



HAL
open science

Evaluation de la distribution des pressions locales de contact entre un pneumatique et un revêtement routier

Smail Hamlat, Ferhat Hammoum

► **To cite this version:**

Smail Hamlat, Ferhat Hammoum. Evaluation de la distribution des pressions locales de contact entre un pneumatique et un revêtement routier. CFM 2009 - 19ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2009, Marseille, France. hal-03391232

HAL Id: hal-03391232

<https://hal.science/hal-03391232>

Submitted on 21 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation de la distribution des pressions locales de contact entre un pneumatique et un revêtement routier

S. HAMLAT^a, F. HAMMOUM^b

a. Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Angers (LRPCA), 23, avenue de l'Amiral Chauvin
BP 2069 / 49136 Les Ponts de Cé Cédex

b. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes (LCPC), Route de Bouaye- BP 4129
44341 Bouguenais cedex

Résumé :

L'étude présentée dans cet article expose une méthode rapide et non onéreuse pour caractériser la distribution des pressions de contact entre un pneumatique et un revêtement de chaussée. On intercale un film Fuji Prescale entre un pneumatique et la surface d'un revêtement dans des conditions bien déterminées de température et d'humidité en statique. Puis, à l'aide de l'analyse d'image, on exploite l'empreinte laissée sur le papier Fuji par le contact mécanique des deux surfaces pour en déterminer la distribution des pressions de contact avec une bonne précision et une meilleure résolution.

Abstract :

In this paper we propose a cheap and easy method to assess static pressure distribution for the rubber-road contact. Fuji Prescale pressure-sensitive film is inserted between a tyre and road surface to impress a local pressure dependent footprint where both temperature and humidity conditions are known. Afterwards the impressed footprint is analysed to obtain static pressure distribution of tyre-road contact using tools of image processing.

Mots clefs : empreinte pneumatique chaussée, film Fuji Prescale, pression locale, analyse d'images.

1 Introduction et état de l'art

Dans les méthodes de dimensionnement des chaussées, les ingénieurs routiers considèrent la géométrie de l'aire de contact pneu-chaussée comme une zone de forme circulaire. La contrainte verticale est uniformément distribuée et l'intensité de cette pression est supposée égale à la charge statique rapportée à l'aire de contact apparente entre le pneumatique et la surface de la chaussée.

Parmi les moyens de mesure des pressions locales de contact entre un pneumatique et un revêtement de chaussée, on présente succinctement les systèmes les plus utilisés :

- De-Beer a développé un système appelé VRSPTA (Vehicle-Road Surface Pressure Transducer Array) [1]. Cette technique permet de mesurer les efforts tridimensionnels de contact pneu-chaussée sous une roue chargée mobile à des faibles vitesses (entre 0.3 et 7 m/s). L'inconvénient majeur de cette technique réside dans le fait qu'elle ne prend pas en compte la rugosité de surface du revêtement routier.

- Il existe également le système Tekscan dont le principe de fonctionnement repose sur un polymère résistif dont la résistance électrique change en fonction de la contrainte appliquée [2]. Ce capteur se présente sous forme d'une nappe d'une certaine rigidité et d'une résolution donnée. Cette technique permet de réaliser des mesures en statique et en dynamique à différentes vitesses de roulement. Néanmoins, le Tekscan présente une rigidité transversale qui lisse la distribution de la pression locale.

- Enfin, on présente le capteur photométrique Fuji Prescale qui est développé par la société Fuji Photo Film [3]. L'application d'une pression mécanique sur le film produit un éclatement des microcapsules qui libère un liquide et vient réagir avec le révélateur. Cette réaction se traduit par l'apparition d'une teinte plus ou moins foncée. Cette teinte dépend de la pression appliquée. Elle varie du rose clair (limite inférieure de la sensibilité du papier) au rouge foncé (saturation du papier).

Une méthode de mesure de la pression de contact réelle à l'aide de ce capteur photométrique a été mise au point, en laboratoire, dans des conditions bien déterminées (température, humidité et temps de chargement). Cette méthode permet d'évaluer la distribution des pressions de contact à partir de la fonction de transfert pour relier le niveau de gris d'un point de contact à une valeur de pression [4].

En 2003, Hoffmann [5] a réalisé une étude comparative avec les deux types de capteurs : Tekscan et Fuji film. Cette étude montre que la sonde Tekscan fournit des valeurs de pression inférieures à celles obtenues avec le film Fuji, cela s'explique principalement par le fait que le système Tekscan ne prend pas en compte certaines zones de contact.

2 Présentation de la méthode de mesure

L'étude exposée dans cet article est réalisée avec le capteur Fuji Prescale en structure double film. Cette configuration est composée d'un film nommé "A" qui contient des microcapsules de diamètre 2-26 μ m, remplies d'un liquide transparent et un film nommé "C" qui joue le rôle d'un révélateur lors du contact avec le liquide libéré par le film A (FIG .1).

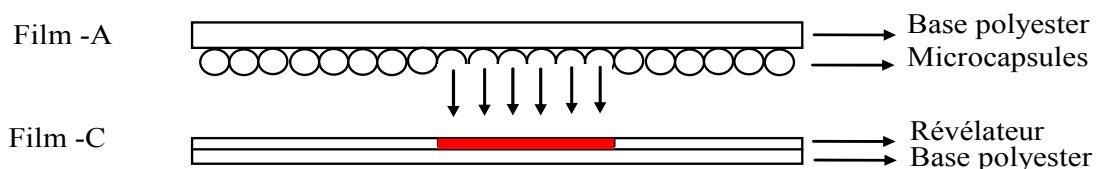


FIG. 1 – Description de la structure en double film

Pour transformer les empreintes en une distribution des pressions locales, il est nécessaire d'établir une courbe d'étalonnage reliant les pressions appliquées aux teintes imprimées sur le film. L'obtention de cette courbe nécessite la mise au point d'une méthodologie de mesure qui sera présentée ci-après avec les étapes suivantes :

- prise d'empreinte ;
- numérisation de l'empreinte ;
- traitement des images.

2.1 Prise d'empreinte

L'empreinte est obtenue en intercalant le film Fuji de gamme [0.2 – 5]MPa entre un tube cylindrique plein et une surface plane et rigide. Préalablement, les surfaces en contact sont rectifiées pour assurer une répartition uniforme de la charge.

Le tube cylindrique est muni d'une rotule afin de centrer la charge (FIG. 2). On applique une compression sur le tube, avec une précision de 0,1%, à partir d'un asservissement en déplacement jusqu'à l'obtention de la charge voulue. La pression moyenne est égale au rapport entre la charge appliquée et la surface du piston.

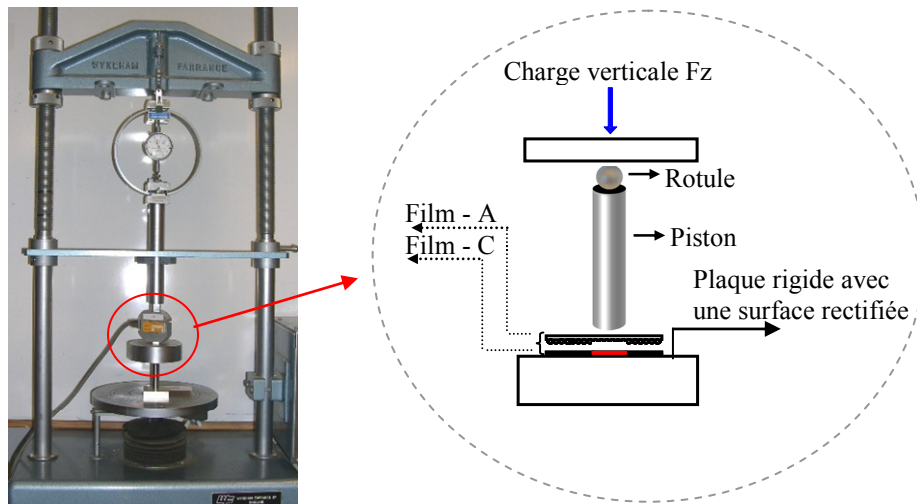


FIG. 2 – Dispositif utilisé pour l'étalonnage du film Fuji de gamme [0.2 – 5]MPa

Les travaux de Liggins et Finlay [6] ont montré que le film Fuji est sensible aux conditions de l'essai. Dans cette étude, les conditions de température et d'humidité relative du milieu ambiant préconisées par le fournisseur sont respectées.

Singerman et al [7] ont constaté que la courbe d'étalonnage dépend du temps de mûrissement du film Fuji entre la prise d'empreinte et la numérisation. Liggins et Finlay [6] ont suggéré un temps de mûrissement de 24 heures avant la numérisation de l'empreinte.

2.2 Numérisation des empreintes

Durant cette étape, on récupère les informations sur l'empreinte en réduisant au maximum les bruits dus au mode de numérisation et à la qualité de l'éclairage.

Le système de caméra munie d'un dispositif d'éclairage n'a pas été utilisé car cette méthode introduit un bruit dans l'image numérisée. Liggins et al [8] ont suggéré d'utiliser un éclairage annulaire pour apporter une lumière uniforme sur l'empreinte. Seulement, on doit prendre encore certaines précautions pour stabiliser la luminosité. Par exemple, la lampe doit être mise en marche au moins 30 minutes avant la numérisation afin de diminuer les variations de luminosité.

Pour toutes ces raisons, nous avons opté pour la numérisation à l'aide d'un scanner à plat. La résolution utilisée sur les deux axes x et y est de 24 pixels/mm, cette résolution permet de prendre en compte les forts gradients de pression.

Pour vérifier que l'éclairage du scanner est uniforme, on a utilisé une plaque densimétrique témoin contenant une gamme de 15 nuances de gris. Les résultats obtenus montrent que le scanner est suffisamment stable et la répétabilité des mesures sur une empreinte fournit une erreur relative de 3.7% sur un intervalle de confiance de 99.73%.

2.3 Traitement des images

La conversion des niveaux de gris en valeurs de pression de contact dépend de la résolution spatiale. La FIG. 4 montre les différentes représentations d'une même empreinte en fixant la résolution à 1x1 pixels, 12x12 pixels ou encore à 24x24 pixels. La pression de contact locale est déterminée à partir de la moyenne des valeurs des pixels contenus dans un élément de la grille. Une diminution de la résolution se traduit par un lissage des valeurs de pression de contact (FIG. 4c).

Par la suite et par souci de restitution de l'information contenue dans l'empreinte, nous avons choisi de travailler avec une résolution maximale de 1x1 pixel.

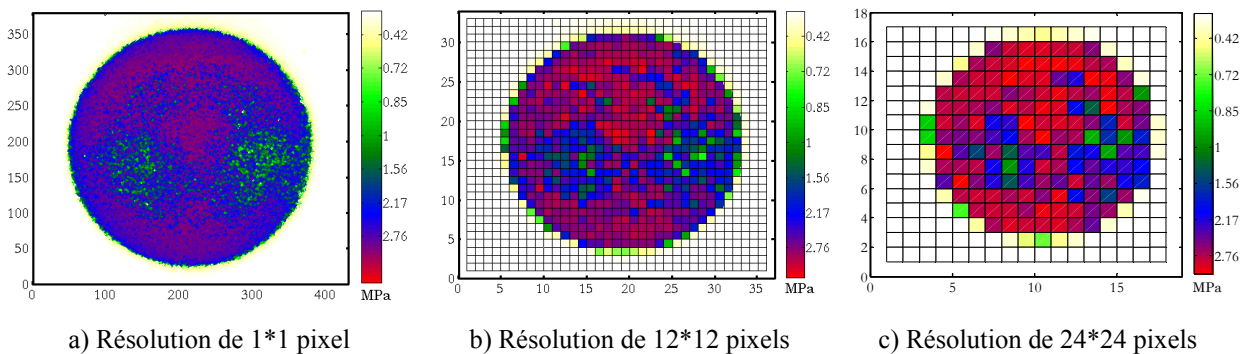


FIG. 4 – Résolution spatiale et la précision en champs de pression

Pour établir la courbe d'étalonnage, nous avons effectué des prises d'empreintes pour une dizaine de charges comprises entre 84N et 552N (FIG. 5).

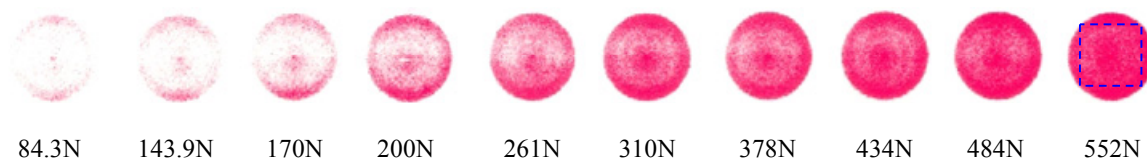


FIG. 5 – Empreintes obtenues pour différentes valeurs de charge

Le traitement des images est effectué à l'aide du logiciel Matlab. Le niveau de gris correspondant à une charge donnée est considéré comme étant la moyenne des niveaux de gris des points appartenant à un carré de côté égal à $R\sqrt{2}$ inscrit dans l'empreinte circulaire (FIG. 5- 552N) :

$$NG_{Moy} = \frac{1}{\text{Nombre total de pixels dans l'image}} * \sum_{i=0}^{i=255} ng_i \quad (1)$$

L'exploitation de ces mesures permet de proposer une courbe d'étalonnage du film Fuji de gamme [0-2.5MPa] (FIG. 6).

La fonction de transfert permettant d'obtenir la pression locale pour un niveau de gris est un polynôme du 5^{ème} degré. Par la suite, nous utiliserons cette courbe d'étalonnage pour déterminer la répartition des pressions de contact entre un pneumatique et un revêtement routier.

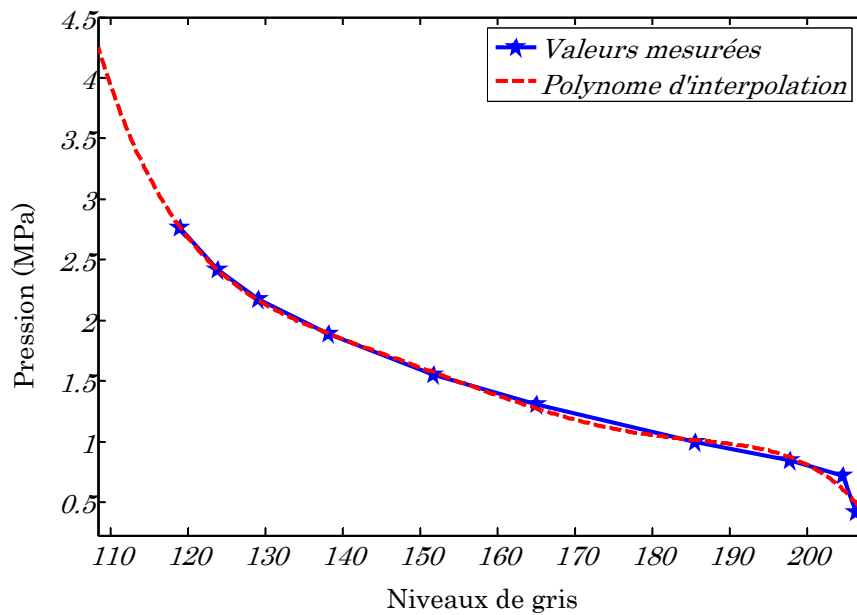


FIG. 6 – Courbe d'étalonnage du film Fuji de gamme [0-2.5MPa]

3 Application de la procédure sur une monte jumelée

La méthode de mesure définie précédemment est appliquée sur le cas du contact pneumatique-chaussée. Les mesures sont effectuées sur le manège de fatigue LCPC avec une monte jumelée comprenant deux pneumatiques de type CONTINENTAL HSR 12.00 R 20.

Les mesures de pression sont effectuées en statique avec une charge de référence de 13 tonnes. Par conséquence, la charge appliquée sur la monte jumelée du demi-bras du manège est de 6.5 tonnes. Le film Fuji est intercalé entre le revêtement de la chaussée et les pneumatiques de la monte jumelée (FIG. 7), puis la charge est appliquée progressivement par l'intermédiaire d'un vérin hydraulique. Lors des essais, les conditions environnementales sont proches de celles mesurées en laboratoire avec une température de 21°C et un taux d'humidité de l'ordre de 60 à 65%.



FIG. 7 – Mise en place du film Fuji entre les pneumatiques de la monte jumelée et le revêtement

L'essai consiste à prendre les empreintes des deux pneumatiques pour une pression de gonflage « Pg » de 0.9 MPa. Après application de la procédure citée précédemment dans le paragraphe 2.3, le résultat obtenu est représenté sur la figure 8. Nous constatons que la répartition des pressions locales de contact n'est pas uniforme et qu'elle dépend de la rugosité du revêtement routier et de sa planéité. Ces résultats montrent une diminution très sensible de l'aire de contact réel. Cette diminution est inversement proportionnelle à l'augmentation de la pression moyenne de contact local qui peut atteindre 1.8 MPa. L'ordre de grandeur de ces résultats est comparable à celui obtenu par la société Michelin sur un revêtement peu rugueux [9].

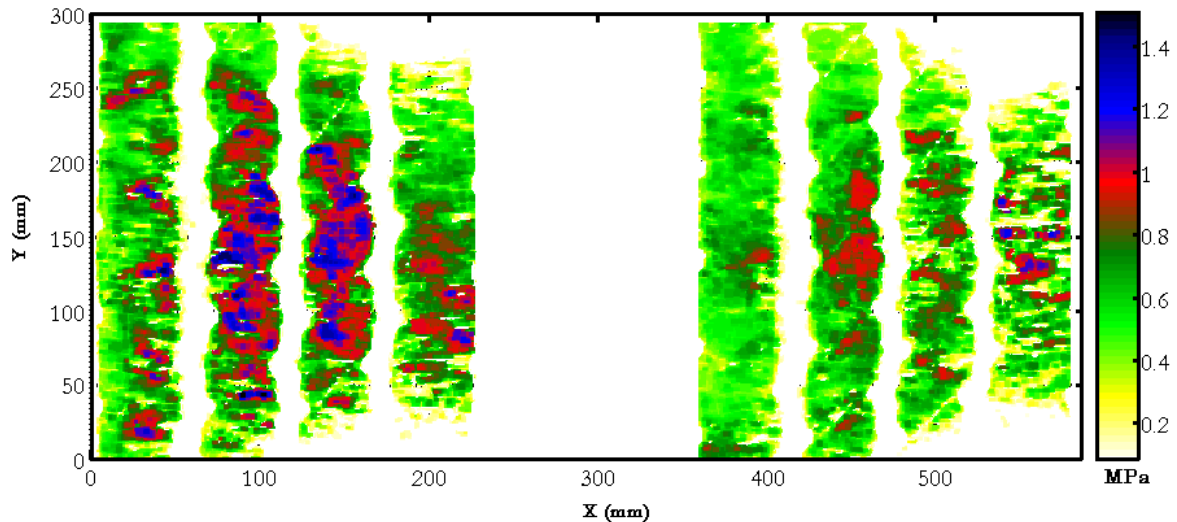


FIG. 8 – Répartition des pressions locales sur les deux roues ($P_g = 0.9$ MPa)

4 Conclusion

Dans cette étude, nous avons élaboré une méthodologie de mesure pour évaluer la distribution des pressions de contact local entre un pneumatique et un revêtement de chaussée en statique. Cette méthodologie est basée sur l'analyse d'images d'une empreinte laissée par le contact sur un capteur photométrique nommé Fuji film.

Néanmoins, l'approche utilisée nécessite des précautions lors de la prise d'empreintes concernant les conditions de température et d'humidité du milieu ambiant.

Cette méthode de mesure est relativement simple et peu onéreuse et elle permet d'obtenir des informations sur l'état de contact.

5 Bibliographie

- [1]. De Beer, M., and Fisher, C. 1997 Contact stresses of pneumatic tires measured with the vehicle-road surface pressure transducer array (VRSPTA) system. Report for the University of California at Berkeley (UCB) and the Nevada Automotive Test Center (NATC). Transportek, CSIR. Pretoria, South Africa.
- [2]. TireScan™ System, Tekscan, South Boston, USA. [En ligne] http://www.tekscan.com/industrial/tirescan_system.html , April 2003.
- [3]. Fuji Film Prescale, [En ligne] : <http://www.fujiprescale.com>
- [4]. Hamlat. S. Etude de la résistance des revêtements routiers aux sollicitations tangentielles, Thèse de doctorat ECN/LCPC, Mars 2007.
- [5]. Hoffmann.K, Decker.K. Influence of the Measuring Grid of a Foil Sensor on the Accuracy of Pressure Measurements, 20th Danubia-Adria Symposium on Experimental Methods in solid Mechanics, Győr, Hungary, 2003.
- [6]. Liggins.A.B, Finlay.J.B. Recording contact areas and pressures in joint interfaces. Dans EXPERIMENTAL MECHANICS - Technology Transfer between High Tech Engineering and Biomechanics, Éd. E. G. Little, pages 71–88. Elsevier Science Publishers B. V., 1992.
- [7]. Singerman.R..J, Pedersen.D.R, Browen.T.D (1987). Quantitation of pressure Sensitive Film using digital image scanning, Experimental Mechanics, Vol.27, n°1, pp.99-105.
- [8]. Liggins.A.B, Stranart.J.C.E, Finlay.J.B, Rorabeck.C.H (1992). Calibration and Manipulation of data from Fuji pressure-sensitive film. Elsevier science publishers.pp.61-70.
- [9]. Société de Technologie Michelin, 2001. Le pneu l'adhérence. Janvier 2001. pp.25