



Phase 2

Chaire de recherche industrielle
du CRSNG sur l'interaction
charges lourdes-climat-chaussées



Simulateur de véhicules lourds de l'Université Laval Bilan de 8 années de recherche

Jean-Pascal Bilodeau, ing., Ph.D.

Guy Doré, ing., Ph.D.

Sylvain Auger, Tech. sp.

Mise en contexte

La détermination du comportement des chaussées sous sollicitations réalistes des charges et du climat

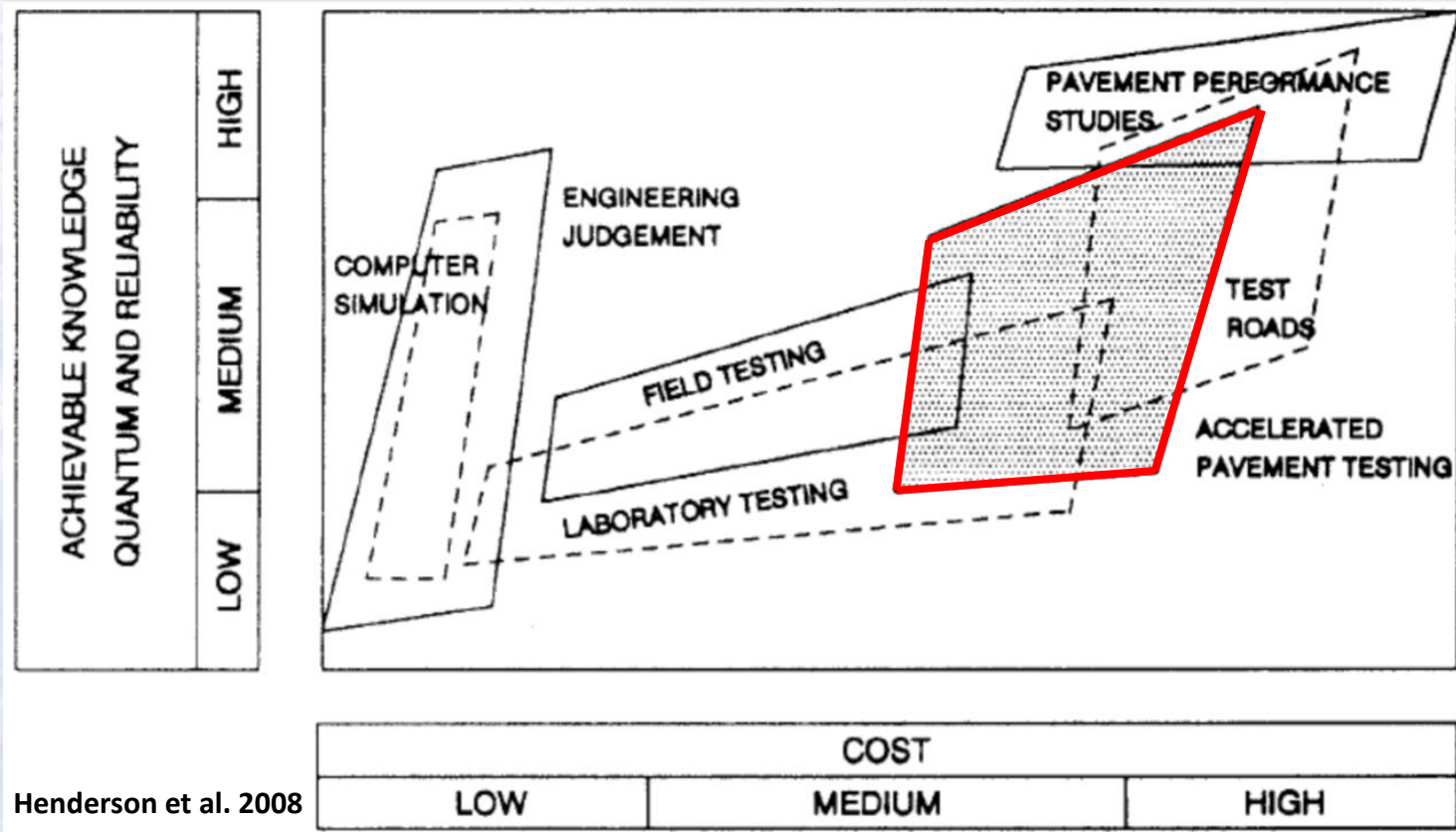
- Assez « facile » à l'échelle des matériaux (labo.)
- Laborieux à l'échelle de la chaussée
 - Suivi long terme de sections expérimentales
 - Précision/Qualité/Quantité des données
 - Représentativité



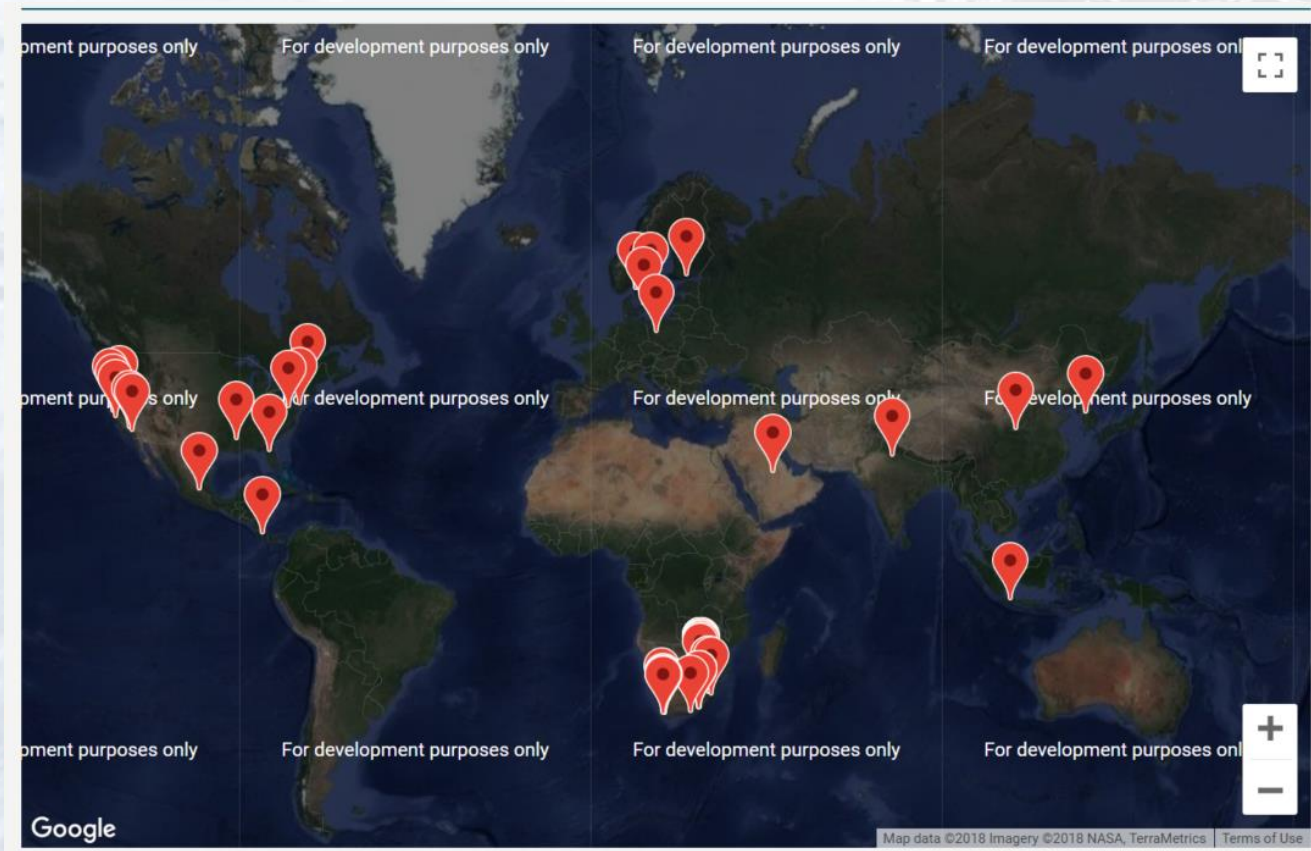
Essais de chaussées en accéléré (APT) sont des outils permettant d'apporter une contribution à l'étude de la performance des systèmes de chaussées



Place des essais APT en recherche



APT dans le monde

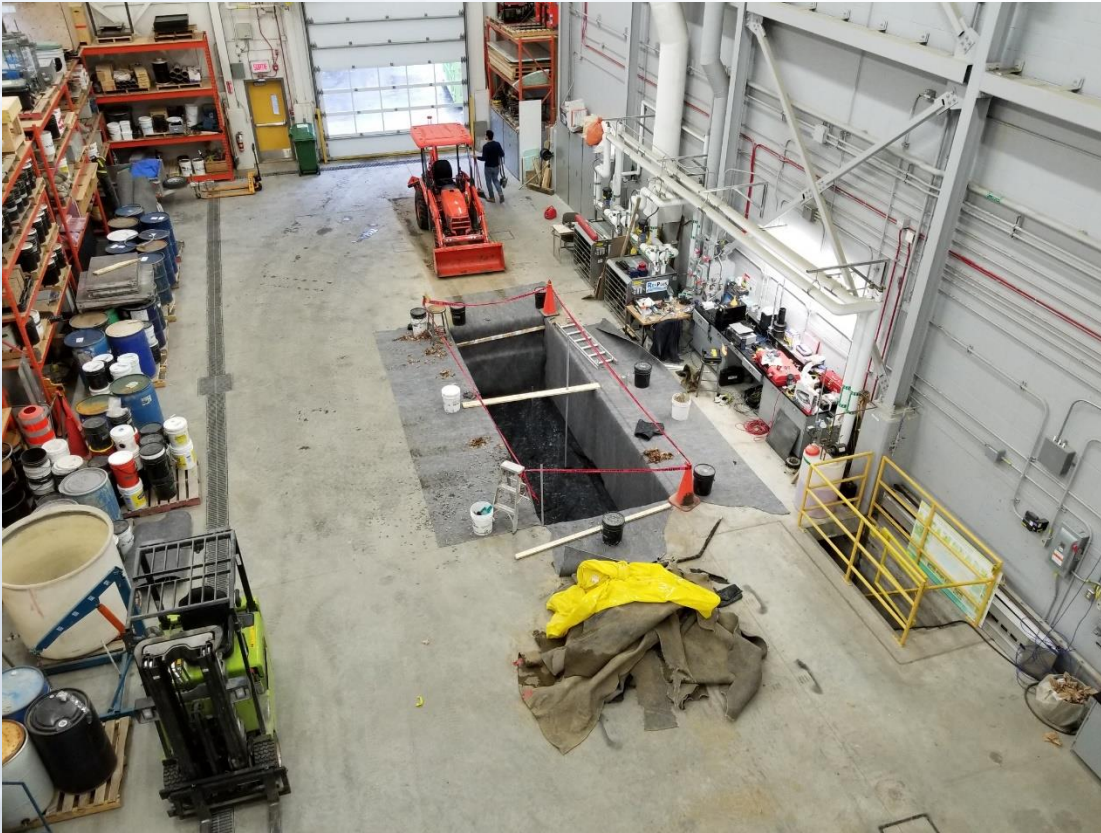


Financement d'un laboratoire à l'UL

- 2009 : Acceptation d'une demande conjointe (9 professeurs) au Fonds Canadien pour l'innovation pour la construction d'installations de recherche sur les infrastructures
- Thèmes : Routes – Structures – Traitement des eaux
- 18 M \$ => Volet "Routes" ~ 9 M \$
- Fin de la construction 2012
- Mise en service du simulateur été 2012



Installations



Installations



Simulateur



Simulateur



Simulateur



Caractéristiques techniques

Fosse

- Dimensions : 2 m x 6 m x 2 m
- Conditionnement thermique dans la dalle de béton du bas
- Zone d'accès à la façade latérale de la fosse
- Contrôle hauteur nappe
- Collecte des eaux de percolation
- Fosse divisible en deux (↑ productivité, ↓ coûts)
- Rampe d'approche

Simulateur

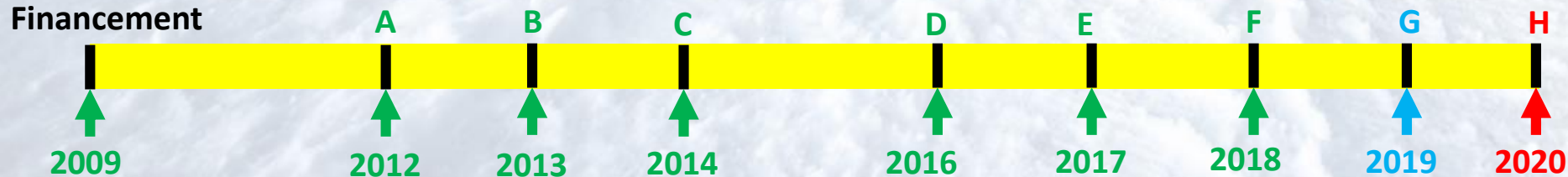
- Véhicule légal et mobile
- Productivité : 20 000 cycles/jour
- Vitesse du chariot : 0 à 10 km/h
- Longueur maximale d'essai de 6 m
- Déplacement latéral de +/- 0,25 m
- Charge de 5 à 100 kN (demi-essieu)
- Chambre d'essai à température contrôlée (40°C à -20°C)



Projets

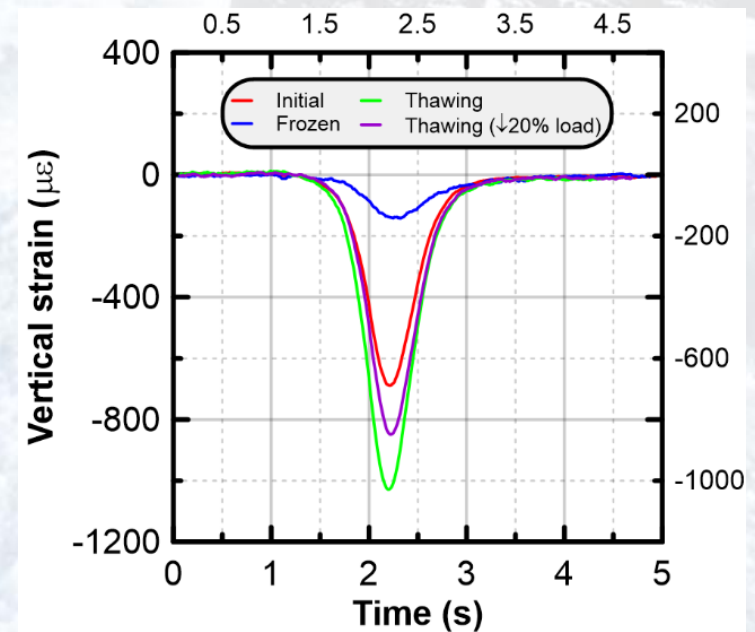
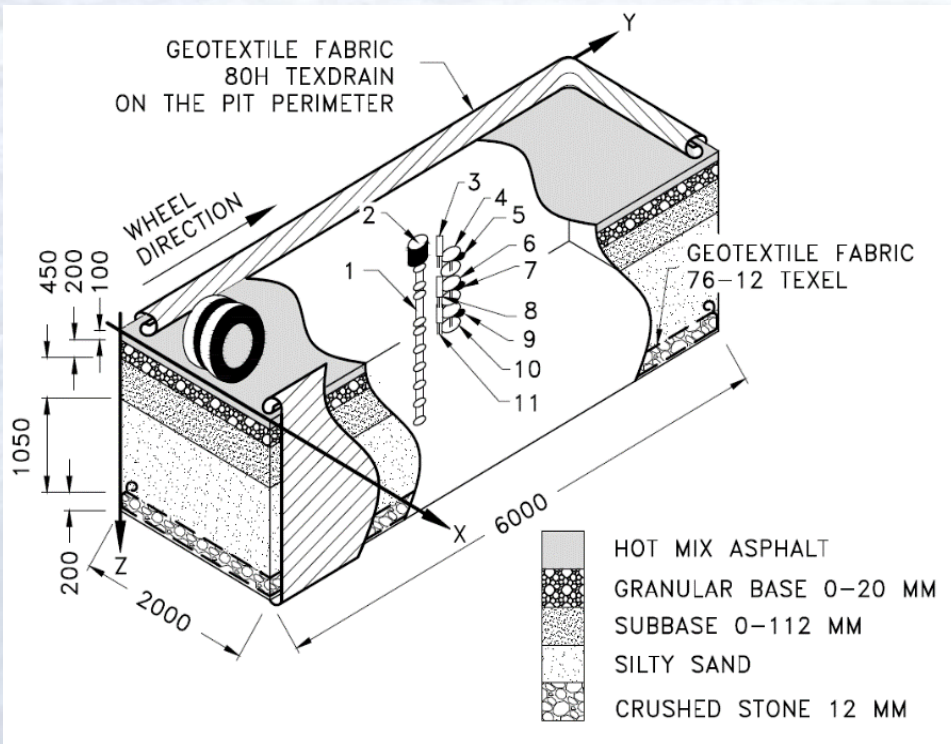
- Chaussées inverses pour corridors d'autobus (A) – essai in situ
- Effet des charges en période de restriction des charges (B)
- Effet des pneus agricoles sur les chaussées (C)
- Gain de capacité portante des chaussées en période de gel (D)
- Utilisation du verre cellulaire dans les chaussées (E)
- Déformation permanente et effet des supercharges (F)
- Comportement des chaussées fissurées (G)
- Effet des cycles de gel et dégel sur la durabilité des enrobés bitumineux (H)

Financement



Synthèse et enseignements

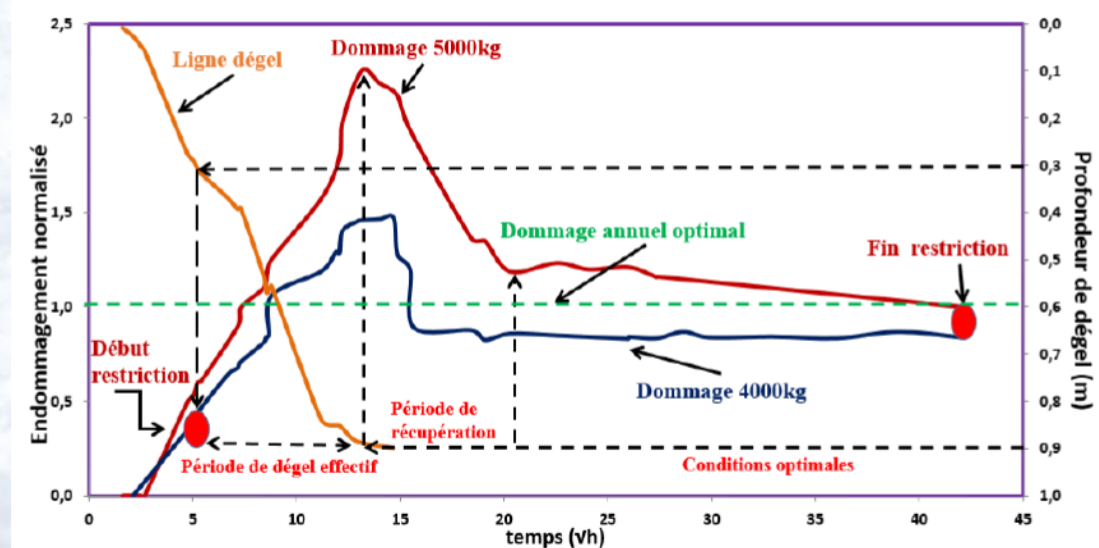
Effet des charges en période de restriction des charges



Synthèse et enseignements

Effet des charges en période de restriction des charges

- Validation d'un critère d'indice de dégel à 50 mm de profondeur (ID_{50}) et optimisation du début de la période de restriction



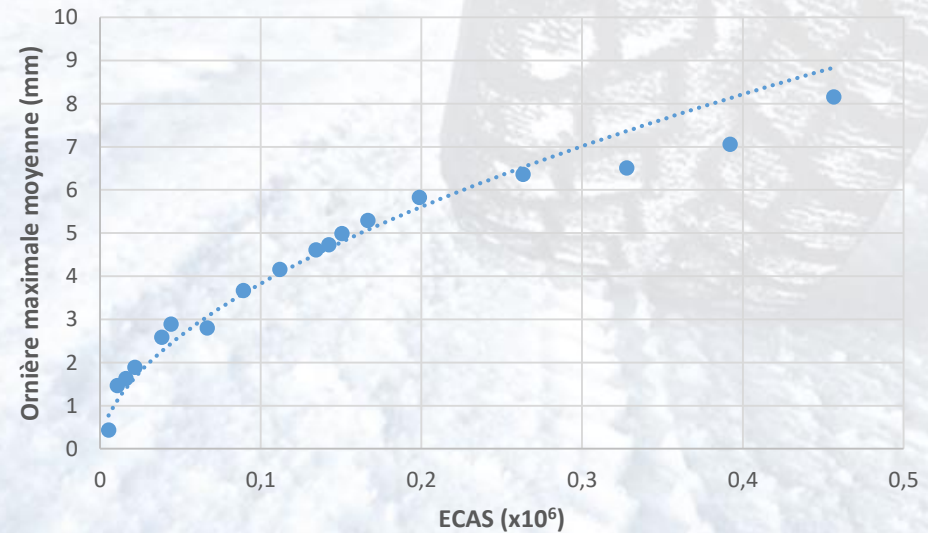
$$X_{\text{dégel}} = 0,0825 * \sqrt{ID_{50}}$$



Synthèse et enseignements

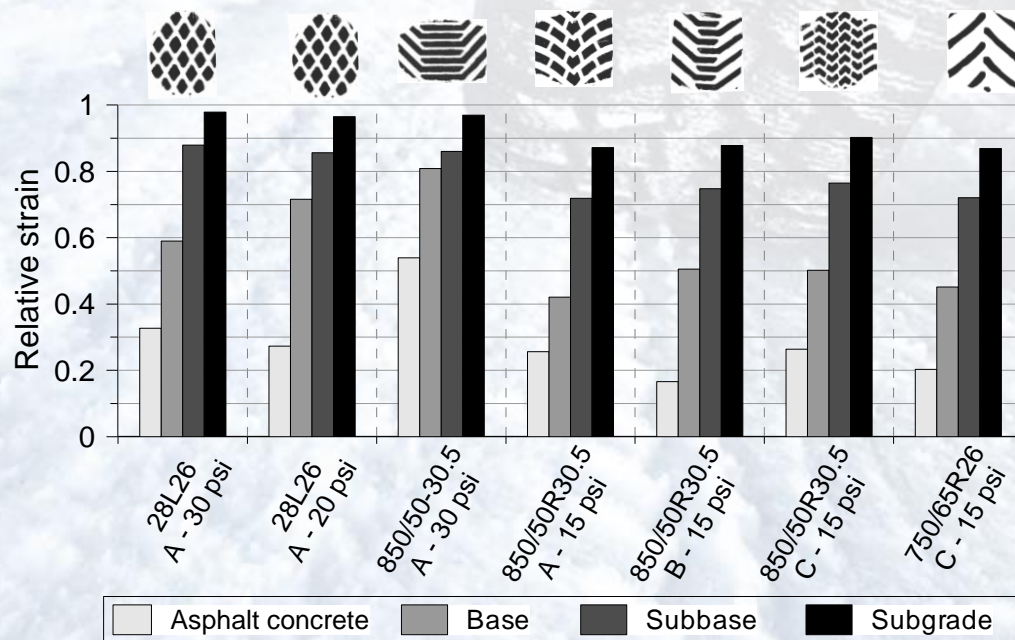
Effet des charges en période de restriction des charges

- Documentation du taux d'endommagement par orniérage de la chaussée



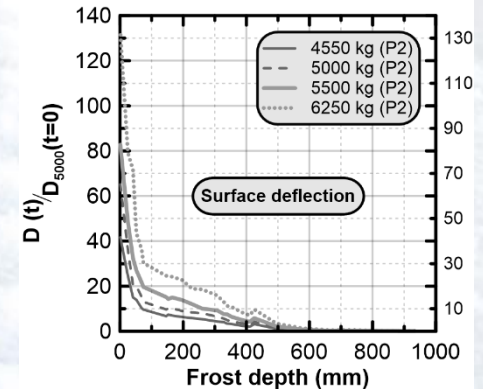
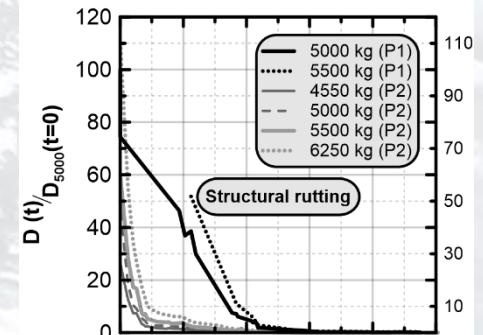
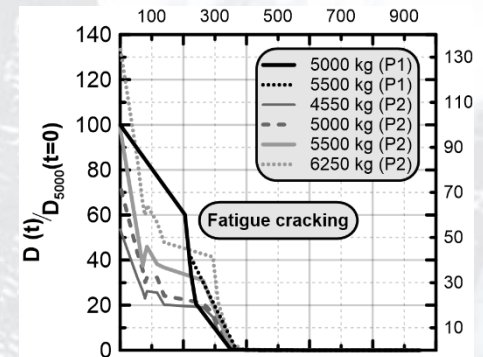
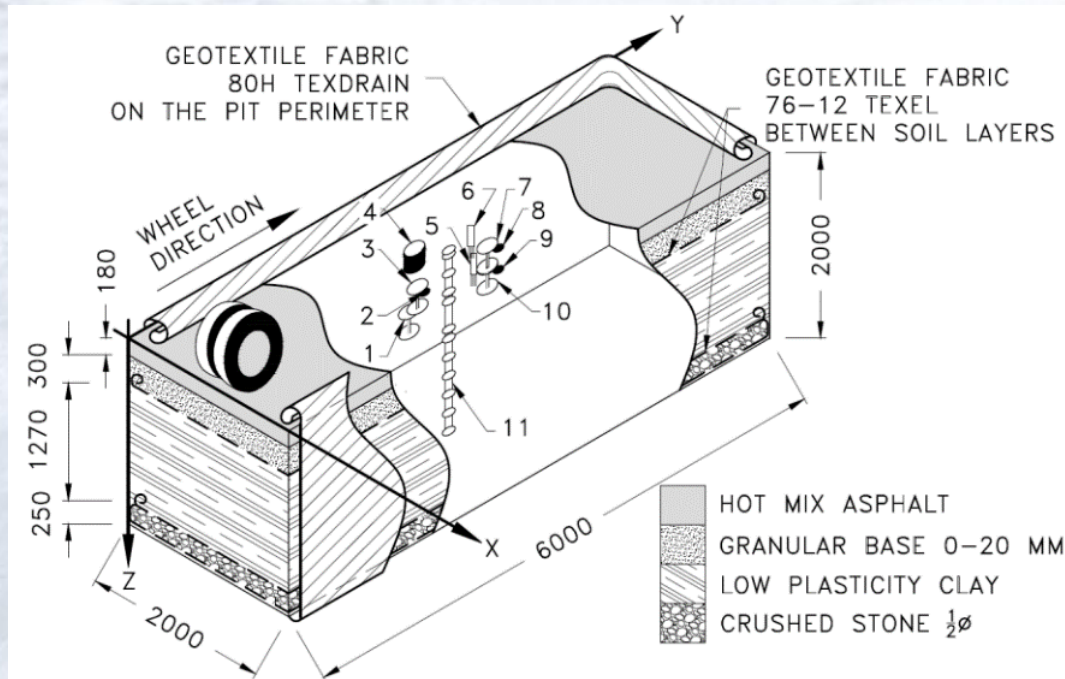
Synthèse et enseignements

Effet des pneus agricoles sur les chaussées



Synthèse et enseignements

Gain de capacité portante en période de gel



Synthèse et enseignements

Gain de capacité portante en période de gel

- Critère de profondeur de gel pour l'octroi de primes de charge en hiver + modèles
- Principe d'équivalence « Charge / Prof. de gel »

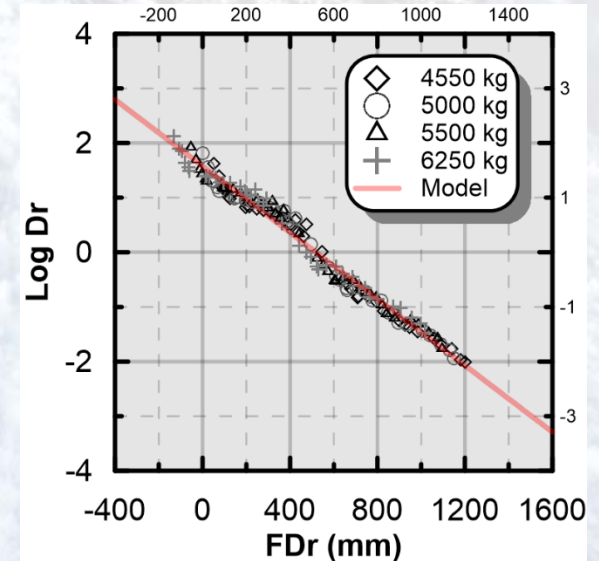
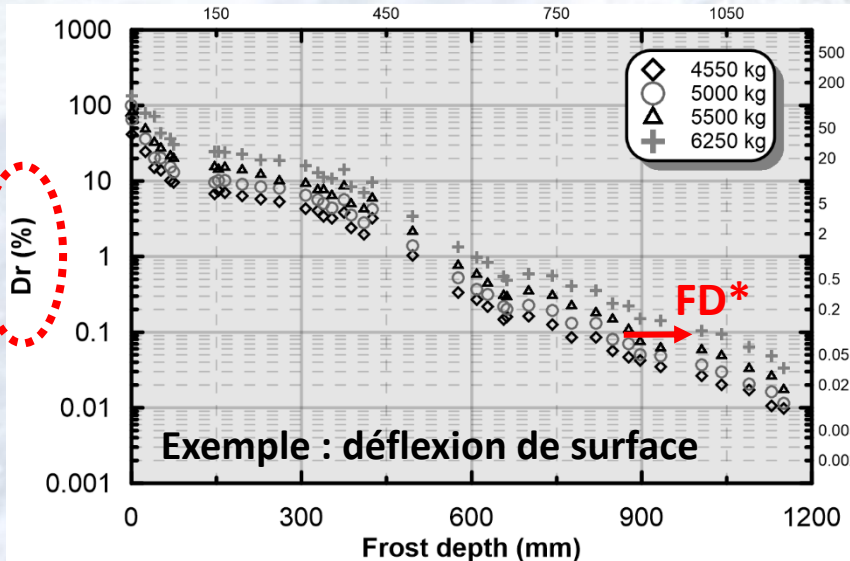
$$FD_r = FD + FD^*$$

$$FD^* = a_1(C - C_{ref}) + a_2(C - C_{ref})^2$$

Domage relatif (Dr)

$$Dr = \frac{D}{D_{ref}}$$

$$Dr = \frac{1/N_{adm}}{1/N_{adm-ref}}$$



Synthèse et enseignements

Gain de capacité portante en période de gel

- Critère de profondeur de gel pour l'octroi de primes de charge en hiver + modèles
- Principe d'équivalence
« Charge / Prof. de gel »

$$FD_r = FD + FD^*$$
$$FD^* = a_1(C - C_{ref}) + a_2(C - C_{ref})^2$$

Fatigue

$$\text{Log } Dr = -1.33 + \frac{3.05}{1 + e^{(-10.5 + 0.029 \times [FD + [-0.065\{C - C_{ref}\} + 3.87 \times 10^{-5}\{C - C_{ref}\}^2])]}}$$

Orniérage structural

$$\text{Log } Dr = -4.69 \times 10^{-3} \left(FD + [-0.091\{C - C_{ref}\} + 1.17 \times 10^{-5}\{C - C_{ref}\}^2] \right) + 1.24$$

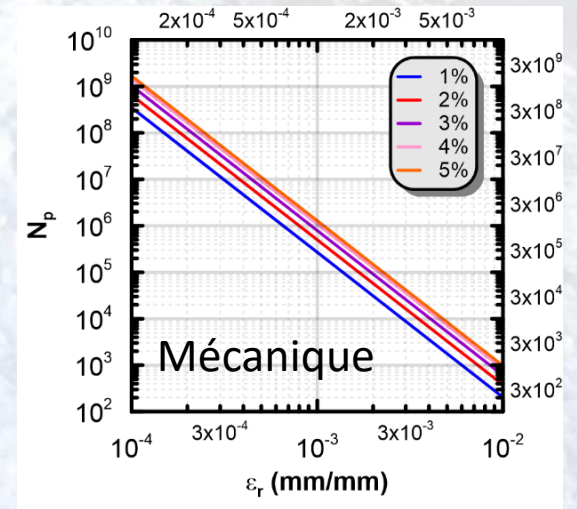
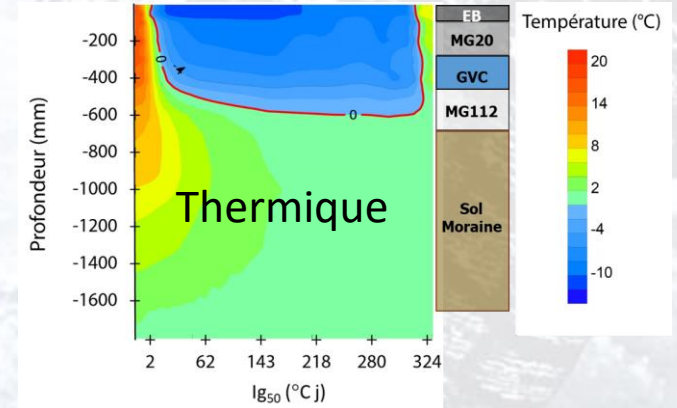
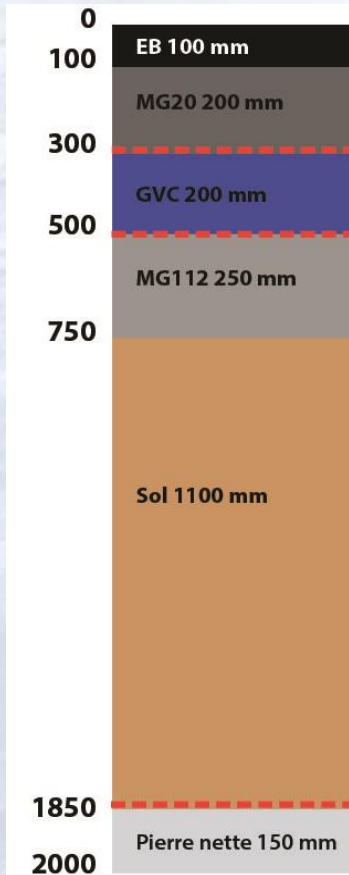
Déflexion de surface

$$\text{Log } Dr = -3.04 \times 10^{-3} \left(FD + [-0.12\{C - C_{ref}\} + 3.88 \times 10^{-6}\{C - C_{ref}\}^2] \right) + 1.5782$$



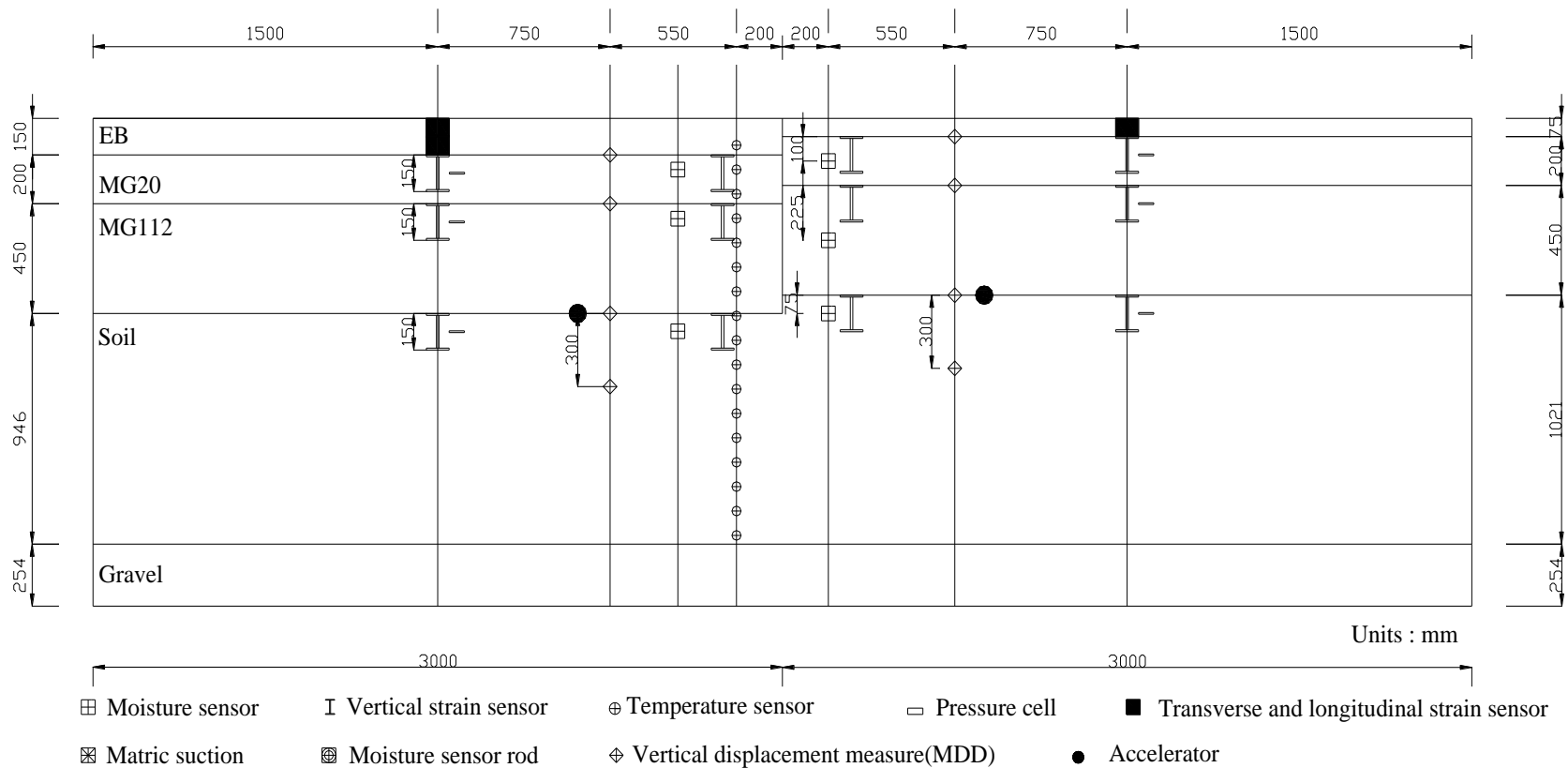
Synthèse et enseignements

Utilisation du verre cellulaire dans les chaussées



Synthèse et enseignements

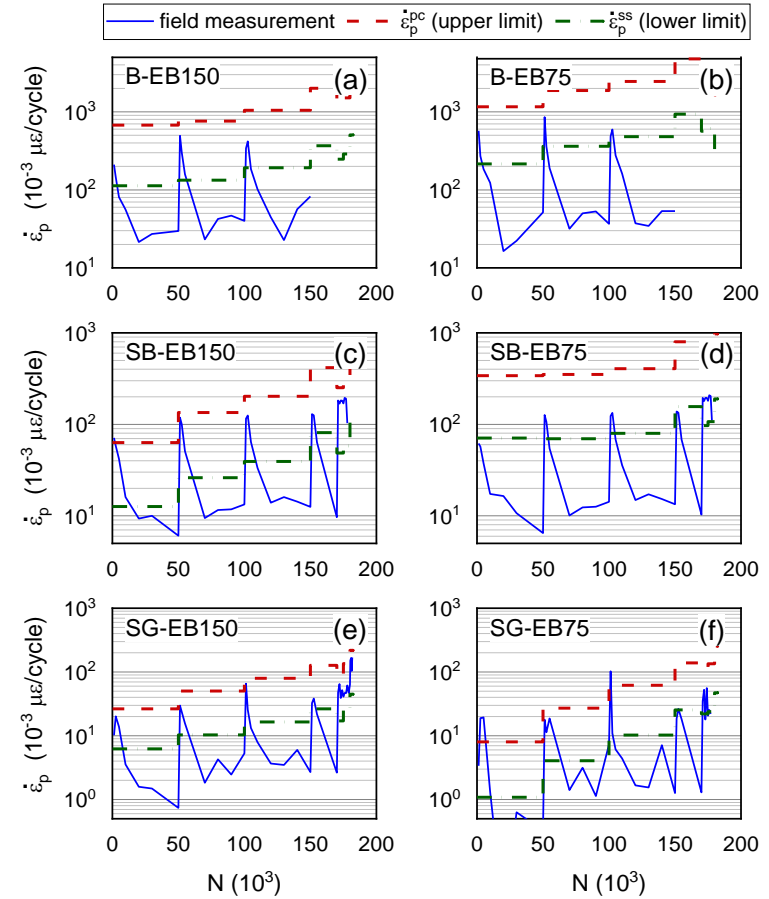
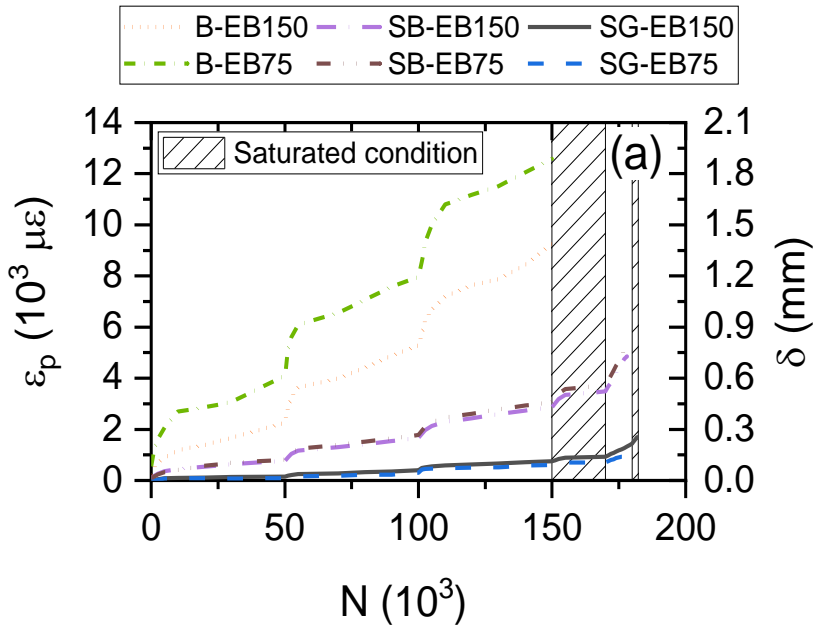
Déformation permanente et effet des supercharges



Synthèse et enseignements

Déformation permanente et effet des supercharges

40 à 80 kN sur demi-essieu

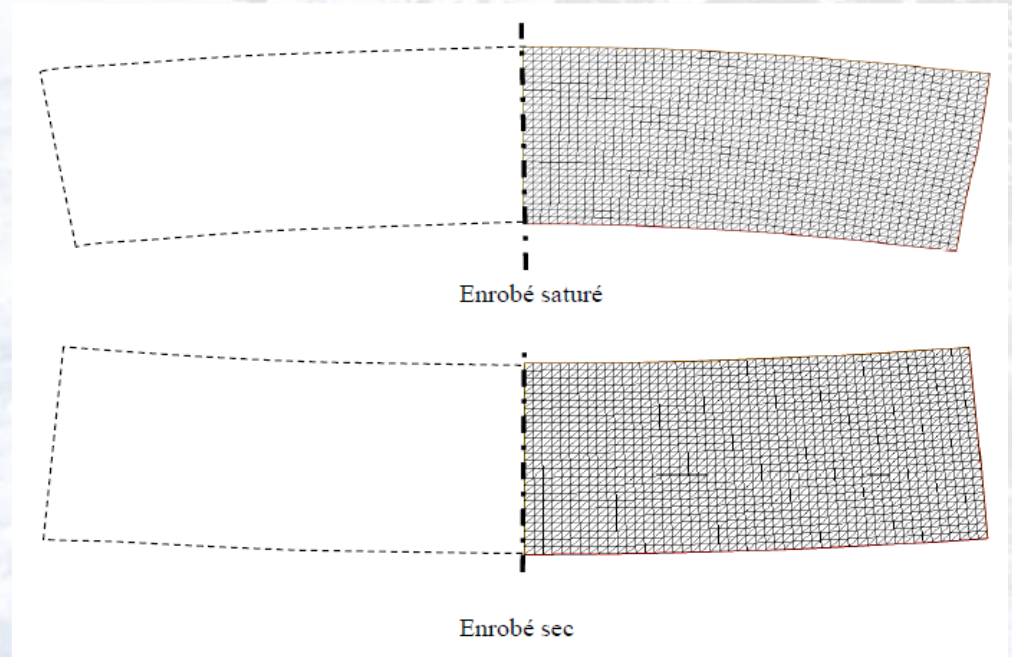


Projet en cours

Étude des mécanismes en lien avec la génèse des nids-de-poules et endommagement

Collaboration :

- Université Gustave Eiffel (Nantes)
- MTQ
- UL



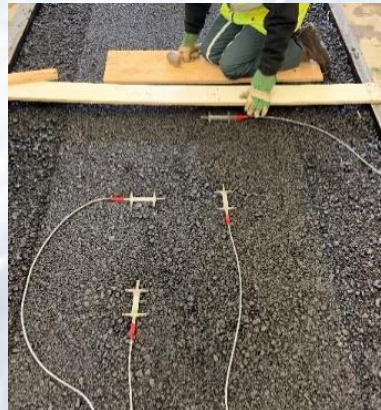
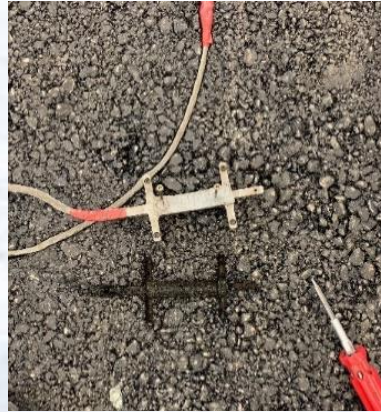
Projet en cours

Étude des mécanismes en lien avec la génèse des nids-de-poules et endommagement

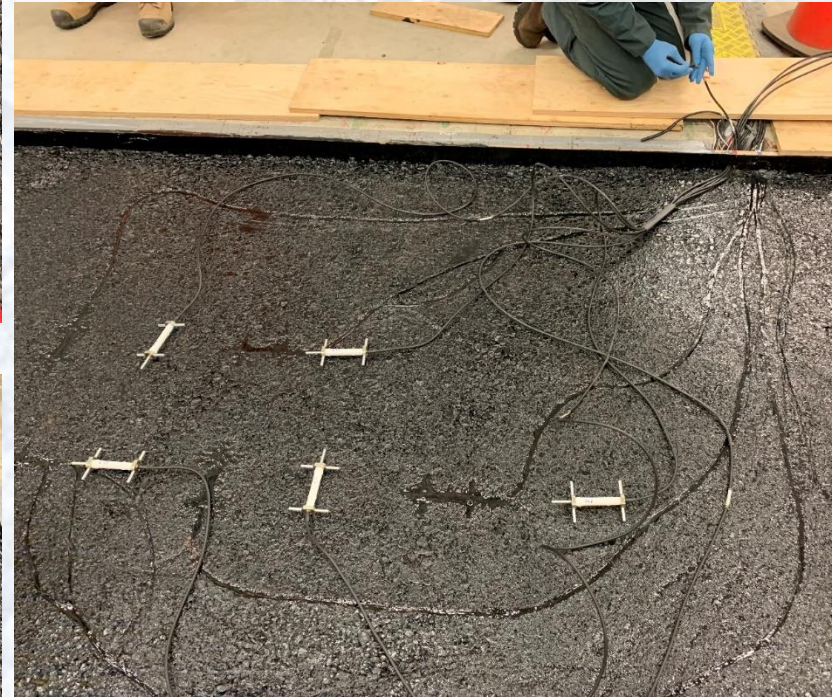
Collaboration :

- Université Gustave Eiffel (Nantes)
- MTQ
- UL

Sommet du GB-20



Base du ESG-10

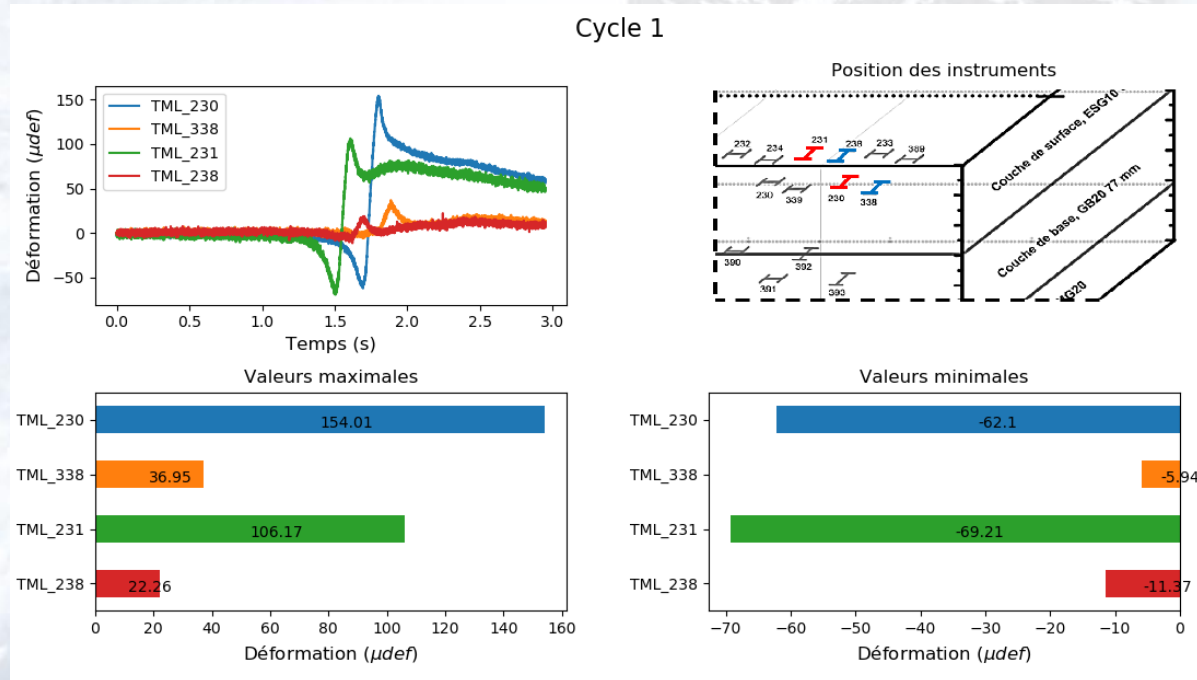


Projet en cours

Étude des mécanismes en lien avec la génèse des nids-de-poules et endommagement

Collaboration :

- Université Gustave Eiffel (Nantes)
- MTQ
- UL



Conclusions et perspectives

- Infrastructure de recherche unique au Canada exploitée à l'Université Laval
- Équipement sollicitant un fort intérêt et en forte demande
 - Plusieurs projets de recherche pour les étudiants de maîtrise et doctorat
- Capacité de recherche sur les chaussées et matériaux répondant aux besoins actuels et futurs du domaine



Références

- Bilodeau, J.-P., Yi, J. and Doré, G. 2020. Assessment of flexible pavement response during partial thawing conditions using accelerated pavement testing. **Journal of Cold Regions Engineering**, 34(2): 04020007
- Bilodeau, J.-P. and Doré, G. 2019. Assessment of pavement response during spring thaw using heavy vehicle simulator testing. **Journal of Testing and Evaluation** 48 (in press). <https://doi.org/10.1520/JTE20180921>.
- Bilodeau, J.-P., Yi, J. and Thiam, P. M. 2019. Surface deflection analysis of a flexible pavement with respect to frost penetration. **Journal of Cold Regions Engineering**, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CR.1943-5495.0000197](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000197).
- Bilodeau, J.-P., Grellet, D., Doré, G. and Phénix, M. 2019. Effect of flotation tires used for agricultural field equipments on flexible pavement damage. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 46(6): 501-510, <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0384>.
- Bilodeau, J.-P., Cloutier, J.-P. and Doré, G. 2017. Experimental damage assessment of flexible pavements during freeze-up. *Journal of Cold Regions Engineering*, **Journal of Cold Regions Engineering**, 31(4), pp. 1-16.
- Yi, J., Doré, G. and Bilodeau, J.-P. 2016. Monitoring and modeling the variations of structural behaviour of a flexible pavement structure during freezing. **Journal of Cold Regions Engineering**, 10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000107, 04016004.
- Gonzalez, E.L.P., Bilodeau, J.-P. and Doré, G. 2020. Use of the permanent strain rate in the analysis of the effect of superheavy vehicles on pavements: Field validation. Submitted to **Transportation Geotechnics**.
- Bilodeau, J.-P. and Gonzalez, E.L.P. 2019. Relationship Between Pavement Damage and the Combined Action of Frost Penetration and Axle Load. In: Chabot A., Horny P., Harvey J., Loria-Salazar L. (eds) **Accelerated Pavement Testing to Transport Infrastructure Innovation**. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 96. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55236-7_51



Références

- Gonzalez, E.L.P., Bilodeau, J.-P., Doré, G. 2019. Effect of the incremental loading conditions on the permanent deformation in heavy vehicle simulator tests. In: Chabot A., Hornych P., Harvey J., Loria-Salazar L. (eds) **Accelerated Pavement Testing to Transport Infrastructure Innovation**. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 96. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55236-7_14
- Berraha, Y., Perraton, D., Doré, G., Vaillancourt, M. and Bilodeau, J.-P. 2019. Laboratory investigation of cracked asphalt pavement structure using accelerated loading system. In: Chabot A., Hornych P., Harvey J., Loria-Salazar L. (eds) **Accelerated Pavement Testing to Transport Infrastructure Innovation**. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 96. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55236-7_6
- Segui, P., Bilodeau, J.-P. and Doré, G. 2019. Mechanical behavior of pavement structures containing foam glass aggregates insulation layer: laboratory and in-situ study. Accepted for the **International Conference on Cold Regions Engineering**, Quebec, Canada, August 19th to 22nd.
- Bilodeau, J.-P. and Doré, G. 2018. Assessment of pavement response during spring thaw using heavy vehicle simulator testing. Proceedings of **International Conference on Asphalt Pavements**, June 19th to 21st, Fortaleza, Brazil, 6 p.
- Bilodeau, J.-P., Cloutier, J.-P., Doré, G. and Thiam, P.M. 2017. Pavement strengthening with respect to frost penetration: a laboratory study using a full-scale heavy vehicle simulator. In Proceedings of **Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields**, Andreas Loizos, Imad Al-Qadi, Tom Scarpas Ed., June 28-30th, Athens, Greece.
- El-Youssoufy, A., Doré, G., Bilodeau, J.-P. and Prophète, F. 2016. Assessment of flexible pavement response during freezing and thawing from indoor heavy vehicle simulator testing. Accepté pour la conférence internationale Accelerated Pavement Testing, 19-21 septembre 2016, Costa Rica, 12 p.
- El-Youssoufy, A. 2017. Effets des charges sur les chaussées en période de restriction des charges-volet laboratoire. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.
- Cloutier, J.-P. 2017. Effet des charges lourdes en période hivernale. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec, Canada.



Merci de votre attention

Question et commentaires ?

Partenaires

