

PROBLÉMATIQUE

La majeure partie du Québec habité repose sur des sols argileux, parfois mous ou sensibles, qui subissent des tassements sous de faibles charges ou qui peuvent glisser sous l'effet d'une surcharge, d'une érosion continue, d'une forte pluie ou de surpressions interstitielles. La construction des infrastructures sur ce type de sol est source de problèmes. Il faut chercher de nouvelles méthodes pour mieux le caractériser, pour en estimer le tassement, pour limiter les déformations de la route ou de l'ouvrage d'art qu'il soutient et pour éviter une rupture de remblai ou un glissement de terrain dangereux et coûteux. Il faut aussi disposer des bons outils. Le piézocône est un de ceux-là.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Le piézocône est un outil de sondage *in situ* (figure 1), foncé à une vitesse constante de 1 cm/s, et comprenant divers capteurs électroniques qui mesurent la résistance en pointe q_p , la pression interstitielle u_p et la résistance au frottement f_s . L'utilisation de l'électronique et de l'informatique permet l'obtention de données précises et très détaillées, des mesures étant généralement prises tous les 10 mm. Le fonçage de la sonde est arrêté automatiquement si l'inclinaison ou les pressions mesurées sont trop importantes. La figure 2 présente un exemple des profils de valeurs obtenus en fonction de la profondeur. Lorsque la sonde traverse des horizons de sol drainant (couche sableuse), l'appareil peut aussi être utilisé comme un piézomètre pour mesurer les pressions interstitielles, qui s'y stabilisent rapidement lorsque le piézocône est arrêté. Les données sont enregistrées sur support informatique et peuvent être transmises rapidement par modem et câble téléphonique, ou directement du chantier par téléphone cellulaire, ce qui permet au chargé de projet d'ajuster rapidement la campagne de sondage aux conditions de sol. L'appareillage exige un entretien rigoureux, ainsi qu'un étalonnage régulier des capteurs.

Bien qu'existant depuis près de trente ans, l'utilisation plus généralisée du piézocône s'est surtout développée dans la dernière décennie. Outre le ministère des Transports du Québec (MTQ), deux entreprises du Québec disposent de cet appareil, qui fait encore l'objet de recherches importantes sur le plan international. L'Université Laval et le MTQ collaborent depuis près de dix ans au développement de cet outil. Ce partenariat a permis de mettre au point des approches innovatrices en géotechnique, notamment en ce qui a trait au dimensionnement des pieux, aux études de stabilité des talus naturels et de glissements de terrain ainsi qu'à la conception de remblais.

DIMENSIONNEMENT DES PIEUX

La construction d'infrastructures de transport requiert souvent de fortes capacités portantes des sols pour assurer leur viabilité. Les capacités portantes insuffisantes des sols argileux représentent un problème fréquent, et des pieux sont souvent utilisés pour y remédier. Le dimensionnement des pieux agissant en frottement est généralement basé sur des méthodes empiriques, et la variabilité des résultats oblige à une grande prudence. L'utilisation des contraintes effectives dans le sol permet d'évaluer le frottement agissant sur les parois du pieu. Cette méthode a cependant tendance à surestimer la capacité réelle dans les sols très mous et à être trop conservatrice dans les argiles très raides. En utilisant le piézocône, une nouvelle méthodologie a été mise au point; elle consiste à simuler un essai de chargement sur un pieu miniature (Leroueil *et al.*, 1995). Cette approche présente l'avantage de correspondre au même type de sollicitation que pour un pieu en service; elle a permis d'améliorer grandement le dimensionnement des fondations sur pieux.

Les coûts liés à l'utilisation de pieux ont pu être réduits grâce à cette technique. Dans quatre cas récents (ponts de Berthierville en 1999, de Maskinongé en 1998, de Louiseville en 1997 et du quai de Sorel en 1996), le nombre de pieux a été réduit du tiers dans chaque cas, ce qui a permis de faire des économies de 100 000 \$ à 150 000 \$ à chaque endroit comparativement à un dimensionnement conventionnel. Les coûts liés à la réalisation des sondages sont infimes comparativement aux économies réalisées à l'étape de la construction. La fiabilité et la pérennité des ouvrages constituent d'autres avantages de l'utilisation de cette technique.

ÉTUDES DE STABILITÉ DES TALUS NATURELS ET DE GLISSEMENTS DE TERRAIN

Chaque année au Québec, des sections de routes sont coupées ou endommagées par des glissements de terrain de diverses envergures, ce qui a un impact socioéconomique sur la région touchée. Dans le cas d'un glissement de terrain, le piézocône est utilisé pour établir précisément la surface de rupture, ce qui permet de mieux planifier et d'optimiser les travaux de confortement. Dans le cas des talus argileux naturels, le piézocône peut déceler des zones de sol ramolli et, donc, déterminer des pentes à stabilité précaire.

À Maskinongé, en 1990, il a été possible de circonscrire un secteur adjacent au glissement de terrain nécessitant des travaux de confortement; le piézocône a permis de délimiter la zone affectée par un premier glissement rotationnel (Demers *et al.*, 1999). Cette

méthodologie de prévention, qui présente un intérêt pour la gestion du risque (Robitaille et Demers, 1999 et bulletin *Info DLC*, vol. 4, n° 11, nov. 1999), ouvre aussi de nouveaux horizons pour la recherche sur la stabilité des pentes. Les approches actuelles en matière de calculs de stabilité, dont les bases sont empiriques, devront être revues pour tenir compte de la présence de ces zones de sol ramolli, dont les propriétés sont différentes du sol intact environnant.

Un des avantages du piézocône dans ce domaine est donc de délimiter avec précision les zones argileuses instables, ce qui est particulièrement utile dans la vallée plus densément peuplée du fleuve Saint Laurent. En plus de l'aspect sécurité, les économies réalisées à l'occasion des travaux de mitigation peuvent être importantes en évitant le surdimensionnement d'ouvrages de stabilisation de talus, comme cela a été le cas à de nombreuses occasions à la suite du déluge au Saguenay en 1996.

CONCEPTION DES REMBLAIS

Dans les sols argileux, le piézocône est principalement utilisé pour obtenir des profils détaillés des propriétés mécaniques (résistance au cisaillement et pression de préconsolidation). La corrélation des résultats de laboratoire ou d'autres essais *in situ* avec les données du piézocône permet d'extrapoler des valeurs à l'ensemble d'un site et de faire des économies au regard des coûts d'investigation. Dans le cas des remblais d'accès aux ponts, la contrainte de préconsolidation des sols argileux ne doit pas être dépassée si l'on veut éviter les tassements excessifs du sol de support argileux dus à un remblai trop lourd. Cette valeur critique doit donc être déterminée avec précision, particulièrement en ce qui a trait au dimensionnement d'un noyau léger installé dans le remblai. L'utilisation du piézocône a été particulièrement utile pour les cas de Saint-Aimé (1998), de Saint-Roch-de-l'Achigan (1999) et, surtout, de Rimouski (1999) (*Info DLC*, vol. 4, n° 7, juillet 1999, et D'Astous et Demers, 2000).

À Rimouski, grâce au piézocône et à l'échantillonneur à grand diamètre, l'épaisseur du noyau a pu être diminuée de moitié comparativement à un dimensionnement réalisé au moyen des appareils conventionnels, ce qui a permis de faire une économie de polystyrène et de fibre de bois de l'ordre de 1 M\$.

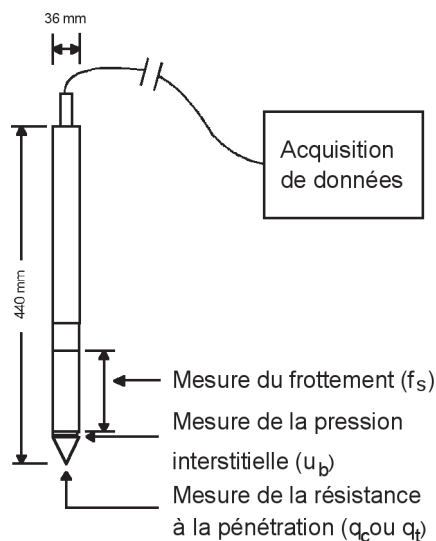


Figure 1 : Schéma du piézocône

CONCLUSION

Le piézocône est un puissant outil de reconnaissance qui fournit en continu les caractéristiques des sols de manière précise et à faibles coûts comparativement aux méthodes conventionnelles. Il n'élimine pas la nécessité de faire des essais de laboratoire. Il permet de réaliser des économies au regard du coût des travaux d'investigation et d'optimiser le dimensionnement et la pérennité des ouvrages tout en les rendant plus sécuritaires. Les gains les plus substantiels sont liés au coût de la construction. Le MTQ utilise cet appareil depuis 1990 et en intensifie l'utilisation chaque année.

RÉFÉRENCES

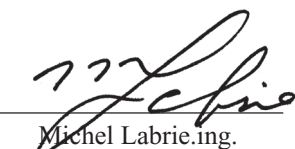
D'Astous, J. et Demers, D. 2000, « Construction d'un remblai léger en polystyrène et en fibre de bois sur l'autoroute 20 à Rimouski », *Innovation-Transport*, ministère des Transports du Québec, n° 8, juin 2000.

Demers, D., Leroueil, S. et d'Astous, J. 1999, « Investigation of a Landslide in Maskinongé, Québec », *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 36, p.1001-1014.

Leroueil S., Demers D., La Rochelle P., Martel G., Virely D. 1995, « Practical Use of the Piezocone in Eastern Canada Clays », CPT '95, International Symposium on Cone Penetration Testing, Linköping, Swedish Geotechnical Institute, Report 3:95, p. 515-522.

Robitaille, D. et Demers, D. 1999, « Risques associés aux glissements de terrain », *Revue Générale des Routes et Aérodrômes*, numéro spécial Canada-Québec, automne 1999.

RESPONSABLE : Denis Demers, ing. M. Sc.
Service géotechnique et géologie

DIRECTEUR : 
Michel Labrie.ing.

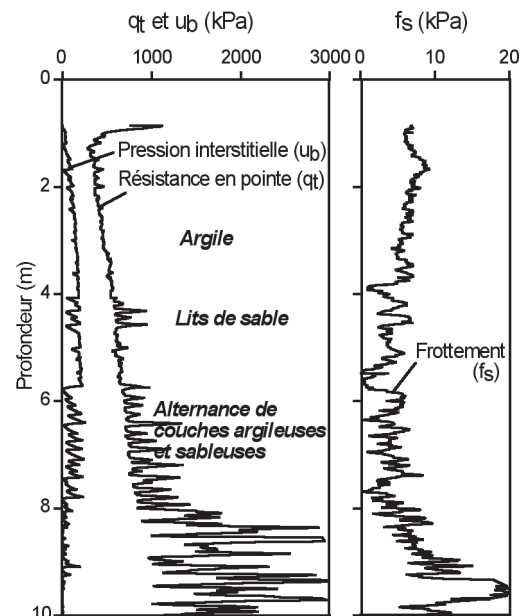


Figure 2 : Profils des mesures de pressions