

## IMPACTS DES CAVITES GLACIOTECTONIQUES SUR L'AMENAGEMENT URBAIN DE MONTREAL, CANADA

par

Jacques SCHROEDER<sup>1</sup> & Michel BEAUPRE<sup>2</sup>

(1 figure et 1 planche)

**RESUME.** - En 1982, un réseau souterrain de plus de 300 m de long est découvert sous des immeubles à appartements de St-Léonard (centre nord de l'île de Montréal). Les galeries, le plus souvent étroites, sont rectilignes à section rectangulaire et les murs présentent des traces d'emboîtement. Ce sont des cavités d'origine glaciotectonique datant du Wisconsinien supérieur probablement. L'épaisseur de l'encaissant (calcaires subhorizontaux à interlits de shale calcaireux) qui est affectée par des dislocations est d'au moins 15 m. Vu leur absence de relation avec les processus de surface, ces cavités sont difficilement repérables, et constituent une contrainte particulière pour la construction. Impacts des cavités sur les constructions et présentation des travaux réalisés "a posteriori" sur le site de St-Léonard. Discussion de critères susceptibles de localiser les zones où ces cavités sont probables : les forages, les méthodes indirectes, le contexte géologique et géomorphologique.

### **ABSTRACT.** - Influences of glacio-tectonic cavities on the city planning of Montreal, Canada.

An underground cave complex, more than 300 m long, was found in 1982 under apartments buildings located in the city of St-Leonard, on the northeastern side of Montreal's Island. The cave's galleries are linear, usually small, have a rectangular cross-section and fit-features have been observed on their walls. These caves are of glacio-tectonic origin and were probably formed during the upper Wisconsinian times. The tension features were developed in at least the upper 15 m of superficial rock, which is here composed of flat-lying thin layers of limestone interbedded with sub-centimetric laminae of calcareous shales. Detection of this kind of cavities is rendered very difficult due to their lack of relationship with surface processus; their very presence is thus to be considered as a non-negligible threat to construction works. Buildings defects related to the St-Leonard caves are discussed and "a posteriori" refecton works described. Criteria used to circumscribe potential caves bearing area are evaluated; these being geological and geomorphological contexts, geophysical surveys and drilling.

### **INTRODUCTION**

En région urbaine, l'ampleur, la complexité et le coût des travaux de construction nécessitent souvent d'importantes études géotechniques. Ainsi à Montréal de 1970 à 1978, le coût des excavations uniquement s'est élevé à 2 milliards de dollars (Durand, 1978). Les données géotechniques recueillies lors de ces travaux, non seulement ne figurent qu'exceptionnellement dans les rapports géologiques à cause de leur échelle et de leur caractère souvent privé, mais commencent seulement depuis quelques années à être rassemblées en banques de données d'autant plus indispensables que la densité et l'envergure des constructions sont plus grandes. A Montréal, après que la géologie régionale ait été bien décrite par Clark (1972), les données géotechniques ont permis de mettre en évidence un nouveau type de phénomènes : des vides structuraux dans les calcaires subhorizontaux à interlits de shale de l'Ordovicien. En effet Grice (1972), Durand & Ballivy (1974), Ballivy *et al.*, (1977) et Durand (1978) ont montré que

le substratum, sur une épaisseur pouvant aller jusqu'à 25 m, était perturbé par des failles inverses, des ouvertures centimétriques de diaclases verticales tant en contact avec la surface que localisées en profondeur et par des méso-plis de compression. Les auteurs en dégagent l'hypothèse que ces discontinuités résultent du passage des inlandsis quaternaires dont les mouvements ont permis l'arrachage des écailles de substratum ayant environ 1 km<sup>2</sup> de superficie, comme celles décrites par Viète (1960) en Europe.

En 1982, des citoyens de la municipalité de St-Léonard, au centre-nord de l'île de Montréal, se plaignent de petits affaissements dans leurs jardins, de l'apparition de petits trous dans les allées goudronnées, de fissures dans les fondations ou de l'enfoncement d'escaliers extérieurs en ciment. Tous ces phénomènes s'accroissent ou persistent d'année en année. La municipi-

<sup>1</sup> Université du Québec à Montréal, Canada.

<sup>2</sup> Hydro-Québec, Montréal, Canada.

palité fait alors creuser sur le site d'un de ces affaissements situé en bordure d'un immeuble à appartements. La pelle hydraulique dégage en surface un diamicton appuyé sur un plan vertical de diaclase ouverte dans les calcaires. A la base du plan de diaclase apparaît bientôt une ouverture qui donne accès à un réseau souterrain subhorizontal de près de 320 mètres de développement, sur lequel se greffent plus de 50 mètres de fissures non pénétrables mais bien observables (fig. 1). Ce réseau, entièrement dans les calcaires à interlits de shale, représente le vide naturel le plus important connu dans le substratum de l'île de Montréal.

### MORPHOLOGIE ET ORIGINE DES CAVITES

Qu'il s'agisse des fissures impénétrables ou des galeries de 2 à 3 m de large sur plus de 5 m de haut de ce réseau souterrain, la morphologie se ramène toujours aux mêmes données. Le plafond est horizontal et suit

l'éponte inférieure d'un banc de calcaire. Il est parfois légèrement écaillé ou percé de dômes et trémies ( $\phi$  1 à 1,5 m) qui remontent de 1 à 3 m. Le contact entre le plafond et les murs se fait toujours par l'intermédiaire d'un lit schisteux plus ou moins en retrait contenant des fragments angulaires de calcaire broyé. Les murs les plus fréquents sont plats, subverticaux et parallèles suivant la verticale de part et d'autres des galeries. Sur des murs se faisant face, on observe de petites irrégularités de relief qui s'emboîtent parfaitement, les "fit-features" de Halliwell (1980). Ces murs sont les plans de diaclases ouvertes ou de filonnets de calcite. Souvent les galeries dont les murs sont ainsi rectilignes, sont jointes par des galeries aux murs très irréguliers en plan et en coupe mais s'emboîtant parfaitement. Tous ces murs emboîtables sont les plus fréquents. En dehors d'eux, on trouve des murs rendus irréguliers par le décollement de petits dièdres de décompression ou d'affaissements modestes. Les galeries où on les trouve sont toujours plus larges que celles dont les murs s'emboîtent.

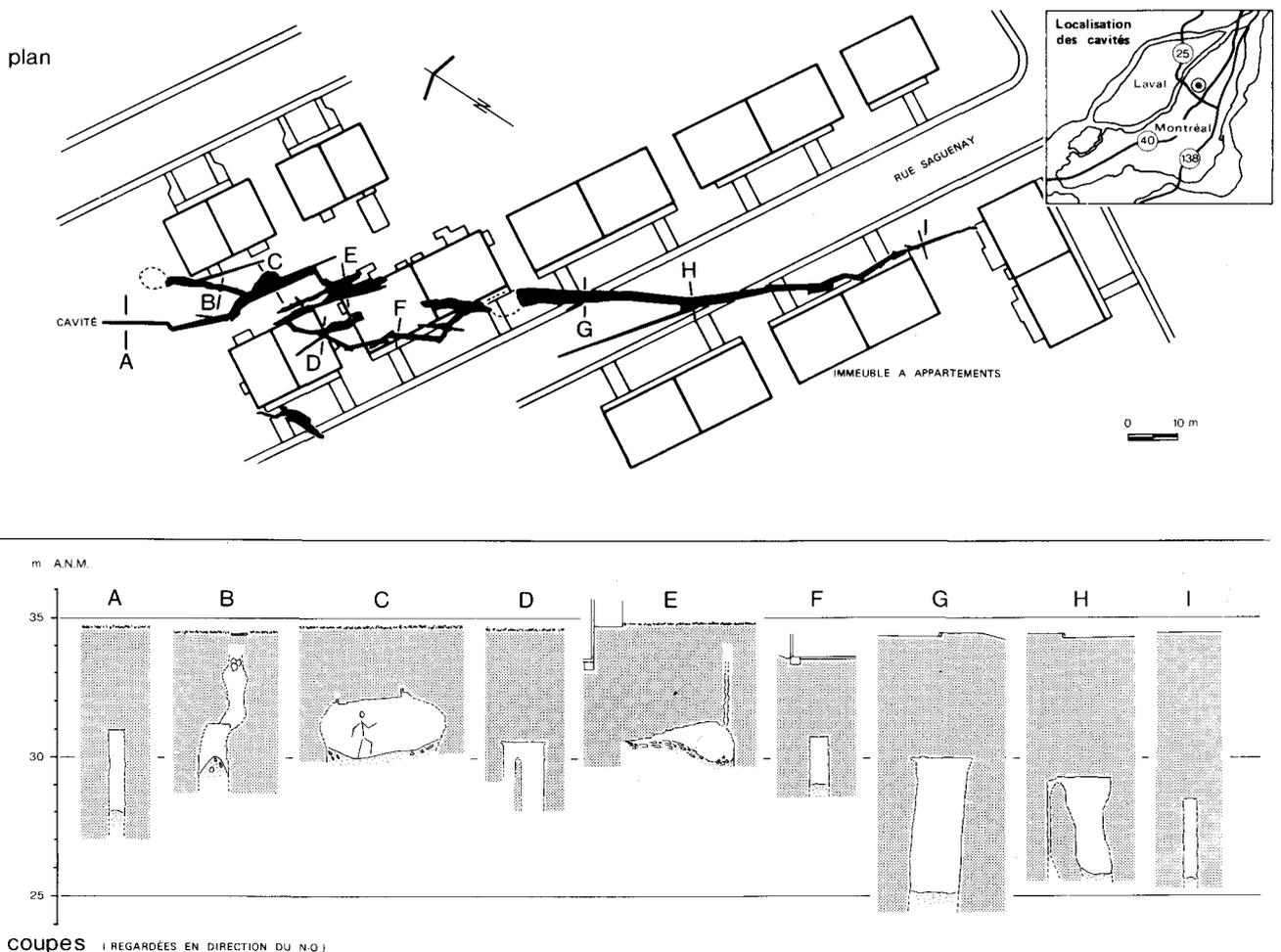


Figure 1. - Localisation des cavités par rapport aux constructions de surface. Les cavités décrites se trouvent à quelques mètres d'une petite cavité observée lors de la construction des immeubles en 1970. En pointillé, la position probable de deux dépressions visibles sur les photos aériennes antérieures à l'urbanisation. Coupes détaillées des principales galeries cartographiées. En A, C, D, F, G, H, I, le plafond et les murs d'origine structurale. En B une trémie de 1 m de diamètre environ et en E, affaissement dans le plafond qui communique avec une fissure verticale de dissolution.

Ces murs mécaniquement altérés cohabitent le plus souvent avec les plafonds à dômes, dans les zones du réseau souterrain plus proches de la surface, donc plus instables et plus sensibles à la "météorisation". L'altération mécanique des murs et des plafonds est donc un processus postérieur à l'ouverture des diaclases (Pl. 1). Comme on le voit, ce réseau souterrain dans des calcaires ne contient aucune forme karstique pénétrable. La dissolution en effet, n'a été repérée que dans 4 diaclases ouvertes de quelques centimètres dans les plafonds des galeries, soit au total une vingtaine de mètres de fissures impénétrables toujours à l'aplomb du réseau souterrain proprement dit ! L'étude détaillée de la topographie souterraine et des données structurales, géologiques et géomorphologiques de la région (J. Schroeder *et al.*, à paraître) montre que ce réseau souterrain s'explique par l'apparition de plans de cisaillement suivant des lits moins résistants de shale, du rejeu différentiel des blocs rocheux limités par ces plans horizontaux, ce qui entraîne l'ouverture de diaclases verticales entre ces interlits de shale.

Vu la direction générale du réseau, le mouvement qui a engendré ces discontinuités venait du NO et du N. En l'absence d'une topographie suffisante pour favoriser la gravité, nous pensons que ces cavités font aussi partie des dislocations engendrées par les poussées glaciaires, et qu'en l'occurrence elles seraient le plus grand vide souterrain connu résultant de ce processus. Pour reprendre le style imagé des auteurs anglo-saxons, nous sommes ici en présence de "ice pushing caves" et non de "mass movement caves" (Cooper, 1983). En dehors de la gravité, le seul autre agent invoqué dans la littérature est l'action des glaces du sol et spécialement des fentes en coin. Vu que les diaclases ouvertes sont couvertes d'un toit rocheux, ce processus ne peut évidemment être retenu, alors qu'il semble dans certains cas être efficace (Hedges, 1972). Ainsi, suite aux poussées glaciaires qui ont cisailé à au moins 2 niveaux la masse des calcaires et des shales, la zone rocheuse mitoyenne s'est disloquée. Les galeries rectilignes sont des diaclases ouvertes. Entre celles-ci, des galeries courtes emboîtables mais en dents de scie irrégulières montrent où ont cédé les "ponts de matière" plus étroits joignant les galeries rectilignes. Une fois ces vides initiaux apparus, ils se sont altérés là où le toit rocheux était trop mince ou inexistant ou ont servi de point bas pour les eaux d'infiltration responsables de la modeste dissolution hors-réseau. Ce genre de cavités n'a donc pas ou très peu de rapports avec la morphologie de surface. Elles constituent une contrainte particulière pour la construction car, dans la roche en place, elles ont échappé facilement aux relevés géotechniques habituels même les plus sophistiqués. Avant de discuter des méthodes susceptibles de cerner efficacement et à bas coût de tels vides, voyons en quoi le réseau souterrain connu a affecté les constructions à son aplomb.

## DOMMAGES AUX IMMEUBLES

Les immeubles impliqués ont été construits au début des années 70. Ils contiennent généralement 10 appartements et ont des dimensions moyennes de 30 x 15 x 10 m, tous ont un sous-sol aménagé en garage et/ou en appartement.

Ces structures et les terrains limitrophes, qu'ils soient situés au-dessus ou près du réseau de vides, montrent un certain nombre de phénomènes de fissuration, de tassement et/ou de soutirage. Les fissures, souvent subverticales, recoupent les murs de béton et parfois de briques, tant extérieurs que mitoyens. Elles ont des ouvertures généralement millimétriques. Dans certains cas, elles semblent montrer des relations assez évidentes avec la présence des vides sous-jacents connus, alors que dans beaucoup d'autres endroits cette relation n'est pas claire; soit qu'il s'agisse de parties non explorées du réseau, soit de fissures reliées à des phénomènes de retrait du béton. Ces premières fissures sont provoquées par le tassement des matériaux de remblayage déversés dans les orifices des cavités plutôt que par l'effondrement des voûtes rocheuses des galeries. Les matériaux meubles, lentement soutirés vers le bas par les fluctuations de la nappe d'eau, voient leur capacité portante diminuer et des vides sous la semelle des immeubles apparaissent. C'est ce qui occasionne des tassements différentiels dans les fondations des immeubles assises tant sur le rocher que sur des remblais peu compactés. Les structures se trouvent donc en porte-à-faux et se fissurent lentement, mais continuellement.

Les phénomènes de tassement et de soutirage semblent constituer de bien meilleurs indicateurs de la présence de vides sous-jacents, qu'ils soient connus ou extrapolés à partir des données disponibles. Ces phénomènes correspondent souvent en position à des effondrements de voûtes ou à la présence de joints ouverts dans les plafonds des galeries. Ils sont de faible ampleur (métrique) et localisés. Ils ont toutefois tendance à évoluer dans le temps, contrairement aux phénomènes de tassements différentiels reliés à un mauvais compactage des sols. Dans tous les cas, vu l'évolution très lente de ces vides, les dommages résultent plus d'une évolution à long terme que d'événements catastrophiques.

Des travaux de réfection ont été réalisés sur l'immeuble qui paraissait le plus affecté par les tassements différentiels. Ainsi une semelle d'un mur fissuré a été reprise en sous-oeuvre, et des aires goudronnées ont été réparées. On a également injecté du béton de masse via une diaclase ouverte dans une section de galerie dont la voûte était partiellement constituée de diamictons et remblais divers et qui était située sous une aire goudronnée et l'emprise de l'immeuble. L'opération avait pour but de colmater cette section, augmenter la capacité portante des voûtes et diminuer ainsi le

risque d'affaissement des aires construites. Enfin, une étude détaillée, par cartographie et forages non destructifs des vides et leurs voûtes, a permis de recommander des travaux préventifs et locaux de consolidation pour des endroits spécifiques du réseau.

## METHODES DE LOCALISATION DES CAVITES GLACIOTECTONIQUES

Un relevé cartographique utilisant une boussole précise au demi-degré, un niveau automatique et un ruban métrique a permis de préparer le plan détaillé au 1 : 100 des immeubles et des structures de surface sur lequel on a ajouté en trame le plan des cavités sous-jacentes (fig. 1) pour ainsi voir quelles correspondances il était possible d'établir entre ces vides et les dommages observés. Les forages ont confirmé que ce relevé avait une exactitude supérieure à 99 0/o. Des examens photogéologiques, géologiques et géomorphologiques ont été menés de pair avec ce relevé. A cela s'est ajouté un levé détaillé au géoradar, demandé tant par les propriétaires que par la municipalité pour définir la position, la profondeur et les dimensions des vides connus ou supposés.

Cette méthode électro-magnétique récente utilise des ondes émises par une antenne et réfléchies par des objets enfouis (cavité) ayant des propriétés électriques différentes. Ces anomalies entraînent une réflexion partielle des ondes émises vers la surface du sol et l'antenne de réception. La profondeur de l'anomalie est calculée en se basant sur les temps de transit et les vitesses de propagation retenues pour les sols investigués. Les systèmes actuels présentent toutefois certaines limitations de sorte que les ondes réfléchies et/ou leurs patrons sont parfois impossibles à interpréter. Des essais en laboratoire ont d'ailleurs démontré que ce type d'appareil est très sensible aux variations diélectriques des sols de sorte que les signaux de retour sont souvent masqués par un bruit de fond important (Bowders *et al.*, 1982). Le gazon, l'asphalte, le béton, les conduites souterraines, les blocs, troncs d'arbres, pièces métalliques ou autres, les contacts stratigraphiques sont souvent source d'anomalies. Ainsi à St-Léonard malgré le fait que les conditions géologiques aient été propices à l'utilisation d'un tel appareil (dépôts minces, terrain plat, vides connus et peu profonds, parfois de bon gabarit) il a été pratiquement impossible de retrouver une correspondance entre les anomalies géophysiques et les vides sous-jacents dont, rappelons-le, la position, les dimensions et la profondeur étaient connus a priori. L'utilisation d'autres méthodes géophysiques avait été rejetée à cause de l'urbanisation poussée du secteur, de l'importance des bruits de fond, de l'imprécision relative des méthodes, de l'inaccessibilité de certains secteurs construits, des rapports élevés de coûts/bénéfices, du contexte très particulier des cavités.

Un programme de forage non destructif, par rotation mais sans *diagraphies*, fut entrepris afin de connaître le secteur des anomalies signalées au géoradar et confirmer la position exacte des galeries sous-jacentes afin d'apporter les corrections nécessaires à la cartographie du réseau. Ces forages ont de plus permis de préciser la stabilité des voûtes et d'indiquer quels étaient les endroits où des travaux de consolidation s'avéraient nécessaires ou indispensables.

## CONCLUSION

Voilà donc un cas où les méthodes spéléologiques ont apporté un maximum d'informations détaillées sur la position, la nature, l'origine, la stabilité des cavités explorées. Ces méthodes directes d'observation ont été en quelque sorte à l'amont de toute l'investigation géotechnique, en ce qu'elles ont été suffisamment précises pour permettre de définir un cadre de référence et élaborer un plan détaillé de forages, de relevés géophysiques, d'examen photogéologiques, géologiques et géomorphologiques.

Les méthodes géophysiques dans un contexte urbain comme celui de Montréal se sont avérées jusqu'ici plus ou moins inefficaces pour localiser ou délimiter de tels vides, ou du moins en définir un tant soit peu les grandes caractéristiques. Ce n'est probablement qu'avec le temps et l'augmentation des données disponibles à ce sujet qu'il nous sera possible de définir plus adéquatement le cadre géologique et géomorphologique dans lequel on pourra retrouver de tels réseaux souterrains. Entretemps la découverte de nouvelles cavités se fera probablement de façon fortuite, au hasard des excavations, des investigations géotechniques ponctuelles, des affaissements ou soutirages, voire de l'exploration spéléologique elle-même. Ces nouveaux cas auront intérêt à être étudiés par des méthodes d'observation directes telles la cartographie et le forage aidé de géocaméras, caméras de télévision ou de périsopes.

## BIBLIOGRAPHIE

- BALLIVY, G., LOISELLE, A., DURAND, M. & POIRIER, M., 1977. Caractéristiques géotechniques du secteur du Parc Olympique, Montréal. *Revue Canadienne de géotechnique*, 14 (2) : 193-205.
- BOWDERS, J.J., LORD, A.E.jr. & KOERNER, R.M., 1982. Sensitivity Study of a Ground Probing Radar System. *Geotechnical Testing Journ.*, GTJODJ, 5 (3-4) : 96-100.
- CLARK, T.H., 1972. Rapport géologique. La région de Montréal. R.G. 152, Min. des Richesses Naturelles, 244 p.
- COOPER, R.G., 1983. Mass movement caves in Great Britain. *Studies in Speleology*, IV : 37-44.
- DURAND, M., 1978. Classification des phénomènes et cartographie géotechnique des roches rencontrées dans les grands travaux urbains à Montréal, Canada. *Proceeding of the III International Congress I.A.E.G.*, Sec. I, 1 : 45-55.

- DURAND, M. & BALLIVY, G., 1974. Particularités rencontrées dans la région de Montréal résultant de l'arrachement d'écaillés de roc par la glaciation. *Revue Canadienne de géotechnique*, II (2) : 302-306.
- GRICE, R.H., 1972. Engineering geology of Montreal. *Géologie de l'Ingénieur à Montréal*. Livret-guide B-18, 24e Congrès Géol. Int., Montréal, Québec.
- HALLIWELL, R.A., 1980. Warm Holes. *J. Craven Pothole Club* 6 : 107-108.
- HEDGES, J., 1972. Expanded joints and other periglacial phenomena along the Niagara escarpment. *Biul. perygla.* 21 : 87-126.
- SCHROEDER, J., BEAUPRE, M. & CLOUTIER, M., à paraître. Ice-pushing caves in platform limestones. Their significance on Wisconsin and Holocene climates in Montreal area.
- VIETE, G., 1960. Zur Entstehung der glazigenen Lagerungsstörungen unter besonderer Berücksichtigung der Flözdeformation in mitteldeutschen Raum. *Freiberger Forschungs Hefte* 78, Berlin, Akad. Verlag., 195 p.

**PLANCHE 1**

Le réseau sud, vue vers la coupe G de la fig. 1. A l'avant-plan les murs sont affectés de décollement de petits dièdres. A l'arrière-plan, le cadre blanc souligne la topographie plane des murs et du plafond.

