

**Développement de la gestion des actifs géotechniques au Ministère des  
Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des Transports du Québec**

Marie-Christine Delisle, ing. M.Sc.  
Service de la géotechnique et de la géologie  
Section Mécanique des sols  
Ministère des Transports, de la Mobilité durable et  
de l'Électrification des Transports du Québec

Et

Eric David, ing.  
Service de la géotechnique et de la géologie  
Section Mécanique des sols  
Ministère des Transports, de la Mobilité durable  
et de l'Électrification des Transports du Québec

Communication préparée pour  
la séance **Managing Geohazards as Geotechnical Assets**

Au Congrès 2016 de  
l'Association des transports du Canada  
Toronto (ON)

## Résumé

Depuis la fin des années 1990, la gestion des actifs en transport au Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des Transports du Québec (MTMDET) (chaussées, ouvrages d'art et ponceaux) a apporté des bénéfices considérables à la connaissance et au suivi de l'état des actifs routiers, à la planification des interventions annuelles, à l'atteinte des cibles de performance (amélioration de l'état) et à la prédiction de l'état du réseau routier.

Depuis quelques années toutefois des besoins supplémentaires ont été identifiés, notamment celui de gérer les risques d'entrave ou d'accident causé par un risque naturel affectant le réseau routier, tel qu'un glissement de terrain ou un éboulement rocheux. Le besoin de connaître l'inventaire et d'effectuer le suivi de certains ouvrages de conception géotechnique, par exemple les remblais à noyau léger, a aussi été identifié. Pour répondre à ces besoins, le développement et l'implantation d'un système de gestion des actifs géotechniques ont été envisagés.

Une revue des pratiques actuelles a permis de mieux comprendre les principes de gestion des actifs géotechniques et de cerner les principales caractéristiques envisagées pour le développement d'un système de gestion des actifs géotechniques au MTMDET, lesquelles sont présentées dans l'article.

## **La gestion d'actifs au Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des Transports (MTMDET)**

Le MTMDET gère un réseau routier d'une longueur totale de plus de 30 600 km. Ce dernier regroupe des autoroutes, des routes nationales, régionales et collectrices, de même que des chemins d'accès aux ressources et des routes non revêtues.

Le réseau routier compte également quelque 5 400 structures (ponts d'étagement, ponts sur cours d'eau et ponceaux de grand diamètre (plus de 3 mètres), tunnels et murs de soutènement) et quelque 58 000 ponceaux de petit diamètre (0,3 à 3 mètres). Depuis 2007, le Ministère est également responsable de plus de 4 250 ponts situés sur le réseau routier municipal dont la gestion avait été rétrocédée aux municipalités en 1992.

Trois systèmes de gestion d'actifs en transport ont été développés au Ministère pour la gestion des chaussées, la gestion des structures ainsi que la gestion des ponceaux de petit diamètre. L'exploitation de ces différents systèmes de gestion a démontré au fil des années que cela apportait des bénéfices sur la connaissance et le suivi des actifs, la planification des interventions, l'atteinte des cibles de performance (amélioration de l'état) et la prédiction de l'état du réseau.

Typiquement, les programmes de gestion d'actifs ont été établis pour des éléments d'infrastructure de transport comme les ponts, chaussées, trottoirs, feux de circulation et panneaux de signalisation. Mais certaines contraintes géotechniques, tel que les glissements de terrain ou éboulements rocheux peuvent aussi affecter la performance d'un système de transport, en termes de mobilité (entrave du réseau routier) et sécurité des usagers.

### **Revue des pratiques actuelles en gestion des actifs géotechniques**

Le développement de la gestion des actifs géotechniques au MTMDET a débuté il y a un peu plus d'une année. La mise à jour des connaissances par une recherche bibliographique sur les pratiques actuelles a permis de mieux comprendre ce qu'est la gestion d'actifs géotechniques et comment son application, entre autres par le développement et l'exploitation d'un système d'analyse basée sur le risque ou d'un système de gestion des actifs géotechniques, peut varier selon les préoccupations et problématiques de l'organisation.

Plusieurs états américains ont débuté la gestion du risque d'instabilité des parois rocheuses au début des années 90 (GeoDecisions, 2004). Puisque d'autres risques naturels peuvent affecter le réseau routier, certains États ont fait évoluer leur système en intégrant aussi les talus de sols à stabilité précaire (unstable slopes), les affaissements de terrain et les tassements post-construction : le *Washington Department of Transportation (WSDOT)*, le *Ohio Department of Transportation (ODOT)*, le *Department of Transports of Alaska and Public Facilities (AKDOT&PF)* ainsi que le

*Tennessee Department of Transport (TDOT)* [Badger et al., 2013; Beach et al. 2010; Huang et al., 2009; Bateman et al., 2011]. Depuis 2012, la loi américaine MAP-21 exige pour chaque État le développement d'un plan de gestion des actifs qui soit basé sur le risque et permette de préserver ou améliorer la condition des actifs ainsi que la performance du réseau routier (Anderson, 2015). La revue des connaissances fait ressortir le fait que, suite à l'adoption de cette loi, plusieurs États qui réalisaient déjà la gestion d'actifs de transport ont démarré le développement et l'implantation de la gestion d'actifs géotechniques afin d'être en mesure de répondre aux critères de performance (la sécurité et la mobilité, notamment) sur le réseau routier.

Au Royaume-Uni, l'évaluation des risques géotechniques a commencé au début des années 2000 et la gestion des actifs géotechniques est maintenant une pratique bien établie (Power, 2008 et 2012; Vessely, 2013). Les actifs considérés incluent : les remblais sujets aux tassements, les glissements ou ruptures de fondation, les talus de déblais sujets aux glissements ainsi que les glissements dans le roc ou les chutes de pierres (Vessely, 2013). Les actifs géotechniques sont gérés en considérant une route ou une portion du réseau routier, ce qui s'approche d'une gestion par corridor routier. Leurs pratiques incluent une évaluation du risque à deux niveaux : stratégique et tactique. Pour l'évaluation stratégique, le niveau de risque est évalué qualitativement au moyen d'une matrice de probabilité et conséquence. Cette évaluation stratégique est un processus continu qui leur permet de suivre l'évolution des actifs géotechniques sur la durée de vie du corridor routier considéré.

Au Canada, la Colombie-Britannique a développé un système de gestion d'actifs, suite à une nouvelle politique de stabilité des parois rocheuses imposant un cadre pour l'intégration d'un système de gestion des parois rocheuses. Le système a été implanté en 2000 et adapté du système *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) développé par le *Oregon Department of Transport* (Huang et al., 2009).

En 2003, la *Saskatchewan Highways and Transportation* a implanté un système d'analyse basé sur le risque afin de prioriser et gérer les risques naturels et les risques de glissements de terrain sur le réseau routier. Leur approche considère des facteurs de probabilité et de conséquence ayant été déterminés par un panel d'experts pour près de 70 sites (Kelly et al., Vessely, 2013). Le processus d'analyse du risque inclut une inspection de terrain afin de recueillir les observations et faire l'évaluation de la problématique. Les conséquences sont déterminées en fonction des impacts estimés sur la sécurité, l'entretien et la mobilité. Les valeurs obtenues de cette analyse sont utilisées par l'organisation pour déterminer les priorités en monitoring et en études de projets (investigation projects).

La majeure partie des coupes de roc le long du réseau routier du *Ministry of Transportation of Ontario* (MTO) ont été construites avant que les méthodes de prédécoupage ne soient la norme. Plusieurs parois démontraient des années plus tard des signes d'instabilité et plusieurs accidents impliquant des éboulements rocheux ont été répertoriés au fil du temps. Afin de parer à cette lacune, le MTO a débuté l'implantation en 2012 d'un système de gestion des parois rocheuses, le *Ontario Rockfall Hazard Rating System* (RHRO). Le but de ce système est d'éviter les

accidents et de prioriser les interventions en considérant le rapport bénéfice/coût de chacune (Franklin et al., 2012).

La revue des pratiques actuelles, principalement aux États-Unis, au Royaume-Uni et au Canada, a permis de cerner les caractéristiques typiques d'un système de gestion d'actifs géotechniques. Bien que chaque système possède des caractéristiques adaptées aux besoins et à la philosophie de l'organisation, il a été constaté que le but premier et commun de tous ces systèmes est la gestion des risques d'instabilités (natural hazards) pouvant affecter le réseau routier (entrave) et la sécurité des usagers. Comme tout système de gestion d'actifs, un système de gestion d'actifs géotechniques est typiquement composé d'une base de données et d'un logiciel permettant l'analyse de ces données. La base de données contient l'inventaire des actifs géotechniques : leur localisation, les données sélectionnées pour documenter ces actifs, avec parfois l'inclusion d'informations complémentaires (photos de projets, rapports d'étude, plans de construction, etc.) et enfin, l'évaluation de leur état.

Le logiciel d'analyse permet la sélection des interventions, telles que l'entretien, la mitigation ou la réparation (stabilisation). Ce logiciel contient les arbres décisionnels permettant d'évaluer les interventions possibles et permet de réaliser différents types de scénarios, tel que l'évaluation de tous les besoins, la priorisation selon « le pire en premier » ou selon le rapport bénéfice/coût.

Les actifs intégrés dans l'inventaire des différentes organisations varient en fonction des problématiques rencontrées. Par exemple, dans les états américains de l'Ohio ou du Tennessee, des affaissements karstiques affectent le réseau routier et ont donc été intégrés dans l'inventaire des actifs géotechniques alors que ce n'est pas une problématique fréquemment rencontrée ailleurs. Parmi les actifs les plus fréquemment inventoriés on retrouve les parois rocheuses, les talus de sols naturels et de déblais, les remblais, les tassements post-construction, les ruisseaux printaniers (spring seep) ainsi que les murs de soutènements.

De manière générale en gestion d'actifs de transport, l'état des actifs inventoriés est décrit par des indicateurs de performance. La particularité des actifs géotechniques à stabilité précaire est que leur état est plutôt caractérisé par un indicateur du niveau de risque d'instabilité. Ce risque est défini par une combinaison de l'aléa, c'est-à-dire la probabilité que survienne l'instabilité, et de la vulnérabilité, ou conséquence sur le réseau routier et la sécurité des usagers.

Chaque organisation définit et pondère l'importance de chacun des paramètres qui définissent l'aléa et la vulnérabilité. L'historique de glissements de terrain ou d'éboulements rocheux, la longueur de la route affectée, la taille des blocs ou le volume des débris d'un glissement, les signes précurseurs d'instabilités (fissures en arc de cercle, blocs en surplomb, etc.) et la présence d'eau sont des exemples de paramètres fréquemment rencontrés pour déterminer l'aléa.

La classification de la route (ex. autoroute, route nationale, collectrice), le débit moyen journalier annuel (DJMA), la limite de vitesse, l'historique d'accident et la distance de détour en cas d'entrave sont des exemples de paramètres permettant d'évaluer la vulnérabilité.

Il a été observé que dans la majorité des systèmes américains de gestion d'actifs géotechniques, l'évaluation du risque est adaptée du système de notation *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) qui avait été développé en 1991 par le *Oregon Department of Transport* dans le but de faire la gestion des parois rocheuses (Pierson, 1992).

Les nouvelles technologies permettent maintenant une consultation plus représentative et performante des données. À la consultation classique, c'est-à-dire via des tables de données, s'est ajoutée ces dernières années la possibilité de visualiser les données dans un portail de type SIG (Système d'Information Géographique ou Géomatique). L'avantage d'une interface cartographique est de permettre à l'utilisateur de connaître en un coup d'œil la localisation de chacun des actifs du réseau et, si des pictogrammes spécifiques et adaptés au niveau de risque d'instabilité sont utilisés, l'état de ces actifs (figures 1 et 2).

### **Problématique des glissements de terrain au Québec**

Au Québec, les glissements de terrain constituent une problématique particulière à cause de la présence d'argile d'origine marine. Sur la figure 3, la zone en gris délimite le territoire compris à l'intérieur des limites des mers post-glaciaires qui ont existé il y a environ 12 000 ans et les points noirs représentent l'inventaire des glissements de terrain survenus au cours des 30 dernières années. La majorité de la population et du réseau routier du MTMDET est établie à l'intérieur de ces limites, où surviennent plus de 80% des cas de glissements de terrain chaque année.

Une des particularités des argiles du Québec est leur capacité de passer d'un état solide à liquide, uniquement par remaniement comme l'illustre la figure 4. On parle alors d'argile « sensible ». En présence d'argile sensible, un glissement peut parfois dégénérer en glissement de terrain de très grande superficie pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Une grande prudence est donc nécessaire au moment de l'étude de stabilité des talus dans les argiles sensibles et dans l'évaluation du risque qu'un glissement se produise.

Les routes du Québec étant touchées par de nombreux glissements de terrain chaque année, le MTMDET a mis en place une gestion des risques de glissements de terrain pouvant affecter le réseau routier.

## **Actions déjà prises pour prévenir les risques de glissements de terrain**

Plusieurs actions ont été prises ces dernières années par le Ministère afin de diminuer les risques de glissements de terrain affectant le réseau routier. Des formations sont maintenant offertes au personnel, afin notamment de promouvoir les bonnes pratiques lors des travaux de construction et d'entretien du réseau routier et d'éviter que des interventions inappropriées ne soient à l'origine d'instabilités.

Le monitoring du réseau routier a été amélioré et permet de repérer plus facilement les signes précurseurs d'instabilité afin que les spécialistes puissent rapidement étudier le site et émettre des recommandations. Une adresse courriel d'urgence est disponible pour signaler les glissements et permettre une action immédiate de la part des spécialistes.

Pour les nouvelles routes, des avis sont produits par les ingénieurs géotechniciens afin de tenir compte des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain en évitant la construction d'infrastructures dans ces zones ou en stabilisant au préalable les talus à stabilité précaire avant le début de la construction.

## **Système de gestion des actifs géotechniques envisagé au MTMDET**

L'implantation de la gestion des actifs géotechniques au Ministère vise à permettre une gestion des risques d'instabilité affectant le réseau routier au moment de réaliser la planification des travaux de réfection et d'entretien du réseau routier. Le Ministère sera aussi en mesure de réaliser le suivi des actifs de conception géotechnique (fréquence d'inspection ou d'entretien).

Les actifs géotechniques actuellement identifiés sont distingués en deux catégories : les actifs à stabilité précaire ainsi que les ouvrages de conception géotechnique.

Les actifs à stabilité précaire regrouperont les parois rocheuses, les talus de sols (talus naturels existants, talus de remblais et de déblais) et les corridors avalancheux. Leur état sera caractérisé par le risque que survienne une instabilité pouvant affecter le réseau routier (entrave) et la sécurité des usagers.

Les ouvrages de conception géotechnique sont les ouvrages conçus pour solutionner une problématique géotechnique, dont préliminairement : les stabilisations (par déblai ou ajout d'un contrepoids), les mesures de mitigation (fosses de captage, filets de retenus, boulons d'ancrages, etc.) et les remblais à noyaux léger. Leur état sera caractérisé par leur condition, par exemple selon l'état des matériaux (tassements post-construction, affouillement, corrosion, etc.) et la durée de vie résiduelle estimée.

Il est souhaité que le système de gestion des actifs géotechniques développé offre à la fois une interface de données textes et une interface cartographique présentant la

localisation et l'état de chacun des actifs géotechniques. L'utilisation de pictogrammes représentant le niveau de risque d'instabilité est prévu, avec un pictogramme par type d'actif et un code de couleur représentant l'état.

Une réflexion s'est amorcée pour déterminer si les sites ayant fait l'objet de travaux de mitigation ou de stabilisation seront identifiés par l'intégration d'un certain symbole au pictogramme de l'actif, tel que le fait le TDOT, dans son *Geohazard Management System* (figure 5).

Les ouvrages de conception géotechnique seront aussi représentés par un pictogramme associé au type d'actif. Si un code de couleur représente leur état, il faudra s'assurer de pouvoir rapidement distinguer les deux types d'actifs (de stabilité précaire vs ouvrage de conception géotechnique) ainsi que les deux types d'état, c'est-à-dire le niveau de risque versus l'état en termes de condition et durée de vie résiduelle.

La constitution de l'inventaire des actifs géotechniques, incluant l'évaluation du risque sur les actifs à stabilité précaire, prendra quelques années. Pour débiter l'inventaire, l'utilisation des informations déjà disponibles, tels que les sites ayant fait l'objet d'une étude de stabilité exhaustive (talus naturels, de remblais ou de déblais et parois rocheuses), les zones potentiellement exposées aux glissements cartographiées et certains outils géomatiques tels que les relevés lidar et les photographies aériennes est prévue.

Une fois l'inventaire et l'évaluation de l'état de chaque actif (niveau de risque ou état, selon le cas) complétés, les arbres décisionnels permettant d'évaluer les interventions possibles devront être élaborés.

Le logiciel d'analyse du système de gestion des actifs géotechniques devra aussi permettre de déterminer des stratégies d'interventions pour aider à la planification annuelle des travaux routiers. Des scénarios types seront réalisés, prévoyant :

- L'évaluation des investissements nécessaires pour stabiliser tous les sites à niveau de risque très élevé;
- L'évaluation, pour un investissement donné, du nombre de sites supplémentaires pouvant être stabilisés si un mélange d'interventions de mitigation et de stabilisations est réalisé plutôt que des interventions de stabilisations (plus coûteuses) seulement.

## Conclusion

Le développement de la gestion des actifs géotechniques au MTMDET a débuté il y a un peu plus d'une année et se concrétise graduellement, principalement motivé par un grand besoin de gérer les risques de glissement de terrain pouvant affecter le réseau routier dus à la présence d'importants dépôts d'argile marine parfois sensible.

Une revue des connaissances sur les pratiques actuelles en gestion d'actifs géotechniques a montré d'une part, que le but de la gestion d'actifs en transport est de rencontrer, pour toute la durée de vie des actifs considérés, les objectifs de performance visés par l'organisation de la façon la plus rentable possible. D'autre part, le but premier et commun des systèmes de gestion des actifs géotechniques est la gestion des risques d'instabilités pouvant affecter le réseau routier (entrave) et la sécurité des usagers. Et l'application de cette gestion varie selon les préoccupations et problématiques, en termes de risques naturels, de chacune des organisations.

Le MTMDET prévoit distinguer les sites à stabilité précaire et les ouvrages de conception géotechnique dans l'inventaire et l'analyse de ses actifs géotechniques : la gestion sera basée sur le risque pour les sites à stabilité précaire et sur l'état pour les ouvrages de conception géotechnique. Le système devra présenter une interface cartographique affichant des pictogrammes qui illustrent, en un coup d'œil, le type d'actif ainsi que le niveau de risque ou l'état de chacun. Le système devra aussi permettre l'analyse et la comparaison de différentes stratégies dans la planification des travaux routiers.

Bien que la réalisation de l'inventaire des actifs et le développement du système de gestion des actifs prendra encore quelques années, son utilisation permettra au MTMDET d'effectuer une gestion efficace des risques de glissements de terrain ou de parois rocheuses au moment de la planification des interventions d'entretien ou de réfection sur le réseau routier, étant donné la connaissance du niveau de risque des sites identifiés à stabilité précaire et de l'état des autres actifs. Des fréquences d'inspections pourront également être établies à l'aide du système pour les actifs de conception géotechnique afin d'en assurer un suivi adéquat sur leur durée de vie.

Ultimement, la gestion des actifs géotechniques s'insèrera dans une vision intégrée de la gestion de tous les actifs du Ministère visant l'optimisation des ressources disponibles pour l'ensemble des travaux à réaliser.

## Références bibliographiques

Anderson, Scott A.. (2015). *Risk-Based Asset and Performance Management: A Geotechnical Perspective [Présentation PowerPoint]*. États-Unis, FHWA - Resource Center. Tiré de <http://www.docfoc.com/risk-based-asset-and-performance-management-a-geotechnical-perspective-scott>

*Badger, T. C., Fish, M., & Trole, T. (2013) Management of Unstable Slopes along Washington State Highways-Past, Present, and Future. Communication présentée au Geo-Congress 2013: Stability and Performance of Slopes and Embankments III, San Diego, California. 8 p.*

*Bateman, V.C., Oliver, L., Polk, R., (2011). Tennessee's Geohazard Management Program: Moving from Disaster Recovery towards Asset Management [Présentation PowerPoint]. 62nd Highway Geology Symposium, Lexington, Kentucky (20 p.). Tiré de [http://www.marshall.edu/cegas/geohazards/2011pdf/presentations/s10/03\\_vb\\_tdotgeohazards.pdf](http://www.marshall.edu/cegas/geohazards/2011pdf/presentations/s10/03_vb_tdotgeohazards.pdf)*

*Beach, K. D., Liang, R. Y., Feng, F. (2010). Integrated geological hazard management system. [Présentation PowerPoint] présentée à Geohazards in transportation in the Appalachian region, Columbus, OH, (30 p.).*

*Franklin, J. A., Wood; D. F., Senior, S. A., Blair, J. A., Wright, J.. (2012). RHRON: Ontario rockfall hazard rating system: Field procedures manual. Downsview, Ont: Engineering Standards Branch, Ontario Ministry of Transportation.*

*GeoDecisions. (2004). Geotechnical Data Management System Assessment Report. États-Unis, Alaska, Department of Transportation and Public Facilities. 67 p.*

*Huang, S. L., Darrow, M. M., Calvin, P. (2009). Unstable Slope Management Program - Background Research and Program Inception - Phase I Final Report (MTC Project 2000-03). Alaska, 90 p.*

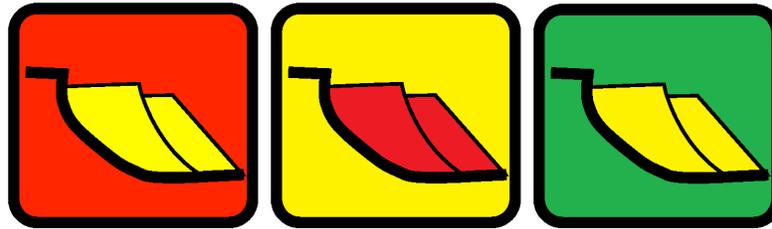
*Kelly, A.J.; Clifton, A.W.; Antunes, P.J.; and Widger, R.A. 2005. Application of landslide risk management to the Saskatchewan highway network. In Landslide risk management, ed. Oldrich Hungr; Robin Fell; Rejean Couture; and Erik Eberhardt, 571-580. L*

*Pierson, L. A. (1992). Rockfall Hazard Rating System (Report No FHWA-OR-GT-92-05). États-Unis, Transportation Research Record, 1343.*

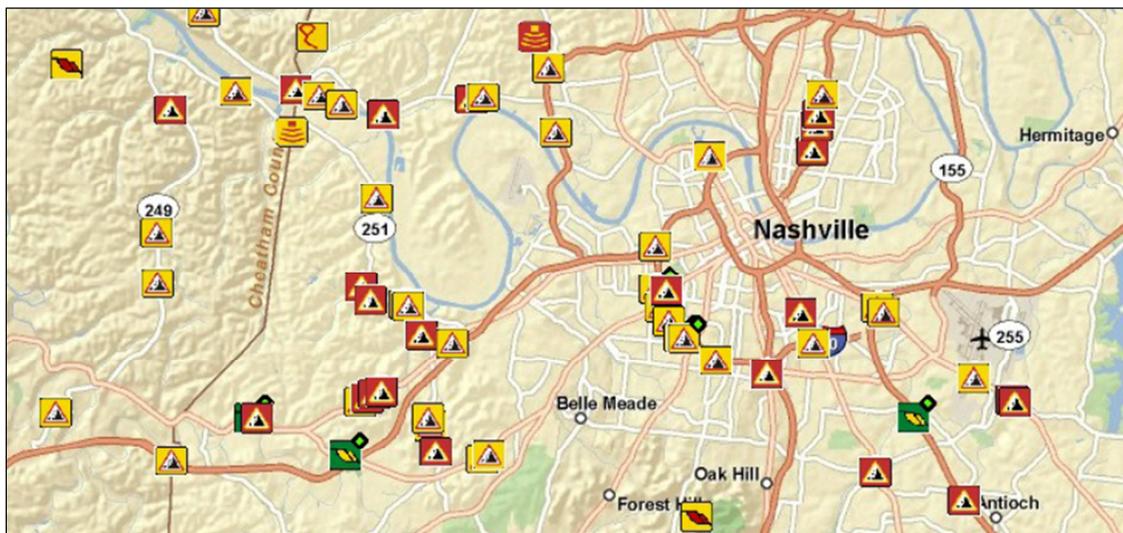
*Power, C.. (2008). DIGGS and Geotechnical Management in the United Kingdom. Communication présentée à OTEC, Columbus, Ohio, 47 p. Tiré de <http://www.dot.state.oh.us/engineering/OTEC/2008%20OTEC%20Presentations/38B-Power.pdf>*

*Power, C. M., Patterson, D. A., Rudrum, D. M., & Wright, D. J. (2012). Geotechnical asset management for the UK Highways Agency. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 26(1), 33-39.*

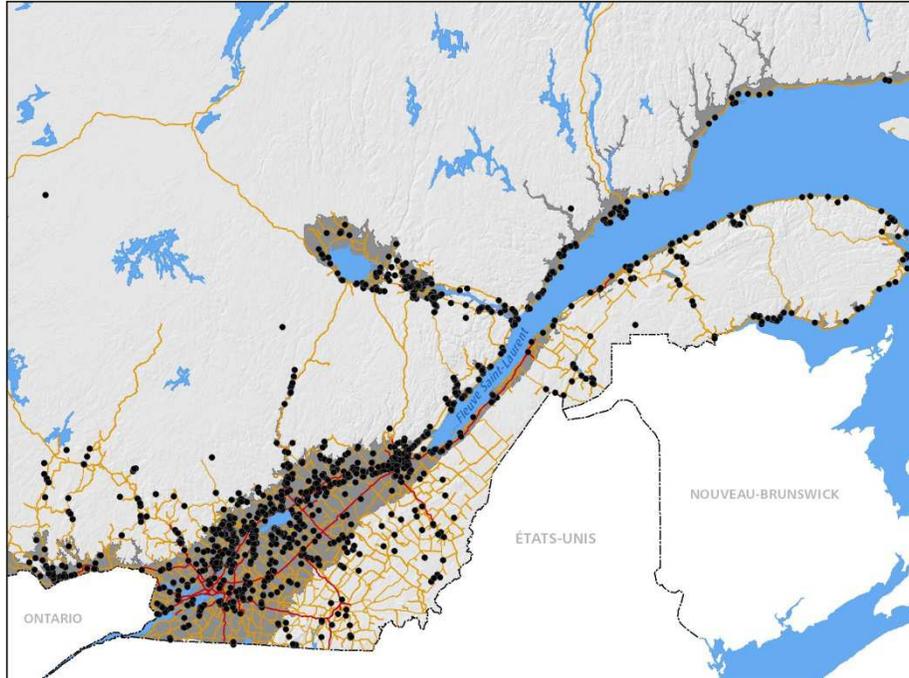
*Vessely, Mark. (2013). Geotechnical Asset Management Implementation Concepts and Strategies (Rapport FHWA-CFL/TD-13-003). Denver, CO: Federal Highway Administration. 73 p.*



**Figure 1** : Exemples de pictogrammes utilisés par le TDOT. De gauche à droite : talus à niveau de risque élevé, talus à niveau de risque modéré et talus à niveau de risque faible (Bateman et al., 2011)



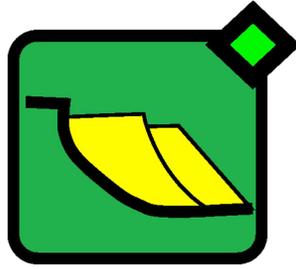
**Figure 2** : Exemple de représentation géographique de la localisation et du niveau de risque de chacun des actifs (Bateman et al., 2011)



**Figure 3 :** Inventaire des glissements de terrain des 30 dernières années au Québec (MTMDET).



**Figure 4 :** Argile sensible au remaniement (MTMDET).



**Figure 5** : Exemple de pictogramme utilisé par le TDOT pour un talus ayant été stabilisé (losange vert en haut à droite) et présentant désormais un niveau de risque faible (Bateman et al., 2011)