

## Introduction

Sur le réseau routier du Québec, plusieurs problèmes liés à la formation de cavités au voisinage de ponceaux nécessitent l'intervention rapide du ministère des Transports du Québec (MTQ) avant leur effondrement, qui causerait un danger évident pour les usagers de la route. Afin d'améliorer les méthodes de détection de ces cavités dans les remblais souvent liées à des bris de ponceaux, le MTQ a subventionné un projet de recherche sur l'application de la méthode MASW (Modal Analysis of Surface Waves). Cette méthode utilise l'analyse multimodale des ondes de Rayleigh pour déterminer, à partir de la surface, des profils de rigidité exprimés en termes de Vs (vitesse de l'onde de cisaillement) ou Gmax (module de cisaillement dans le domaine élastique). Le projet de recherche a été réalisé par l'Université de Sherbrooke entre 2000 et 2004. La compagnie Géowave a ensuite été créée afin de se spécialiser dans l'application et la poursuite du développement de la méthode. La méthode MASW a été sélectionnée en raison de sa rapidité d'exécution sur le terrain, son faible coût, son accessibilité, la réduction du nombre de sondages et la cohérence des résultats. De plus, il s'agit d'une méthode non destructive.

## Description des travaux

En collaboration avec Géowave et différentes directions territoriales, des relevés MASW ont été effectués au cours des dernières années sur différentes routes du Québec afin de vérifier l'efficacité de la méthode. Les relevés avaient pour objectif de détecter des anomalies (cavités ou zones lâches) dans les remblais routiers pouvant résulter de la perte de matériaux par des fissures ou des bris de ponceaux. Pour l'enregistrement de ces relevés, des capteurs sont disposés à la surface de la chaussée de manière à longer les parois des ponceaux et ils sont tous reliés ensemble jusqu'à une boîte d'acquisition des données qui sont ensuite interprétées pour déterminer les vitesses Vs1 des différents matériaux de remblai (figure 1). Des forages sont ensuite faits près des anomalies détectées afin de confirmer leur présence.

## Analyse des résultats

Dans la majorité des cas, les anomalies détectées par la méthode MASW ont été confirmées par forage. Cependant, il est impossible d'établir un pourcentage de réussite, car, contrairement aux capteurs, les forages ne peuvent pas être faits directement au droit des parois des ponceaux pour ne pas les endommager. La méthode permet donc d'avoir une très bonne idée des endroits

où sont situées les anomalies même s'il y a parfois de légères différences entre les résultats obtenus par les relevés MASW et les sondages. Pour l'ensemble des sites étudiés, ce sont surtout de petites cavités ou des zones de faible densité qui ont pu être observées. La figure 2 montre un exemple d'anomalie détectée.

Nous constatons que la méthode permet d'obtenir une caractérisation à un moindre coût qu'avec des forages, comme le montre le tableau comparatif (tableau 1). Le patron type de 16 forages montré à la figure 3 a été utilisé pour le calcul approximatif des coûts.

**Tableau 1 – Comparaison des coûts en 2010 pour chaque méthode**

FORAGE			MASW	
Temps d'opération	Profondeur atteinte*	Coût **	Temps d'opération	Coût **
35 heures	3 m par trou	6 700 à 9 500 \$	Environ une demi-journée	4 000 à 6 000 \$
45 heures	6 m par trou	8 600 à 12 200 \$	Environ une demi-journée	4 000 à 6 000 \$
90 heures	9 m par trou	17 100 à 24 300 \$	Environ une demi-journée	4 000 à 6 000 \$

\* Plus le ponceau est profond, plus la profondeur augmente

\*\* N'inclut pas le coût de la signalisation

## Conclusions et recommandations

La rapidité d'exécution sur le terrain (30 à 50 m de relevés par jour), la facilité de reconnaissance de zones lâches ou décompactées, l'application possible sur tous les types de sol et le faible coût sont des aspects intéressants de la méthode. De plus, elle permet d'obtenir une densité importante d'informations en continu sur une ligne de relevés comparativement aux forages qui permettent seulement d'obtenir des informations ponctuelles.

Nous recommandons donc d'utiliser la méthode au droit des ponceaux quand il est probable qu'une cavité est en cause (présence d'un affaissement sur la route) ou lorsque la densité d'un remblai est à vérifier. Il est ensuite possible de faire quelques

forages pour s'assurer de la présence d'une anomalie. En ciblant les zones critiques à l'aide de la méthode MASW, le nombre de forages à faire s'en trouve considérablement réduit, d'où une économie considérable.

La validation complète de la méthode pour différentes conditions (p. ex. : présence de gel) et son amélioration pourront se faire avec le temps si la méthode est utilisée dans ce type de projet. Nous encourageons donc les différentes directions territoriales à poursuivre la collaboration avec le Service de la géotechnique et de la géologie en nous signalant les cas potentiels de formation de cavités.

**Références**

KARRAY, M., et G. LEFEBVRE. *Détection des cavités sous les pavages par l'analyse modale des ondes de Rayleigh (MASW)*

Publié sur le site Web des Presses scientifiques du CNRC, à [rgc.cnr.ca](http://rgc.cnr.ca) p.424, Québec, 3 avril 2009.

RESPONSABLES :

*Bruno Paquet-Bouchard*  
 Bruno Paquet-Bouchard, ing.

*Gilles Grondin*  
 et Gilles Grondin, ing., M. Sc. A.  
 Secteur mécanique des sols  
 Service de la géotechnique et de la géologie

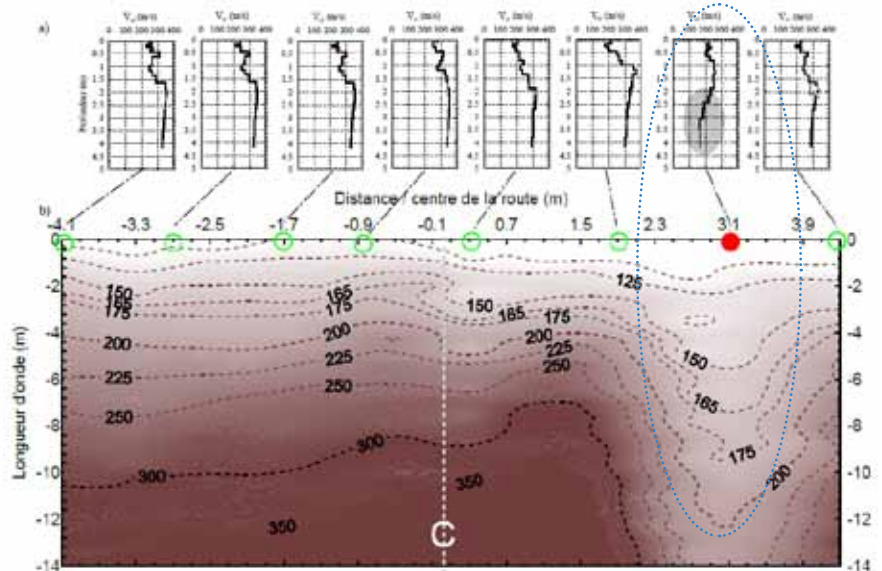
DIRECTEUR :

*Guy Tremblay*  
 Guy Tremblay, ing.

**Figure 1 – Exemple de disposition des capteurs au droit d'un ponceau**



**Figure 2 – Exemple d'une anomalie détectée**



a) Profils de vitesse des ondes de cisaillement  
 b) Vitesses de phase en fonction de la longueur d'ondes

**Figure 3 – Patron des 16 forages utilisé pour le calcul des coûts (profil et vue en plan d'un ponceau)**

