

Article

« Substrat glaciotectonisé et till syngénétique à Pont-Rouge, Québec »

Jacques Schroeder, Michel Beaupré et Marc Cloutier

Géographie physique et Quaternaire, vol. 44, n° 1, 1990, p. 33-42.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/032796ar>

DOI: 10.7202/032796ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

SUBSTRAT GLACIOTECTONISÉ ET TILL SYNGÉNÉTIQUE À PONT-ROUGE, QUÉBEC

Jacques SCHROEDER, Michel BEAUPRÉ et Marc CLOUTIER, respectivement : Département de géographie, Université du Québec à Montréal, c.p. 8888, Succ. «A», Montréal, Québec H3C 3P8, Hydro-Québec, 845, rue Sainte-Catherine Est, Montréal, Québec H2L 4P5 et COGEO Consultants, 405, rue des Érables, Laval-sur-le-Lac, Québec H7R 1B1.

RÉSUMÉ Grâce à un effondrement à l'aplomb d'une galerie souterraine qui recoupe un méandre de la rivière Jacques-Cartier à Pont-Rouge, des calcaires fortement glaciotectionnés ont pu être observés. Toutes les perturbations d'origine glaciaire de l'encaisant y sont relevées pour la première fois en un même site. Elles sont remarquablement conservées par un till de fond épais de près de 10 m. Sur à peine 40 m de distance on observe : un plan de diaclase en contact avec un till, des plans de stratification décollés et rebroussés par du till, un pli-faille partiellement coffré dont le cœur et le plan de chevauchement contiennent du till, un plan de chevauchement servant de « faille de rampe » pour des copeaux submétriques de calcaire, des fissures ouvertes injectées de till et ayant subi une rotation vers la droite de 25°. Enfin à l'interface entre le calcaire glaciotectionné et celui en place, on trouve des stries glaciaires avec polarité ouest-est. Nous pensons que c'est au plus tard au maximum glaciaire du Wisconsinien supérieur que se situerait leur apparition. Advenant la confirmation de cette hypothèse, il faudrait alors en conclure que la calotte glaciaire laurentidienne, à cette époque et localement, s'écoulait vers l'est.

ABSTRACT *Ice-push bedrock and its syngenetic till at Pont-Rouge, Québec.* Ice-push forms have been noted in highly deformed limestone beds at the base of a collapse sink-hole which has formed right over a 170 m underground inlet tunnel bypassing a meander of the Rivière Jacques-Cartier. Nowhere had all types of ice-push structures been identified in a single outcrop. These have been remarkably preserved by a 10 m thick lodgement till. In only 40 m along this outcrop one is able to recognize the following structures: 1) a vertical joint plane in close contact with the till; 2) turned over and folded bedding planes surrounded by till; 3) a faulted concentric fold with core and thrust-plane filled with till; 4) a thrust plane used as a "rising fault" by submetric limestone blocks; 5) opened vertical joints filled with till and rotated clockwise by some 25°. Eastward glacial striae have also been observed between the undisturbed massive limestone and the deformed ones. We think that these ice-push structures have been generated during the Late Wisconsinan glacial maximum at the latest. If this hypothesis is confirmed, one would have to conclude that, during this time lapse and location, the Laurentide Ice Sheet was flowing eastward.

ZUSAMMENFASSUNG *Glaziotektonisiertes Substrat und syngenetisches Till bei Pont-Rouge, Québec.* Dank eines Einsturzes senkrecht über einem unterirdischen Stollen, der eine Schleife des Jacques-Cartier-Flusses bei Pont-Rouge durchschneidet, konnten stark glaziotektonisierte Kalksteine beobachtet werden. Alle Störungen glazialen Ursprungs des Einschnittes sind dort zum ersten Mal an einem einzigen Fundplatz vereinigt. Durch ein Grund-Till von fast 10 m Dicke sind sie ausserordentlich gut erhalten. Auf kaum 40 m Entfernung beobachtet man: Eine Ebene von Fugen in Kontakt mit einem Till, geschichtete Flächen die durch Till abgelöst und umgekehrt worden sind, eine Bruchfalte und teilweise Kofferfalte, deren Kern und Scheerebene Till enthalten, eine Scheerebene, die als ansteigender Bruch für submetrische Kalksteinspäne dient, offene mit Till angefüllte Risse, die eine Rotation nach rechts um 25° durchgemacht haben. Schliesslich findet man zwischen dem glaziotektonisierten Kalkstein und dem vorhandenen glaziale Schrammen in West-Ost-Richtung. Wir denken, dass sie spätestens im glazialen Maximum des späten Wisconsinium aufgetreten sind. Sollte diese Hypothese sich bestätigen, müsste man folgern, dass das laurentidische Inlandeis damals und örtlich in Richtung Osten abfloss.

INTRODUCTION

Le comportement et le déplacement des glaciers disparus sont connus grâce à l'étude des formes d'érosion conservées dans le substratum, d'une part, et des accumulations construites au contact de la glace, d'autre part. Cependant, sur le terrain, l'interface substratum-dépôts glaciaires est parfois complexe, surtout là où il est mis à jour par d'importants travaux d'excavation comme dans les agglomérations urbaines. Ainsi, Grice (1972), Durand et Ballivy (1974), Ballivy *et al.* (1977), Durand (1978) et les présents auteurs (1986) ont montré que sous les dépôts glaciaires le substratum compétent de l'île de Montréal a été localement disloqué, déplacé et plissé par les inlandis quaternaires. Et, ce qui est fondamental, ces « dislocations-compressions » glaciotectioniques du rocher ne sont que très rarement perceptibles en surface (Schroeder et Beaupré, 1985). L'énergie à la semelle du glacier s'est donc dissipée et a eu des conséquences morphologiques non pas uniquement en favorisant le raclage du substratum, mais aussi en le perturbant jusqu'à 25 mètres de profondeur. Ce qui est quand même considérable et assez éloigné du modèle conventionnel d'engraissement du till de fond basé sur l'abrasion et le délogement qui affectent progressivement tout substratum cohérent. Cependant, les observations détaillées illustrant toutes les modalités de l'alimentation du till de fond à partir de la dislocation en profondeur du substratum cohérent sont encore mal connues, car trop souvent elles échappent aux investigations ou elles sont partiellement détruites ou encore sans contact avec des dépôts glaciaires corrélatifs.

Le 20 mai 1988 à Pont-Rouge, le long de la rivière Jacques-Cartier, s'est produit un effondrement à l'aplomb d'une galerie d'eau souterraine (fig. 1). Nous avons pu y observer, en une coupe on ne peut plus fraîche, un épais till de fond (*cf. infra*) dont le contact avec le substratum est complexe, car il est composé de toutes les formes de dislocations et de compressions du rocher connues à ce jour en des sites différents. Bien que préliminaire cette étude a pour but de décrire les faciès variés de l'interface till-rocher et de discuter des modalités de leurs mises en place.

LE SITE ÉTUDIÉ ET SA GÉOLOGIE

La rivière Jacques-Cartier, qui prend sa source dans le Bouclier, s'écoule du N-E vers le S-O jusqu'au Saint-Laurent, à Donnacona (fig. 2). Le secteur de Pont-Rouge est un plateau situé à 100 mètres d'altitude, dépourvu de relief important à l'exception de la vallée de la rivière Jacques-Cartier, qui s'encaisse jusque dans le substratum. Le site étudié est localisé dans le pédoncule d'un méandre prononcé dont l'indice de sinuosité atteint 3,5. La dénivellée de la rivière entre l'amont et l'aval du méandre atteint près de 20 mètres. Cette dénivellée a favorisé l'apparition d'un conduit d'origine karstique qui recoupait le méandre au niveau du pédoncule¹. En 1927, cette grotte partiellement noyée a été agrandie localement et aménagée pour fonctionner comme une conduite d'amenée

1. Connue depuis toujours dans la région, cette grotte avait été baptisée Canal de l'Hôpital, car de nombreux petits poissons la fréquentaient.

d'eau alimentant une petite centrale électrique. C'est grâce aux relevés précis de cette époque qu'on est certain de l'origine karstique de la galerie souterraine ouverte dans des calcaires subhorizontaux du Groupe de Trenton.

L'observation directe du substratum tout au long des 170 mètres de la galerie souterraine montre que celle-ci est entaillée à sa base dans les calcaires de la Formation de Deschambault.

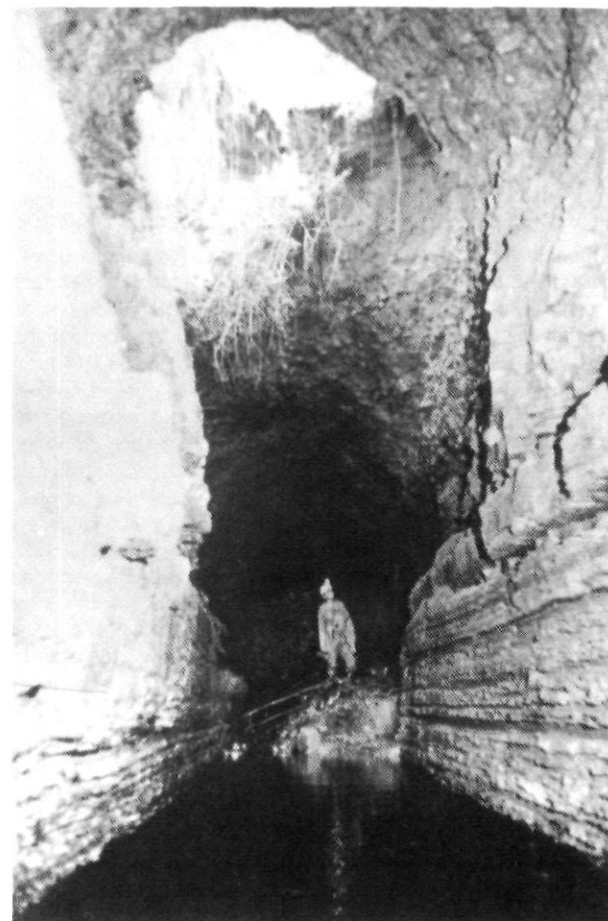


FIGURE 1. L'effondrement du 20 mai 1988 à l'aplomb de la galerie souterraine. Vue de l'extérieur et de la galerie regardée vers l'ESE (photos J. Schroeder et D. Caron).

The May 20, 1988 collapse over the underground inlet tunnel. Outside view with tunnel, looking ESE.

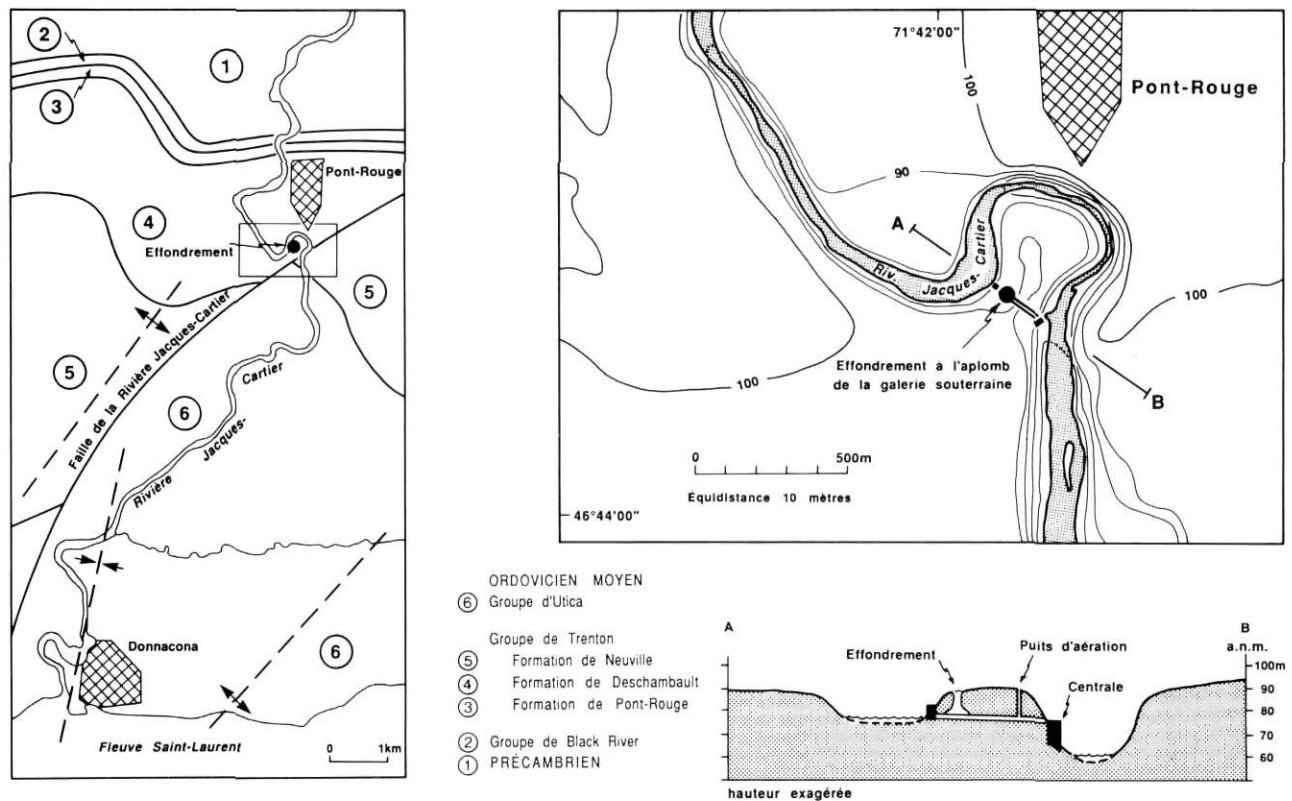


FIGURE 2. Géologie régionale et topographie locale du site étudié. *Regional geology and local topography at the studied site.*

Ce sont des calcaires fossilifères, à grains grossiers de teinte brunâtre en surface altérée et gris perle en surface saine, dégageant une odeur de pétrole quand on les casse. Ils se présentent en lits épais de plus de 10 cm, massifs, compétents et à stratification entrecroisée. Le sommet de la formation se termine par des bancs de 15 cm d'épaisseur de calcaires plus argileux comprenant des tapis de bryozoaires. Cette unité lithologique facilement soluble est, rappelons-le, le gîte de la plupart des phénomènes karstiques des Basses-Terres du Saint-Laurent (Beaupré, 1981). À mi-hauteur de la galerie, et stratigraphiquement au-dessus des calcaires de Deschambault, les calcaires de la Formation de Neuville sont également visibles. Ils sont peu fossilifères, souvent lithographiques, interstratifiés avec des couches minces de shales à lits épais de 1 cm à 25 cm. Ces calcaires qui sont moins compétents, moins massifs et moins solubles que les calcaires de Deschambault sont aussi plus sensibles à l'altération mécanique (Brodeur, 1987). Malgré le voisinage immédiat au sud-est de la galerie souterraine de la faille de la rivière Jacques-Cartier, tous les calcaires sont subhorizontaux avec un pendage moyen de 3°, toujours inférieur à 6°, vers le sud dans la zone de l'effondrement où s'observent les manifestations glacio-tectoniques. Enfin, la galerie souterraine suit la direction des joints subverticaux de la principale famille de discontinuités affectant ces calcaires et qui est orientée à 111° à 124°N. Ces joints, souvent ouverts, sont à espacement métrique à supramétrique et d'extension décamétrique. D'autres joints subverticaux constituent une famille secondaire dont l'orientation varie de 014° à 027°N. Leur incidence sur

la galerie se limite à quelques élargissements localisés. Il y a aussi quelques joints inclinés, fermés et orientés entre 354°N et 004°N.

Les dépôts meubles couvrant le substratum au droit de la galerie sont directement observables depuis l'effondrement de l'été 1988. De haut en bas, on trouve les unités suivantes :

- Des sables stratifiés de compacité lâche à moyenne, contenant des traces de limon et de gravier. Le triage est bon et les graviers subarrondis sont plus fréquents à la base des sables. Épaisseur : 1,0 m à 2,2 m.
- Un till gris, très dense, fissile, à faible perméabilité sans figure de remaniement par les eaux courantes, calcareux. Ce till repose sur le substratum rocheux. Épaisseur du till : ± 9 m.

Observés plus en détail et spécialement au niveau de leur contact, le substratum et le till présentent des formes et des faciès complexes et interdépendants.

UN SUBSTRATUM DISLOQUÉ

L'effondrement à l'aplomb de la galerie souterraine constitue un regard de 5 m sur 10 m, profond de 12 m à partir duquel nous avons pu observer le contact entre la base du till et le substratum. Ce contact se suit sur près de 40 m de la galerie répartis également en amont (N-O) et en aval (S-E) du regard (fig. 3). Ailleurs dans la galerie, la voûte est rocheuse, sauf aux alentours immédiats du puits d'aération (fig. 2). Là, du till est perceptible à la voûte, entre les planches du plafond

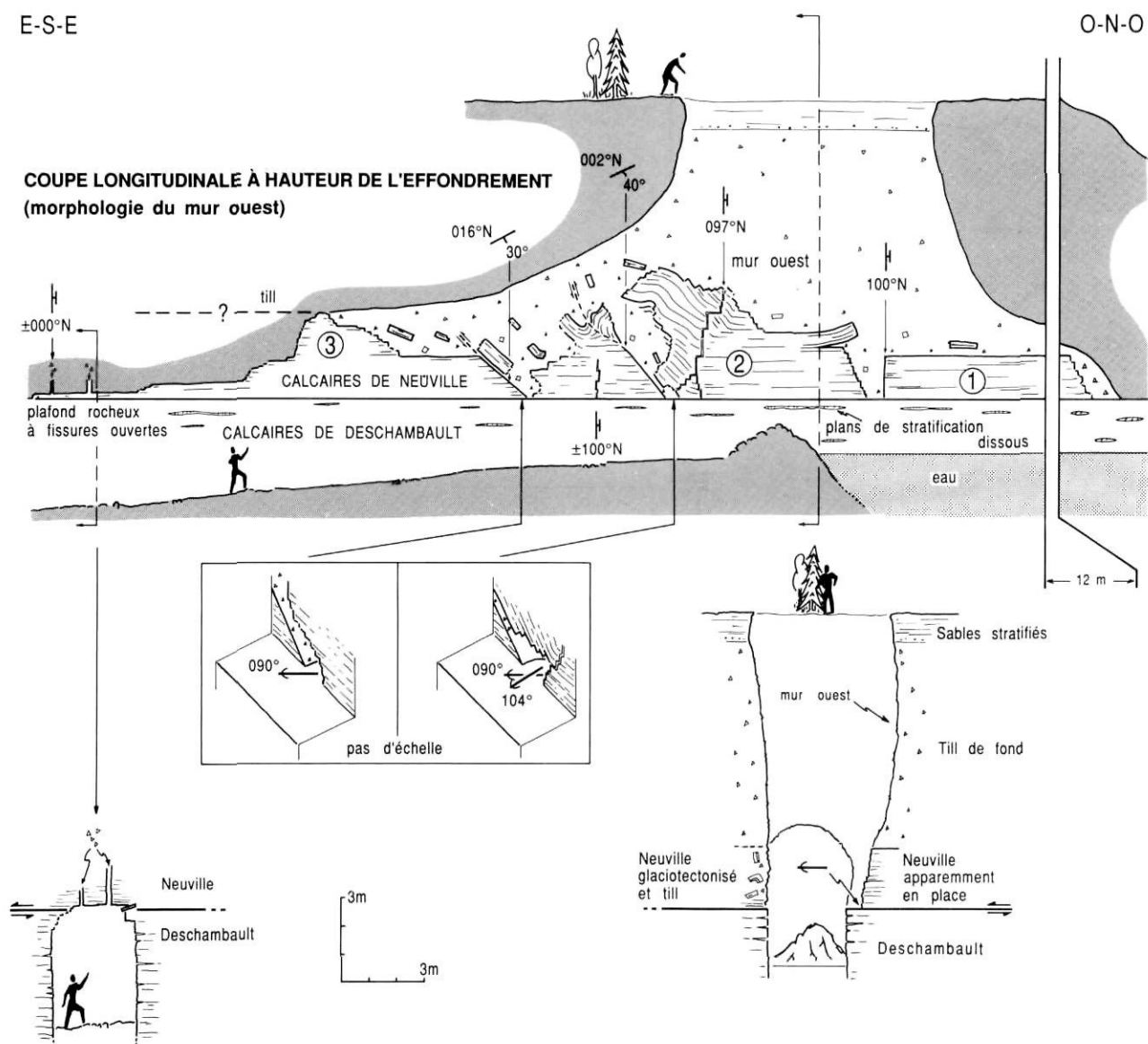


FIGURE 3. Coupe longitudinale à hauteur de l'effondrement, avec les trois lambeaux de calcaires glaciotectionnés sur les calcaires en place. Des stries glaciaires sont apparues à la surface de ces derniers. Voir la description détaillée dans le texte.

Longitudinal section in the collapse area with three deformed limestone lumps resting over massive undisturbed limestone. Glacial striae can be seen between these two. See description in text.

sur une distance de 22 mètres. Cependant, seule la zone de l'effondrement est accessible pour l'observateur. Nous y décrivons le substratum du bas vers le haut et d'amont en aval, tel qu'il apparaît sur le côté sud-ouest de la galerie, c'est-à-dire le côté où la surface d'arrachement de l'effondrement est la plus concave, dégagant mieux par le fait même le substratum sous-jacent (coupe de la fig. 3).

LES CALCAIRES DE DESCHAMBAULT EN PLACE ET MODÉRÉMENT DISSOUS

La base du mur est constituée des calcaires compétents, massifs et subhorizontaux de Deschambault sur une hauteur s'accroissant de 2 m à 3,5 m d'amont en aval. Comme cette section de la galerie a été en partie élargie en 1927, on peut évaluer grossièrement son altération en 60 ans. Elle correspond

à la dissolution des carbonates à partir des plans de stratification ouverts sur quelques dizaines de centimètres de profondeur et sur 1 à 4 cm d'épaisseur. Le contact du Deschambault avec les calcaires de Neuville est facile à discerner grâce à la différence lithologique entre les deux unités, mais aussi à cause de la moindre résistance à l'érosion mécanique du Neuville toujours en retrait. Aussi, le sommet du Deschambault est-il souligné par une petite banquette horizontale large de 10 cm à 70 cm sur laquelle s'accumulent les débris du Neuville (fig. 3).

LES CALCAIRES DE NEUVILLE GLACIOTECTIONNÉS

De l'amont de la galerie vers l'aval, l'épaisseur visible des calcaires de Neuville varie de 1,5 m à environ 3 m, et le contact avec le till sus-jacent est irrégulier. La figure 3 illustrant

ces faits est décrite de droite à gauche. En amont de l'effondrement, un premier lambeau de Neuville long de 15 m est en contact avec le till sus-jacent par un plan de stratification horizontal. Côté nord-ouest, le lambeau n° 1 est limité par une surface irrégulière et le till repose à même le calcaire de Deschambault; côté sud-est, le lambeau est tronqué par une diaclase verticale s'arrêtant sur le Deschambault. Le lambeau n° 2 de Neuville se situe à moins d'un mètre. Le till, qui colmate l'espace entre les deux lambeaux, a également décollé un plan de stratification dans le coin supérieur du lambeau n° 2. Les 30 à 40 cm de calcaires ainsi soulevés ont un pendage apparent de 10° à 15° vers le S-E. Du contact calcaire-till entre les lambeaux n° 1 et n° 2 nous déduisons les contraintes suivantes: une compression orientée vers le sud-est qui aboutit à rebrousser littéralement les bancs de calcaires et une tension sur le côté opposé qui décolle le substrat suivant un plan de diaclase orienté à 100°N. Ainsi, l'allure des calcaires de Neuville, de part et d'autre de la petite poche de till, atteste de la dislocation du rocher sous la poussée d'un glacier s'écoulant probablement vers le S-E. On constate aussi — ce qui est nouveau — que les copeaux de calcaires qui engraisent le

till peuvent provenir d'une zone de compression de l'interface rocher-till. Généralement, les blocs décollés d'un substratum cohérent proviennent de la zone de délogement.

Sept mètres vers le S-E, le lambeau de Neuville n° 2 de la figure 3 est perturbé par un pli remarquable qui est faillé, partiellement chevauchant et coffré par des fractures irrégulières et ouvertes (fig. 4). Le plan de chevauchement du pli est orienté nord (002°N) et incliné à 40° vers l'ouest. Les fractures syngénétiques du pli sont irrégulières, conditionnées par la lithologie, subverticales et disposées selon une direction O-E (097°N). Le cœur du pli-faille est injecté de till composé surtout de sa matrice avec quelques débris «frais» de calcaires de Neuville. La matrice du till est fissile, argilo-silteuse, plastique et comporte de nombreuses surfaces striées comme celles observées dans les argiles soumises à des tests de compression (photo C de la fig. 4). Si l'on se base sur les relations géométriques des éléments structuraux relevés, ce pli de compression résulte d'une poussée orthogonale à son plan de plissement qui est orienté à 002°N, donc venant de franc ouest. Six mètres plus en aval, les calcaires de Neuville du lambeau n° 2 qui semblent en place sur une épaisseur ramenée

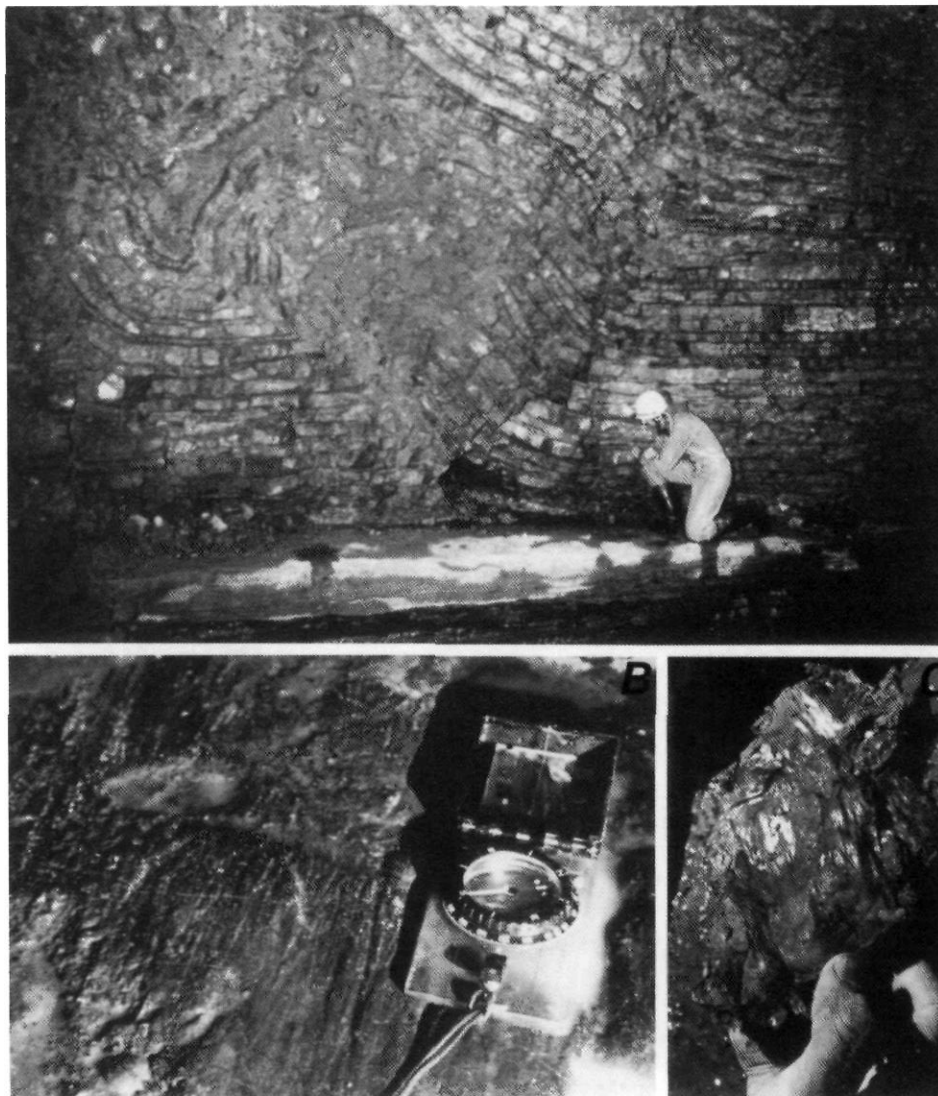


FIGURE 4. A) pli-faille partiellement coffré au cœur duquel du till est injecté. B) Sur la banquette de calcaire en place, on trouve des stries glaciaires avec polarité. La famille principale est orientée vers 090°N géographique et est recoupée par des stries à 104°N (la boussole indique le nord magnétique). C) La matrice du till, injectée dans le plan de chevauchement du pli-faille, montre de nombreuses surfaces striées résultant des forces du cisaillement qui l'ont affectée (photos D. Caron et J. Schroeder).

A) Faulted concentric fold having core filled with plastic till. B) Eastward glacial striae can be found on top of undisturbed limestones. The principal and oldest set is oriented at 090° and cut by a second set at 104° (compass showing magnetic north). C) The injected till in the faulted concentric fold contains a matrix which shows numerous striated surfaces formed by shearing.

à 1,5 m sont de nouveau disloqués par un plan de chevauchement orienté cette fois à 016°N et pourvu d'un pendage de 30° vers l'ouest. Un copeau submétrique de calcaire repose à même ce plan et est emballé dans du till injecté jusqu'aux calcaires subhorizontaux de Deschambault. La matrice du till est analogue à celle observée au cœur du pli-faille: argilo-silteuse et plastique. La poussée responsable de cette faille normale viendrait aussi de l'ouest. Ce deuxième lambeau est donc particulièrement disloqué.

À l'aval-mouvement de la faille, un troisième lambeau de Neuville (n° 3 de la fig. 3) est en contact avec le till par un plan de stratification horizontal puis, sa puissance augmente progressivement grâce à de petits gradins suivant les lits minces (photo A de la fig. 5). La voûte de la galerie forme là une cloche en aval de laquelle n'apparaissent plus que les calcaires horizontaux. On observe alors que le plafond plat, 4 à 5 m au-dessus de l'observateur, est constitué de l'éponte inférieure d'un banc calcaire qui est disloqué par des fissures subverticales ouvertes de 1 cm à 10 cm et injectées de la matrice du till argilo-silteuse et très dense, comme le confirment les forages réalisés à cet endroit après l'effondrement (photo B, fig. 5). L'orientation de ces fissures montrent une direction variant de 135° à 150°N . Ces fissures s'apparentent en tout aux joints de la famille principale qui découpent le Deschambault et est orientée à 111°N à 124°N comme on le voit bien sur la photo B de la figure 5. Il est raisonnable de penser que les fissures du Neuville ont subi une rotation horaire de leur direction équivalant à environ 25° par rapport à l'orientation des joints verticaux sous-jacents observés dans les calcaires de Deschambault qui, eux, n'ont pas bougé. Comme sous une poussée latérale, ce sont les joints orientés à 30° à 45° par rapport au mouvement qui ont le plus tendance à s'ouvrir; rotation, ouverture et injection de ces fissures sont, à notre avis, à mettre en rapport avec des poussées glaciaires venant de l'ouest. Ce troisième lambeau est donc limité à l'amont-mouvement par un plan de chevauchement et à l'aval-mouvement par des fissures ouvertes.

Toutes ces observations, nous portent à penser que les calcaires de Neuville sont ici réduits à des lambeaux pris en sandwich entre les calcaires de Deschambault et un till de fond épais. Les trois lambeaux observés ont subi une poussée venant de l'ouest, alors qu'ils supportaient des pressions sans rapport avec le poids actuel des morts terrains comme en témoignent leurs déformations. Seul un inlandsis s'écoulant vers l'est rend compte de tous ces faits.

DES STRIES GLACIAIRES ENTRE LE DESCHAMBAULT ET LE NEUVILLE

On a vu que les calcaires résistants de Deschambault forment une petite banquette horizontale au contact des calcaires de Neuville en léger retrait (photo A de la fig. 4). La banquette dégagée des débris est nettement striée à l'égal de n'importe quelle roche cohérente en contact avec un till (photo B de la fig. 4). La direction générale de l'écoulement glaciaire déduite de plusieurs «crag-and-tails» est orientée plein est (090°N). À la base du pli faillé, une seconde famille de stries moins importantes recoupe la première et est orientée à 104°N . Le till et spécialement sa matrice argilo-limoneuse

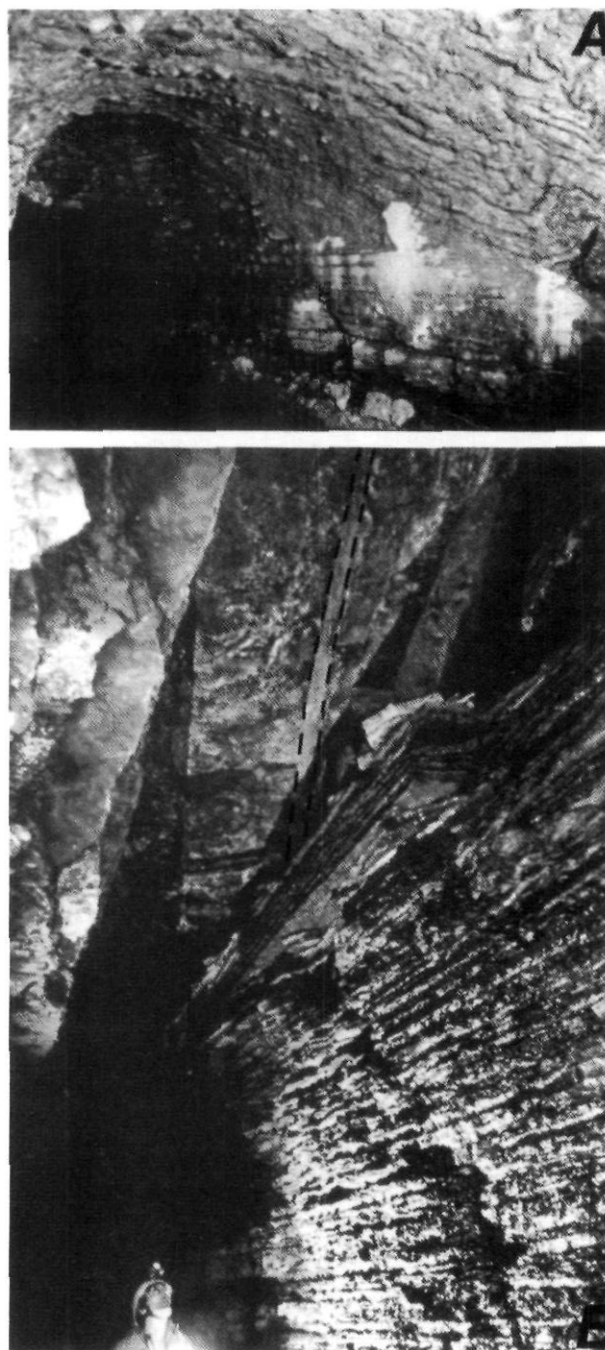


FIGURE 5. A) Le lambeau n° 3 vu vers l'ESE et son contact avec le till qui forme la voûte de la galerie. B) À l'aval-mouvement du site précédent, voûte rocheuse disloquée par de grandes fissures verticales ouvertes et remplies de till. Ces fissures font un angle de 25° dans le sens des aiguilles d'une montre avec les joints des calcaires en place qui constituent les murs de la galerie (photos J. Schroeder et D. Caron).

A) Spatial relationship between underlying limestone lump No. 3 and overlying till in the tunnels ceiling, looking ESE. B) Downstream from site A one can see continuous, opened and till injected joints crossing the actual tunnel's ceiling. These opened joints have been rotated clockwise by some 25° in reference with the wall-forming vertical joints.

ont été injectés jusqu'à l'interface Neuville-Deschambault grâce aux plans de chevauchement, aux fractures ouvertes et aux fissures de traction qui tronçonnent littéralement le Neuville jusqu'au contact avec le Deschambault. La matrice du till a ainsi servi de lubrifiant pour faciliter les mouvements du Neuville. À ce propos, il est intéressant de noter que l'orientation du plan de glissement du pli faillé est parfaitement perpendiculaire à la famille de stries les plus anciennes (090°N). Et que leur polarité concorde avec le chevauchement de la roche en place soit d'ouest vers l'est. Tandis que la faille à l'aval-mouvement du pli a son plan de glissement rigoureusement perpendiculaire au second train de stries orientées à 104°N. Tout se passe comme si la dislocation du Neuville avait été un processus qui «répondait» même à de faibles variations d'orientation du mouvement glaciaire (cf. discussion). Dans ce cas-ci, la rotation est de 14° vers le sud. Confrontons maintenant ce mouvement glaciaire apparemment ouest-est aux contraintes structurales et topographiques régionales.

À quelques dizaines de mètres au sud de l'effondrement, se trouve la faille normale de la rivière Jacques-Cartier (fig. 1). Son rejeu a mis en contact des calcaires compétents de Deschambault qui supportent la butte disloquée étudiée avec des shales d'Utica et des calcaires de Neuville nettement moins résistants. Dès lors l'abrasion glaciaire n'a pu que provoquer l'abaissement de la topographie immédiatement au sud de la butte disloquée. Or, malgré le gradient topographique vers le sud, les stries glaciaires entre le Neuville disloqué et le Deschambault en place et la disposition spatiale et géométrique de tous les éléments structuraux nous portent à penser que la poussée glaciaire venait de l'ouest. Comme en plus c'est un till de fond qui a servi de lubrifiant, nous considérons que les calcaires de Neuville glaciotectionnés ont le plus de chance d'être les témoins d'un mouvement glaciaire régional orienté ouest-est (cf. discussion).

LE TILL DE FOND

À propos du till qui repose sur les calcaires, il nous paraît opportun d'ajouter quelques observations à la description

sommaire du début qui visait simplement à identifier sa nature de till de fond. Dans sa moitié supérieure, le till est constitué de blocs (a, b, c \geq 10 cm) striés aux arêtes émoussées dont à peine 25 % à 30 % proviennent du Bouclier, le reste étant constitué de blocs de calcaire autochtones (fig. 6). La matrice qui les emballa est limono-sableuse (sable 37 %, limon 45 %, argile 18 %). Dans la moitié inférieure du till, la matrice devient *progressivement* argilo-limoneuse et plastique (limon 81 %, argile 19 %). Les blocs précambriens ont disparu et les blocs de calcaires ont un volume moyen proche du cube de 10 cm à 15 cm de côté. Les faces de ces blocs sont parfois striées et les arêtes sont plus souvent vives qu'émoussées. Là où le till est accessible, il a été inutile de faire une fabrique, car les blocs sont isométriques. Enfin la base du till contient de nombreux copeaux de calcaires submétriques et parfois métriques, positionnés dans tous les sens, mais ceux proches de l'horizontale dominant. Vu la grande concordance existant entre les directions des stries glaciaires sur le Deschambault, l'allure des plans de chevauchement et des fractures ouvertes dans le Neuville, on peut considérer que la glace venait de l'ouest et, de ce fait, avait quitté le Bouclier depuis 12 km à 13 km. Alors qu'au nord du site le Bouclier n'est qu'à 2 km. Sur ces 12 à 13 km, la glace n'a rencontré que du Neuville et du Deschambault, d'où son appauvrissement en blocs précambriens (fig. 2).

DISCUSSION

Les relations angulaires entre les éléments structuraux et les mouvements de la glace semblent s'imposer. Aussi avons-nous projeté ces données sur un canevas de Wulff (fig. 7). On y voit bien l'allure des calcaires non disloqués: l'arc de cercle inférieur positionne le pendage de 3° à 6° vers le sud, et les portions de cercle en gris montrent les deux familles de joints subverticaux habituelles à ce type de roche. Quant à la néotectonique qui affecte les calcaires de Neuville, elle est représentée par les deux plans de cisaillement de 30° et 40° vers l'ouest (arcs de cercle nord-sud) et les fractures qui «coffrent» le pli-faille (portions de cercle noires entre les

FIGURE 6. À gauche du marteau, les blocs de calcaire autochtones qui composent le till de fond; à droite, des blocs précambriens uniquement présents dans la partie supérieure de ce till (photo M. Cloutier).

Left from hammer are the autochthonous limestone blocks found in the till; right from hammer are Precambrian fragments seen only in the upper part of the till.



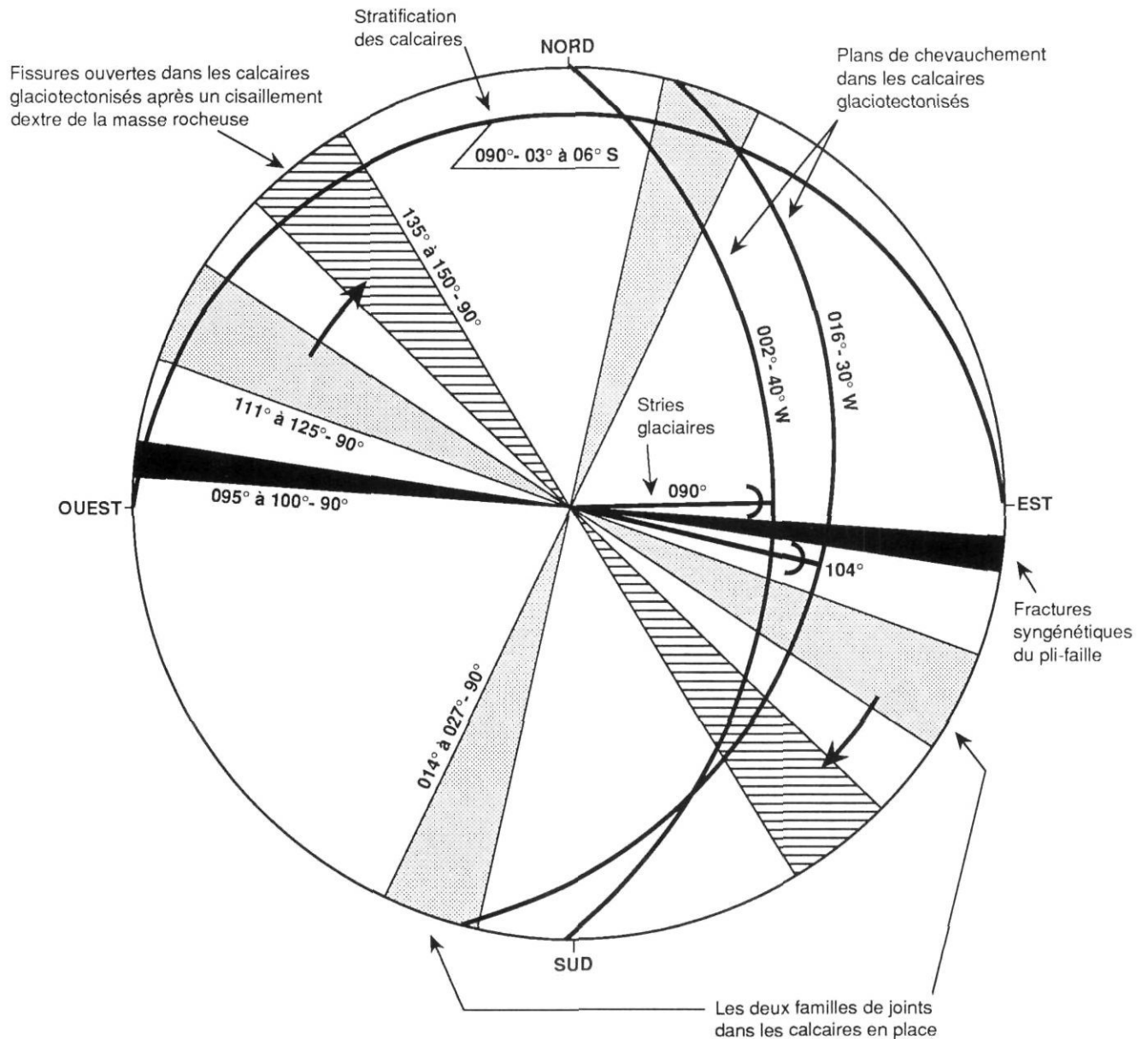


FIGURE 7. Canevas de Wulff présentant les éléments structuraux étudiés et leur relation possible avec les mouvements glaciaires.

Wulff net showing studied structural features and possible relation with glacial movements.

stries glaciaires). Les mouvements glaciaires qu'impliquent les stries avec polarité vers l'est (090° et 104°N) nous semblent être le moteur de cette néotectonique. Si tel est le cas, les fissures ouvertes et remplies de till à l'aval-mouvement dans le lambeau n° 3 et illustrées par les portions de cercle hachurées sont bel et bien le résultat d'un cisaillement dextre de cette partie du massif rocheux. Ces fissures ouvertes sont des joints ayant subi une rotation vers la droite qu'illustrent les flèches noires. On le voit, la néotectonique qui affecte les calcaires de Neuville et les mouvements glaciaires locaux s'accordent parfaitement. Les trois lambeaux de calcaire de Neuville constituaient une petite butte-témoin sur le Deschambault. Cette butte a fonctionné comme un «crag-and-tail» et se serait partiellement disloquée sous une poussée

glaciaire venant de l'ouest. À l'amont du mouvement le lambeau n° 1 n'aurait subi qu'un glissement latéral; le lambeau n° 2 écrasé entre les deux autres lambeaux se serait effrité, plissé et raccourci en suivant des plans de chevauchement qui sont autant de «failles de rampe». Le lambeau n° 3 derrière les deux précédents par rapport au mouvement de la glace se trouvait à être moins comprimé (*lee side position*) ou encore faisait-il partie d'une masse rocheuse plus importante que les lambeaux visibles. Quelle que soit l'hypothèse, il a opposé une plus grande inertie que les deux lambeaux précédents, servant de butoir contre lequel le lambeau n° 2 s'est écrasé et lui-même se disloquant à l'aval-mouvement à la suite d'un cisaillement dextre de sa masse. Cette rotation d'environ 25° vers la droite positionnait les joints préexistants dans une

direction où les contraintes sont les plus faibles par rapport à une poussée venant de l'ouest. Ce faisant, les joints du Neuville se sont ouverts, ont été colmatés par du till et s'arrêtent au contact avec le Deschambault.

Un point reste à discuter : celui des mouvements glaciaires tels qu'observés sur notre site par rapport à ce qui est connu dans la région au sens large et les conséquences qu'il faut en tirer. Tout autour de Pont-Rouge, les stries glaciaires attestent principalement d'écoulements glaciaires dirigés du nord vers le sud, bien que l'on connaisse aussi quelques marques glaciaires orientées ouest-est, et ce du nord de la ville de Québec aux monts Notre-Dame (LaSalle *et al.*, 1979; Lortie et Martineau, 1987). Tous ces auteurs suggèrent que l'écoulement glaciaire vers l'est fût favorisé par l'apparition d'une baie de vélage dans l'axe de la vallée du Saint-Laurent à la toute fin du Wisconsinien. Cependant, Chauvin, Martineau et LaSalle (1985) se montrent moins catégoriques à ce sujet et ne prennent pas position en ce qui concerne l'âge des stries ouest-est, qui pourraient remonter autant à un écoulement ancien qu'à un écoulement tardiglaciaire. Nos présentes observations appuieraient plutôt l'hypothèse d'un écoulement ancien ouest-est. En effet, si les stries ouest-est du site étaient dues à une inflexion locale d'un mouvement nord-sud à cause de la baie de vélage, on devrait trouver au moins quelques blocs de roche précambrienne à la base du till vu que le Bouclier n'est qu'à 2 km au nord. Or ceux-ci n'existent qu'en faible proportion (<1/3) dans le haut du till exclusivement. D'autre part, au Tardiglaciaire, il est entendu que l'épaisseur de la calotte a diminué de beaucoup. De ce fait les contraintes à la semelle du glacier sont plus faibles; or, d'un simple point de vue mécanique, les contraintes à la surface des roches ont dû être maximales pour qu'apparaissent en profondeur les contraintes de cisaillement responsables des déformations du substratum. Enfouies sous près de 10 mètres de till de fond, ces déformations glaciotectioniques n'ont eu que peu de chance d'apparaître sous la calotte allégée au Tardiglaciaire. Comme il nous est apparu que le till de fond, les stries glaciaires d'une part, et les déformations glaciotectioniques de l'encaissant d'autre part, sont syngénétiques, la concomitance de ces faits cadre mieux avec un écoulement régional ancien. La discussion reste cependant ouverte. Enfin, si d'autres sites analogues à celui de Pont-Rouge sont découverts, il faudra bien reconsidérer certaines conclusions théoriques acceptées concernant le régime thermique sous-glaciaire. En effet, depuis 1971, Moran a montré de façon satisfaisante que les glaciers d'inlandsis sont capables de déformer un substrat cohérent lorsque leur base est gelée. Il s'en est suivi la théorie thermique sous-glaciaire encore en usage actuellement qui permet d'expliquer bien des perturbations glaciotectioniques du substrat (*cf.* par exemple Clayton et Moran, 1974; Christiansen et Whitaker, 1976; Andrews, 1980;...). À Pont-Rouge cependant, nous venons de voir que tout converge pour que les dislocations glaciotectioniques soient apparues lors d'un maximum glaciaire, sous un glacier à base non gelée.

CONCLUSION

Grâce à un effondrement fortuit donnant accès à la zone de contact entre un till de fond et l'encaissant, une néotec-

tonique complexe d'origine glaciaire a été mise en évidence. Sur la courte distance de 40 m, un mouvement glaciaire venant de l'ouest a réussi à déplacer, failler et déloger des calcaires subhorizontaux en bancs minces. La matrice plastique à la base du till de fond a servi de lubrifiant, et des stries glaciaires sont même apparues entre les calcaires glaciotectionisés et ceux qui n'ont pas bougé. Ce site nous pousse à reconsidérer les modalités de la néotectonique d'origine glaciaire dans les substrats cohérents. En effet, jusqu'à maintenant, le concept d'écaille glaciotectionique dont la surface pouvait atteindre le kilomètre carré servait de référence principale (Viète, 1960; Durand, 1978). On en déduisait naturellement que les formes de compression (pli coffré, pli-faille) se situaient surtout du côté aval-mouvement de l'écaille, tandis que les dislocations suivant les diaclases et les fissures ouvertes se trouvaient dans les zones de traction de l'écaille, principalement à son amont-mouvement ou dans les zones de frottement avec l'encaissant non déplacé.

Le site de Pont-Rouge a montré qu'en fait les perturbations du substratum dues à des forces de compression ou de traction peuvent aussi cohabiter intimement. Comme le till qui a servi d'interface entre le glacier et le substrat n'a pas été érodé, il a conservé jusque dans les moindres détails les formes de dislocation de l'encaissant. De leur étude préalable, nous favorisons l'hypothèse génétique suivante : c'est au plus tard durant le maximum glaciaire du Wisconsinien supérieur que les calcaires de Neuville ont été perturbés, c'est-à-dire quand, pour la dernière fois, les contraintes ponctuelles de surface à la semelle du glacier ont engendré en profondeur jusque dans l'encaissant un maximum de contraintes de cisaillement, ici moteur d'un glaciotectionisme aussi efficace que celui dû aux glaciers à base froide. Dans la logique de cette hypothèse, la calotte glaciaire s'écoulait localement vers l'est.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement Daniel Caron pour son aide précieuse sur le terrain ainsi qu'André Parent pour la préparation de l'iconographie. Marc Durand, Michel Parent, Jean-Claude Dionne et Nicole Carette ont fait d'intéressantes suggestions pour améliorer le texte. Cette recherche a été partiellement subventionnée par une bourse de dépenses courantes du CRSNG de Jacques Schroeder. Les observations sur le terrain ont été faites avec l'autorisation de la compagnie Domtar inc. et à la demande du ministère des Transports du Québec.

RÉFÉRENCES

- Andrews, D. E., 1980. Glacially thrust bedrock. An indication of late Wisconsin climate in western New York State. *Geology*, 8: 97-101.
- Ballivy, G., Loiselle, A., Durand, M. et Poirier, M. 1977. Caractéristiques géotechniques du secteur du Parc Olympique, Montréal. *Canadian Geotechnical Journal*, 14: 193-205.
- Beaupré, M., 1981. Le potentiel karstique du Québec. *In* Le karst de plate-forme de Boischatel et le karst barré de la Rédemption, état des connaissances. Société québécoise de spéléologie, Montréal, 111 p.

- Brodeur, D., 1987. Le rôle des processus périglaciaires dans l'érosion des rives du haut estuaire du Saint-Laurent, p. 411-425. *In* Y. Ouellet, édit. Comptes rendus Conférence canadienne sur le littoral. Conseil national de recherche Canada, comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorales, Ottawa.
- Chauvin, L., Martineau, G. et LaSalle, P., 1985. Deglaciation of the Lower St. Lawrence region, Québec. Geological Survey of America, Special Paper 197: 11-123.
- Christiansen, E. A. et Whitaker, S. H., 1976. Glacial ice thrusting of drift and bedrock. *In* R. F. Legget, édit., Glacial till, an interdisciplinary study. The Royal Society of Canada, Special Publication 12: 121-130.
- Clayton, L. et Moran, S. R., 1974. A glacial process-form model, p. 89-119. *In* D. R. Coates, édit., Glacial geomorphology. State University of New York, Binghamton.
- Durand, M., 1978. Classification des phénomènes et cartographie géotechnique des roches rencontrées dans les grands travaux urbains à Montréal, Canada. Proceedings of the IIIrd International Congress, International Association for Engineering Geology, 4-8 Sept. 1978, Section I, 1: 45-55.
- Durand, M. et Ballivy, G., 1974. Particularités rencontrées dans la région de Montréal résultant de l'arrachement d'écaillés de roc par la glaciation. Canadian Geotechnical Journal, 11: 302-306.
- Grice, R. H., 1972. Engineering geology of Montreal. 24^e Congrès international de géologie, Montréal, livret-guide B-18.
- LaSalle, P., Martineau, G. et Chauvin, L., 1979. Lits de bryophytes du Wisconsinien moyen, Vallée-Jonction, Québec. Journal canadien des Sciences de la Terre, 16: 593-598.
- Lortie, G. et Martineau, G., 1987. Les systèmes de stries glaciaires dans les Appalaches du Québec. Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Québec, DV 85-10, 45 p.
- Moran, S. R., 1971. Glaciotectionic structures in drift, p. 127-148. *In* R. P. Goldthwait, édit., Till: A Symposium. Ohio State University Press, Columbus.
- Schroeder, J., Beaupré, M. et Cloutier, M., 1986. Ice-push caves in platform limestones of the Montréal area. Canadian Journal of Earth Sciences, 23: 1842-1851.
- Schroeder, J. et Beaupré, M., 1985. Impacts des cavités glaciotectioniques sur l'aménagement urbain de Montréal, Canada. Colloque de karstologie appliquée. Liège 1984. Annales de la Société géologique de Belgique, 108: 69-75.
- Viète, G., 1960. Zür Entstehung der glazigenen Lagerungstörungen unter besonderer Berücksichtigung der Flozdeformation im miteldentschen Raum. Freiburger Forshungs Hefte C 78, Akademie Verlag, Berlin, 195 p.