

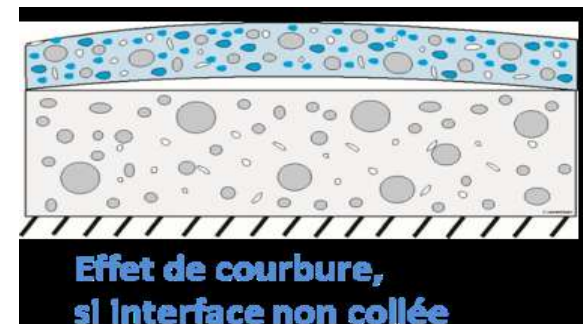
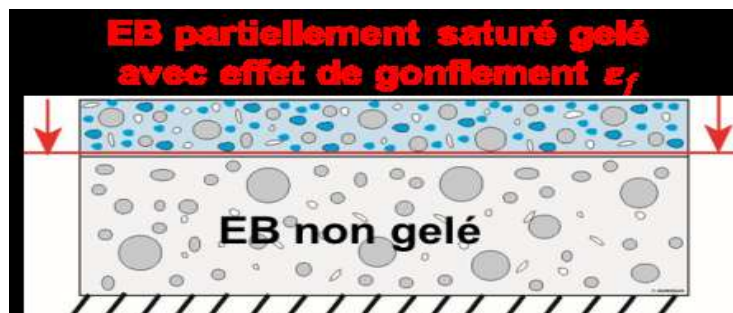
Essais accélérés pour l'étude du comportement au gel/dégel des couches de chaussées bitumineuses

**J.-P. Bilodeau**, ing., PhD, Professeur adjoint  
Université Laval

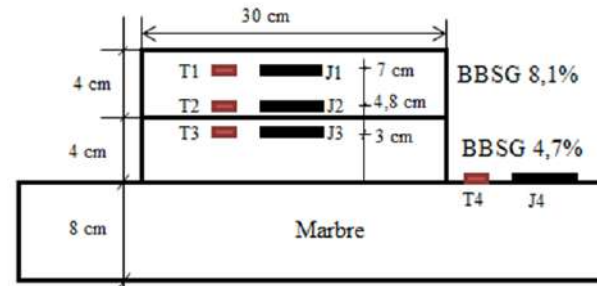
O. Chupin, J.-M. Piau, F. Hammoum, B. Shiferaw, S. Bouron  
Université Gustave Eiffel

# Problématique

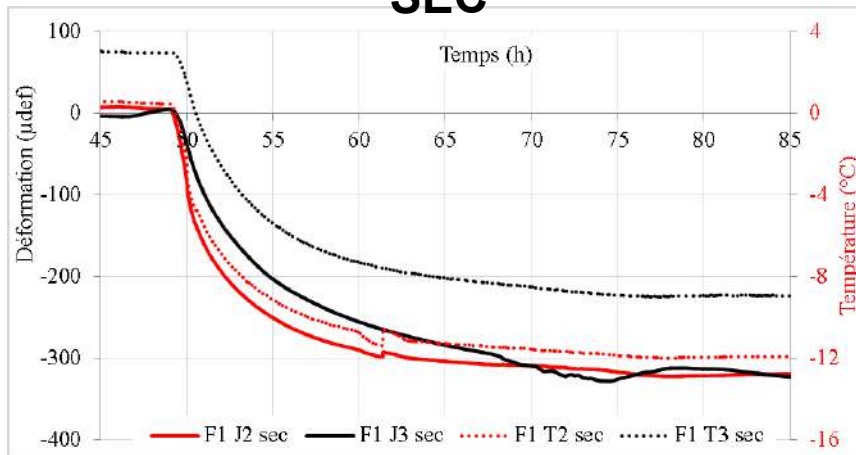
- **Cycles de gel et dégel**
  - Effets significatifs sur l'endommagement des chaussées en contexte nordique
- **Pelades et nids-de-poules**
  - Phénomène complexe
  - Âge, collage des couches et effet de l'eau
  - Sollicitations thermiques et mécaniques
  - Apparition parfois rapide et étendue
- **Travaux en France (2018)**
  - Déformations de gonflement induites par le gel dans un enrobé partiellement saturé en eau ( $>100 \mu\text{def}$ )
  - Effet structural au sein de couches de chaussée liées et soumises à un jeu de déformations différentielles.



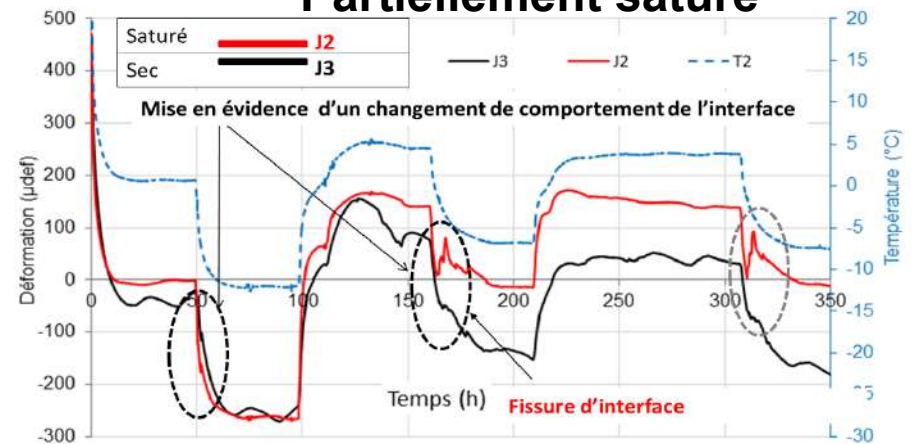
# Essai de gel/dégel en condition partiellement saturée sur éprouvette bicouche (Vu 2018)



## SEC



## Partiellement saturé



# Objectif

**Caractériser à échelle réelle le comportement au gel/dégel des revêtements bitumineux bicouche et de leurs interfaces en conditions partiellement saturées, à l'aide d'un essai de simulation de trafic en conditions climatiques contrôlées (température / humidité);**

# Laboratoire de géotechnique routière de l'Université Laval

## Simulateur

- Véhicule légal
- Mobile (terrain ou laboratoire)
- 20 K cycles / jr
- 0 à 10 km/h
- 5 à 100 kN
- Déplacement latéral
- 40+ à -20 °C



# Protocole

Mega Phase (MP)	Description	T interf. (°C)	Condition surface
<b>A</b>	Préparation et Profils initiaux	20	sèche
<b>B</b>	Cycles thermiques (x5)	5 à -10	sèche
<b>C</b>	Réponse initiale (référence)	20	sèche
<b>D, E_int., E</b>	Réponse initiale	5, 0, -10	sèche
<b>F</b>	Mouillage (à 15°C)	15	Mouillée
<b>G_int.</b>	Réponse intermédiaire (5 °C)	5	Mouillée
<b>G</b>	Cyclage gel-dégel (X3)	5 à -10	Mouillée
	Chargement Cyclage G/D + chargement continu	5 5 à -10	

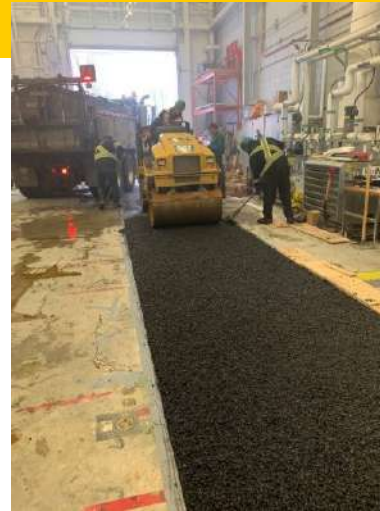
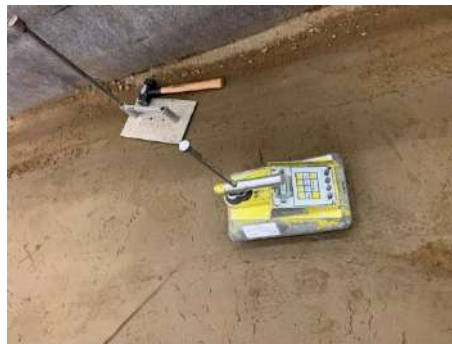


Simulateur



Fosse expérimentale

# Construction

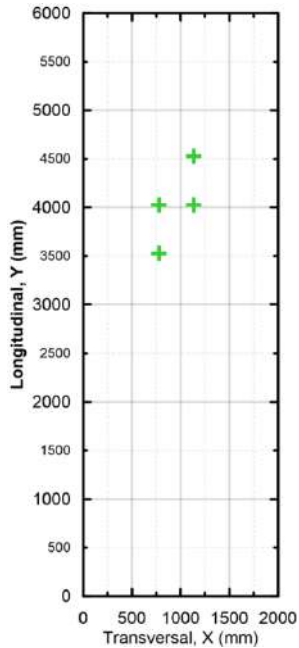


Couche	Épaisseur (mm)
ESG10	68
GB20	77
MG20 (F)	234
MG112 (SF)	474
Sable silteux	841
Pierre 10-14	300
Épaisseur tot.	1994

Taux de pose résiduel  
de 0.3 L/m<sup>2</sup>

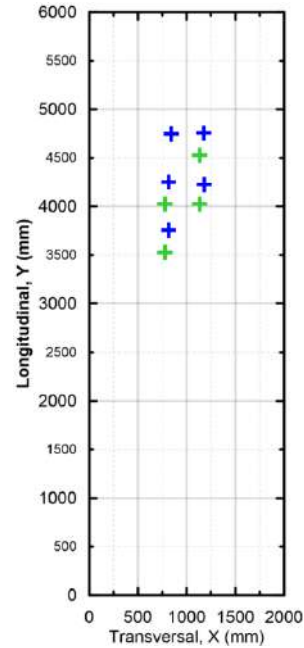
# TML Enrobé

## Base GB20



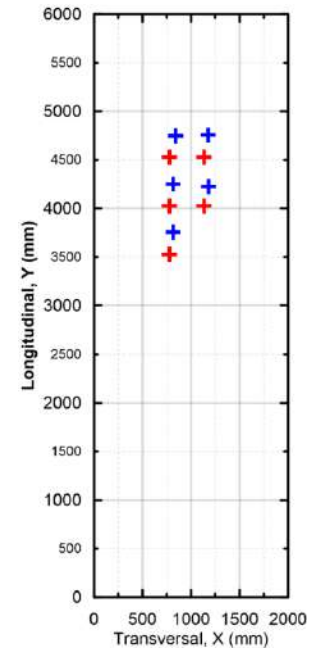
**Z ≈ -145 mm**

## Sommet GB20



**Z ≈ -78 mm**

## Base ESG10



**Z ≈ -58 mm**



# Préparation bassin pour saturation

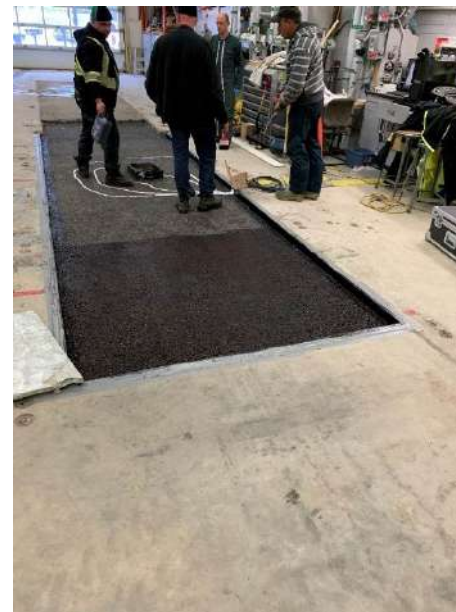
Cadre



Couche de base



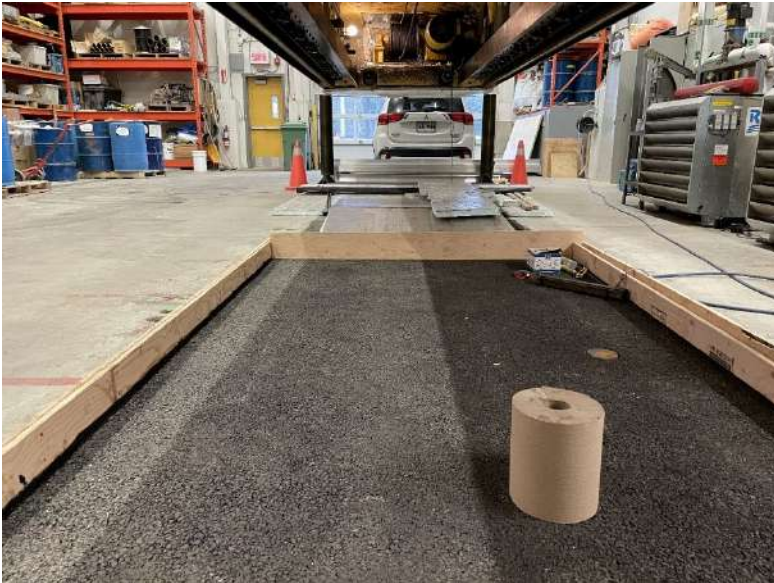
Pose du liant



Couche de surface



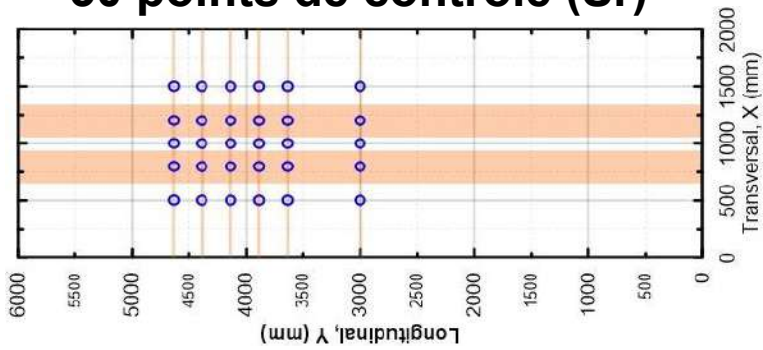
# Préparation bassin pour saturation



# Mesure $\uparrow$ Sr

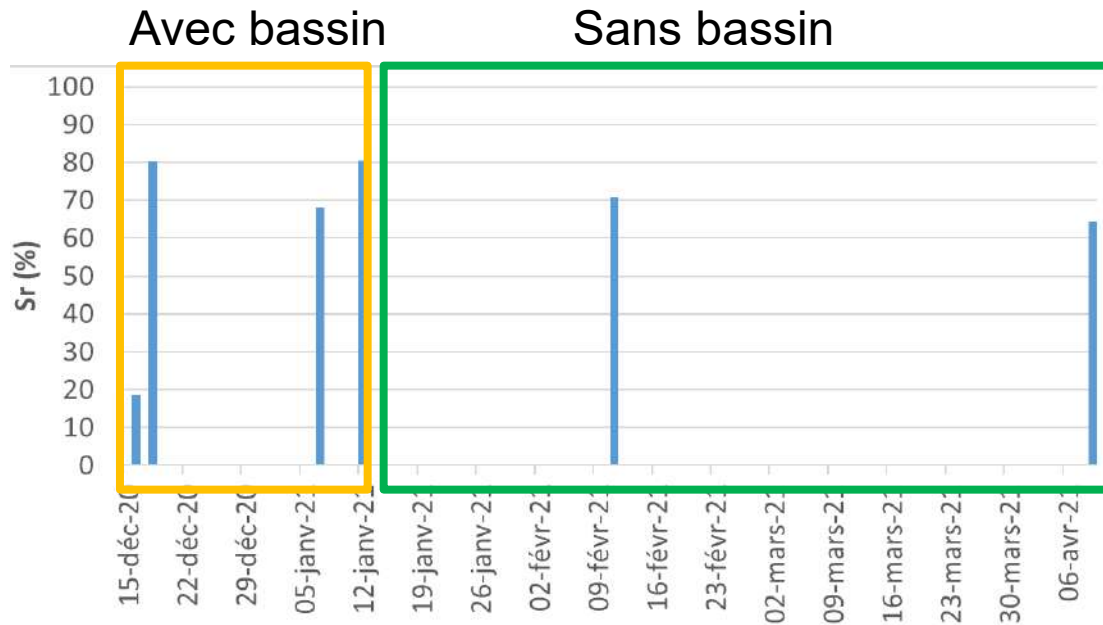


**30 points de contrôle (Sr)**



# Mesure du degré de saturation

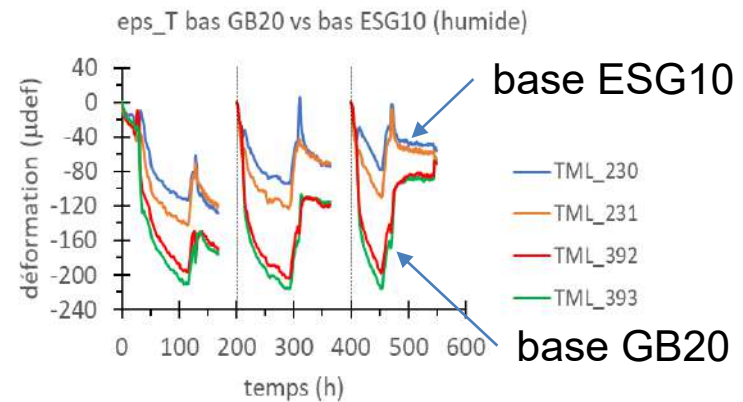
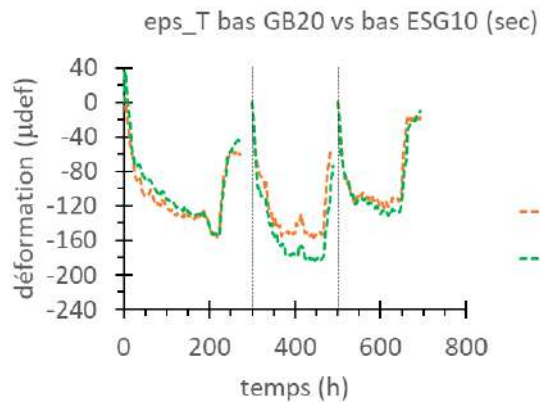
- Utilisation cte diélectrique
- Calibration préalable en laboratoire



**Sr moyen estimé sur la planche**

# Mesures expérimentales

- Exemple de mesures de jauges de déformation transversale sous sollicitation purement thermique

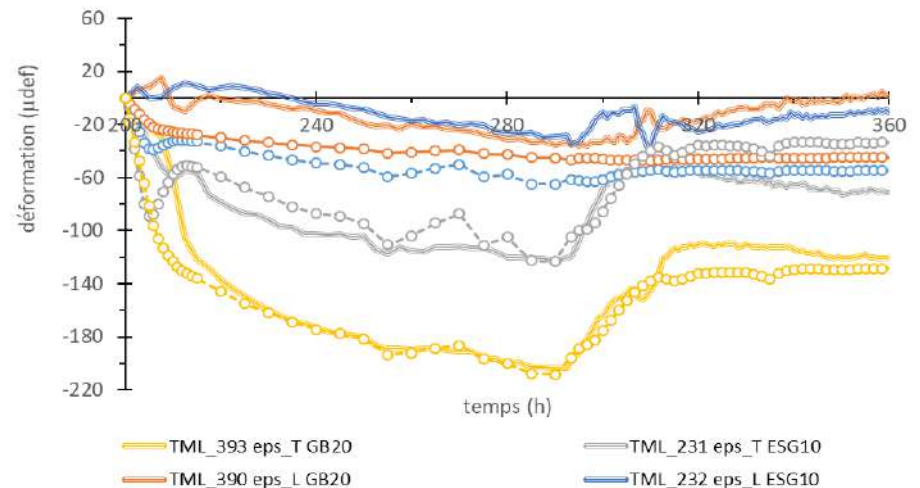


- À sec : déformations transversales voisines en bas d'ESG10 et de GB20
- En condition humide : séparation des signaux de déformation transversale entre ESG10 et GB20

→ Mise en évidence d'une déformation de gonflement due au gel dans l'ESG10

## Modélisation mécanique FEM 3D sous chargement thermique pur en condition humide – mise en évidence des principaux mécanismes en jeu

- Déformations (élastique, thermiques) + gonflement au gel
- Saturation partielle ESG10, voire GB20
- Glissement partiel à l'interface ESG10/GB20 en condition humide avec gel
- Conditions de contact avec frottement entre GB20 et matériau granulaire

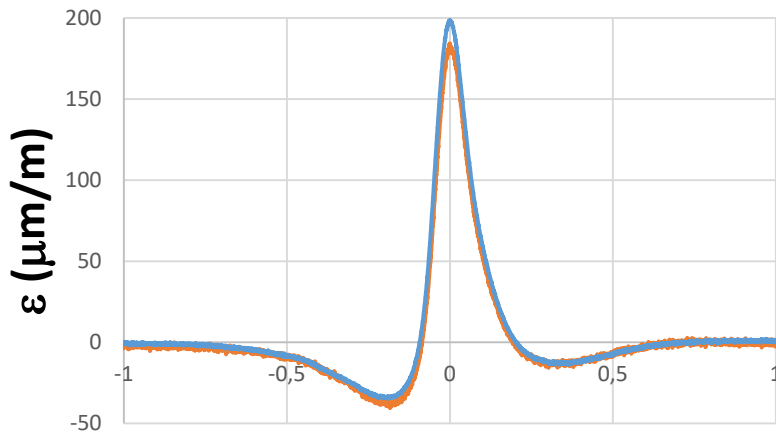


**Déformations longitudinales et transversales : comparaison mesures / simulations**

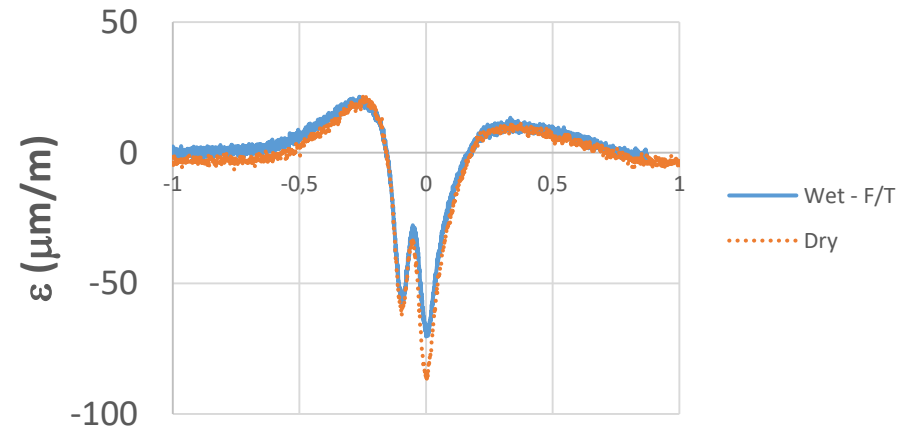
# Exemple réponse mécanique

- Analyses en cours

Fond de la couche de base - Longitudinal

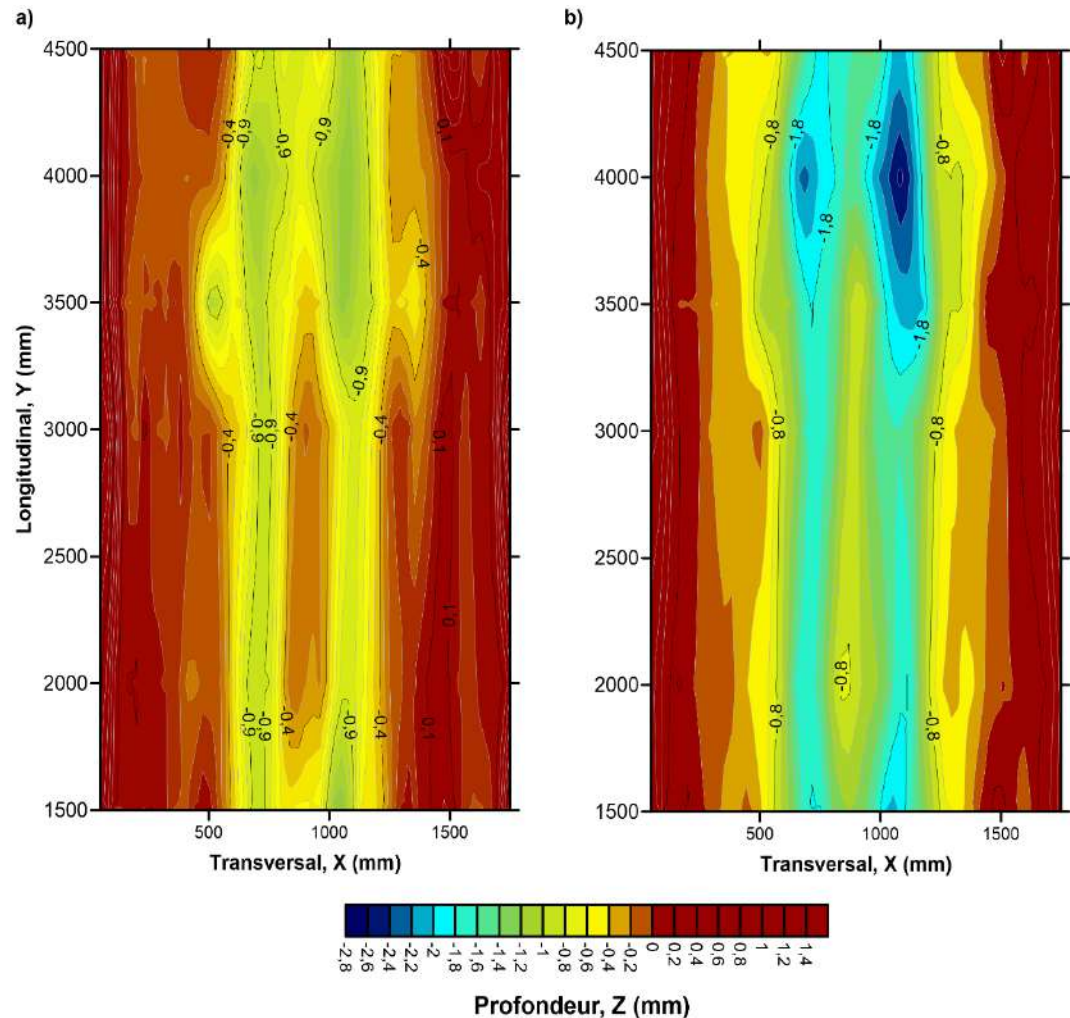


Fond de la couche de surface - Longitudinal



# Endommagement accéléré (Suivi orniérage)

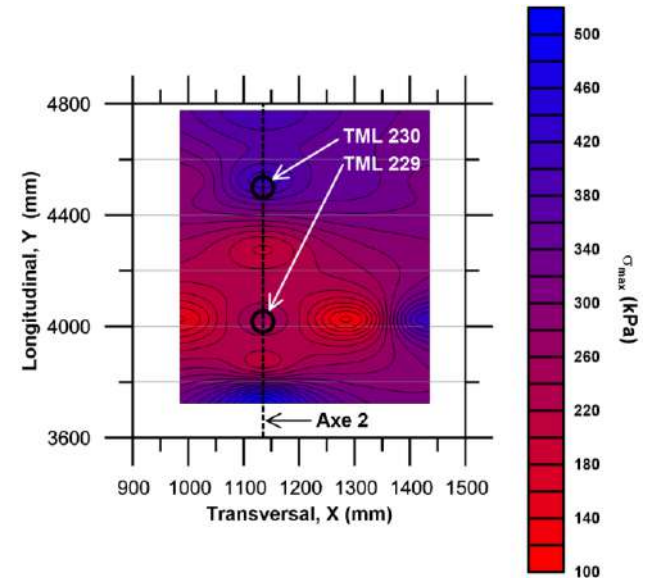
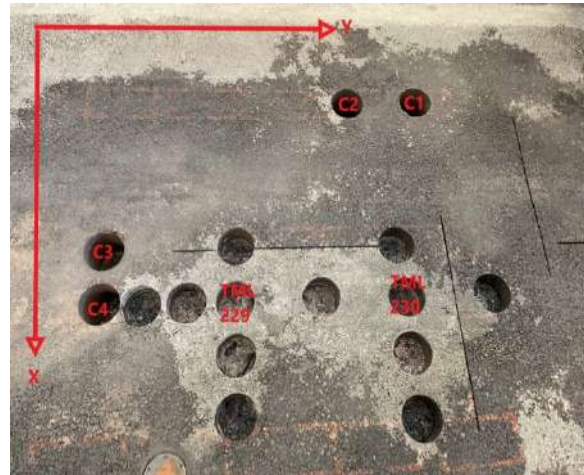
- Conditions de saturation partielle
- Cyclage gel et dégel (5 à -10 °C)
- 200 K cycles
- 900 K ÉCAS
- Taux d'orniérage ~ 1 mm / MÉCAS





# Effet des cycles de gel et dégel sur l'interface

- **Essai AMAC**



Post construction :  $\sigma_{\max} = 462$  kPa (parfaitement lié)

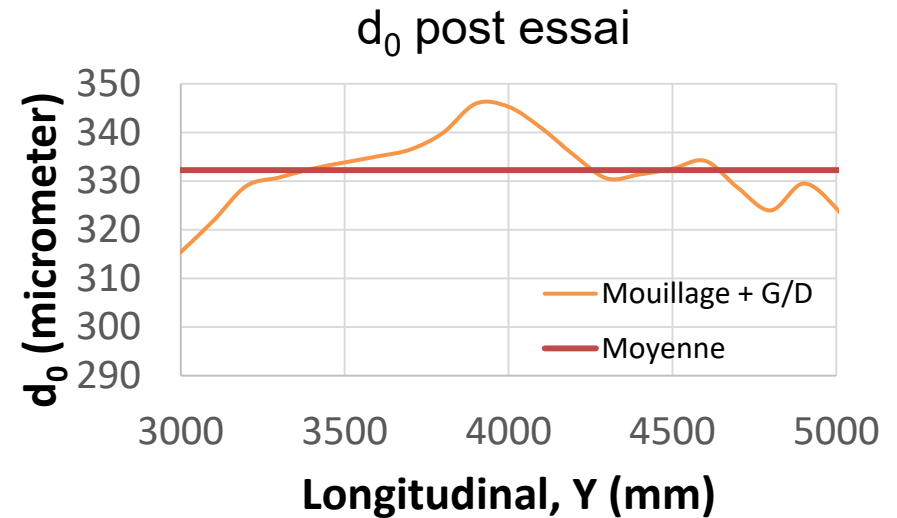
Après mouillage et cycle G/D :  $\sigma_{\max} = 285$  kPa (lien modéré)

Carottage : Eau dans le GB20,  $S_r$  (carottage) <  $S_r$  estimé

# Effet des cycles de gel et dégel sur l'interface

- **Déflexion**

$d_0$  initial  $\approx$  300 micromètres



# Conclusions

- **Les effets de gel et dégel saisonniers**
  - sollicitations complexes
  - problèmes de dégradation des structures de chaussées
- **Simulateur de véhicules lourds en laboratoire**
  - Bon outil pour simuler des phénomènes en conditions contrôlées
  - Difficile de reproduire certaines conditions (saturation, gel rapide, dégel répété, ...)
- **Sollicitation importante de l'interface par effet de gel**
  - Déformation de gonflement significative dans l'enrobé partiellement saturé (300  $\mu\epsilon$ )
  - Déformations horizontales différentielles
  - Signes préliminaires de fissuration ou décollement localisés au niveau de certaines jauges et au voisinage de l'interface ESG10/GB20
- **Pas de dégradation généralisée notable**
  - Nids-de-poule plus typiquement observés sur des chaussées ayant quelques années de service et de vieillissement en conditions extérieures

# Merci de votre attention

J.-P. Bilodeau

Titulaire - Chaire Sentinelle Nord sur les infrastructures nordiques

Université Laval

[jean-pascal.bilodeau@gci.ulaval.ca](mailto:jean-pascal.bilodeau@gci.ulaval.ca)



Sentinelle  
Nord

