

**Analyse du comportement hydrique
d'une structure de chaussée par simulations numériques**

PROBLÉMATIQUE

On a souvent tendance à croire qu'une structure de chaussée en matériaux granulaires est un milieu saturé sujet à la circulation gravitaire d'eau interstitielle et sensible aux précipitations qui s'y infiltrent. Le présent bulletin traite de nouveau de la question à la suite d'une étude de modélisation numérique réalisée depuis quelques années à l'École Polytechnique. Cette étude permet de mieux comprendre le comportement hydrique d'une structure de chaussée rurale québécoise revêtue et bordée de fossés latéraux.

COMPORTEMENT GÉNÉRAL

Les matériaux de fondation et de sous-fondation d'une chaussée sont mis en place et compactés à la teneur en eau optimale en conditions non saturées. Cela implique la présence d'une tension capillaire inférieure à la pression atmosphérique (pression négative). Le revêtement peu perméable de la chaussée contribue à maintenir les conditions non saturées de la structure. Les surfaces d'infiltration sont réduites aux fissures dans le revêtement et l'accotement, au joint longitudinal en ligne de rive, à l'arrondi de talus et au talus lui-même. L'eau interstitielle demeure le siège d'une pression négative et elle ne peut être évacuée que vers un endroit où agit une charge hydraulique totale moindre.

Les matériaux de fondation ont la plupart du temps un degré de saturation inférieur à 85 %, ce qui confère à la structure de chaussée des propriétés mécaniques acceptables. La modélisation indique que l'infiltration n'arrive pas à les saturer, sauf à la base de la sous-fondation où la pression interstitielle peut devenir positive. Des mesures *in situ* confirment que l'augmentation de la teneur en eau se produit principalement à la base de la structure de chaussée. Elle augmenterait aussi dans le bulbe d'imbibition qui se forme dans la fondation au droit d'une fissure.

Plusieurs phénomènes peuvent être à l'origine d'une hausse saisonnière de la teneur en eau près des fissures et à la base de la sous-fondation, par exemple des matériaux d'infrastructure ou de remblai de talus peu perméables qui empêchent l'évacuation de l'eau, le confinement de l'eau de percolation au dégel par des matériaux gelés qui forment une cuvette imperméable, l'importance saisonnière des infiltrations (pluie ou neige) et la fonte des lentilles de glace.

COMPORTEMENT AU DÉGEL

Les modélisations en présence de sols partiellement gelés intègrent les propriétés hydrauliques et thermiques des matériaux de chaussée, ainsi que la répartition temporelle de la température de l'air et de la couverture de neige. On constate alors que la structure de chaussée subit des cycles de gel et de dégel attribuables aux réchauffements et refroidissements journaliers avant le dégel printanier. Pour ces conditions, la pénétration du front de gel n'est que superficielle. Par la suite, sa progression est relativement rapide dans la fondation et la sous-fondation (c'est-à-dire un peu plus de deux semaines). Toutefois, elle n'y cause pas d'augmentation appréciable de la teneur en eau ou du degré de saturation. Lorsque le front de dégel atteint le matériau d'infrastructure, entre le 24 avril et le 3 mai, comme l'illustre la figure 1, les lentilles de glace fondent, le degré de saturation augmente et l'eau de la fonte est redistribuée verticalement dans le matériau de sous-fondation. Une période de redistribution de l'eau de plus de un mois est nécessaire pour rétablir les conditions hydriques initiales du 1^{er} septembre. De plus, il s'avère que des dégels hivernaux de moins de 4 jours à + 4 °C n'influent pas sur l'état hydrique dans la structure.

EFFICACITÉ DU DRAINAGE INTERNE

Pour réduire les effets de cet accroissement saisonnier du degré de saturation, on peut incorporer dans la chaussée un système de drainage interne qui peut être de trois types : l'extension latérale d'une partie de la sous-fondation vers le fossé (ESF); un écran de rive de chaussée (EDRC); un tuyau de drainage longitudinal sous la ligne d'infrastructure à la limite de l'accotement (TDI).

L'étude résumée dans le bulletin (1) a comparé l'efficacité des systèmes de drainage en période estivale et en terrain plat au moyen de simulations numériques. Elle a révélé entre autres qu'un EDRC est utile pour empêcher la pénétration de l'eau en provenance de l'accotement à l'intérieur de la structure de chaussée et pour maintenir ainsi un faible degré de saturation sous la piste de roue externe. Par contre, l'EDRC empêche l'eau qui pénètre dans la structure par les fissures du revêtement d'en ressortir, à moins qu'elle n'ait atteint le niveau de la ligne d'infrastructure, où le degré de saturation tend vers 100 % et où la pression interstitielle est positive. L'eau interstitielle, soumise à une pression négative, ne peut pas être évacuée d'un milieu capillaire vers un géocomposite ou un tuyau de drainage qui est soumis à la pression atmosphérique. L'EDRC constitue donc, en conditions non saturées, et du fait de sa faible capillarité, une barrière hydraulique plutôt qu'un système de drainage.

L'étude (2) permet de prévoir l'effet de l'infiltration sur la position de la nappe phréatique en tenant compte des caractéristiques des matériaux d'infrastructure et de remblai de talus. Les systèmes de drainage n'ont pas d'effet différencié sur le comportement hydrique à court terme lorsque ces matériaux sont des sols peu perméables (argiles, silts ou moraines). La conductivité hydraulique élevée des sables encaissants, en permettant une plus grande infiltration, peut favoriser un rehaussement significatif de la nappe phréatique. Bien que l'EDRC entrave les mouvements d'eau horizontaux, il n'empêche pas l'évolution de la charge de pression d'eau interstitielle attribuable à l'accroissement du niveau de la nappe phréatique. L'étude considérant un écoulement tridimensionnel démontre de plus que l'eau a tendance à s'accumuler dans le bas d'une pente longitudinale de 6 %. Dans ce cas-là non plus, l'EDRC n'est pas utile tant que la pression interstitielle ne devient pas positive. Enfin, la figure 2 montre que l'EDRC ne diminue pas le degré de saturation en période de dégel dans la structure. Cela s'explique encore par le fait que la pression interstitielle est négative et que l'eau ne peut s'écouler vers un système de drainage soumis à la pression atmosphérique. Toutefois, un surplus d'eau de fonte à la base de la sous-fondation peut augmenter le degré de saturation à cet endroit.

DISCUSSION

Cette modélisation du drainage des chaussées a été réalisée à partir d'hypothèses (longues précipitations) et de conditions limites (un joint en ligne de rive et une fissure dans le revêtement) jugées réalistes. Les résultats obtenus seront validés par des mesures *in situ* sur les sites expérimentaux de Saint-Célestin et Dosquet. Une fissuration importante du revêtement doit être envisagée par les simulations ainsi que l'influence de la circulation. La présente simulation s'applique à une chaussée rurale et devrait être étendue à une chaussée urbaine où les fossés sont inexistant.

CONCLUSION

Il s'avère qu'une structure de chaussée rurale québécoise typique (chaussée revêtue, fossés latéraux) n'est presque jamais saturée, que l'infiltration d'eau ne peut la saturer à l'exception de quelques endroits, que l'eau interstitielle ne circule pas beaucoup en raison de

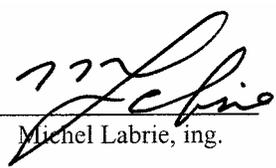
la faible conductivité hydraulique des matériaux de fondation et de leur forte capillarité. L'extension d'une partie de la sous-fondation vers le fossé (ESF) est suffisante dans la majorité des cas pour maintenir un faible degré de saturation dans la structure. Le TDI est une solution alternative. Un degré de saturation de plus de 85 % n'est atteint que dans des endroits bien localisés (bulbes d'imbibition au droit des fissures) et à des moments bien définis (longues précipitations). L'EDRC est utile lorsqu'il y a des venues d'eau latérales importantes (milieu urbain, talus perméable). De plus, il n'améliore pas le drainage au dégel, dans une pente ou quand la fissuration de la chaussée augmente.

NOTE : Ces travaux ont été réalisés en partenariat avec Marc Lebeau, étudiant au doctorat à l'Université Laval, à Québec, et Jean Lafleur, professeur à l'École Polytechnique, à Montréal.

RÉFÉRENCES

- (1) Savard, Y., M. Lebeau, et J. Lafleur, 1999, *Comparaison de l'efficacité des systèmes de drainage de chaussées en période estivale par simulations numériques*, MTQ, bulletin *Info DLC*, vol. 4, n° 10, octobre 1999.
- (2) Lebeau, M. et J. Lafleur, 2002, « Modélisation de l'état hydrique dans les structures de chaussées en période de dégel », Rapport CDT-P2278 présenté au MTQ, octobre 2002, 178 pages.

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

DIRECTEUR : 
Michel Labrie, ing.

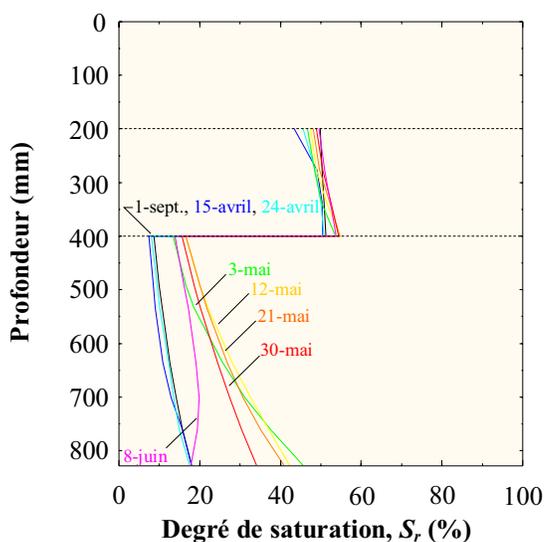


Figure 1 : Évolution temporelle du degré de saturation en piste de roue externe

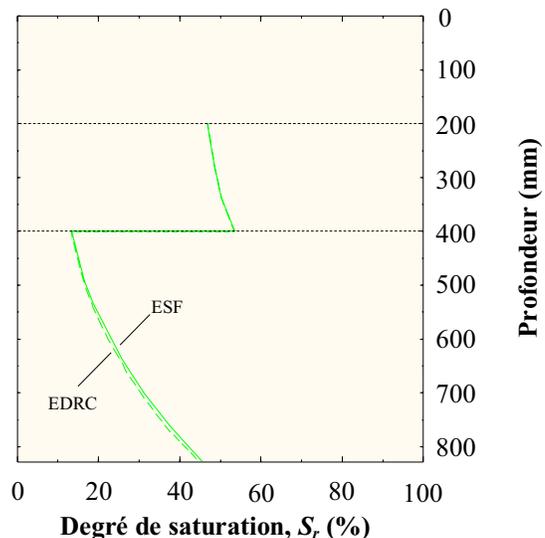
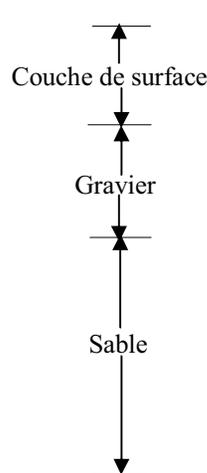


Figure 2 : Influence du système de drainage sur le degré de saturation sous la piste de roue externe en date du 3 mai