

# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

# Les Éboulements de Terrain dans l'Est du Canada

## Landslides in Eastern Canada

by J. E. HURTUBISE, Professeur, Département du Génie Civil, École Polytechnique de Montréal, P.Q.,  
N. R. GADD, B.Sc., Ph.D., Commission géologique du Canada, Ottawa, Ontario,

et

G. G. MEYERHOF, Professor, D.Sc., Ph.D., M.E.I.C., A.M.ASCE., A.M.I.C.E., A.M.I. Struct. E., Department of Civil Engineering, Nova Scotia Technical College, Halifax, N.S., Canada

### Sommaire

Des glissements de terrain, nombreux et désastreux, surviennent périodiquement dans les sols sédimentaires récents de l'est du Canada. D'après l'examen de la stratification et des fossiles rencontrés le long des profils du sol, le recul des glaciers aurait été immédiatement suivi de l'invasion marine. La mer Champlain aurait progressé au front des glaciers et les matériaux transportés par les glaces flottantes voisieraient avec les sédiments de floculation en milieu marin.

Ces conditions d'environnement glacio-marin et le recul relativement rapide des glaciers conditionnent les propriétés géotechniques de ces dépôts et illustrent l'importance des variations de la nappe phréatique et de l'érosion à l'origine de l'effondrement des terres en équilibre instable. Certaines analogies et la répartition des glissements ont été mises en évidence.

L'analyse de trois cas d'éboulis — Rimouski, lac Saint-Jean, Nicolet — a été entreprise pour montrer l'influence des conditions de dépôt et du degré de stratification sur le mécanisme de boulangement. La nature du sédiment, sa composition minéralogique, les phénomènes physico-chimiques ayant affecté le sol sont d'autres facteurs de sensibilité.

### Introduction

On rapporte tous les ans des glissements de terrain dans les basses plaines de l'est du Canada; documents et témoignages, depuis les plus anciens réfèrent à un phénomène cyclique: depuis des siècles, dans la vallée du fleuve Saint-Laurent et de ses affluents, et le long de la rivière Saguenay issue du lac Saint-Jean, surviennent de nombreux effondrements capables d'ouvrir sans avertissement et en quelques minutes, une brèche en forme de poire pouvant s'étendre sur plusieurs milles carrés.

Devant le rythme et l'ampleur des catastrophes, les comités affiliés de mécanique des sols et des neiges du Centre de Recherches du Canada ont créé un 'sous-comité d'étude des glissements'. Une recherche active vient d'être récemment entreprise à l'École Polytechnique de Montréal pour situer les éboulis et en étudier le mécanisme. L'ensemble des travaux révèle déjà dans quelle mesure ces effondrements revêtent un caractère particulier (ROCHETTE, 1956).

Les auteurs vent tenter ici de présenter ces glissements à partir de l'histoire géologique des sédiments, et de l'analyse d'exemples typiques.

### Géologie

La reconstitution chronologique du dépôt en un endroit donné s'avère complexe dans ses détails et ses irrégularités locales ou temporelles; mais nombreuses sont les lumières que les données de la géologie jettent sur l'étude des effondrements.

L'origine des sédiments est commune à toutes les zones qu'affectent les glissements: il s'agit de dépôts formés dans la mer Champlain qui a envahi les terres au fur et à mesure du recul des derniers glaciers (GADD, 1955). Affaissée au-dessous du niveau de la mer par le poids des montagnes de glace, la vallée du Saint-Laurent a été inondée jusqu'aux environs de Kingston et des Grands-Lacs (cf. Figs. 1 et 2).

### Summary

Numerous landslides have occurred periodically in the recent sedimentary soils of Eastern Canada. Examination of stratification and fossils in the soil indicates that the retreat of glaciers was immediately followed by an invasion of the sea. Thus the Champlain Sea was apparently formed at the end of glaciers, and glacial drift was deposited together with marine sediments.

These conditions of glacial-marine environment and the relatively rapid retreat of glaciers resulted in the peculiar geotechnical properties of these deposits. The importance of variations in the water table and of erosion at the toe of slopes of unstable material is discussed. Certain analogies and the location of landslides are given in support.

The preliminary analysis of three cases of landslides (at Rimouski, Lake St John and Nicolet) is presented to show the influence of soil conditions and degree of stratification on the slide mechanism. The nature of the sediment, its mineralogical composition and the physico-chemical phenomena which have affected the properties of the soil are factors of its sensitivity.

Les sédiments argileux ont émergé dès que le soulèvement isostatique des terres, soulagées du poids des glaciers, a gagné en ampleur sur la montée générale du niveau des eaux après la fonte des glaces.

Les conditions de dépôt varient de place en place entre les limites de dispersion et de floculation (ROCHETTE, 1956), suivant les proportions d'afflux d'eau douce dans le milieu marin.

La plupart des argiles se trouve au-dessous de l'altitude de 300 pieds (au-dessus du niveau géodésique moyen de la mer actuelle), mais on rencontre un dépôt en eau saumâtre jusqu'à des côtes voisines de 600, le long de la rivière d'Ottawa et dans les vallées des rivières Richelieu et Saguenay alimentées par les lacs Champlain et Saint-Jean.

Plusieurs indices attestent de la progression de la mer au front même des glaciers formant rivage:

présence d'une mince couche de sédiment d'eau douce intercalée entre les résidus glaciaires et les dépôts marins (DAWSON, 1893)

existence de lignes morainiques relatée par Gadd (Fig. 2) sédiments varvés glacio-lacustres s'étageant dans la masse d'argile sans transition ni signe d'érosion (ex: le long de la rivière Saint-François)

la présence de blocs glaciaires épars au sein des matériaux cohérents (indice de transport par les glaces flottantes)

A Trois-Rivières, des dépôts glaciaires (fossiles d'environnement glaciaire en évidence) chevauchant avec les sédiments marins

fossile typique de ces dépôts: la 'Leda glacialis' (LOGAN, 1863; GADD, 1955) qui se développe essentiellement dans l'eau douce de boue, au pied des glaciers en activité.

La géomorphologie actuelle s'explique par les conditions

de dépôt et par le recul relativement rapide de la mer Champlain.

Durant la sédimentation cyclique de strates où les composantes argile silteuse et sable fin dominant alternativement, l'afflux glaciaire dans le milieu marin aurait directement contribué à causer des axes de coulée d'eau de fonte dans la direction du mouvement des glaciers (ex: lits Nord-Sud occupés aujourd'hui par les rivières Saint-Maurice et Sainte-Anne).

Le fleuve Saint-Laurent, à la poursuite de la mer qui se retirait, s'est mis à creuser son lit, et ses affluents à découper des vallées encaissées.

Cette phase d'activité intense des cours d'eau a dessiné des pentes abruptes et en équilibre hésitant. La nappe phréatique s'est affaissée relativement vite et d'autant plus que les vallées étaient plus rapprochées, et la dessiccation a disposé de peu de temps pour protéger d'une paroi de sol consolidé, les rives que l'érosion avait prédisposées à l'effondrement.

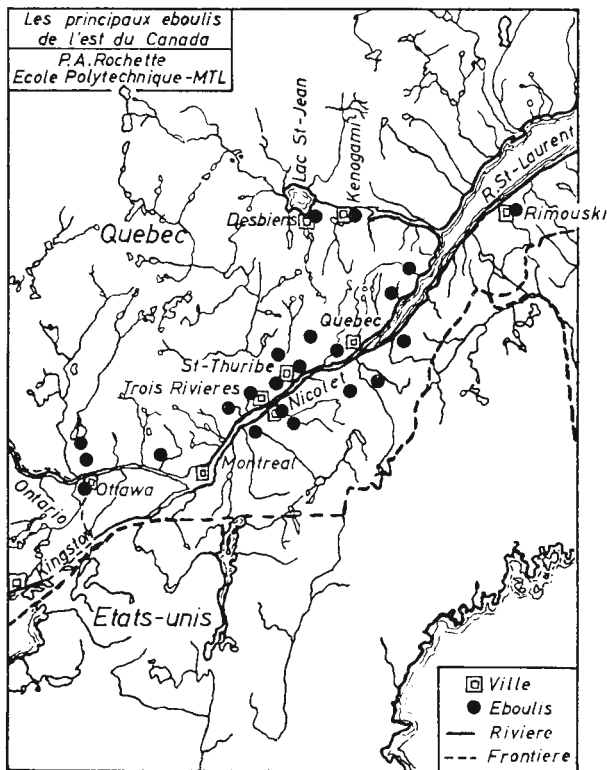


Fig. 1 Répartition des éboulis  
Location of landslides

**Propriétés minéralogiques des sédiments:** le faible pourcentage de minéraux d'argile plastiquement active dans les fines (PECK et IRELAND, 1951; ROCHETTE, 1956), apporte une nouvelle confirmation de l'hypothèse de sédimentation en milieu glacio-marins: les glaciers descendant des collines du nord, ont raclé le roc composé surtout de gneiss précambriens et de granito-gneiss. Ils ont pu ronger seulement quelques milles de terrain paléozoïque (source possible des minéraux plastiques), avant de s'étaler finalement sur la mer Champlain et de se délester de leur chargement de sol en fondant.

L'hypothèse des contours nettement découpés des particules d'origine glacio-marine (GADD, 1955), a seulement été partiellement soumise à l'épreuve du contrôle en laboratoire (ROCHETTE, 1956) et il n'est pas prouvé qu'elle puisse expliquer la susceptibilité de ces sols au remaniement. Néanmoins, la faible 'activité' du sol semble conditionner son comportement plastique.

## Description d'Éboulis

Trois exemples vont être décrits pour illustrer les glissements de terrain de l'est du Canada.

**Éboulis de Rimouski** — Un éboulement s'est produit en 1951 près de Rimouski, sur la rive gauche (ouest) de la rivière Rimouski, tributaire du fleuve Saint-Laurent. Un glissement était déjà survenu au sud-est de cet éboulement un siècle auparavant; au nord-est, le rocher dolomitique affleure à la surface du terrain.

La rive était couverte d'une forêt et formait une pente de 1:4. L'érosion, accrue par la courbure de la rivière, avait rongé la berge à la base et les produits de l'érosion s'étaient déposés dans le lit au cours des quelques mois précédant l'éboulement (Fig. 3). L'éboulement s'est produit en deux phases:

Le 3 août 1951, un premier effondrement rasait la forêt dans le sens de la plus grande pente, en cinq minutes environ,

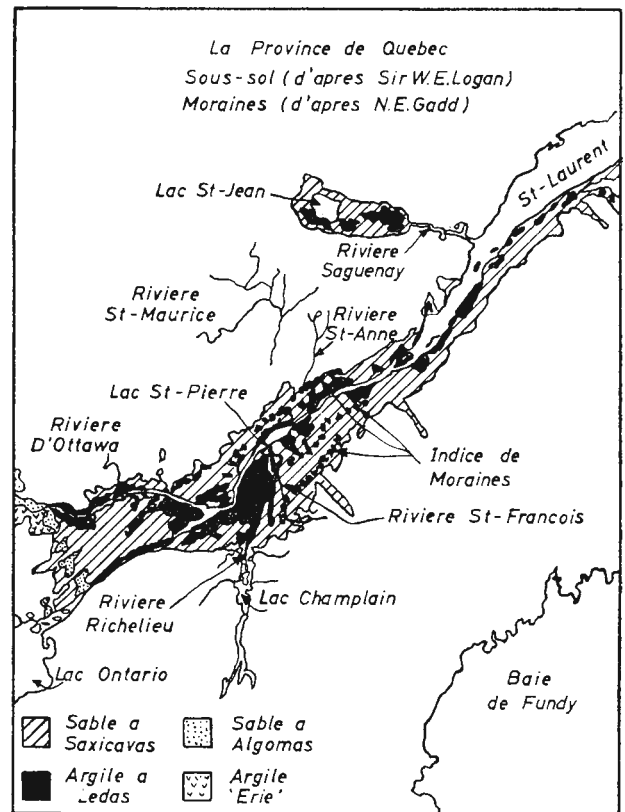


Fig. 2 Les terrains meubles de surface  
Superficial deposits

et fracassait la terre en blocs de 15 pieds de large. L'éboulement avait une longueur d'environ 400 pieds, une largeur de l'ordre de 200 pieds et une profondeur maximum approximative de 50 pieds.

Le second glissement s'est produit en 30 minutes, le 6 août 1951. L'éboulement a pris la même forme allongée que le premier, mais avec des proportions doubles. La masse de terre emportée consistait de blocs de silt de 25 pieds de large enrobés d'une argile molle qui coulait avec les blocs dans la rivière; la largeur de l'éboulement était de 1700 pieds environ, et sa longueur maximum, de l'ordre de 800 pieds, affectant un volume de l'ordre d'un million de verges cubes de terrain, et une superficie voisine de 25 acres sur la pente finale de 1:8 (Fig. 4).

En été 1953, on a procédé à un examen du terrain, à trois endroits, par sondages et forages (Fig. 3), pour établir les propriétés physiques, mécaniques et hydrauliques du sol (MEYERHOF, 1954). Une coupe longitudinale de l'éboulement

est tracée sur la Fig. 5. Les glissements se sont produits rétrogressivement, de la rive au sommet de la pente; le plan de rupture a suivi la pente finale à une profondeur de 20 à 25 pieds; les surfaces individuelles étaient approximativement circulaires, comme la dernière observée au sommet (Fig. 6). Le sous-sol était généralement formé d'une couche de 20 pieds d'épaisseur, composé de sable et de gravier compacts ( $N = 30$  coups/pied) recouvrant une autre couche de même épaisseur, composée d'un silt argileux, dense ( $N = 35$ ) et qui contenait la nappe phréatique à la profondeur de 30 pieds au-dessous de la surface (cote 273). Plus bas, on trouvait un épais dépôt d'une argile molle à ferme,

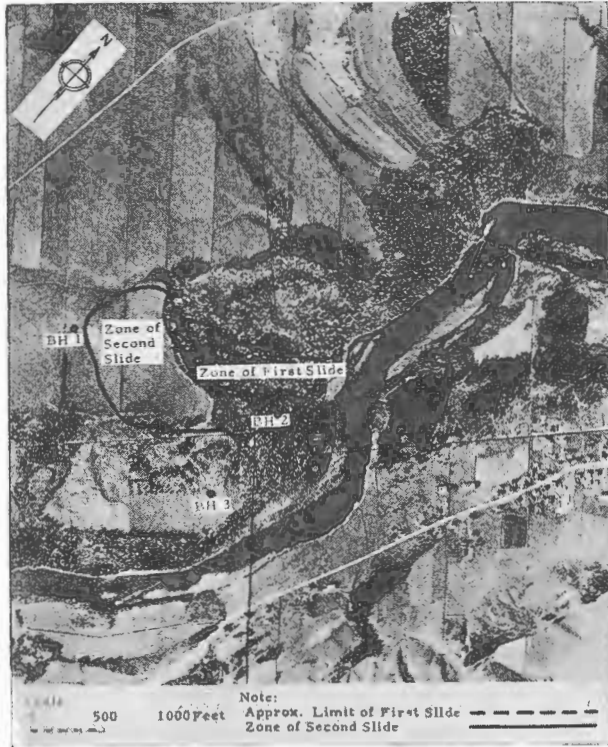


Fig. 3 Vue aérienne antérieure à l'éboulement de Rimouski  
Aerial view of site before landslide of Rimouski

L'analyse de la stabilité de la berge affectée est rendue difficile par l'impossibilité de déterminer les conditions exactes qui ont précédé et suivi le désastre. L'étude indique que l'éboulement rétrogressif a, sans doute, été provoqué par l'érosion de la rivière qui a attaqué le lit silteux de la rive et amorcé le premier éboulis. Le déséquilibre et l'instabilité des pentes créés par le premier effondrement ont été encore accrus par la sous-pression de la nappe artésienne qui a liquéfié la masse de silt saturé. Dans la seconde phase de l'éboulis, celui-ci s'est mis à couler sur la couche d'argile jusqu'à rétablissement de l'équilibre et de la pente finale de 1:8. Un calcul très approximatif utilisant cette pente comme inclinaison du plan de rupture qui a pu être observé de place en place, indique que la



Fig. 4 Vue aérienne du second éboulement de Rimouski  
Aerial view of second slide of Rimouski

renfermant, à la profondeur de 60 pieds au-dessous du niveau du sol, un lit de 3 pieds de silt très dense, et soumis à une pression artésienne dont la charge s'élevait à 10 pieds au-dessus de la surface du terrain. Cette argile a été caractérisée par une limite de liquidité variant de 37 à 45, une limite de plasticité de 20 à 24 et une teneur en eau de 28 à 38 pour cent du poids sec. La résistance à la compression simple a indiqué une résistance au cisaillement d'environ 0.5 à 0.6 tonne/pi.ca. et une sensibilité de 2. L'argile était suivie par un 'till' très dense descendant jusqu'au roc et généralement composé de schiste argileux. L'argile est absente près de la rivière.

résistance au cisaillement de l'argile, nécessaire pour prévenir tout glissement dans cette couche, devrait être de 0.5 tonne/pi.ca. Cette résistance théorique est du même ordre de grandeur que la résistance mesurée.

#### Les éboulis de la région du lac Saint-Jean

Les glissements de terrain les plus fréquents se produisent le long de la rivière Saguenay (Kénogami) et au sud du lac, dans la zone choisie pour cette étude (agrandissement sur la Fig. 7):

Dans la région de Desbiens, les éboulements semblent se concentrer le long de la rive sud du lac, entre les municipalités

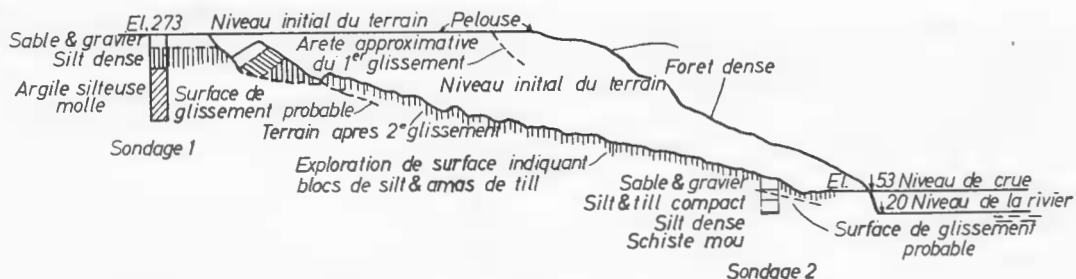


Fig. 5 Coupe longitudinale de l'éboulis de Rimouski  
Longitudinal section of landslide of Rimouski

de Desbiens et Métabetchouan, et le long du cours supérieur de la rivière Fig. 7.

Les éboulements paraissent choisir aussi leur époque d'effondrement: Ils surviennent généralement en décembre et mars.



Fig. 6 Le sommet du second éboulis de Rimouski  
Upper zone of second slide of Rimouski

Le sol est constitué d'un dépôt lacustre recouvrant les résidus glaciaires charriés par les passages successifs des glaciers. L'épaisseur de la nappe sédimentaire est très irrégulière: mince



Fig. 7 Les effondrements de la région du lac Saint-Jean  
Landslides in Lake Saint John area

aux environs de Métabetchouan, elle s'accroît au nord (plus de 100 pieds à la pointe à la Savane et à l'Ile Maligne) et à l'ouest.

Sous quelques pieds d'une couverture sableuse, on trouve une couche d'une dizaine de pieds d'argile brune contenant des lentilles de sable et caractérisée par un état de fissuration (horizontalement et verticalement) très avancé, une faible plasticité

(limite de liquidité approximativement de 28 et limite de plasticité approximativement de 19) et une teneur en eau variant de 25 à 30 pour cent du poids sec.

Le dépôt d'argile non altérée montre une stratification très nette où les lits de silt et sable (allant jusqu'à 4 po.) alternent avec l'argile silteuse à intervalles très variables. L'indice de plasticité reste voisin de 20 (les limites de liquidité et de plasticité variant de moins de six unités autour des moyens 46 et 26) et la teneur en eau, maximum immédiatement au-dessous de l'argile brune, tend généralement à décroître avec la profondeur de 58 à 42 pour cent; le cisaillement est de l'ordre de 0.4 à 0.5 tonne/pi.ca. (HURTUBISE, Recherches entreprises à l'École Polytechnique de Montréal, les conditions de glissement au lac Saint-Jean). Le sol est très sensible au remaniement; la sensibilité élevée (essentiellement variable avec le degré de remaniement; sans être inférieure à 40) donne une idée de l'étendue que

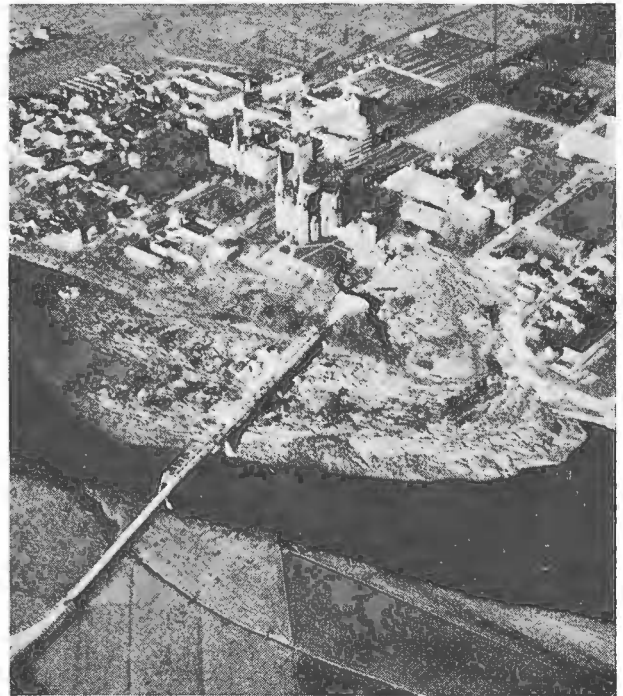


Fig. 8 Vue aérienne de l'éboulis de Nicolet  
Aerial view of Nicolet landslide

la brèche risque d'entailler et l'éboulis de couvrir, une fois le mouvement amorcé.

La topographie des lieux est représentée sur la Fig. 7:

Les résidus glaciaires affleurent dans la région de Métabetchouan où l'on n'observe pas d'éboulis.

Aux environs de Desbiens, le terrain est sillonné de rides parallèles au rivage et caractéristiques des dépôts de vagues; le drainage vers le lac, ralenti par cette cascade de petits barrages naturels et par l'absence de rivière favorisant l'écoulement, semble être le principal agent d'effondrement dans cette bande riveraine.

Dans la zone centrale s'étend le dépôt d'argile dont la stratification accroît la perméabilité horizontale en même temps que la sensibilité et ouvre la voie à une érosion intense des terres en équilibre incertain.

L'éboulis de Nicolet — Le 12 novembre 1955, une brèche de 400 pieds de large et 600 pieds de long s'est soudain formée sur une dénivellation de 20 à 30 pieds dans la rive droite (nord-est) de la rivière Nicolet, causant, en moins de sept minutes, des dégâts évalués à huit millions de dollars (Fig. 8).

Le sol fait actuellement l'objet d'une étude à l'École Polytech-

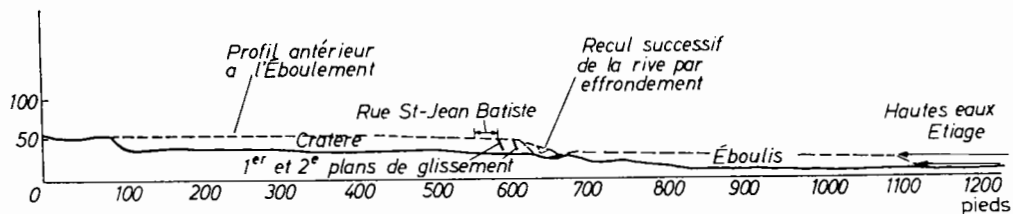


Fig. 9 Coupe longitudinale de l'éboulis de Nicolet  
Longitudinal section of Nicolet slide

nique de Montréal (essais *in situ* au scissomètre; prélèvement de colonnes continues de sol, au moyen de l'appareil suédois à feuillets métalliques); d'après les premiers résultats, il s'agit d'un sédiment argileux de 90 pieds d'épaisseur, reposant sur des résidus glaciaires et recouvert d'un manteau de 5 à 12 pieds de sable; ce dépôt est formé d'une couche de 35 pieds de matériaux stratifiés (limites de liquidité et de plasticité de l'ordre de 55 et 22; teneur en eau décroissant avec la profondeur de 75 à 65 pour cent) recouvrant un lit de 55 pieds d'un sol relativement homogène, légèrement organique (limites de liquidité et de plasticité variant peu autour des valeurs 40 et 22; teneur en eau décroissant de 60 à 50 pour cent). La résistance au cisaillement est de l'ordre de 0.2 à 0.4 tonne/pi.ca. dans la première couche et atteint rapidement une valeur de 0.6 à 0.8 tonne/pi.ca. dans la deuxième; la sensibilité est voisine de 10 et décroît avec la profondeur.

L'observation des conditions pré-existantes à l'éboulement et des limites du cratère, révèle la concomitance de nombreuses motivations (Fig. 9):

Fonctionnement défectueux des canalisations d'évacuation à la rivière au cours de semaines précédant le glissement

L'avancement du cratère à l'intérieur des terres a stoppé à l'emplacement même du remblai de l'égout du séminaire

Les travaux de protection peuvent avoir affaibli la paroi naturelle d'argile superficiellement consolidée, et amorcé l'éboulis

L'été sec, a été suivi par un automne pluvieux.

L'événement n'est pas bien compris; sans doute la multiplicité et la force de ces divers facteurs trouvent leur origine dans la susceptibilité du terrain.

La forme de ce type de glissement est illustrée par la photographie aérienne Fig. 8: cratère aux parois abruptes; plancher de la brèche en pente douce vers la rivière.

Les conditions de forme et d'étendue, la vitesse d'effondrement, l'aspect de la languette formée des matériaux emportés (surface bosselée; arbres non déracinés dans le mouvement; automobiles encore sur roues), tout contribue à suggérer un mécanisme de 'flot', un écoulement par déformation plastique; mais l'apparence finale masque le déroulement des faits; A. Nicolet (HURTUBISE et ROCHETTE, 1956) et dans le cas général des éboulements, les témoins oculaires décrivent un processus rétrogressif (à partir de la rive) de tranches successives (les deux premières surfaces de glissement on pu être reconstituées sur la Fig. 9).

Une fissure longitudinale de 200 pieds était apparue deux jours avant l'effondrement dont les deux lèvres avaient peu à peu glissé l'une par rapport à l'autre sans s'ouvrir. Il n'a pas été possible de lier avec certitude la présence de cette fissure à un mode général ou progressif de rupture; d'après les témoins, son emplacement coïnciderait avec la trace du premier plan de glissement.

## Conclusion

La répartition géographique des éboulements (les plus spectaculaires ou les plus désastreux ont été rapportés sur la Fig. 1) coïncide avec les zones de la Fig. 2 où l'argile à Leda, en bord de rivière, est recouverte par une mince couche de sable chargée

d'une nappe d'eau suspendue et empêchant la différenciation protectrice du dépôt marin en surface.

Les sédiments ont une histoire analogue; ils se caractérisent par un dépôt cyclique en eau plus ou moins saumâtre et par le rebondissement du terrain amenant le déséquilibre des rives et une consolidation superficielle.

Les trois exemples illustrent combien, dans l'ancien estuaire de la mer Champlain, l'édifice et la stratification des sédiments et, par suite, leur comportement plastique et leur sensibilité, diffèrent des propriétés du dépôt lacustre du lac Saint-Jean ou des silt-argiles de Rimouski.

Les mécanismes de boulance et d'effondrement (ROCHETTE, 1956) sont aussi de nature différente: érosion, structure et pression artésienne à Rimouski; stratification prononcée et infiltration au lac Saint-Jean; stabilité décroissante à Nicolet.

La diversité des conditions d'effondrement n'infirme pas les analogies banales des glissements de l'est du Canada concernant: l'époque d'éboulement (automne et printemps), qui souligne le rôle prépondérant des eaux d'érosion, d'infiltration et de fonte des lentilles de glace; le mode généralement rétrogressif des effondrements; la forme des éboulis, le rétrécissement au seuil du cratère, la faible durée de l'écoulement (imputables à la fragilité de l'équilibre méta-stable du dépôt).

L'hypothèse de rupture non progressive, affectant d'emblée toute la surface de glissement reste encore incontrôlable, d'autant que les indices d'avertissement peuvent ne pas impliquer la rupture (possibilité de fluage ou d'autres processus échappant à l'observation coutumière).

L'étude minéralogique récemment amorcée (ROCHETTE, 1956) paraît révéler, surtout dans les zones superficielles, l'existence de phénomènes physico-chimiques (effet complexe de dessiccation; délavage, hydratation des particules, formation de nouveaux minéraux). Il n'est pas impossible que la poudre de roche charriée par les glaciers ne subisse, au sein du dépôt, une recristallisation au moins locale et partielle.

Les auteurs n'ont pas une connaissance suffisante du comportement des sédiments du nord de l'Europe (qui se seraient déposés dans des conditions analogues) pour établir une comparaison valable. De prochains articles rendront compte du progrès des travaux entrepris au Canada par le Centre National des Recherches, et de l'École Polytechnique de Montréal, sous les auspices du sous-comité d'étude des glissements de terrain.

Les auteurs remercient sincèrement monsieur Pierre-André Rochette, pour sa précieuse collaboration à ce travail.

## Références

- DAWSON, J. W. (1893). *The Canadian Ice Age*. Montreal  
 GADD, N. E. (1955). *Pleistocene Geology of the Becancour Map-Area*, Thesis, Dr. University of Illinois  
 HURTUBISE, J. E. and ROCHETTE, P. A. (1956). *Landslide at Nicolet*, Annual Congress of the Canadian Good Roads Association  
 LOGAN, Sir W. E. (1863). *Geological Survey of Canada*  
 MEYERHOF, G. G. (1954). Field investigation of the earth-flow at Rimouski, Quebec. *Proc. 7th Can. Soil Mechanics Conf. Ottawa, Tech. Memo. No. 33*, p. 40  
 PECK, R. B. and IRELAND, H. D. (1951). St Thuribe landslide. *Soil Mechanics Series No. 1*, University of Illinois  
 ROCHETTE, P. A. (1956). *Étude des dépôts sédimentaires formant les basses terres du fleuve Saint-Laurent*. Thèse de M.Sc., École Polytechnique de Montréal