

PROBLÉMATIQUE

Environ 15 p. 100 du réseau routier québécois est affecté par des problèmes de fissuration et de soulèvements différentiels causés par la formation de lentilles de glace dans les sols d'infrastructure gélifs. L'utilisation d'une couche isolante atténue ces problèmes en limitant la pénétration du gel dans la structure de chaussée et les sols d'infrastructure. Si l'isolant réduit les problèmes de soulèvement, il modifie par contre le régime thermique de la chaussée et occasionne un refroidissement de la surface plus important en hiver, ce qui peut entraîner la formation de givre (déposition de l'humidité de l'air en cristaux de glace sur une surface froide). Pour réduire le risque de formation de givre, le ministère des Transports du Québec (MTQ) applique la norme indiquée en référence. Cette étude vise à mieux évaluer ce risque et à préciser le cadre d'utilisation de cette norme.

TRAVAUX RÉALISÉS

Pour accroître la compréhension du phénomène, un modèle numérique a été mis au point à l'Université Laval sous la forme d'un logiciel de calcul nommé VERGLAS1. Il permet de calculer les écoulements thermiques par conduction dans les sols en utilisant la méthode des différences finies en fonction des propriétés thermiques et de la progression du front de gel et de dégel dans les couches de matériaux humides. La température de surface est calculée en fonction des flux de convection en surface (température de l'air et vitesse du vent) et des radiations (solaires, atmosphériques et terrestres). Différentes configurations de chaussées ont été simulées pour comparer l'influence des divers paramètres des chaussées isolées sur le comportement thermique près de la surface. De plus, trois sections expérimentales ne supportant aucune circulation, dont deux avec isolant, ont été construites pour observer le givrage, mesurer les températures et calibrer le modèle.

Les moyennes météorologiques de la région de Québec ont été modélisées pour permettre un calcul journalier, et des simulations ont été faites entre octobre et janvier. Les profils thermiques initiaux de chaque configuration proviennent des conditions météorologiques moyennes calculées sur plusieurs années. Un refroidissement intense a ensuite été simulé pour évaluer le potentiel de refroidissement de la surface pour chaque configuration. Les conditions de refroidissement intenses correspondent à une journée nuageuse et venteuse (réchauffement diurne diminué) et à une nuit claire et sans vent (refroidissement nocturne augmenté).

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Il s'avère que c'est la pénétration du front de gel dans la couche isolante qui provoque le refroidissement de surface de la chaussée. Les matériaux granulaires humides de fondation agissent comme réservoir thermique en dégageant de la chaleur latente à l'occasion de la propagation du gel vers l'isolant. Dès que le front de gel a atteint l'isolant (généralement en polystyrène), il n'y a plus d'eau à faire geler et le dégagement de chaleur est interrompu, ce qui fait que la surface se refroidit plus facilement. La figure 1 montre les distributions de température dans le sol pour différentes profondeurs d'isolation en fonction des données météorologiques du 25 novembre. Si l'isolant est placé à des profondeurs supérieures à 400 mm, la température de surface ($9,6^{\circ}\text{C}$) est légèrement inférieure ($0,4^{\circ}\text{C}$) à celle d'une chaussée sans isolant ($9,2^{\circ}\text{C}$). Par contre, lorsque l'isolant est placé à une profondeur inférieure à 400 mm, la température de surface est de $1,1$ à $2,3^{\circ}\text{C}$ inférieure à celle d'une chaussée sans isolant et même de $4,3^{\circ}\text{C}$ si l'isolant est placé directement sous la surface du revêtement. Cette différence de température accentue le risque de formation de givre sur les chaussées isolées.

La figure 2 montre les distributions de température de surface minimale journalière au début de l'hiver pour différentes profondeurs auxquelles est placé l'isolant. À mesure que la saison progresse, le front de gel s'éloigne de la surface, et un écart de température de surface apparaît entre le cas où l'isolant est situé sous le front de gel et celui où l'isolant est pénétré par ce front de gel. Ainsi, pour le 5 décembre, la température de surface de la section dont l'isolant est placé à 600 mm de profondeur est de $11,3^{\circ}\text{C}$, alors qu'elle est inférieure à 12°C dans le cas de profondeurs d'isolation moins importantes (écart de plus de $1,5^{\circ}\text{C}$).

La propagation du front de gel dépend des conditions météorologiques et des propriétés thermiques des matériaux de chaussée. L'étude réalisée au moyen de VERGLAS1 a révélé que les matériaux granulaires ayant des teneurs en eau plus élevées ralentissent le refroidissement de surface en raison d'un plus grand dégagement de chaleur latente. Un matériau isolant moins performant permet à la chaleur géothermique de traverser plus facilement la couche isolante et ralentit la progression du front de gel. L'utilisation d'une couche isolante en copeaux de bois ayant une grande teneur en eau permet même d'éliminer le refroidissement de surface associé au passage du front de gel dans l'isolant.

Dans la région de Québec, les mois d'octobre et novembre sont les plus propices à la formation du givre en raison du faible ensoleillement et de l'humidité relative élevée. Lorsque la température de surface est près du point de gelée ou en dessous de celui-ci (température à laquelle l'humidité de l'air se dépose sous forme de givre), le risque de formation de givre est plus grand. La figure 3 montre les distributions moyennes de la température minimale journalière de l'air et du point de gelée, ainsi que de la température minimale de surface d'une chaussée sans isolant, calculées au moyen de VERGLAS1 en fonction des conditions météorologiques de refroidissement intense. La zone hachurée représente la période où la température de surface est inférieure au point de gelée. Cette zone représente la période critique de formation de givre. Un refroidissement de surface causé par le passage du front de gel dans une couche d'isolant durant cette période peut être la cause d'accidents de la route. Le concepteur doit dimensionner la chaussée de telle sorte que le front de gel ne pénètre pas dans l'isolant durant cette période critique. Dans le cas des conditions météorologiques simulées dans la région de Québec, cette période prend fin à la fin novembre. Ainsi, avec une épaisseur de 450 mm de matériaux granulaires au-dessus de l'isolant, le risque de formation de givre est faible puisque le front de gel atteint cette profondeur vers le début décembre (figure 2).

CONCLUSION

L'étude paramétrique menée au moyen du logiciel VERGLAS1 permet de mieux comprendre le refroidissement de surface d'une chaussée isolée en l'associant au passage du front de gel dans la couche isolante. Pour diminuer le risque de formation de givre sur une chaussée isolée, le concepteur doit faire en sorte que le refroidissement de surface se fasse après la période critique, et ce, en plaçant l'isolant suffisamment profondément pour que le front de gel le pénètre le plus tard possible. Il faut donc être en mesure de bien caractériser la période critique en fonction des conditions météorologiques régionales (température froide et humidité relative importante).

Cette étude vient appuyer l'utilisation actuelle de la norme du MTQ. Elle va cependant se poursuivre dans toutes les régions du Québec. De plus, la formation du givre sera étudiée en laboratoire et sur des chaussées afin de mieux prédire l'influence du givre sur l'adhérence. Les résultats obtenus conduiront à modifier la norme si cela est nécessaire.

RÉFÉRENCES

MTQ. 1994, « Chapitre 2, Structures de chaussée, paragraphe 2.6, Isolation des chaussées », Normes - Ouvrages routiers, tome II, *Construction routière*, Les Publications du Québec, mars 1994.

Côté, J., Konrad, J.M., Savard, Y. 2000, « Chaussées isolées : Température de surface et formation de givre », 35^e Congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes, 3 et 4 avril 2000, Recueil des communications.

Côté, J. 2000, Influence d'un isolant thermique sur la sensibilité au verglas des routes, thèse de doctorat, Université Laval, décembre 2000.

Note : Ces travaux ont été réalisés par Jean Côté sous la direction de Jean-Marie Konrad (Université Laval, Québec) dans le cadre d'un contrat de recherche conclu avec le MTQ.

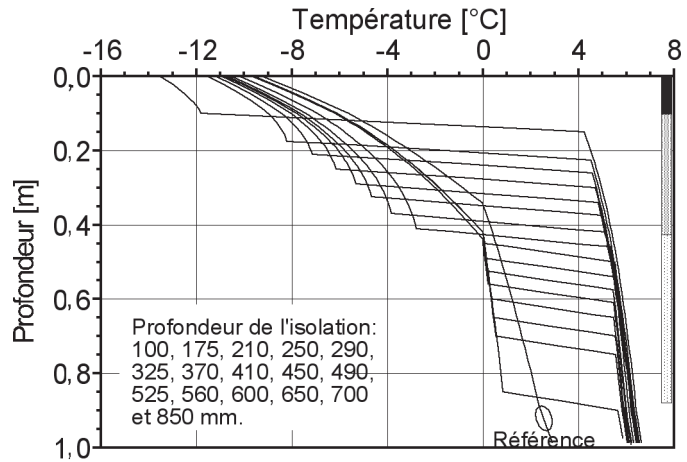


Figure 1 : Profil de température dans le sol le 25 novembre 1999 dans la région de Québec

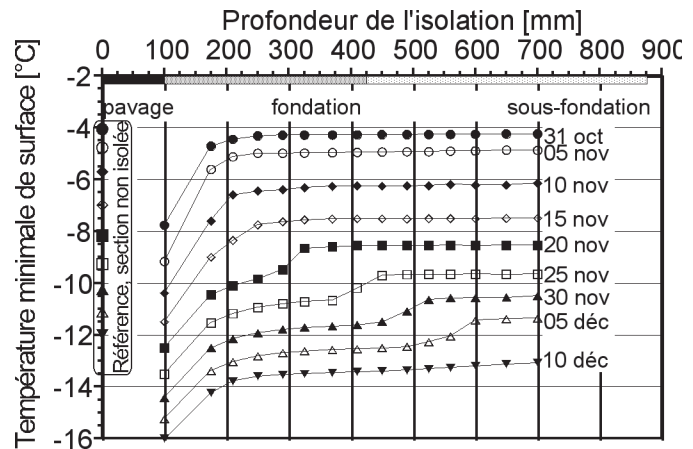


Figure 2 : Température minimale journalière de surface dans la région de Québec

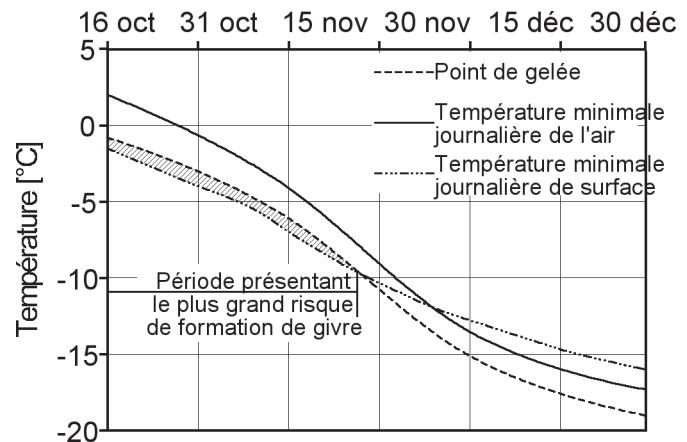


Figure 3 : Période critique de formation de givre dans la région de Québec

RESPONSABLE : Yves Savard, ing. M.Sc.
Service des chaussées

DIRECTEUR :

Michel Labrie, ing.