

PROBLÉMATIQUE

La formation de lentilles de glace dans les sols d'infrastructure peut entraîner un soulèvement de la surface d'une chaussée. En période de dégel, la fonte de ces lentilles peut entraîner une perte de la capacité portante et un tassement du sol. La gélivité d'un sol, ou sa susceptibilité au gel, est appréciée par le potentiel de ségrégation SP, qui peut être déterminé selon trois méthodes différentes.

PROCÉDURE D'ESSAI SP

L'Université Laval (1) a mis au point un essai permettant de mesurer la susceptibilité au gel des sols d'infrastructure et, ainsi, de prévoir les soulèvements. Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a acquis une cellule de gel et élaboré une procédure d'essai semblables simulant le gel dans un sol. Le paramètre mesuré, le potentiel de ségrégation SP ($\text{mm}^2/^\circ\text{C}\cdot\text{h}$), traduit la réaction du sol à une sollicitation thermique. Il s'agit du rapport entre le taux de soulèvement du sol et le gradient thermique dans le sol gelé près de l'isotherme 0°C lorsque le front de gel devient quasistationnaire. Le soulèvement est dû, d'une part, à l'apport d'eau interstitielle qui migre vers un front de ségrégation (à quelques dixièmes de degré sous 0°C) pour former une lentille de glace et, d'autre part, à la variation de volume de 9 % à l'occasion de la transformation de l'eau en glace. Le taux de soulèvement du sol est alors égal à $1,09'v$, où v représente la vitesse de l'écoulement de l'eau de migration.

Une éprouvette de sol saturé de 10 cm de diamètre sur 12 cm de hauteur est placée dans une enceinte à 2°C . Elle est soumise à une température de -4°C à son sommet et à $+1^\circ\text{C}$ à sa base. L'évolution de la température est mesurée à différentes élévations au moyen de thermistances, et le soulèvement est mesuré au sommet de l'éprouvette au moyen d'un capteur de déplacement. Ces données permettent de déterminer en tout temps la profondeur du front de gel. Les résultats présentés dans les figures ci-jointes proviennent d'un échantillon du site expérimental de Saint-Célestin (2). Le SP est calculé au point A (figure 1) au moment où le front de gel est quasistationnaire (à 20 heures dans le cas présent). À ce point, la tangente à la courbe de soulèvement en fonction du temps (figure 2) donne la valeur du taux de soulèvement ($82,5 \times 10^{-3} \text{ mm/h}$). Le profil de température mesuré dans l'échantillon à 20 heures permet quant à lui de calculer le gradient de température ($32,5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/mm}$) en déterminant la pente

de la température en fonction de la profondeur dans la partie gelée de l'échantillon (figure 3). Le potentiel de ségrégation obtenu en appliquant le rapport indiqué plus haut est de $2,5 \text{ mm}^2/^\circ\text{C}\cdot\text{h}$.

Les valeurs du SP déterminées au moyen de l'essai de laboratoire (1^{re} méthode) sont généralement plus élevées que celles déterminées directement en chantier (2^e méthode) à partir des soulèvements *in situ* (3). En effet, l'essai favorise la formation de lentilles de glace, ce qui crée un soulèvement plus important que sur le terrain.

L'essai SP peut durer une semaine; on peut toutefois l'arrêter dans la journée qui suit le début de l'essai, après que le front de gel soit devenu stationnaire.

ESTIMATION EMPIRIQUE DU SP

Le SP peut aussi être estimé au moyen d'une corrélation empirique (3^e méthode) à partir de la dimension des particules fines, de la teneur en eau, de la limite de liquidité et, depuis plus récemment (4), de la valeur au bleu de méthylène. La fiabilité de l'estimation s'améliore au fur et à mesure que la banque de données s'enrichit de nouveaux résultats d'essais. Cette estimation est utilisée pour des études courantes pour lesquelles on ne dispose pas de résultat de laboratoire ou de mesure de soulèvement *in situ*.

UTILISATION DU SP POUR LE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSÉES

Le soulèvement au gel d'une chaussée construite sur un sol d'infrastructure caractérisé par une valeur de SP peut être pris en compte dans le dimensionnement d'une chaussée neuve ou réhabilitée. Le calcul consiste à simuler le soulèvement en fonction du SP, de l'indice de gel caractéristique et de la résistance thermique des couches composant la structure de la chaussée. La structure retenue doit satisfaire les exigences structurale et thermique. L'exigence thermique peut, entre autres choses, être exprimée en fonction du soulèvement maximal admissible. L'expérience actuelle indique que le comportement d'une chaussée est jugé acceptable lorsque le soulèvement n'excède pas 50 ou 60 mm. Le calcul peut se faire suivant diverses approches empiriques, analytiques ou numériques, incluant la méthode des éléments finis. Ces simulations peuvent être faites à rebours pour déterminer *in situ* la valeur SP de l'infrastructure d'une chaussée existante (2^e méthode) lorsque celle-ci est instrumentée au moyen de tubes de gel et de repères de soulèvement.

CRITÈRE DE GÉLIVITÉ

Le phénomène du gel dans les sols est complexe à décrire. Il a fait l'objet de nombreuses publications. La migration de l'eau interstitielle vers le front de gel et la formation de lentilles de glace qui s'ensuit sont les causes physiques les plus évidentes du soulèvement de la surface. Les effets du gel et la susceptibilité des sols au gel sont pris en compte différemment selon les organisations. Le MTQ calcule une épaisseur minimale de structure de chaussée en fonction de l'indice de gel, du type de route et du type de sol afin d'assurer une protection partielle (sol homogène) ou totale (sol hétérogène ou gélif). Les critères de gélivité les plus utilisés sont fondés sur la granulométrie ou les limites d'Atterberg. Une nouvelle échelle ou un nouveau critère de gélivité d'un sol associé au comportement de la chaussée québécoise est proposé dans le tableau suivant. L'indice de soulèvement est le rapport entre le soulèvement mesuré *in situ* et l'épaisseur de sol gelé en place.

Susceptibilité au gel	Potentiel de ségrégation SP ($\text{mm}^2/^\circ\text{C} \times \text{h}$)	Indice de soulèvement
Négligeable	< 0,5	< 0,01
Faible	de 0,5 à 1,5	de 0,01 à 0,04
Moyenne	de 1,5 à 3	de 0,04 à 0,08
Élevée	de 3 à 8	de 0,08 à 0,2
Très élevée	> 8	> 0,2

CONCLUSION

Le potentiel de ségrégation SP, qui caractérise la susceptibilité des sols au gel, est de plus en plus utilisé pour le dimensionnement des chaussées. Il l'était auparavant de manière empirique; sa

détermination en laboratoire permet maintenant de trouver une valeur plus représentative du soulèvement de la surface de la chaussée et de mieux apprécier la gélivité d'un sol d'infrastructure.

Note : Le présent bulletin et les travaux de laboratoire ont été réalisés en partenariat avec Jean-Marie Konrad, professeur à l'Université Laval, à Québec.

RÉFÉRENCES

- (1) Konrad, J.-M. 2000, « Assessment of Subgrade Frost Susceptibility from Soil Index Properties », *Recueil des communications*, 9th International Symposium on Ground Freezing, Louvain-La-Neuve, Belgique, 11-13 septembre 2000, p. 89-94.
- (2) Savard, Y., Rioux, N., Boutonnet, M., Corté, J.F. 1999, « La collaboration MTQ-LCPC », *Géoglobe*, n° 7, automne 1999, p. 18-22.
- (3) Doré, G., Rioux, N. 1999, « La recherche de solutions pratiques pour améliorer le comportement des chaussées soumises au gel », *Revue générale des routes*, Hors série n° 9, p. 108-109.
- (4) Konrad, J.-M., 2000, « Nouveau critère de gélivité des sols d'infrastructures », *Recueil des communications*, 35^e congrès annuel de l'AQTR, Québec, 3 et 4 avril 2000, 18 pages.

RESPONSABLES : Louis Langevin, ing. M. Sc.
Service des matériaux
d'infrastructures
Denis St-Laurent, ing. M.Sc.
Service des chaussées

DIRECTEUR :


Michel Labrie, ing.

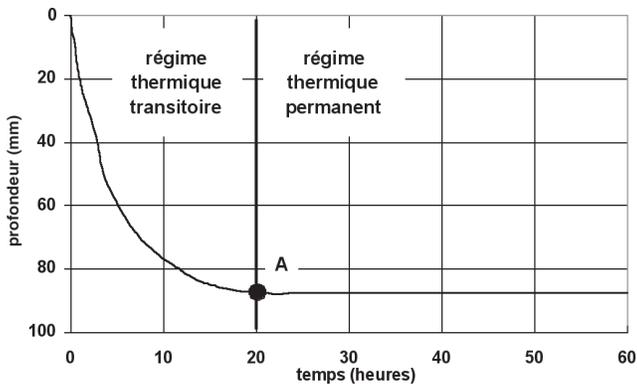


Figure 1 : Évolution de la profondeur du front de gel

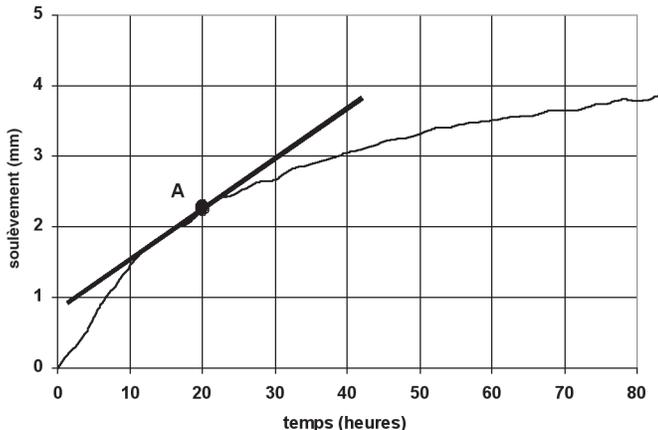


Figure 2 : Taux de soulèvement

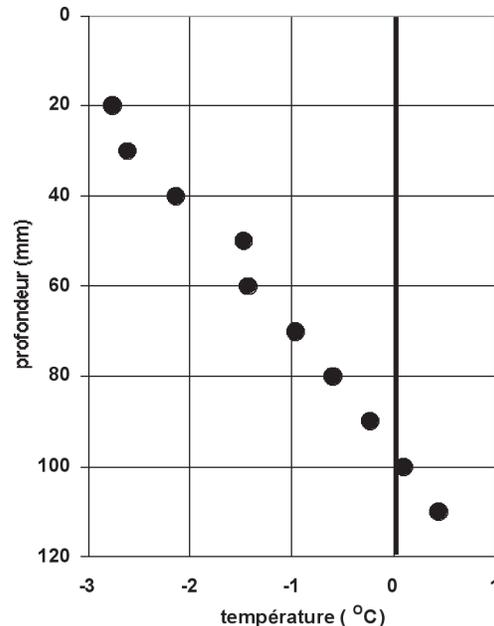


Figure 3 : Profil de température