

## CONTEXTE

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) utilise le logiciel *Chaussée* depuis 1999 pour le dimensionnement des structures de chaussées souples (*Info DLC*, vol. 6, n° 1). Cet outil, conçu par la DLC, est basé sur la méthode empirique de l'AASHTO (1993) avec certaines adaptations au contexte québécois et l'ajout d'un critère de protection contre les effets du gel. Une nouvelle version, appelée *Chaussée II* est maintenant disponible; elle comprend un modèle de calcul de la profondeur de gel et des soulèvements.

## CALCUL DU GEL

Le calcul du gel est fondé sur le modèle SSR, conçu en Finlande par Saarelainen (1992). La détermination de la profondeur de gel est fonction de l'équilibre du bilan thermique au front de gel. Cette approche permet de simuler la progression du front de gel chaque jour de l'hiver. Les soulèvements causés par le gel sont déterminés à l'aide du potentiel de ségrégation (SP) établi par Konrad (*Info DLC*, vol. 7, n° 2).

Le calcul tient compte de l'indice de gel, ou des températures journalières durant un hiver, et de la température moyenne annuelle de l'air. La variabilité annuelle est traitée à l'aide d'une approche statistique basée sur l'écart type et l'hypothèse d'une distribution normale des indices de gel.

La structure de la chaussée est modélisée à l'aide des caractéristiques suivantes pour chacune des couches : épaisseur, masse volumique sèche, minéralogie des particules, teneur en eau, teneur en bitume, surface spécifique, potentiel de ségrégation avec son coefficient de surcharge. Certaines de ces données servent au calcul préalable de la teneur en air et en glace, de la conductivité thermique et de la chaleur latente de fusion. La teneur en glace est déduite à l'aide du modèle de Anderson et Tice (1972). Les conductivités thermiques sont calculées à l'aide du modèle de Côté et Konrad (2005) mais peuvent aussi l'être avec le modèle de Kerstern (1949). Le logiciel comprend une bibliothèque de valeurs par défaut en fonction du type de matériau.

## VALIDATION

La première version québécoise de cet outil de calcul du gel a été mise au point en l'an 2000. Celui-ci s'est alors avéré préférable aux autres outils disponibles. Depuis ce temps, le Service des chaussées du MTQ l'utilise dans le cadre de

travaux de recherche, études de réhabilitation et expertises en conception. L'outil a aussi servi à la préparation des abaques d'isolation des chaussées fournies dans le guide 2003 de préparation des projets routiers.

Ces usages ont permis de le comparer avec d'autres méthodes de calcul et de le valider sur la base de mesures *in situ*. La figure 1 illustre un exemple où la simulation est superposée aux profondeurs de gel mesurées à l'aide d'un gélmètre. On peut aussi y observer les soulèvements mesurés et simulés, de même que les soulèvements simulés à l'interface de chacune des couches. Les mesures sont représentées par des points à l'intérieur du graphe, tandis que les lignes proviennent des simulations. La ligne brisée représente les données sur la température. L'expérience indique que l'effet du gel sur les chaussées est peu perceptible lorsque les soulèvements globaux sont inférieurs à environ 50 mm.

## AUTRES AMÉLIORATIONS

La révision du logiciel a donné lieu à d'autres améliorations ayant un impact modéré sur les calculs de dimensionnement. Les objectifs de performance ont été revus de façon à tirer avantage des progrès récents (bitumes PG, calcul des soulèvements au gel) et des premiers travaux réalisés sur les chaussées à durée de vie prolongée. Les hypothèses de variations saisonnières ont été révisées et un correctif a été inséré pour tenir compte des parachèvements de revêtement reportés à l'année suivante. De nouveaux matériaux ont été ajoutés dans la bibliothèque du logiciel, soit les revêtements avec couche de base antifatigue (ESG-5), les isolants en polystyrène, les enrobés recyclés à froid, les infrastructures améliorées par l'aménagement d'un sous-profil et les sols argileux avec indice de liquidité élevé. Un facteur de capacité portante variable a été ajouté pour chaque couche de matériau.

## IMPACTS SUR LA CONCEPTION

L'application des calculs de soulèvement au gel se traduit par des structures de chaussées sensiblement plus épaisses au-dessus des sols plus gélifs (silteux et argileux). Le logiciel permet par contre d'évaluer le rendement de techniques de mitigation du gel plus avancées telles que l'utilisation d'isolant ou l'introduction d'une couche d'infrastructure améliorée. Cette dernière approche implique une meilleure gestion des matériaux de déblais, de façon à réutiliser le meilleur sol le plus près possible de la ligne d'infrastructure. On a pu constater dans un certain nombre de projets, au cours des dernières

années, que les surépaisseurs de matériau recommandées améliorent significativement le comportement des chaussées au gel. Il est clair que les coûts liés à l'ajout de matériaux se justifient pleinement comparativement aux coûts d'entretien et de remise en état d'une chaussée qui réagit mal face au gel.

La détermination du potentiel de ségrégation (SP) des sols est recommandée afin d'obtenir des calculs plus précis. Elle peut se faire directement en laboratoire (méthode LC 22-335) ou indirectement à partir d'une caractérisation des particules fines (sédimentométrie, surface spécifique et limites de consistance).

### CONCLUSION

Le calcul de la profondeur de gel et des soulèvements représente un pas important dans la compréhension du comportement des chaussées. Il oriente mieux la résolution des problèmes de conception lorsqu'il s'agit de limiter les soulèvements dus au gel en vue d'éviter les déformations, fissures ou lézardes qui en résultent. Cette nouvelle version se veut un outil qui reflète davantage l'état d'avancement de la recherche et des connaissances, plus particulièrement dans le contexte québécois. Il est souhaité que son utilisation mène à des progrès supplémentaires.

Le logiciel peut être téléchargé à : [www.mtq.gouv.qc.ca](http://www.mtq.gouv.qc.ca) (section Réseau routier – Chaussées)


### RÉFÉRENCES :

1. Anderson, D.M., et A.R. Tice (1972) « Predicting unfrozen water contents in frozen soils from surface area measurements » Highway Research Record 393, 12– 18.
2. Côté, J. et J.M. Konrad (2005) « A generalized thermal conductivity model for soils and construction materials » NRC Canada, Canadian Geotechnical Journal n° 42, p. 443-458.
3. Kersten, M.S. (1949) « Laboratory research for the determination of the thermal properties of soils » Research Laboratory investigations, Corps of Engineers, U.S. Army, St.Paul District, Minnesota, 95 p.
4. Saarelainen, S. (1992) « Modelling frost heaving and frost penetration in soils at some observation sites in Finland. The SSR model » Espoo 1992, VTT, VTT publications 95, Technical research centre of Finland, 120 p.

### RESPONSABLE :

Denis St-Laurent, ing., M. Sc.  
Service des chaussées

### DIRECTEUR :



Claude Tremblay, ing.

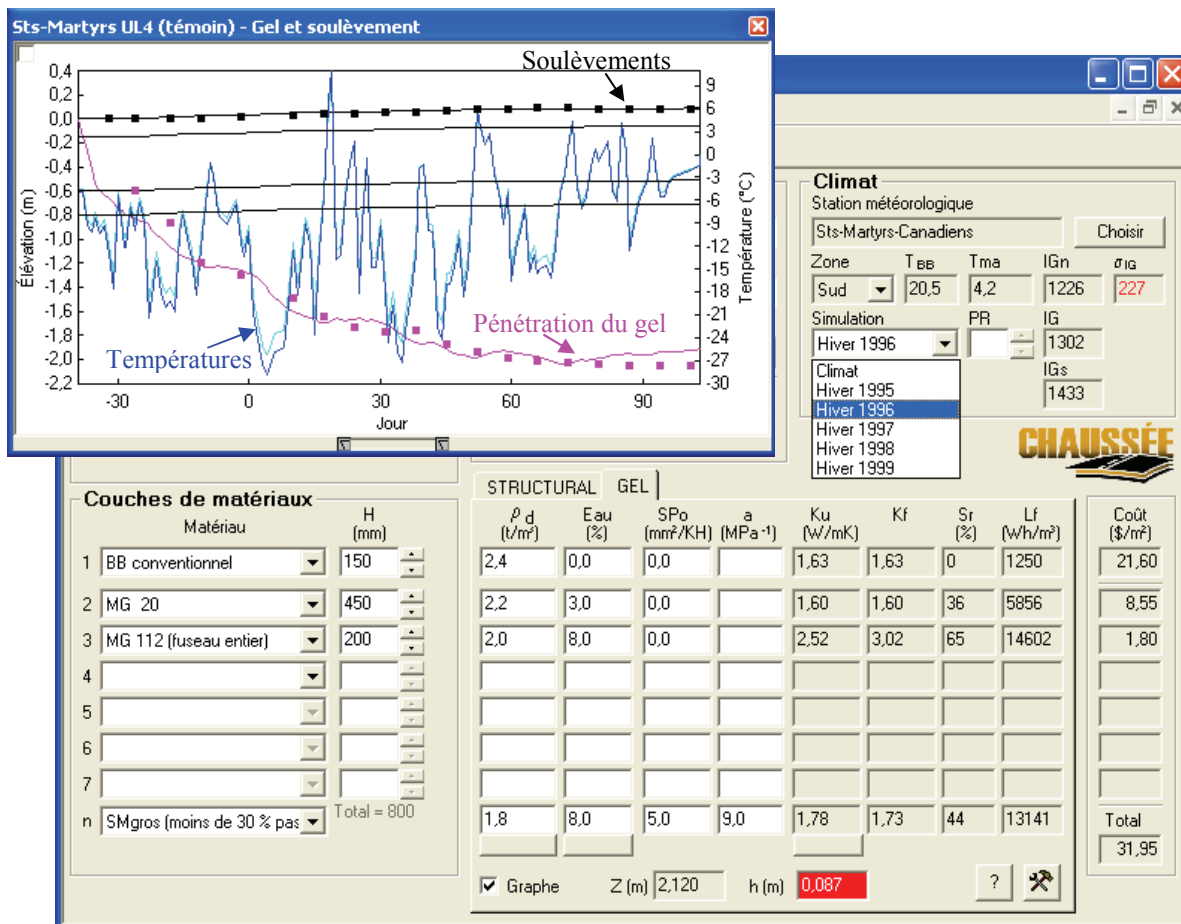


Figure 1 : Exemple de simulation du gel (pénétration et soulèvement : 2,12 m et 87 mm respectivement)