

# La gestion du risque de glissement de terrain développée à la Ville de Saguenay et appliquée aux mesures d'urgence de 2022



Lise Delpech et Jean Verreault  
*Englobe Corp, Québec, Canada*

Martine Chabot et Audrey Bédard

*Services du génie et de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, Ville de Saguenay, Québec, Canada*

## RÉSUMÉ

En raison de l'histoire et de la géomorphologie du Saguenay, le gouvernement du Québec en collaboration avec la Ville de Saguenay a instauré un plan de gestion des risques de glissement de terrain en 2007. Ce programme a exigé l'implication de ressources municipales et la consultation d'intervenants externes afin d'adopter une approche préventive pour la sécurité de la population. Ce processus a été mis à l'épreuve lors d'une séquence de conditions météorologiques extrêmes au printemps 2022 qui a contribué au déclenchement du glissement de terrain de l'avenue du Parc, à La Baie au Saguenay et au déploiement de mesures d'urgence exceptionnelles. Cet article présente les mesures additionnelles développées depuis l'implantation du plan de gestion par la Ville de Saguenay, offrant ainsi un retour d'expérience en gestion du risque de glissement de terrain pour les municipalités confrontées à ce type d'aléa.

## ABSTRACT

Due to the historical and geomorphological characteristics of Saguenay, the Government of Quebec, in collaboration with the city of Saguenay, developed a landslide risk management plan in 2007. This plan required the involvement of municipal resources and consultation with external stakeholders to adopt a preventive approach to ensure the safety of the population. The effectiveness of the plan was tested during a sequence of extreme weather conditions in spring 2022, which contributed to the triggering of the landslide on Parc Avenue in La Baie, Saguenay, and the deployment of exceptional emergency measures. This article presents additional measures developed since the implementation of the management plan by the city of Saguenay, thus providing insights into effective landslide risk management for municipalities facing this type of hazard.

## 1 INTRODUCTION

La coulée argileuse de Saint-Jean-Vianney en 1971 et les glissements de terrain du Déluge du Saguenay en 1996 ont marqué un tournant majeur dans la prise de conscience collective des risques de glissement de terrain. À la suite de ces sinistres majeurs, l'élaboration d'un plan de gestion des risques à l'échelle du Québec a orienté la Ville de Saguenay à développer sa propre approche pour réduire ce risque pour sa population.

Tout d'abord, l'article détaille le processus qui comprend la prévention, la réglementation et la cartographie applicables, la mise en place d'un programme de surveillance et des inspections géotechniques, en collaboration avec des firmes externes.

Dans un second temps, l'article témoigne de l'efficacité de cette approche mise à l'épreuve en 2022, à la suite de conditions météorologiques défavorables entraînant l'apparition de signes d'instabilité sur le territoire de la Ville de Saguenay. La collaboration de tous les intervenants a permis d'éviter des pertes humaines lors du glissement de terrain de la 8<sup>e</sup> avenue à La Baie et a conduit à la stabilisation sécuritaire du site.

En parallèle, des mesures d'urgence ont été déployées, et des ressources spécialisées ont été mobilisées afin de soutenir la Ville de Saguenay dans la réalisation d'inspections d'urgence dans le but de prévenir d'autres sinistres et de rassurer ses citoyens.

L'expérience de 2022 démontre l'efficacité de chaque volet du plan de gestion des risques de glissement de terrain appliqué à la Ville de Saguenay et constitue une approche responsable face aux défis de l'aménagement du territoire et aux conditions météorologiques extrêmes récurrentes.

## 2 CONTEXTE

### 2.1 Historique

La gestion du risque de glissement de terrain s'inscrit dans un processus gouvernemental résultant d'une prise de conscience collective qui s'est initiée à la suite de plusieurs événements majeurs. Dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, la coulée argileuse de Saint-Jean-Vianney en 1971 a entraîné la disparition de 40 maisons et le décès de 31 personnes en quelques minutes (Tavenas et al. 1971). Les pluies diluviennes de 1996 lors du « Déluge du Saguenay » ont causé plus de 1 000 glissements de terrain à la suite de précipitations de 150 à 280 mm sur une période d'un peu plus de 40 heures, ainsi que le décès de 2 jeunes enfants à La Baie (Bouchard et al. 2008). Ces événements ont eu un impact significatif sur la population, les infrastructures et les coûts associés, ce qui a incité l'adoption d'un processus gouvernemental de compilation de données, de cartographie, de réglementation et de sensibilisation dans le but de réduire le risque pour les individus et les biens (Demers et al., 2014).

## 2.2 Géomorphologie et facteurs prédisposants

La plupart des glissements de terrain au Québec se produisent dans les sols argileux où se concentre la majorité de la population du Québec (Demers et al. 2008). Le Saguenay est situé sur une Basse-Terre formée principalement par l'invasion marine de la mer de Laflamme issue de la dernière glaciation. Des particules fines (principalement composées de silt et d'argile) se sont déposées sur des épaisseurs pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres. À certains endroits, ces couches ont été recouvertes par des matériaux plus grossiers composés de sable et de gravier. Le rehaussement isostatique a conduit à l'émergence des plaines argileuses, et a initié leur érosion par les cours d'eau, provoquant des glissements de terrain le long des berges les moins stables.

Le déclenchement d'un glissement de terrain résulte de la combinaison de plusieurs facteurs naturels et/ou anthropiques. La réserve de stabilité d'un talus peut être diminuée par une modification de la pression interstitielle de l'eau dans les sols lors de la fonte du couvert de neige ou à la suite de périodes pluvieuses comme ce fut le cas en juillet 1996, lors du « Déluge du Saguenay ».

Certaines actions humaines peuvent également diminuer la réserve de stabilité des pentes existantes (déblai, remblai, apport d'eau non contrôlé, etc.) et causer des glissements de terrain. Au Québec, 40 % des glissements de terrain recensés ont été associés à ce type d'interventions qui peuvent agir comme des facteurs aggravants ou déclencheurs (Fortin et al. 2008). Le risque de glissement de terrain devient une préoccupation majeure lorsqu'il est présent dans les zones habitées.

La géométrie d'un site peut parfois présenter les conditions nécessaires pour qu'un glissement de terrain évolue en un glissement de plus grande ampleur nommé « glissement fortement rétrogressif ». Les coulées argileuses (un type de glissement fortement rétrogressif) surviennent en présence de sols constitués d'argile sensible au remaniement où s'est

produit un premier glissement qui déclenche ensuite une chaîne de glissements successifs. La réaction en chaîne se produit généralement quelques jours ou semaines suivant le premier glissement comme ce fut le cas en 1971 à Saint-Jean-Vianney. Ce type de glissement rétrogressif survient la plupart du temps aux abords des berges abruptes des cours d'eau (Demers et al. 2014).

## 2.3 Prise de conscience collective – Mise en place du plan de gestion global

À la suite de ces constats, une approche globale en matière de gestion des risques a été mise en place par le gouvernement du Québec (Bilodeau et al. 2005 et Demers et al. 2008). En s'appuyant sur des relevés topographiques et géotechniques (lidar, forages, investigations de terrain, etc.), des cartes de contraintes à l'utilisation du territoire, liées aux zones exposées aux glissements de terrain ont été produites par le gouvernement du Québec pour différentes régions.

En parallèle, des normes en matière d'aménagement du territoire ont été élaborées sous la forme d'un cadre normatif afin d'aider les municipalités à gérer les interventions dans les zones de contraintes.

À travers son plan de gestion global des risques de glissements de terrain, le gouvernement du Québec a mis l'accent sur la prévention en impliquant différents niveaux d'intervenants (MRC, municipalités, citoyens et géotechniciens). La Loi sur la sécurité civile entrée en vigueur en 2001 établit différents objectifs et encadre l'implication des intervenants dans les processus de prévention, d'interventions et du rétablissement de la situation (Gouvernement du Québec, 2002).

L'organigramme de la figure 1 présente le plan de gestion global des risques de glissement de terrain ainsi que les outils et les actions entreprises par les différents intervenants (Demers et al. 2008).

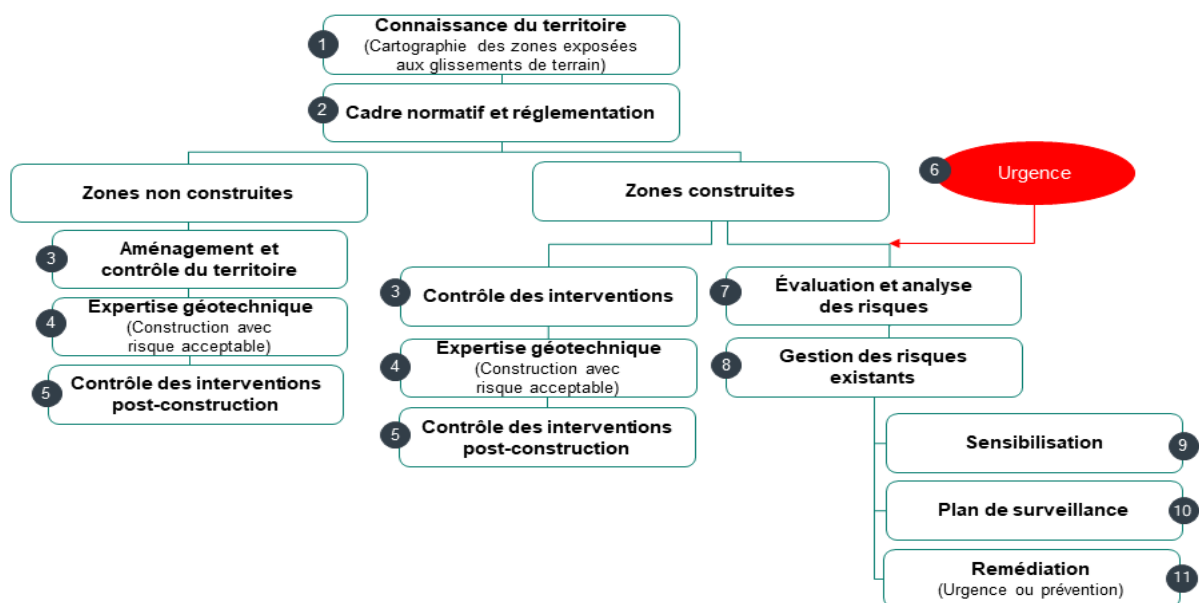


Figure 1. Organigramme du plan de gestion global des risques de glissement de terrain dans les sols argileux au Québec (Demers et al. 2008)

À partir de ce plan de gestion, la Ville de Saguenay s'est dotée de mesures additionnelles pour renforcer son engagement dans la gestion du risque de glissement de terrain sur son territoire. La numérotation ajoutée à l'organigramme de la figure 1 indique les niveaux auxquels des actions ont été entreprises.

### 3 PROCESSUS OPÉRATIONNEL DE GESTION DU RISQUE DE GLISSEMENT DE TERRAIN

#### 3.1 Programme municipal

##### 3.1.1 Réglementation

À la suite des événements de juillet 1996, l'ex-ville de La Baie a adopté un règlement de contrôle intérimaire sur les zones de contraintes. La Ville de Saguenay a ensuite demandé la collaboration du ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) et du ministère de la Sécurité publique (MSP) pour établir un cadre de gestion des zones de contraintes relatives aux glissements de terrain. Une nouvelle cartographie, plus précise, a été réalisée par le MTMD en 2004 puis adoptée par la Ville de Saguenay en 2007 (point 1 de l'organigramme de la figure 1). Ces nouvelles cartes de contraintes constituent des outils essentiels pour un meilleur contrôle de l'aménagement du territoire (Gouvernement du Québec, 2016).

Entre 2006 et 2008, le Service de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme de la Ville de Saguenay a procédé à la cartographie des zones de contraintes sur le reste de son territoire (arrondissements de Jonquière et de Chicoutimi). La cartographie de ces secteurs s'est effectuée en tenant compte de paramètres tels que le degré d'inclinaison des pentes et la hauteur de talus. Pour ce faire, l'utilisation de données lidar et la création de modèles numériques de terrain ont été nécessaires.

La cartographie des zones de contraintes effectuée par la Ville de Saguenay a assuré une uniformité dans l'application de la réglementation sur l'ensemble de son territoire. Ces zones, identifiées N, N1 ou N2, sont composées de sols de nature indéterminée, avec ou sans érosion, susceptibles d'être affectées par des glissements d'origine naturelle ou anthropique et sont classées en fonction de leur inclinaison. La Ville s'est basée sur la méthodologie du MTMD, en considérant seulement la géométrie de la pente peu importe le type de sol.

Le cadre normatif et la cartographie ont été adoptés en décembre 2007 pour le secteur de La Baie, et en novembre 2008 pour le reste du territoire. Quelques modifications réglementaires ont suivi, telles que les normes applicables selon l'usage (résidentiel ou autre), les exigences relatives aux expertises géotechniques (contenu obligatoire), les restrictions supplémentaires relatives à un mur de soutènement et la prise en compte du risque de chute de blocs rocheux.

Lorsqu'une intervention est interdite en vertu de la réglementation, il est possible de faire réaliser une expertise géotechnique qui doit émettre des conclusions précises en fonction de l'intervention projetée pour que cette dernière soit autorisée (points 4 et 7 de l'organigramme de la figure 1). Les exigences ont été déterminées en fonction de la

famille d'expertise (1, 2, 2A, 3 (lotissement), 4 (travaux de stabilisation)). Par exemple, dans le cas de la construction d'un bâtiment résidentiel, qui correspond à une famille d'expertise 1, l'expertise géotechnique doit conclure que :

- L'intervention projetée ne sera pas menacée par un glissement de terrain;
- L'intervention projetée n'agira pas comme facteur déclencheur d'un glissement de terrain en déstabilisant le site et les terrains adjacents;
- L'intervention projetée et son utilisation subséquente ne constitueront pas des facteurs aggravants, en diminuant indûment les coefficients de sécurité des talus concernés.

Pour assurer un suivi efficace des demandes de permis où des interventions sont situées en zones de contraintes, une application nommée « Zones de contraintes » a été implantée en 2009. Lorsqu'une expertise répondant aux exigences réglementaires est présentée et que le projet respecte l'ensemble des règlements d'urbanisme, un permis municipal peut alors être délivré, et ce, malgré la présence d'une zone de contraintes.

##### 3.1.2 Programme de surveillance

Les terrains déjà construits et situés dans des zones sujettes aux glissements de terrain peuvent être exposés à des risques de niveaux variables. En raison du grand nombre de résidences situées au pied de pentes et particulièrement exposées aux glissements superficiels, une analyse du risque lié à cet aléa particulier a été réalisée par le MTMD (Potvin et al. 2017) pour les résidences du secteur de La Baie. La méthode se base essentiellement sur l'inventaire des glissements de terrain réalisé lors des travaux de cartographie et permet de définir quantitativement la probabilité d'être affecté par un glissement superficiel en fonction de paramètres tels que la proximité du bâtiment en pied de talus, le type d'occupation, l'inclinaison de la pente et la hauteur du talus (point 7 de la figure 1). L'objectif principal du programme de surveillance est de réduire la probabilité que survienne un glissement de type superficiel et ainsi, améliorer la sécurité des personnes et des biens (point 10 de la figure 1).

Le MTMD a procédé aux premières inspections en 2007. Depuis 2008, un ingénieur géotechnicien de la Ville de Saguenay est responsable du programme de surveillance. La visite des sites est réalisée par 2 étudiants stagiaires durant l'été sous la supervision de cet ingénieur. En 2011, le programme de surveillance a été étendu aux autres arrondissements et près de 350 sites à risques élevé et très élevé sont inspectés annuellement. En 2014, une application informatique a aussi été créée afin de compiler l'ensemble des inspections annuelles et les demandes de vérification ponctuelles. Cette application permet de faciliter le suivi des inspections au fil du temps.

Au-delà de la détection des signes avant-coureurs de glissement, le programme de surveillance permet également d'assurer un suivi temporel des activités anthropiques néfastes qui peuvent être réalisées par les occupants des terrains. La présence de murs de soutènement de conception artisanale et de qualité variable (247 murs recensés) dans les zones de contraintes est une des

préoccupations soulevées par les inspections. Depuis 2019, face à cette préoccupation, la Ville envoie systématiquement des lettres aux propriétaires de murs (peu importe leur état) pour les sensibiliser à l'entretien de ces ouvrages.

Il convient de mentionner que la sensibilisation des citoyens constitue une mesure cruciale de gestion du risque, sachant que 40 % des glissements de terrain sont d'origine anthropique (point 9 de la figure 1).

### 3.2 Accompagnement externe

#### 3.2.1 Expertise géotechnique

Le plan global de gestion des risques s'appuie sur la cartographie des zones exposées aux glissements de terrain et sur l'application du cadre normatif. Ce dernier prévoit l'encadrement de l'aménagement et de l'utilisation du territoire par la réalisation d'expertises géotechniques (points 3 et 4 de la figure 1). Les demandes d'intervention sont déposées par les propriétaires ou leurs représentants au Service de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme (division des permis, programmes et inspections) de la Ville de Saguenay. Une première vérification est effectuée sur la plateforme de diffusion cartographique JMap, qui permet la consultation de données géoréférencées.

Lors du dépôt d'une demande de permis, les requérants n'anticipent pas toujours l'obligation de faire réaliser une expertise géotechnique, tel que requis par la réglementation, ce qui peut entraîner des délais et des coûts additionnels. Ainsi, chaque année, une firme spécialisée est mandatée par la Ville de Saguenay pour réaliser des avis techniques afin de préciser l'application du cadre réglementaire pour la plupart des projets résidentiels. Lorsqu'il s'agit d'interventions pour des usages autres que résidentiels, les expertises sont également requises, mais aux frais des demandeurs. Dans le cadre d'un développement domiciliaire, les promoteurs doivent s'adjoindre les services d'une firme spécialisée en géotechnique dans le but de connaître l'ensemble des contraintes d'aménagement du site. Cette démarche permet d'obtenir un état des lieux tout en permettant de sensibiliser la population sur ce type de risque et de l'informer au sujet des mauvaises pratiques qui sont à proscrire.

En raison du grand nombre de propriétés résidentielles situées dans les zones de vérification relative aux risques de glissements de terrain sur le territoire de la Ville de Saguenay, plusieurs dizaines d'expertises géotechniques sont requises chaque année. Cette charge de travail et les contraintes de temps nécessitent une disponibilité et une planification rigoureuse d'un mandataire. L'octroi d'un mandat annuel par le biais d'un appel d'offres sur invitation permet de définir les exigences, d'accomplir la tâche dans les délais impartis en faisant appel à des firmes spécialisées. Les géotechniciens spécialisés et expérimentés dans le domaine des aléas naturels, tels que les glissements de terrain, sont habilités à produire ce type d'expertise dans le cadre de demandes d'aménagement et d'intervention dans les secteurs déjà construits ou vacants (point 4 de la figure 1). Un rapport d'expertise doit être rédigé à la suite d'une inspection visuelle du site afin de

déterminer les conditions de stabilité d'une zone de pente. Une connaissance approfondie en géomorphologie et l'utilisation d'équipements adaptés sont essentielles pour évaluer la stabilité des pentes pouvant avoir une incidence sur l'intervention projetée, la propriété à l'étude ou sur les terrains adjacents. Les aménagements déjà présents ainsi que les signes d'instabilité observés sont consignés. Une appréciation des risques est nécessaire pour déterminer les conséquences des aménagements existants et projetés sur la stabilité des pentes étudiées.

Ces expertises nommées « *Avis techniques* », doivent établir les bandes de protection en fonction des caractéristiques spécifiques du site étudié, pour les aménagements projetés et pour toutes autres interventions communes pouvant faire l'objet de demandes de permis ultérieures. Puisque les pentes peuvent évoluer avec le temps, le cadre normatif exige une durée de validité pour chaque expertise. Celle-ci est généralement valide pour une période de 5 ans, mais elle est réduite à 1 an lorsque les interventions impliquent des travaux de protection contre les glissements de terrain situés en bordure d'un cours d'eau. Au terme de cette période, une mise à jour de l'expertise est requise. L'objectif de cette étape consiste à évaluer l'évolution des pentes à proximité et à assurer le maintien de la stabilité du site.

Chaque expertise géotechnique doit être accompagnée d'un plan de localisation qui indique les bandes de protection, afin d'avoir une présentation visuelle et une compréhension des restrictions établies pour la plupart des types d'interventions. Selon les observations de terrain, le géotechnicien évalue l'impact des interventions projetées sur la stabilité globale des pentes et en avise les propriétaires par écrit. Si nécessaire, des demandes de corrections sont formulées, et dans des cas plus critiques, des travaux de stabilisation peuvent être nécessaires (point 11 de la figure 1).

Selon le projet, l'expertise doit proposer des solutions permettant les aménagements autorisés tout en assurant la sécurité des lieux. Une étude de stabilité plus approfondie basée sur les caractéristiques géotechniques des sols et des conditions d'eau souterraine, obtenues par forage, peut être nécessaire pour optimiser les bandes de restriction applicables. Dans certains cas, des recommandations détaillées sont nécessaires pour éviter les risques d'instabilité liés aux travaux d'aménagement en zone de pente, notamment les déblais et les remblais. Les travaux dans les zones de pentes mentionnés par le géotechnicien nécessitent la réalisation d'un suivi en chantier dans le but de produire un avis de conformité qui permet de garantir le respect des exigences à la suite de l'obtention du permis municipal (point 5 de la figure 1). L'absence de dépôt d'un avis de conformité auprès de la Municipalité aura une incidence sur l'octroi des demandes de permis ultérieures jusqu'à ce que les documents requis soient fournis.

Au cours des 6 dernières années, le nombre de vérifications réalisées dans le cadre des demandes de permis en zones de contraintes a varié entre 518 et 660 annuellement. Pendant cette période, le nombre d'expertises géotechniques couvertes par le mandat octroyé par la Ville a varié entre 67 et 100 par an. Ce mandat annuel représente environ 80 000 \$ en frais d'honoraires professionnels payés par la Ville chaque année. La Ville est d'avis que ces frais

seront largement dépassés si un seul glissement de terrain survient. Cette approche permet un aménagement contrôlé des zones potentiellement sujettes à des glissements de terrain sans en augmenter le risque.

### 3.2.2 Support technique (hors urgence)

La détection de problèmes de stabilité de diverses envergures, telles que des fissures, des détériorations structurales ou du ravinement, requiert des connaissances spécifiques des individus réalisant les inspections afin de porter un jugement objectif sur la situation et de prendre les décisions qui s'imposent en toute impartialité.

Le recours à des consultants externes permet l'ajout de ressources complémentaires aux professionnels municipaux. À cet effet, la Municipalité peut faire appel à des géotechniciens spécialisés présents localement pour évaluer le niveau de risque pour les biens et les personnes. Ce type de mandat offre la possibilité de disposer de ressources temporaires, sur demande, pour soutenir les intervenants municipaux.

### 3.2.3 Appels d'urgence

Les appels d'urgence sont généralement dirigés vers le service d'urgence des municipalités par le 911 ou d'autres numéros internes. Ce service est applicable dans divers scénarios, que ce soit pour signaler des signes d'instabilité mineurs en dehors des heures d'ouverture normales des services municipaux ou lors d'événements majeurs tels qu'un glissement de terrain (point 6 de la figure 1). Considérant l'importance de fournir rapidement une appréciation du risque pour orienter les actions à entreprendre, il est crucial que les responsables des services d'urgence disposent des coordonnées de répondants qualifiés en géotechnique (municipal ou externe). Ces répondants doivent être capables de se rendre sur place avec les services d'urgence pour effectuer une première évaluation des risques et contribuer à l'élaboration d'un plan d'intervention. Selon la gravité des observations, le géotechnicien peut rassurer les parties prenantes, recommander un suivi ou la réalisation de travaux correctifs mineurs. Dans les cas où la situation requiert des interventions plus importantes et coûteuses, les citoyens affectés peuvent obtenir un soutien financier du gouvernement. Le MSP fait alors appel aux experts du MTMD pour évaluer la situation. Ces derniers sont basés à Québec, à quelques heures de la région du Saguenay. Le soutien que la Ville obtient de ses propres mandataires est donc crucial pour la réalisation des premières interventions.

## 4 APPLICATION DU PLAN DE GESTION GLOBAL À L'ÉTÉ 2022

### 4.1 Conditions climatiques extrêmes

Selon les archives du gouvernement du Canada, l'année 2022 a été marquée par des conditions climatiques exceptionnelles. Dans le secteur de Bagotville au Saguenay, le cumul de neige entre les mois d'octobre 2021 et d'avril 2022 a atteint 437,5 cm, représentant 136 % de la normale établie entre 1981 et 2010. Les températures au-dessus du

point de congélation ont débuté principalement en avril, entraînant une fonte rapide de la neige.

Des précipitations importantes ont aussi été enregistrées entre janvier et juin 2022, avec un cumul de 424,8 mm de pluie, soit 183 % de la normale climatique. En juin, le secteur de Bagotville a enregistré 239,1 mm de pluie, soit 271 % de la moyenne climatique pour ce mois. La conjonction de ces phénomènes a contribué à des augmentations significatives du niveau des cours d'eau et des nappes phréatiques, favorisant ainsi l'apparition de nombreuses problématiques d'instabilités au Saguenay.

### 4.2 Mesures d'urgence d'avril à juin 2022

#### 4.2.1 Glissement de terrain de la 8<sup>e</sup> Avenue à La Baie : chronologie des événements

Le 16 avril 2022, la résidente du 2280, avenue du Parc a contacté le Service de sécurité incendie pour signaler l'apparition d'une fissure dans le pavage devant sa remise située au sommet d'un talus de 27 m de hauteur. Les talus entre l'avenue du Parc et la 8<sup>e</sup> Avenue dans le secteur de La Baie font partie du programme de surveillance annuel depuis 2007 et sont classés à risque élevé.

L'ingénieure de la Ville de Saguenay et la géotechnicienne de la firme Englobe Corp. (Englobe) ont été rapidement dépêchées sur place pour examiner les déformations, partiellement visibles en raison du couvert de neige. Par mesure de précaution, un périmètre de sécurité a été installé en sommet de talus et une demande d'expertise a été déposée au MSP qui a ensuite relayé l'information au MTMD. À l'arrivée des spécialistes du MTMD sur les lieux le 26 avril, la fonte de la neige a permis de constater que la fissure observée était de plus 60 m de longueur avec un décalage vertical important (figure 2). Les observations de terrain ont permis au MTMD de rapidement conclure qu'il s'agissait d'une amorce de glissement de terrain.



Figure 2. Suivi de la fissure de 60 m observée en sommet de talus sur l'avenue du Parc à La Baie.

Le plan municipal de gestion en sécurité de la Ville de Saguenay a été activé. Le Service de sécurité incendie a donc procédé à l'évacuation préventive de 5 résidences en pied de talus et le Service des travaux publics a mis en place, les 27 et 28 avril, un mur de protection constitué de plus de 355 blocs de béton à la base du talus, tel que recommandé par le MTMD (figure 3).



Figure 3. Surveillance des conditions de stabilité du talus à la suite du glissement de terrain.

Une surveillance régulière a été mise en place parallèlement par relevé d'arpentage et un drone a été utilisé pour prendre des images aériennes. Une fois le site sécurisé par le mur de protection, une campagne d'investigations géotechniques par forage et par sondage au piézocône a débuté en vue de déterminer les solutions possibles pour réaliser la stabilisation projetée du talus. Avant même que l'étude géotechnique puisse être complétée, de fortes quantités de pluie se sont accumulées dans la région les semaines suivantes. La station météorologique de Bagotville, située à quelques kilomètres du site, a enregistré 100 mm de pluie au début de juin, avec un pic de 32,3 mm le 13 juin. En début de soirée cette même journée, le glissement de terrain s'est produit et la masse de sol a heurté une des résidences en pied de talus, à l'intérieur du périmètre d'évacuation préventif mis en place en avril (figure 4). Les débris du glissement ont été principalement retenus par le mur de protection et aucune personne n'a été blessée.



Figure 4. Vue aérienne du glissement de terrain de la 8<sup>e</sup> Avenue à La Baie survenu le 13 juin 2022.

Le pourtour de la cicatrice laissée par le glissement de terrain était abrupt sur une dizaine de mètres de hauteur et des reculs de terrain additionnels étaient anticipés en lien avec le réajustement de la stabilité du talus. Par conséquent, le 13 juin en soirée, une seconde phase d'évacuation préventive de 23 résidences situées à proximité du talus est réalisée par le Service de sécurité incendie de la ville en réponse aux directives émises par Englobe. Le

lendemain, les spécialistes du MTMD se sont rendus sur place pour évaluer la situation. L'état d'urgence est décrété par la Ville de Saguenay et un arrêté ministériel est signé par le gouvernement.

Le 15 juin, des investigations géotechniques supplémentaires sont amorcées en urgence afin de déterminer les propriétés des sols en place et les conditions d'eau souterraine pour ainsi définir la sensibilité au remaniement des sols. Le 18 juin, à la suite de la réception des premiers résultats de laboratoire, les spécialistes du MTMD confirment que le site présente tous les prérequis pour que le glissement du 13 juin déclenche une chaîne de glissements successifs et que ce dernier évolue en un glissement de plus grande envergure de type coulée argileuse à l'image de l'événement de Saint-Jean-Vianney survenu en 1971.

Pour donner suite aux recommandations du MTMD, la Ville de Saguenay a entrepris une troisième phase d'évacuations préventives de 53 résidences supplémentaires en sommet et en pied de talus dans la nuit du 19 juin, portant ainsi le total à 76 résidences évacuées. Cette opération a été supervisée en permanence par les ressources d'Englobe et de la Ville de Saguenay. Des digues de 4 m de hauteur ont également été construites par le Service des travaux publics et des blocs de béton ont été mis en place entre les résidences par un entrepreneur, tel que recommandé, en vue de contenir les débris d'une éventuelle coulée argileuse en fonction du périmètre établi par le MTMD.

Les relevés topographiques effectués après le glissement de terrain combinés aux données géotechniques ont permis au MTMD de procéder au dimensionnement de l'ouvrage de stabilisation dans un court délai. L'objectif était d'abord de modifier la géométrie de la pente pour éliminer le risque de coulée argileuse, puis de stabiliser le talus à long terme. Le concept définitif a été de stabiliser le talus en adoucissant la pente par déblai en une succession de paliers (Michaud et al. 2024).

Sous le pouvoir d'urgence de la mairesse, la Ville de Saguenay a octroyé un premier mandat à un entrepreneur pour la réalisation des travaux de stabilisation et un second à Englobe pour réaliser la surveillance des travaux de démolition et de stabilisation (figure 5), conformément aux plans et devis préparés par le MTMD. Des plans de végétalisation des pentes stabilisées ont également été produits par Englobe.

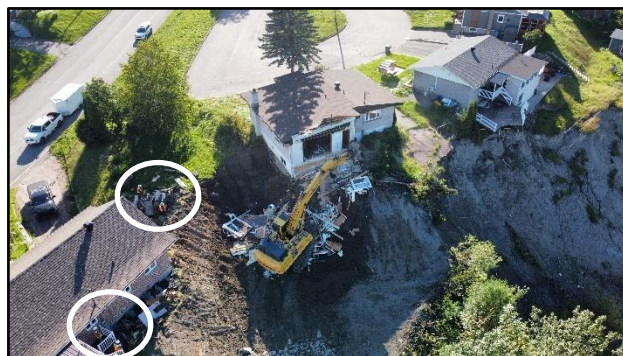


Figure 5. Les travaux de démolition ont lieu sous supervision géotechnique à l'aide d'un drone.

En complément des travaux conçus par le MTMD, le Service du génie de la Ville de Saguenay a élaboré les plans et devis pour la reconfiguration des infrastructures municipales telles que les réseaux d'égout et d'aqueduc, réseaux filaires, réaménagement du rond-point en sommet de talus ainsi que la mise en place d'un système en pied de talus en vue d'améliorer le drainage du talus vers les infrastructures municipales et afin d'éviter des refoulements du réseau unitaire présent en pied de talus.

Les travaux de stabilisation ont débuté le 1<sup>er</sup> août et se sont poursuivis jusqu'en novembre 2022. La réintégration des résidences non démolies s'est faite progressivement au cours de l'automne en fonction de l'avancement des travaux de stabilisation (Michaud et al. 2024). En définitive, la collaboration de tous les acteurs du plan de gestion des risques de glissement de terrain a permis la mise en œuvre efficace des différents processus nécessaires à la sécurisation du site et à la protection des vies humaines.

#### 4.2.2 Appels d'urgence d'avril à juin 2022

Les conditions climatiques particulières conjuguées au glissement de terrain survenu le 13 juin à La Baie ont entraîné la mise en place d'un plan d'action en raison d'un volume important d'appels provenant de citoyens préoccupés et requérant une vérification ou une inspection de leur terrain en lien avec des inquiétudes ou des désordres observés à proximité de leur propriété. Entre les mois d'avril et juin, un total de 49 appels ont été recensés au Service du génie, dont 78 % ont été reçus au cours des 2 semaines suivant le glissement de terrain. La carte de la figure 6 montre l'emplacement des inspections réalisées durant cette période. Plus de la moitié (57 %) des appels provenaient du secteur de La Baie et le tiers (33 %) du secteur de Chicoutimi.

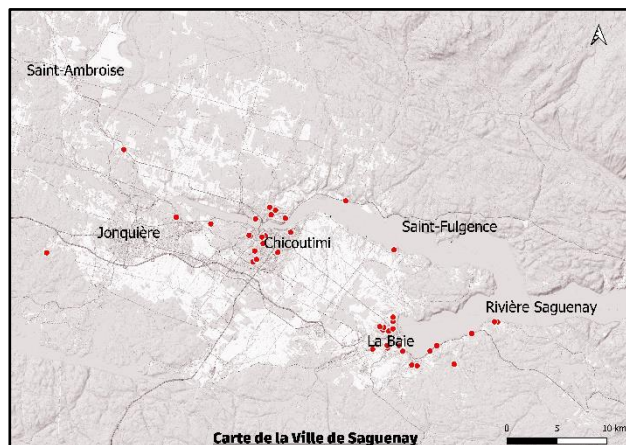


Figure 6. Localisation des demandes de vérification réalisées lors des inspections d'urgence entre avril et juin 2022 à la Ville de Saguenay.

Afin de répondre promptement aux demandes de vérification, la Ville de Saguenay a fait appel aux ressources d'Englobe spécialisées dans ce type de requête. Les inspections sur le terrain ont été réalisées sécuritairement en équipe d'au moins 2 professionnels

parmi les 11 géotechniciens mobilisés. Les caractéristiques des sites inspectés (géomorphologie, type de sol, hydrographie, phénomènes observés, etc.) ont été consignées. Les comptes-rendus de visites révisés par les ingénieurs ont ensuite été transmis à la Ville de Saguenay par niveau de priorité, afin d'être enregistrés dans le système de requête du Service du génie, dans le but d'en assurer le suivi.

Lorsque jugé nécessaire, le MSP a avisé le MTMD et des visites complémentaires ont été réalisées par leurs spécialistes en glissement de terrain (12 % des cas). Près de la moitié des demandes de vérification ont entraîné l'émission de recommandations pour effectuer des mesures correctives (stabilisation, travaux, drainage, végétalisation). L'analyse des données provenant de l'ensemble des demandes de vérification permet de constater que près d'un quart des requêtes étaient liées à des signalements de glissement de terrain (22 %), tandis qu'un tiers étaient associées à des déformations observées dans les talus (31 %).

## 5 CONCLUSION

La mise en œuvre du cadre normatif en matière de gestion du risque de glissement de terrain et la sensibilisation des acteurs municipaux sont essentielles pour garantir un aménagement du territoire sécuritaire. L'implication de ressources internes et externes peut contribuer à soutenir les municipalités dans leurs prises de décisions.

Les experts s'accordent à dire que les épisodes climatiques extrêmes et leur fréquence tendent à s'intensifier. La relation entre les conditions météorologiques et l'apparition de glissements de terrain est connue et doit être encore étudiée (Locat J., 2019). Cependant, une intervention proactive des municipalités appuyées à différents niveaux dans leur plan de gestion du risque de glissement de terrain peut contribuer à éviter des catastrophes.

La Ville de Saguenay a déployé des efforts significatifs pour cartographier son territoire et pour intégrer et uniformiser la réglementation en zones de contraintes de mouvement de sol. Ces initiatives visent à mieux contrôler l'aménagement du territoire et à garantir que les interventions dans ces zones tiennent compte des conditions géotechniques propres à chaque secteur. Le programme de surveillance contribue également à réduire le risque de glissement superficiel. La mise en place de ce système d'inspection a ainsi permis d'intervenir sur de nombreux sites de façon préventive, avant que ne surviennent des glissements de terrain qui auraient pu mettre en danger des résidents, améliorant ainsi la sécurité de la population.

Chacune de ces mesures constitue un filet de sécurité additionnel. En gestion des risques, l'objectif est de superposer ces filets de sécurité afin de réduire les risques d'événements indésirables. Grâce à ces actions, la population de la Ville de Saguenay est indéniablement l'une des mieux protégées au Québec contre ce type d'aléas naturels.

## 6 REMERCIEMENTS

La réalisation de cet article est le fruit d'une collaboration de plusieurs années entre tous les acteurs du plan de gestion du risque de glissement de terrain au Québec. Le soutien et l'implication de toutes ces ressources ont permis de faciliter les prises de décisions pouvant avoir des conséquences majeures sur les populations. Il est important de remercier également tous les autres intervenants qui ont soutenu de près ou de loin les citoyens de la Ville de Saguenay lors des mesures d'urgence exceptionnelles de l'été 2022.

## 7 RÉFÉRENCES

- 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.
- Bouchard R., Michaud V., Demers, D. (2008). *Le glissement de la rue McNicoll, 20 juillet 1996, Saguenay, Québec : causes et conséquences*. In: Proceeding of the 4th Canadian Conference on Geohazards: from causes to management. Presse de l'université Laval, Québec 2008, p 503-510.
- Demers, D., Robitaille, D., Potvin, J., Bilodeau, C. et Dupuis, C. (2008). *La gestion des glissements de terrain dans les sols argileux au Québec*. In: Proceeding of the 4th Canadian Conference on Geohazards: from causes to management. Presse de l'université Laval. Québec 2008, p 519-526.
- 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.
- Gouvernement du Québec (2016). *Pour une meilleure gestion des risques dans les zones potentiellement exposées aux mouvements de terrain*. Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, 12 p. [https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement\\_territoire/orientations\\_gouvernementales/orientations\\_glissements\\_terrains.pdf](https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/orientations_gouvernementales/orientations_glissements_terrains.pdf).
- Gouvernement du Québec (2002). *La sécurité civile, une responsabilité partagée – Présentation et synthèse de la loi sur la sécurité civile*. Gouvernement du Québec, 34 p. [La sécurité civile : une responsabilité partagée | BAnQ numérique](#)
- Michaud H., Bélanger K, Locat P., Demers D., Potvin J, Turmel D. 2024. « Glissement de La Baie – Diagnostique, dimensionnement et gestion du risque pour des travaux sécuritaires en zone exposée au danger de coulée argileuse ». Comptes-rendus de la 77<sup>e</sup> Conférence canadienne de géotechnique et 16<sup>e</sup> Conférence AIH-SNC sur les eaux souterraines, GéoMontréal.
- Ministère des Transports du Québec (1999). *Gestion des risques de glissement de terrain liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay - Lac-Saint-Jean*. Rapport soumis au Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay - Lac-Saint-Jean. Ministère des Transports du Québec, Service de la géotechnique et de la géologie.
- Locat J. et Leroueil S. (2019). *Changements climatiques et mouvements de terrain*. Travaux d'élaboration du plan d'électrification et de changements climatiques, 14 p.
- Perret, D. et Begin, C. (1997). *Inventaire des glissements de terrain associés aux fortes pluies de la mi-juillet 1996. Région du Saguenay/Lac Saint-Jean*. Rapport remis au Bureau régional de la reconstruction, ministère du Conseil exécutif du Québec - L'institut national de la recherche scientifique- INRS-Georessources, 26 p.
- Potvin, J., Mompin, R., Thibault, C., Demers, D., Bilodeau, C., et Desbiens, L. (2017). *Saguenay risk management*. Chapter 37. Landslides in Sensitive Clays, Advances in Natural and Technological Hazards Research 46. Springer International Publishing AG 2017; p. 417-427.
- Tavenas, F., Chagnon, J.-Y. and La Rochelle, P. (1971) *The Saint-Jean-Vianney Landslide; Observations and Eyewitnesses Accounts*. In Canadian Geotechnical Journal, 8, p 463-478.