

Etude du comportement des couches de roulement sur le manège de fatigue et modélisation

Marina Al Bacha, Mai Lan Nguyen, Olivier Chupin,
Pierre Hornych
Université Gustave Eiffel

Plan

- **Contexte**
- **Objectif et méthodologie**
- **Etude expérimentale**
- **Approches numériques**
- **Apport des capteurs à fibres optiques**
- **Conclusions**

Mécanismes de dégradation des couches de roulement

- **Principes de la méthode française de dimensionnement (NF P98-086):**
 - Prédiction des dommages et de la durée de vie, basée sur les couches d'assise
 - Interface collée ou glissante entre les couches
- **Le comportement structurel des couches de roulement reste peu étudié, bien que celles-ci soient fortement sollicitées par :**
 - Le chargement des véhicules
 - Les conditions climatiques
 - Les conditions de collage à l'interface



Variation de la distribution des déformations et contraintes conduisant à des dommages en surface



Fissures



Nids de poule

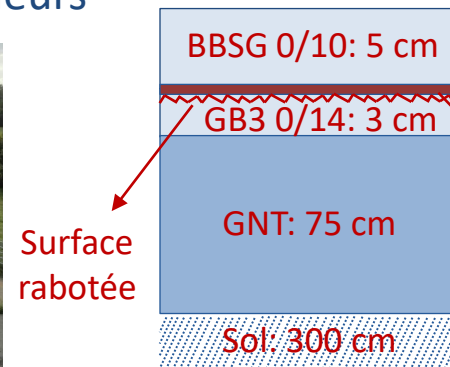


Ornières

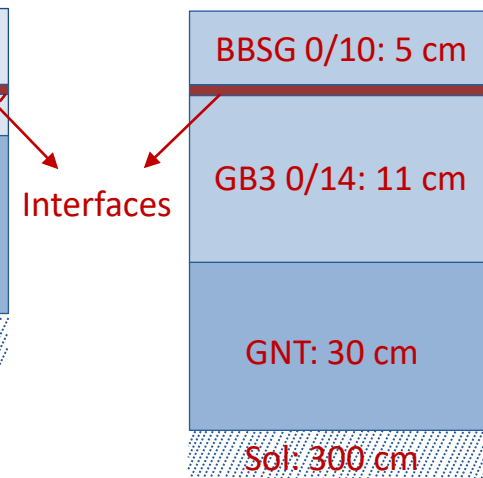


Objectif et méthodologie

- Evaluer le comportement des couches de roulement sous trafic sur la base d'essais manège et de modélisations (Viscoroute©2.0 et calcul FEM)
- Considération de différents facteurs:
 - Type de structure: réhabilitée ou neuve
 - Interface avec ou sans couche d'accrochage
 - Matériaux: BBSG, BBM
 - Chargements: roues simples, jumelage ou tridem
 - Températures à différentes profondeurs



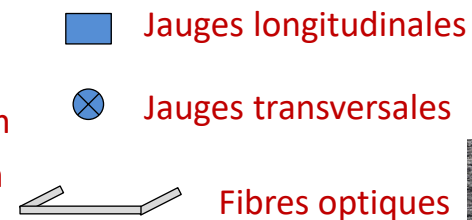
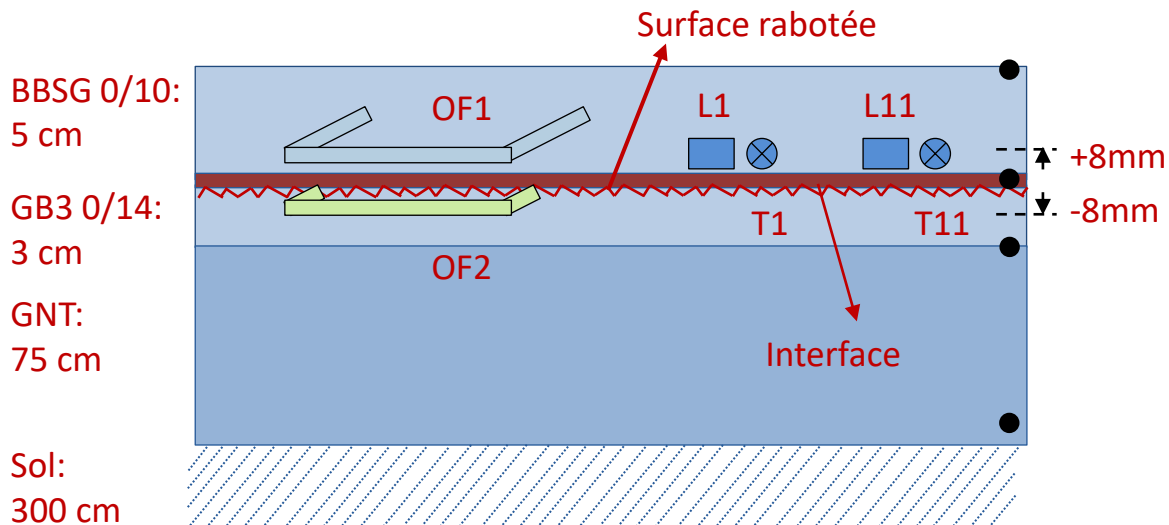
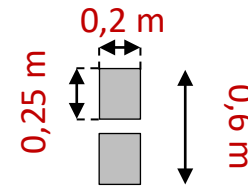
C chaussée réhabilitée



C chaussée neuve

Etude expérimentale de la chaussée réhabilitée

- Composition de la chaussée: couche de roulement neuve et couche d'assise existante, GNT et sol
- Demi essieux à roues jumelées (6,5 tonnes):
- Chargement: → 470 000 cycles
- Instrumentation: jauges et fibres optiques (mesures des déformations), thermocouples (mesures des températures)

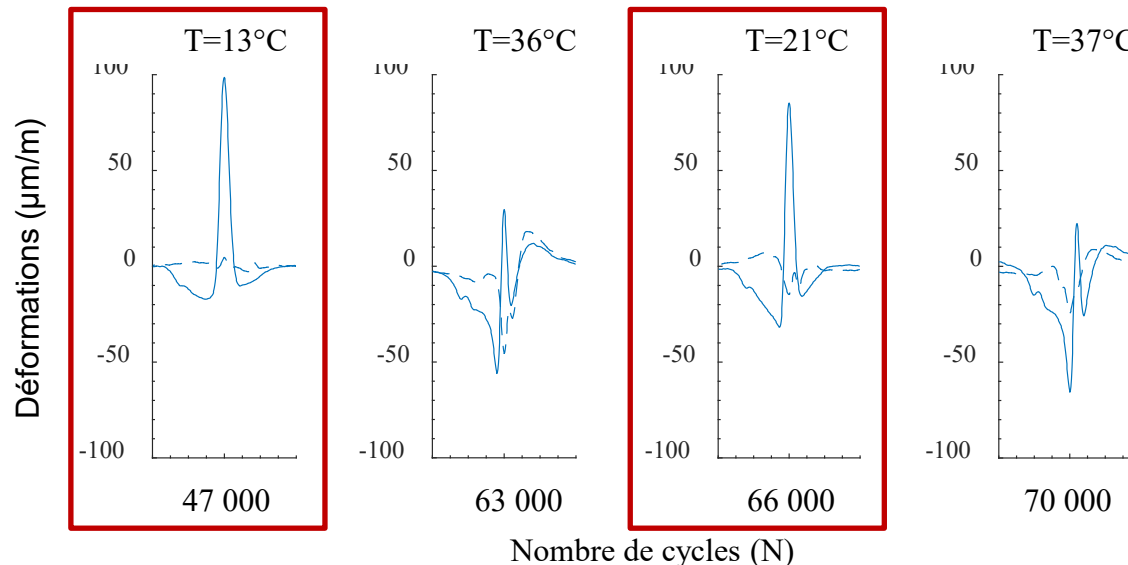


- Thermocouples

Accrochage: 300g/m² de bitume résiduel

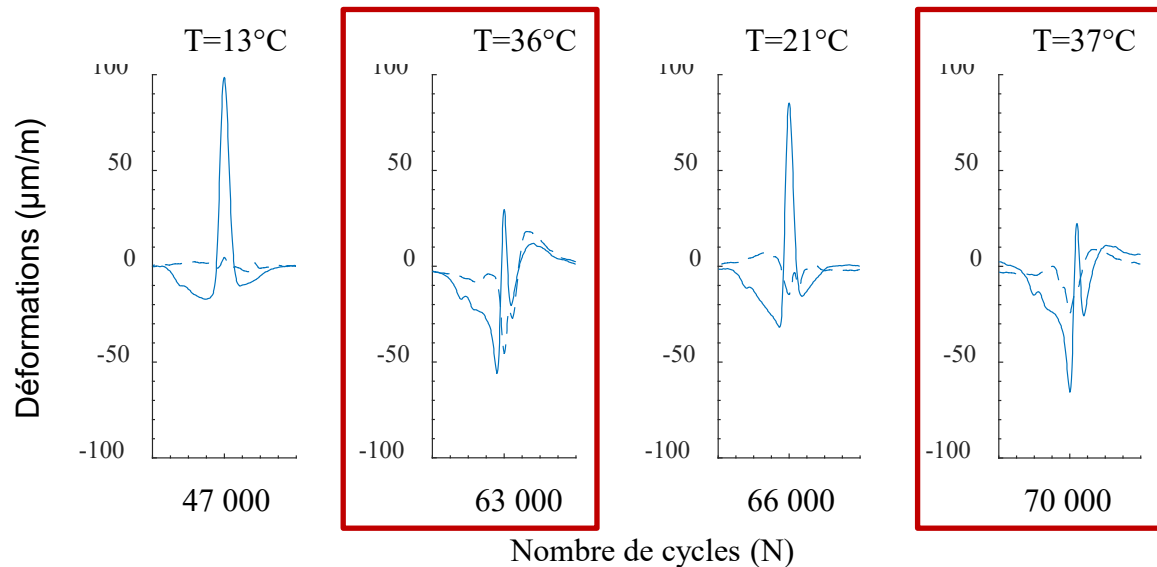
Chaussée réhabilitée - Déformations longitudinales en bas de la couche de roulement en début de l'essai

- À température modérée:**
 - Déformations longitudinales différentes mesurées par les 2 jauges L1 et L11 : comportement hétérogène
 - Déformations en extension importantes mesurées par L1 (autour de 100 μdef): **interface non parfaitement collée** dès le début de l'essai \rightarrow risque d'endommagement de la couche de roulement



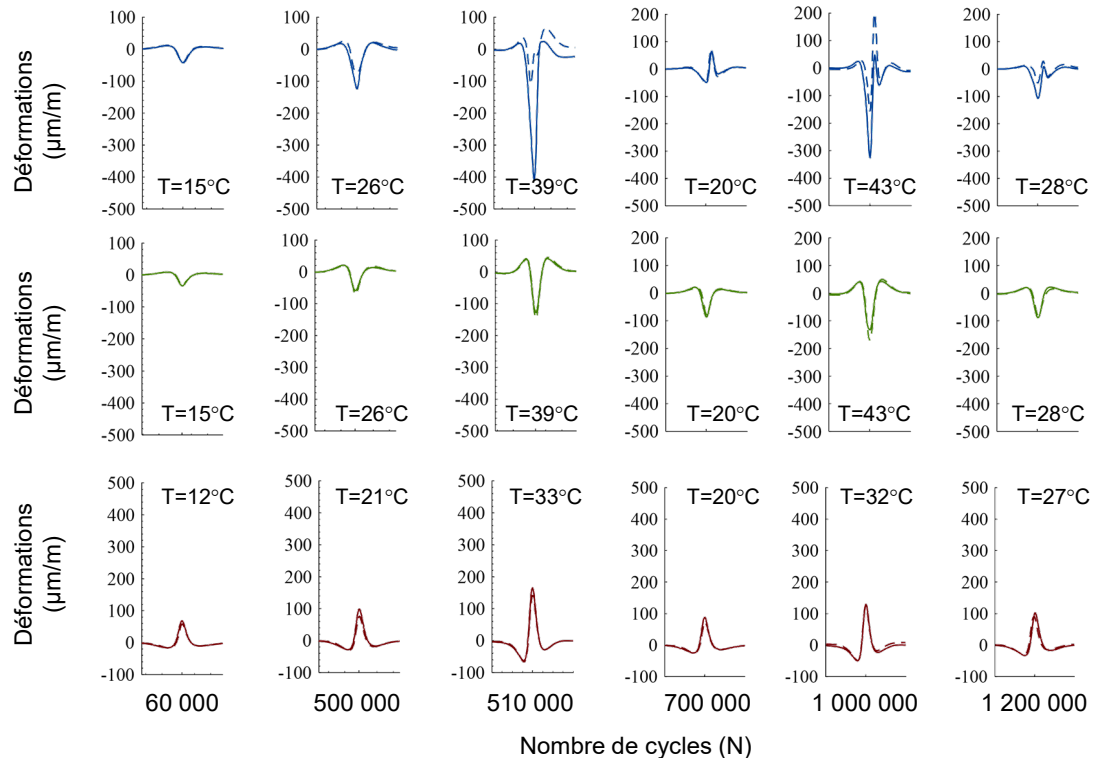
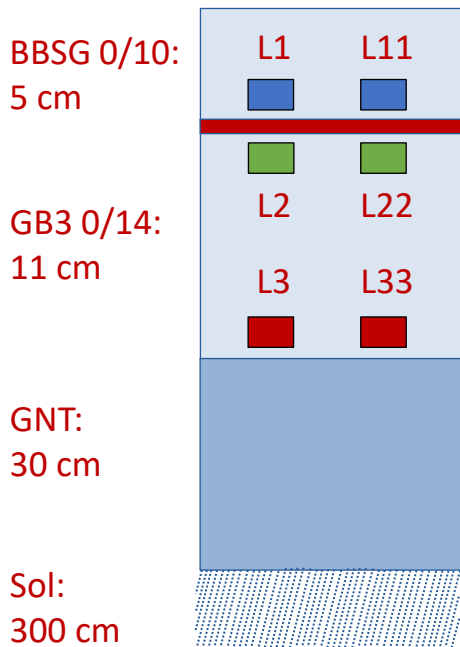
Chaussée réhabilitée - Déformations longitudinales en bas de la couche de roulement en début de l'essai

- **À haute température:**
 - Changement de la forme du signal et diminution des déformations d'extension en bas de la couche de roulement: effet du comportement de l'interface?
 - **Changement réversible** a priori fonction de la température et non lié à un effet de nombre de cycles



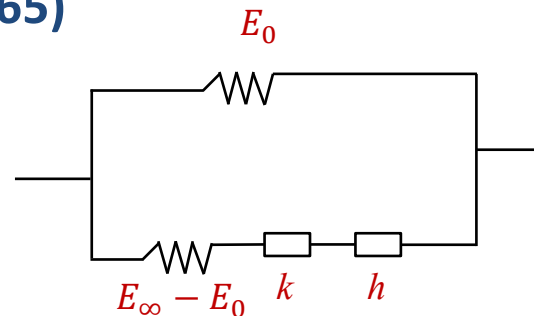
Chaussée neuve – Evolution des déformations longitudinales

- **En début de l'essai:** interface collée, continuité des déformations longitudinales
- **À 510 000 cycles et à haute température:** apparition de pics en extension en bas de la couche de roulement
- **À partir de 700 000 cycles :** discontinuité des déformations de part et d'autre de l'interface jusqu'à la fin de l'essai, indépendamment de la température → décollement irréversible



Modélisation avec Viscoroute©2.0

- **Modèle multicouche et semi-analytique pour calculer la réponse mécanique sous charge roulante**
- **Comportement viscoélastique des enrobés bitumineux de Huet-Sayegh (Huet, 1965 and Sayegh, 1965)**



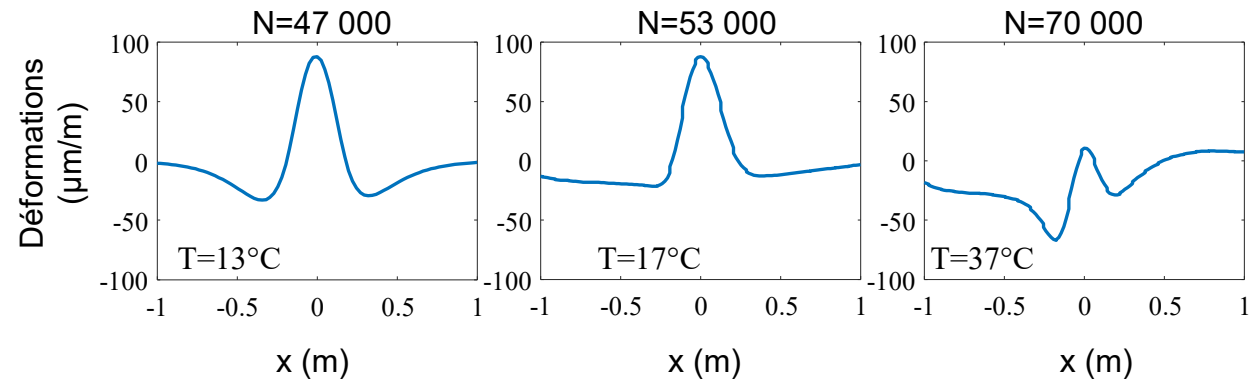
- **Interface: collée ou couche mince viscoélastique approchée par un module élastique équivalent (discontinuité de déplacement horizontal), calibrée avec les résultats des essais**

Modélisation avec Viscoroute©2.0

- **Pour chaussée réhabilitée:**
 - Rappel des signaux expérimentaux

En bas de la couche de roulement

Déformations longitudinales (L1)

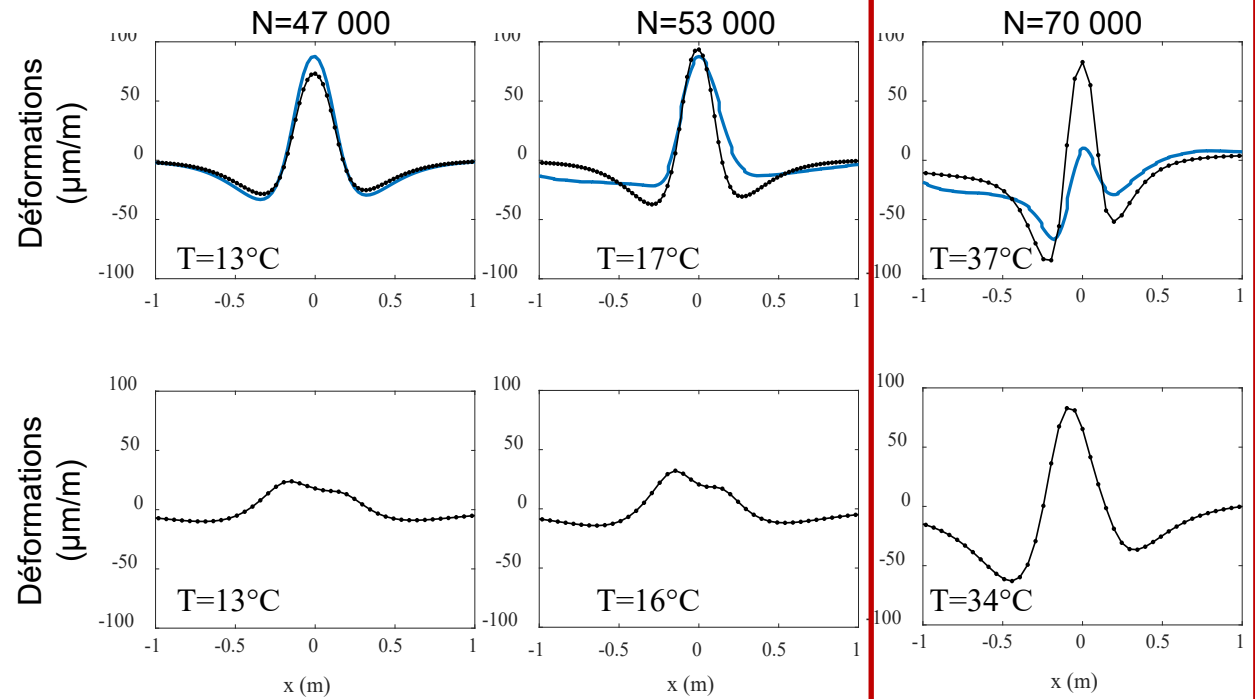


Modélisation avec Viscoroute©2.0

- **Pour chaussée réhabilitée:**
 - Modèle avec interface mince ($e=1\text{mm}$ (Grellet et al., 2018), $E=20\text{ MPa}$):
 - Bonne prédiction des déformations mesurées avec L1 à 13°C et 17°C
 - Déformations surestimées à 37°C

Déformations longitudinales (L1 vs calcul)

En bas de la couche de roulement

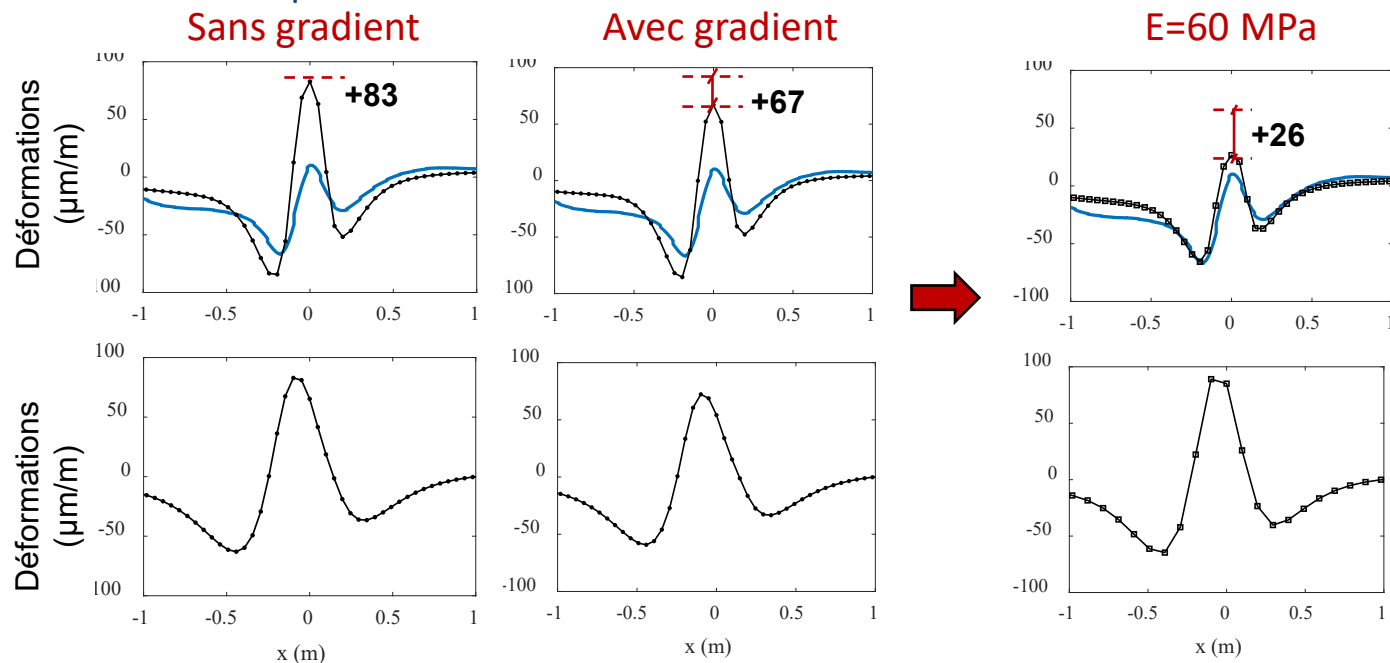


En haut de la couche d'assise

Modélisation avec Viscoroute©2.0

- **Ajout dans le modèle d'un gradient thermique:**
 - Modèle avec interface mince ($e=1\text{mm}$ (Grellet et al., 2018), $E=20\text{ MPa}$) avec **gradient thermique** de 1°C/cm (d'après les thermocouples)
 - Le gradient de température permet de réduire les déformations calculées mais pas suffisamment pour retrouver les déformations mesurées
- Une manière de retrouver les mesures: **augmenter le module** de l'interface \rightarrow incompatible avec un comportement viscoélastique de l'interface

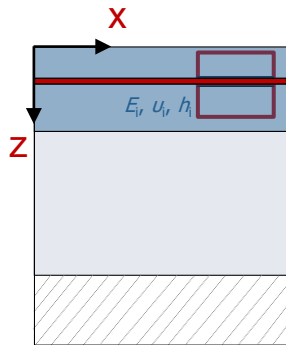
En bas de la couche de roulement



En haut de la couche d'assise

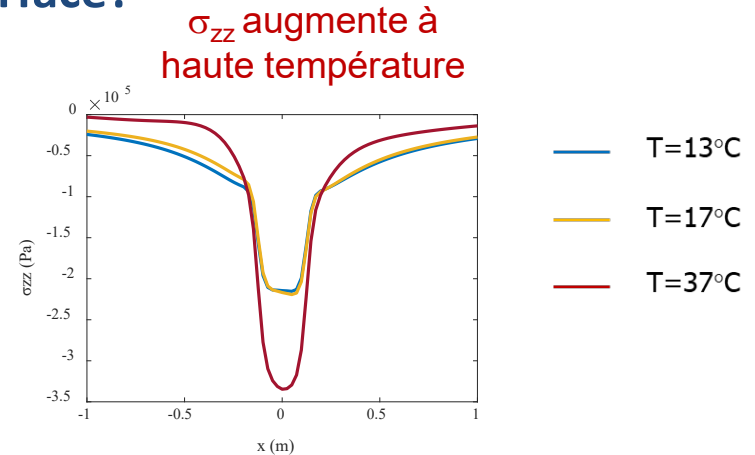
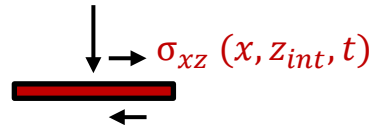
Autre approche de modélisation de l'interface: comportement frottant

- Effet de la contrainte normale sur l'interface?



Plan de l'interface

$$\sigma_{zz}(x, z_{int}, t)$$



- Loi de frottement de Coulomb appliquée à l'interface: $-\sigma_{zz} \tan \varphi \leq \sigma_{xz} \leq \sigma_{zz} \tan \varphi$

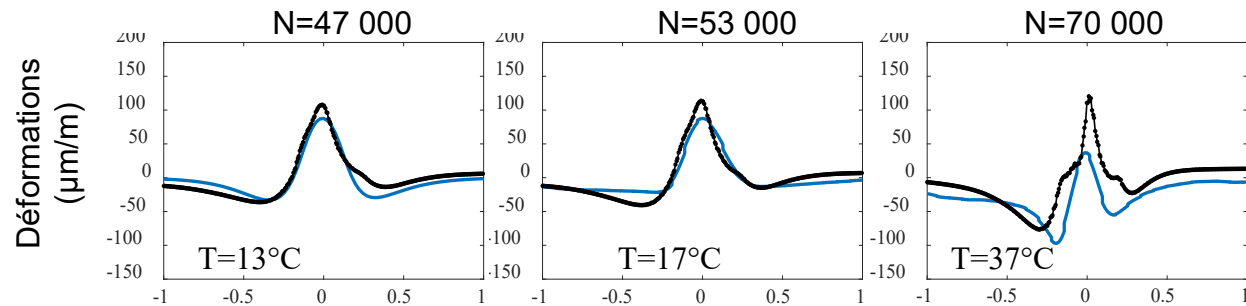
avec σ_{xz} = contrainte de cisaillement, σ_{zz} = contrainte normale et φ = angle de frottement

- Si $\sigma_{xz}(x, z_{int}, t) \geq 0$:
 - $[\dot{u}] \geq 0$
 - $\sigma_{xz} \leq (-\sigma_{zz}) \tan \varphi$
 - $[\dot{u}] (\sigma_{xz} + \sigma_{zz} \tan \varphi) = 0$
- Si $\sigma_{xz}(x, z_{int}, t) < 0$:
 - $[\dot{u}] \leq 0$
 - $\sigma_{xz} \geq \sigma_{zz} \tan \varphi$
 - $[\dot{u}] (\sigma_{xz} - \sigma_{zz} \tan \varphi) = 0$

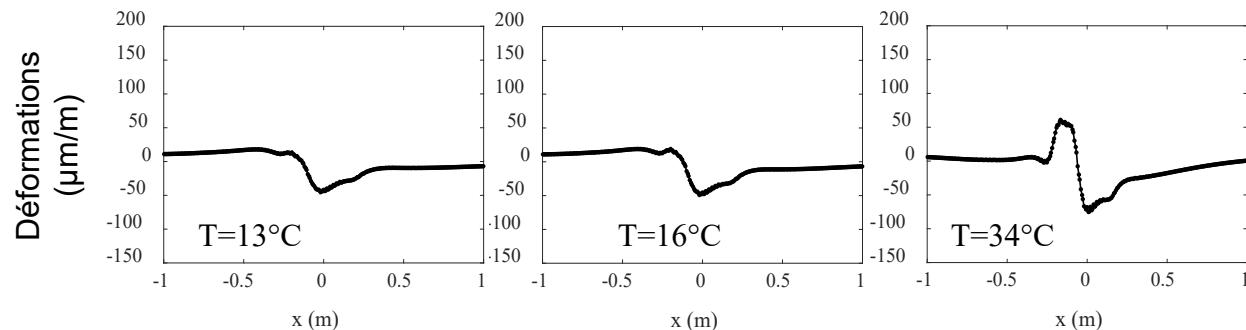
Comportement frottant: calcul des déformations par EF

- **Comparaison du modèle avec les mesures pour la chaussée réhabilitée:**
 - Bonne prédiction des déformations pour toutes les températures
 - Modèle d'interface lui-même indépendant de la température (angle de frottement constant)
 - Effet de température via la viscoélasticité des couches et l'impact sur la contrainte normale appliquée à l'interface

En bas de la couche de roulement

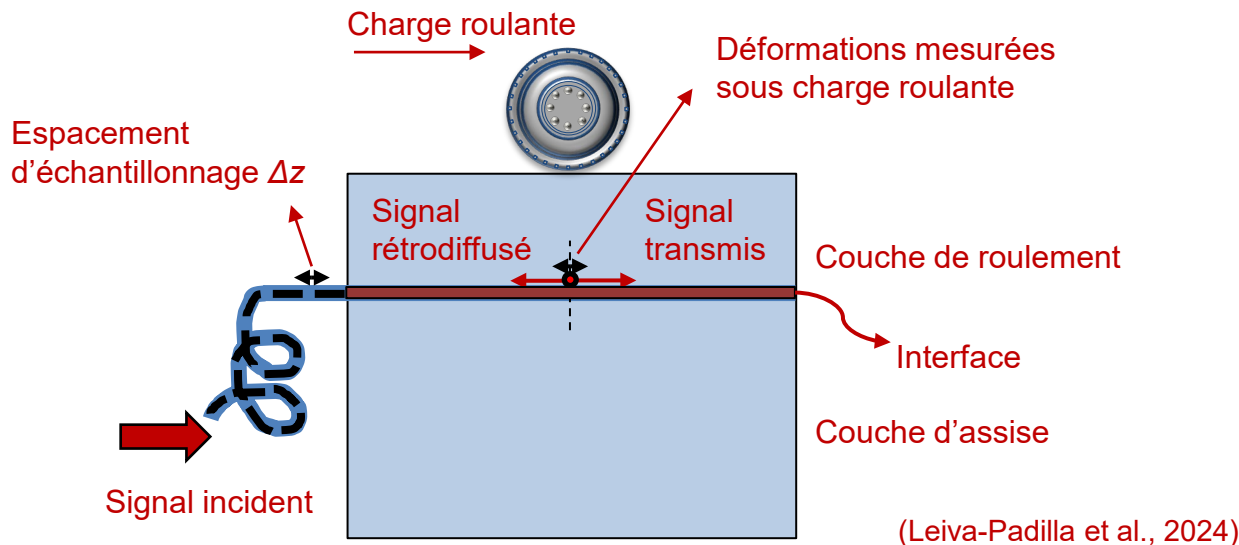


En haut de la couche d'assise



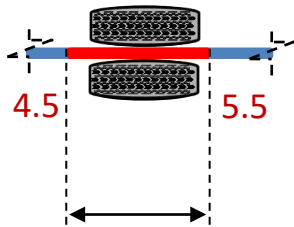
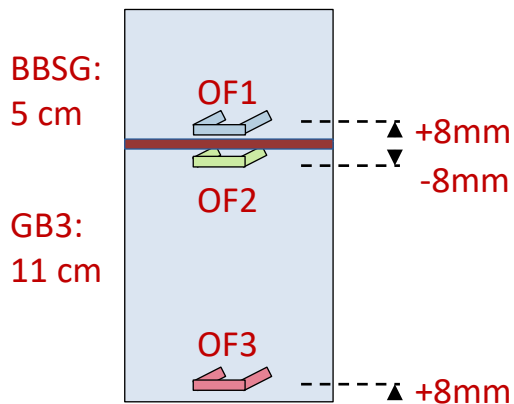
Apport des fibres optiques au suivi du comportement des couches de chaussée

- **Nouvelle technique d'instrumentation pour mesurer en continu les déformations sous charge roulante: méthode de Rayleigh**
 - Densité de mesure importante (tous les 2,6 mm le long de la fibre)
 - Fibre de faible diamètre et moins intrusive que les jauges
 - Instrumentation en direction longitudinale et en transversale
 - Fréquence d'échantillonnage adaptable aux conditions de mesure



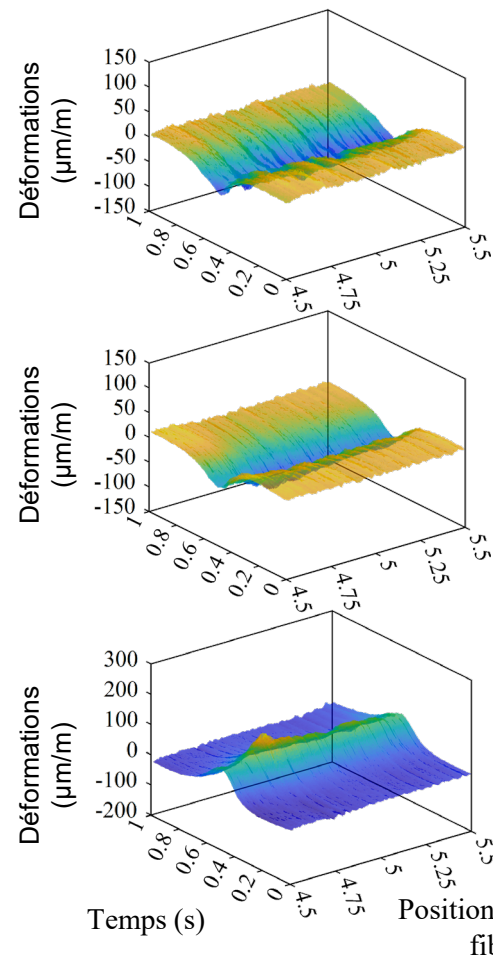
Apport des fibres optiques au suivi du comportement des couches de chaussée

- Exemple de mesures des déformations longitudinales pour la chaussée neuve



Zone d'intérêt: 1-m dans la direction longitudinale

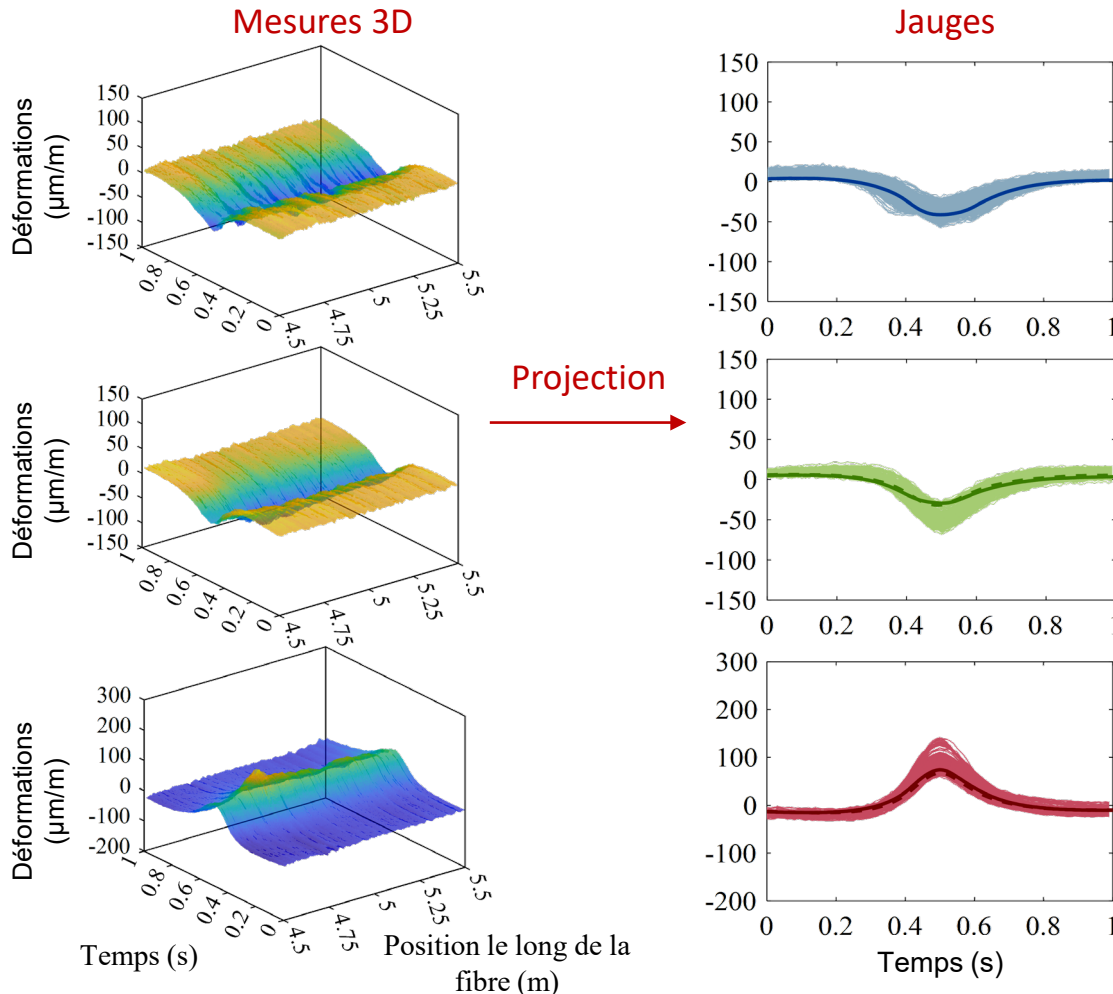
Mesures 3D



Mesure continue des déformations le long de la fibre

Apport des fibres optiques au suivi du comportement des couches de chaussée

- Comparaison avec les mesures des jauges



-Valeurs de déformations similaires avec les fibres et les jauges dans toutes les couches

-Mise en évidence de la variabilité des déformations avec les fibres optiques

Conclusions

- **Etude expérimentale sur le manège:**
 - Le comportement de couche de roulement dépend fortement des conditions d'interface
 - Pour la chaussée réhabilitée: l'interface n'est pas parfaitement collée dès la construction
 - Pour la chaussée neuve: bon collage entre les couches bitumineuses en début d'essai, décollement de l'interface après une période de hautes températures
- **Nouvelle approche de modélisation des interfaces :** Comportement frottant → bonne évaluation des déformations dans la structure pour l'ensemble des cas étudiés ici
- **Apport des capteurs en fibre optique:** Densité de mesures plus importante, permettant de caractériser la variabilité des déformations dans les couches

Merci de votre attention

marina.al-bacha@univ-eiffel.fr
Université Gustave Eiffel, Campus de Nantes
Allée des ponts et chaussées, 44344 Bouguenais