

# Modélisation multi-échelle de l'agressivité des pneumatiques sur les couches de roulement

Juan Carlos QUEZADA\*, Oussama HAMMOUD, Dexin  
LIU, Ferhat HAMMOUM et Cyrille CHAZALLON  
\*MCF-HDR, INSA Strasbourg / Icube GC-E

# Contexte applicatif et scientifique

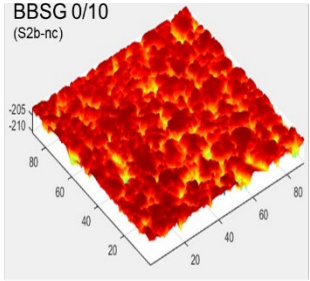
## ANR BINARY : Work Package 5 (INSA Strasbourg)

Modélisation numérique des essais laboratoire et à échelle réelle :

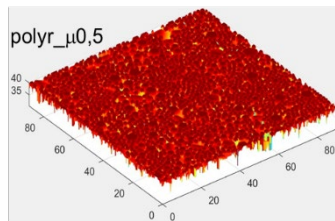
- Approche éléments discrets (DEM) : code LMGC90 + modèle VENoL

(extraits 90 mm x 90 mm)

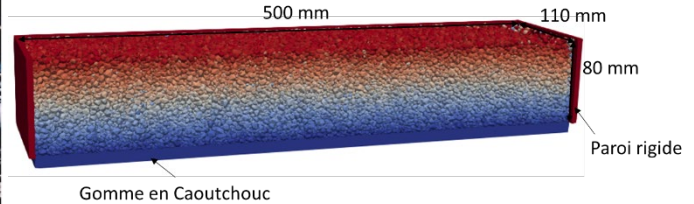
BBSG 0/10  
(S2b-nc)



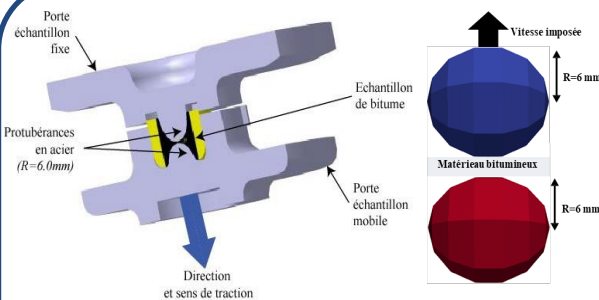
polyr\_μ0,5



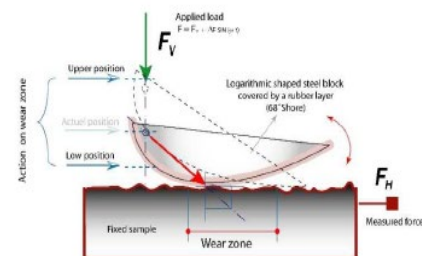
*Texture*



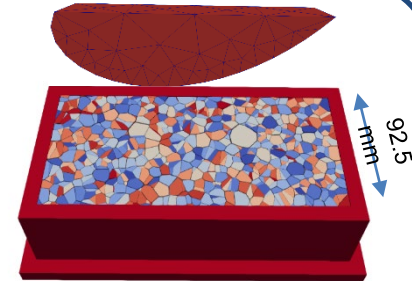
*WTT (Wheel Tracking Test)*



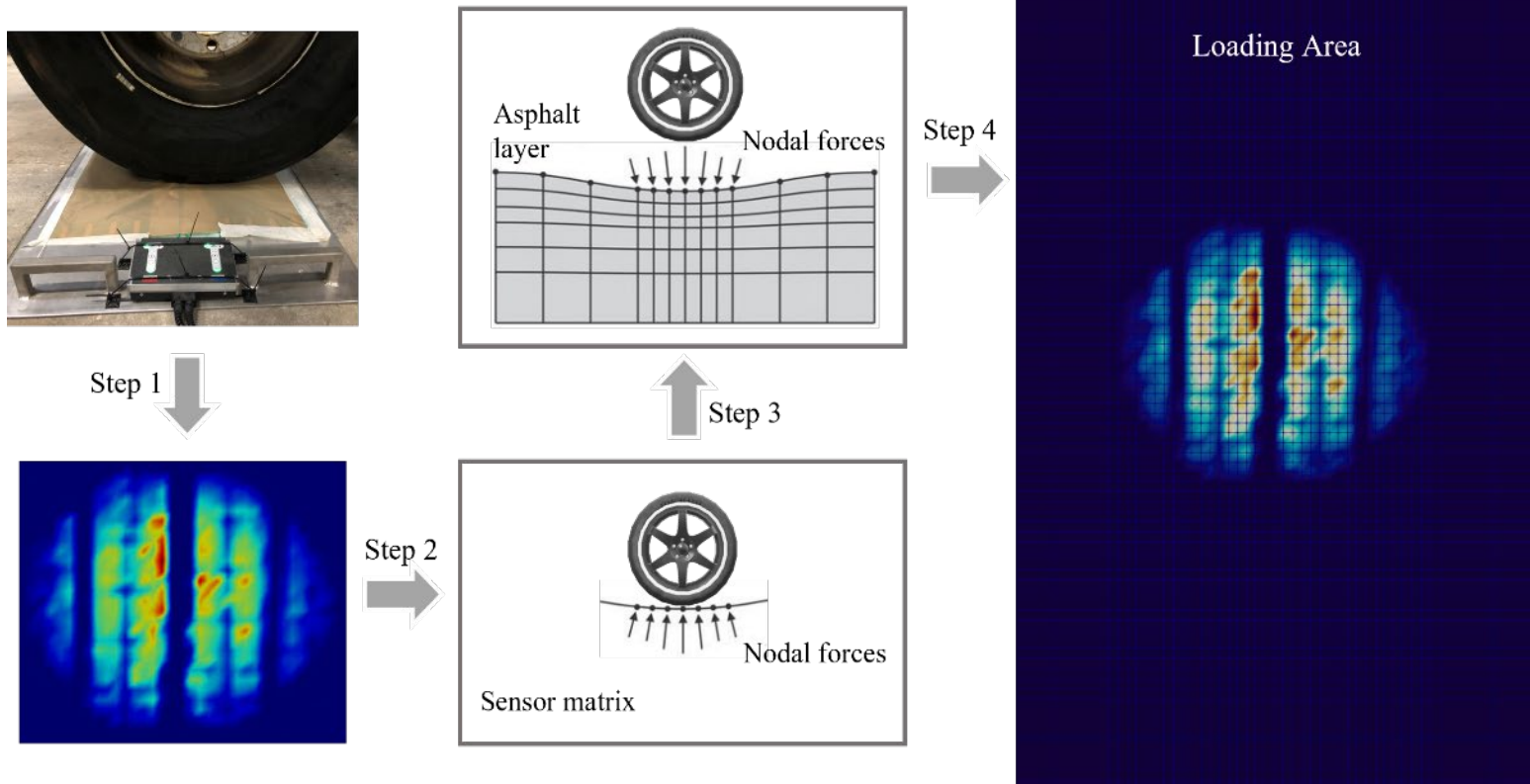
*RULOB*



*T2R (Tribomètre routier)*



# Chaîne de couplage pneu-chaussée



Ge, H., Quezada, J. C., Le Houerou, V., Chazallon, C., & Hornych, P. (2023). A new tire-sensor-pavement coupling chain for investigating asphalt mixture responses under rolling tire loads. *Road Materials and Pavement Design*, 24(sup1), 245-262.

## Avantages :

- Sans modélisation complexe du modèle numérique du pneumatique
- Intégrer les charges réalistes des pneus dans la modélisation de la chaussée
- Simulation dynamique du roulement du pneu sur la surface de la chaussée lisse

# Reproduction de surfaces texturées par approche discrète

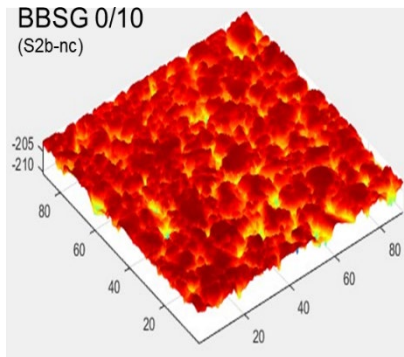
**Mise au point d'une méthode de fabrication d'échantillon numérique discret :**

- Confection d'échantillons numériques de 90 mm × 90 mm avec les matériaux BBSG et BBM déposés par gravité
- Différentes textures de surface sont obtenues en faisant varier le coefficient de frottement  $\mu$

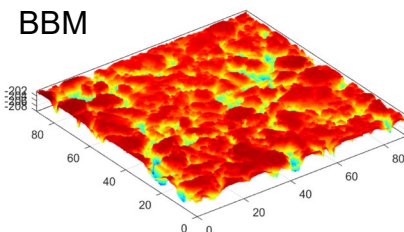
## Texture expérimentale

(extraits 90 mm x 90 mm)

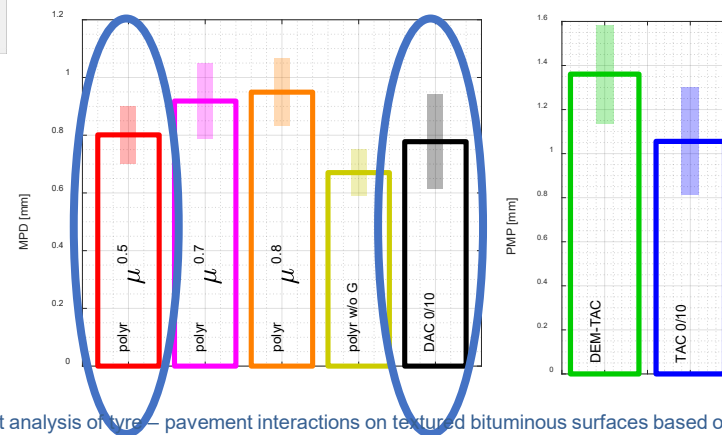
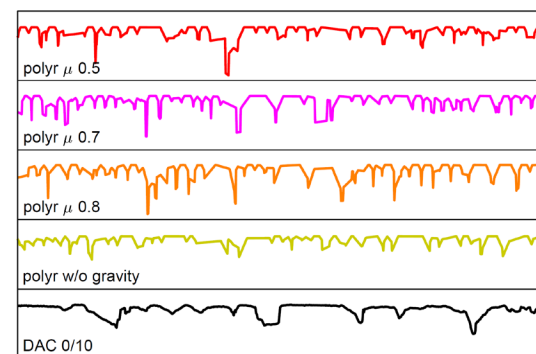
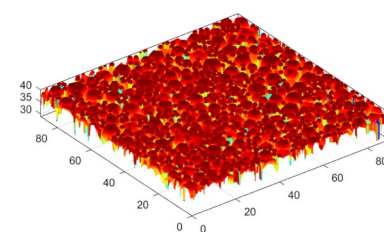
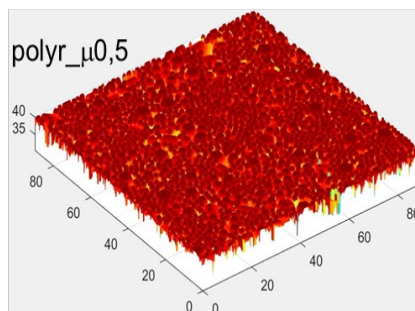
BBSG 0/10  
(S2b-nc)



BBM



## Texture numérique ( $\mu=0.5$ )





# Modélisation de l'essai d'orniérage (WTT)

## • Essai de roulement libre

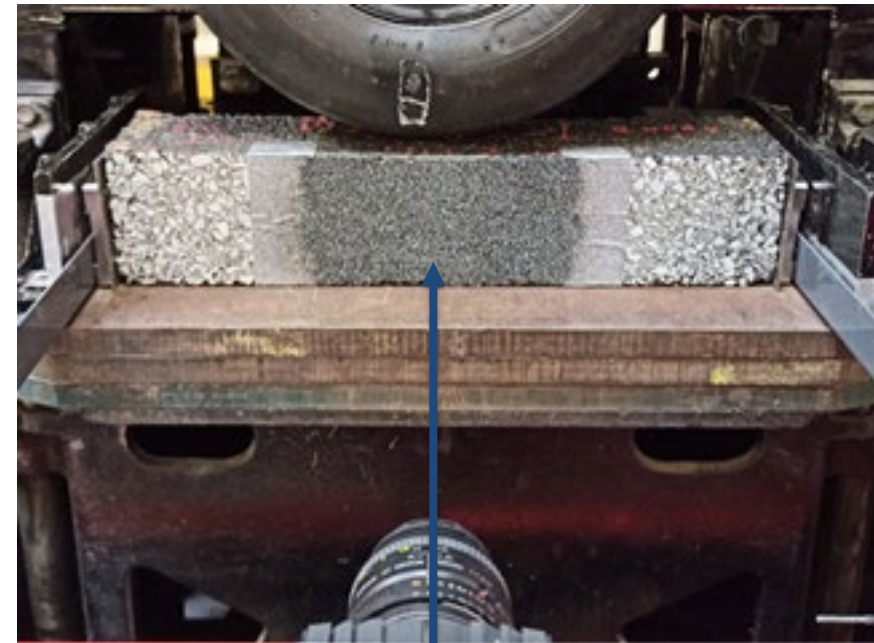
- WTT : Test de roulement libre en laboratoire
- Reproduit conditions sur site à petite échelle.
- Utilise corrélation d'images pour détecter déplacements et déformations.
- Évalue orniérage des couches bitumineuses.

## • Condition de l'essai

- Test sur un pneu lisse.
- Trois vitesses de roulement (0,7 ; 3,5 et 7 km/h).
- Plusieurs températures testées (25 °C, 40 °C, 50 °C).
- Implique une plaque d'enrobé confinée dans trois directions.
- La plaque repose sur une gomme de caoutchouc.



*Système avec caméra embarquée*



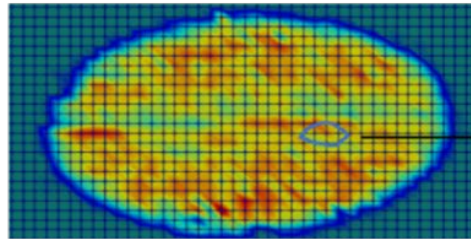
*Zone d'intérêt*

# Chaine de couplage sensor-DEM avec la texture

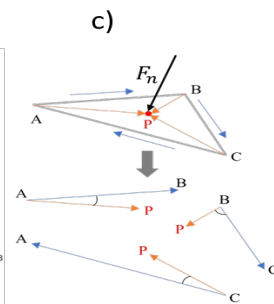
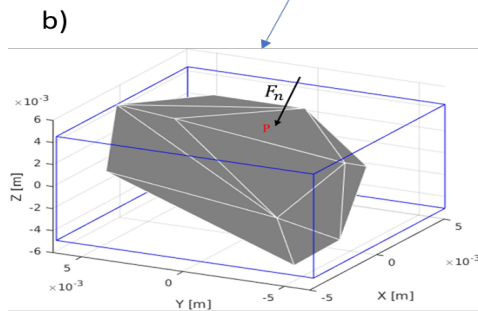
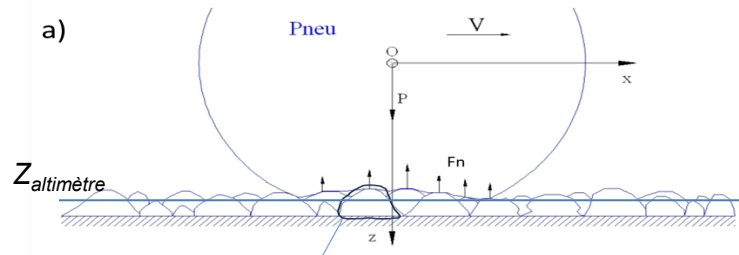
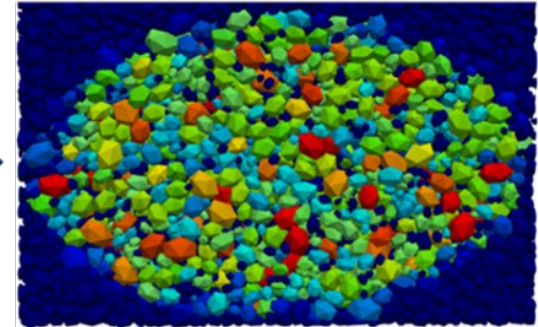
a) Tyre-sensor



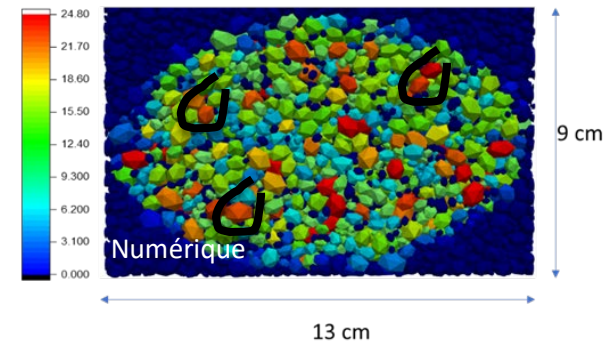
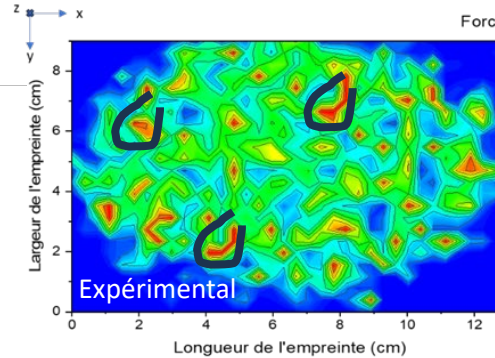
b) Pressure footprint



c) Applied forces on textured surface



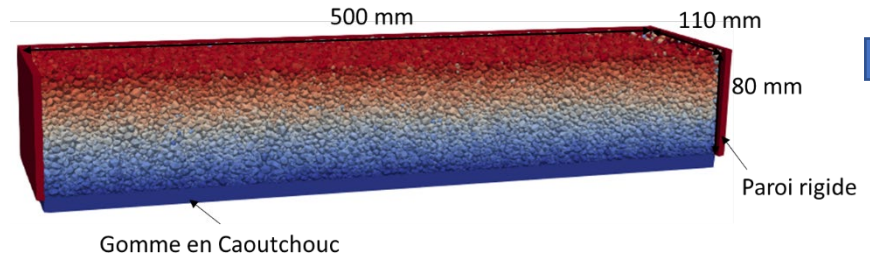
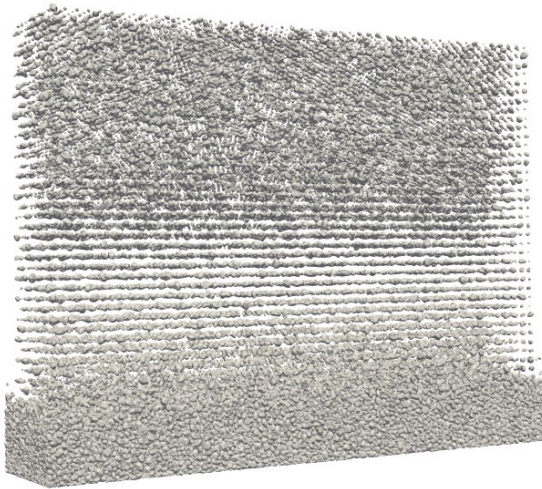
## Distribution de charges sur la surface de l'échantillon



# Modèle numérique pour le WTT

Génération des particules + dépôt sous gravité

Compactage + conditions limites



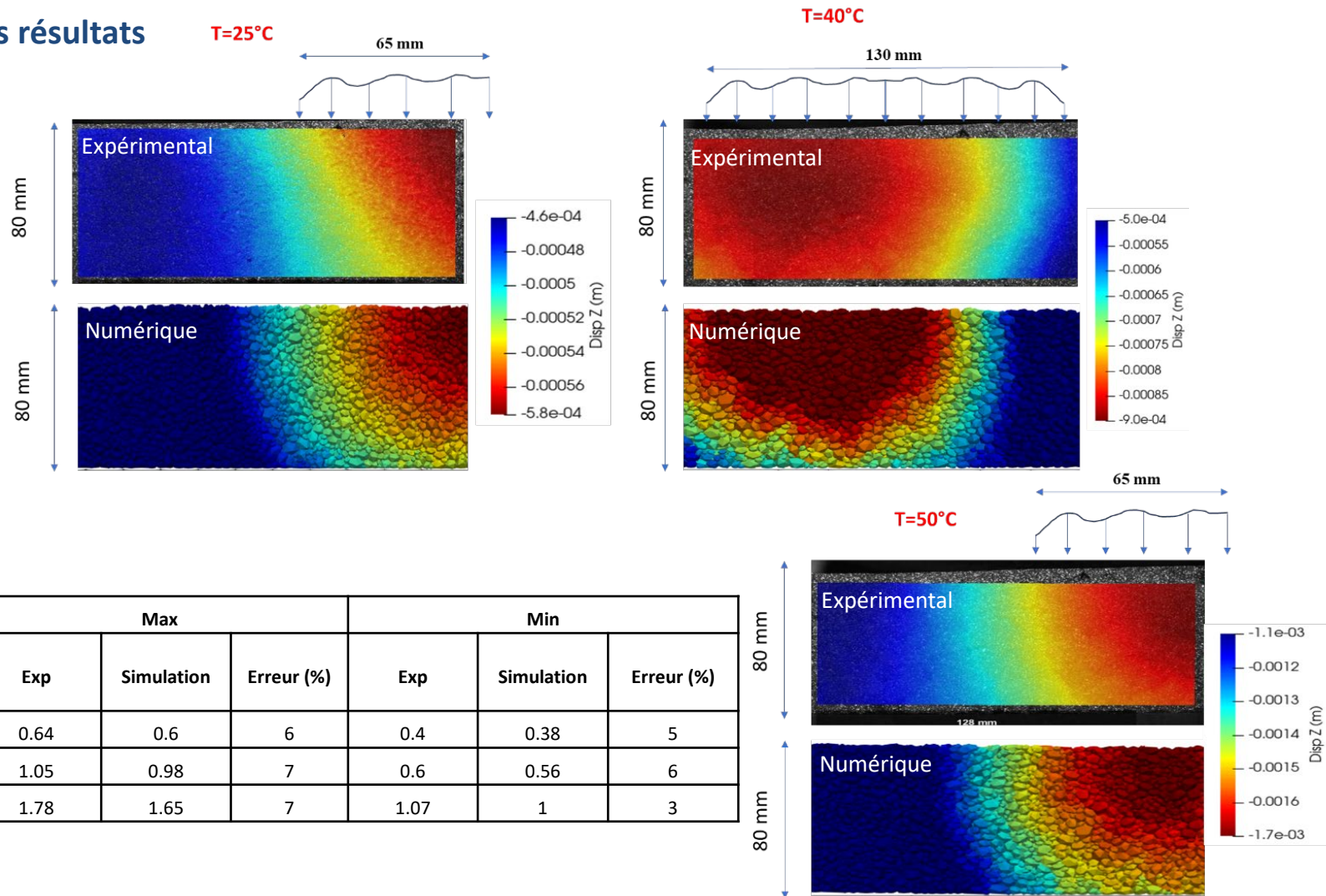
Application de la charge roulante





# Modèle numérique pour le WTT monocouche

## Confrontation des résultats

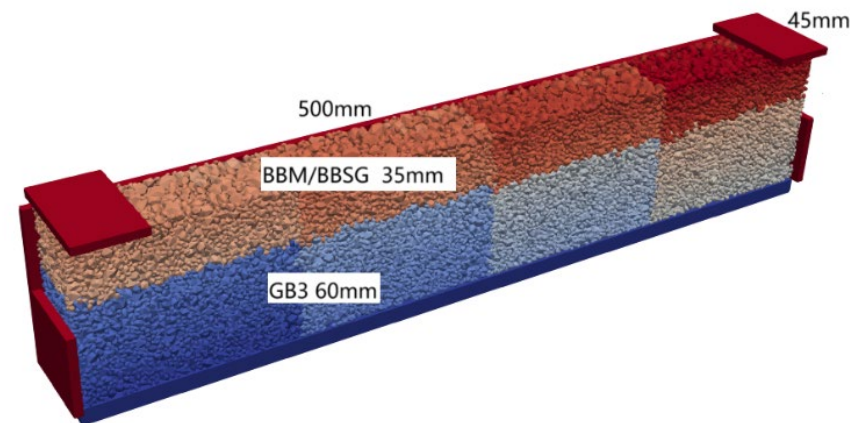
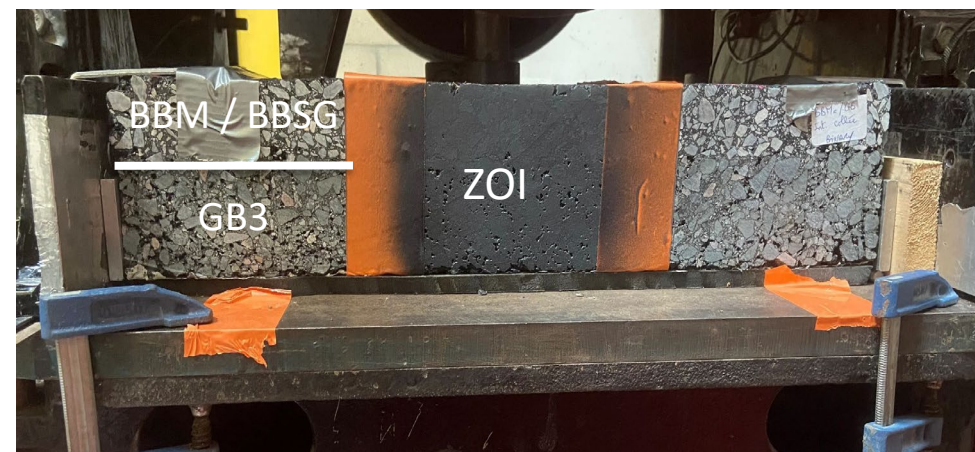
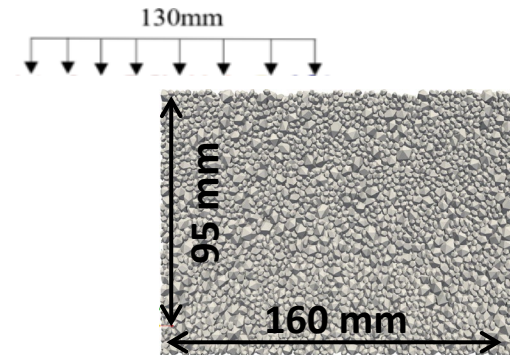
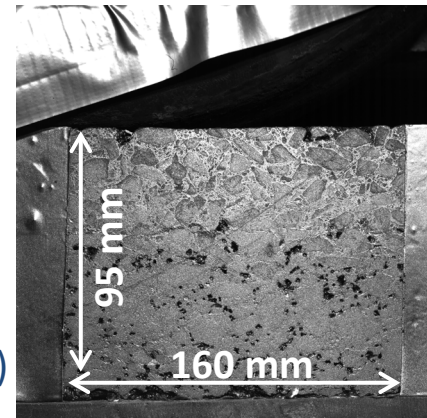




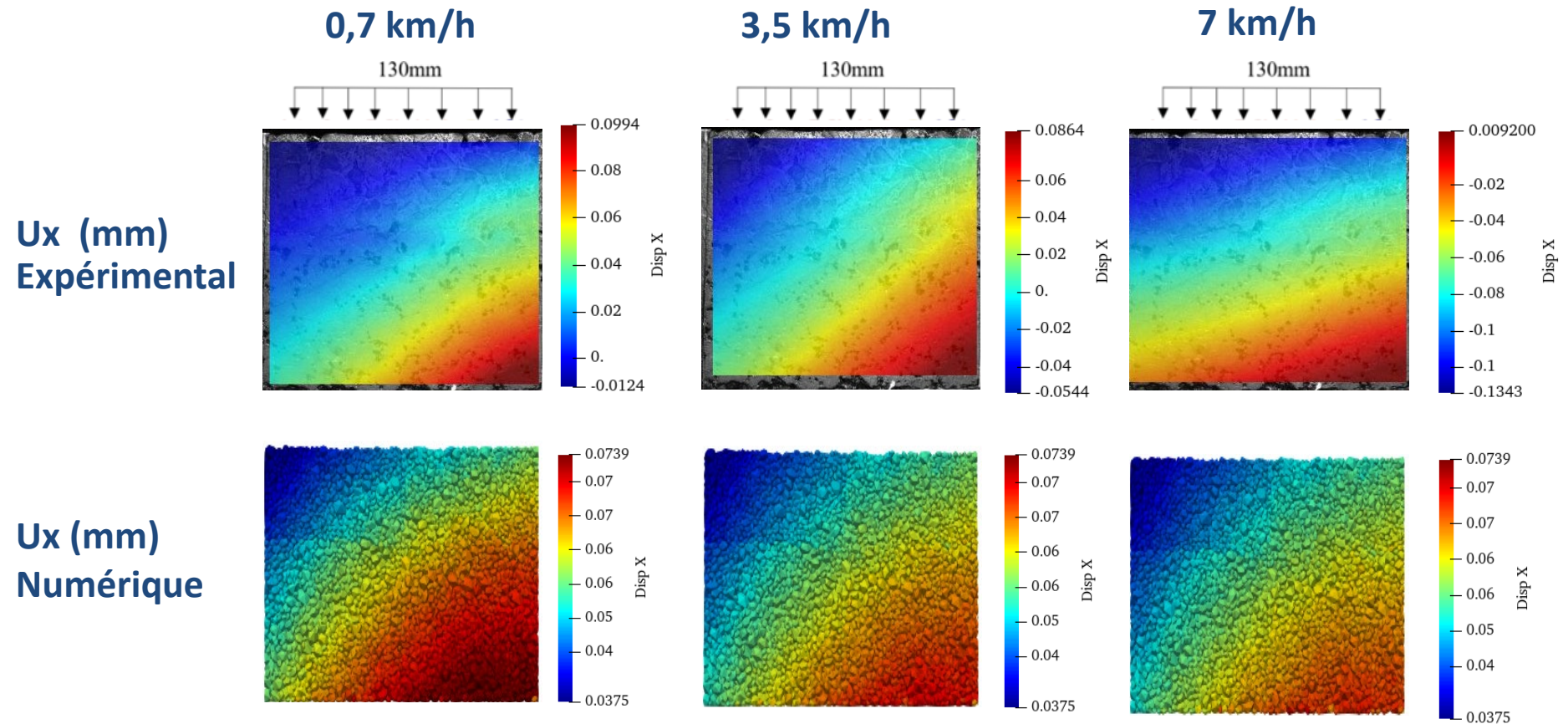
# Modélisation numérique WTT bicouche

## Condition de l'essai

- Matériaux : BBM / BBSG sur GB3
- Trois vitesses de roulement : 0,7 ; 3,5 et 7 km/h
- Températures testées 20 et 50 °C
- 2 conditions d'interface :
  - WTC : avec couche d'accrochage (Tack coat)
  - WOTC : sans couche d'accrochage (Tack coat)



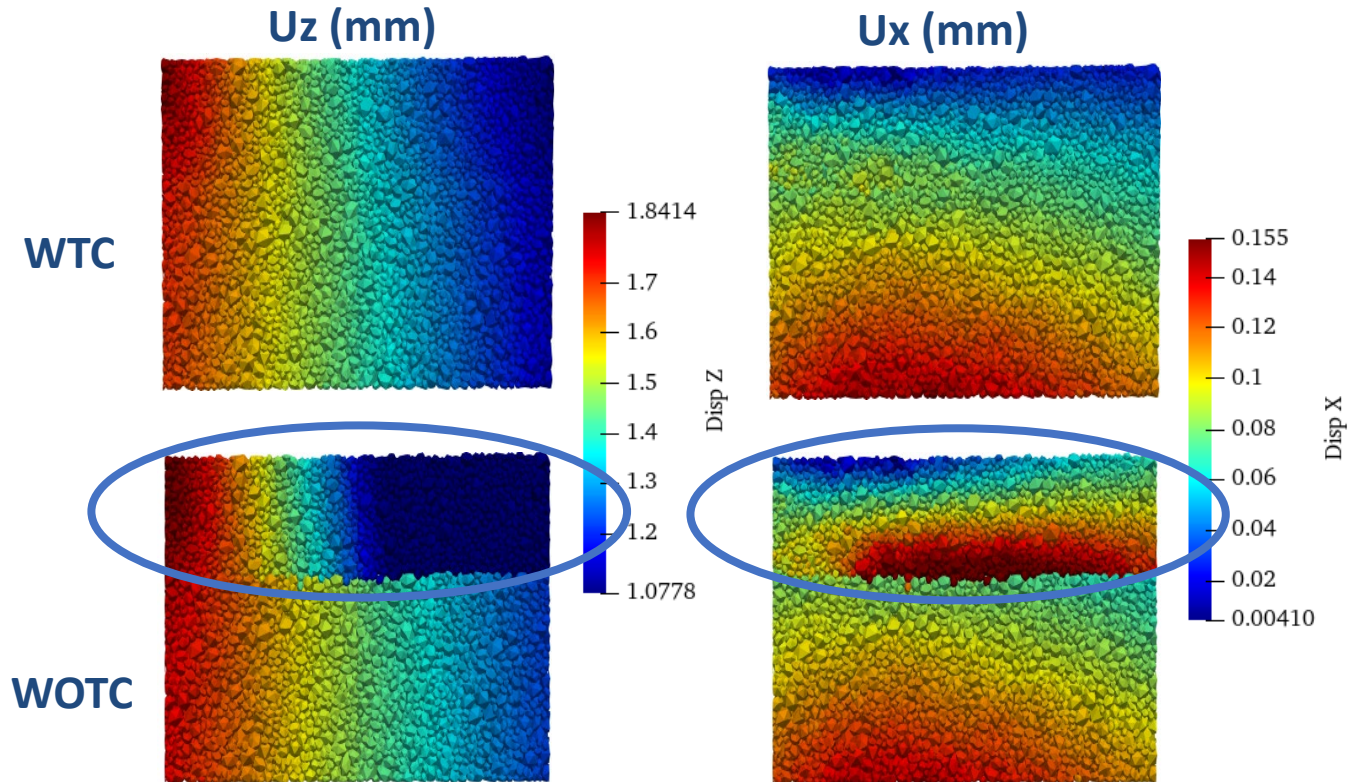
# Déplacements horizontaux $U_x$ : WTC 20 °C



- Le déplacement horizontal diminue à mesure que la vitesse de chargement augmente.
- Numériquement, la région rouge devient plus restreinte lorsque la vitesse de chargement augmente.
- La composante de rigidité du modèle VENoL augmente avec l'augmentation des vitesses de chargement.



# WTC et WOTC : $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $V = 3.5\text{ km/h}$



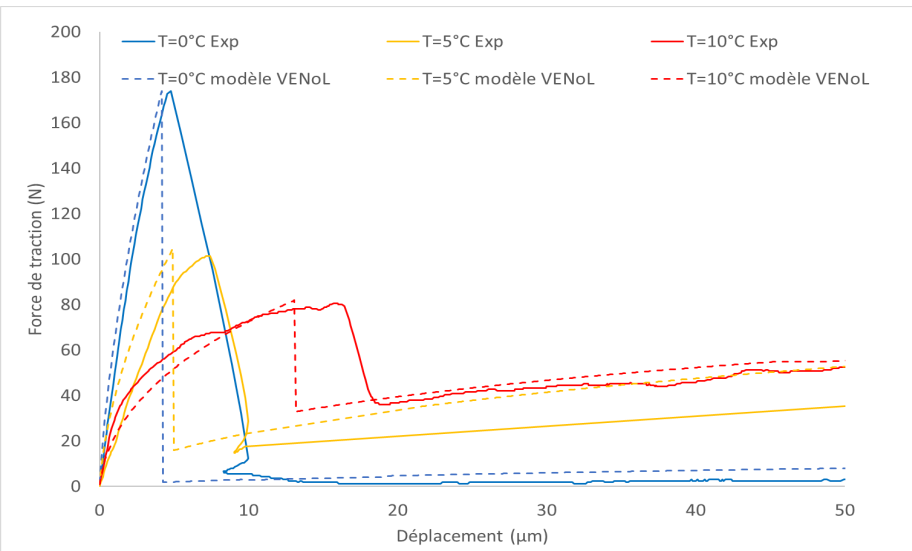
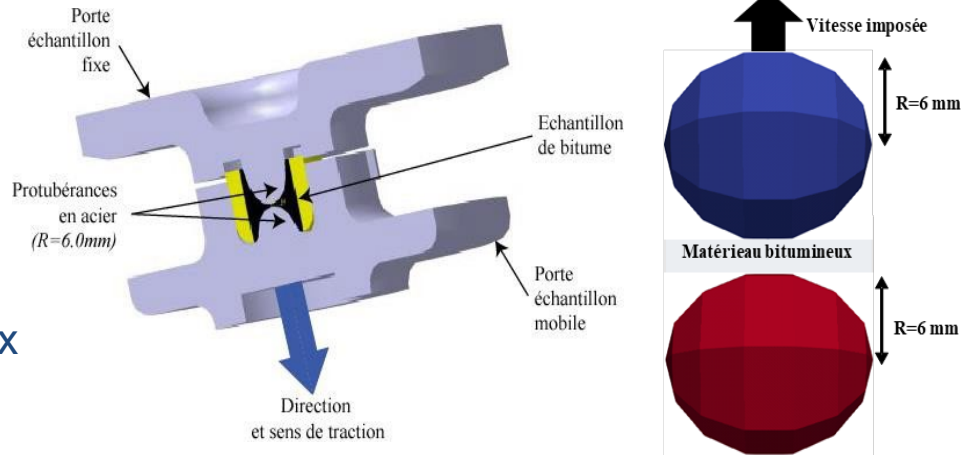
- Avec une couche d'accrochage → déformation continue.
- Sans couche d'accrochage → discontinuité d'interface.
- Des déplacements verticaux et horizontaux plus importantes apparaissent en l'absence de couche d'accrochage.
- La couche d'accrochage améliore l'adhérence entre les couches, optimise le transfert des contraintes et réduit le glissement d'interface



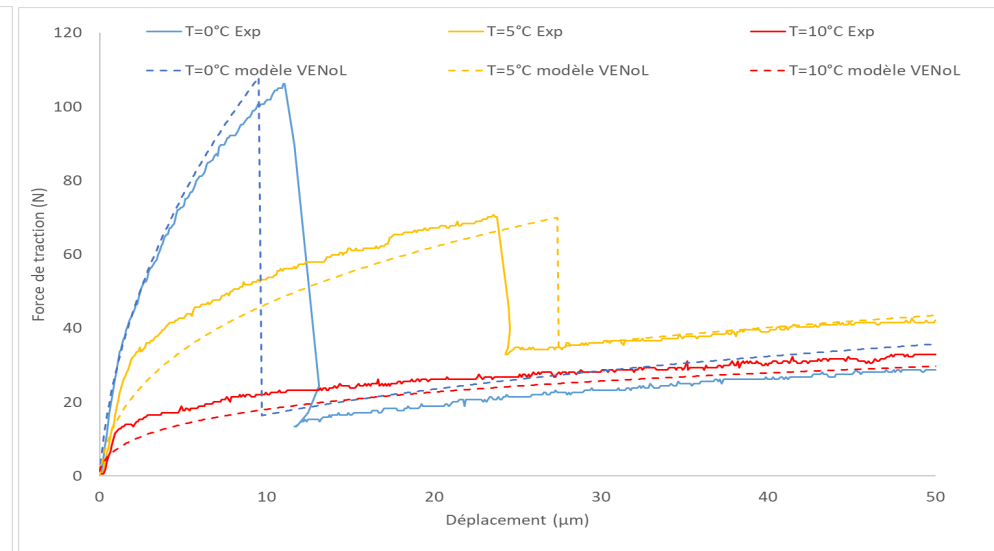
# Simulation DEM de l'essai RULOB (Rupture Locale du film de Bitume)

Conditions de l'essai RULOB :

- Protubérances de 6 mm de rayon
- Film de bitume de 320  $\mu\text{m}$  d'épaisseur
- Vitesses d'essai : 1,1 ; 11 et 110  $\mu\text{m/s}$
- Températures : -10, -5, 0 et 10  $^{\circ}\text{C}$
- Matériaux : B35-50, RTFOT, PAV et Colflex



$V=11\mu\text{m/s}$

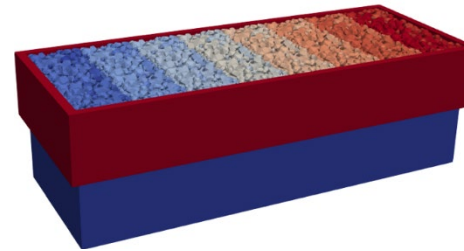


$V=1.1\mu\text{m/s}$

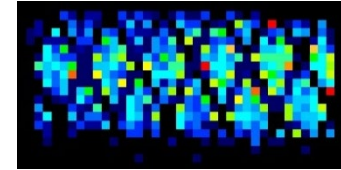
# Modélisation DEM de l'essai T2R (Travaux en cours)

Echantillon DEM :  $247 \times 92,5 \times 40$  mm  
 Couche supérieure : BBM/BBSG 4 cm  
 Couche inférieure : Caoutchouc 4 cm  
 BBM : 43 776 particules, temps total 96 h  
 BBSG : 103 680 particules, temps total 245,5 h

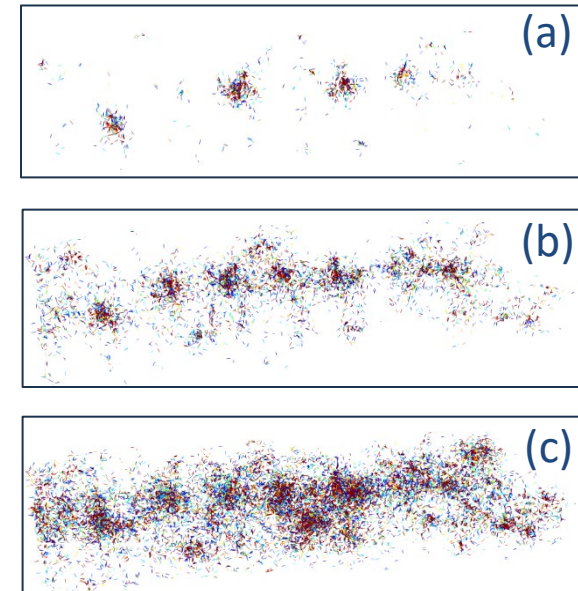
Echantillon numérique T2R



Empreinte patin



Simulation numérique T2R

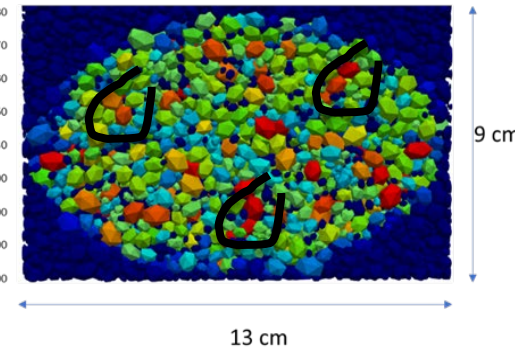
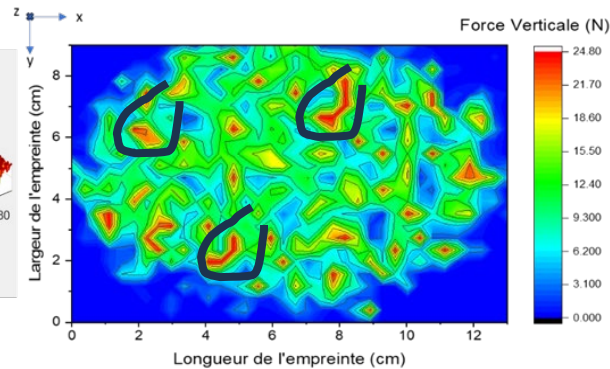
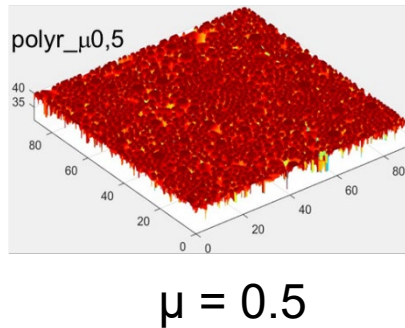
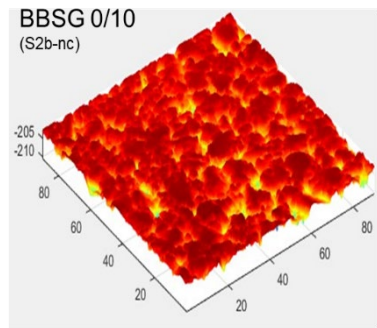


Localisation des forces tangentielles :  
 (a) début, (b) milieu, (c) fin de l'essai

# Conclusions

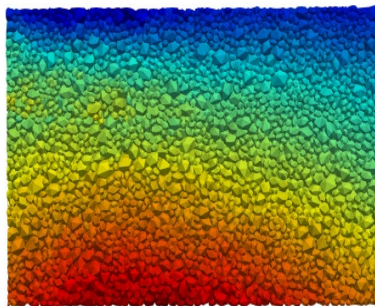
- L'approche discrète permet de reproduire numériquement la texture et la concentration des chargements sur couche de roulement

(extraits 90 mm x 90 mm)

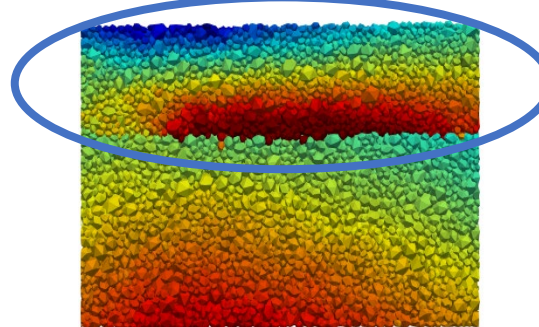


- Cette approche permet de mettre en évidence l'effet de la couche d'accrochage sur l'interface (déplacements horizontaux  $U_x$  et verticaux  $U_z$ )

$U_x$



WTC

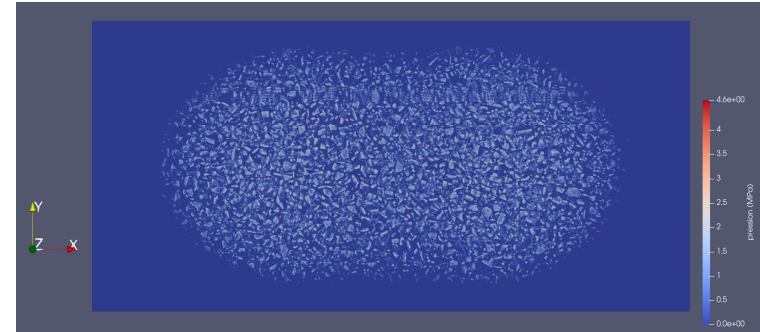
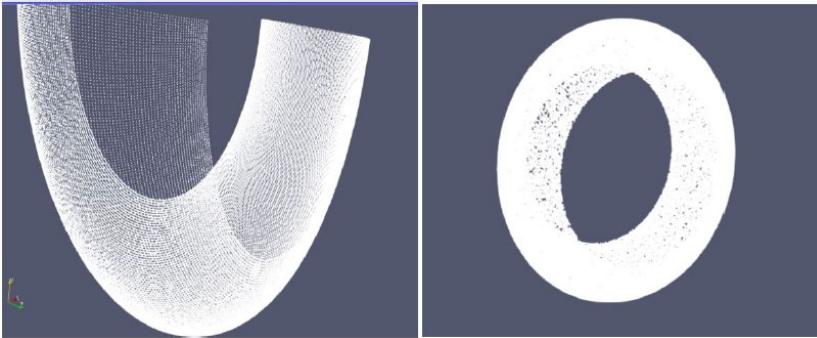


WOTC



# Perspectives

- Amélioration de la modélisation du contact pneu-chaussée : couplage SAM – DEM



- Etude de la résistance au roulement à l'échelle du contact pneu-particules :
  - Analyse de la corrélation entre la texture de la surface et le coefficient de frottement, glissement, etc.
- Développement des modèles prédictifs de la durabilité à long terme (orniérage, arrachements) des couches de roulement

# Merci de votre attention

**Juan Carlos QUEZADA**  
**INSA Strasbourg / ICube GC-E**  
**24 boulevard de la Victoire, 67000 Strasbourg**  
**[juan-carlos.quezada@insa-strasbourg.fr](mailto:juan-carlos.quezada@insa-strasbourg.fr)**