

CBD-143-F. Glissement de terrains argileux

CONSEIL CANADIEN DE LA RECHERCHE

W.J. Eden

Dans les régions basses de l'Outaouais - St-Laurent, le printemps de 1971 a amené avec lui d'importants glissements de terrains. L'attention du public s'est portée spécialement sur les événements tragiques survenus dans la région de la rivière Saguenay, au village de St. Jean Vianney, Québec. Un glissement de terrain y a causé trente et une pertes de vie et a détruit quarante maisons dans une subdivision récemment créée. Le 16 mars 1971, un autre glissement de terrain, presque aussi important, s'est produit le long de la rivière South Nation, dans l'est de l'Ontario; il a complètement bloqué la rivière sur plus d'un mille; il n'a heureusement pas entraîné de pertes de vies humaines; nous ne le mentionnons qu'en vue de mettre en évidence la nature régionale du problème des glissements de terrain, et pour signaler que les événements similaires à ceux de St. Jean Vianney ne sont pas uniques. Les archives du passé révèlent, en fait, que la vallée du St-Laurent est une des régions du monde les plus actives sous le rapport des glissements de terrain.

La Division des recherches sur le bâtiment a étudié pendant plus d'une décennie la stabilité des pentes argileuses des vallées du St-Laurent et de l'Outaouais. Un grand nombre de communications relatives aux recherches ont été publiées à la suite de ces études. Elles ont décrit en détail divers glissements de terrain et ont examiné certains aspects du problème général. L'objet du présent Digest est d'attirer l'attention sur le problème de la stabilité des pentes et de ses rapports avec les argiles; on y trouvera également certaines informations relatives aux facteurs qui affectent la stabilité des pentes et doivent par suite être pris en considération lorsqu'on étudie ce dernier problème. On y lira enfin des recommandations relatives aux précautions à prendre pour prévenir des tragédies telles qu'il en est survenu à St-Jean Vianney et à Nicolet, Québec, où, en Novembre 1955, un glissement de terrain intéressant sept acres s'est produit sur les rives de la rivière Nicolet au centre du village. Trois personnes ont alors perdu la vie; une école, un garage et plusieurs maisons ont en outre été détruits. Le présent Digest attire spécialement l'attention sur les argiles de la vallée du St-Laurent, mais la méthode d'analyse et les mesures correctives qui y sont décrites sont applicables aux argiles en général.

Caractéristiques des glissements de terrain

L'expression "glissement de terrain" désigne des mouvements vers le bas et vers l'extérieur des matériaux d'une pente composés de sols naturels ou rapportés. La Figure 1 indique les caractéristiques principales d'un glissement de terrain; on peut observer sur le diagramme une surface de rupture très nette le long de laquelle les matériaux impliqués dans le glissement de terrain se déplacent au-dessus de matériaux que le phénomène n'affecte pas. Le diagramme montre également que la surface de rupture s'étend sur une profondeur considérable de sorte qu'un glissement de terrain ne saurait être considéré comme un phénomène superficiel.

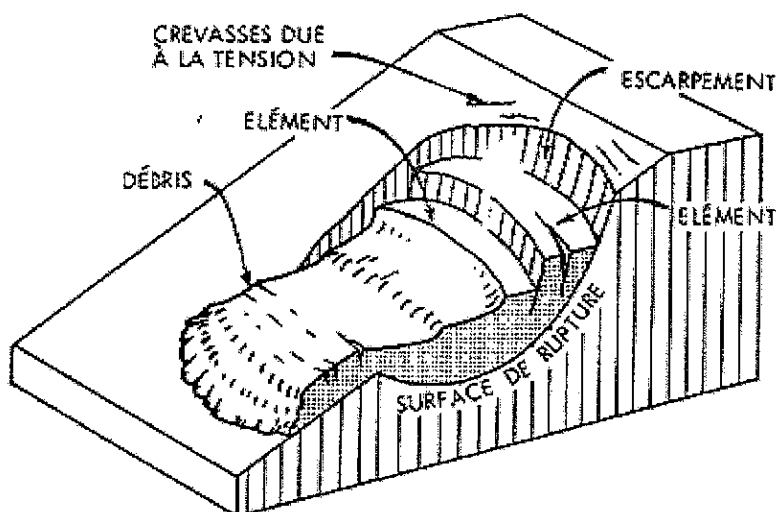


Figure 1. Illustration d'un glissement de terrain.

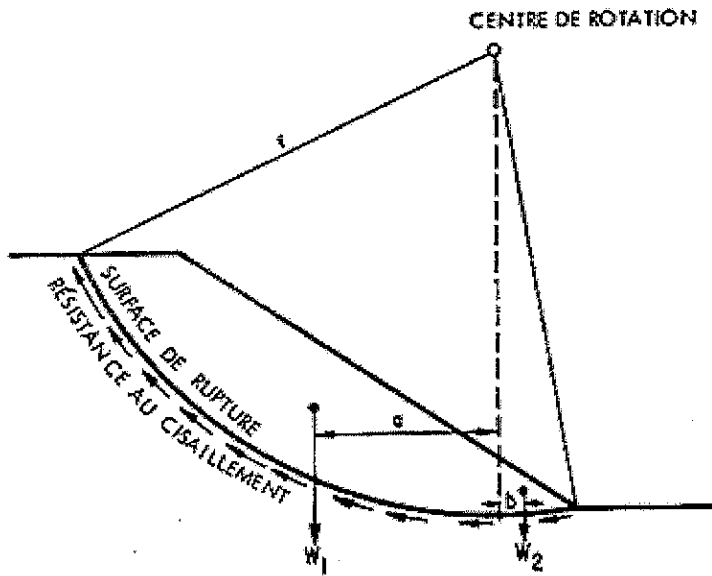
Les facteurs les plus importants qui influent sur la stabilité d'une pente sont l'inclinaison, la hauteur hors-tout, le matériau du sol, la position de la nappe aquifère, et la structure géologique (succession des couches, pentes des lits, failles ou imperfections).

Analyse de la stabilité

Au début du dix-neuvième siècle, un ingénieur français, Alexandre Collin, qui travaillait à la construction de canaux, remarqua que les surfaces de cassure formées par les glissements de terrains survenant dans l'argile le long des berges d'un canal adoptaient une forme incurvée semblable à celle qui est illustrée Figure 1. Il publia en 1846 un mémoire dans lequel il suggérait une méthode statique d'analyse basée sur une surface courbe et mesurait la résistance des sols au cisaillement. On a, depuis cette époque, proposé diverses méthodes d'analyse. Elles ont conduit à la méthode du cercle de glissement, mise au point par des ingénieurs suédois spécialisés dans les ports et sur laquelle reposent les techniques actuellement utilisées. La Figure 2 représente les caractéristiques essentielles de la méthode. On y suppose que la surface de rupture affecte la forme d'un arc de cercle. Grâce à la comparaison des forces perturbatrices et des forces de résistance, on obtient, pour chaque surface probable de rupture, un coefficient de sécurité. Il est nécessaire d'effectuer plusieurs essais avant de pouvoir déterminer, pour une pente donnée, le cercle le plus dangereux. Les calculatrices digitales, qui sont particulièrement commodes pour l'exécution de ces recherches, sont très largement utilisées dans ce but. La géologie structurale exige, dans certains cas, une analyse de stabilité basée sur une combinaison de surfaces de défaillance courbes et planes.

On peut classer les informations nécessaires à l'exécution des analyses de stabilité suivant les trois rubriques ci-après :

- géométrie de la pente,
- état des eaux superficielles et souterraines,
- et résistance de la masse du sol.



$$\text{FACTEUR DE SÉCURITÉ} = \frac{\text{RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT}}{\text{EFFORT DE CISAILLEMENT}} = \frac{\text{FORCE DE CISAILLEMENT} \times r}{W_1 \times a - W_2 \times b}$$

Figure 2. Analyse de stabilité des pentes.

Sur ces trois éléments, seule la géométrie de la pente peut être déterminée entre des limites étroites à partir de relevés du sol ou à l'aide de cartes établies en utilisant les techniques de photogrammétrie aérienne.

C'est par forages et explorations d'essai qu'on peut déterminer les situations des eaux superficielles et souterraines. Il est nécessaire de procéder à l'identification de toutes les couches du sol et de déterminer leur résistance en utilisant les procédés d'essai du sol. Il importe de prêter une grande attention aux couches inclinées, aux fissures, et à toutes les caractéristiques structurales susceptibles d'influer sur la stabilité. On déterminera également la position de la nappe aquifère et on recherchera toutes les informations renseignant sur son niveau maximal au cours de l'année.

L'analyse de stabilité d'une pente donnée ne saurait être précise. Lorsqu'on applique la méthode, on utilise, en effet, concernant le comportement des masses naturelles au cisaillement, certaines hypothèses qui sont rarement vérifiées dans la nature. La valeur principale d'une analyse de stabilité réside dans le fait qu'elle procure une méthode rationnelle permettant de juger des mesures à prendre pour réduire le risque d'une défaillance de pente.

Importance du drainage

L'eau s'écoule librement à partir des sols à gros grains tels que graviers et roches écrasées. Aussi ce type de matériau peut-il se maintenir sur des pentes égales à sa pente d'éboulement. D'un autre côté, les sols à grains fins ne se drainent pas facilement et l'eau exerce une forte influence sur leur résistance et leur comportement. À cause de leur faible perméabilité, le courant d'eau qui les traverse est réduit et la pression de l'eau des pores peut varier largement lorsque les conditions de la nappe aquifère subissent des changements. À l'état sec, ces sols ne s'écroulent pas immédiatement même si leurs pentes sont extrêmement raides; leur stabilité décroît cependant avec le temps. Pour que la pente reste stable, les efforts de cisaillement qui s'exercent à l'intérieur d'une pente doivent être neutralisés par la résistance au cisaillement. La pression de l'eau des pores, déterminée par la position de la nappe aquifère, exerce une influence directe sur la résistance apparente au cisaillement acquise par le soi; plus la pression de l'eau des pores est élevée, plus la résistance au cisaillement est faible. En fait, si le drainage naturel est interdit par des conditions telles que le gel d'une face du sol, la pression de l'eau pourrait, même dans le cas des sols granulaires, s'élever au point d'engendrer une situation instable. Le drainage ou la position de la nappe aquifère exercent ainsi une influence directe sur la stabilité de la pente.

Conditions du sol

Deux remarques relatives aux conditions du sol s'imposent. **Les problèmes les plus critiques de stabilité des pentes se présentent d'ordinaire, en premier lieu, sur les sols à grains fins et particulièrement sur les argiles.** Ceci résulte en partie de ce qu'il est difficile de les drainer et de ce que, sur ce genre de sol, **les processus d'érosion par ruissellement et vagues amènent de nombreuses pentes au point de rupture.**

Le second point concerne le comportement des sols à grain fin impliqués dans un déplacement des terres. **En acquérant par moulage une autre forme, ils peuvent perdre une fraction notable de leur résistance.** On désigne l'importance de cette perte sous le nom de sensibilité. Les hautes sensibilités correspondent aux grandes pertes de résistance. Il se peut, comme l'indique la Figure 1, que les débris d'un glissement **de terrain sur sols à haute sensibilité** ne séjournent pas au pied de la pente, mais se dispersent et s'en éloignent. À St-Jean Vianney, le sol extrêmement sensitif s'est complètement liquéfié et plus de six millions de verges cubes se sont écroulés en suivant le cours d'un torrent descendant vers la rivière Saguenay. **Il ressort de ce qui précède que les sols à grain fin sensibles au changement de forme exigent une attention spéciale sous le rapport de la stabilité des pentes.**

Causes des glissements de terrain

Les glissements de terrain surviennent sur des pentes rendues trop abruptes par l'érosion due aux ruisselements ou aux vagues ou du fait des aménagements exécutés par l'homme sur les pentes. Il existe de nombreux exemples de pentes trop abruptes subsistant dans un état de stabilité apparente jusqu'au moment où des niveaux anormalement élevés de nappes aquifères réduisent la résistance au cisaillement et déclenchent des glissements de terrain. C'est ainsi que l'hiver de 1970-71 a provoqué dans la vallée du St-Laurent une chute de neige record; la fusion printanière ne s'est, d'autre part, produite que lentement. L'infiltration d'eau dans le sol atteint, dans ces conditions, une valeur maximale. Lorsqu'une pente située sur sol sensitif est devenue abrupte du fait de l'érosion s'exerçant à sa base ou de travaux d'excavation, et que le niveau de la nappe aquifère est élevé, les conditions de production d'un glissement de terrain sont réalisées. Peut-être sera-t-il peu important et affectera-t-il seulement quelques dizaines de verges cubes de matériaux de sorte qu'il passera inaperçu (Figure 3a); il peut aussi être assez sérieux pour endiguer ou dévier temporairement un cours d'eau (Figure 3b). Très rarement, et lorsque des conditions spéciales seront réunies, des glissements de terrain très importants ou des écroulements de terres des types cités dans l'introduction pourront prendre naissance.

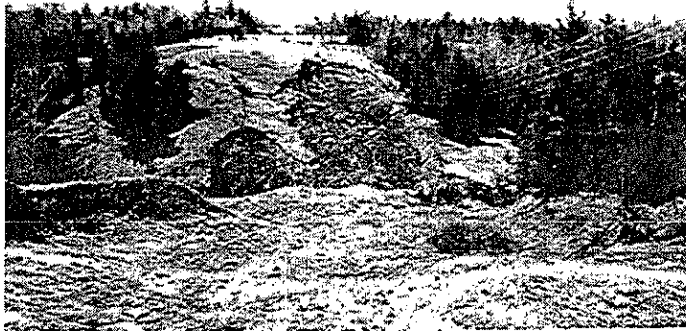


Figure 3. Glissements de terrain sur Breckenridge Creek.
(a) Vue de deux légers glissements de terrain survenus au printemps de 1969.
(b) Vue aérienne d'une coulée de terre intéressante 30 000 verges cubes d'argile survenue en avril 1963 sur la rive opposée.

Mesures de stabilisation

On peut augmenter la stabilité des pentes existantes en suivant trois méthodes principales: contrôle de la nappe aquifère, aplanissement général de la pente, et suppression de l'érosion au pied de cette dernière.

L'amélioration du drainage donnera de bons résultats. On construira des fossés et des drains souterrains destinés à empêcher l'accumulation d'eau de surface au-dessus de la partie supérieure de la pente. **On prendra les mesures nécessaires pour que ce genre de fossés n'engendre aucune érosion.**

S'il s'avère nécessaire d'exécuter des travaux à proximité d'une pente, on devra toujours, comme le montre la Figure 2, organiser les opérations de manière à améliorer les moments de stabilité. Les poids ajoutés au pied de la pente, de même que les matériaux enlevés de la crête, augmentent les forces stabilisantes. Lorsqu'on a à faire à un banc naturel, il importe particulièrement de ne pas extraire de matériaux du pied de la pente; lorsqu'on y installera des remblais ou bermes, on utilisera des matériaux auto-draineurs de manière à ne pas élever le niveau de la nappe aquifère.

La lutte contre l'érosion constitue un moyen très efficace de soutenir des pentes qui comportent à leur pied des ruissellements ou des masses d'eau engendrant une notable action de vague. On peut lutter contre ce type d'érosion en utilisant un perré, une berme rocheuse, ou un petit mur de revêtement construit le long du pied de la pente.

Conclusion

Les pentes naturelles qui sont restées stables pendant des siècles s'écroulent parfois à la suite d'une lente modification de l'environnement en entraînant des conséquences catastrophiques. Il arrive que des travaux de construction accélèrent les changements. Les pentes raides peuvent rester stables pendant quelques années mais s'écroulent soudainement lors d'un changement des conditions existantes.

Il est impossible de prédire avec précision la stabilité d'une pente. Un ingénieur géotechnicien expérimenté peut cependant établir une évaluation raisonnable d'un secteur en se basant sur une investigation complète des lieux. **Ce genre de recherche exige une analyse des conditions du sol et de la nappe aquifère associée à une étude de la géologie locale; on examinera en particulier les pentes stables et instables existantes.**

Toutes les fois qu'elles envisagent le développement d'un secteur, les autorités municipales locales devraient s'assurer qu'il n'existe aucune possibilité de glissements de terrain. Elles devraient examiner sous le rapport de la stabilité les bancs naturels d'argile de l'ordre de 20 pieds dont l'inclinaison n'excède pas 1 à 4. Il importe de s'assurer, dans tous les cas, la collaboration d'experts de manière à pouvoir prendre, dès les premiers stades de l'étude, les mesures de planification, de zonage et de correction qui pourraient s'imposer.