

LES PLÉNIÈRES 2009 DU LCPC

Sciences et techniques
du **Génie Civil**

JOURNÉES ACOUSTIQUE

BATZ-SUR-MER – 10 et 11 JUIN 2009

Bruit de roulement. Modélisation du contact pneumatique-chaussée

Julien CESBRON, LCPC Nantes

Sommaire

1. Contexte de la recherche
2. Modélisation du bruit de contact pneu/chaussée
3. Modèle de contact à deux échelles (LCPC/ENPC)
4. Étude expérimentale du contact pneu/chaussée
5. Recherches futures sur le sujet

Contexte : lutter contre le bruit des transports

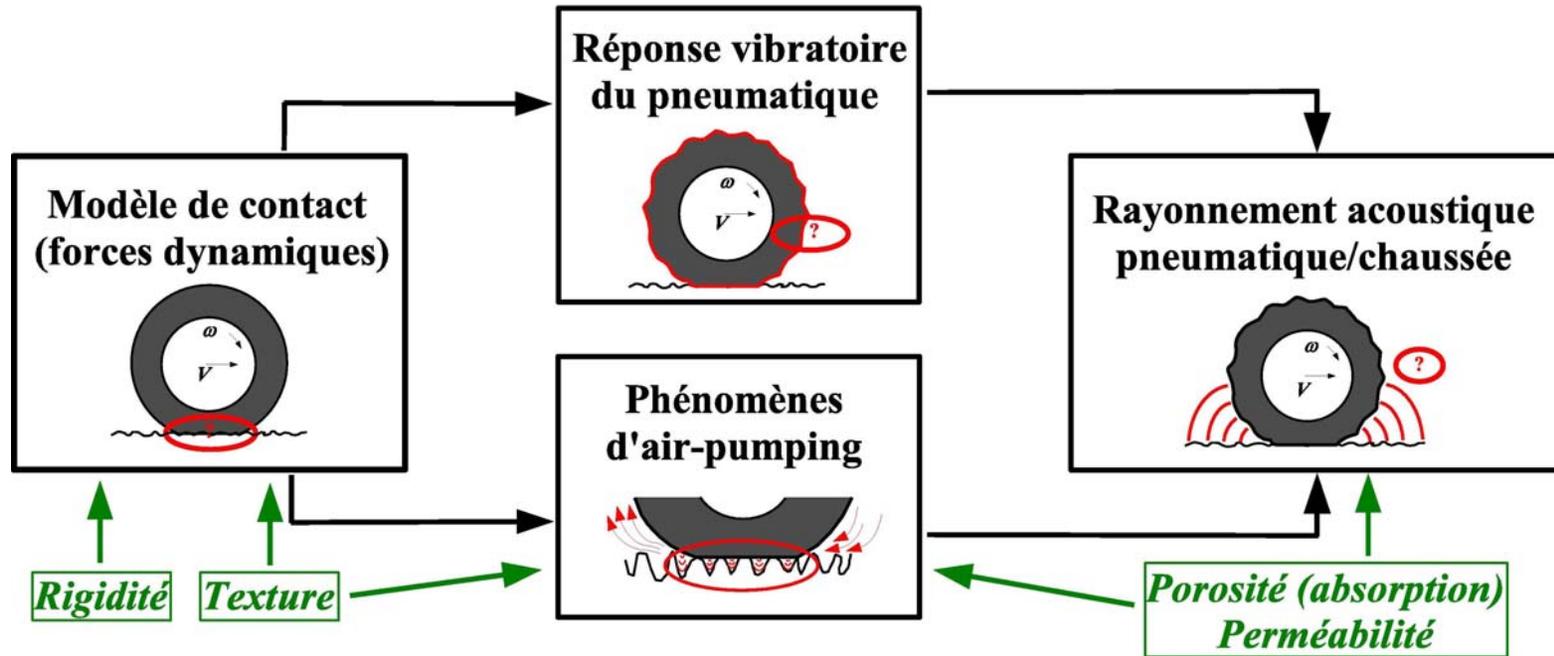
Bruit du trafic routier :

- Nuisance pour le riverain et l'environnement
- Aspects législatifs :
 - Loi « bruit » du 31 décembre 1992 (art. 12, 13, 15) ;
 - Directive européenne 2002/49/CE.
- Mentionné dans le Grenelle de l'environnement

Bruit de contact pneumatique/chaussée:

- Principale source du bruit routier en trafic fluide
- Enjeu sur le pneumatique : 2 à 3 dB(A)
- Enjeu sur le revêtement routier : 6 à 8 dB(A)
- Mécanismes connus mais complexes à prévoir

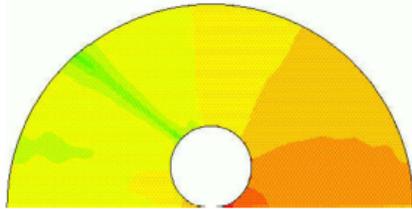
Modèles physiques pour le bruit de roulement



Le revêtement de chaussée influence fortement le bruit émis
Paramètres : texture, porosité, perméabilité et rigidité

État de la modélisation physique du bruit de roulement

Rayonnement acoustique

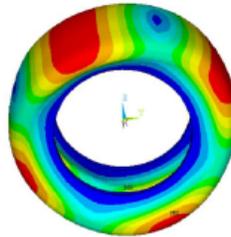


Modélisation de l'effet dièdre

Projet PREDIT « Texture/bruit »
(1998-2000)

- Approche numérique
BEM 2D puis 3D
- Prise en compte de
l'absorption acoustique de
la chaussée
- Validation expérimentale

Vibrations du pneu

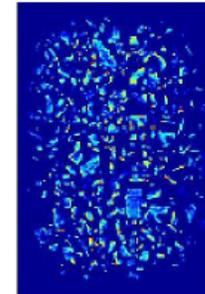


Modèles analytiques de pneu
(Kropp (Chalmers), Hamet (INRETS))

Modèles éléments finis :

- Approche classique
Limitée à 500 Hz
- Modèle périodique (ENPC)
Monte jusqu'à 2500 Hz

Modèle de contact



Approches analytiques

Fondation élastique
Approches multi-aspérités

Approches éléments de frontières

Enveloppement 2D
Modèle dynamique 2D ou 3D

Approches mixtes

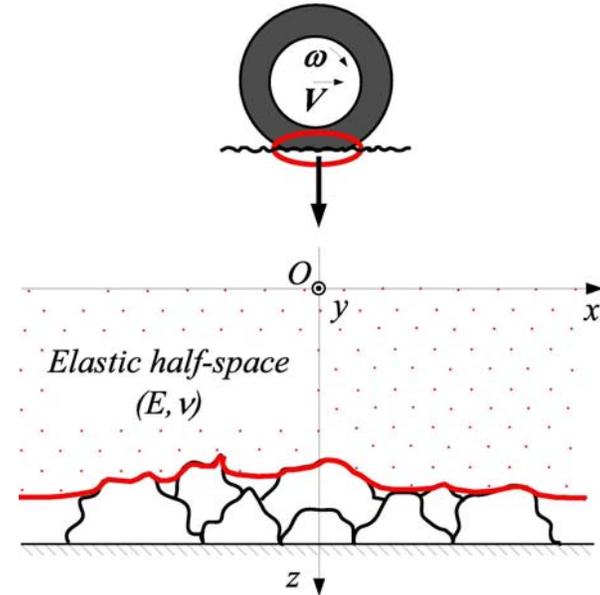
Modèle à deux échelles - 3D

**Le calcul des efforts de contact dynamiques entre un pneu et
une surface de chaussée réels reste encore difficile**

Modèle de contact à deux échelles (LCPC/ENPC)

Hypothèses :

- Bande de roulement du pneu :
massif semi-infini 3D élastique
- Surface de la chaussée :
aspérités parfaitement rigides
- Petites déformations
- Pas de frottement
- Pas de dynamique du massif



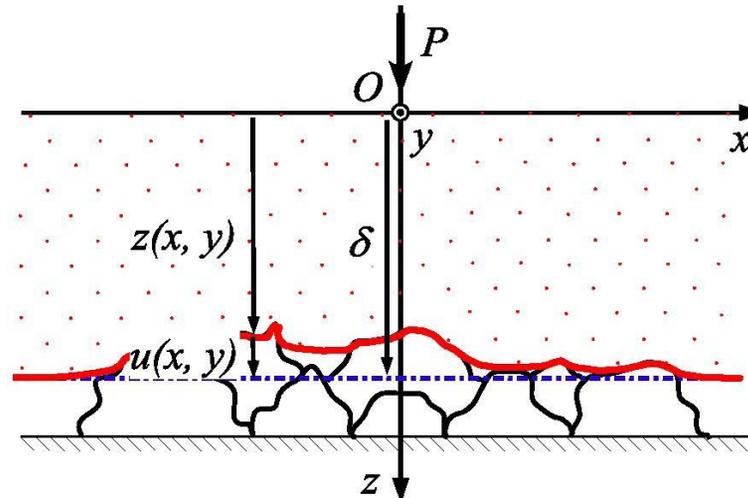
Efforts de contact à l'instant t estimés par le champ de pression statique à la position $x = Vt$ où V est la vitesse du véhicule supposée constante

Modèle de contact à deux échelles (LCPC/ENPC)

À chaque instant, il faut résoudre le problème de Boussinesq :

$$\forall (x, y) \in \Sigma, \quad u(x, y) = \iint_{\Sigma_c} p(\xi, \eta) T(x, y; \xi, \eta) d\xi d\eta$$

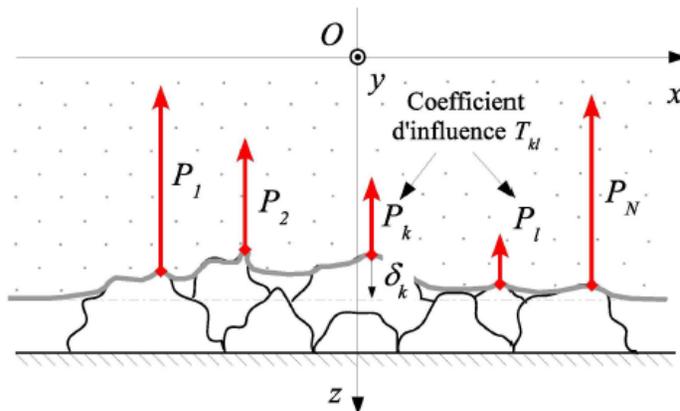
$$\forall (x, y) \in \Sigma_c, \quad u(x, y) = \delta - z(x, y) \quad \text{et} \quad p(x, y) > 0$$



Modèle de contact à deux échelles (LCPC/ENPC)

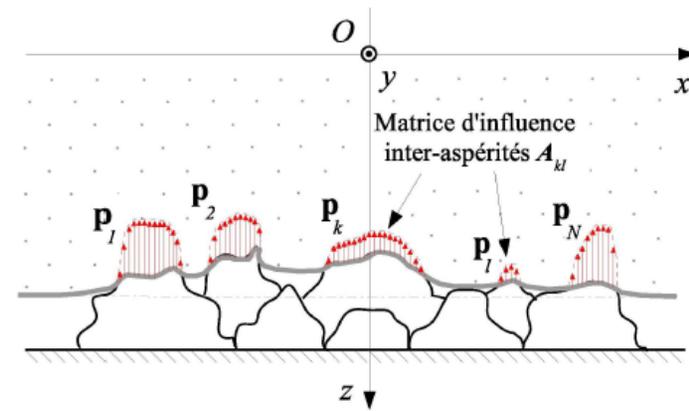
Résolution du problème de contact en deux étapes utilisant
une description multi-aspérités de la chaussée

Étape 1 - calcul à macro-échelle :
forces P_k aux sommets des aspérités



$$P_k = C_k E^* \left[\delta - z_k - \sum_{l=1}^N T_{kl} P_l \right]^{\gamma_k}$$

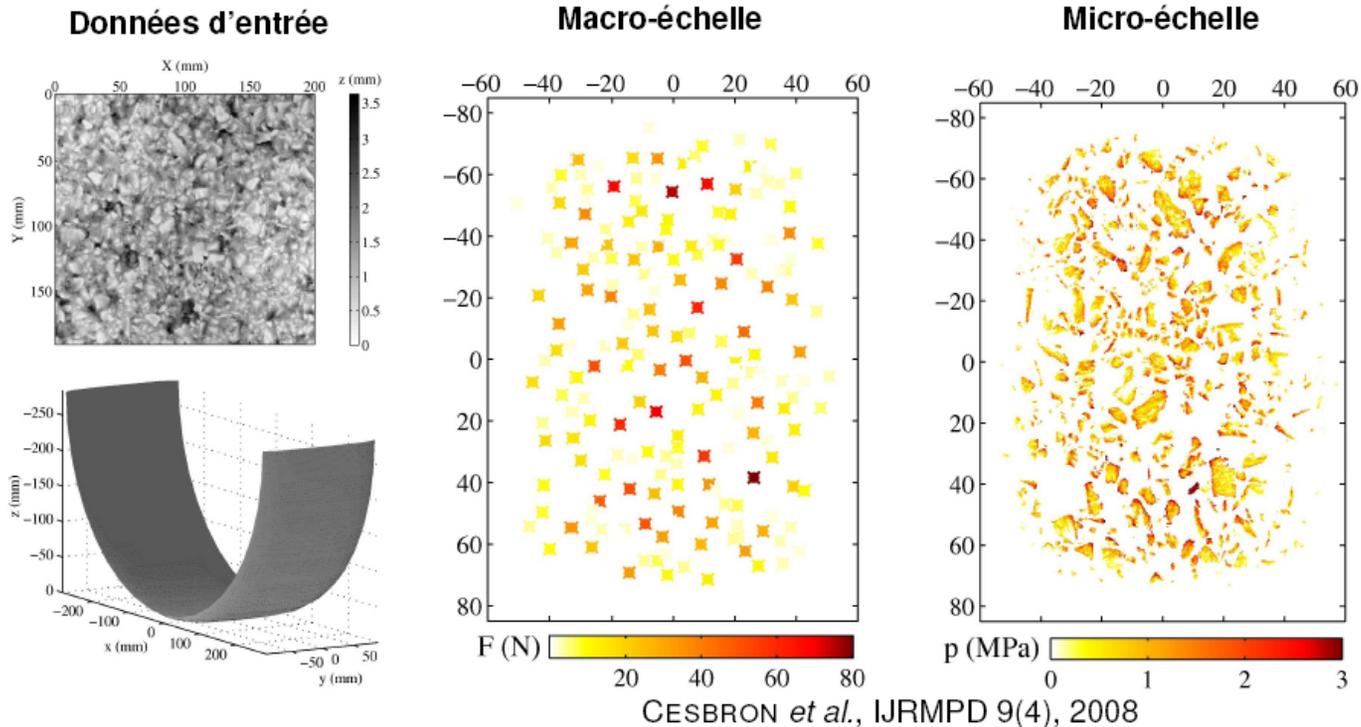
Étape 2 - calcul à micro-échelle :
pressions à l'interface de contact



$$A_{kk} p_k^{m+1} = b_k^m - \sum_{l=1, l \neq k}^N A_{kl} p_l^m$$

Exemple pour le contact pneu/chaussée en statique

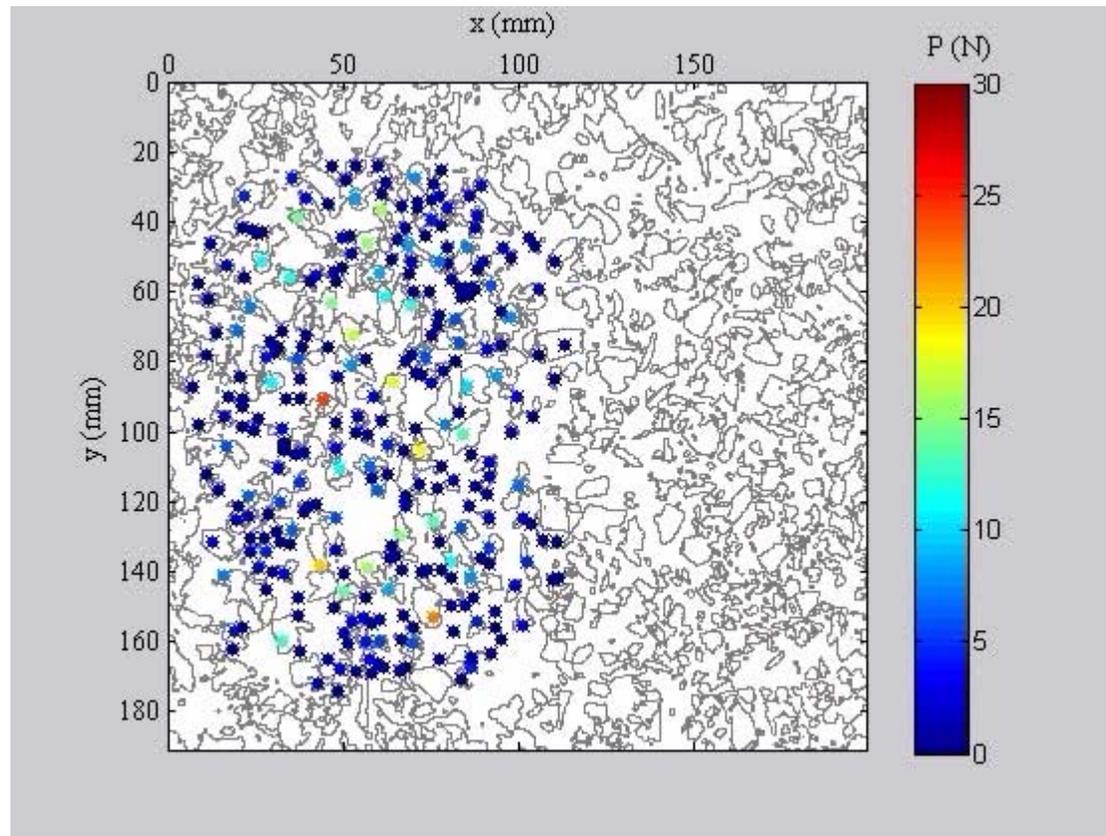
Revêtement BBSG 0/10 en contact avec un pneumatique lisse



**Le modèle donne de bons résultats en statique
et se compare favorablement à l'expérience**

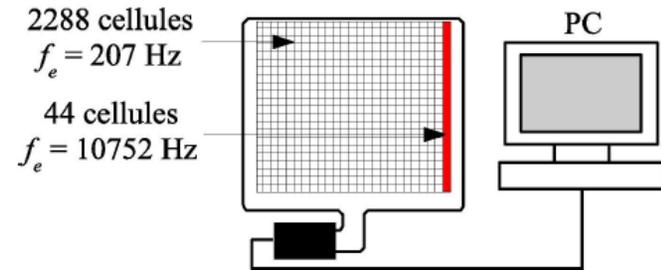
Exemple de résultat à macro-échelle en quasi-statique

Revêtement BBSG 0/10 en contact avec un pneumatique lisse

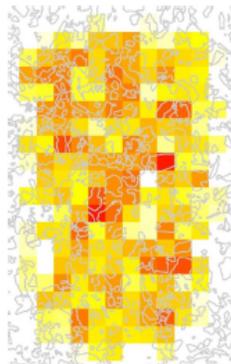


Étude expérimentale du contact pneu/chaussée

Système Tekscan de mesure
des pressions en temps réel



Essais de contact en statique
pneu lisse/échantillons de chaussée



CESBRON *et al.*, IJRMPD 9(4), 2008

Essais sur véhicule réel
roulant sur piste



CESBRON *et al.*, JSV 320, 2009

Étude du contact pneu/chaussée en statique

Surfaces utilisées pour les essais

Enduit lisse



Surface périodique



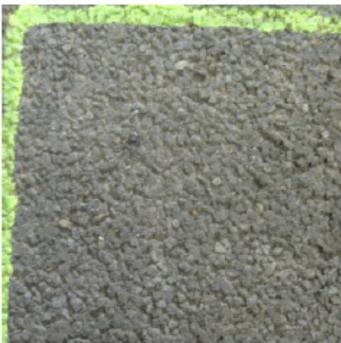
Surface aléatoire



BBSG 0/10



BBTM 0/10



BBDr 0/10



ES 0,8/1,5

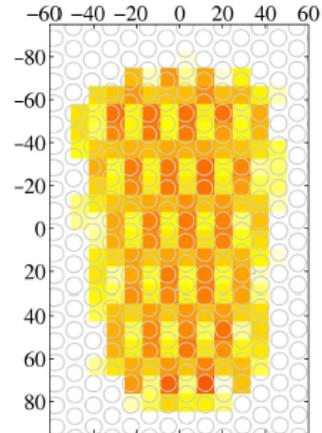


SE 0/4

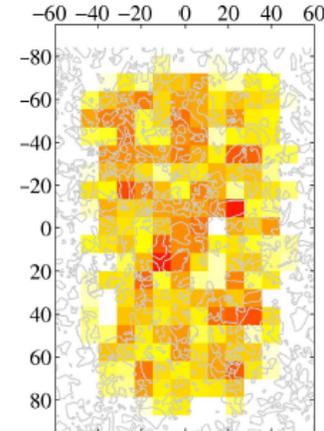


Étude du contact pneu/chaussée en statique

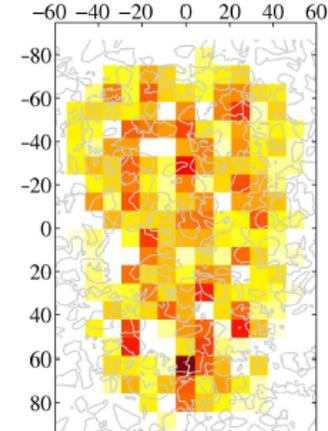
Pressions
mesurées



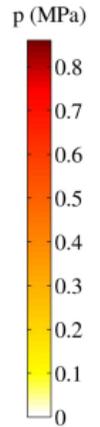
Surface périodique



BBSG 0/10

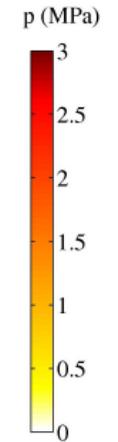
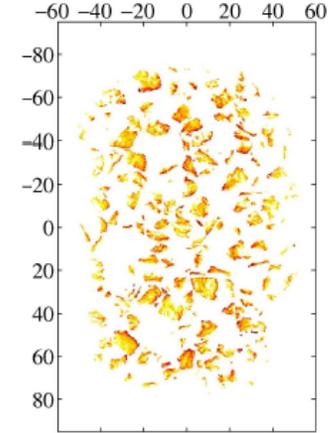
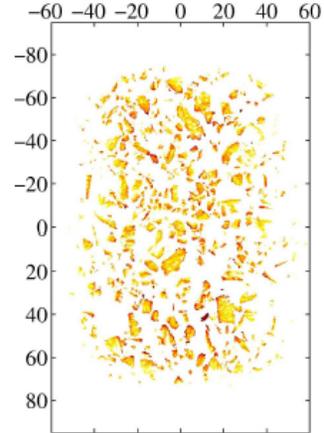
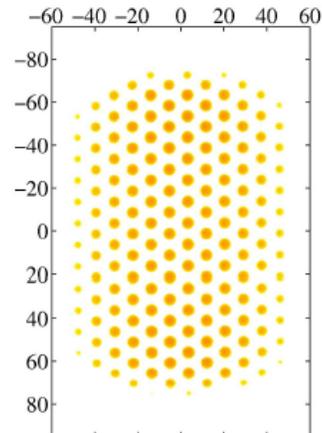


BBDr 0/10



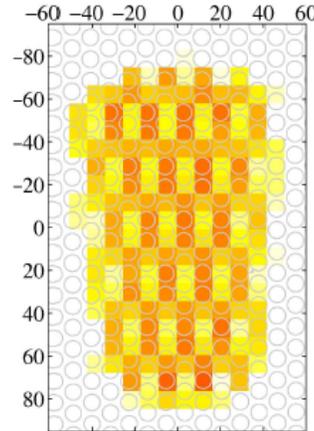
Pressions
calculées

MIDE - Échelle fine

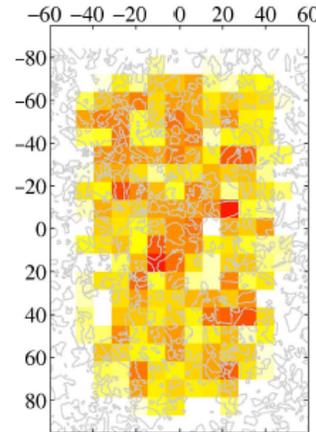


Étude du contact pneu/chaussée en statique

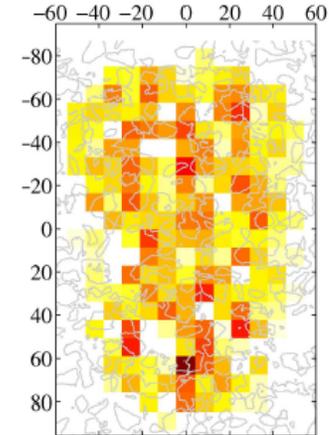
Pressions
mesurées



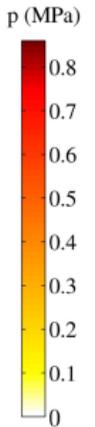
Surface périodique



BBSG 0/10



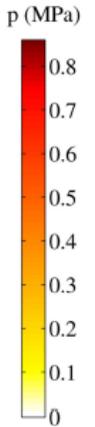
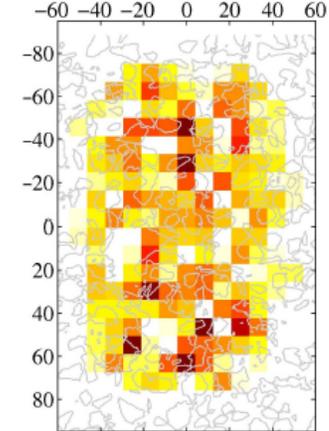
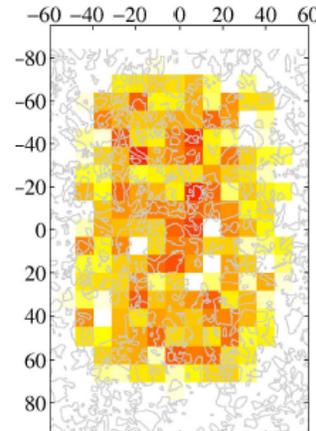
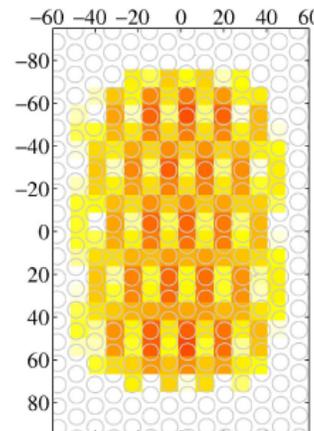
BBDr 0/10



Pressions
calculées

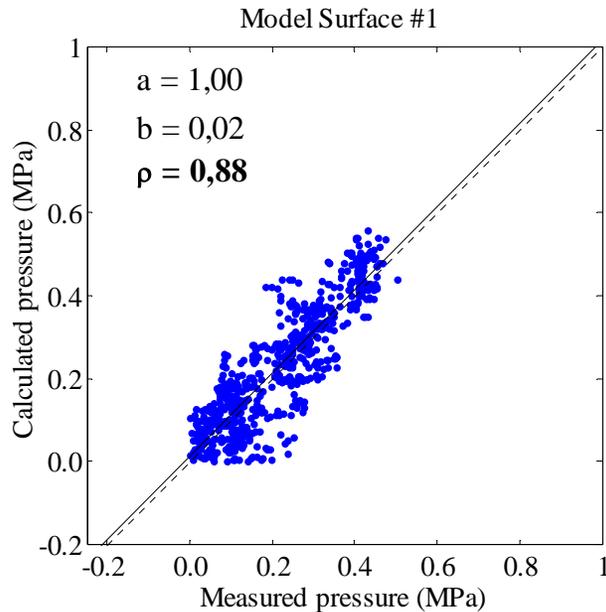
Intégration échelle

Tekscan

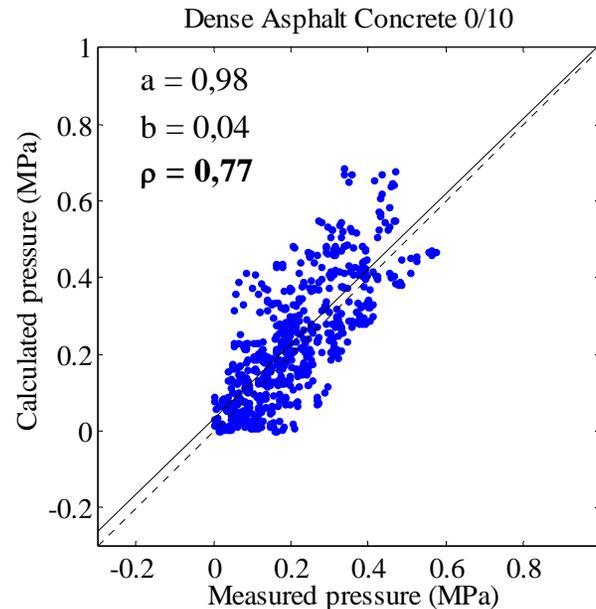


Étude du contact pneu/chaussée en statique

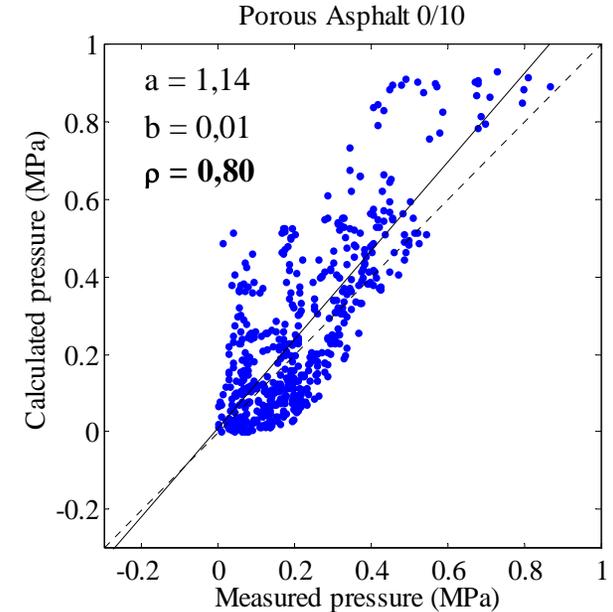
Surface modèle (sphères périodiques)



BBSG 0/10



BBDr 0/10



Cesbron *et al.*, IJRMPD, 9(4), 2008

Bonne corrélation essais/calculs

Recherches futures sur le sujet

Opération de Recherche ECOSURF (2010-2013)

1. **Modèle dynamique de contact pneu/chaussée incluant :**

- la macrotecture 3D sur plusieurs mètres de chaussée ;
- les vibrations et la visco-élasticité du pneu ;
- les conditions de roulement (vitesse, trajectoire).

2. **Faisabilité d'un banc d'essai pour le contact :**

- comparaison aux modèles physiques ;
- analyse séparée des différents phénomènes de contact ;
- identification des mécanismes de génération du bruit.

3. **Modèle hybride de prévision du bruit de roulement :**

- approche plus opérationnelle ;
- corrélérer le bruit au modèle de contact précité ;
- relier paramètres de texture à la formulation des enrobés.

Merci de votre attention