

Modélisation de la résistance au roulement

Quoc-Huong BUI, Hai-Ping YIN (ENPC, Laboratoire Navier)

Julien CESBRON (IFSTTAR, AME, Laboratoire d'Acoustique Environnementale)

Thèse de doctorat de Quoc-Huong BUI (2010-2013)

Étude numérique de l'influence de la texture de chaussée sur la résistance au roulement

Directeur de thèse : Hai-Ping YIN (ENPC)

Encadrant : Julien CESBRON (IFSTTAR)

Clôture de l'opération ECOSURF

Ifsttar (centre de Nantes) – Lundi 2 juin 2014



IFSTTAR



Cerema

Plan de la présentation

- Contexte et objectifs
- Définition de la résistance au roulement
- Roulement sur un massif semi-infini viscoélastique
- Modèle de prévision par approche multipoints
- Modèle de contact avec suspension
- Conclusions et perspectives

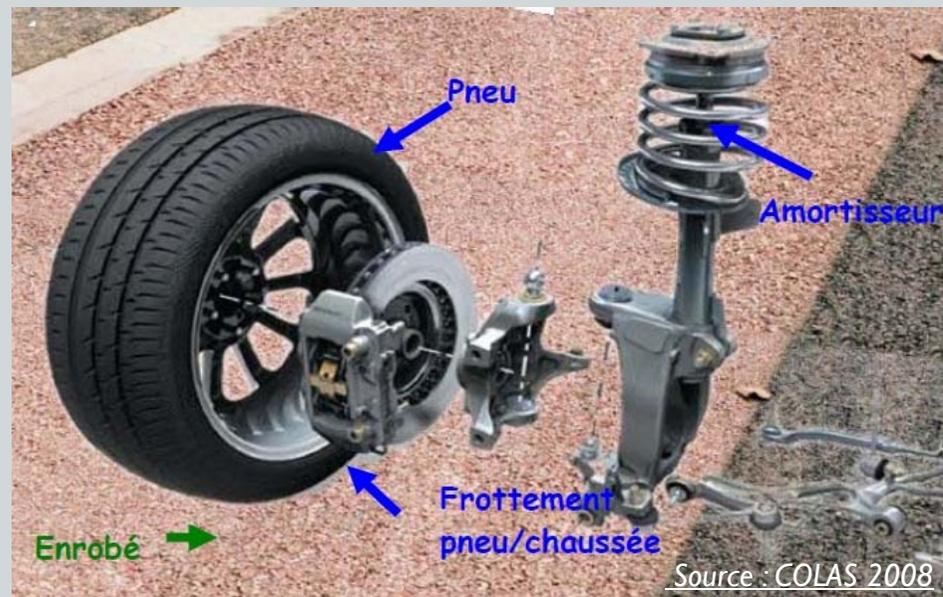


- Contexte
 - Les transports routiers représentent environ 82% de l'énergie consommée par les transports dans l'Union Européenne
 - La résistance au roulement représente 20% de la consommation d'un véhicule
 - Maîtriser la résistance au roulement permettra d'économiser les ressources en carburant et de réduire les émissions de gaz à effet de serre
- Objectifs
 - Développer un modèle pour étudier les forces de contact dynamique entre le pneu et la chaussée et estimer l'influence de la texture de chaussée sur la résistance au roulement



Définition de la résistance au roulement

- Résistance au roulement au contact pneu/chaussée :
 - causée par la déformation viscoélastique du pneumatique
 - due au fonctionnement des amortisseurs
 - due au frottement entre le pneu/chaussée
 - due à la déformation viscoélastique de la chaussée



Définition de la résistance au roulement

- Moment de résistance au roulement :

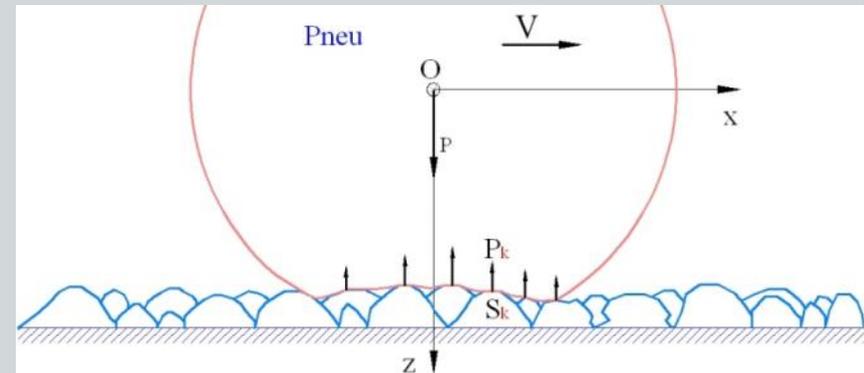
$$M_R(t) = M_{oy}(t) = - \sum_{k=1}^{N_c(t)} x_k P_k(t)$$

- Force de résistance au roulement :

$$F_R(t) = \frac{M_{oy}(t)}{R}$$

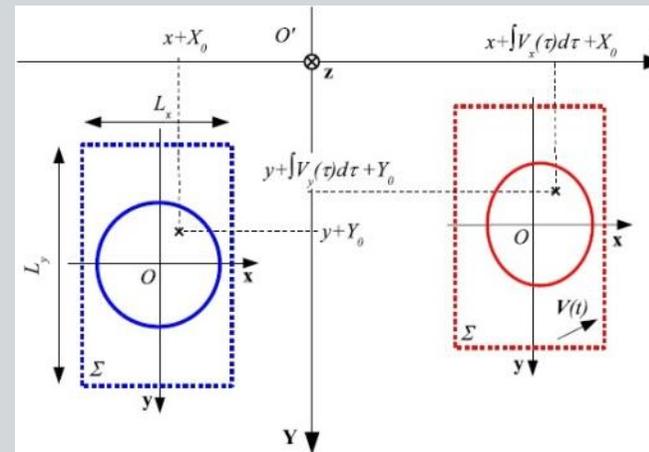
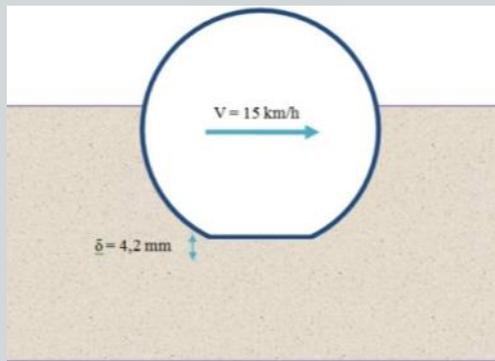
- Coefficient de résistance au roulement :

$$\mu_R(t) = \frac{F_R(t)}{P} = \frac{M_R(t)}{RP}$$



Roulement d'une sphère sur un massif semi-infini viscoélastique

- Sphère rigide roulant à une vitesse constante V sur un massif semi-infini viscoélastique



- Distribution de pression de contact normal $p(\xi, \eta, t)$:

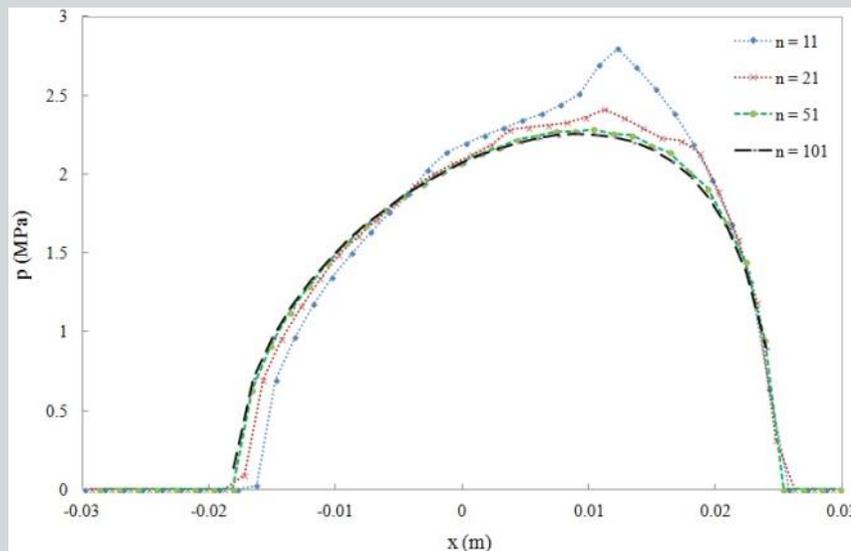
$$\forall (X, Y) \in S(t), \begin{cases} J(0) \iint T(X, Y, \xi, \eta) p(\xi, \eta, t) d\xi d\eta \approx \delta(t) - Z(X, Y, t) - v(X, Y, t) \\ p(X, Y, t) > 0 \end{cases}$$

où T : fonction d'influence:
$$T(X, Y, \xi, \eta) = \frac{1 - \nu}{\pi \sqrt{(X - \xi)^2 + (Y - \eta)^2}}$$

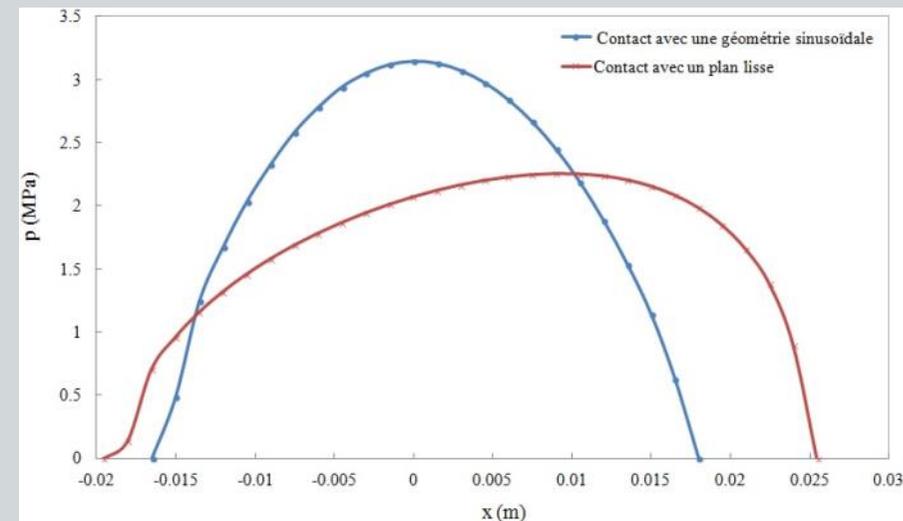


Roulement d'une sphère sur un massif semi-infini viscoélastique

- Résultats : distribution de pression



Pression $p(T)$ sur l'axe longitudinal pour différents pas de temps (sphère roulant sur un massif parfaitement lisse)

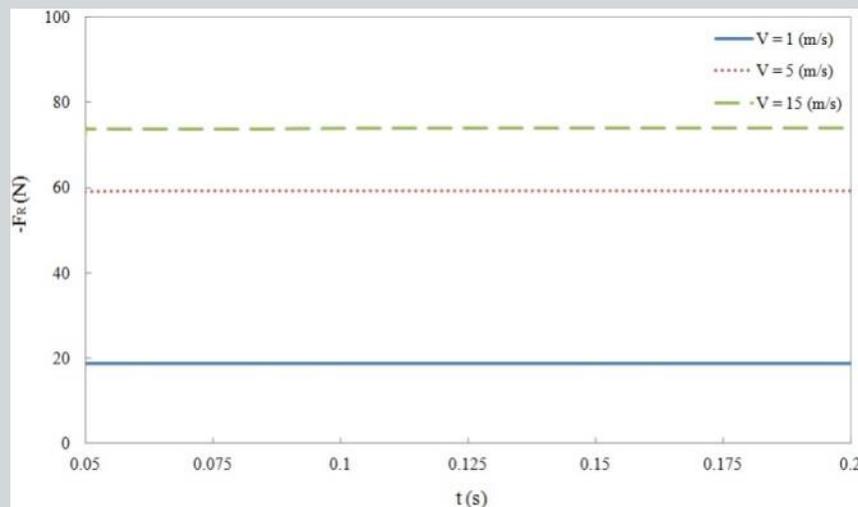


Pression $p(T)$ sur l'axe longitudinal un massif parfaitement lisse et un massif à géométrie sinusoïdale

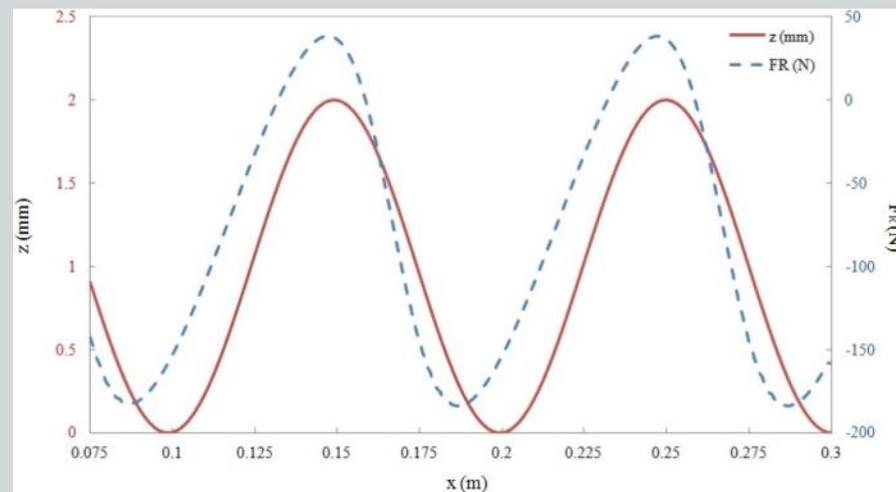


Roulement d'une sphère sur un massif semi-infini viscoélastique

- Résultats : résistance au roulement



Sphère roulant à différentes vitesses sur un massif parfaitement lisse

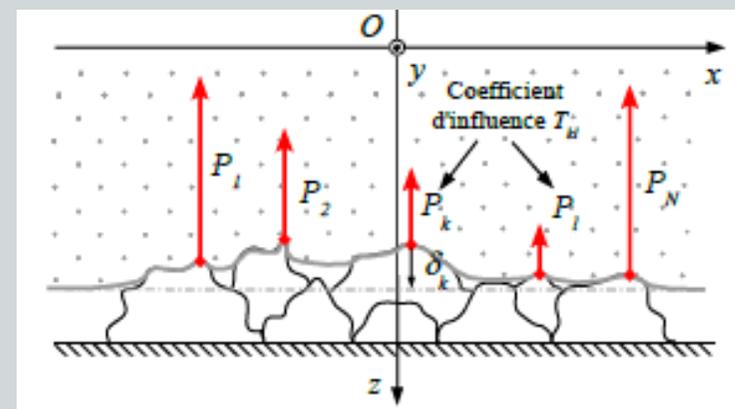
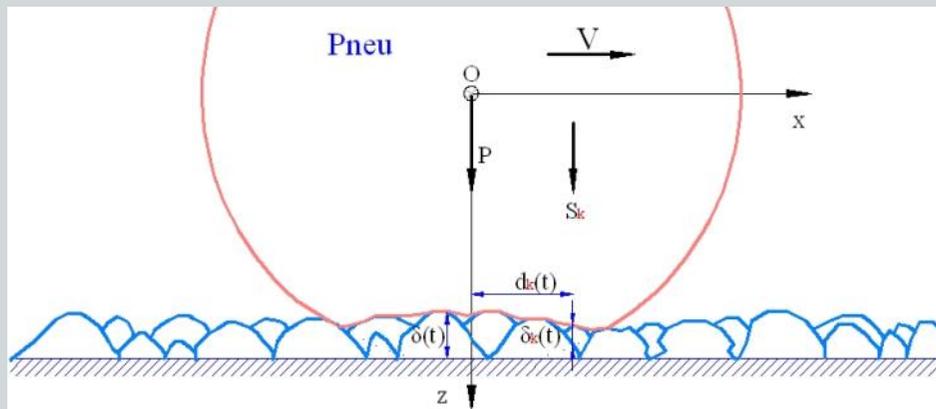


Sphère roulant à différentes vitesses sur un massif à géométrie sinusoïdale



Modèle de prévision par approche de contact multipoints

- Massif semi-infini « courbe » roulant sur une surface composée de plusieurs aspérités parfaitement rigides



- Formulation du problème de contact multipoints :

$$P_k(t) = \begin{cases} E^* f_k(\delta_k(t)) & \text{contact élastique} \\ \int_0^t \psi(t - \tau) \frac{d}{d\tau} [f_k(\delta_k(\tau))] d\tau & \text{contact viscoélastique} \end{cases}$$



Modèle de prévision par approche de contact multipoints

- Expression du déplacement au sommet des aspérités :

$$\delta_k(t) = \begin{cases} z_{c,k}^s - \delta(t) - z_{p,k}^s - \sum_{l=1, l \neq k}^{N_c} G_{kl} P_l & \text{contact élastique} \\ z_{c,k}^s - \delta(t) - z_{p,k}^s - \int_0^t \phi(t - \tau) \frac{d}{d\tau} [G_{kl} P_l(\tau)] d\tau & \text{contact viscoélastique} \end{cases}$$

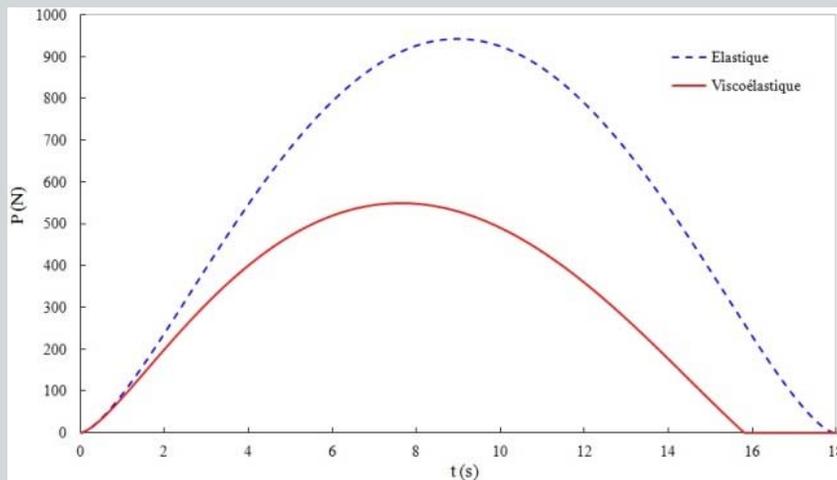
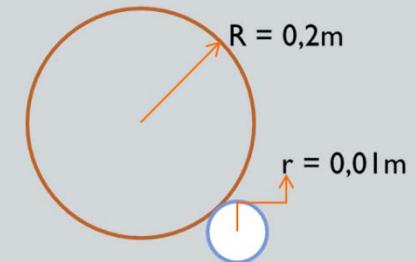
- Discrétisation du problème

$$P_k(t) = \begin{cases} E^* f'_k(\delta_k(t_{i-1})) [-\Delta\delta^i - \Delta z_{p,k}^{s,i} - G_{kl} \Delta P_l^i] & \text{élastique} \\ I_k + \psi(0) f'_k(\delta_k(t_{i-1})) [-\Delta\delta^i - \Delta z_{p,k}^{s,i} - J_k^i - \phi(0) G_{kl} \Delta P_l^i] & \text{visco} \end{cases}$$

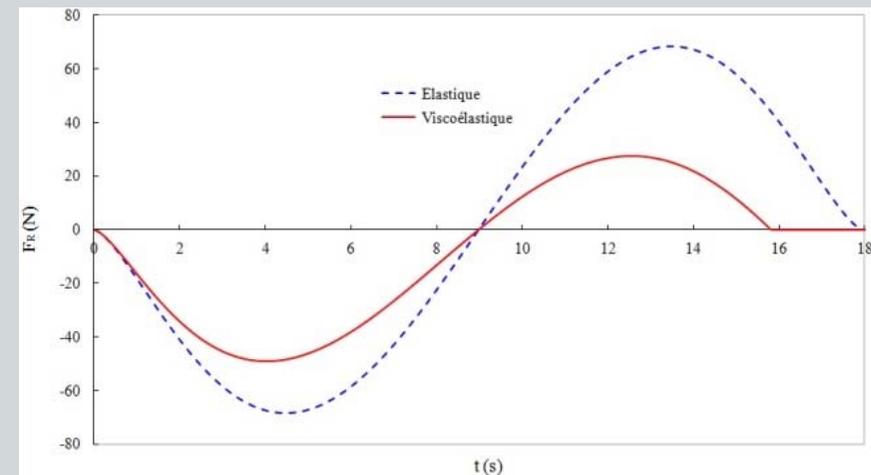


Modèle de prévision par approche de contact multipoints

- Résultats pour le roulement du massif sphérique sur une seule aspérité sphérique



Force de contact au sommet de l'aspérité

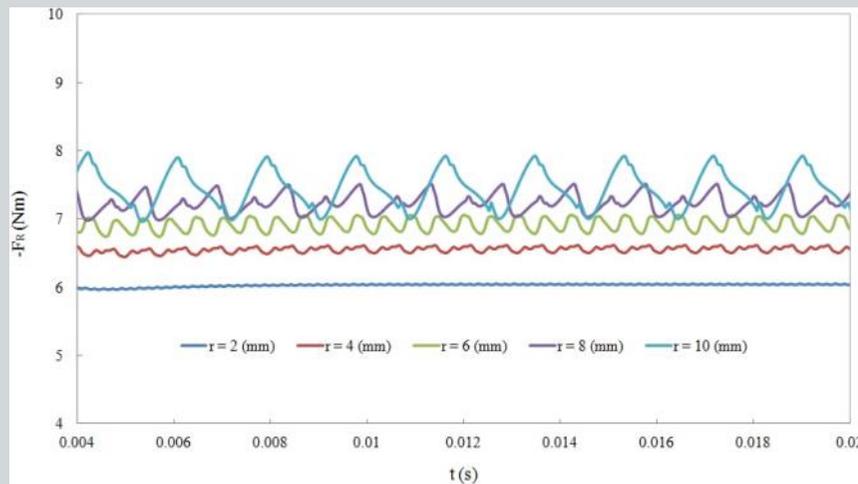
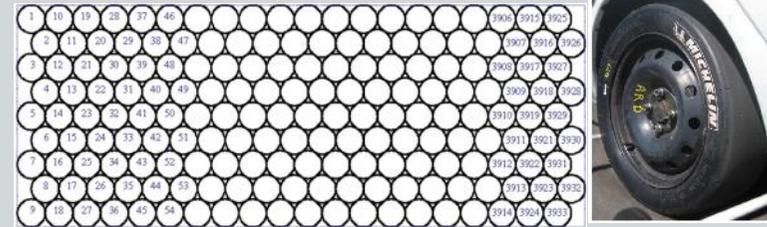


Force de résistance au roulement

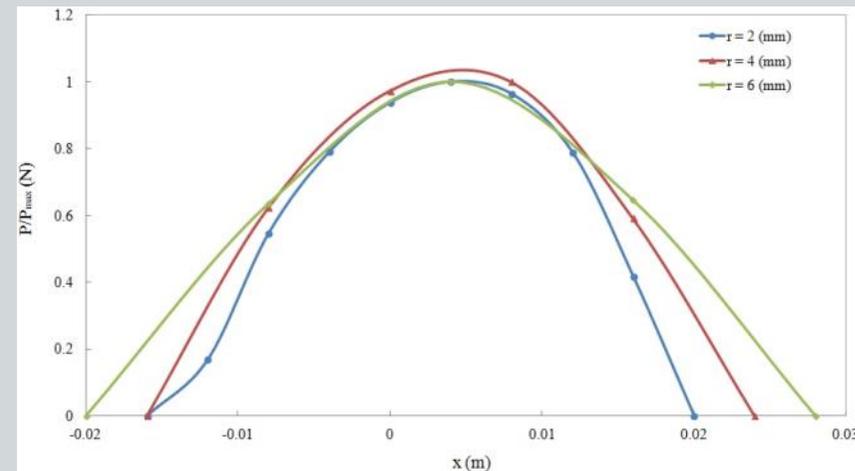


Modèle de prévision par approche de contact multipoints

- Résultats pour le roulement d'un pneu lisse sur un grand nombre d'aspérités sphériques



Force de résistance au roulement en fonction de la taille des aspérités



Distribution de force finale sur l'axe longitudinal



Modèle de prévision par approche de contact multipoints

- Résultats pour le roulement d'un pneu lisse sur une surface de chaussée réelle



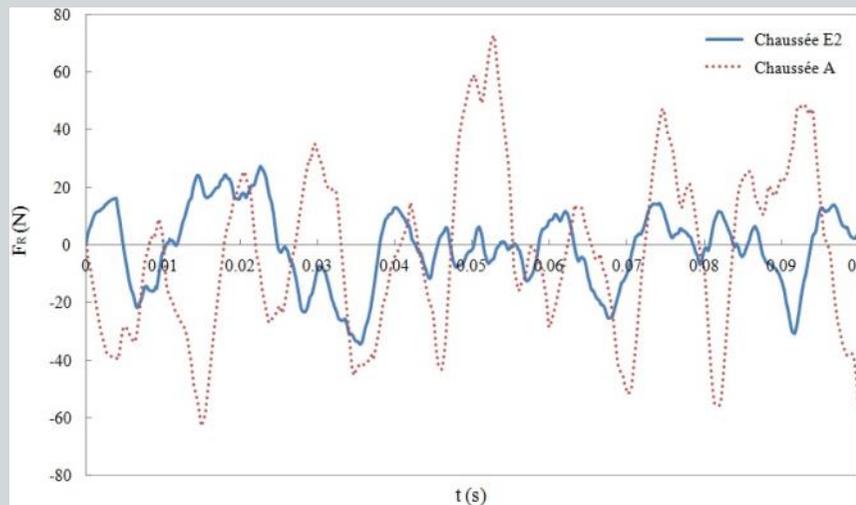
Surface A



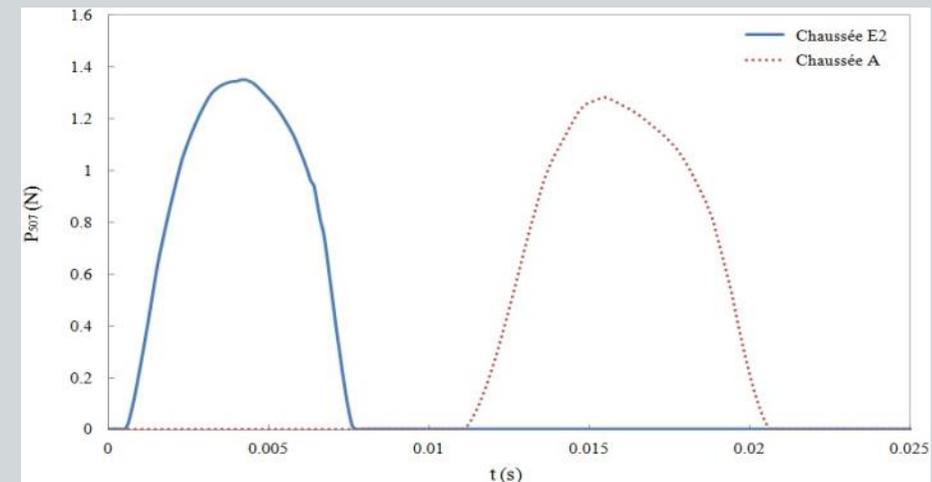
Surface B



Pneu



Force de résistance au roulement pour chaque surface de chaussée

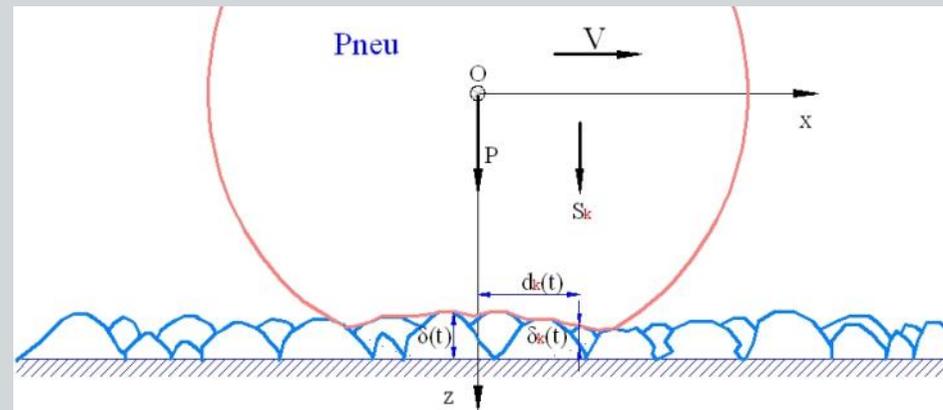
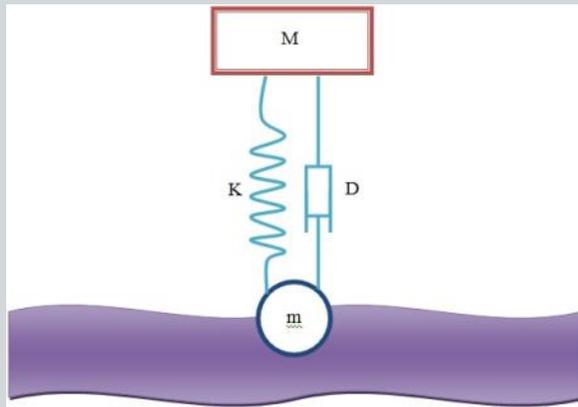


Exemple de force de contact locale sur une aspérité



Modèle de contact multipoints avec suspension

- Approche multipoints avec la suspension



- Équations d'équilibre :

$$\begin{cases} m\ddot{\delta}(t) - D(\dot{\Delta}'(t) - \dot{\delta}'(t)) - K(\Delta'(t) - \delta(t)) = mg - \sum_{k=1}^N P_k(t) \\ M\ddot{\Delta}'(t) + D(\dot{\Delta}'(t) - \dot{\delta}'(t)) + K(\Delta'(t) - \delta(t)) = Mg \end{cases}$$



Modèle de contact multipoints avec suspension

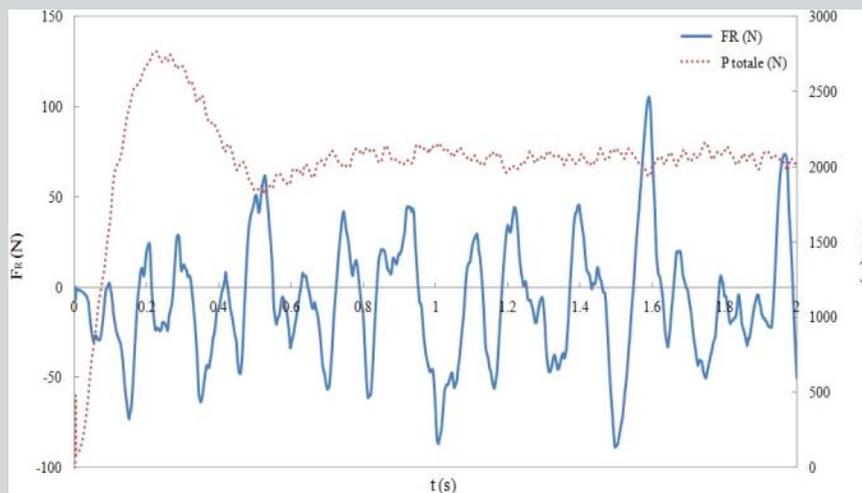
- Résultats pour le roulement d'un pneu lisse sur une surface de chaussée réelle



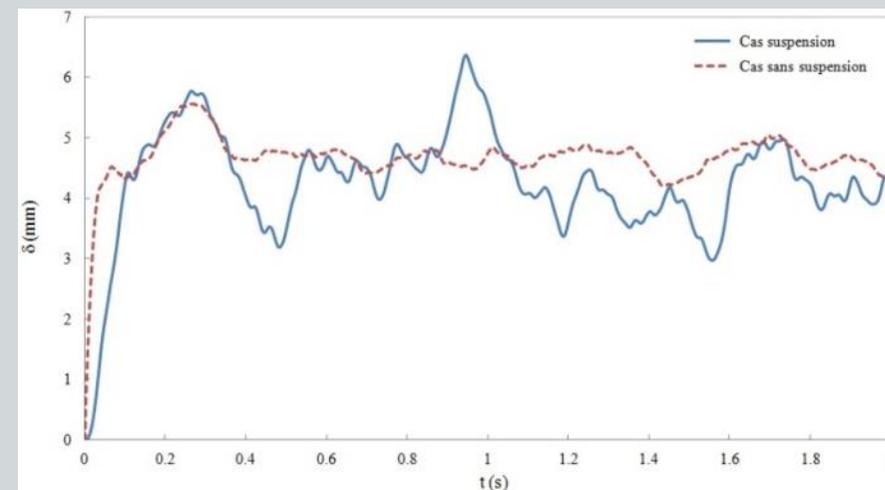
Surface A



Pneu



Force de résistance au roulement (bleu) et force normale totale (rouge)



Déplacement au centre de roue



Conclusions et perspectives

➤ Conclusions :

- Roulement d'une sphère sur un massif semi-infini viscoélastique :
 - ✓ Dissymétrie de la distribution de pression liée à la viscoélasticité
 - ✓ Mise en évidence d'une force de résistance au roulement
 - ✓ Une surface sinusoïdale du massif modifie les résultats
- Modèle de prévision par approche de contact multipoints
 - ✓ Formulation et résolution du contact multipoint viscoélastique
 - ✓ Calculs pour un pneu lisse en contact avec différentes surfaces
 - ✓ La résistance au roulement augmente avec la taille des aspérités
- Modèle de contact multipoints avec suspension
 - ✓ Mise en évidence d'un effet sur la résistance au roulement

➤ Perspectives :

- Influence des différents paramètres à approfondir
- Calculer l'énergie dissipée dans le pneu et l'amortisseur



Merci de votre attention

