

Glissements de terrain



Il existe une grande variété de mécanismes de rupture et de causes de déclenchement, ainsi que de conditions géologiques et topographiques qui déterminent le type de glissement de terrain dans une région spécifique. Certaines régions sont particulièrement vulnérables : pentes abruptes en région montagneuse ; fragilité du substratum rocheux du Crétacé dans les vallées des Prairies ; vallées érodées dans des sédiments fins autrefois couverts par des lacs et des mers glaciaires. Les incidences sont exacerbées lorsqu'un glissement de terrain coïncide avec des activités anthropiques. Au cours de la période historique (soit la période postérieure à 1840), les glissements de terrains au Canada ont entraîné la mort de plus de 600 personnes, ainsi que la destruction de plusieurs communautés, et causé des dommages évalués à plusieurs milliards de dollars. Aux risques que représentent les glissements de terrain, soit les mouvements du sol sous un ouvrage et le choc ou l'enfouissement par des débris en mouvement, s'ajoutent également des effets secondaires, notamment les inondations résultant d'un endiguement et les vagues provoquées par un glissement. Cependant, bien que des glissements de terrain continuent de se produire chaque année, les risques qu'ils représentent peuvent être réduits ou éliminés grâce à des mesures appropriées de planification et d'atténuation.

Qu'est-ce qu'un glissement de terrain?

Un glissement de terrain est le déplacement vers le bas de matériaux géologiques sur un versant. Le terme glissement fait également référence aux formes de terrain qui résultent de ce mouvement. Au Canada, les glissements de terrain présentent une grande diversité, reflétant ainsi les différents milieux du pays.



Figure 1 : Glissement de Frank, Alberta. En 1903, plus de 70 personnes ont été ensevelies par une avalanche de pierres lorsque le versant sud du mont Turtle s'est effondré.

Source : Photo gracieusement fournie par le Frank Interpretive Centre

En quoi consistent les glissements de terrain?

Les matériaux géologiques d'un glissement de terrain peuvent être constitués de roche ou de sédiments meubles ou de tous ces matériaux à la fois. Par « sédiment », on entend toute matière géologique qui n'est pas de la roche solide. Les sédiments comprennent l'argile, le limon, le sable, le gravier, les galets et les blocs, ou une combinaison de ces matières. En outre, les sédiments incluent tant les dépôts naturels que les dépôts d'origine anthropique. Par exemple, des glissements de terrain peuvent se produire dans des remblais artificiels. Dans sa trajectoire, un glissement de terrain peut emporter des matériaux géologiques dont les caractéristiques diffèrent des matériaux d'origine, auxquels peuvent s'ajouter de l'eau et des arbres. On appelle débris ce mélange de matériaux déplacés.

Quelle est l'ampleur des glissements de terrain?

L'ampleur d'un glissement de terrain peut varier d'un simple bloc qui se détache d'une falaise à une vaste zone englobant des dizaines de kilomètres carrés et des millions de mètres cubes de débris. Le plus grand glissement de terrain à se produire au Canada au cours de la période historique considérée, la coulée de terre de 1894 à Saint-Alban (Québec), a emporté 185 millions de mètres cubes de matériaux et a laissé une niche de décollement d'une profondeur de 40 mètres et d'une superficie de 4,62 millions de mètres carrés (approximativement de la taille de 80 pâtés de maison).



Figure 2 : Chute de pierres. Chute de pierres le long de la route Transcanadienne, près de Yale (Colombie-Britannique), déclenchée par de fortes pluies le 9 novembre 1990.

Source : Photo gracieusement fournie par Duncan Wyllie, Golder Associates

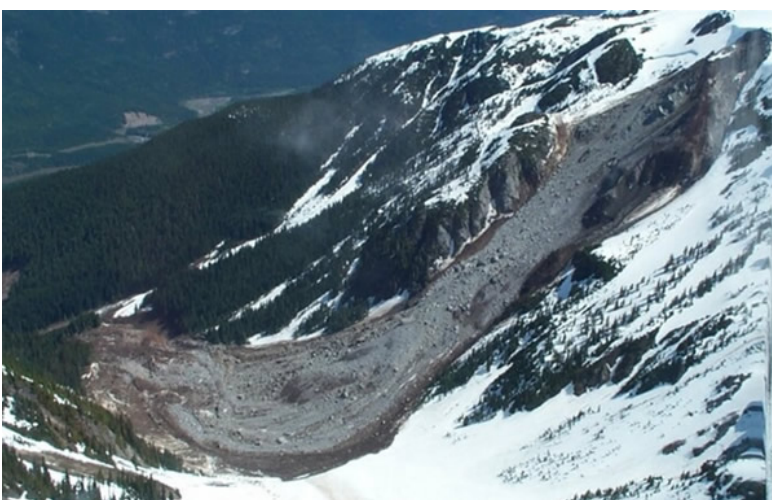


Figure 3 : Glissement de Zymoetz, Colombie-Britannique. Un glissement complexe caractérisé par une avalanche de pierres et une coulée de débris s'est produit le 8 juin 2002, à environ 30 kilomètres à l'est de Terrace, en Colombie-Britannique. Les débris ont été entraînés sur plus de 4,5 kilomètres, glissant à environ 1250 m plus bas. Le glissement a provoqué la rupture d'un gazoduc, le déclenchement d'un feu de forêt, l'obstruction de la rivière Zymoetz, l'inondation d'une route du Service des forêts et la destruction d'un pont.

Source : Photo gracieusement fournie par Marten Geertsema, ministère des Forêts de la Colombie-Britannique, 2002

Quelle est la vitesse de déplacement des glissements de terrain?

La vitesse de déplacement peut varier d'extrêmement lente à extrêmement rapide. Le mouvement le plus lent, la « reptation », est de l'ordre de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres par année. Des arbres et des poteaux de téléphone inclinés, ainsi que des clôtures déformées témoignent de ce lent mouvement du sol. Des éboulements peuvent atteindre des vitesses de 35 à 40 mètres à la seconde, soit trois fois plus vite que le coureur le plus rapide. Lors de coulées de terre rapides dans les Basses-Terres du Saint-Laurent, la vitesse d'une coulée d'argile peut varier d'une « marche rapide » à un « sprint olympique ». Par exemple, on a estimé la vitesse de la coulée de Saint-Jean-Vianney, au Québec, à 7 mètres à la seconde (25 kilomètres à l'heure). De plus, dans le cas de ces rapides coulées de terre, la régression (érosion régressive) de l'escarpement peut être supérieure à 5 mètres à la seconde et a dépassé, dans certains cas, une vitesse de course normale. Dans les régions montagneuses, les avalanches de pierres représentent le type de glissement le plus rapide et peuvent atteindre des vitesses de 100 mètres à la seconde (360 kilomètres à l'heure), dépassant ainsi la vitesse d'une voiture de course. Des témoins ont rapporté que l'avalanche de pierres survenue en 1903 à Frank, en Alberta, a duré environ 100 secondes, indiquant une vitesse moyenne de 31,2 mètres à la seconde (112 kilomètres à l'heure).



Figure 4 : Reptation. Le mouvement lent vers le bas de débris d'érosion a déplacé (flèche) un gazoduc dans le nord de la Colombie-Britannique. La position initiale du pipeline est indiquée par une ligne blanche tiretée. Le pipeline a été placé sur des pièces de bois pour lui permettre de s'ajuster au mouvement continu de la pente.

Source : Photographe : L.D. Dyke, 2006



Figure 5 : Avalanche de pierres rapide. Photographie aérienne (1965) montrant la trajectoire (ligne tiretée) d'une avalanche de pierres très rapide survenue en 1959 au ruisseau Pandemonium, en Colombie-Britannique. Des débris rocheux ont dévalé une pente abrupte depuis le point indiqué par une flèche dans le coin inférieur gauche, pour ensuite se déplacer sur près de 8 kilomètres le long de la vallée faiblement inclinée (6 à 9 degrés) d'un cours d'eau, jusque dans un lac visible dans le coin supérieur droit. Il semble que la vitesse de déplacement des débris ait atteint 100 mètres à la seconde.

Source : Province de la Colombie-Britannique, B.C.5145-163

Comment les glissements de terrain se déplacent-ils?

Les glissements de terrain progressent vers le bas des pentes sous l'effet de la gravité. Toutefois, si les matériaux géologiques sont particulièrement faibles ou sensibles ou saturés d'eau, la gravité revêt moins d'importance. La façon dont la rupture se produira et le mode de déplacement des matériaux dépendent de la géologie et de la topographie spécifiques d'une région. Les glissements de terrain présentent divers modes de déplacement allant de la chute libre au basculement, en passant par le glissement de masses relativement intactes jusqu'à la coulée de matériaux complètement désintégrés, et quelquefois à l'état liquide. (Pour obtenir une description complète, veuillez consulter la section Types de glissements ci-dessous.) De nombreux glissements combinent plus d'un mode de déplacement, passant d'un type de déplacement vers un autre en fonction de l'état de désintégration et de saturation de la masse en mouvement. Certains glissements de terrain ne se déplacent que sur une courte distance, s'arrêtant près de la base de la pente, tandis que d'autres peuvent franchir plusieurs kilomètres depuis le point d'origine. Certains glissements de terrain provoqueront des ruptures en série, favorisant l'érosion régressive et le recul de l'escarpement dans le versant.

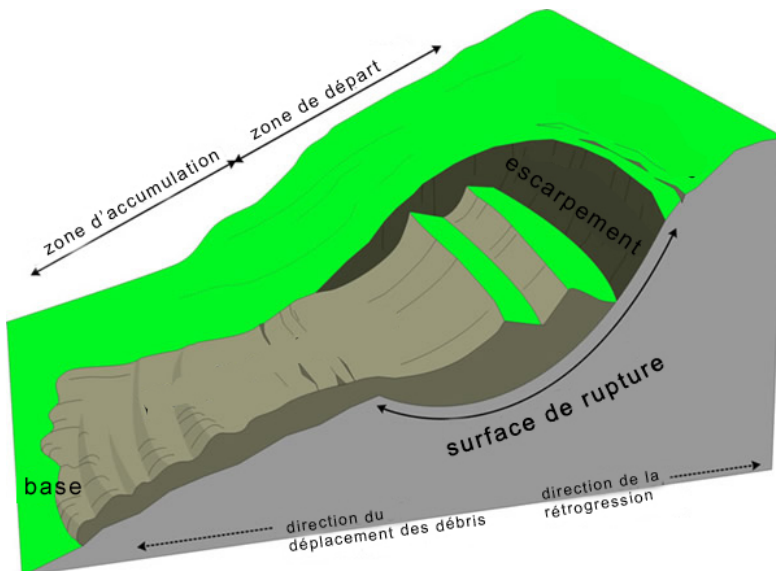


Figure 6 : Parties d'un glissement de terrain

Source : Commission géologique du Canada

Types de glissements de terrain

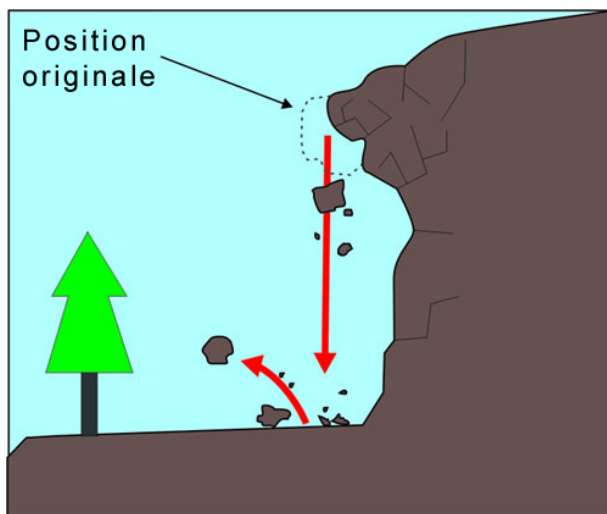


Figure 7 : Éboulement – chute libre de pierres ou de sédiments se détachant d'un versant très abrupt, habituellement accompagnée de mouvements de rebondissement ou de roulement

Source : Commission géologique du Canada

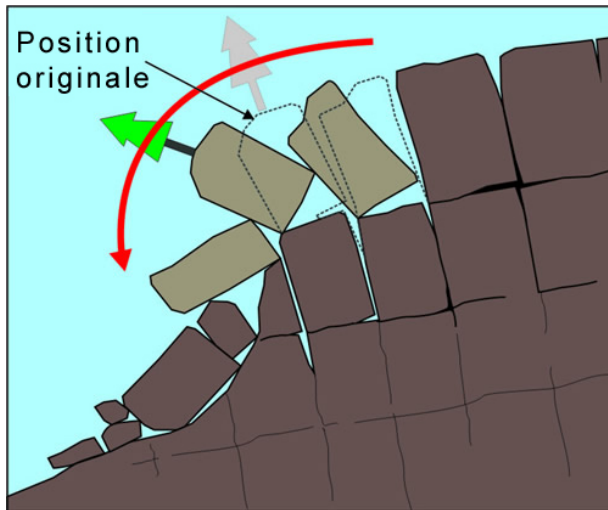


Figure 8 : Basculement – rotation vers l’avant de blocs rocheux ou de sédiments qui se renversent complètement

Source : Commission géologique du Canada

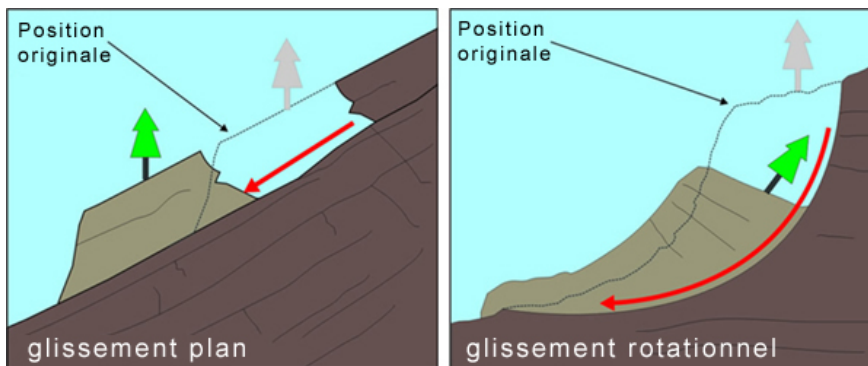


Figure 9 : Glissement – déplacement vers le bas de masses de matériaux relativement intacts suivant des plans de faiblesse

Source : Commission géologique du Canada

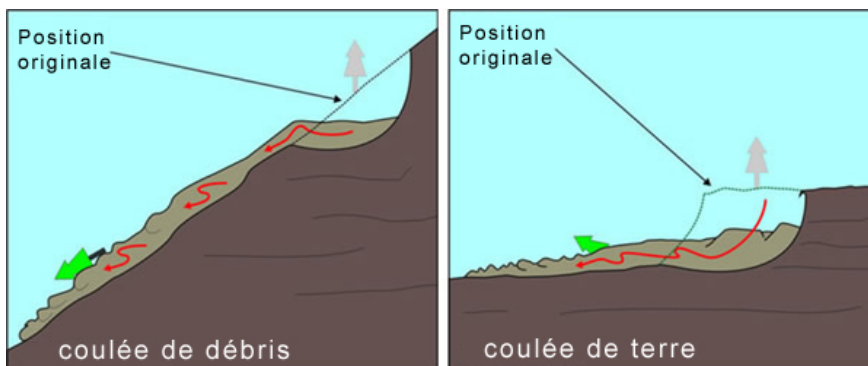


Figure 10 : Coulée – mouvement vers le bas de sédiments ou de pierres s'apparentant au mouvement de fluides

Source : Commission géologique du Canada

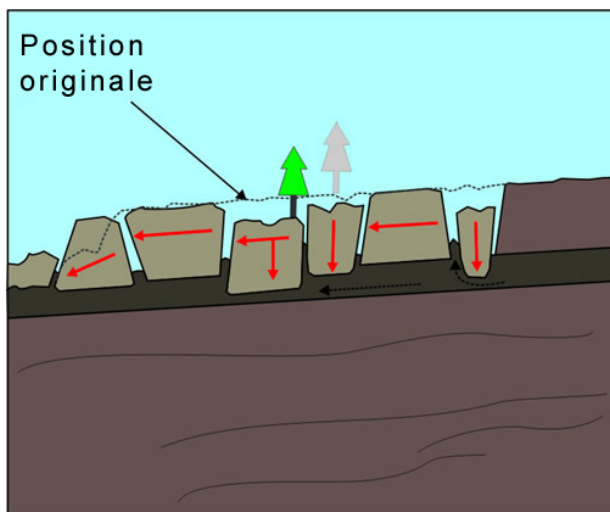


Figure 11 : Étalement – agrandissement de la zone occupée par des blocs de sédiments ou de roche sur une pente douce

Source : Commission géologique du Canada

Où peuvent se produire les glissements de terrain?

Les glissements de terrain sont catastrophiques là où ils ont des incidences sur la vie humaine. Dans ce contexte, les deux régions les plus vulnérables au Canada à ce chapitre sont la Cordillère méridionale en Colombie-Britannique et en Alberta, et les Basses-Terres du Saint-Laurent au Québec et en Ontario. Cependant, des glissements de terrain se produisent chaque année partout au Canada. Selon la géologie locale et les facteurs de déclenchement, les glissements peuvent survenir sur tout type de pente, qu'elle soit élevée ou basse, abrupte ou douce, ou même subaquatique. Ceci dit, certaines régions sont particulièrement vulnérables aux glissements de terrain. Il s'agit de la Cordillère canadienne, du substratum rocheux du Crétacé dans les Prairies, de régions recouvertes de fins sédiments autrefois couvertes par des lacs et des mers glaciaires, ainsi que de terrains de pergélisols riches en glace.

Cordillère canadienne

Les glissements de terrain représentent un risque important, non seulement pour les communautés dans la Cordillère canadienne, mais également pour les voies de transport, de communications et de services publics qui traversent les montagnes. Les hautes pentes abruptes sont extrêmement vulnérables pour tous les types de

glissements, notamment les éboulements, les coulées et les glissements massifs, ainsi que les avalanches de pierres, les avalanches de débris saturés d'eau et les coulées de débris rapides et souvent catastrophiques. Vingt-neuf avalanches de pierres ont été répertoriées dans la Cordillère depuis 1855, notamment la catastrophe de Jane Camp en 1915, en Colombie-Britannique, et le glissement de Frank en 1903, en Alberta. Les berges de cours d'eau, entaillées profondément dans d'épais dépôts de sédiments meubles le long de vallées, présentent également des risques de glissement de terrain. Par exemple, le 19 janvier 2005, une coulée de débris rapide dans un quartier de North Vancouver a détruit des maisons et causé la mort d'une personne.



Figure 12 : Glissement de Hope. Le glissement de Hope, en 1965, est la plus importante avalanche de pierres qui se soit produite en Colombie-Britannique. Le versant sud-ouest du pic Johnson s'est effondré le 9 janvier 1965, répandant 47 millions de mètres cubes de débris, d'une épaisseur de 85 mètres, sur un tronçon de 3 kilomètres de la route Hope-Princeton. Deux automobiles ont été ensevelies, dans lesquelles quatre personnes ont trouvé la mort.

Source : Photo gracieusement fournie par le ministère de l'Environnement, des Terres et des Parcs de la Colombie-Britannique

Substratum rocheux du Crétacé

Les glissements de terrain peuvent également se produire dans des régions peu accidentées. Dans ces régions, la stabilité des pentes dépend de conditions géologiques spécifiques. À l'est des montagnes Rocheuses, les versants des vallées dans les Prairies sont sujets aux mouvements de glissement le long de plans de faiblesse, généralement bentonitiques dans un substratum rocheux de shale friable et tendre du Crétacé. La masse de matériaux du glissement peut également inclure des éléments lithologiques plus durs du substratum rocheux (calcaire, grès) qui sont emportés sur les shales plus friables sous-jacents. Les glissements sont généralement lents. Cette tendance au glissement pose un problème particulier pour les voies de transport aux franchissements de vallées. Par exemple, au pont suspendu de la route de l'Alaska enjambant la rivière de la Paix, à proximité de Fort St. John (Colombie-Britannique), un glissement dans les shales du Crétacé à la culée nord a détruit l'ouvrage en octobre 1957. Plus récemment (1997), la réactivation

d'un glissement de terrain a provoqué la rupture d'un gazoduc sur le versant nord de la vallée de la rivière de la Paix, près de Fort St. John.



Figure 13 : Glissement dans des shales du Crétacé de la Formation de Bearpaw dans la vallée de la rivière Red Deer, près de Dorothy, en Alberta. La structure spectaculaire en graben, formée par un mouvement différentiel vertical à la tête du glissement, est modelée par un glissement complexe sur une surface de glissement horizontale. Des flèches indiquent les côtés opposés du graben.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 118541; planche III dans Scott et Brooker, 1968

Sédiments glaciomarins

Les matériaux géologiques les plus sujets aux glissements sont sans doute les argiles et les limons glaciomarins déposés dans des mers glaciaires temporaires, qui ont recouvert les régions côtières à la fin de la dernière glaciation. En dépit de pentes très légèrement inclinées (moins de 30 mètres), ces matériaux sensibles peuvent soudainement, lorsque perturbés, perdre leur résistance physique et se liquéfier, provoquant l'effondrement des matériaux et leur écoulement sous forme d'une coulée de terre rapide. Ces glissements sont très destructeurs, puisque l'escarpement à la tête du glissement régressera, même sur des pentes très douces, détruisant de vastes surfaces de terrain plat à l'arrière de la rive initiale, tandis que les débris peuvent s'écouler jusqu'à plusieurs kilomètres de la niche de décollement. La région la plus connue renfermant des sédiments glaciomarins est celle de la Mer de Champlain, qui a occupé les vallées du Saint-Laurent et de l'Outaouais et qui est caractérisée par d'épais dépôts de matériaux sensibles sur le plan géotechnique, plus familièrement connus sous le nom d'argile à Leda. Au cours de la période qui nous intéresse (post 1840), des coulées d'argile à Leda ont entraîné la mort d'une centaine de personnes, ainsi que la destruction de deux villes au Québec, – Notre-Dame-de-la-Salette en 1908 et Saint-Jean-Vianney en 1971. De rapides glissements et coulées de terre se sont également produits dans des sédiments glaciomarins fragiles, moins bien connus, dans la partie nord-ouest de la Colombie-Britannique.

Par exemple, le 28 novembre 2003, une coulée de terre rapide le long de la rivière Khyex a provoqué la rupture d'un pipeline, de telle sorte que Prince Rupert a été privée de son approvisionnement en gaz pendant dix jours.



Figure 14 : Glissement de Nicolet au Québec, en 1955. Photo aérienne de la coulée rapide (2 à 3 minutes) d'argile à Leda survenue en 1955 à Nicolet, au Québec. Cette coulée d'argile a fait trois victimes. La cathédrale Saint-Jean-Baptiste (encerclée) vieille de 147 ans, qui était érigée au bord du cratère, a dû être démolie à la suite du **glissement de terrain**.

Source : Province de Québec 377-24

Sédiments glaciolacustres

D'autres régions peu accidentées sont sujettes aux glissements de terrain : il s'agit de régions couvertes par de vastes dépôts de fins sédiments glaciolacustres. Ces sédiments sont constitués d'argiles et de limons qui se sont déposés au fond de lacs glaciaires temporaires vers la fin du dernier âge glaciaire. Les glissements dont la progression est généralement lente, bien que des glissements rapides ne soient pas exclus, représentent la forme la plus fréquente de rupture de pente sur les versants de vallées entaillées dans les sédiments glaciolacustres. Bon nombre de centres urbains dans les provinces des Prairies et en Colombie-Britannique sont construits sur des sédiments glaciolacustres. Winnipeg, par exemple, est érigée sur l'ancien fond du lac glaciaire Agassiz et de nombreux problèmes de stabilité des pentes se sont manifestés le long des rivières Rouge et Assiniboine au cours de l'histoire de la ville. Lorsque surviennent des glissements, la partie extérieure de la masse de matériel peut prendre la forme d'une lente coulée de terre. Moins fréquemment, les sédiments glaciolacustres peuvent céder sous forme d'une coulée rapide. En 1905, à Spences Bridge en Colombie-Britannique, une coulée rapide de sédiments limoneux dans la vallée de la rivière Thompson a enseveli une partie d'un village des Premières nations, tuant 15 personnes. En 1946, à Duparquet au Québec, l'argile qui se

trouvait en bordure de la fosse à ciel ouvert de la mine Beattie est devenue suffisamment liquide pour pénétrer dans la mine souterraine, y tuant quatre mineurs.



Figure 15 : Glissement dans des limons glaciolacustres. Un glissement s’est produit en 1897 dans des limons glaciolacustres en bordure de la rivière Thompson, tout juste au sud d’Ashcroft en Colombie-Britannique. Les flèches indiquent le sommet de l’escarpement.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 2000-184.
Photographe : S.G. Evans, 2000

Pergélisol

Le Nord canadien, tout en étant susceptible de subir tous les types de glissements qui se produisent fréquemment dans le sud du pays, se distingue cependant par des glissements d’un type unique, qui ne peuvent survenir que dans des régions de pergélisols. Des glissements du mollisol et des glissements régressifs plus profonds dus au dégel se produisent dans des sédiments fins riches en glace et entraînent le dégel et l’écoulement subséquent du sol saturé en eau. Ces glissements peuvent survenir sur des pentes très douces et ces phénomènes s’observent par centaines sur les rives de cours d’eau et de lacs de toundra dans la partie nord de la vallée du Mackenzie. Ils sont fréquents aux endroits où des feux ont dévasté la forêt et la toundra, détruisant le couvert végétal isolant. Les glissements de ce type sont relativement petits, mais ils peuvent avoir d’importantes incidences sur les pipelines situés dans le nord du pays.



Figure 16 : Glissement régressif dû au dégel dans des sédiments riches en glace, à proximité de Tuktoyaktuk, dans les Territoires du Nord-Ouest. Le glissement fait suite à une réactivation dans une ancienne cicatrice de décollement d'un glissement régressif dû au dégel (une ligne tiretée indique l'ancien escarpement). Le changement de couleur visible dans le couvert végétal reflète une humidité accrue dans l'ancienne niche. De la glace massive souterraine (flèche) est visible dans le nouvel escarpement.

Source : Photographie : J.M. Aylsworth, 1992

La région où les gros glissements de terrain sont les moins probables est la région du Bouclier canadien, caractérisée par un relief faible et un solide substratum rocheux. Toutefois, même cette région peut subir des éboulements et de petits glissements rocheux sur des falaises et des tranchées de route, ainsi que des glissements de terrain dans des zones où une épaisse couche de sédiments meubles couvre le substratum rocheux du Précambrien.

Quelle est la fréquence des glissements de terrain?

Des milliers de petits glissements de terrain se produisent chaque année au Canada. Les glissements plus importants sont moins fréquents. Selon toute probabilité, les glissements dont le volume dépasse un million de mètres cubes se produisent environ tous les dix ans.

Quelles sont les causes des glissements de terrain?

Les glissements de terrain peuvent être déclenchés par des processus naturels ou par des activités anthropiques. Les processus naturels comprennent l'érosion à la base des pentes sous l'effet des vagues ou des cours d'eau, particulièrement pendant la fonte des neiges ou de fortes pluies; la pression accrue de l'eau interstitielle dans

le sol, résultant également de pluies trop abondantes ou de la fonte des neiges; la température accrue dans le sol dans les régions de pergélisols; l'effet du gel-dégel sur les parois rocheuses; les séismes. L'impact des changements climatiques sera probablement d'augmenter les occurrences de glissements de terrain, surtout lorsque les projections anticipent une augmentation des températures et des précipitations ainsi que des tempêtes plus violentes. Les modifications apportées par l'homme à son milieu représentent un autre facteur important qui favorise l'instabilité des pentes. Parmi les exemples courants, on note les changements au régime de drainage par le déboisement, l'irrigation ou la modification de cours d'eau; la surcharge sur les pentes ou le blocage du drainage par des remplissages artificiels ou des remblais; l'accentuation ou le sapement de la pente par des travaux de déblai et d'abattage à l'explosif.

Quelles sont les incidences des glissements de terrain?

Les glissements de terrain au Canada ont fait plus de 600 victimes depuis 1840. Ce nombre représente une valeur minimale basée sur la définition d'un glissement catastrophique. Ce dernier est défini comme un événement unique entraînant la mort d'au moins 3 personnes. Lors de certains de ces désastres, les décès peuvent être attribués aux effets secondaires (ondes de crue et tsunamis) déclenchés par le glissement de terrain. Les événements qui font une ou deux victimes sont difficiles à retracer et n'ont pas été inclus dans la base de données. Des descriptions de chacun des 45 glissements de terrain catastrophiques identifiés sur la carte sont fournies dans la « Liste des principaux glissements de terrain catastrophiques » qui se trouve à la fin du présent document.



Figure 17 : Affaissement d'un remblai de chemin de fer. Vue aérienne de l'affaissement d'un remblai de chemin de fer survenu en mars 1997 à la voie d'évitement de Conrad, près de Lytton, dans le canyon du Fraser dans le sud de la Colombie-Britannique. Un train de marchandises a plongé dans la fosse créée par l'affaissement, causant la mort de deux membres de l'équipe. Le glissement a également miné la route Transcanadienne, visible dans le haut de la photographie. Les matériaux de remblai saturés en eau ont formé une coulée qui a atteint le fleuve Fraser, visible à l'avant-plan.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 2000-097.
Photographe : S.G. Evans, 1997

Les coûts associés aux glissements de terrain sont difficiles à calculer, mais on estime qu'ils ont coûté aux Canadiens des milliards de dollars au cours du temps et que les coûts annuels peuvent atteindre de 100 à 200 millions de dollars. Le glissement qui a sans doute été à lui seul le plus coûteux au Canada est celui qui est survenu en octobre 1957 dans des shales du Crétacé à la culée nord du pont suspendu de la route de l'Alaska, enjambant la rivière de la Paix, près de Fort St. John (Colombie-Britannique). Les frais de démantèlement et de reconstruction du pont étaient de l'ordre de 60 millions de dollars. En plus des importantes pertes et des coûts de reconstruction associés aux gros glissements dans des secteurs à forte densité de population, les dépenses cumulatives liées aux petits glissements plus fréquents grèvent notre économie (fermetures et réparations des voies de transport; dommages matériels ou pertes de biens, etc.). Par exemple, la coulée de débris, qui a eu lieu en août 1999 au ruisseau Five Mile dans le parc national Banff, a enseveli la route Transcanadienne pendant 24 heures, ce qui a eu d'importantes conséquences sur la circulation des marchandises entre les entrepôts de Calgary et les entreprises de Vancouver. On estime que la fermeture de cette route pendant une heure équivalait à une perte économique de 1 million de dollars.



Figure 18 : Coulée de débris au ruisseau Five Mile, Alberta. Une coulée de débris a bloqué la route Transcanadienne pendant 24 heures en août 1999. Cette coulée inattendue a été provoquée par des pluies diluviennes.

Source : Parc national Banff, 1999

Études de cas

Notre-Dame-de-la-Salette, Québec

À l'aube du 26 avril 1908, un glissement dans de l'argile à Leda s'est produit soudainement sur la rive ouest de la rivière du Lièvre qui était gelée à ce moment-là et comportait une couche d'environ 0,5 mètre de glace en surface. Trois maisons situées sur la rive ouest ont immédiatement été englouties, entraînant 6 personnes vers la mort. En atteignant la rivière, le glissement a généré une vague extrêmement destructive qui s'est abattue sur une partie du village de Notre-Dame-de-la-Salette, situé sur une basse terrasse sur la rive opposée. Emportés par la vague, de gros blocs de glace de rivière ont écrasé des bâtiments. Douze bâtiments ont été complètement détruits par la vague et 27 autres personnes ont perdu la vie. On a trouvé des débris jusqu'à 15 mètres au-dessus du niveau de la rivière. L'écoulement d'eau boueuse qui a suivi le glissement a été observé jusqu'à Montréal. Ce glissement de terrain s'est produit dans la niche de décollement d'une coulée de terre plus ancienne dont l'ampleur était beaucoup plus grande. Par la suite, le village a été déplacé sur une terrasse plus élevée.



Figure 19 : Glissement de terrain à Notre-Dame-de-la-Salette, Québec. Photographie contemporaine de la destruction de Notre-Dame-de-la-Salette, dans l'ouest du Québec, montrant les effets d'une vague provoquée par un glissement de terrain sur des bâtiments en bois situés sur la rive est de la rivière du Lièvre, en avril 1908. La flèche indique l'escarpement du glissement de terrain sur la rive ouest de la rivière.

Source : Photographie gracieusement fournie par les Archives nationales du Québec

Frank, Alberta

Le 29 avril 1903, à 4 h 30, 30 millions de mètres cubes de calcaire se sont détachés du versant est du mont Turtle et se sont abattus sur la petite ville minière de Frank en Alberta, ensevelissant une partie de la ville sous 82 millions de tonnes de pierres. La structure instable du mont Turtle est la principale cause du glissement de Frank. La présence d'une faille de chevauchement traversant la montagne, de même que l'érosion de grès et de shale sous une roche calcaire plus ancienne présentant des fissures profondes érodées, auraient éventuellement causé la chute de pierres. Au nombre des causes secondaires figurent l'exploitation de charbon à l'intérieur de la montagne et de brusques changements des conditions météorologiques - un gel rapide - cette nuit-là. Le glissement de Frank, qui se déplaçait à une vitesse moyenne de 31,2 mètres à la seconde, est désigné comme une avalanche de débris, – une expression créée par les géologues de la Commission géologique du Canada pour décrire l'événement. Il a suffi d'environ 100 secondes pour qu'une épaisse couche de matériaux blocaillieux recouvre des maisons, des routes, la voie ferrée du Canadien Pacifique et la rivière Oldman. Le glissement de Frank apparaît comme le glissement le plus catastrophique au Canada, ayant causé la mort d'au moins 70 personnes. On présume que le nombre de victimes était plus élevé étant donné la présence à Frank, au moment du glissement, de travailleurs migrants non inscrits. Des mineurs piégés dans la mine de charbon ont été en mesure de se sortir eux-mêmes de ce mauvais pas. Pour obtenir plus de renseignements, veuillez consulter le site Web du Frank Interpretive Centre, énoncé dans la section Références et liens.



Figure 20 : Glissement de Frank, Alberta. Le glissement le plus catastrophique au Canada.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 132916

Saint-Jean-Vianney, Québec

Le 4 mai 1971, vers 23 h, une importante coulée dans de l'argile glaciomarine sensible (argile à Leda) a détruit une partie de la communauté de Saint-Jean-Vianney, au Québec. Le glissement de 1971 s'est produit dans la niche de

décollement d'une coulée de terre beaucoup plus importante qui, selon toute vraisemblance, aurait été déclenchée par le grand séisme de 1663 à Charlevoix. On invoque les conditions de saturation du sol, qui ont fait suite à une accumulation de neige record au cours de l'hiver et à des orages prolongés, comme mécanisme de déclenchement de la coulée de terre de 1971. Quarante résidences situées au-dessus du glissement initial ont été engouffrées pendant la phase de régression, et 31 personnes ont trouvé la mort. Le nombre de morts aurait pu être plus important si ce n'avait été de l'absence de nombreux travailleurs en route vers le travail pour le changement de quart à l'usine de l'ALCAN, à Arvida. Le glissement a régressé de 550 mètres du glissement initial, emportant 26,8 hectares de terrain plat. Un homme, qui courait pour échapper au glissement régressif, a rapporté qu'il a dû courir sur ce qui semblait être un escalier mécanique, indiquant par le fait même que les étapes finales de la régression correspondaient à la vitesse de sa course. Entretemps, l'écoulement rapide de la boue progressait à une vitesse d'environ 7 mètres à la seconde (25 kilomètres à l'heure) dans l'étroite vallée de la rivière des Vases, détruisant un pont sur son chemin et emportant les piliers de béton dans la rivière Saguenay, sur une distance de plus de 3 kilomètres. D'excellents reportages filmés au cours des jours qui ont suivi le glissement de terrain sont disponibles pour visionnement dans les archives de la SRC énoncées dans la section Références et liens.



Figure 21 : Glissement de terrain à Saint-Jean-Vianney, Québec. Gros plan sur l'escarpement de la coulée de terre de 1971. Remarquer les automobiles (flèches) sur l'escarpement à titre d'indication de l'échelle. Quelques maisons déplacées (encerclées) sont visibles parmi les débris, dans la cicatrice d'arrachement.

Source : Inconnue



Figure 22 : Glissement de terrain à Saint-Jean-Vianney, Québec. Vue aérienne de la zone de l'escarpement à la tête du glissement de 1971. L'escarpement est indiqué par une ligne tiretée. Quelques maisons déplacées (encerclées) sont visibles parmi les débris sous l'escarpement. Les maisons qui ont été épargnées par le glissement ont été évacuées de façon permanente.

Source : Photographie gracieusement fournie par R. Bergeron, ministère de l'Énergie et des Ressources (Québec) et Forces canadiennes (Bagotville)

Lemieux, Ontario

Des études techniques, entreprises à la suite d'un grand glissement à la rivière Nation Sud en 1971, ont conclu que la ville de Lemieux occupait une zone d'argile glaciomarine sensible (argile à Leda) sujette à de grandes coulées rapides. Par conséquent, l'emplacement de la ville a été abandonné en 1991 et les habitants ont été réinstallés ailleurs aux frais du gouvernement provincial. Tout juste deux ans plus tard, le 20 juin 1993, une coulée de terre rapide a emporté 17 hectares d'une terre agricole jouxtant le site de l'ancienne ville. Au cours de la régression progressive vers l'amont du glissement, l'escarpement a reculé de 680 mètres en moins d'une heure, en majeure partie pendant les 15 premières minutes, depuis la berge de la rivière. Environ 2,8 millions de mètres cubes de sable, de limon et d'argile liquéfiée ont été entraînés sur 1,7 kilomètre vers l'amont de la rivière et sur 1,6 kilomètre vers l'aval, obstruant complètement la rivière pendant plusieurs jours. Les coûts directs et indirects liés à l'événement ont été estimés à 12 500 000 \$. Cependant, grâce à l'évacuation des anciens résidents, aucune vie n'a été perdue.



Figure 23 : Glissement de Lemieux, Ontario. Vue aérienne prise quatre jours après le glissement de Lemieux survenu en 1993. Les eaux de crue de la rivière Nation Sud, qui se sont élevées de 12 mètres au-dessus du barrage de débris, ont inondé l'embouchure de la niche de décollement du glissement.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 1993-296.
Photographe : S.G. Evans

Comment pouvons-nous nous protéger contre les glissements de terrain?

Il est possible de limiter les risques de glissement de terrain. La première méthode d'atténuation des risques consiste simplement à les éviter. Grâce à l'avis d'experts et à une planification rigoureuse, les communautés peuvent identifier les pentes instables et limiter ou réglementer le développement dans une zone à risque. La planification permet d'implanter des résidences, des écoles, des hôpitaux, des postes de police et d'incendie, des lignes de transport d'électricité, des gazoducs et des routes de manière sécuritaire, à l'écart de zones susceptibles d'être instables. Pour les communautés déjà établies, les autorités municipales ou provinciales doivent déterminer s'il convient de procéder à l'aménagement d'ouvrages de protection ou à l'achat des bâtiments et au déplacement des personnes. Par exemple, une fois les risques de glissement connus, la ville de Lemieux a été abandonnée et ce, avant la coulée de terre de 1993.

Si l'instabilité des pentes est inévitable, de nombreux procédés techniques permettent de réduire les risques. La topographie et la géologie locales, qui déterminent le type de glissement susceptible de se produire, déterminent également la méthode d'atténuation appropriée. Il faut remarquer que les ouvrages de génie coûtent cher à installer ou à entretenir et que, dans certains cas, leur capacité peut être insuffisante.

De nombreuses méthodes ont été mises au point afin de réduire les risques de glissement de terrain en atténuant l'instabilité du terrain. Ces méthodes comprennent l'amélioration du drainage en surface ou souterrain, la réduction de l'inclinaison de la pente, l'excavation permettant de réduire la charge au sommet de la pente, la construction de bermes de protection afin de réduire l'érosion à la base de la pente et le clouage géotechnique ou l'installation de couvertures rigides (par exemple du ciment) sur des parois de falaises qui se désagrègent. La stabilité peut être rétablie sur certaines pentes si la méthode appropriée est appliquée, mais ces mesures comportent des coûts financiers ou environnementaux considérables.

Lorsque les glissements de terrain ne peuvent être ni empêchés ni évités, un certain nombre d'ouvrages de confinement ou de déviation ont été conçus pour protéger les communautés et les infrastructures essentielles. Les ouvrages de rétention (barrages de captation) permettant d'arrêter et d'assécher les débris dans des bassins de rétention au-dessus des sites à risque, des glissières ou chenaux artificiels permettant de limiter le mouvement des débris à une trajectoire spécifique, des bermes ou des digues de déviation permettant de faire dévier le glissement de débris à l'écart des sites menacés, ainsi que des filets et des murs artificiels empêchant les pierres de tomber ou de rebondir sur les routes, figurent au nombre des méthodes les plus courantes. Toutefois, tout comme pour les méthodes de stabilisation des pentes, les ouvrages de génie sont coûteux et doivent être conçus et entretenus de manière rigoureuse.



Figure 24 : Dignes de déviation des débris. Des digues de déviation des débris (flèche), érigés en 1976, protègent le village de Port Alice, sur l'île de Vancouver, contre les coulées de débris.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 2000-082.

Photographie : S.G. Evans, 1983



Figure 25 : Barrage de rétention. Vue de la trajectoire d'une coulée de débris le long du ruisseau Charles, à la baie Howe (Colombie-Britannique), vers un ouvrage de rétention des coulées de débris construit au milieu des années 1980 afin de protéger des résidences à Strachan Creek. L'ouvrage a été conçu pour retenir une éventuelle coulée de débris de 29 000 mètres cubes.

Source : Commission géologique du Canada, photo numéro GSC 2000-083.

Photographe : S.G. Evans

Des techniques d'atténuation innovatrices sont utilisées pour certains sites. Ces techniques comprennent la surveillance active des pentes et des systèmes d'alerte rapide, ainsi que des structures innovatrices. Par exemple, à proximité de la rivière de la Paix en Alberta, la culée ouest du pont sur la rivière Little Smoky a été construite sur un terrain qui glisse lentement. Des rouleaux placés sous la superstructure permettent à la culée de se déplacer lentement vers la rivière sans endommager le pont.

À la limite, la meilleure mesure d'atténuation pourrait combiner un aménagement judicieux du territoire et des ouvrages de génie afin de protéger les sites menacés.

Que pouvez-vous faire?

Bien que les glissements de terrain se produisent habituellement sans avertir, une bonne compréhension de ce phénomène naturel et l'observation de quelques règles sensées peuvent vous aider à vous protéger et à protéger votre famille.

- Informez-vous sur la géologie locale et sur les risques de glissement de terrain dans votre région.
- Évitez des interventions qui pourraient accroître l'instabilité. Par exemple, ne pas saper une rive escarpée; ne pas construire près du sommet ou de la base de pentes abruptes; ne pas faire de remblais sur des pentes abruptes; ne pas

vider une piscine ou augmenter de quelque façon l'écoulement d'eau sur des pentes abruptes.

- Apprenez comment reconnaître les signes d'un éventuel glissement dans votre localité. Ces signes peuvent se présenter sous forme de fissures, de bourrelets ou d'écoulements inhabituels sur la pente, ainsi que de petits éboulements de pierres ou de sédiments.
- Prenez note des personnes que vous devez informer si vous constatez ces signes (par exemple, le ou les numéros des personnes à contacter en cas d'urgence à la municipalité; l'ingénieur municipal).
- Ayez un plan d'urgence ainsi qu'une trousse d'urgence. Le site Web de Sécurité publique Canada «Votre famille est-elle prête?» (<http://www.preparez-vous.gc.ca/index-fra.aspx>) fournit des conseils sur comment préparer un plan d'urgence ainsi qu'une trousse d'urgence qui seront utiles en cas d'un désastre naturel ou en situation d'urgence.

Liste des principaux glissements de terrain catastrophiques

1841 : Québec, Québec.

1841-05-17. Un éboulement détruit des maisons de la rue Champlain. Bilan : 32 morts. Source : Evans, 2001.

1852 : Québec, Québec.

1852-07-14. Un éboulement détruit des maisons de la rue Champlain à Cap-Blanc. Bilan : 7 morts. Source : Evans, 2001.

1864 : Québec, Québec.

1864-10-11. Un éboulement détruit des maisons de la rue Champlain. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1870 : Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Québec.

1870-10-25. Une coulée d'argile à Leda, en bordure de la rivière Champlain, a enseveli une maison. Bilan : 4 morts. Source : MRNQ, 1972, Les glissements de terrain au Québec. Ministère des richesses naturelles du Québec, Direction générale des mines, Rapport S-134.

1877 : Sainte-Geneviève-de-Batiscan, Québec.

1877-05-01. Une coulée d'argile à Leda a enseveli un moulin et la maison attenante. Bilan : 5 morts. Source : Evans, 2001.

1889 : Québec, Québec.

Un éboulement détruit des maisons de la rue Champlain. Bilan : 50 morts. Source : Evans, 2001.

1891 : Conserverie North Pacific, Colombie-Britannique.

1891-07-06. (District de Port Edward) Des maisons d'ouvriers enfouies sous une coulée de débris ou submergées par une inondation à la suite de la rupture du

barrage formé par un glissement après de fortes pluies. Bilan : 35 morts. Source : Evans, 2001.

1894 : Saint-Alban, Québec.

1894-04-27. Maisons de ferme emportées par une coulée massive d'argile à Leda. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1895 : Saint-Luc-de-Vincennes, Québec.

1895-09-21. Maison détruite par une coulée d'argile à Leda. Bilan : 5 morts. Source : Evans, 2001.

1897 : Ruisseau Sheep, près de Rossland, Colombie-Britannique.

1897-04-20. Une coulée de débris frappe un chantier d'entretien de la voie ferrée au mont Red. Bilan : 7 morts. Source : Evans, 2001.

1898 : Quesnel Forks, Colombie-Britannique.

1898-02-??. Trois mineurs sont tués. Source : Evans, 2001.

1903 : Frank, Alberta.

1903-04-23. Une avalanche de pierres dévalant le mont Turtle s'est abattue sur une partie de la ville charbonnière de Frank, ensevelissant des maisons, des routes, la voie ferrée du CP et la rivière Oldman. Bilan : 75 morts. Source : Evans, 2001.

1905 : Spences Bridge, Colombie-Britannique.

1905-08-13. Un glissement de gravier s'est abattu dans la rivière Thompson, provoquant le soulèvement d'une vague qui a emporté plusieurs victimes. Bilan : 15 morts. Source : Evans, 2001.

1908 : Notre-Dame-de-la-Salette, Québec.

1908-04-26. Une coulée d'argile à Leda dans la rivière du Lièvre a provoqué le soulèvement d'une vague chargée de blocs de glace qui a détruit des maisons et emporté les victimes. Bilan : 33 morts. Source : Evans, 2001.

1909 : Burnaby, Colombie-Britannique.

1909-11-28. Effondrement d'un remblai de chemin de fer causant le déraillement d'un train de travaux. Bilan : 22 morts. Source : Evans, 2001.

1910 : Saint-Alphonse-de-Bagotville, Québec.

1910-04-15. Baraquement de chantier enfoui sous une coulée d'argile à Leda provoquée par un dynamitage pendant la construction d'une voie ferrée. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1910 : Coucoucache, Québec.

1910-04-18. Effondrement d'un remblai de chemin de fer causant le déraillement d'un train de travaux. Bilan : 6 morts. Source : Evans, 2001.

1915 : Jane Camp, Colombie-Britannique.

1915-03-22. (Près de Britannia Beach) Une avalanche de pierres, prenant naissance au-dessus de l'entrée d'une mine, s'est déversée dans le camp minier. Bilan : 56 morts. Source : Evans, 2001.

1921 : Britannia Beach, Colombie-Britannique.

1921-10-28. L'obstruction d'un ponceau dans le remblai du chemin de fer a causé la formation d'un barrage dans le ruisseau Britannia. La rupture du remblai a déclenché une inondation soudaine qui a emporté plus de 50 maisons sur une distance de 4,5 kilomètres vers l'aval. Bilan 37 morts. Source : Evans, 2001.

1922 : Havre Elcho, Colombie-Britannique.

1922-09-30. Une avalanche de débris causée par de fortes pluies a détruit un camp de bûcherons. Bilan : 5 morts. Source : Evans, 2001

1929 : Grands Bancs, Terre-Neuve.

1929-11-18. Un important (100 milliards de mètres cubes) glissement sous-marin sur le talus continental au sud de Terre-Neuve, déclenché par un séisme de magnitude 7,2, a provoqué un tsunami meurtrier qui a frappé la côte de la péninsule Burin (Terre-Neuve). Bilan : 27 morts. Source : Evans, 2001.

1930 : Capreol, Ontario.

1930-06-26. Effondrement d'un remblai de chemin de fer causant le déraillement d'un train de passager dans la rivière Vermillion. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1930 : Crerar, Ontario.

1930-06-27. Effondrement d'un remblai de chemin de fer causant le déraillement d'un train de marchandises. Bilan : 8 morts. Source : Evans, 2001.

1938 : Portneuf-Station, Québec.

1938-08-30. Coulée d'argile à Leda causée par une forte pluie. Bilan : 9 morts. Source : données non publiées de la CGC.

1938 : Saint-Grégoire-de-Montmorency, Québec.

1938-09-01. Un glissement de terrain déclenché par de fortes pluies a détruit un immeuble d'appartements en contrebas. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1946 : Mine Beattie, Duparquet, Québec.

1946-07-19. De l'argile s'écoulant des parois d'une fosse à ciel ouvert s'est infiltrée dans un puits de mine, tuant 4 mineurs qui s'y trouvaient. Source : Evans, 2001.

1955 : Nicolet, Québec.

1955-11-12. Coulée d'argile à Leda, causant des dommages de l'ordre de 10 M\$, notamment la destruction d'une église et de ses annexes. Bilan : 3 morts. Source : Evans, 2001.

1957 : Prince Rupert, Colombie-Britannique.

1957-11-22. Une avalanche de débris déclenchée par de fortes pluies a enseveli 3 maisons. Bilan : 7 morts. Source : Evans, 2001.

1959 : Revelstoke, Colombie-Britannique.

1959-03-27. Un glissement de terrain, déclenché par des travaux de construction sur une route, s'abat sur une maison. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1960 : McBride, Colombie-Britannique.

1960-09-07. Coulée de débris; les victimes étaient des travailleurs de la voirie. Bilan : 3 morts. Source: Evans, 2001.

1962 : Rivière Tournestouc, Québec.

1962-12-11. Des travailleurs sont tués par un glissement d'argile à Leda déclenché par un dynamitage. Bilan : 9 morts. Source : Evans, 2001.

1962 : Saint-Joachim-de-Tourelle, Québec.

1963-12-11. Coulée d'argile à Leda; des victimes en voiture sont tombées dans la niche de décollement. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1964 : Bras Ramsay, Colombie-Britannique.

1964-09-16. Une coulée de débris causée par de fortes pluies frappe un camp de bûcherons. Bilan : 5 morts. Source : Evans, 2001.

1965 : Hope, Colombie-Britannique.

1965-01-09. Une importante avalanche de pierres ensevelit 2 véhicules sur la route 3 en C.-B. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1965 : Ocean Falls, Colombie-Britannique.

1965-01-14. Une avalanche pâteuse/coulée de débris causée par la fonte de la neige frappe la communauté. Bilan : 7 morts. Source : Evans, 2001.

1968 : Ruisseau Camp, Colombie-Britannique.

1968-06-05. Une coulée de débris causée par de fortes pluies a frappé une voiture sur la Transcanadienne. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1969 : Porteau, Colombie-Britannique.

1969-02-09. Un éboulement a frappé une voiture en contrebas des falaises Porteau sur la route de Squamish. Bilan : 3 morts. Source : Evans, 2001.

1971 : Saint-Jean-Vianney, Québec.

1971-05-04. Une coulée régressive rapide d'argile à Leda a emporté 40 maisons et un pont. Bilan : 31 morts. Source : Evans, 2001.

1971: Boothroyd, canyon du Fraser, Colombie-Britannique.

1971-05-04. Déraillement d'un train du CN provoqué par un éboulement. Bilan : 3 morts. Source : Evans, 2001.

1972 : Michel, Colombie-Britannique.

1972-03-20. Une coulée de débris provenant d'un terril de résidus miniers s'est abattue sur une équipe d'entretien du CP, à 16 kilomètres à l'ouest du pas du Nid-de-Corbeau. Bilan : 3 morts. Source : Evans, 2001.

1973 : Harbour Breton, Terre-Neuve-et-Labrador.

1973-08-01. Une avalanche de débris a frappé des maisons. Quatre maisons ont été emportées dans le port et détruites. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1975 : Glacier Devastation, Colombie-Britannique.

1975-07-22. Une avalanche de pierres a enseveli une équipe effectuant des levés géophysiques. Bilan : 4 morts. Source : Evans, 2001.

1980 : Mine Belmoral, Val D'Or, Québec.

1980-05-20. Effondrement du toit de la mine déclenché par une coulée de sédiments lacustres dans les galeries. Bilan : 8 morts. Source : Evans, 2001.

1981 : Pont du ruisseau M, Squamish, route 99, Colombie-Britannique.

1981-10-28. Quatre véhicules ont plongé dans le ruisseau après qu'une coulée de débris eut détruit le pont sur la route de Squamish, lors de fortes pluies. Bilan : 9 morts. Source : Evans, 2001.

1990 : Joe Rich, Colombie-Britannique.

1990-06-12. Une avalanche de débris, causée par de fortes pluies, détruit une maison. Bilan : 3 morts. Source : Evans, 2001.

Une grande partie de l'information a été tirée de Evans, S.G. 2001. « Landslides »; in A Synthesis of Geological Hazards in Canada, (éd.) G.R. Brooks: Commission géologique du Canada, Bulletin 548, p. 43 à 79.

D'autres renseignements ainsi qu'une imposante collection de photos de glissements de terrain sont disponibles sur le site Web des glissements de terrain au Canada (<http://gsc.nrcan.gc.ca/landslides/>).

Définition des termes soulignés

Argile sensible: Argile dont la résistance aux glissements décroît par rapport à sa résistance originale, lors d'un remaniement.

Bentonitique: Matériel qui gonfle au contact de l'eau.

Calcaire: Roche sédimentaire composée principalement de carbonate de calcium.

Coulée de terre: Couche de sol descendant la pente d'un versant.

Crétacé: Dernière période de l'ère Mésozoïque, suivant le Jurassique et précédant le Tertiaire. Cette période commença il y a environ 136 millions d'années et se termina il y a 65 millions d'années.

Escarpement: Versant en pente raide

Géotechnique: L'utilisation de principes d'ingénierie pour comprendre le comportement des sols, des roches et de tous les matériaux qui composent les sols.

Grès: Roche sédimentaire résultant de la sédimentation naturelle du sable.

Lithologie: Science qui décrit les roches et étudie leur structure et leur composition.

Mécanismes de rupture: Description du processus de glissement d'un versant, incluant les raisons ainsi que la description du mouvement.

Mollisol: La partie supérieure du sol qui dégèle en été et regèle en hiver.

Pergélisol: Couche de terre et de roche gelée en permanence. Le mollisol est la partie du sol qui gèle en hiver et fond en été; il a généralement moins d'un mètre d'épaisseur. (Source : Site sur les changements climatiques du gouvernement du Canada, Glossaire sur le changement climatique)

Sédiments glaciolacustres: Sédiments qui se sont déposés dans le fond de lacs glaciaires temporaires à la fin de la dernière glaciation.

Sédiments glaciomarins: Les sédiments glaciomarins sont les matériaux mis en place dans les fonds marins par l'eau de fonte des glaciers, par des coulées de débris venant de la surface des glaciers et par la fusion des icebergs.

Shale: Aussi appelé schiste argileux ou argile litée, roche sédimentaire à grain très fins formée par la compaction d'argile ou de limon fin.