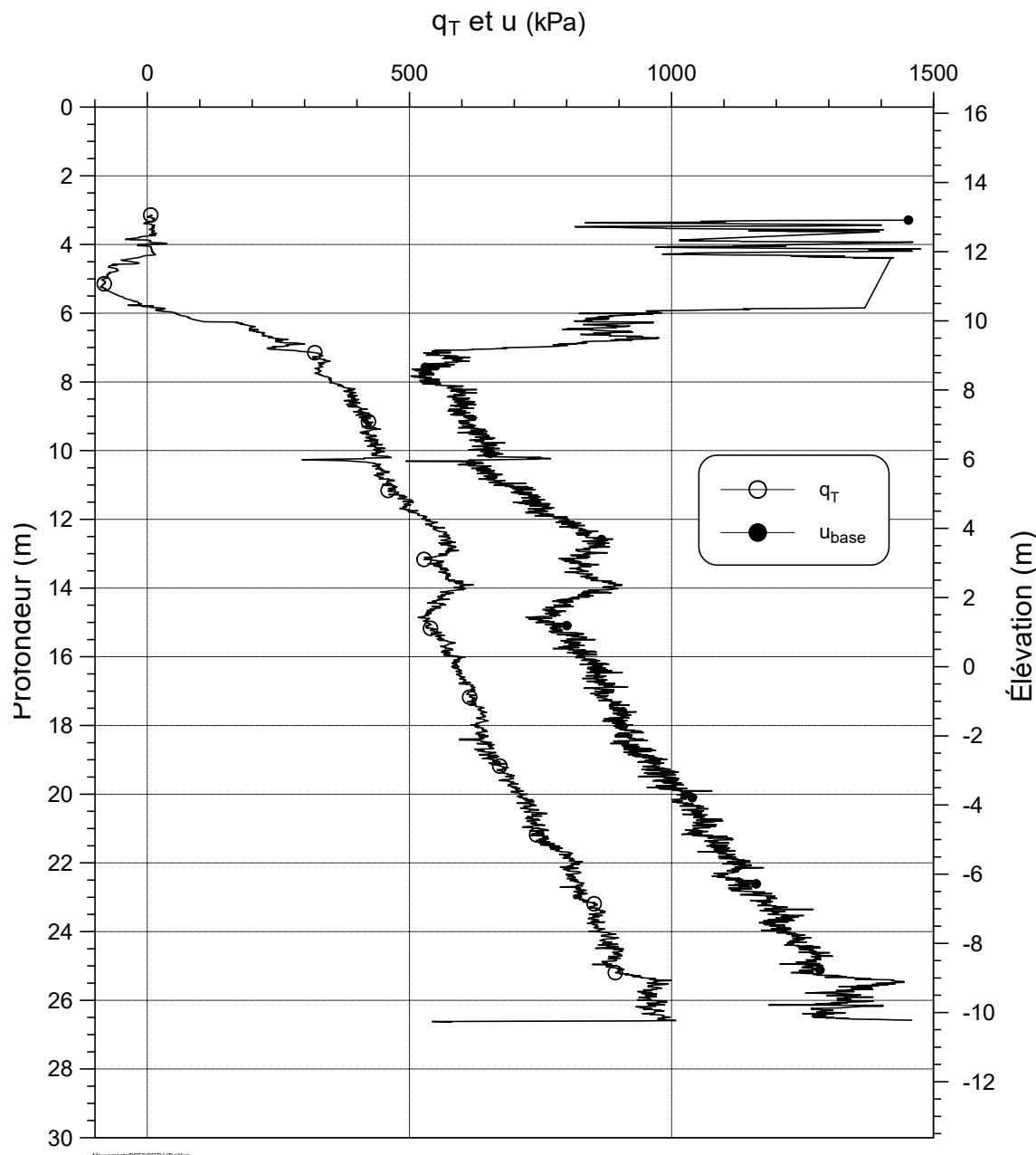
MINISTÈRE DES TRANSPORTS - ESSAI AU PIÉZOCÔNE

SITE: Nicolet (intérieur coulée)

ESSAI: C31072R-000-04

ÉLÉVATION T.N.: 16.41 m AVANT-TROU: 23.14 m

PROF. ATTEINTE: 26.63 m DATE: 2004-10-06



SONDE: Hogentogler T 651 TC (MTQ)

VITESSE: 60 cm/min

INCRÉMENT: 1,0 cm

Figure 12 : Piézocône C31072R-000-04.

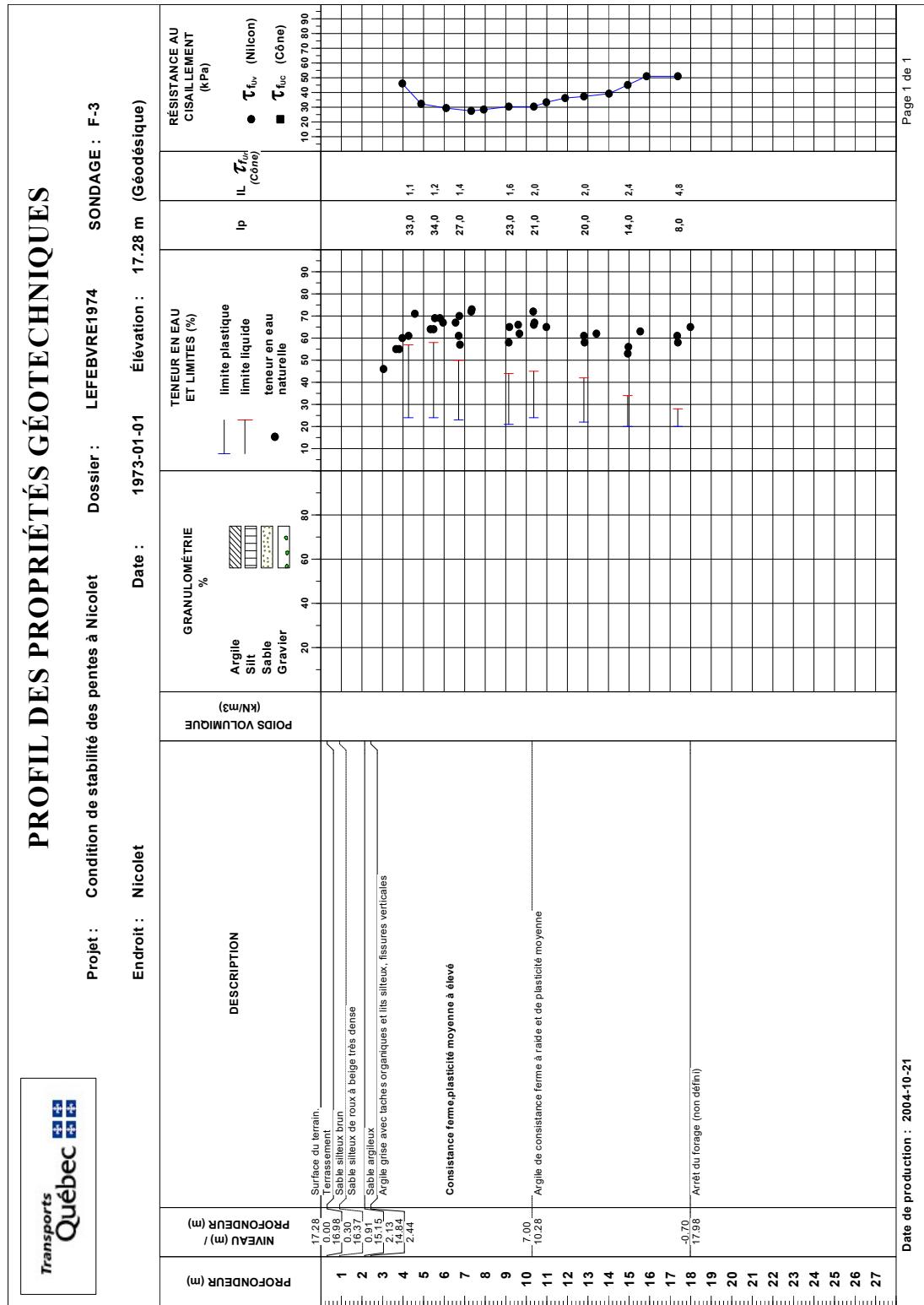


Figure 13 : Profil géotechnique (Lefebvre1974_F-3).

F31003R-006-05

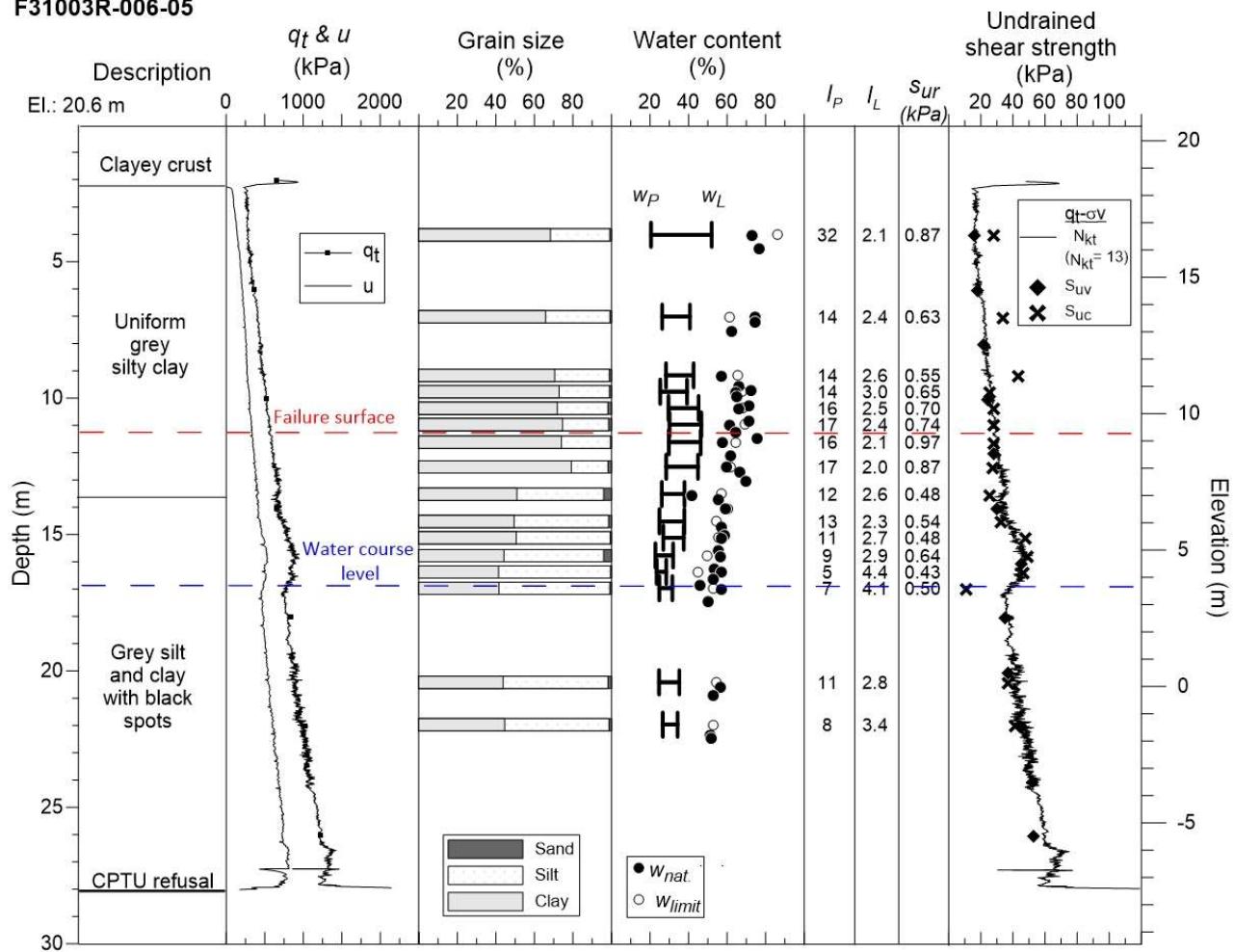


Figure 14 : Profil géotechnique (F31003R-006-05).

Principales étapes du mouvement

La localisation des bâtiments avant et après le glissement de terrain est présentée à la figure 15, offrant un aperçu de l'ampleur du déplacement et de la destruction. La rupture initiale s'est probablement produite dans la partie amont de la cicatrice (figures 16 et 17), à l'endroit où une excavation avait été réalisée pour installer un enrochement à la base du talus (voir figures 1 et 6). La première vague de débris, composée de sols provenant de la pente et de pierres de l'enrochement (figure 1), a été redirigée après avoir heurté le soulèvement du fond de la rivière sur la rive opposée, ce qui a entraîné l'écoulement des débris suivants vers l'aval (figure 18).

Le talus près de la station-service a ensuite été mobilisé. Les débris dans cette zone devaient être très fluides, puisque la station-service a été entraînée sur environ 300 m en aval. Cette phase est typique d'une coulée argileuse. Par la suite, la forêt de pins et le bâtiment de l'Académie Commerciale ont été rapidement emportés. La distribution finale des arbres indique clairement la direction de l'écoulement des débris : certains arbres ont été déplacés jusqu'à 350 m, tandis que l'école, complètement détruite, a été transportée sur 200 m, ce qui confirme encore une fois la grande fluidité des débris argileux.

La surface de la cicatrice a continué de s'agrandir, mais la distance parcourue par les débris a diminué. En effet, des maisons situées du côté est de la cicatrice se sont déplacées sur une distance de seulement 55 à 75 m, comme le montre la figure 19. Les longues distances parcourues par les débris de l'école et de la forêt de pins suggèrent une très grande fluidité et laissent supposer qu'un escarpement temporairement élevé a pu exister avant les ruptures finales qui ont emporté les maisons et le palais de l'évêque sur des distances plus courtes.

Le glissement de terrain s'est probablement terminé du côté ouest de la cicatrice, où seule une partie du palais de l'évêque s'est effondrée et où les débris ont parcouru moins de 30 m. Une photographie historique révèle un pinacle, indiquant une phase de type étalement à la fin du mouvement (figure 8). Ce mode de rupture est également confirmé par le témoignage d'Alphonse Boisvert qui se trouvait à l'intérieur de l'Académie au moment du glissement de terrain. Il raconte : « À mesure que le sol coulait vers la rivière, le trou s'élargissait, se rapprochant rapidement de la cathédrale. Je courais vers le devant de la cathédrale et l'entrée du pont et je fus assez chanceux pour rester toujours de quelques pieds en avant du précipice. À un moment donné même le sol s'effondrait de chaque côté, laissant une espèce de pointe à l'endroit exact où je me trouvais et ne me donnant que le temps de fuir. » (*La Presse*, 14 novembre)

La cessation du mouvement est probablement attribuable à la présence de remblais au nord associés à la rue et au pont ainsi qu'à une hauteur critique insuffisante de l'escarpement.

Une coupe transversale illustrant le talus avant et après le glissement de terrain, la stratigraphie, la position de la surface de rupture, l'indice de liquidité et le nombre de stabilité en fonction de l'élévation sont présentés à la figure 20. D'après les deux essais au piézocône réalisés à l'intérieur de la cicatrice, la surface de rupture semble presque horizontale, et l'épaisseur des débris augmente en direction de l'escarpement, variant de 1 à 3,5 m.

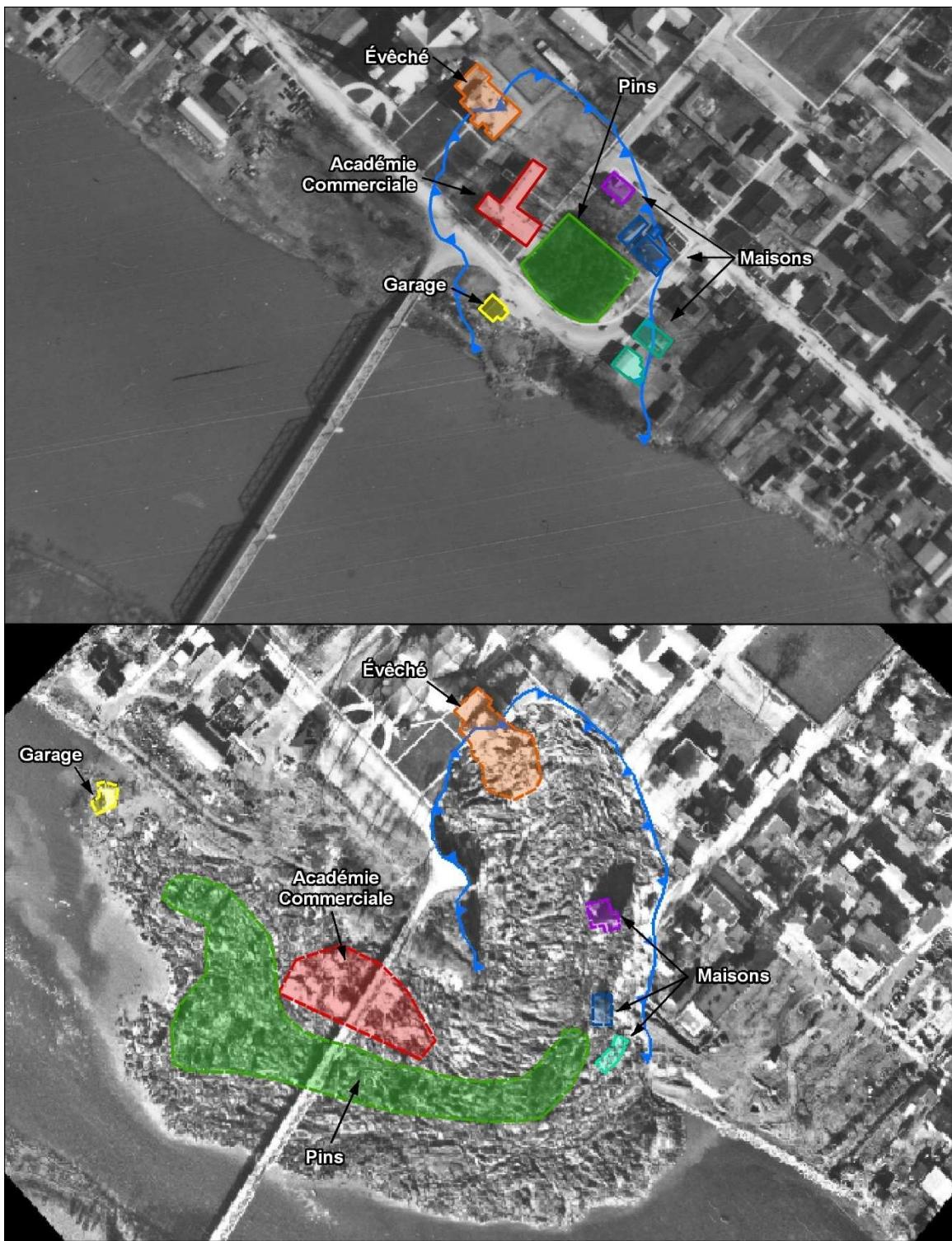


Figure 15 : Localisation des bâtiments avant et après le glissement de terrain. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable)



Figure 16 : Travaux en cours: enrochement à la base du talus ou déblais dans la pente. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable)



Figure 17 : Enrochement en amont du site et débris du glissement de terrain. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable)



Figure 18 : Enrochement emporté par le glissement et déblai dans le talus pour la construction d'une protection contre l'érosion. (Source : Gouvernement du Québec)



Figure 19 : Débris partiellement remanié dans la cicatrice. Deux pinacles sont visibles du côté droit de la photo. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable, H. A. Beaudouin)

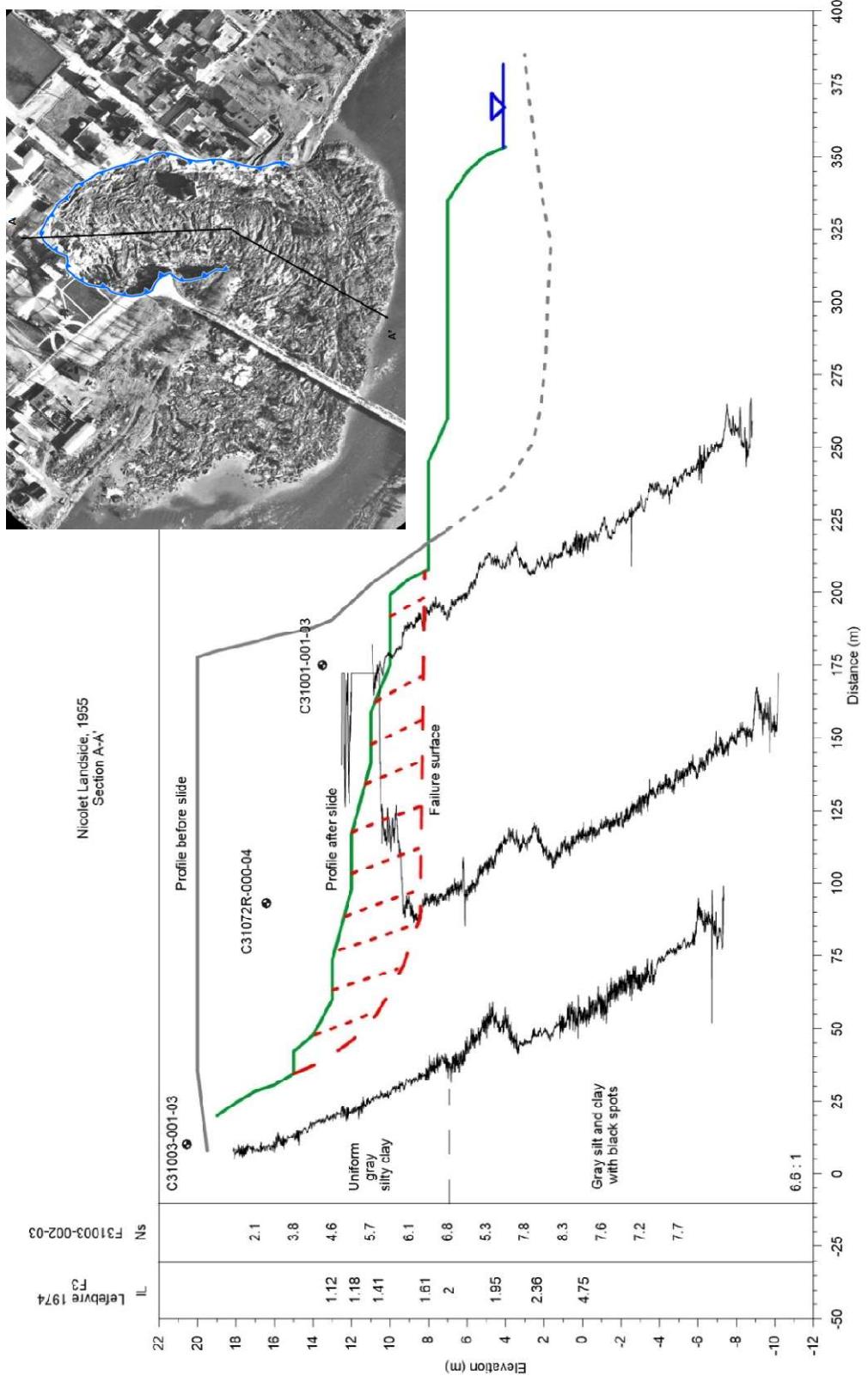


Figure 20: Coupe transversale montrant le talus avant et après le glissement de terrain, la stratigraphie, la position des surfaces de rupture, l'indice de liquidité et le nombre de stabilité en fonction de l'élévation.

Caractéristiques géotechniques du mouvement

Tableau 2: Caractérisation du glissement de Nicolet en 1955.

Caractéristiques	Nicolet 1955
Facteurs prédisposants	<ul style="list-style-type: none"> - Présence d'un massif argileux sur une grande épaisseur ayant des propriétés géotechniques homogènes. - Caractéristiques mécaniques et physiques propices à l'écoulement des débris selon les critères de Lebuis <i>et al.</i> (1983) : $c_{ur} < 1 \text{ kPa}$ et $I_L > 1,2$. - $N_s \approx 6,1$ vis-à-vis la surface de rupture et 6,8 au pied du talus (figure 20). - Conditions géométriques à la limite de la stabilité : talus de 13 m de hauteur ayant une inclinaison d'environ 23°. - Topographie favorable à l'évacuation des débris.
Facteurs aggravants	<ul style="list-style-type: none"> - Pression d'eau probablement élevée dans le talus attribuable à de fortes précipitations durant les semaines précédant l'événement.
Facteurs déclencheurs	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux d'excavation en cours dans le talus et à sa base pour la mise en place d'une protection contre l'érosion dans le cadre de travaux de construction d'une nouvelle route en sommet de talus (figures 16 à 18). Une pelle mécanique et deux bouteurs ont été entraînés dans le glissement.
Facteurs révélateurs	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de deux cicatrices de glissement rotationnel, dont un survenu en 1950 (figure 21). - Présence de cicatrices de coulée argileuse le long des berges de la rivière Nicolet, dont une cicatrice de 7,5 ha directement en amont du site (figure 22).



Figure 21 : Petit glissement de terrain survenu en 1950. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable, Lucille Coulombe)

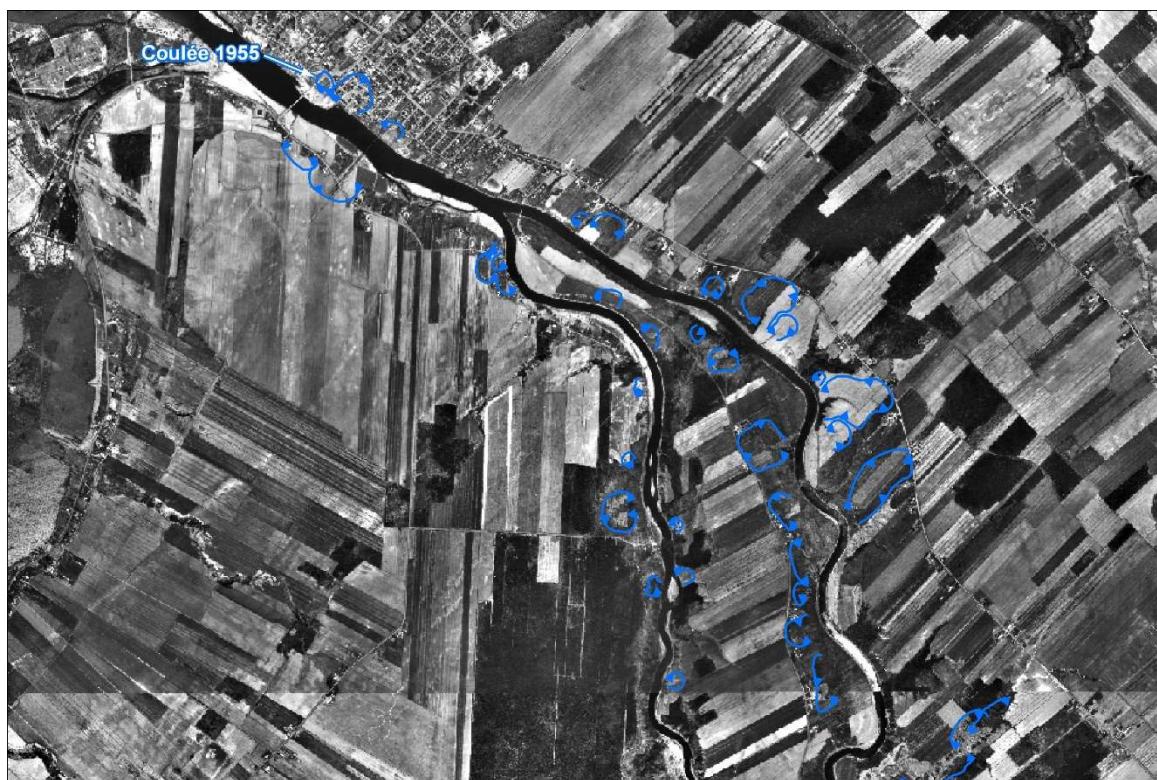


Figure 22 : Cicatrices de grands glissements de terrain le long des rivières Nicolet et Nicolet Sud-Ouest. (Source : Ministère des Transports et de la Mobilité durable)

ARRÊT 4 : Glissement de Sainte-Monique

Introduction

Le 21 mai 2025 au matin, un important glissement de terrain fortement rétrogressif, de type « coulée argileuse », s'est déclenché à la tête d'un cours d'eau intermittent tributaire de la rivière Nicolet, sur le territoire de la municipalité de Sainte-Monique, dans la région du Centre-du-Québec (Figure 1). L'événement a emporté une portion de la route, une résidence ainsi que ses deux bâtiments accessoires, soit un garage et un cabanon (Figure 1). Heureusement, le résident a pu quitter les lieux à temps. Grâce à son intervention, les deux habitations voisines, situées de part et d'autre du glissement, ont également été évacuées.

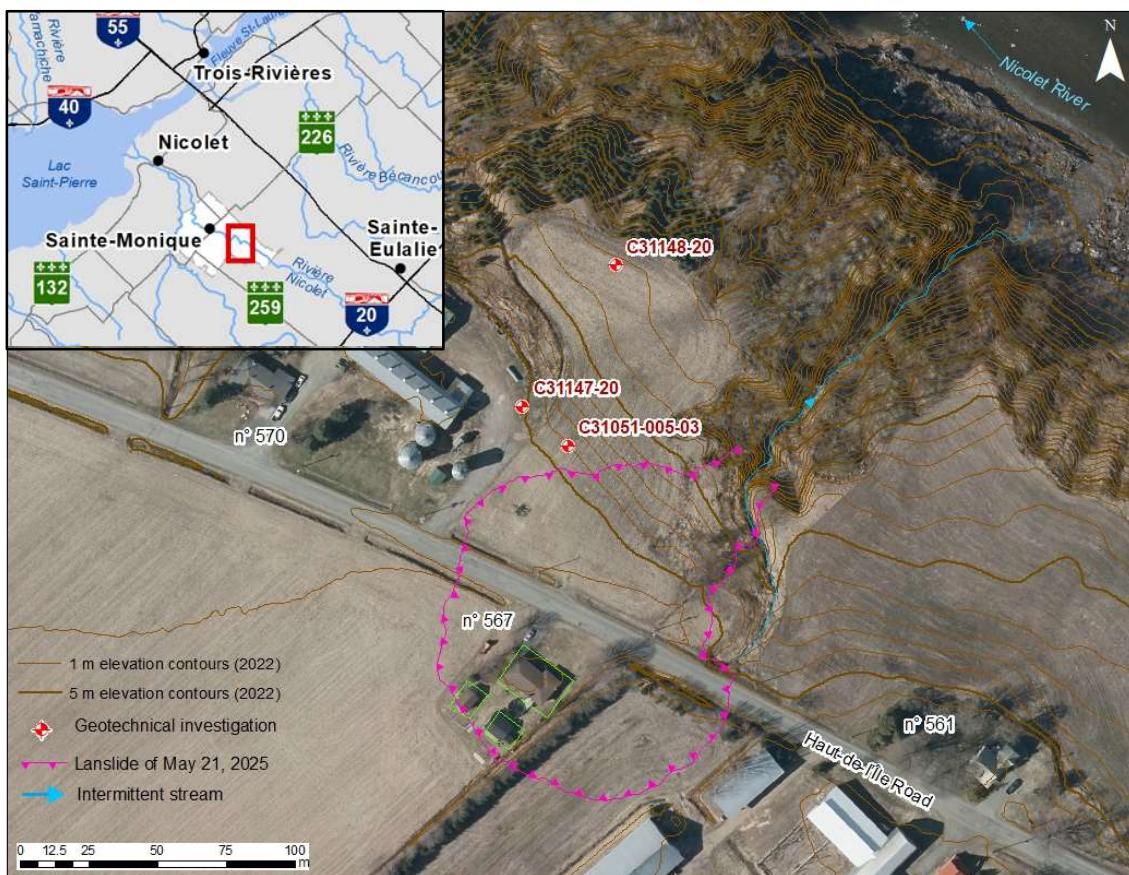


Figure 1 : Vue en plan sur fond d'orthophotographie avant glissement, montrant la position du glissement de terrain et des sondages réalisés en 2003 et en 2020.

Contexte du site et historique

Le roc affleure localement le long des berges de la rivière Nicolet dans le territoire de Sainte-Monique, mais la région est surtout marquée par d'épais dépôts d'argile, souvent recouverts de quelques mètres de sable et de gravier. Les sondages réalisés près du site du glissement du 21 mai 2025 révèlent une séquence typique, composée de 2 m de sable en surface, suivie d'une épaisse couche d'argile sensible variant entre 10 à 16 m d'épaisseur, puis d'une argile interglaciaire (antérieure à la dernière glaciation) plus résistante (Figure 2).

Le site du glissement est situé sur la rive gauche de la rivière Nicolet, à la hauteur d'un petit tributaire intermittent sans nom. Ce dernier est principalement alimenté par un fossé de ligne drainant les terres agricoles localisées au sud-ouest (Figure 1).

Les levés lidars acquis en 2013, 2022 et 2024 révèlent une incision verticale du ravin atteignant environ 2,5 m durant cet intervalle de temps dans sa portion la plus encaissée (Figure 2). La comparaison entre les données lidars de 2013 et 2024 met en évidence la présence d'érosion régressive, particulièrement dans la zone où le glissement de terrain s'est amorcé (Figure 2).

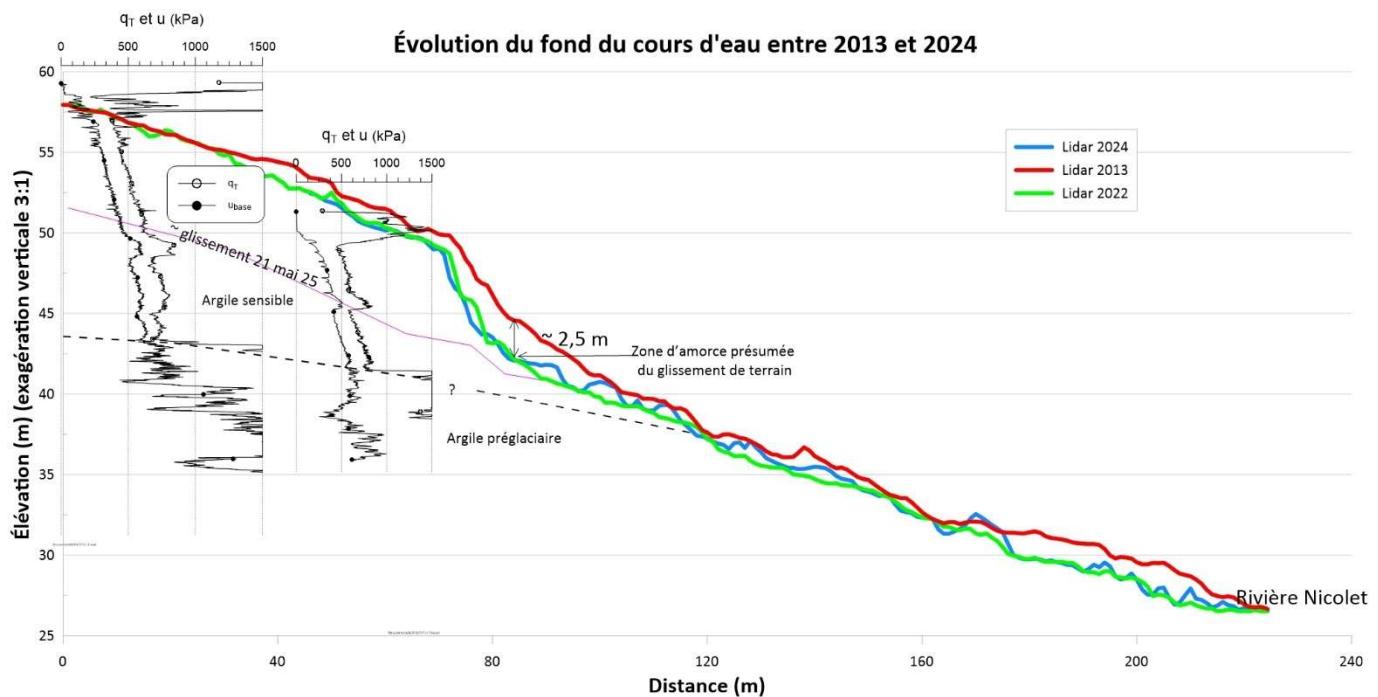


Figure 2: Coupe stratigraphique longitudinale montrant l'érosion verticale et régressive dans l'affluent intermittent de la rivière Nicolet ayant mené au glissement du 21 mai 2025.

La présence d'argile très sensible dans les couches supérieures rend le secteur vulnérable aux grands glissements de terrain. Plusieurs cicatrices de glissements fortement rétrogressifs sont observables sur le territoire des municipalités de Sainte-Monique et de Nicolet, plus au nord. Certaines présentent des distances de recul atteignant 500 m, voire

jusqu'à 700 m, et couvrent des superficies pouvant atteindre 40 hectares (Figure 3). Parmi les événements marquants dans la région figurent la coulée argileuse survenue au centre-ville de Nicolet en 1955 (Arrêt n° 3 à la Figure 3), ainsi que trois glissements de type « étalement latéral » survenus le long du ruisseau Siméon-Provencher à Sainte-Monique au cours de la seconde moitié du 20^e siècle (Figure 3).

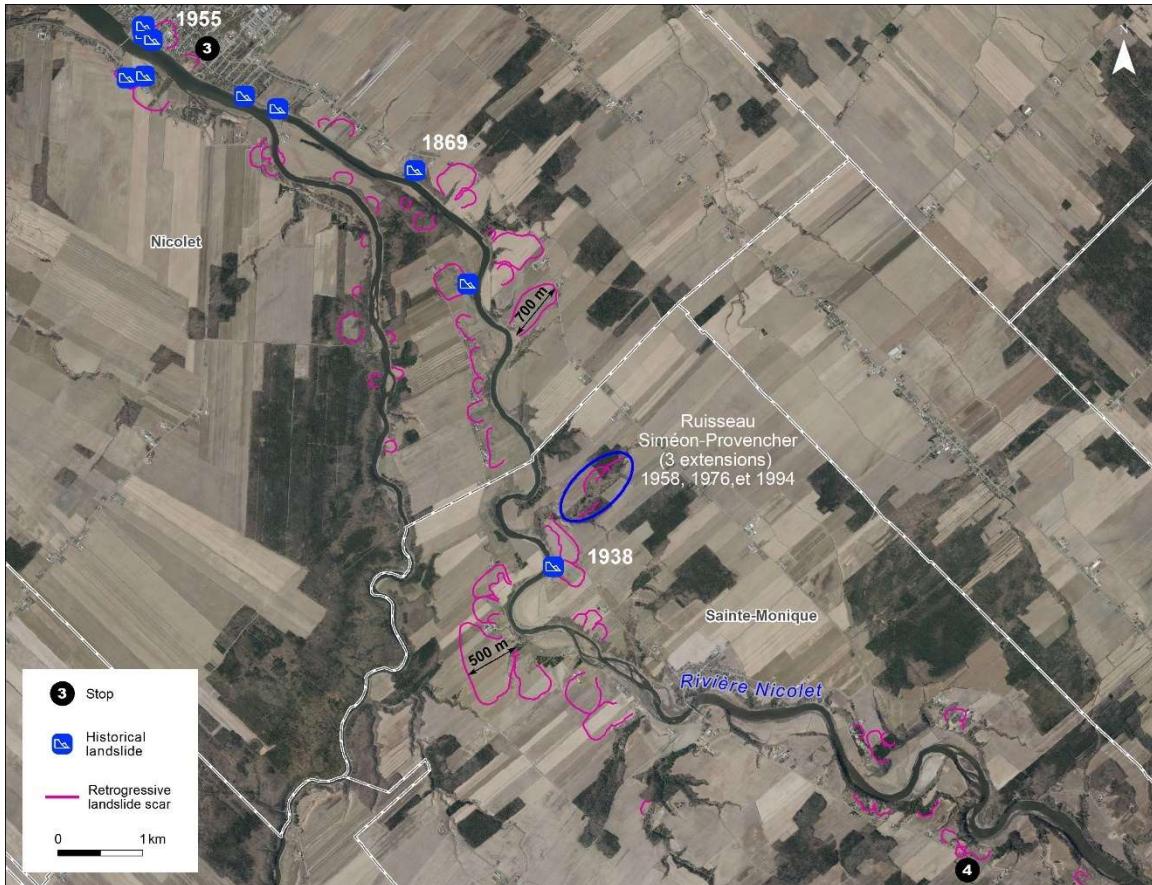


Figure 3: Vue des cicatrices de glissements fortement rétrogressifs, dont certaines sont datées du 19^e ou 20^e siècle, dans les municipalités de Sainte-Monique et Nicolet.

Juste à l'ouest du glissement survenu en mai 2025, on observe une ancienne cicatrice de coulée argileuse non datée, présentant des proportions similaires (Figure 4). Ce glissement antérieur s'est amorcé à la tête du ravin voisin, dans un contexte géomorphologique comparable. La similitude entre les deux événements, tant par leur emplacement que par leur ampleur, suggère une dynamique commune liée à l'évolution des ravins et aux conditions de drainage. Ces deux glissements qui se sont amorcés en tête de ravin constituent une deuxième génération de mouvement rétrogressif dans un secteur déjà affecté par une instabilité antérieure (tirets mauves à la Figure 4).

Le glissement de mai 2025 s'est produit dans une zone préalablement cartographiée comme étant potentiellement exposée à un danger de glissement fortement rétrogressif (MTMD, 2021), correspondant à la classe « RA1_{sommet} » à la (Figure 5). Le ravinement actif peut

contribuer au déclenchement d'un premier glissement rotationnel et la présence d'argiles sensibles favorisent le déclenchement de mouvements rétrogressifs.



Figure 4: Vue des cicatrices au site à l'étude dont celle du 21 mai 2025 (tirets rouges) et celle non datée qui a pris naissance dans le ravin voisin (ligne mauve) sur fond de photographie aérienne de 1950. Une très grande cicatrice non datée (1^{ère} génération, tirets mauves) est aussi présente dans le secteur de ces deux cicatrices.

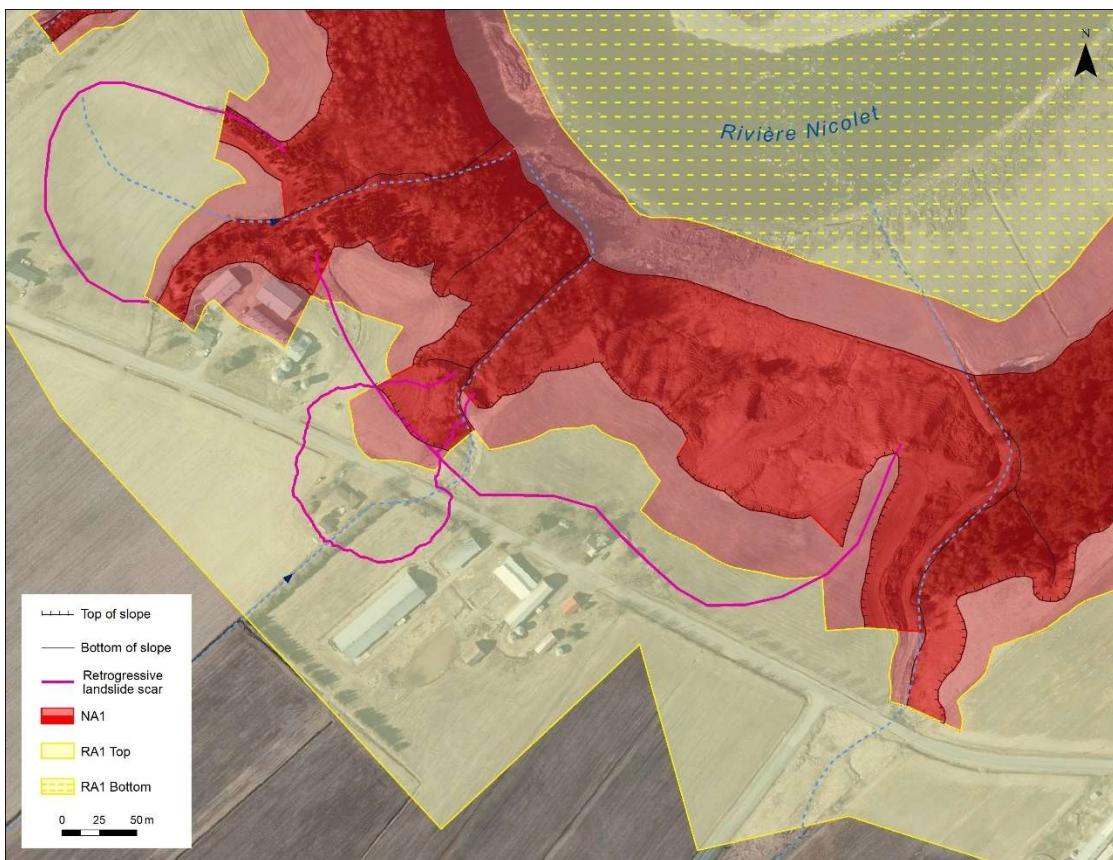


Figure 5: Extrait de la cartographie des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain, C31101-050-501_V2 (MTMD (2021).

Des glissements rotationnels ont également été observés sur les rives du ravin en 2006 et 2016 (Figure 6). Bien que distincts du glissement fortement rétrogressif de mai 2025, ces épisodes s'inscrivent dans une dynamique commune de mouvements de terrain liés à l'érosion des versants du ravin.

Description du glissement de terrain du 21 mai 2025

Selon les témoignages de résidents vivant à proximité, un premier glissement de terrain, de bien moindre envergure, aurait précédé le grand glissement survenu le 21 mai 2025. Ce mouvement initial se serait produit le 20 mai en après-midi, juste en amont du glissement de 2006 (Figure 6). Il se serait arrêté à environ une cinquantaine de mètres de la route, et ses débris se seraient vraisemblablement remaniés de manière significative. Ces matériaux auraient atteint la rivière Nicolet, laissant un escarpement aux conditions topographiques instables à court terme, susceptible d'avoir favorisé le déclenchement du glissement majeur subséquent.

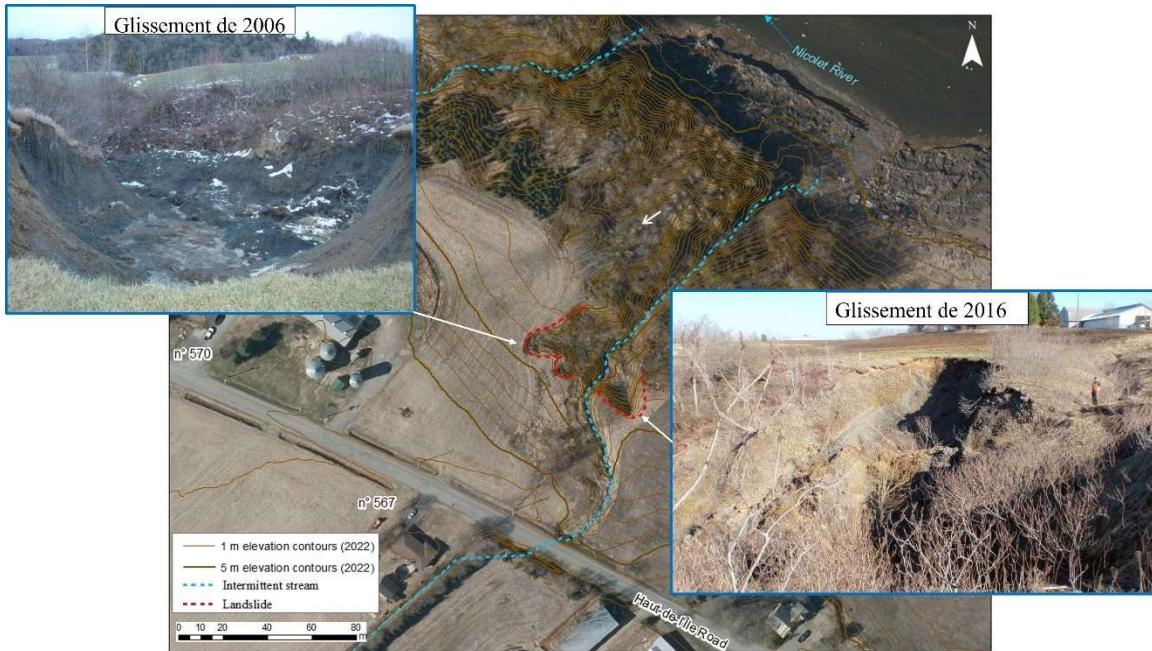


Figure 6: Vue des glissements de terrain rotationnels de 2006 et de 2016.

Le 21 mai, au petit matin, le glissement de terrain s'est produit en deux phases successives. La première phase, survenue vers 5h45, a généré des vibrations ressenties par les résidents des maisons avoisinantes. Alerté par ces secousses, l'occupant de la résidence au 567 (figure 1) a rapidement quitté les lieux et a averti ses voisins immédiats. Le glissement était alors rendu à environ 15 m de la route. Peu après, un agrandissement du glissement s'est produit, emportant une portion du rang du Haut-de-l'Île (environ 110 m de route) ainsi que la résidence au 567, qui était heureusement inoccupée au moment de l'événement. Le glissement a affecté une superficie d'environ 1,1 ha. Des débris très fluides ont atteint la rivière Nicolet, laissant des dépôts d'argile remaniée visibles jusqu'à environ 120 m en amont et 200 m en aval dans le lit de la rivière (Figure 7).

D'un point de vue géotechnique, la coulée argileuse s'est produite en deux phases, soit une première série de ruptures rotationnelles très profondes à partir de la zone d'amorce, qui a été suivie par une autre série de ruptures, mais celles-ci localisées sur un palier supérieur (Figure 8). Ces deux phases ont laissé un cratère plus profond dans la portion aval de la cicatrice du glissement que dans sa portion amont, lesquels présentent une différence de hauteur estimée à 6 m (Figure 8).

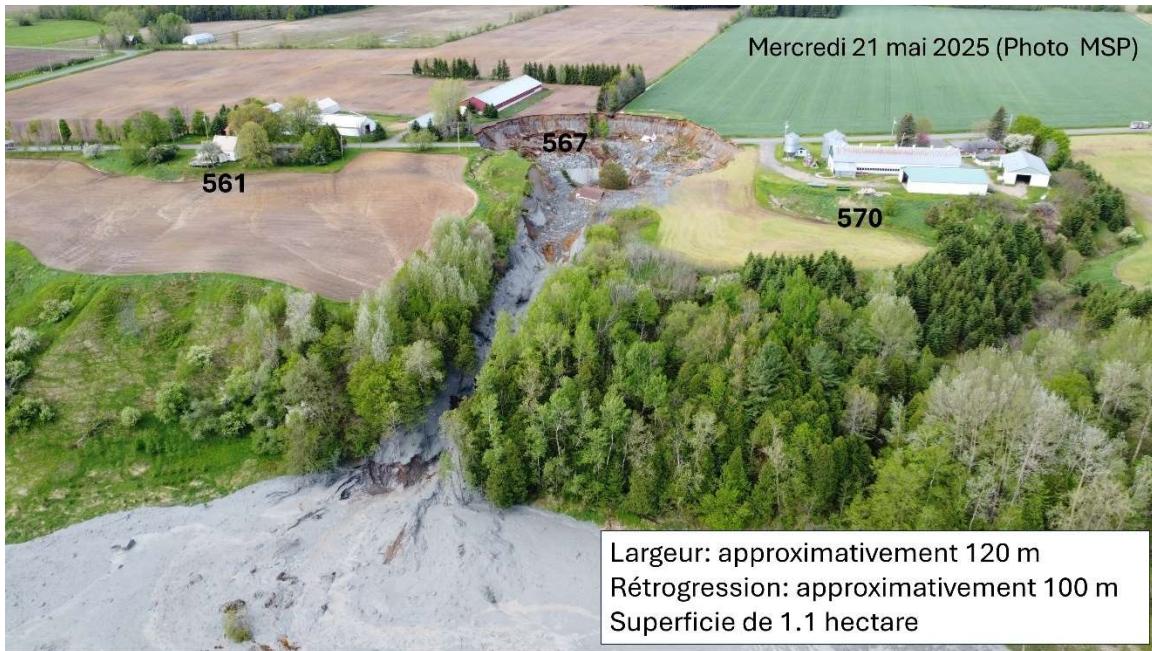


Figure 7 : Secteur affecté par le glissement du 21 mai 2025.

La première rupture, associée au plateau inférieur, s'est amorcée dans l'argile sensible, sous le pic où les plus fortes résistances au cisaillement ont été relevées au piézocône à la Figure 8 b. En revanche, la deuxième série de ruptures s'est amorcée plus haut que le pic observé au piézocône. Le pic de résistance observé dans les profils au piézocône est très caractéristique des argiles de la mer de Champlain et se retrouve presque partout dans les Basse-Terre du Saint-Laurent. Sous ce pic, les argiles sont généralement plus sensibles et associées à une zone plus lessivée (Locat, J et al., 2021, 2025).

Les parois latérales de la cicatrice, dans sa portion aval, rejoignent le niveau du palier inférieur (Figure 8 a). Elles présentent une forte倾inclusion, variant entre 50 et 60°, sur une hauteur approximative de 12 à 14 m. En comparaison, les escarpements du palier supérieur atteignent une hauteur maximale de 9 m. Compte tenu de l'instabilité des parois aval et de leur hauteur propice à une succession de ruptures, un périmètre de sécurité de 100 m a été établi autour du glissement.

Sur les premières photos prises le 21 mai au matin, la résidence du 567 avait déjà été entièrement transportée hors de la cicatrice du glissement, tandis que ses deux bâtiments secondaires (un garage et un cabanon), initialement situés côte-à-côte en arrière-cour (figure 1), étaient relativement intacts et encore visibles à l'intérieur de la cicatrice (Figure 9). Le plus grand des deux (garage) a rapidement glissé du palier supérieur vers le palier inférieur en matinée, alors que le plus petit (cabanon) est resté près de son emplacement d'origine, au pied de l'escarpement arrière (Figure 10).

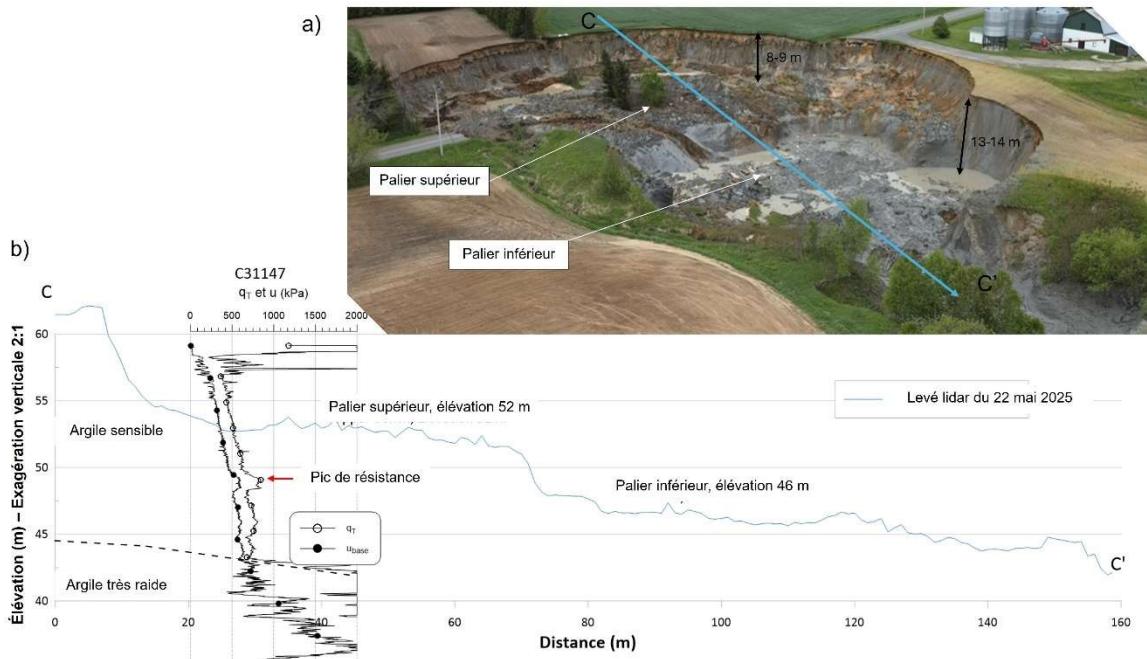


Figure 8: a) Photo prise par drone le 22mai 2025 montrant l’escarpement latéral ouest et les paliers supérieur et inférieur. b) Coupe transversale et valeurs de la résistance à la pointe (q_t) et des pressions interstitielles générées lors du fonçage (u) du sondage C31147.



Figure 9: Photo montrant la position des bâtiments secondaires du 567 dans les premiers instants après le glissement de terrain. À noter que le bâtiment secondaire le plus imposant situé près du centre de la photo est encore à ce moment au-dessus du 2^e palier. (Source : Journal de Montréal, 21 mai 2025, 8h26)



Figure 10 : Vue par drone montrant la position des bâtiments secondaires du 567 vers 8 h, le matin du 21 mai 2025. (Source : MSP)

Suivi de la situation depuis le 21 mai 2025

Un suivi régulier par drone a été effectué depuis le glissement de terrain survenu le 21 mai 2025. Dans les semaines qui ont suivi l'événement, les parois de la cicatrice ont connu une évolution progressive, la plupart d'entre elles s'étant adoucies. Toutefois, les parois latérales des deux côtés du palier inférieur, dont la hauteur était de l'ordre de 14 m, ont subi un recul important dans les deux premières semaines, jusqu'au 2 juin (Figure 11). Les observations effectuées en juillet et en août indiquaient une évolution minime des parois de la cicatrice. Toutefois, deux glissements survenus à la mi-septembre, toujours en bordure du palier inférieur, montrent que ces parois les plus hautes sont encore instables et que les débris peuvent encore se remanier fortement (figure 12).

Travaux de stabilisation pour la réintégration

Dans les prochaines semaines, des travaux de déblais seront réalisés dans la partie supérieure du talus afin de réduire les risques liés aux escarpements du glissement, notamment pour les résidences et bâtiments environnants. Ces interventions visent à permettre la réintégration sécuritaire des résidences évacuées de part et d'autre du site et à permettre la réalisation de sondages géotechniques dans la cicatrice du glissement. Ces investigations sont nécessaires pour évaluer les conditions de rétablissement de la circulation sur le rang du Haut-de-l'Île. Malgré ces travaux, le tronçon de la route demeurera fermé jusqu'à nouvel ordre. La reconstruction de la route sera influencée par la profondeur du cratère formé par le glissement. Il sera probablement nécessaire de réviser le profil de la

chaussée, voire d'envisager un léger détour ou un contournement complet du secteur affecté, selon les résultats des analyses géotechniques à venir.

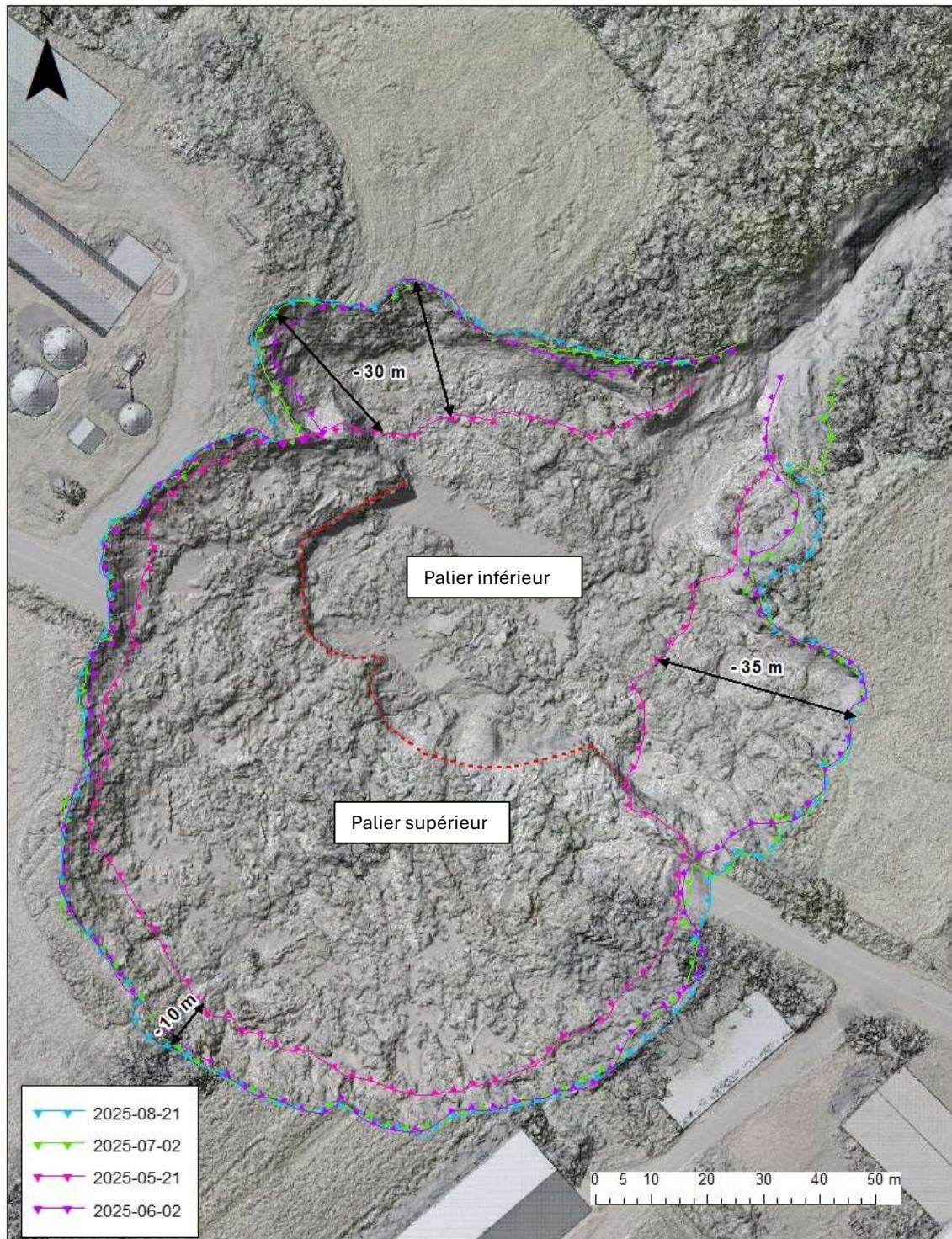


Figure 11: Vue générale de la cicatrice du glissement illustrant les changements survenus à son pourtour à quatre moments.

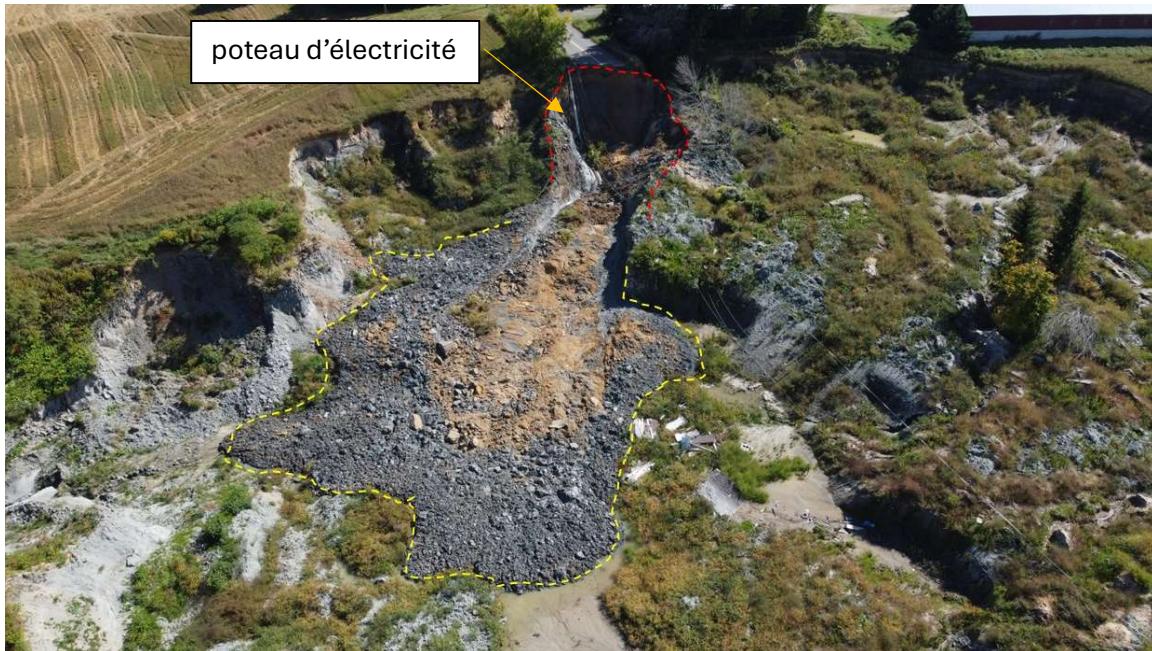


Figure 12 : Glissement de terrain récent (mi-septembre 2025) ayant entraîné le poteau d'électricité. À noter le remaniement important des débris associés à ce glissement.

Conclusion

Le glissement de terrain survenu le 21 mai 2025 à Sainte-Monique illustre la vulnérabilité du territoire face aux mouvements fortement rétrogressifs en présence d'argiles sensibles. L'événement, bien que dramatique, a permis de mettre en lumière des dynamiques géomorphologiques complexes et récurrentes dans le secteur, déjà marqué par des épisodes antérieurs. Le suivi réalisé depuis le glissement, combiné aux interventions planifiées, vise à sécuriser les lieux, permettre la réintégration des résidences évacuées et approfondir la compréhension géotechnique du site. À plus long terme, la reconstruction de la route devra tenir compte de la morphologie du cratère et des résultats des études à venir, pouvant mener à une révision du tracé routier. L'encaissement rapide du ravin, accentué par le drainage agricole, constitue un facteur aggravant dans l'évolution du site et devra être pris en compte dans les réflexions futures. Ce cas récent met en lumière les enjeux techniques, humains et territoriaux associés à cet événement, tout en offrant une opportunité d'approfondir nos connaissances et d'optimiser nos façons de faire.

Bibliographie

- Arel J. Lescot T., Demers D., Potvin J., Thibault C, Mompin R., 2025. Landslide Risk Management in Québec – Review and Outlook. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523-012003, 19 p.
- Béland, J. (1955) Rapport sur l'éboulement de Nicolet du 12 novembre 1955. *Ministère des Mines, Québec, Service de la carte géologique*, January, p. 11-26.
- Béland, J. (1956) Nicolet Landslide November 1955. *Annual general meeting of The Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, Québec, April 8-11, p. 143-156.
- Bilodeau, P.-M. (1956) The Nicolet Landslide, Province of Quebec. *National Research Council Canada, Associate Committee on Soil and Snow Mechanics, preprint summary of paper to be presented at the tenth Canadian Soil Mechanics Conference*, Ottawa, December 17-18, pp. 1-5.
- Brouillette, N. (1966) Changements récents dans l'organisation de l'espace urbain de Nicolet (1955-1965), *Dissertation submitted to obtain a Licentiate in Arts (Geography)*, Institut de géographie de la Faculté des lettres de l'Université Laval, Québec, September, pp. 59-68.
- Capsa, 2014. Secteur Sainte-Anne – Portrait, diagnostic et plan d'action des bassins versants de la rivière Sainte-Anne, Grimard et Lacoursière. *Rapport de la Corporation d'aménagement et de protection de la rivière Sainte-Anne*, 278 p.
- Chagnon, J.-Y. 1968. Les coulées d'argile dans la province de Québec. *Naturaliste Canadien*, 95: 1327-1343.
- Crawford, C.B., and Eden, W. J. (1964) Nicolet Landslide of November 1955, Québec, Canada. *National Research Council of Canada, Division of Building Research*, Montreal Road, Ottawa, month, pp. 45-50.
- David É, LeBlanc J.F., Gauthier M.L., Potvin J., Demers D., 2022. Inventaire des événements historiques liés à différents aléas naturels survenus sur le territoire québécois. *Géorisques VIII – 8ème Conférence canadienne sur la géotechnique et les risques naturels / Geohazards VIII – 8th Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards*. Ed : Cloutier C; Turmel D., Maghoul P., Locat A.; p. 81-88
- Dawson G.M. 1899. Remarkable landslip in Portneuf County, Quebec. *Bulletin of the Geological Society of America – Proceedings of the New York meeting*, Vol.10, p.484-490.
- Demers D., 2001. Contribution au développement de l'usage du piézocône dans les sols argileux. *Thèse de doctorat*, Département de Génie civil, Université Laval, 435 p.
- Demers, D., Robitaille, D., Locat, P., et Potvin, J. (2014). Inventory of large landslides in sensitive clays in the province of Québec, Canada: preliminary analysis. Dans *Landslides in sensitive clays : from geosciences to Risk management*. Édité par: J.-S. L'Heureux, A.

Locat, S. Leroueil, D. Demers, et J. Locat., Advance in Natural and Technological Hazards Research 36, Springer, p. 77-90.

Demers D., LeBlanc J.F., Potvin J., Robitaille D., Desgagné J., Rouleau A., Saedi A., 2021. Causes et mécanismes du glissement de terrain du 4 mai 1971. *Saguenayensia – La revue d'histoire du Saguenay – Lac-Saint-Jean*, vol. 62 (1), 32-44.

Demers D., Paradis S., Potvin J., Desgagné J., Arel J., 2025. Twenty years of highly retrogressive landslide prevention projects in Quebec: assessment and outlook. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523-012023, 18 p.

Fournier T., Locat P., Therrien J., Poulin Leboeuf L., Paradis S., Demers D., 2022. La coulée argileuse de la Grande rivière de la Baleine du 22 avril 2021. *Comptes-rendus de la 8ème Conférence canadienne sur la géotechnique et les risques naturels – Géorisques VIII*, Éditeurs : C. Cloutier, D. Turmel, P. Maghoul, A. Locat. p. 169-178.

GEO.DEMERS – ingénieur conseil. Profil géologique. *Corporation du pont de Trois-Rivières*. PO-67-13628-203; dessin no D-64109-118, nov. 1963.

Germain A., Young N., Lemieux J-M, Locat A., Delottier H., Fortier P., Leroueil S., Locat P., Demers D., Locat J., Cloutier C., 2020. Hydrogeology of a complex Champlain Sea deposit (Quebec, Canada) : implication for slope stability. *Can. Geotech. J.*, 58(11): 1611-1626

<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1074141/pont-laviolette-50-ans-trois-rivieres-beancour-mauricie-centre-du-quebec-histoire-archives>

<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1073825/pont-laviolette-inauguration-transport-histoire-archives>

<https://www.journaldemontreal.com/2025/05/21/en-images--glissement-de-terrain-majeur-a-sainte-monique-une-maison-emportee>

<https://gazettemauricie.com/le-pont-laviolette-plus-dun-demi-siecle-dhistoire/>

<https://magazineconstas.com/2018/05/01/encore-un-autre-50-ans/>

<https://www.lenouvelliste.ca/2015/09/11/il-y-a-50-ans-un-accident-sur-le-chantier-du-pont-laviolette-faisait-12-victimes-52982503c247cd3edb4b90e4239a6589/>

<https://www.youtube.com/watch?v=2q5WJENaCyE>

Hurtubise, J.E., and Rochette, P.A. (1957) The Nicolet Slide. *National Research Council Canada, Associate Committee on Soil and Snow Mechanics, reprinted from Proceeding of the Canadian Good Roads Association*, Technical Memorandum no. 48, Ottawa, May, p. 1-13.

Karrow, P.F., 1972. Earthflows in the Grondines and Trois-Rivières areas, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 9, p. 561-573.

- Lamontagne, M., Demers, D. & 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 Sciences*, vol. 44 : 947-960.
- La Patrie, 1939. Une montagne se liquéfie et se jette 2,000 pieds plus loin dans la rivière Batiscan », Journal *La Patrie*, Montréal, 11 août 1939, p. 1, 3, 14 et 26.
- Lavalin, 1985. Étude de matériaux et de méthodes de la mise en œuvre des îlots. Rapport concernant la Protection des Piliers du Pont Laviolette, soumis au ministère des Transports du Québec, 17 p.
- Lebuis, J., Robert, J.M., et Rissmann, P. 1983. Regional mapping of landslide hazard in Québec. *Symposium on slopes on soft clays*, Linköping, Suède, rapport no17, Swedish Geotechnical Institute, p. 205-262.
- Le Canada, 1941. Québec met des machines au service des cultivateurs ». Journal *Le Canada*, Montréal, 7 avril 1941, p. 10.
- Lefebvre G. (1974) Rapport sur les conditions de stabilité des pentes à Nicolet près de la rue Prohon. *Rapport soumis au ministère des Richesses Naturelles*, Gouvernement du Québec, 17p.
- Lefebvre, G. 1986. Slope instability and valley formation in Canadian soft clay deposits. *Revue canadienne de géotechnique*, 23(3), p. 261–270.
- Lefebvre, G. 2017. Sensitive Clays of Eastern Canada: From Geology to Slope Stability. Dans *Landslides in sensitive clays: from research to implementation*. Edité par V. Thakur, J.S. L'Heureux, et A. Locat. Springer, Netherlands, p. 15–34.
- L'Heureux J.S., Berthling I., Strand S.A., Jørgen Kjøsnes, Paniagua P., Johnsen M. (2025). The impact of mitigation work in quick clay zones – An example from Skjelstadmark, Norway. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 1523 012022, 17 p.
- Lemieux J.-M., Ospina J., Young N.L., Locat A., Locat P., Molson P. 2025. Evidence of Deep Hydraulically Active Fractures in Clay Deposits (Québec, Canada) and Numerical Simulation of Their Impacts on Groundwater Flow and Slope Stability. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523 012032. 17 p.
- Leroueil S., Locat P., Therrien J., Locat A., Demers D. 2025. Landslides in sensitive clays from southern Québec and Ontario – A Review. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523-012012, 24 p.
- Leroueil, S., Tavenas, F. et Le Bihan, J.P., 1983a. Propriétés caractéristiques des argiles de l'est du Canada. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 20(4), pp. 681-705.
- Leroueil, S., Vaunat, J., Picarelli, L., Locat, J., Faure, R. and Lee, H., 1996. A geotechnical characterization of slope movements. *Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Trondheim, vol.1, pp. 53-74.

- Locat A., 2025. Canadian Geotechnical Colloquium: Understanding spreads in Canadian sensitive clays. *Can. Geotech. J.*, 62, p. 1-14
- Locat, J., Turmel, D., Leblanc J. et Demers D. (2016). Tsunamigenic landslides in Québec. Dans *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice* Compte-rendu du 12th International Symposium on Landslides (du 12 au 19 juin 2016, Naples, Italie). Édité par S. Aversa, L. Cascini, L. Picarelli, C. Scavia. CRC Press, London, p.1305-1312.
- Locat, J., Turmel, D., Locat, P., Therrien, J., et Létourneau, M. (2017). The 1908 disaster of Notre-Dame-de-la-Salette : Analysis of the landslide and tsunami. Dans *Landslide in Sensitive Clays: from research to implementation*. Édité par V. Thakur, J.-S. L'Heureux, A. Locat, Vol 46, Springer International Publishing, p. 361-369.
- Locat J., Locat A., Lemieux J-M., Demers D., Locat P., St-Onge G. et Habersetzer M. 2021. The characterization of an event layer in Champlain Sea sediments at the 2010 St. Jude landslide (Québec, Canada): regional implications and contributions from piezocene data. *74e Conférence canadienne de géotechnique*, Niagara. 9 p.
- Locat J., Demers D., Locat P., St-Onge G., Locat A., Lemieux J-M., 2025. A catastrophic flood event layer in Champlain Sea sediments recorded at the 2010 St. Jude landslide (Québec, Canada): regional stratigraphic insights from piezocene data. *Can. Geotech. J.*, Accepted for publication.
- Locat P. 2022. Coulées dans les argiles sensibles de l'est du Canada. *Comptes-rendus de la 8ème Conférence canadienne sur la géotechnique et les risques naturels – Des géosciences innovantes pour demain*. Eds : Cloutier C., Turmel D., Maghoul P., Locat A.. Québec 12-15 juin 2022. P. 57-78.
- Locat, P. 2023. Énergie de transformation et propagation des géomatériaux : le cas des avalanches rocheuses et des coulées argileuses. *PhD thesis*, Université Laval.
- Locat, P., Leroueil, S., Demers, D. & Locat, J. 2025. Flowslides in Eastern Canada sensitive clays. *Submitted to the Canadian Geotechnical Journal*.
- Mitchell, R.J., and Markell, A. R. (1974) Flowsliding in sensitive soils. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 11(1), pp.11-31.
- Mitchell, R.J. (1978) Earthflow terrain evaluation in Ontario. *Department of Transportation and Communications*, Ontario, R.R. 213, p. 1-29.
- Mitchell R.J. & Klugman M.A., 1979. Mass instabilities in sensitive Canadian soils. *Engineering Geology*, vol. 14 (2-3), p.109-134.
- Ministère des Transports, Un peu d'histoire... Le pont Laviolette, Québec, *Ministère des Transports du Québec*, 2004, 2 p.
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable, MTMD (2021), Cartographie des zones potentiellement exposée aux glissements de terrain, Sainte-Monique, C31101-050-501.

MTQ, 2013. Glissements de terrain le long des rivières Salvail et Richelieu. *Visite de terrain – 1^{er} Atelier international sur les glissements de terrain dans les argiles sensibles* – 30 octobre 2013. Ministère des Transports du Québec, Direction du laboratoire des chaussées, Service de la géotechnique et de la géologie, Section des mouvements de terrain. Rapport MT 13-03, 102 p.

Mollard, J.D. et Janes, J.R. (1985) : La photo-interprétation et le territoire canadien, *Approvisionnement et Service Canada*, Ottawa, vi + 424 p., 131 fig., 19 tabl., 213 pl.

Morin, Claude. Ouvrages de protection pour les piliers du pont Laviolette Trois-Rivières, Québec, *Ministère des Transports du Québec*, 1987, 340 p.

Occhietti S, 2007. The Saint-Narcisse morainic complex and early Younger Dryas events on the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, Vol 61, numéro 2-3, p. 87-237.

Paradis S., Michaud H., Veillette S., Demers D., LeBlanc J.F., David E., 2025. Saint-Alban 1894: Québec's largest historical landslide – Description of the event and its consequences. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523-012028, 21p.

Parent M., Occhietti S., 1988. Late Wisconsinian deglaciation and Champlain sea invasion in the St.Lawrence valley, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 42(3), p. 215-246.

Peck R.B., Ireland H.O., Fry T.S., 1951. Studies of soil characteristics, the earth flows of St.Thuribe, Quebec. *Soil Mechanics Series No.1*, University of Illinois, Dept of Civil Engineering, 9 p.

Poulin-Leboeuf L, Demers D, Allard M, 2022. Portrait statistique de la distribution temporelle et spatiale des glissements de terrain au Québec. *Géorisques VIII – 8^{ème} Conférence canadienne sur la géotechnique et les risques naturels / Geohazards VIII – 8th Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards*. Ed : Cloutier C; Turmel D., Maghoul P., Locat A.; p. 101-112.

Sharpe C.F.S., 1938. Landslides and Related Phenomena : a study of mass-movements of soil and rock. *Columbia University Press*, New York, 137 p.

Taylor D.W., 1948. Fundamentals of Soil Mechanics. *John Wiley & Sons Inc.*, New York, 700 p.

Terzaghi K., Peck R.B., 1967. Soil mechanics in engineering practice. *John Wiley & Sons Inc;* 2^{éd.}, 729 p.

Therrien J., Demers D., Locat P., Bélanger K, Turmel D. 2025a. Composite flowslide-spread landslides in Eastern Canada. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523-012014, 20 p.

Therrien, J., Locat, A. & Leroueil, S., 2025b. Spreads in Eastern Canada sensitive clays. *Submitted to the Canadian Geotechnical Journal*.

- Tremblay-Auger, F., Locat, A., Leroueil, S., Locat, P., Demers, D., Therrien, J., et Mompin, R. 2021. The 2016 landslide at Saint-Luc-de-Vincennes, Quebec: geotechnical and morphological analysis of a combined flowslide and spread. *Revue canadienne de géotechnique*. Vol. 58(2): 295-304
- Turmel, D., Locat, J., Locat, P. et Demers, D. (2017a). Parametric analysis of the mobility of debris from flow slides in sensitive clays. Dans *Landslides in sensitive clays: from research to implementation*. Édité par V. Thakur, J.S. L'Heureux, et A. Locat. Springer, Netherlands, p. 301-310
- Turmel, D., Locat, J., Locat, A., Leroueil, S., Locat, P. et Demers, D. (2017b). The energy reduction factor as a new parameter to integrate in situ rheological data in the numerical modeling of sensitive clay flowslides. Dans *Proceedings of the 70th Canadian Geotechnical Conference*, Ottawa, Canada, 7 p
- Turmel D., Potvin J., Demers D., Locat P., Locat A., Locat J., et Leroueil S. (2018). Empirical estimation of the retrogression and the runout distance of sensitive clay flowslides. *Comptes-rendus de la 7ème Conférence canadienne sur la géotechnique et les risques naturels - Geohazards 7*, Canmore 2018, 8p.
- Turmel D. & Locat A. (2020). Analyse et modélisation de la propagation des débris de coulées argileuses non confinées – Phase 2 : Rapport sur le cas de Sainte-Geneviève-de-Batiscan. *Rapport LERN-Coulées-2020-01, Laboratoire d'études sur les risques naturels (LERN)*, Département de génie civil et de génie des eaux, Université Laval, 42 p.
- Turmel D., Demers D., Therrien J., Locat P., Le Blanc J.-F., Poulin-Leboeuf L., 2025. Landslide dams and debris in sensitive clays of eastern Canada: review of characteristics and consequences. *3rd International Workshop on Landslides in Sensitive Clays (IWLSC 2025)*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1523-012027, 28 p
- Wilson M. E. & Mackay B. R., 1919. Landslide adjacent to riviere Blanche St. Thuribe, Parish of St. Casimir, Portneuf County, P. Q., *Report on Mining Operations in the Province of Quebec during the year 1918*, Quebec, E. E. Cinq-Mars, 23 avril 1919, p. 152-156.
- Young N., Lemieux J.M., Mony L., Germain A., Locat P., Demers D., Locat A., and Locat J. 2022. Field performance of four vibrating-wire piezometer installation methods. *Can. Geotech. J.* 59: 1334–1347

ANNEXES

CAPSULE 1 : Le glissement de Saint-Alban du 27 avril 1894²

Le glissement de terrain survenu le 27 avril 1894 le long de la rivière Sainte-Anne, à quelques kilomètres en amont du village de Saint-Alban, est de loin le plus grand des cas historiques au Québec, avec une superficie d'environ 420 ha (figure 1). Le deuxième plus important parmi les cas historiques est celui survenu en 2022 le long de la « Swamp River », un affluent de la Petite-Rivière-à-la-Baleine, dans le Grand-Nord québécois, dont la superficie est de 78 ha, soit environ cinq fois moins grand que le cas de Saint-Alban (Fournier et al., 2022). Celui de Saint-Jean-Vianney en 1971, qui a causé 31 décès, avait une superficie de 32 ha (Demers et al., 2021).

Selon l'analyse de documents d'archives, de données lidars, ainsi que d'investigations géotechniques récentes, le mouvement de 1894 à Saint-Alban se serait produit en plusieurs étapes (figure 2), impliquant différents mécanismes de rupture : coulée argileuse, étalement et glissement par plaque notamment. La présence à proximité d'un segment de la moraine de Saint-Narcisse, un important massif de matériaux juxta-glaciaires très drainants, a engendré de fortes pressions interstitielles dans le massif argileux adjacent, facilitant du même coup le lessivage des sels de l'eau interstitielle et augmentant fortement la sensibilité de l'argile (des valeurs dépassant 1000 ont été mesurées dans les parties inférieures du dépôt argileux). La moraine a toutefois contrôlé aussi l'arrêt du processus de rétrogression, lequel s'est finalement buté sur ses flancs.

Malgré une distance de rétrogression d'environ 1,4 km et une largeur de 3,6 km, ce cataclysme n'a toutefois entraîné au total que six résidences et leurs bâtiments accessoires car il s'est produit dans une zone rurale faiblement habitée. Il n'a d'ailleurs provoqué que 4 décès. De plus, quelques bâtiments, dont deux résidences, ont été emportés par une immense plaque et sont restés parfaitement intacts, malgré un déplacement de l'ordre de 1,4 km. Leurs résidents ont ainsi eu la vie sauve. Par ailleurs, l'écoulement des débris du glissement a engendré d'énormes perturbations et dommages le long de la rivière Sainte-Anne jusqu'au fleuve Saint-Laurent, soit une distance d'environ 40 km (figure 3). En plus d'emporter quelques ponts routiers sur leur parcours, les débris et la crue, formée par la vidange rapide d'une immense retenue d'eau temporaire, ont érodé les berges en aval à plusieurs endroits et ont été responsables d'autres glissements de terrain dans les jours suivants le long de la rivière Sainte-Anne, jusque dans le village de Sainte-Anne-de-la-Pérade, à environ 40 km en aval. À cet endroit, 7 maisons et 5 granges ont été emportées,

² Les informations fournies dans la présente capsule sont tirées de l'article de Paradis et al. (2025), présenté lors de l'atelier IWLSC-2025.

alors que 3 autres résidences ont été démolies de façon préventive et 3 autres furent relocalisées.

À plusieurs endroits, la rivière a changé son cours, et la sédimentation des débris a même permis de relier à la terre ferme quelques îles situées à son embouchure. La sédimentation et la turbidité de l'eau ont aussi perturbé la navigation, les pêcheries et l'approvisionnement en eau potable pour les villages riverains pendant de très longues périodes. Tous ces impacts font probablement de cet événement, la plus grande catastrophe écologique historique due à un glissement de terrain au Québec.

Bien qu'un mouvement de terrain de cette ampleur particulière demeure un événement extrêmement rare, sa relative contemporanéité, en terme géologique, nous rappelle aussi qu'un tel méga-glissement est toujours possible dans le contexte géologique québécois.

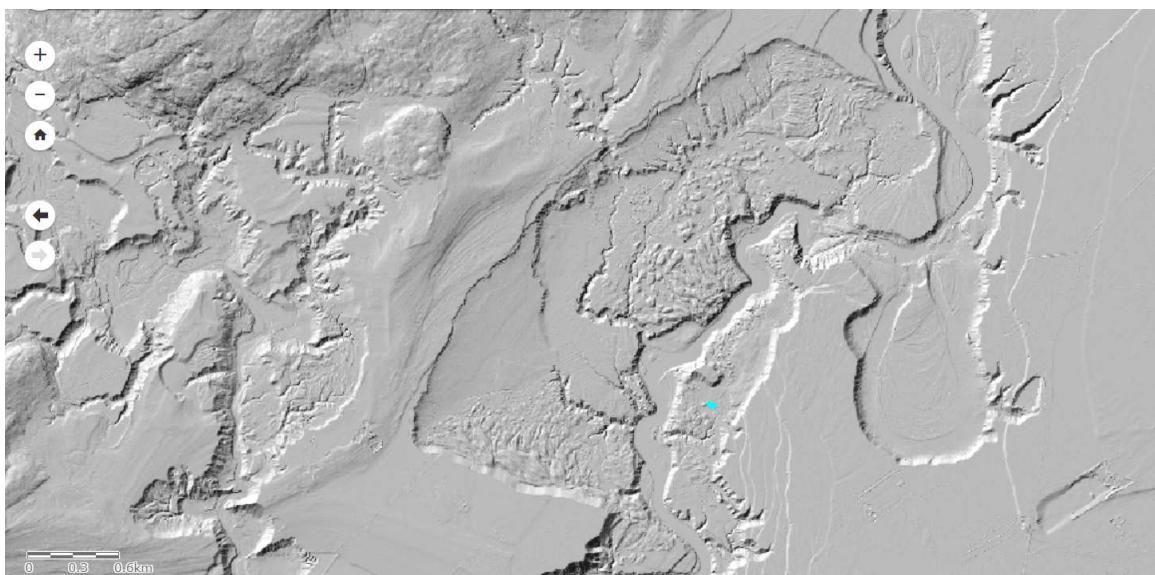


Figure 1 : Relief ombragé de la cicatrice du glissement de terrain de 1894 à Saint-Alban. Un segment de la moraine de Saint-Narcisse forme une protubérance linéaire longeant la partie nord de la cicatrice.

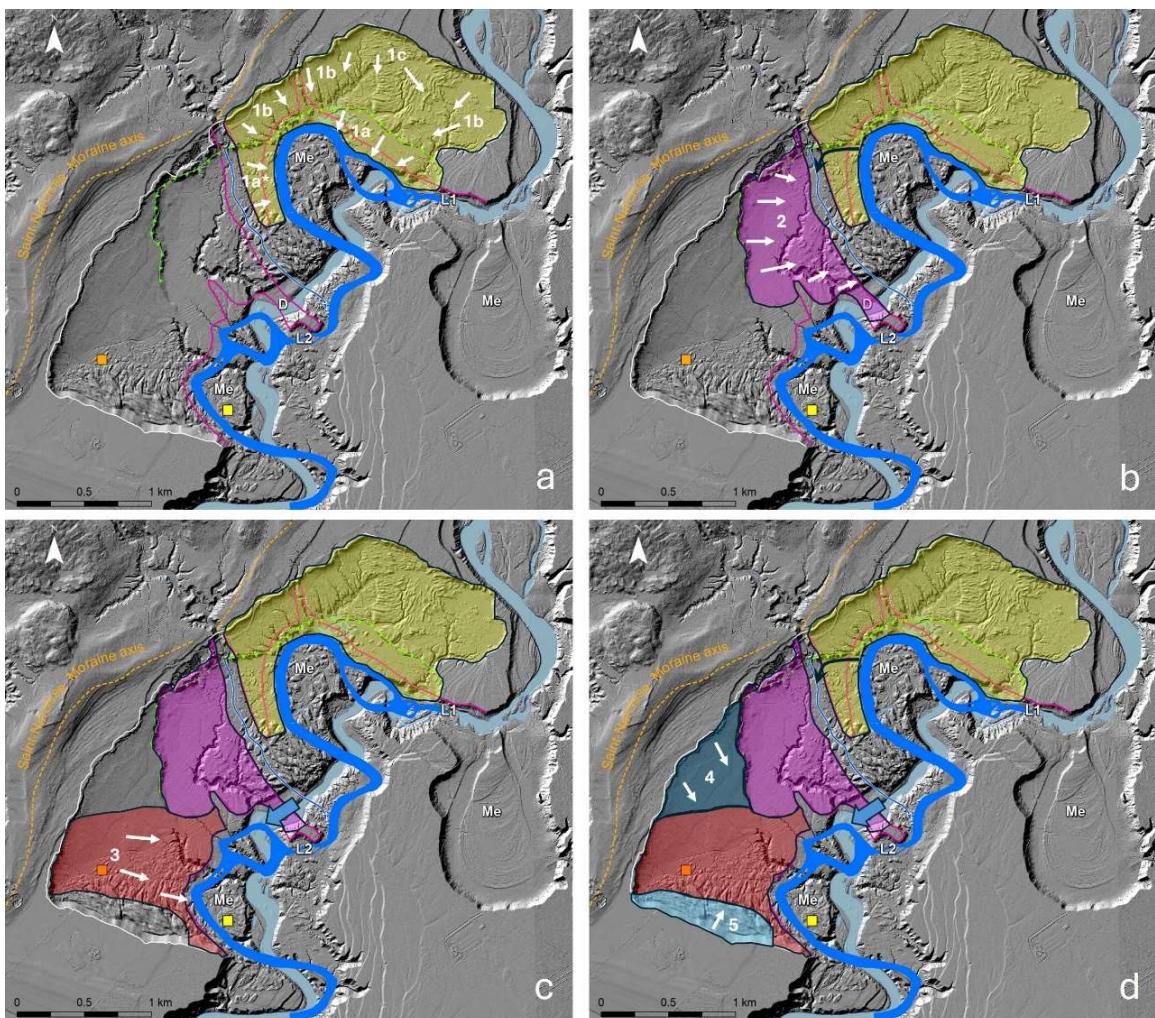


Figure 2 : Vue des principales étapes du glissement (voir Paradis et al. 2025 pour les détails).

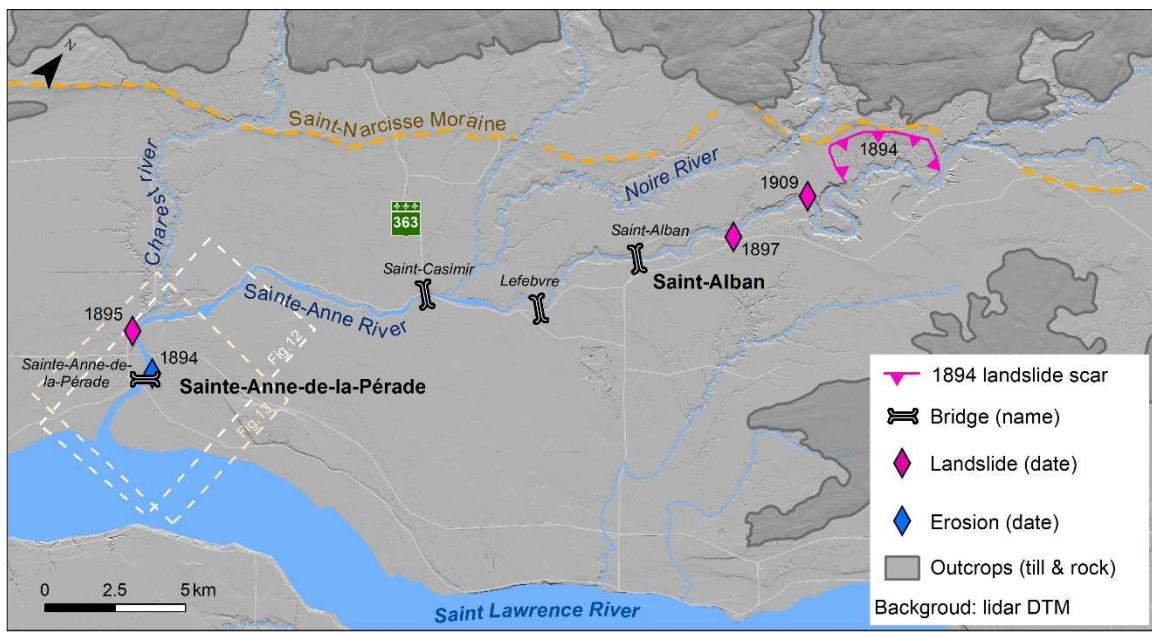


Figure 3 : Aperçu des principaux impacts provoqués par le passage des débris du glissement de terrain et de la crue le long de la rivière Saint-Anne, jusqu'à son embouchure dans le fleuve Saint-Laurent.

CAPSULE 2 : Étude pour un développement résidentiel à Saint-Alban

Une étude géotechnique a été entreprise en 2023 dans la municipalité de Saint-Alban, où un nouveau développement domiciliaire projeté se trouvait en partie dans une zone ayant été cartographiée dans les années 1980 comme étant potentiellement exposée à des glissements de terrain fortement rétrogressifs (GFR). Puisque cette zone englobait également une grande partie déjà construite du village (figure 1), une analyse plus détaillée a été réalisée afin d'évaluer la dangerosité de la situation pour le village et pour déterminer si une éventuelle mise à jour du zonage était nécessaire.

Peu de sondages et forages avaient été réalisés dans les années 1980 (ceux identifiés en jaune sur la figure 1) et le zonage était principalement basé sur des observations concernant la nature de la berge et la dimension des anciennes cicatrices de glissements fortement rétrogressifs le long de la rivière Sainte-Anne. Dans les environs du site à l'étude, seules trois cicatrices existent sur le parcours de cette rivière, toutes localisées en amont du village (figure 2). La première, située à 3,1 km, date de 1897 et a une distance de régression d'environ 225 m. Les formes topographiques à l'intérieur de cette cicatrice, ainsi qu'une photo d'époque, laissent croire qu'il s'agit d'un glissement par étalement (Paradis et al. 2025). La deuxième cicatrice, située à 4,1 km et de date inconnue, présente une forme très allongée mais étroite, avec une distance de régression de l'ordre de 1,3 km. Une telle forme suggère fortement qu'il s'agissait d'une coulée argileuse. La troisième et dernière est la méga-cicatrice datant de 1894, la plus grande de tous les cas historiques au Québec, présentant des modes de rupture multiples (voir capsule précédente et Paradis et al. 2025).

Les concepteurs de la cartographie des années 1980 ont basé leur dimensionnement sur une moyenne approximative des deux premières cicatrices en excluant la dernière vu le contexte géologique particulier à ce site. La distance de recul retenue pour le zonage du secteur était donc de l'ordre de 800 m (zone en jaune sur la figure 1). Or, la hauteur des talus était originellement bien supérieure aux sites de ces trois cicatrices (respectivement de 30, 34 et 55 m environ) qu'au site à l'étude près du village (14 m). Par ailleurs, l'étendue de l'argile suffisamment sensible pour subir un glissement de type coulée argileuse, permettant d'atteindre une si grande distance de régression, n'avait pas été sondée à l'époque.

Une campagne d'investigation détaillée fût donc entreprise en 2023, incluant 7 nouveaux sondages au piézocône et autant de forages avec échantillonnage (numérotés 27062 à 27068 sur la figure 1). Cette investigation a permis d'identifier la présence de plusieurs unités géologiques d'épaisseur et de nature différentes (figure 3). Une couche de sable, dont l'épaisseur peut atteindre près de 10 m, forme la première unité sous la surface du terrain naturel. La deuxième unité sous-jacente est composée de strates argileuses et sableuses, sur des épaisseurs variant de 2 à 4 m environ. Suivent ensuite deux couches d'argile relativement uniformes, la première étant plus raide et plus surconsolidée que celle sous-jacente. Celle supérieure a une épaisseur variant d'environ 6 à 8 m et constitue la partie inférieure du talus en bordure de la rivière au site à l'étude (figure 3, sondage 27062). La

deuxième de ces unités argileuses a une épaisseur de 3 à 6 m et se trouve sous le niveau de l'eau de la rivière Sainte-Anne. Tous les sondages au piézocône ont terminé leur course dans une couche très dense, de nature granulaire, sous les unités argileuses, à environ 6 m sous le niveau de l'eau de la rivière.

Trois forages ont permis de vérifier la variabilité latérale de la sensibilité des couches d'argile dans l'axe de la régression anticipée : le premier en bordure du talus (27062), le deuxième où débute le secteur habité (27063) et un troisième près de la fin de la zone, où était envisagé le nouveau développement résidentiel (27064). Or, les données d'indice de liquidité et de résistance au cisaillement à l'état remanié (mesurées au cône suédois) montrent que le dépôt argileux ne présente pas les propriétés nécessaires au site du 2^{ème} forage (27063 à la figure 3) pour qu'un processus de coulée argileuse puisse s'y étendre. Les autres forages adjacents latéralement à celui-ci (27066 et 26067) ont permis d'appuyer cette observation, permettant de conclure que ni une coulée argileuse, ni un étalement, ne pouvait atteindre la zone habitée. Toutefois, l'argile en bordure du talus étant propice aux glissements fortement régressifs, une zone a été conservée près de la rivière Sainte-Anne, dont les dimensions ont été estimées en se basant sur l'étalement de 1897, ainsi que sur une moyenne des cicatrices d'anciens glissements de terrain survenus sur la rivière Noire, qui coule parallèlement à la rivière Sainte-Anne, à un peu moins de 2 km au nord-ouest (figure 2).

Le résultat de ces investigations a finalement permis d'autoriser en toute sécurité la construction du nouveau développement résidentiel et de constater que la zone déjà habitée n'était pas réellement exposée au danger de GFR. Le zonage a donc pu être rétréci, tout en gardant une marge sécuritaire en bordure de la rivière Sainte-Anne.

En terminant, il est à noter que durant l'investigation, un suivi des berges par drone et par caméra de surveillance a été effectué pour assurer la sécurité des résidents du village, tant que l'étude n'était pas finalisée.

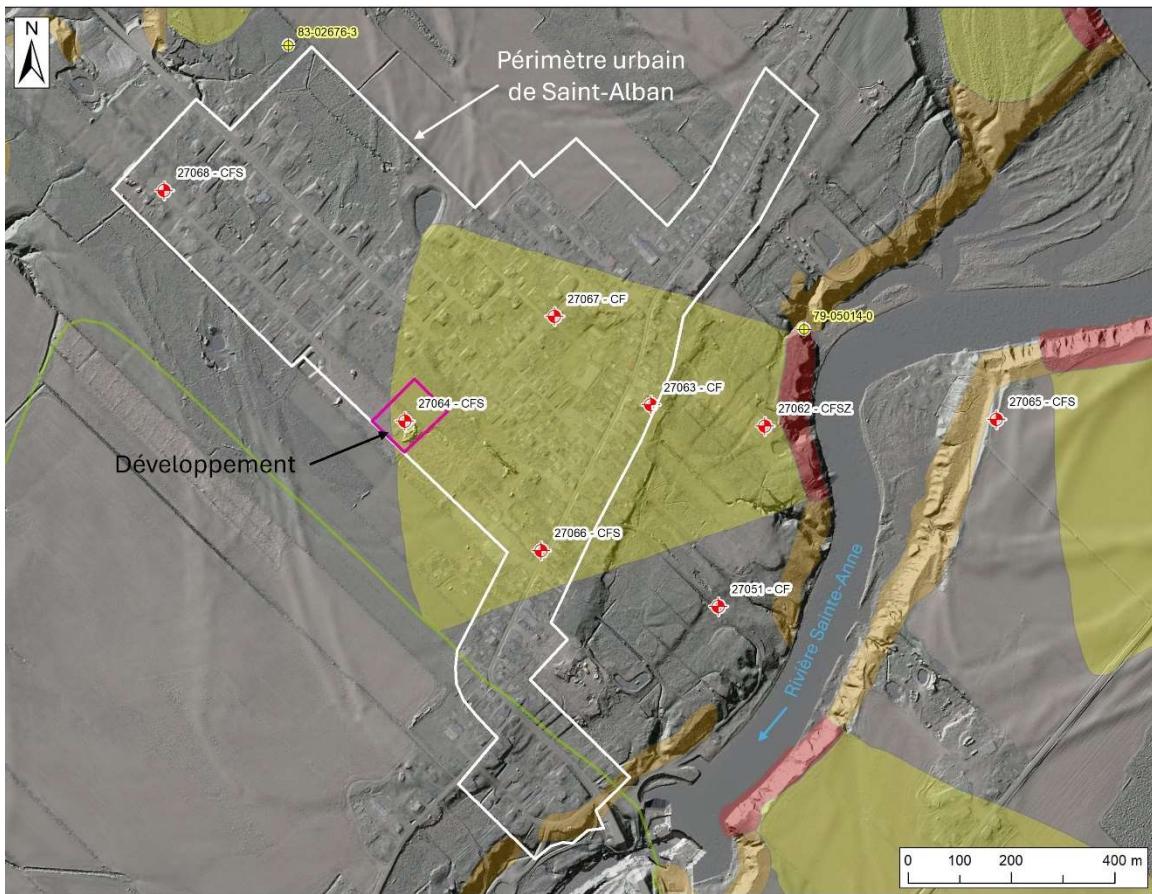


Figure 1 : Vue de l'ensemble du site, de la zone cartographiée dans les années 1980 et localisation des forages et sondages. Les zones jaunes délimitent celles identifiées à de possibles glissements fortement rétrogressifs.

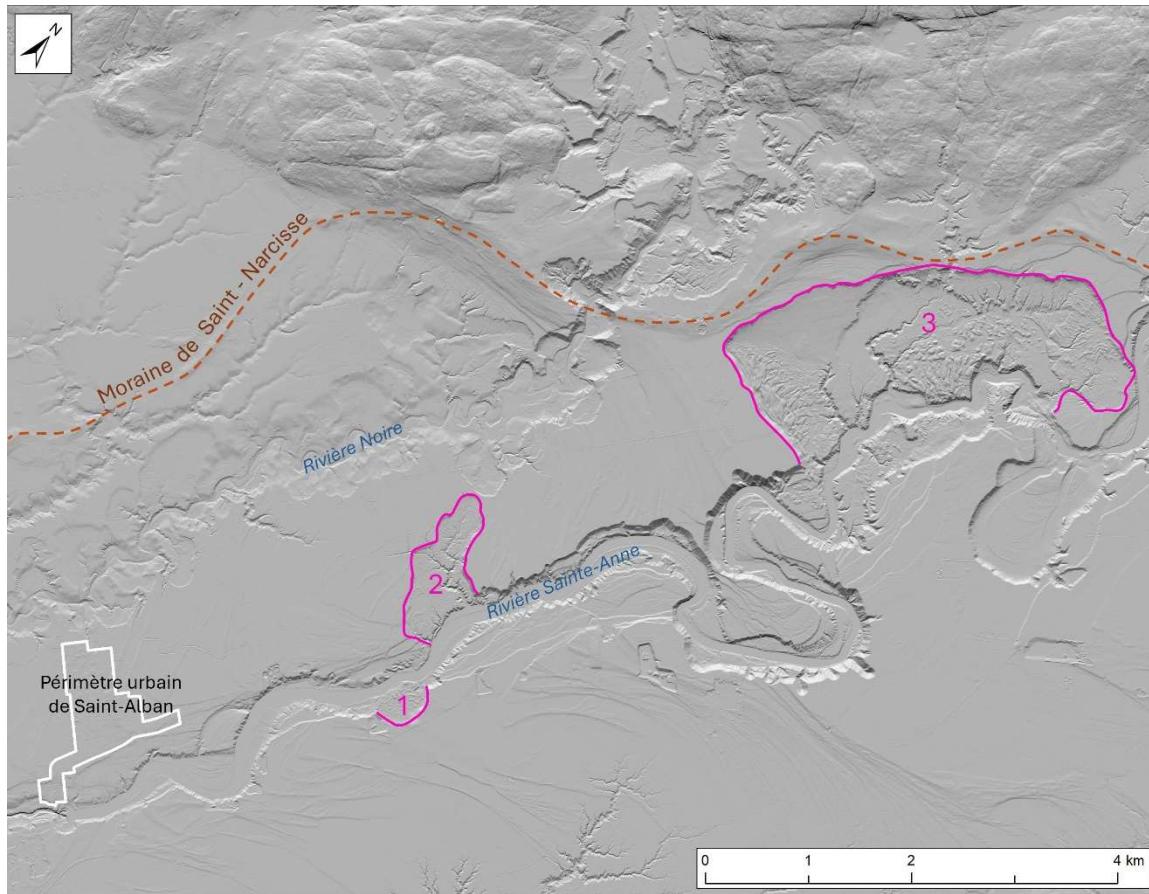


Figure 2 : Localisation des trois cicatrices de glissement fortement rétrogressifs en amont du site à l'étude (lignes roses) et de la rivière Noire au nord-ouest. À noter la position de l'axe de la moraine de Saint-Narcisse qui longe partiellement la rivière Sainte-Anne puis la rivière Noire par la suite.

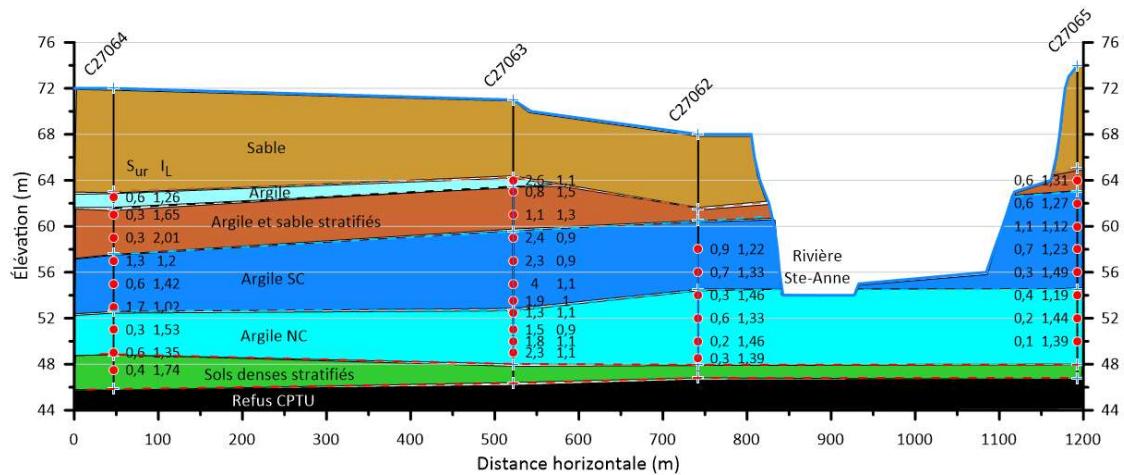


Figure 3 : Coupe stratigraphique longitudinale à la zone d'étude, dans l'axe des sondages 27062 à 27065. Note : la figure présente une très forte exagération verticale (13,6 fois) afin de mieux visualiser les couches de sol et les données de laboratoire. Note : la bathymétrie sous le niveau de l'eau de la rivière n'est pas illustrée car elle n'est pas connue de façon précise.

CAPSULE 3: Situation d'urgence à la suite d'un glissement rotationnel profond en avril 2022, rivière Noire, St-Alban

Contexte

Le 13 avril 2022 est survenu un glissement rotationnel profond sur la berge droite de la rivière Noire à Saint-Alban, juste à côté de l'endroit où le rang Saint-Philippe traverse ce cours d'eau (figure 1). Cette rivière est bien connue pour les nombreuses cicatrices de glissements fortement régressifs le long de son parcours, qui ont laissé des formes très caractéristiques et facilement reconnaissables sur des photos aériennes (figure 2). Le secteur a d'ailleurs été cité pour cette raison dans de nombreuses références bibliographiques, notamment par Karrow (1972) et Mollard & Janes (1985), pour ses formes caractéristiques appelées « thumbprint », typiques des étalements (Therrien et al., 2025b).

Au site du glissement de terrain de 2022, la rivière forme un méandre prononcé qui vient éroder le pied du talus d'une hauteur totale d'environ 17 m (figure 3). Le talus avant que se produise le glissement avait une inclinaison d'un peu moins de 40° sur presque 10 m de hauteur à sa base (figure 4). Un champ agricole se situe au sommet de la pente et le pont du chemin Saint-Philippe se trouve tout juste en aval. Les très nombreuses cicatrices de glissements fortement régressifs visibles sur le modèle numérique de terrain dans ce secteur (figure 1) révélaient que les sols argileux dans cette région sont sensibles au remaniement. Un sondage réalisé par le ministère des Richesses naturelles en 1983, situé à 250 m au nord du site à l'étude, confirmait la présence de ce type d'argile. Un forage réalisé par la suite plus à proximité du site (figure 5) a montré que le dépôt argileux à cet endroit, compris entre les profondeurs de 3,5 et 27 m de profondeur, présentait des indices de liquidité compris entre 1,2 et 3,2 et des sensibilités pouvant atteindre des valeurs comprises entre 200 et 550 à partir de 9 m de profondeur. La résistance au cisaillement non drainé, mesurée au scissomètre de chantier à l'état intact, varie entre 33 et 68 kPa.

Le glissement de terrain survenu le 13 avril 2022 mesurait 41 m de largeur et il a emporté une bande de terrain de 16 à 18 m en sommet (figures 4 et 6). L'escarpement arrière du glissement était très raide sur 11 m de hauteur. La configuration du glissement indiquait que la surface de rupture était profonde et passait sous le niveau de la rivière. Les débris du glissement étaient peu présents au pied de l'escarpement et ils obstruaient la berge opposée de la rivière, déviant l'eau vers le pied du glissement (figure 6).

Les facteurs ayant contribué à déclencher le glissement de terrain sont l'augmentation des pressions interstitielles consécutive à la fonte printanière et aux précipitations des semaines précédentes, ainsi que la présence d'érosion sévère à la base du talus situé dans la courbure externe d'un méandre de la rivière Noire (figure 3). Considérant la géométrie très défavorable laissée par le glissement, ainsi que la présence d'argile sensible et l'historique de glissements de terrain fortement régressifs dans ce secteur, le danger que l'escarpement arrière mène au développement d'un glissement de plus grande ampleur était fortement anticipé. Puisque le pont et la route Saint-Philippe se trouvaient à faible distance du

glissement (figure 6), ils étaient considérés comme étant menacés de façon imminente par son éventuel agrandissement.

Un périmètre de sécurité de 200 m fermant la route et le pont a alors été recommandé par la MTMD et un chemin de détour a été mis en place en attendant la réalisation de travaux pour contrer le développement d'un glissement fortement rétrogressif. Les travaux ont été réalisés en deux phases, la première en urgence, en mai 2022, pour permettre de sécuriser temporairement les lieux et rouvrir la route, et la seconde, en février 2024, pour protéger le talus contre l'érosion et pérenniser la sécurité des lieux.

Travaux préliminaires (en urgence)

Afin d'éliminer à court terme la possibilité que le glissement s'agrandisse, il a été décidé de procéder rapidement à un adoucissement des parois de la cicatrice du glissement. Le principal défi consistait à s'assurer de la sécurité des travailleurs. Un chemin d'accès a alors été mis en place à partir d'une distance sécuritaire à l'arrière du site, et en suivant par la suite une zone plus basse que le plateau adjacent (figure 7), donnant une hauteur inférieure à celle critique pour le développement de glissements fortement rétrogressifs (Leroueil et al., 2025). Cet accès sécuritaire a permis de débuter l'excavation des terrains du plateau adjacent afin de s'assurer que ceux-ci n'aient plus une hauteur suffisante pour qu'un éventuel processus de régression puisse se poursuivre, en se basant sur le critère défini par Locat (2022, 2023) :

- $\gamma H/S_{uv} < 24l_p$

La zone d'excavation a donc progressé de l'arrière vers la cicatrice du glissement (figure 7). Le chemin d'accès s'est ensuite approché de la paroi latérale du glissement du côté nord-est, où le talus était moindre, afin de débuter l'adoucissement des escarpements du glissement (figure 7).

Ces travaux préliminaires se sont terminés par un déversement de pierre en bordure du cours d'eau, pour éviter que l'érosion attaque la base du glissement, et à proximité du pont pour protéger ses piles (figure 8), en prenant soin de ne pas causer d'étranglement de la rivière. Dans les semaines suivantes, un chenal a été creusé par la municipalité au travers des débris dans la rivière pour diminuer l'érosion puisque le design et l'obtention de toutes les autorisations pour la phase finale des travaux, pour assurer la pérennité du site, nécessitaient un délai de plusieurs mois. Une surveillance du site a été assurée à l'aide d'une caméra de chasse installée sur la rive opposée pour vérifier que les travaux préliminaires ne se détérioraient pas.

Travaux finaux

Les travaux finaux, réalisés environ un an et demi plus tard, ont consisté principalement à la mise en place d'un enrochement permanent à la base des talus afin de les protéger de façon pérenne contre l'érosion par la rivière, ainsi qu'au réaménagement de l'ensemble du site (figure 9). Le lit de la rivière Noire a été repositionné à son endroit d'origine lors de la mise en place de l'enrochement.

Particularité du site

Une des particularités du site était la présence d'un système de fissures subverticales très profondes, observé dans l'escarpement arrière de la cicatrice du glissement (figure 10) dès la première visite de terrain suivant l'événement. La perte de terrain en sommet de talus étant évaluée entre 16 et 18 m, ces fissures se trouvaient donc à une bonne distance du rebord initial du talus. De tels systèmes de fissuration subverticale ont aussi été observés dans les parois des glissements fortement rétrogressifs récents de Saint-Thuribe et de Sainte-Monique (sites 1 et 4 de la présente tournée), à plus d'une centaine de mètres de la crête initiale des talus. La question de leur origine et leur développement sera abordée au premier arrêt, au site de Saint-Thuribe.



Figure 1 : Localisation générale et du site du glissement de terrain de 2022, le long de la rivière Noire (où pointe la flèche blanche).



Figure 2 : Photo aérienne de 1955 permettant de reconnaître des formes typiques de glissements fortement rétrogressifs le long de la rivière Noire. La flèche pointe le site du glissement de 2022.
(Source : photo A-14602-98 – Énergie, Mines et Ressources - Canada)

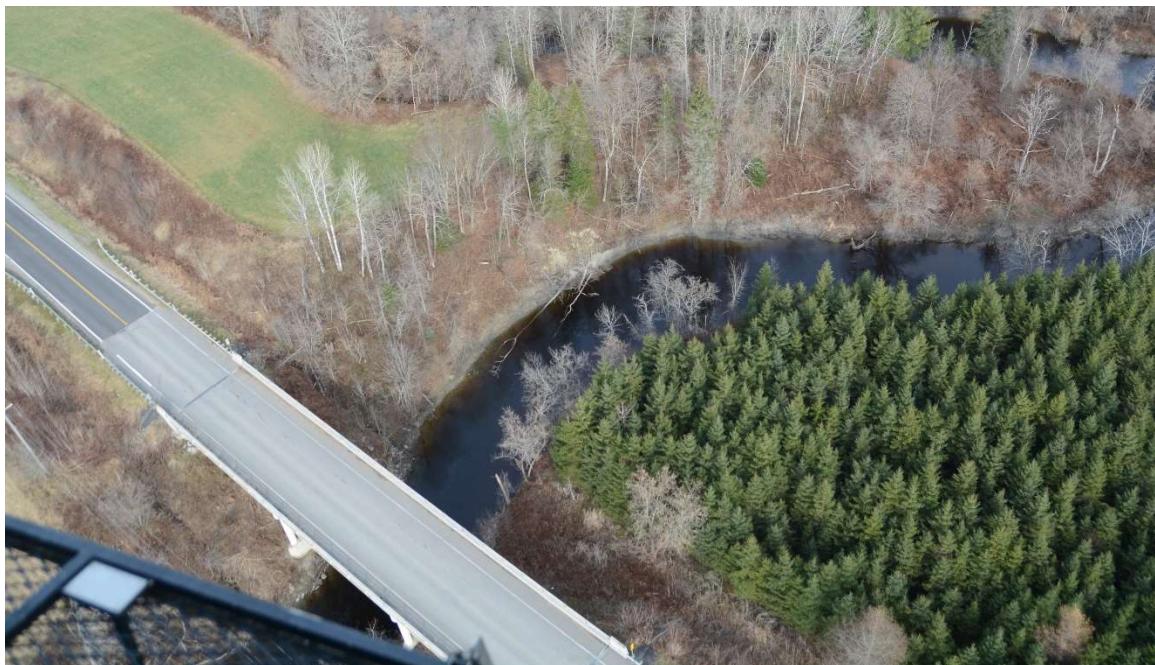


Figure 3 : Vue par hélicoptère en 2017 montrant la présence d'une encoche d'érosion au pied du talus.
(Source : MTMD – DGG)

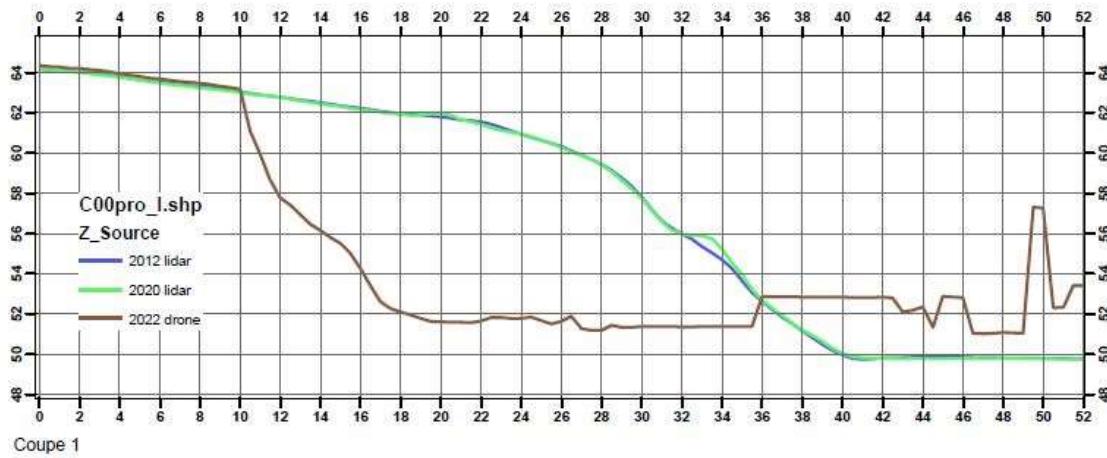


Figure 4 : Section topographique au site du glissement de 2022.

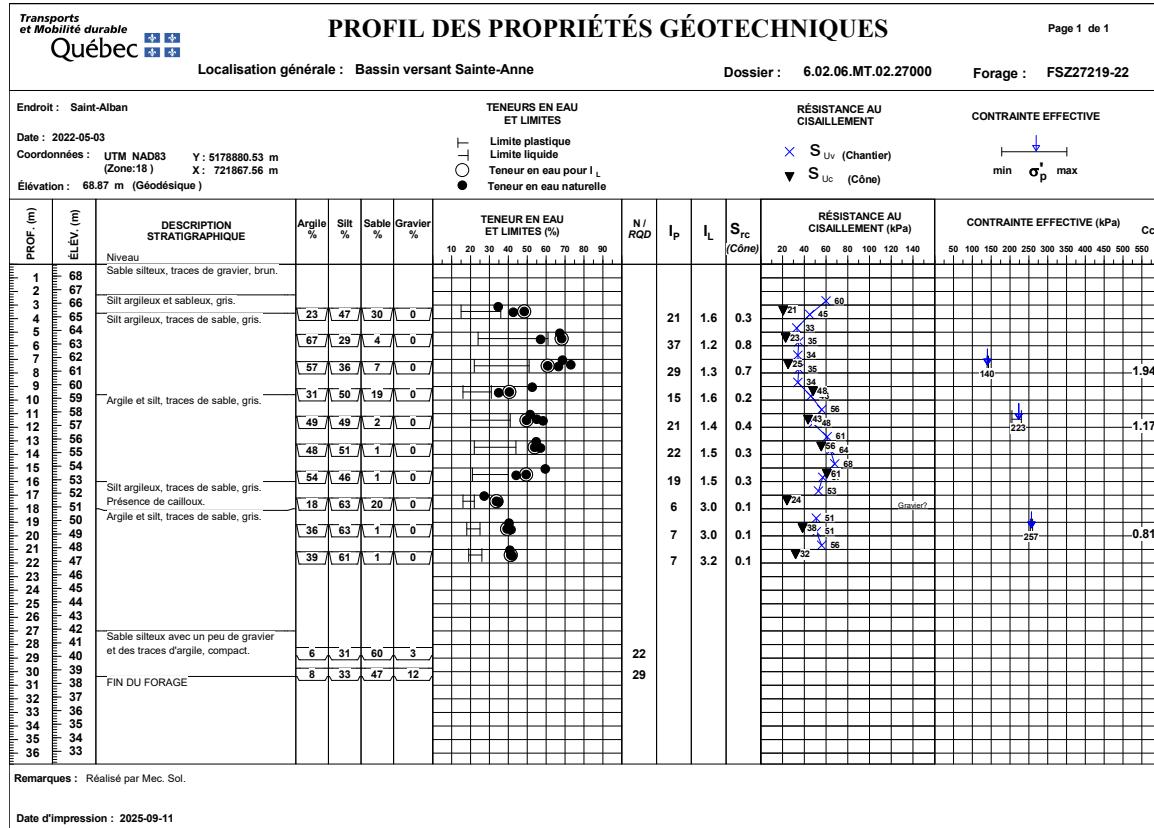


Figure 5 : Profil géotechnique du forage FSZ27219-22, réalisé à proximité du site.



Figure 6 : Vue par drone du glissement d'avril 2022 en bordure de la rivière Noire, près du chemin et du pont du rang Saint-Philippe. (Source : MTMD – DGG)



Figure 7 : Excavation de paliers de sol en s'approchant progressivement de la cicatrice du glissement. Le chemin d'accès a été placé à un endroit où il se trouvait plus bas que le plateau intact adjacent. (Source : MTMD – DGG)



Figure 8 : Vue des travaux finaux de la phase préliminaire. (Source : MTMD – DGG)



Figure 9 : Vue des travaux finaux. (Source : MTMD – DGG)



Figure 10 : Vue de l'escarpement arrière du glissement, montrant un système bien développé de fissures subverticales très profondes.

CAPSULE 4 : Site expérimental de Sainte-Anne-de-la-Pérade

Introduction

Avant d'arriver au deuxième arrêt, le trajet passe tout près du site expérimental de Sainte-Anne-de-la-Pérade (figure 1). À cet endroit, l'Université Laval et le ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) du Québec ont instrumenté le site pour y faire divers suivis concernant les conditions d'eau souterraine, celles-ci étant un élément fondamental de toute étude de stabilité de pente dans les sols argileux.

L'endroit a fait l'objet de nombreux sondages et forages pour caractériser le site (figure 1), dont la stratigraphie est relativement plus complexe que les modèles souvent utilisés dans les études de stabilité de pentes dans les argiles sensibles au Québec (Lefebvre, 1986, 2017). De plus, une multitude d'instruments ont été installés et un suivi des mesures a été effectué sur de nombreuses années et est toujours en cours. Ainsi, plusieurs nids de piézomètres (électriques et hydrauliques standards) ont été mis en place pour suivre les conditions piézométriques dans le temps (Germain et al., 2020). Différents modes d'installation des piézomètres ont aussi été testés pour vérifier leur degré de performance (Young et al., 2022). En plus d'une station météorologique gouvernementale déjà existante à proximité, une autre a été installée directement sur le site permettant de mesurer sur place les précipitations, la pression barométrique, les radiations solaires, la direction et la vitesse du vent, l'épaisseur de neige, la température et l'humidité de l'air, tout cela sur une base horaire.

De plus, des sondes ont été installées dans la zone non saturée à côté de la station météorologique locale afin de surveiller l'infiltration d'eau et le régime thermique du sol. Des thermistances, des sondes de teneur en eau et des tensiomètres ont été utilisés pour surveiller l'infiltration entre 2,5 cm et 2 m de profondeur.

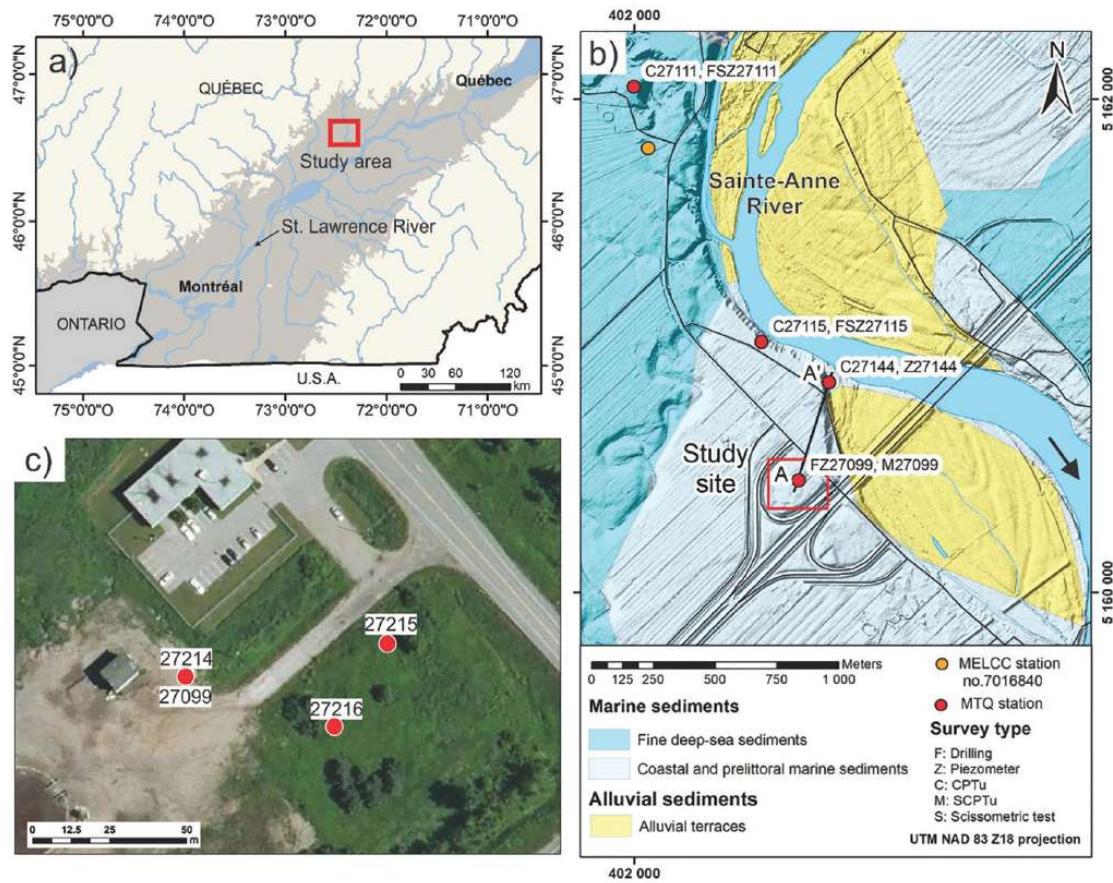


Figure 1 : Localisation du site. (Tirée de Germain et al., 2020)

Conditions géologiques

La stratigraphie quaternaire à ce site est relativement complexe, comme on en rencontre assez régulièrement dans les talus d'argile marine post-glaciaire au Québec, où alternent des unités de matériaux très drainants, d'autres uniformes et très imperméables, et finalement des couches interstratifiées (figure 2).

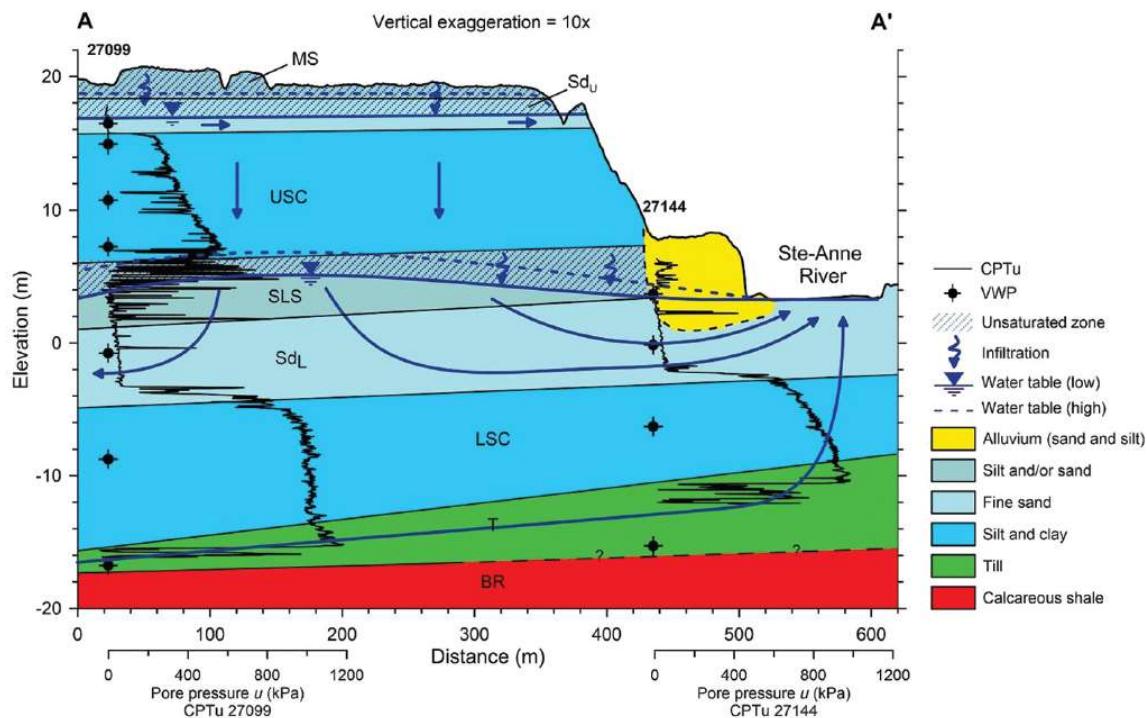


Figure 2 : Coupe stratigraphique du site et modèle conceptuel de l’écoulement de l’eau souterraine au site de Sainte-Anne-de-la-Pérade, le long du profil A-A' localisé à la figure 1. Deux profils de pression interstitielle obtenus au fonçage du piézocône sont inclus au profil. (Tirée de Germain et al., 2020)

Résumé des principaux constats

Les résultats indiquent que la dynamique des eaux souterraines et de la pression interstitielle sur le site ne peut être expliquée à l'aide de modèles conceptuels simplifiés du site. Une analyse plus approfondie indique que la dynamique des eaux souterraines et les pressions interstitielles dans les dépôts d'argile massifs sur place sont déterminées par (i) la nature hautement hétérogène des matériaux géologiques locaux (ii) les propriétés hydrauliques et géotechniques contrastées de ces matériaux, (iii) la présence de deux aquifères non confinés sur le site, l'un en surface et l'autre en profondeur, et (iv), la présence de la rivière Sainte-Anne. Ces résultats ont été utilisés pour créer un nouveau modèle conceptuel qui illustre le système complexe d'écoulement des eaux souterraines présent sur le site (figures 2 et 3), et montre l'importance d'inclure le contexte hydrogéologique dans l'analyse de la stabilité des pentes.

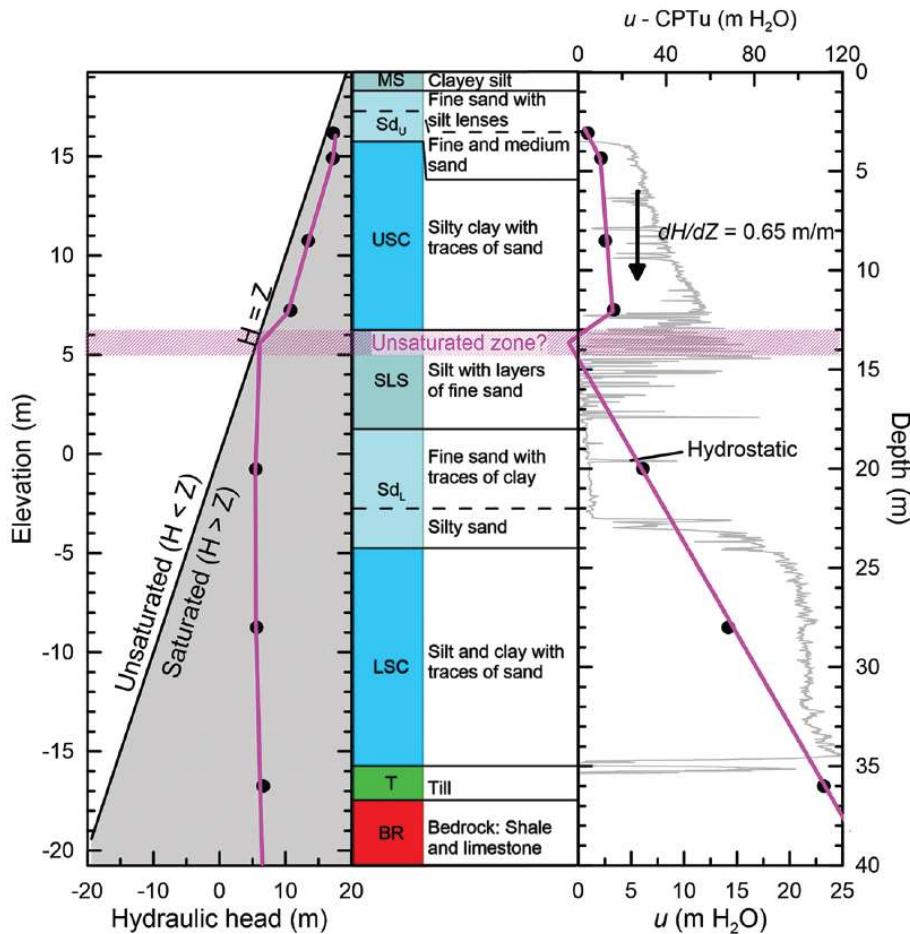


Figure 3 : Profils des gradients hydrauliques, stratigraphie et valeurs dynamiques de la pression interstitielle en fonction de la profondeur. Les points noirs représentent les points de mesure. La ligne violette sert à montrer deux régimes d'écoulement différents présents sur le site : un écoulement descendant existe dans les 14 m supérieurs de la section, tandis que l'écoulement est largement hydrostatique à des profondeurs de 15 m et plus. H : charge hydraulique ; Z : altitude. (Tirée de Germain et al., 2020)

Concernant l'installation des piézomètres électriques à cordes vibrantes, les méthodes suivantes ont été utilisées (Young et al. 2022) :

- piézomètres simples dans des lanternes de sable (SP);
- piézomètres multiniveaux dans des lanternes de sable (MLSP);
- piézomètres multiniveaux entièrement scellés à l'aide de bentonite (FGB)
- piézomètres multiniveaux entièrement scellés à l'aide de coulis de ciment-bentonite (FGCB).

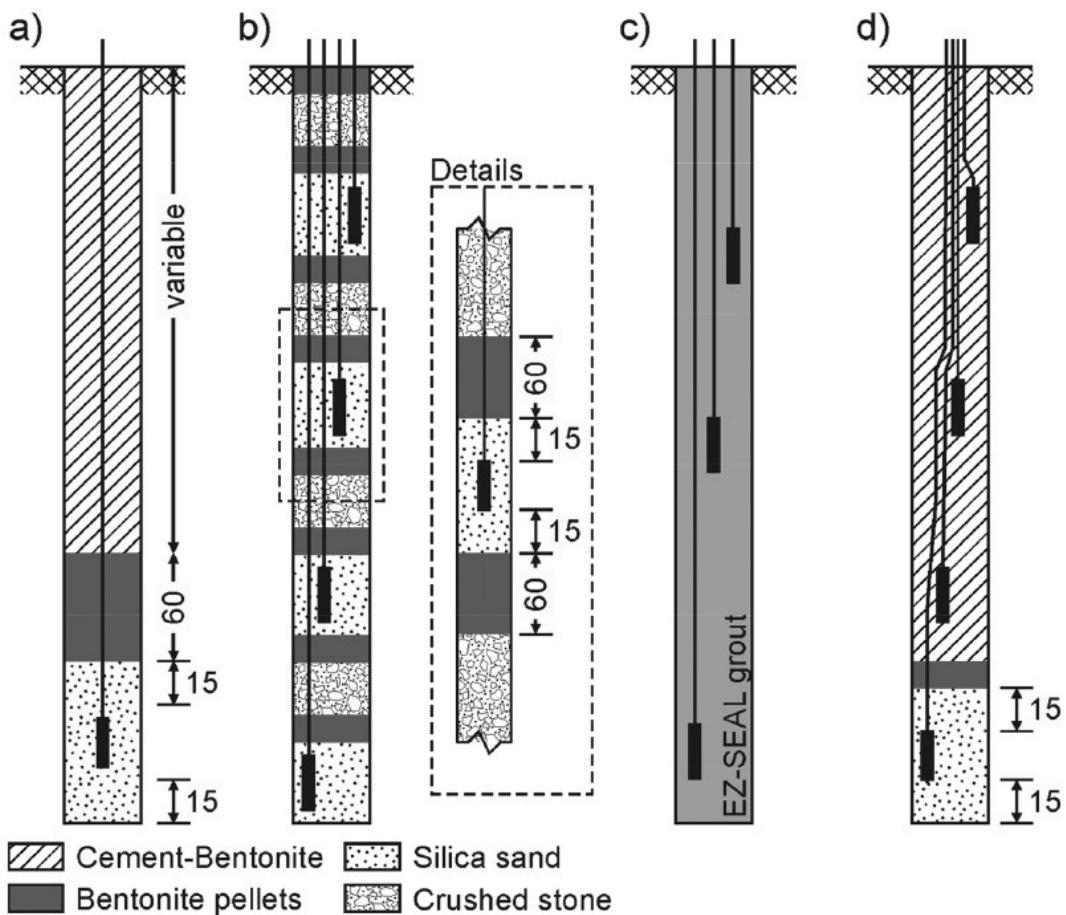


Figure 4 : Schéma (a) d'un piézomètre unique installé dans un lit de sable (SP), (b) d'un nid de piézomètres à plusieurs niveaux où chaque piézomètre est installé dans un lit de sable (MLSP), (c) d'un nid de piézomètres entièrement cimenté dans un seul trou de forage à l'aide d'un coulis composé exclusivement de bentonite (FGB), et (d) d'un nid de piézomètres composé d'un mélange de ciment-bentonite dans un seul trou de forage (FGCB). La longueur est exprimée en cm. (Young et al., 2022)

Sur la base d'un suivi ayant duré environ 2 ans, il a été constaté que les piézomètres SP, MLSP et FGB ont donné les résultats les plus fiables, car les piézomètres installés à la même profondeur avec ces méthodes ont enregistré des variations de pression similaires, cohérentes avec le contexte hydrogéologique. Parmi les deux installations entièrement scellées à l'aide d'un coulis de ciment-bentonite, l'une d'elles s'est complètement effondrée en raison d'un court-circuit hydraulique, probablement causé par un écoulement préférentiel le long des fils des instruments encastrés. L'absence d'une méthode standard pour le mélange de coulis de ciment-bentonite au moment de la construction a probablement contribué à l'échec des installations de BGCF, car le mélange de coulis utilisé dans cette étude était probablement trop visqueux pour assurer une étanchéité adéquate.

CAPSULE 5 : Le pont Laviolette sur le fleuve Saint-Laurent

Généralités

Les deux premiers arrêts de la visite technique ont eu lieu du côté nord du fleuve Saint-Laurent. Pour atteindre les deux derniers sites, situés sur la rive sud, la suite du trajet doit passer par le pont de Laviolette, qui traverse le fleuve juste un peu en amont du centre-ville de la ville de Trois-Rivières (figure 1).

Le Saint-Laurent est l'un des plus importants fleuves en Amérique du Nord. Long de 1 197 km, il relie les Grands Lacs à l'océan Atlantique et constitue une des principales voies d'entrée vers l'intérieur du continent nord-américain. Son débit moyen est estimé à 16 800 m³/s (comparativement à environ 18 000 m³/s pour le Mississippi). C'est par cette voie maritime que les eaux océaniques ont pénétré profondément vers l'intérieur des terres pour former les mers post-glaciaires du sud du Québec et du sud-est de l'Ontario (mers de Goldthwait à l'est, mer de Champlain en amont de la ville de Québec et mer de Laflamme dans la région du Saguenay – Lac Saint-Jean).

Entre les deux plus grandes villes du Québec (Montréal à l'ouest et Québec à l'est), la largeur du fleuve Saint-Laurent est comprise généralement entre 1 et 4,7 km, sauf dans la partie centrale de cette section où il s'élargit jusqu'à près de 14 km pour former le lac Saint-Pierre, sur environ 25 km de longueur. Au-delà de la ville de Québec, il se transforme en estuaire et sa largeur croît rapidement et progressivement pour atteindre des valeurs comprises 14 et 48 km. Avant de devenir le golfe du Saint-Laurent au-delà de la péninsule gaspésienne, à environ 650 km à l'est de la ville de Québec, sa largeur s'accroît encore subitement pour atteindre des valeurs entre 100 et 115 km.

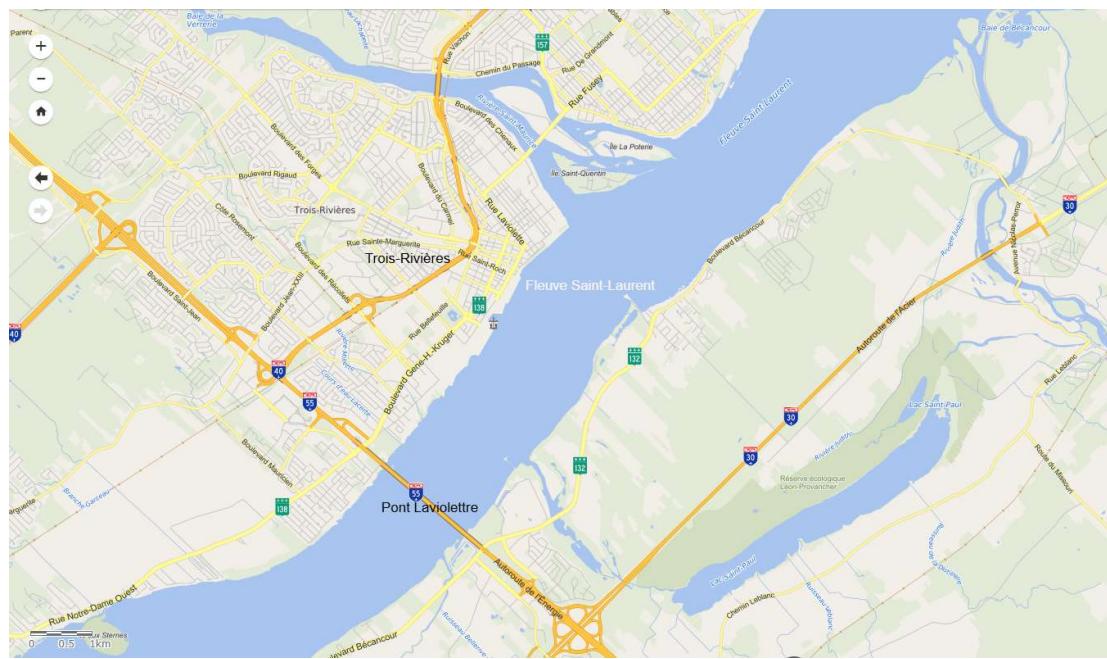


Figure 1 : Localisation du pont Laviolette.

Bien qu'il existe quelques liens maritimes entre les deux rives du fleuve entre Québec et Montréal, le pont Laviolette est le seul lien routier qui les relie entre ces pôles économiques majeurs, séparés d'environ 270 km. Situé presque à mi-chemin entre ces deux grandes villes, son importance est donc stratégique pour assurer la fluidité du transport routier à l'intérieur de la vallée du Saint-Laurent, qui est la région la plus fortement habitée du Québec (plus de 85% de sa population totale).

Au site du pont Laviolette (nom du personnage historique reconnu pour avoir fondé la ville de Trois-Rivières), le fleuve a une largeur de l'ordre de 1,7 km. Afin de permettre le passage des cargos sur la voie maritime du Saint-Laurent, le pont s'étire sur une longueur totale de 2707 m et possède une hauteur de 106 m au-dessus du fleuve (figure 2A). Sa forme allongée avec une partie centrale très courbée ressemble à celle d'une chenille en mouvement (figure 2B)



À titre d'information, voici quelques données historiques et statistiques concernant cet ouvrage majeur :

- Début des travaux de construction : 15 mai 1964
- Inauguration officielle : 20 décembre 1967
- Longueur : 2 707 m
- Hauteur : 106 m
- Largeur : 16,7 m
- Circulation :
 - Début : 12 000 véhicules par jour
 - 2004 : 31 000 véhicules par jour
 - 2017 : 39 000 véhicules par jour
 - 2023 : 42 000 véhicules par jour
- Principaux chantiers d'entretien et de réparation :
 - 1988 : ouvrage de protection des piliers du pont
 - 2006-2007 : Remplacement de la dalle des approches nord et sud
 - 2023-2025 : Remplacement de la dalle centrale

Aspects historiques

Après de nombreuses années de pressions politiques de la part des habitants de la région, le pont Laviolette, qui relie Trois-Rivières à la ville de Bécancour, est finalement mis en chantier le 15 mai 1964. Sa construction se déroulera sur trois ans pour se terminer le 20 décembre 1967. Il faut toutefois noter un accident tragique le 7 septembre 1965. Une fissure à la base d'un caisson en construction entraîne son effondrement qui cause une explosion. Douze ouvriers perdent la vie et six autres sont blessés. Un plongeur perd aussi la vie lors des opérations de repêchage des corps.

Au total, le pont aura coûté 50 millions de dollars de l'époque, l'équivalent de 454 millions en 2025. Il mesure 2 707 m de long, avec une travée centrale de 335 m. Sa charpente métallique est la plus longue au Québec avec une longueur de 1375 m. Assurant un lien avec deux des plus importantes autoroutes du Québec longeant le fleuve d'est en ouest (la « 20 » du côté sud et la « 40 » du côté nord, figure 1), l'autoroute 55 qui emprunte le pont Laviolette permet aussi une pénétration dans un axe approximativement nord-sud à l'intérieur des Basses-Terres du Saint-Laurent. Alors qu'il y avait à l'origine une circulation de 12 000 véhicules par jour, celle-ci atteint 42 000 en 2023, démontrant son importance stratégique pour la région où il existe aussi des pôles industriels importants (notamment à Trois-Rivières et à Bécancour).

Plusieurs se rappelleront du grave accident maritime survenu en 2024 dans le port de Baltimore, aux États-Unis, où un cargo perdit le contrôle de sa propulsion et de sa manœuvrabilité, dû à une panne électrique, ce qui le fit dériver et heurter un des piliers du pont Francis-Scott-Key, ouvrage comparable au pont Laviolette (figure 3A). La pile percutée constituant l'appui en rive droite du tablier, ce dernier s'affaissa, suivi peu après par l'effondrement du tablier en rive gauche, ce qui ruina complètement le pont (figure 3B).



Figure 3 : A (en haut) : pont Francis-Scott-Key à Baltimore, aux États-Unis, avant la tragédie de 2024. B (en bas) : effondrement du pont sous l'impact d'un cargo, en 2024. Photos : Wikipédia.

Un tel accident maritime était déjà survenu au pont Skyway en Floride en 1980. Ce cas incita alors la Garde côtière canadienne à évaluer la vulnérabilité des ponts du pays face à de tels incidents. Dans un rapport publié en 1982, elle évalua que le pont Laviolette était alors le plus vulnérable à une collision maritime au Canada. Les piles d'appuis du pont étaient jugées trop étroites. Le ministère des Transports du Québec entreprit donc impérativement les études nécessaires pour remédier à ce risque, considérant le fort trafic maritime (cargos, vraquiers, porte-conteneurs, pétroliers) et les conditions difficiles de navigation sur le fleuve Saint-Laurent, ce dernier étant considéré comme l'une des voies maritimes intérieures les plus complexes au monde (Corporation des Pilotes du Saint-Laurent Central³, site consulté en septembre 2025).

Protection des piles du pont Laviolette

Afin de se protéger des risques d'impact sur les piliers du pont Laviolette, sous lequel passent des milliers de navires chaque année, la méthode retenue fût la mise en place d'îlots

³ <https://150.cpslc.ca/>

en pierres sur le pourtour des quatre appuis centraux du pont (figure 2B). Le « Danish Hydraulic Institute » fût consulté pour la conception de ces ouvrages. Le dimensionnement des îlots est influencé notamment par la pénétration potentielle d'un navire non chargé (situation où la proue est relevée par rapport à la poupe, ce qui, de concert avec une masse relativement basse, favorise une pénétration élevée).

La construction de ces ouvrages de protection représentait des défis majeurs, notamment en raison de la profondeur d'eau mais aussi de la présence de sol argileux sensibles et compressibles dans le fond du Saint-Laurent. Comme le montre la figure 4, le dépôt d'argile marine post-glaciaire a une épaisseur variant entre 17 et 25 m à l'endroit où furent construits les quatre îlots de pierres au centre du fleuve Saint-Laurent.

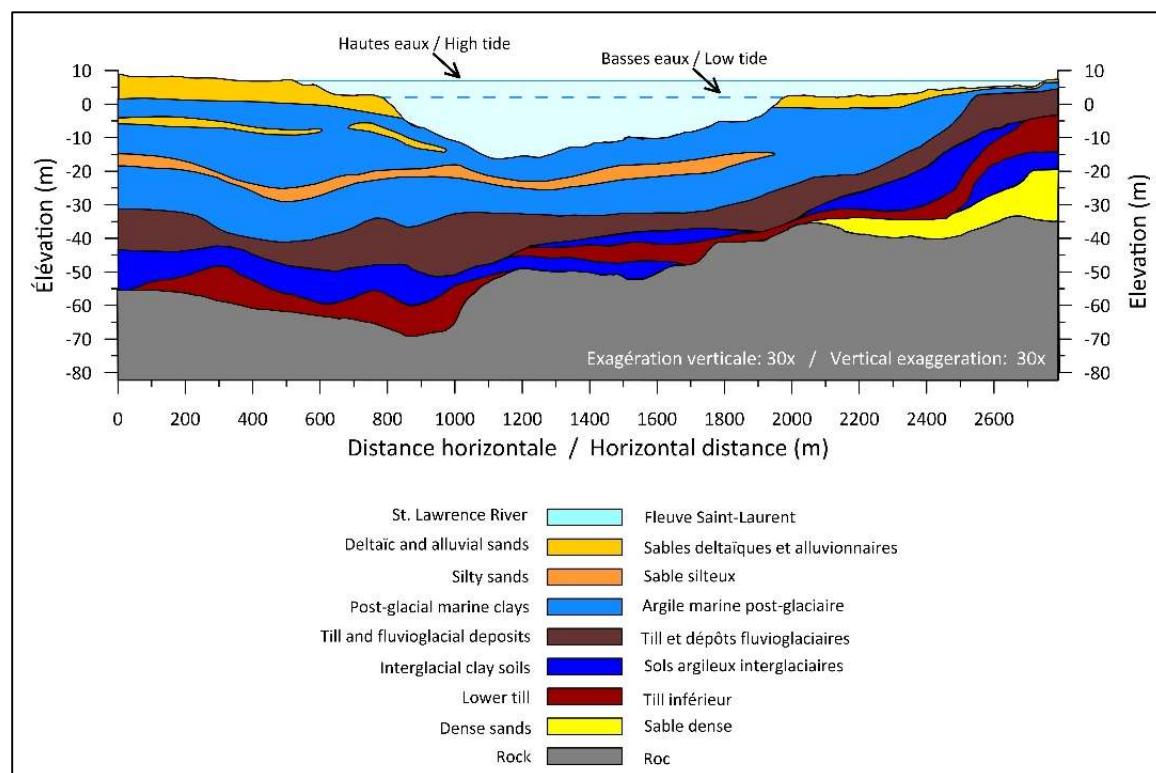


Figure 4 : Coupe stratigraphique simplifiée, transversale au fleuve Saint-Laurent le long du pont Laviolette (source : Geo.Demers, 1963).

D'un point de vue géotechnique, trois aspects furent analysés :

- Le tassement des sols de fondations autour des piliers, lequel avait été estimé entre 30 et 230 mm environ, dépendamment du pilier considéré;
- Les charges supplémentaires transmises aux caissons des piliers par le remblai, lesquelles pouvaient heureusement être reprises par les fondations existantes, provoquant néanmoins des tassements de l'ordre de 10 mm;
- La stabilité du sol de fondations sous le poids des remblais de pierres, laquelle pouvait être assurée en utilisant des pentes de 1,5H : 1V jusqu'au niveau -4 m, et de 2,0H : 1V entre les niveaux -4 m et le sommet à +4 m.

Afin de se prémunir contre l'effet des glaces sur le fleuve, un enrochement spécial, avec des blocs de 1,5 tonne, devait être placé au-dessus du niveau de -4 m et le plateau supérieur du remblai a dû être rehaussé jusqu'au niveau +5m.

Bien d'autres défis étaient aussi présents, notamment l'évaluation des effets sur le régime hydraulique et la navigation, ainsi que sur l'écoulement des glaces au printemps, mais surtout la mise en place et le contrôle de ces immenses remblais rocheux sous des profondeurs pouvant atteindre localement entre 15 et 20 m environ.

Le chantier se termina en 1988 et quatre ans plus tard, la structure fût soumise à un test. En effet, un navire ayant une avarie au gouvernail percuta le bouclier rocheux, mais ne causa aucun dommage au pont.

Un relevé bathymétrique réalisé en 2023, soit 35 ans après leur construction, permet de voir l'ampleur des quatre îlots de pierres au pourtour des piles, comparativement à celles adjacentes sans protection (figure 5). On peut voir aussi la sédimentation qui s'est effectuée depuis leur construction dans la partie aval.

Finalement, des travaux de réfection ont été faits en 2006-2007 pour remplacer les dalles d'approches et en 2023-2025 pour remplacer la dalle centrale.

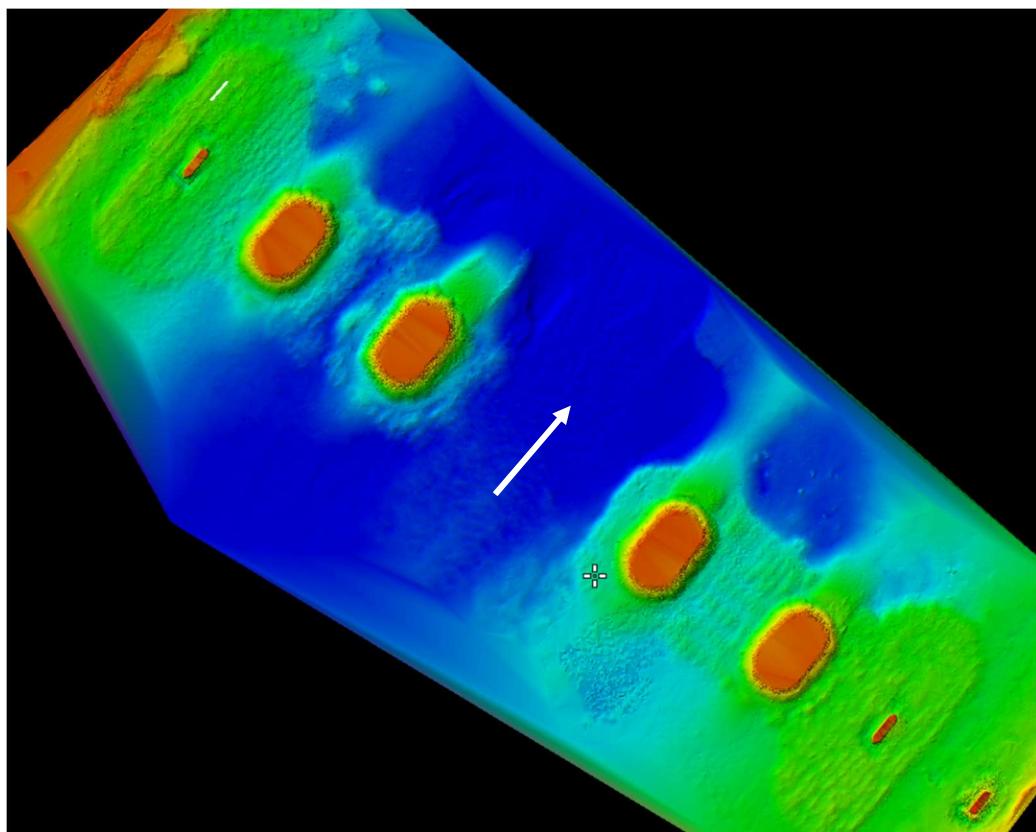


Figure 5 : Relevé bathymétrique de 2023 montrant l'ampleur des quatre îlots de protection et les autres piles adjacentes non protégées du pont Laviolette. Le sens de l'écoulement du fleuve est donné par la flèche blanche. Le nord est vers le haut.