

### PROBLÉMATIQUE

La faible capacité portante des dépôts argileux oblige souvent le ministère des Transports du Québec (MTQ) à construire les ponts sur pieux. Les remblais d'approche de ces structures ou les remblais de route subissent d'importants tassements pendant des décennies après la construction. Cela nécessite de fréquentes corrections de profil, occasionne des dommages aux structures et compromet la sécurité des usagers. On peut envisager une préconsolidation du dépôt argileux avant construction par la pose de drains verticaux ou par la construction de contrepoids et surcharges. Toutefois, la consolidation peut s'étendre sur plusieurs années et se montrer insuffisante. On peut aussi construire le remblai avec des matériaux légers, tel le polystyrène, au moment de la construction ou après, mais cette solution est souvent onéreuse. Le présent bulletin traite de la consolidation des argiles par électro-osmose pour remédier efficacement aux problèmes de tassement des remblais existants.

### TRAVAUX RÉALISÉS

Les essais de laboratoire suivants ont permis d'optimiser en 1999 le traitement d'un dépôt argileux sous un remblai existant à Saint-Hilaire :

- les essais classiques de caractérisation géotechnique de l'argile;
- 34 essais de consolidation électro-osmotique tridimensionnelle dans une cellule d'essai à grand diamètre, sous un chargement simulant l'état de contrainte *in situ*, pour évaluer l'efficacité du transfert du potentiel électrique des électrodes à l'argile en place;
- 88 essais oedométriques pour déterminer la compression voulue de l'argile après traitement.

Le projet sur le terrain a été réalisé en 2000 à Saint-Hilaire. Ainsi, on a installé 24 électrodes espacées de 2 m (même signe) ou de 3 m (signe opposé) à travers le remblai pour traiter un massif argileux de 115 m<sup>2</sup> sur 6 m d'épaisseur, entre 8 m et 14 m de profondeur. Une différence de potentiel est appliquée entre les électrodes. L'électro-osmose résulte du mouvement des ions de l'anode (+) vers la cathode (-) et ce mouvement entraîne l'eau des pores par viscosité. Cette eau peut ressortir en surface par la cathode, mais on préfère l'évacuer de façon contrôlée par un système de pompage. L'effet produit a été mesuré en 2001. L'argile traitée a été caractérisée au moyen d'essais sur le terrain et en laboratoire. Deux profils d'échantillonnage en continu (tubes à

paroi mince) et 22 profils de résistance au scissomètre Nilcon ont été réalisés. Des échantillons ont été soumis à des essais oedométriques, de teneur en eau, de consistance et à des essais physicochimiques (pH, cations).

### RÉSULTATS OBTENUS

Les essais au scissomètre Nilcon ont permis de bien délimiter la zone d'argile molle traitée, en plan et en profondeur. Cette zone couvre toute la région déterminée par la portion active des électrodes, plus environ 0,5 m tout autour (sauf à l'arrière des anodes, où elle s'étend jusqu'à 1 m) et environ 0,6 m au-dessus et en dessous. La compression de l'argile, calculée à partir du volume des déformations mesurées en surface divisé par le volume traité, est de 12 % en 48 jours de traitement, ou 61 jours au total, incluant les arrêts en raison d'ajustements. La surface du terrain a baissé de 0,5 m. La figure 1 indique l'évolution du tassement et de la déformation dans le temps, en chantier et au laboratoire.

L'ensemble des mesures de la résistance au cisaillement non drainé ( $c_u$ ) obtenues au scissomètre se situe en moyenne entre 50 et 60 kPa, à l'exception des valeurs proches de 200 kPa au voisinage des anodes. Cela représente une augmentation moyenne de 100 % de la résistance (résistance initiale d'environ 28 kPa), sans tenir compte de la région des anodes. Le calcul de la consolidation de l'argile, effectué en prenant l'indice des vides initial et une compression de 12 %, donne un profil de résistance semblable aux résultats obtenus en chantier. L'effet de la consolidation par électro-osmose se compare donc bien à une simple consolidation mécanique, à l'exception de la zone des anodes. La prédiction de la résistance de l'argile peut donc être évaluée à partir de données géotechniques classiques : indice des vides initial, courbe de compression oedométrique, ratio  $c_u/\sigma'_p$ , déformation finale.

Le prélèvement de tubes à paroi mince, à mi-distance entre les électrodes de polarité opposée sur toute la profondeur, a permis une analyse détaillée en laboratoire. Les mesures de  $c_u$  en laboratoire correspondent bien aux mesures sur le chantier. La diminution de la teneur en eau mesurée correspond bien à la déformation mesurée et au gain de résistance de l'argile. Les nombreux essais oedométriques révèlent que la contrainte de préconsolidation ( $\sigma'_p$ ) a approximativement doublé sur toute l'épaisseur traitée, passant d'environ 100 kPa à environ 200 kPa.

Le rapport  $c_u/\sigma'_p$  demeure constant à 0,25 ou 0,26 avant et après traitement. Les limites d'Atterberg (limite liquide et limite plastique) sont inchangées à la suite du traitement. La sensibilité de l'argile a globalement diminué de moitié, proportionnellement à la réduction de la teneur en eau. Ces résultats indiquent encore que l'effet de la consolidation électro-osmotique se compare à une simple consolidation mécanique.

Une analyse physicochimique a été réalisée sur l'eau des pores extraite par compression des échantillons. Elle montre une diminution de la concentration en sodium (Na) et de la conductivité électrique, passant d'environ 1200  $\mu\text{mhos/cm}$  initialement à environ 800  $\mu\text{mhos/cm}$  à la suite du traitement. Le pH a subi une très légère augmentation. La baisse de la conductivité de l'eau des pores et de la teneur en eau amène également une diminution de la conductivité de l'argile à la suite du traitement. Cela a été observé pendant l'essai en chantier en réduisant le courant électrique dans le temps. Ces effets physicochimiques sont cependant négligeables à mi-distance entre électrodes de polarité opposée.

## DISCUSSION

Les résultats obtenus à la suite des essais sur le terrain se comparent bien à ceux effectués en laboratoire, à l'exception des résistances très élevées aux anodes en chantier. Les essais de laboratoire sur échantillons à grand diamètre d'argile intacte sont donc bien adaptés pour prévoir le comportement de la consolidation par électro-osmose sur le terrain. La courbe de compression unidimensionnelle, la perméabilité électro-osmotique et la résistivité du sol apparaissent comme les paramètres de base pour la conception d'un traitement électro-osmotique. On peut envisager de concevoir un traitement à partir du besoin en compression ( $\sigma'_p$ ,  $c_u$ ) et de la conductivité électrique (salinité, teneur en eau). Le temps de traitement et le courant électrique seraient alors établis au moyen de la perméabilité électro-osmotique et de la résistivité du sol, mesurées sur un échantillon intact. L'espacement des électrodes, la largeur à traiter, la température d'échauffement du sol et la façon de faire les transitions entre les zones traitées et les zones non traitées doivent aussi être optimisés.

Dans les sols très conducteurs (argiles salines), les courants élevés pourraient limiter l'utilisation de l'électro-osmose en raison de

la génération de chaleur excessive aux anodes. L'épaisseur du dépôt à traiter pourrait aussi être limitative.

Les coûts de ce traitement sont élevés lorsqu'il doit être effectué sous un remblai existant. Ainsi, le forage et l'installation des électrodes atteignent 60 % du coût du projet, le branchement et l'électricité 20 % et le matériau des électrodes 12 %. À l'opposé par ailleurs, les coûts d'installation des électrodes seraient moindres pour le traitement d'un dépôt argileux avant construction d'un remblai neuf.

## CONCLUSION

Le traitement par électro-osmose d'une fondation argileuse sous un remblai existant permet d'atteindre un degré de consolidation suffisant pour contrer définitivement les tassements futurs, à un coût inférieur à celui de la solution d'allègement du remblai lorsque l'épaisseur de polystyrène requise est importante et que le dépôt argileux n'est pas trop épais.

**Note :** Le présent bulletin a été réalisé en partenariat avec Guy Lefebvre, professeur à l'Université de Sherbrooke.

## RÉFÉRENCES

Burnotte, F. et Lefebvre, G., 2001, *Consolidation électro-osmotique des fondations argileuses sous les remblais existants*, rapport GEO-01-02, Université de Sherbrooke, Québec, mars 2001.

Burnotte, F. et Lefebvre, G., 2002, *Caractérisation du site du Mont Saint-Hilaire après consolidation de l'argile molle par électro-osmose*, rapport GEO-02-01, Université de Sherbrooke, Québec, mars 2002.

**RESPONSABLE :** Gilles Grondin, ing. M. Sc.  
Service de la géotechnique  
et de la géologie

**DIRECTEUR :**

  
Michel Labrie, ing.

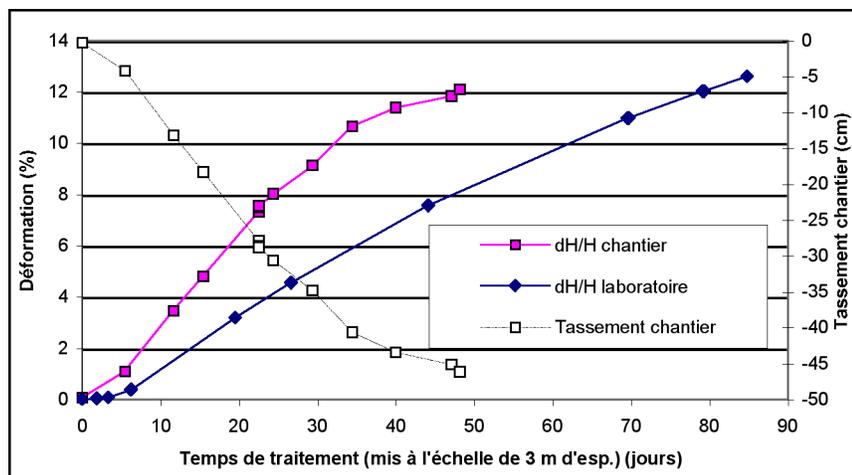


Figure 1 : Évolution du tassement et de la déformation dans le temps