

# LE SINISTRE D'AVRIL 2005 À PETITE-RIVIÈRE-SAINT-FRANÇOIS : DES CAUSES, À LA GESTION

Pascal Locat, ing.

Ministère des Transports du Québec, Québec, Canada, [pascal.locat@mtq.gouv.qc.ca](mailto:pascal.locat@mtq.gouv.qc.ca)

Denis Demers, ing., Denis Lessard, ing., et Daniel Ouellet, ing.

Ministère des Transports du Québec, Québec, Canada

## RÉSUMÉ

En avril 2005, la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François, située sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, à environ 100 km au nord-est de la ville de Québec, a été confrontée aux caprices de la nature. Des pluies exceptionnelles combinées à la fonte des neiges ont provoqué des glissements de terrain, du ravinement et le débordement de cours d'eau, forçant l'évacuation préventive de 85 résidences. Le contexte géomorphologique de Petite-Rivière-Saint-François favorise un drainage très rapide des eaux de ruissellement de pluie et de fonte nivale, de la montagne vers la base du versant, où la plupart des résidences sont situées sur des terrasses de dépôts quaternaires. L'analyse de la situation a permis, dans un premier temps, de cibler les endroits où des mesures de mitigation devaient être appliquées pour protéger les usagers de la route et les résidents, et, dans un deuxième temps, de refaire la cartographie des zones exposées aux glissements de terrain pour cette municipalité.

## ABSTRACT

In April 2005, the municipality of Petite-Rivière-Saint-François, which is located on the north shore of the St. Lawrence River in the Charlevoix region, approximately 100 km northeast of Québec City, was dealt a blow by Nature. Unusually heavy rain combined with snow melting, which triggered landslides, gullyng, and flooding that led to the precautionary evacuation of 85 homes. The topographical configuration, shallow bedrock, steep slope, and shallow bed of waterways that easily overflow or change course all contribute to the very rapid runoff of rainwater and melting snow from the mountain to the terraces of Quaternary deposits at the base of the slope, where most of the homes are located. From the analysis of the situation, a mitigation plan has been proposed to protect people, property and road travellers, and mapping of the landslide prone areas for this municipality was done.

### 1. RAPPEL DE LA PROBLÉMATIQUE

En avril 2005, la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François, située sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent dans la région de Charlevoix (figures 1 et 2) à environ 100 km au nord-est de la ville de Québec, a été confrontée aux caprices de la nature. Des pluies exceptionnelles combinées à la fonte des neiges ont provoqué des glissements de terrain, du ravinement et le débordement de cours d'eau, ce qui a entraîné l'évacuation préventive de 85 résidences. Le réseau routier dans la municipalité a subi divers problèmes, soit la réactivation de deux anciens glissements de masse, de nombreux glissements de surface, l'obstruction de ponceaux et des problèmes d'érosion. En tout, une soixantaine de mouvements de sol, dont plus d'une quarantaine de glissements de terrain pour la plupart superficiels, ont été répertoriés sur le territoire (Demers *et al.* 2005). En collaboration avec le ministère de la Sécurité publique (MSP), le ministère des Transports du Québec (MTQ) est intervenu pour évaluer l'état des lieux, permettre la réintégration de nombreuses résidences en toute sécurité, recommander des travaux de protection et établir pour l'avenir les conditions de sécurité des usagers de la route, des résidents et des biens.

Cette municipalité avait aussi été touchée par des problèmes du même ordre lors de pluies diluviennes en juillet 1976 (Allard et Robert, 1976). Aussi, plusieurs autres cas ponctuels de glissements ont été répertoriés dans nos

dossiers depuis les 30 dernières années. À la suite des événements de 2005, la Section des mouvements de terrain du Service de la géotechnique et de la géologie (SGG) du MTQ a reçu le mandat de refaire la cartographie des zones exposées aux glissements de terrain pour la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François.

### 2. RAPPEL DES ÉVÉNEMENTS MÉTÉOROLOGIQUES DU PRINTEMPS 2005

La remontée graduelle des températures à la fin de mars 2005 (figure 3) a d'abord provoqué la fonte des neiges à la hauteur du village et a été suivie, dans la première semaine d'avril, de pluies abondantes qui ont entraîné une crue des eaux et le débordement de certains ruisseaux. Au moins deux glissements de terrain se sont alors produits. La courbe des températures à 740 m d'altitude que l'on voit à la figure 3 montre que le réchauffement a ensuite atteint les secteurs montagneux vers la mi-avril, ce qui a augmenté le ruissellement et l'engorgement des sols.

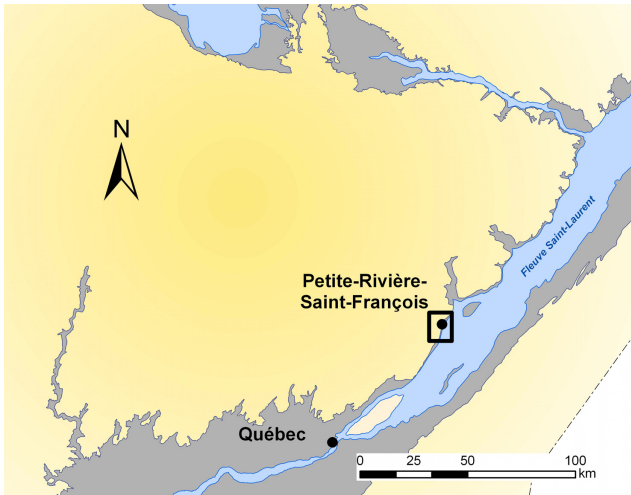


Figure 1. Localisation du secteur étudié. Les zones en gris représentent l'extension maximale des mers postglaciaires.

Figure 2. Vue héliportée de la frange côtière habitée.

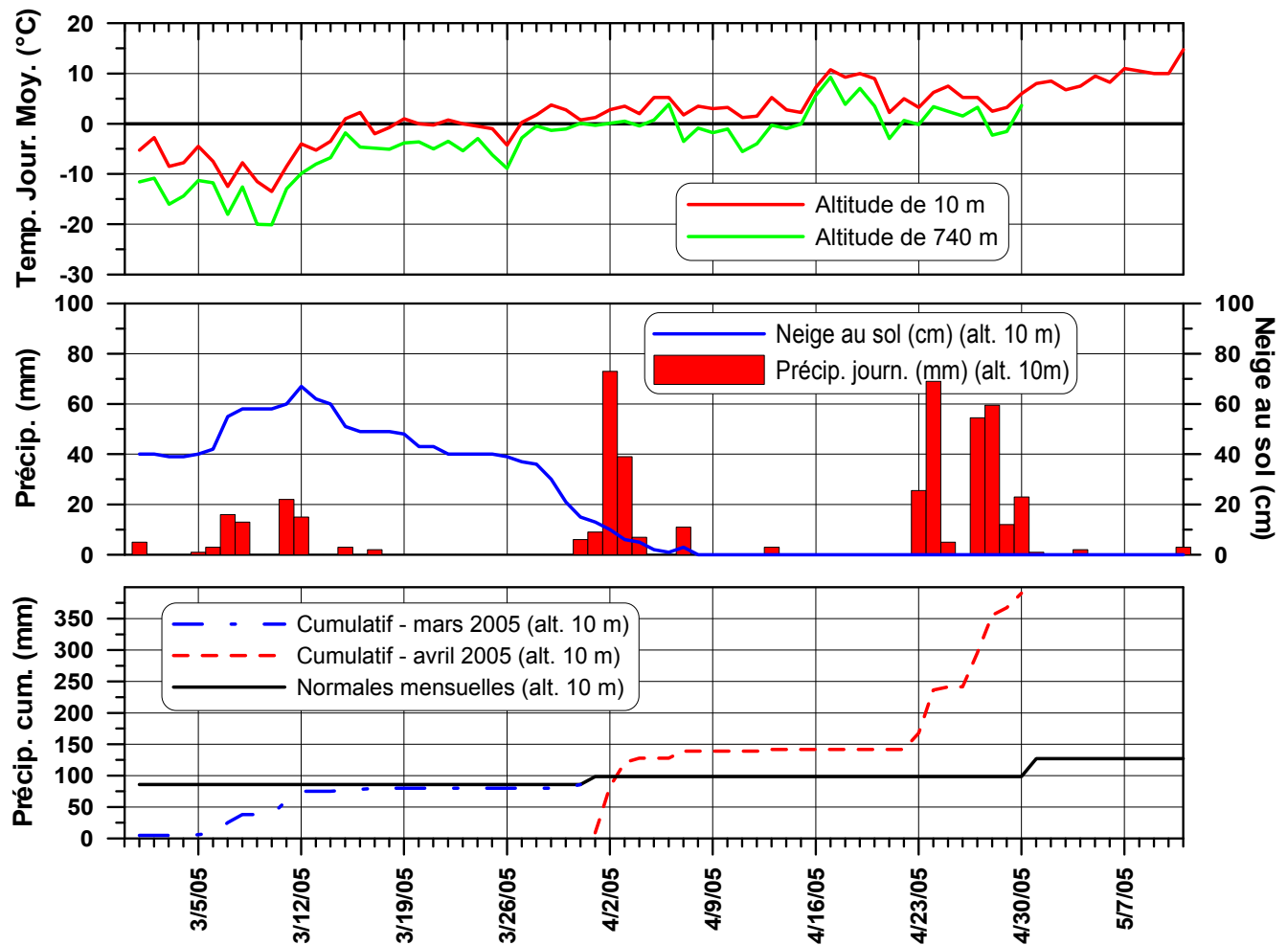


Figure 3. Données climatiques des mois de mars, avril et mai provenant des stations du MTQ (alt. 740 m) et du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (alt. 10 m), municipalité de Petite-Rivière-Saint-François.

Des bâtiments ont subi des désordres occasionnés par des mouvements lents et le fluage des sols en surface. Vers la fin d'avril, une fonte rapide des neiges dans la montagne et d'autres pluies abondantes ont déclenché de nombreux glissements supplémentaires et des crues majeures dans les ruisseaux. Les égouts pluviaux ont alors débordé. Des chemins et la voie ferrée ont été coupés ou encombrés de débris. Des sols et des débris de toutes sortes ont été transportés un peu partout, endommageant des terrains et des maisons. Il aura finalement tombé 390 mm de pluie en avril 2005, comparativement à une moyenne mensuelle de 99 mm (figure 3).

### 3. TRAVAUX DE TERRAIN RÉALISÉS

Une dizaine d'ingénieurs du Service de la géotechnique et de la géologie ont effectué en urgence de nombreuses inspections visuelles des talus, des ravins et des sites de glissements. L'équipe du service a compilé de l'information sur l'état général des lieux, l'inclinaison des talus, la nature des sols et du roc, ainsi que sur les familles de fractures. On a examiné l'information disponible, les photographies aériennes et les données météorologiques. Un relevé au laser aéroporté (LIDAR) a été effectué, ce qui a permis par la suite d'obtenir un modèle numérique très précis de la topographie du terrain. Plusieurs forages avec pose de piézomètres et d'inclinomètres ont enfin été réalisés.

### 4. CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

L'information recueillie a été analysée et interprétée à la lumière des contextes géologique et géomorphologique du secteur. La majeure partie du village est située sur une basse terrasse à moins de 15 m au-dessus du niveau du fleuve (figures 2 et 4). Une autre terrasse constituée de dépôts quaternaires et située entre les altitudes de 40 et 100 m, repose sur des roches cambro-ordoviciennes (figure 4). Ces dernières viennent s'appuyer à la base d'un versant rocheux d'âge précambrien, dont l'altitude moyenne est d'environ 400 m, avec quelques sommets entre 500 m et 830 m d'altitude. Ce versant rocheux est surtout constitué de roches charnockitiques (Rondot, 1989). De profonds ravins entaillent la terrasse supérieure, exposant les matériaux qui la constituent. La séquence stratigraphique qui y est communément rencontrée à partir de la surface est la suivante (figure 4): *i*- sable et gravier; *ii*- silt argileux raide, brun verdâtre; *iii*- till sablo-silteux, parfois très caillouteux, brun à gris verdâtre; *iv*- argile silteuse stratifiée dure. Les roches cambro-ordoviciennes sont constituées de calcaire et surtout de schistes souvent très altérés et ayant parfois l'aspect d'un sol en surface. La basse terrasse est quant à elle constituée en surface de dépôts littoraux et de colluvions provenant des pentes de la terrasse supérieure. Son substrat est variable et correspond à une surface d'érosion taillée dans les matériaux constituant la terrasse supérieure (Dionne, 1996). La nature et les épaisseurs des couches de sols montrées à la figure 4 varient selon l'endroit où l'on se trouve le long de la côte. Certaines couches peuvent même être localement absentes.

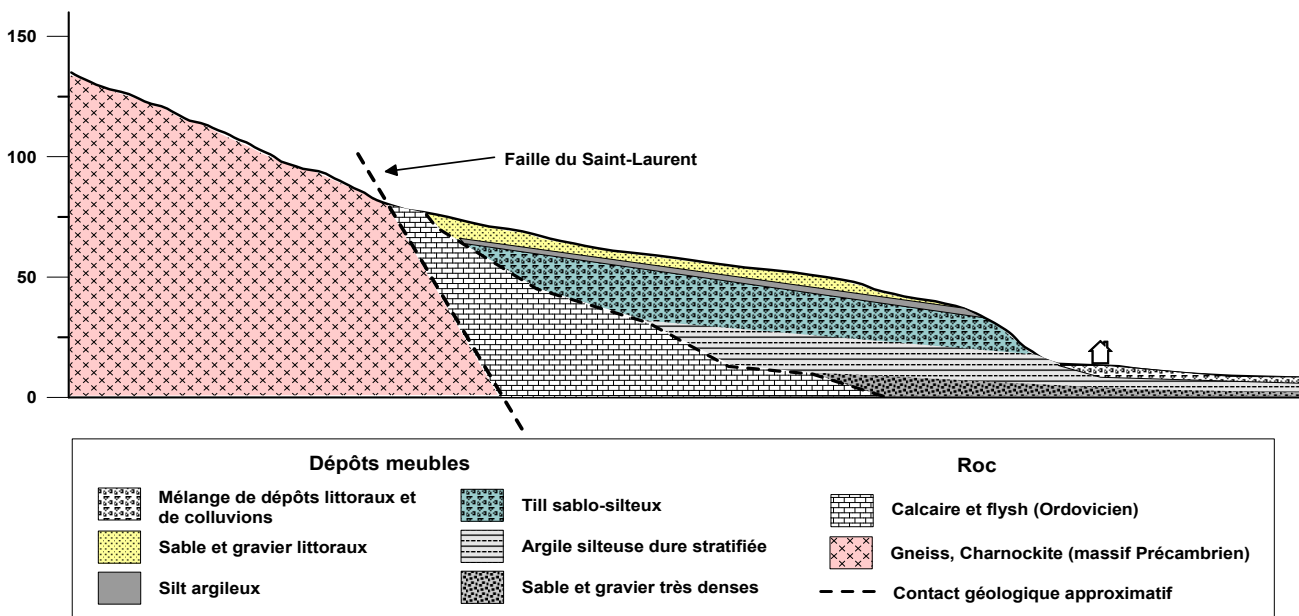


Figure 4. Coupe schématique de la géologie de Petite-Rivière-Saint-François.



Figure 5. Exemple d'un glissement superficiel dans un talus d'excavation.



Figure 6. Exemple d'une avalanche de débris sur une pente naturelle. La ligne en tirets blancs indique la niche de départ du glissement pelliculaire. L'automobile au bas de la photo donne l'échelle.

Par exemple, au centre du village, une falaise de roc précambrien surplombe les roches ordoviciennes sans qu'il y ait de sol qui les recouvre sur une longueur d'environ 500 m. Aussi, au nord du cimetière, la terrasse n'est formée que d'argile raide sans trace de till sur une longueur là aussi d'environ 500 m.

La configuration topographique, la faible profondeur du socle rocheux et la forte dénivellation favorisent un drainage très rapide des eaux de ruissellement de pluie et de fonte nivale, de la montagne vers la base du versant, où sont

situées la plupart des habitations. De plus, la faible profondeur du lit des cours d'eau dans la montagne fait en sorte qu'ils débordent ou changent de parcours facilement, provoquant de façon aléatoire des concentrations d'eau excessives dans des talus qui sont souvent à la limite de l'équilibre. Ces eaux de ruissellement saturent alors les matériaux constituant les terrasses en pied de versant. Ces conditions sont propices aux mouvements de terrain et peuvent durer plusieurs jours.

## 5. MOUVEMENTS DE TERRAIN

Plus d'une cinquantaine de mouvements de terrain plus ou moins volumineux ont endommagé les résidences, la route principale et la voie ferrée au printemps 2005. Les types de mouvements de terrain (profonds ou superficiels) dépendent des matériaux en présence et ont souvent été favorisés par des interventions anthropiques, telles que les modifications au drainage naturel du versant de la montagne et les excavations en pied de talus. La majorité des glissements (75 %) étaient superficiels (moins de 1 m de profondeur). Selon la classification proposée par Hungr *et al.* (2001), les plus volumineux d'entre eux peuvent être classifiés comme des avalanches de débris de vitesse extrêmement rapide (plus de 5m/sec, d'après Cruden et Varnes, 1996). Ils se sont produits principalement dans les tills, dans des talus d'excavation (figure 5) ou sur des pentes naturelles (figure 6). La pente critique à partir de laquelle ont été observés des glissements à Petite-Rivière-Saint-François est de 27°.

Les glissements affectent généralement seulement la couche altérée de surface. Ils peuvent se produire sur toute la pente ou ne toucher qu'une partie de celle-ci. La distance d'étalement des débris dans le cas des glissements superficiels a été approximativement égale ou inférieure à 2 fois la hauteur du talus. On a aussi noté quelques cas de réactivations à l'intérieur de cicatrices de glissements très anciens, où des déplacements lents à extrêmement lents, selon l'échelle de Cruden et Varnes (1996), ont été observés. Ces mouvements de terrain se caractérisent par l'apparition d'un bombement à la base du talus et de fissures au sommet.

Plusieurs coulées de débris ont été observées à la sortie des ravins qui entaillent la terrasse supérieure. Un nouveau ravin, profond d'une dizaine de mètres, a même été formé en quelques heures par un phénomène de suffosion (figure 7).

## 6. RÉINTÉGRATION DES RÉSIDENTS

La majorité des résidents ont pu réintégrer leurs maisons après que les ingénieurs du MTQ eurent procédé à l'inspection visuelle de chacun des sites. La réalisation de travaux de protection ou de stabilisation a été recommandée pour 15 maisons et 1 bâtiment commercial (Demers *et al.*, 2005). L'évacuation définitive de 5 maisons, en raison de la présence de fissures dans le talus et de masses de sols instables pouvant se mettre en mouvement, même dans des conditions météorologiques non

exceptionnelles, a aussi été recommandée. Finalement, une dernière résidence derrière laquelle une masse instable de roc très altéré se déplace très lentement fait l'objet d'un suivi.

Aussi, afin d'accroître les conditions de sécurité des usagers de la route Principale, des travaux ont été réalisés en une dizaine d'endroits.



Figure 7. Ravin formé par suffosion. La personne au bas de la photo donne l'échelle.

## 7. MÉTHODES DE STABILISATION ET DE PROTECTION

L'exiguïté des lieux et le contexte géomorphologique ont eu une grande influence sur le choix des méthodes de stabilisation et de protection.

Les sections suivantes présentent un exemple de méthode passive mise en place pour protéger une résidence et un exemple de méthode active qui a été réalisée pour protéger les usagers de la route.

### 7.1 Diminution de la vulnérabilité

Le talus derrière la maison a une hauteur d'environ 22 m et montre une pente moyenne de 30° entre 10 m et 31 m d'altitude. Cette dernière est surmontée d'une terrasse inclinée à environ 4° vers le fleuve (figure 8). Un forage a été réalisé récemment par le MTQ au sommet du talus directement derrière la résidence. La stratigraphie observée est la suivante, du haut vers le bas : *i*- sable avec traces de gravier et de silt, de 0 m à 2 m de profondeur; *ii*- till très dense à prédominance sableuse, de couleur brun à gris verdâtre, jusqu'à 30 m de profondeur. Les piézomètres installés montrent qu'il y a un fort gradient vers le bas.

La maison est située à 12 m du pied du talus. La présence d'un ruisseau à quelques mètres au sud-ouest de la maison (figure 8) et la faible profondeur de son lit en sommet de talus nous portent à croire que des débordements pourraient survenir lors de crues torrentielles, dirigeant ainsi de l'eau vers la pente directement derrière la maison. Une telle situation diminuerait la stabilité du talus et pourrait provoquer un glissement superficiel. Afin de se prémunir contre l'impact d'éventuels débris, un merlon déflecteur a été construit de façon à contrôler leur trajectoire et à protéger la résidence et ses occupants (figure 8).

Le merlon déflecteur est majoritairement composé d'un tout-venant de pierre dynamitée, d'un calibre de 0-600 mm, de granulométrie étalée et dont au moins 50 % (en masse) des éléments ont une dimension supérieure à 300 mm. Il est orienté de biais dans le flanc de la pente derrière la maison de façon à faire dévier les débris d'un éventuel glissement superficiel. Le merlon a environ 36 m de longueur (figure 8). La largeur maximale est de 16 m à sa base et de 1 m à son sommet. La pente de la partie du merlon déflecteur qui est orientée vers la maison a une inclinaison maximale de 1V : 1,5H (figure 8, vue schématique A'-A). La pente du merlon déflecteur qui fait face à la falaise a une inclinaison de 1V:1,2H. La pente de ce côté du merlon est de près de 70° par rapport à l'angle de la pente. Ce côté est plus raide de façon à garder les débris en amont du merlon et à obtenir un volume maximal de captage de débris.

### 7.2 Stabilisation à la suite de la réactivation d'un glissement de masse (méthode active)

Un ancien glissement connu depuis les années 1960 s'est réactivé. Ce site avait fait l'objet d'une étude entre 1984 et 1988, et des travaux de stabilisation avaient été réalisés vers l'an 2000. La figure 9 montre la fissure qui se réactivait épisodiquement à l'époque au niveau de la route. L'émergence du plan de rupture était parfois visible sur l'estran. Les inclinomètres placés lors de cette étude avaient permis de constater que toute la masse de colluvions de l'ancien glissement bougeait et que le plan de rupture se situait dans une argile varvée très raide. Ce plan passait environ 4 m sous l'estran au pied du remblai de la voie ferrée. La figure 10 montre l'ensemble du glissement et le contrepoids construit pour stabiliser la zone qui s'était réactivée à plusieurs reprises dans le passé.

Au printemps 2005, la masse de colluvion au dessus du niveau de la route s'est réactivée, laissant apparaître des fissures importantes dans le talus et en sommet de ce dernier (figure 10). Le remblai de la voie ferrée a également été très légèrement déplacé à l'ouest du contrepoids. La réactivation peut être en partie due à la tranchée creusée dans le fossé amont en amont de la route pour placer une conduite d'aqueduc et remblayée avec le sol excavé non compacté à l'automne 2004. L'étude géotechnique réalisée au printemps 2005 par la

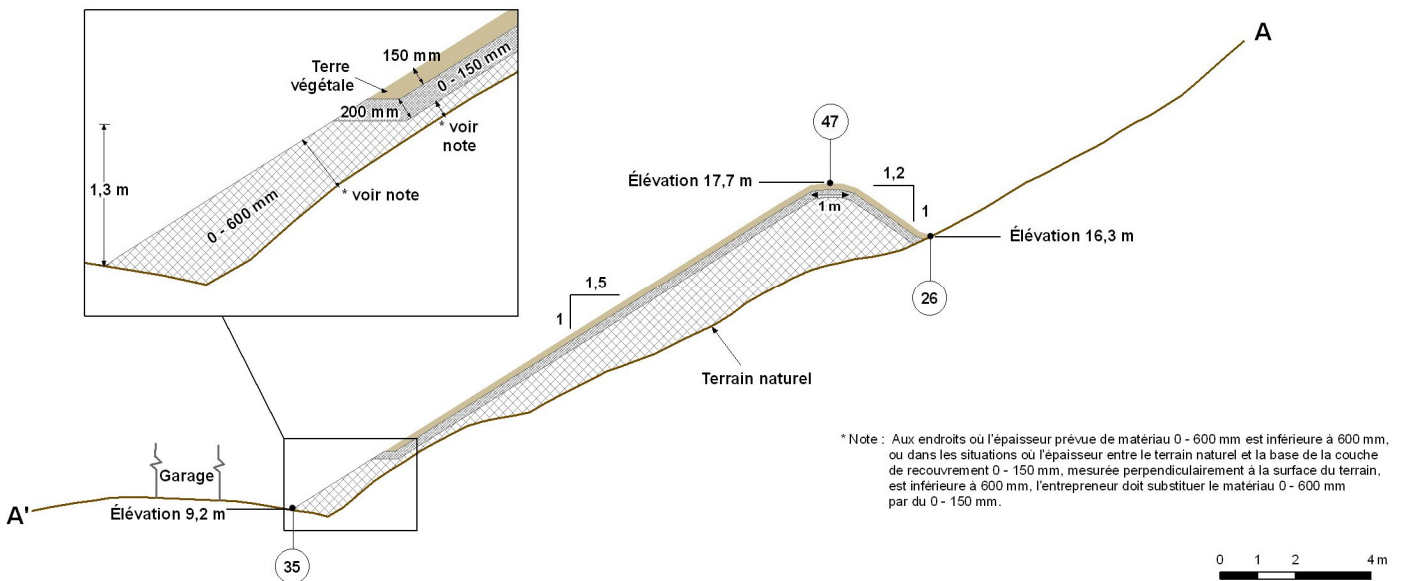
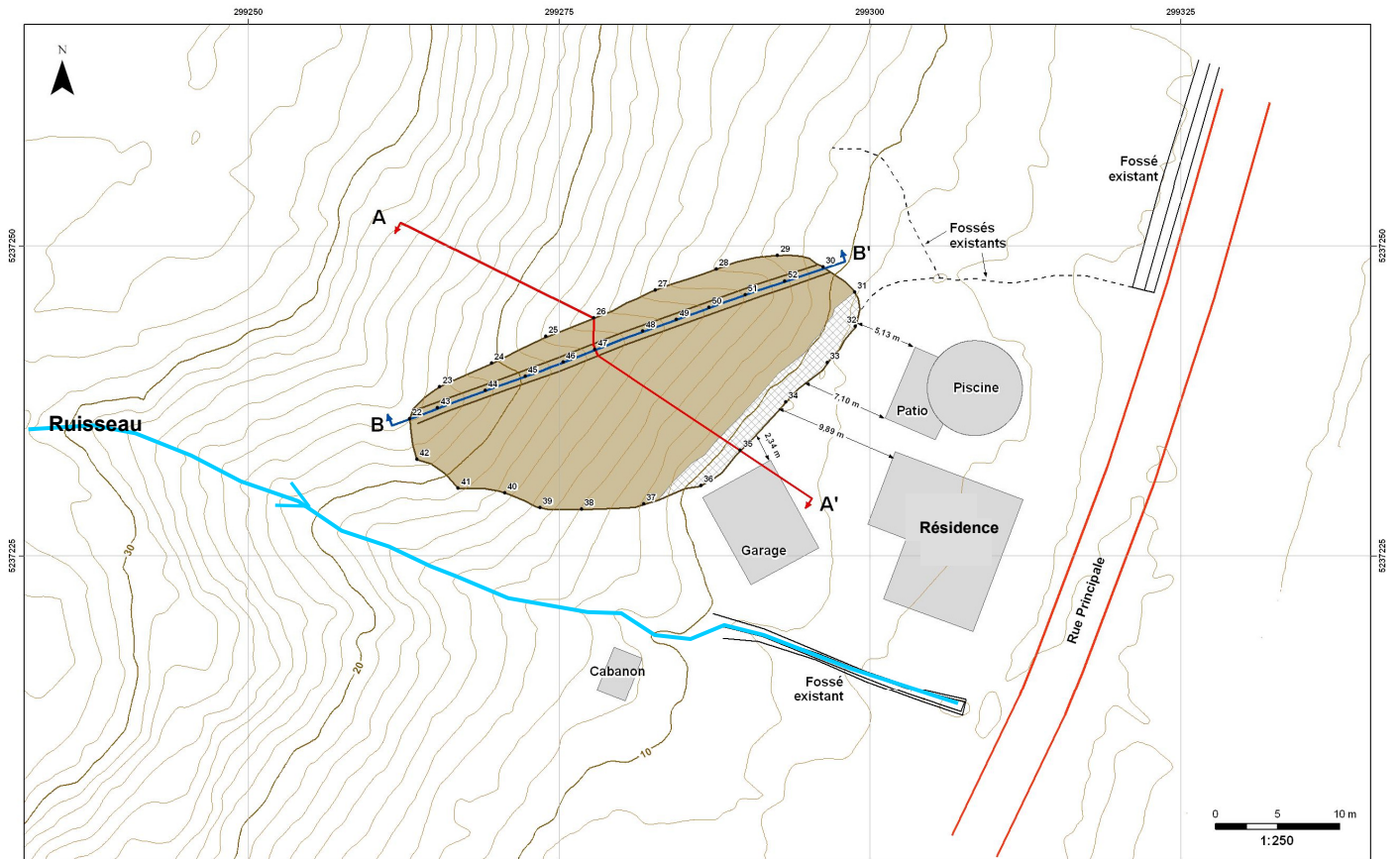


Figure 8. Plan de construction du merlon déflecteur



Figure 9. Photographie de la fissure qui apparaissait épisodiquement au milieu de la route avant la stabilisation

Section mécanique des sols du Service de la géotechnique et de la géologie a permis de déterminer le plan de rupture du secteur réactivé en 2005, de réaliser une étude de stabilité à rebours et de dimensionner une excavation et un remplacement du sol excavé par un tout-venant de carrière de calibre 0-600 mm pour stabiliser la zone en mouvement (fig. 11). Le contrepoids construit en 2000 sur l'estran a aussi été prolongé en 2006 jusqu'à la limite ouest du glissement.

## 8. CARTOGRAPHIE DES ZONES EXPOSÉES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

À la fin des années 1970, une portion de la MRC de Charlevoix a fait l'objet d'une cartographie à l'échelle 1:10 000 des zones exposées aux mouvements de terrain dans les sols meubles par l'ex-ministère de l'Énergie et des Ressources, publiée dans le rapport DPV-812 (G. Lajoie, 1981). À la suite des fortes pluies et des glissements du printemps 2005, la cartographie des zones exposées aux glissements de terrain pour la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François a été revue.

### 8.1 Types de dangers

Comme mentionné plus haut, les glissements les plus fréquents sur le territoire cartographié à cet endroit sont ceux de type « superficiels » qui surviennent principalement dans les tills (zone NH sur la figure 12) et les argiles dures (zone NA1 sur la figure 12). Les dangers de type « glissements lents » ou de réactivation d'anciens glissements dans les argiles préglaciaires (zone NC sur la figure 12), les chutes de blocs rocheux ou la déstabilisation de talus de blocs rocheux (zone NR sur la figure 12) et l'étalement de débris à l'embouchure des cours d'eau lors de crues importantes (zone NHD sur la figure 12) font aussi partie des dangers répertoriés sur le territoire de Petite-Rivière-Saint-François.

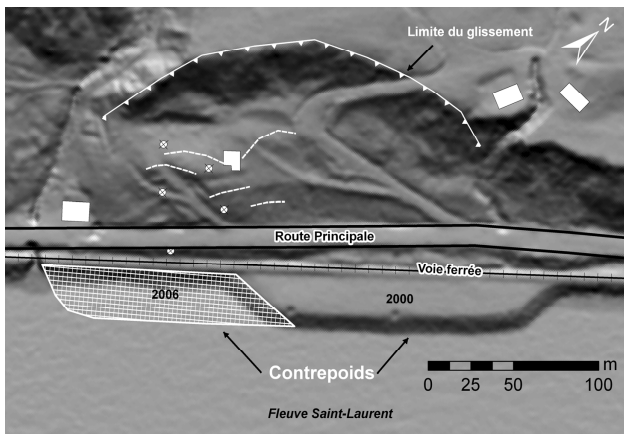


Figure 10. Représentation ombragée du relief, montrant l'ensemble du glissement et les contrepoids construits en 2000 et 2006. Les fissures sont représentées par les lignes en tirets blancs.

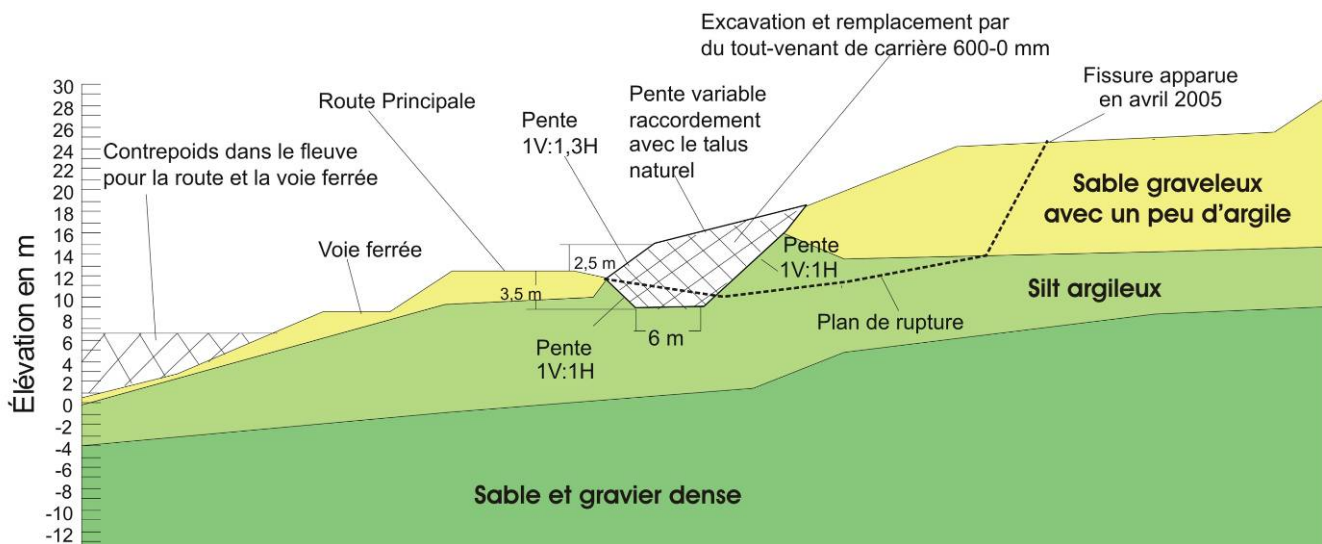
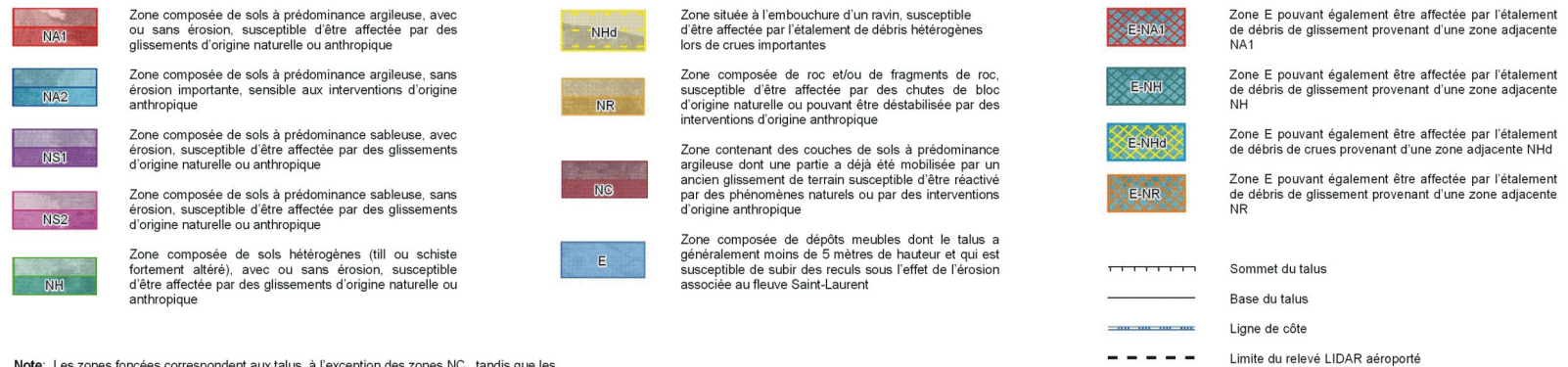


Figure 11. Croquis de la stabilisation recommandée



**Zones de contraintes relatives aux glissements de terrain et à l'érosion des berges de l'estuaire et du Golfe du Saint-Laurent**



**Note:** Les zones foncées correspondent aux talus, à l'exception des zones NC, tandis que les zones claires représentent les bandes de protection à la base et au sommet des talus.

Figure 12. Extrait d'une des cartes des zones de contraintes pour la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François.



Bien qu'aucun glissement dans les matériaux sableux n'ait été répertorié en 2005, les talus dans ces types de matériaux (zone NS1 et NS2 sur la figure 12) ont quand même été zonés sur les cartes, puisqu'ils peuvent être sensibles aux interventions d'origine anthropique.

Les nouvelles cartes à l'échelle 1:5 000 ont été produites dans le but de remplacer les anciennes cartes et elles sont accompagnées d'un nouveau cadre normatif (Bilodeau *et al.*, 2005). Grâce aux relevés au laser aéroporté de mai 2005, les limites des zones montrées sur ces nouvelles cartes sont maintenant très précises. Contrairement aux cartes de 1981 où il n'y avait qu'un seul type de zone, les nouvelles zones de contraintes concernant les glissements de terrain sont au nombre de 8. De plus, une bande de contrainte concernant l'érosion des berges a aussi été ajoutée (zone E sur la figure 12). La classification selon différents types de zones permet d'avoir un cadre réglementaire plus nuancé et mieux adapté aux conditions géologiques rencontrées. Ces cartes seront intégrées au schéma d'aménagement de la municipalité.

## 9. CONCLUSION

En avril 2005, la combinaison d'une fonte rapide du couvert nival, de pluies abondantes, d'un relief très prononcé et de sols imperméables favorisant le ruissellement vers le bas du versant ont fait en sorte que cette municipalité a été particulièrement touchée par les glissements de terrain. Ces conditions ont aussi engendré des problèmes de débordement de cours d'eau.

La majorité des glissements (75 %) étaient superficiels (moins de 1 m de profondeur). Les modifications d'origine anthropique des talus ou du régime naturel d'écoulement des eaux de ruissellement ont dans plusieurs cas été des facteurs aggravants.

L'intervention du MTQ a permis, dans un premier temps, aux résidents évacués de réintégrer leurs maisons et, dans un deuxième temps, de recommander de travaux de protection ou de stabilisation pour 15 maisons et 1 bâtiment commercial. L'évacuation définitive de 5 maisons, en raison de la présence de fissures dans le talus et de masses de sols instables pouvant se mettre en mouvement, même dans des conditions météorologiques non exceptionnelles a aussi été recommandée. Aussi, des travaux ont été réalisés par le MTQ à plus d'une dizaine d'endroits afin d'accroître les conditions de sécurité des usagers de la route Principale.

La cartographie des zones exposées aux glissements de terrain pour la municipalité de Petite-Rivière-Saint-François a été revue. Des nouvelles cartes ont été produites dans le but de remplacer les anciennes cartes et elles sont accompagnées d'un nouveau cadre normatif. La nouvelle cartographie propose une classification selon 8 types de zones ce qui permet d'avoir un cadre réglementaire plus nuancé et mieux adapté aux conditions géologiques rencontrées.

Malgré les travaux réalisés pour conforter les lieux et augmenter la sécurité des citoyens, plusieurs secteurs demeurent sujets aux glissements. Toute nouvelle intervention devra donc tenir compte de cette problématique. Par conséquent, la gestion des risques résiduels sur ce territoire repose sur l'application de la réglementation municipale à l'aide de la nouvelle cartographie et sur la vigilance et la conscientisation des citoyens afin d'éviter les mauvaises pratiques humaines qui peuvent être génératrices de risques.

## 10. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les collègues ayant participé de près ou de loin aux travaux touchant le dossier de Petite-Rivière-Saint-François. Ils tiennent aussi à remercier les ingénieurs Serge Bélanger et Gilles Grondin pour leur révision du manuscrit.

## 11. RÉFÉRENCES

- Allard, J.-D., et Robert, J.-M. 1976. Rapport d'investigation sur l'érosion résultant de la crue des eaux du 11 au 14 juillet 1976 dans les municipalités de Maillard et de Petite-Rivière-Saint-François, Charlevoix. Ministère des Richesses naturelles. 97 p.
- Bilodeau, C., A. Genois, A., D. Demers, D., J. Potvin, J., D. Robitaille, D. et C. Dupuis, C. 2005. Cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles : –Saguenay–Lac-Saint-Jean : guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et d'application du cadre normatif. Ministère de la Sécurité publique, ministère des Transports et ministère des Affaires municipales et des Régions, 63 p.
- Cruden, D.M. et Varnes, D.J. 1996. Landslide types and processes. Dans Turner, A.K. et Schuster, R.L. (Éditeurs), *Landslides Investigation and Mitigation*: Transportation Research Board, US National Research Council, Special Report 247, pp. 36-75.
- Demers, D., Locat, P., et Ouellet, D. 2005. Rapport sur la stabilité des pentes consécutif aux événements météorologiques d'avril 2005 à Petite-Rivière-Saint-François. Ministère des Transports du Québec, 56 p., 33 fiches descriptives et 4 cartes.
- Dionne, J.-C. 1996. La basse terrasse à Petite-Rivière-Saint-François (Charlevoix, Québec): un exemple d'activité néotectonique à l'holocène. *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 50, n° 3, pp.311-330.
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., et Hutchinson, J. N. 2001. A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience.*, Vol. 7, no. 3, pp. 221-238.
- Lajoie, G. 1981. Zones exposées aux mouvements de terrains région de Charlevoix. Ministère de l'Énergie et des ressources, Service de la géotechnique, Rapport DPV-812, 36 p.
- Rondot, J. 1989. Géologie de Charlevoix : *Introduction et Précambrien* (vol 1, chap. 1 à 9). Ministère de l'Énergie et des ressources. Série des manuscrits bruts, rapport MB 89-21, 306 p.

