

Caractérisation morphologique de l'usure des freins

L. COUSTENOBLE^a, J. KIM^b, R. DELTOMBE^a, F. MASSA^a, T. TISON^a

a. LAMIH UMR-CNRS 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis

Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France

Email : laurent.coustenoble@gmail.com

b. HYUNDAI MOTORS GROUP

150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggipostal-do, 18280, Korea

Résumé :

L'objectif de ce travail est de développer une méthodologie de caractérisation de la surface entière des plaquettes de frein. En effet, la morphologie est souvent caractérisée sur des petites surfaces. Petites par rapport à la surface de contact plaquette/disque et aussi par rapport à la taille des constituants de la microstructure (taille des particules et de la porosité).

La variation de focus a été utilisée pour la mesure topographique de la plaquette entière. Cette méthode fournit en plus du fichier topographique une image couleur haute définition. La topographie de surface a été analysée à différentes gammes d'échelles (Forme, Ondulation et Rugosité). Cette décomposition a permis de mettre en valeur les différents éléments caractéristiques de la structure de la surface et de son usure. Notre méthode est transposable sur des systèmes tribologiques plan/plan (taille décimétrique).

Abstract :

The aim of this work is to develop a methodology for the characterization of the entire surface of the brake pads. Indeed, the morphology is often characterized on small surfaces. Small in relation to the plate / disc contact surface and in relation to the microstructure (particle size and porosity).

Focus variation method was used for the topographic measurement of the entire surface of the brake pad. This method provides, in addition to the topographic file, a high-definition color picture. Surface topography was analyzed at different ranges of scales (Shape, Waviness and Roughness). This decomposition made it possible to highlight the various characteristic elements of the structure of the surface and its wear. Our method is transposable on planar/planar tribological systems (decimetric size).

Mots clefs : Morphologie, Rugosité, Freinage, Variation de focus.

1 Introduction

La surface des garnitures des plaquettes de freins est généralement mesurée sur des surfaces de petites dimensions. Petites par rapport à la surface de contact garniture/disque. Petites par rapport aux dimensions des éléments de la microstructure de la garniture (taille des particules, de la porosité). De plus, ces matériaux présentent des hétérogénéités dues, à la fois à la microstructure et à l'usure en service qui ne sont pas homogènes sur toute la surface. Le Tableau 1 présente trois exemples typiques de techniques de mesures topographiques de plaquettes de frein rencontré dans la littérature.

	Technique topographique	Dimensions de la mesure
[1]	Interférométrie	0,8x0,8 mm ²
[2]	Confocal	3x5 mm ²
[3]	Tactile	10 mm

Tableau 1 : Techniques de caractérisation rencontrées dans la littérature.

L'objectif de ce travail est, la caractérisation morphologique à l'échelle de la plaquette entière : la mesure topographique et le traitement de cette mesure.

2 Contexte et stratégie de mesure

2.1 Contexte : Les plaquettes de frein étudiées

Trois jeux de quatre plaquettes utilisés dans le système de freinage du train de roues avant (Figure 1a) d'un véhicule Hyundai nous ont été fournis afin d'effectuer leurs caractérisations morphologiques. Un jeu constitué de plaquettes neuves (Figure 1b), les deux autres jeux étant issus de tests réalisés chez Hyundai Motors. Le nombre de freinage est de 400 pour le premier jeu et de 2600 pour le second jeu de plaquettes testées.

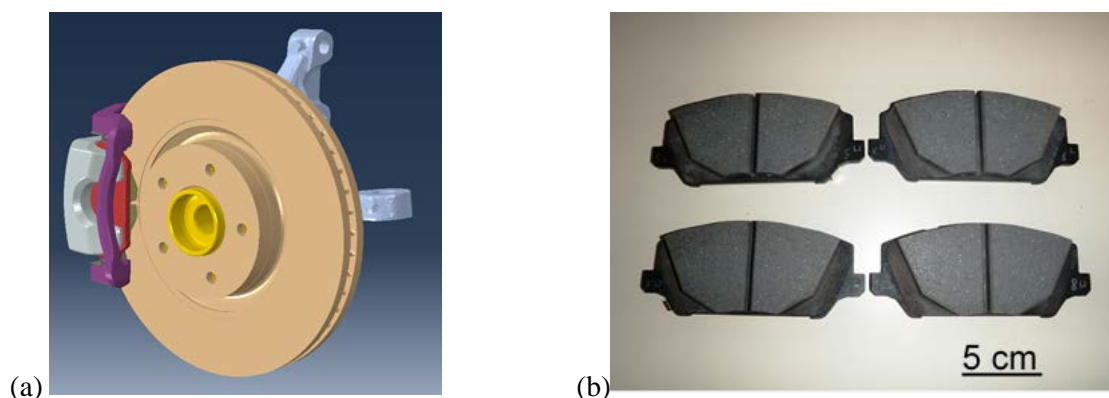


Figure 1 : Système de freinage roue gauche (a) jeu de plaquettes neuves (b).

2.2 Choix et mise en œuvre de la mesure topographique

La variation de focus a été choisie pour caractériser la morphologie des plaquettes de frein. En effet, cette technique de mesure topographique est particulièrement bien adaptée aux surfaces de grandes

dimensions, rugueuses et à fortes pentes [5, 6]. Cette technique fournit en plus, une image couleur haute définition (HD).

Les mesures ont été effectuées (une demi-plaquette à la fois) sur un InfiniteFocus de chez AliconaTM. Les dimensions d'une plaquette sont 10x5 cm². L'objectif utilisé est un x5, les résolutions latérale et verticale sont respectivement de 3,52 μm et de 410 nm. La surface de la demi-plaquette est reconstruite par assemblage de 24x23=552 images individuelles avec chevauchement (stitching). On obtient finalement, 15000x17000 points de mesure, et deux fichiers : le fichier de mesure topographique (1 Go) et le fichier de l'image couleur haute définition (800 Mo). Les 12 plaquettes ont été mesurées générant ainsi une grande quantité de données.

3 Stratégie d'analyse et résultats

3.1 Stratégie d'analyse

La figure 2 ci-dessous résume notre méthodologie de traitement des résultats. On retrouve les résultats bruts qui sont la topographie et l'image HD. Avec l'image HD, il est possible de localiser des éléments de la microstructure afin de caractériser leur usure (usure des différents types de particules, usure de la matrice ...).

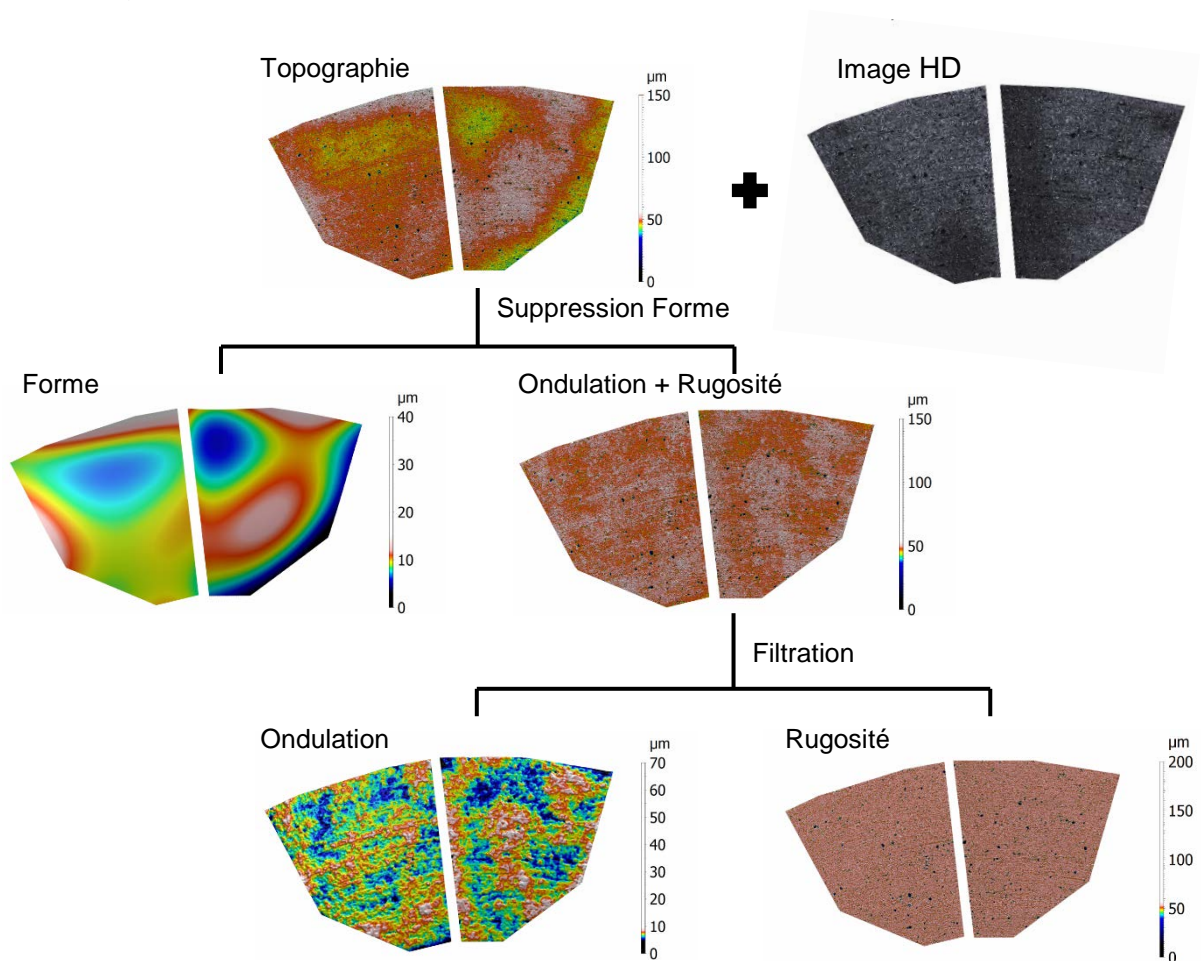


Figure 2 : Arbre de traitement des résultats.

La première étape est la suppression de la forme globale de la plaquette. Dans notre cas, c'est typiquement un polynôme de degré 4. On obtient une surface qui contient, l'ondulation et la rugosité. Pour accéder ensuite aux surfaces d'ondulation et de rugosité, un filtre gaussien robuste a été utilisé. Ce type de filtre a été choisi car la surface des plaquettes présente une structure en plateaux avec des porosités. Une analyse spectrale nous a permis de déterminer la longueur de coupure du filtre (0,8 mm).

3.2 Résultats

Seul les résultats pour la roue gauche sont présentés. Pour la roue droite, les résultats sont comparables. Le tableau 1 présente les topographies des plaquettes aux différents stades d'usure. Les plaquettes sont repérées suivant leurs positions par rapport au disque de freinage (intérieure-extérieure). Chacune des demi-plaquettes l'est aussi (haut-bas), Cf. Figure 1a.

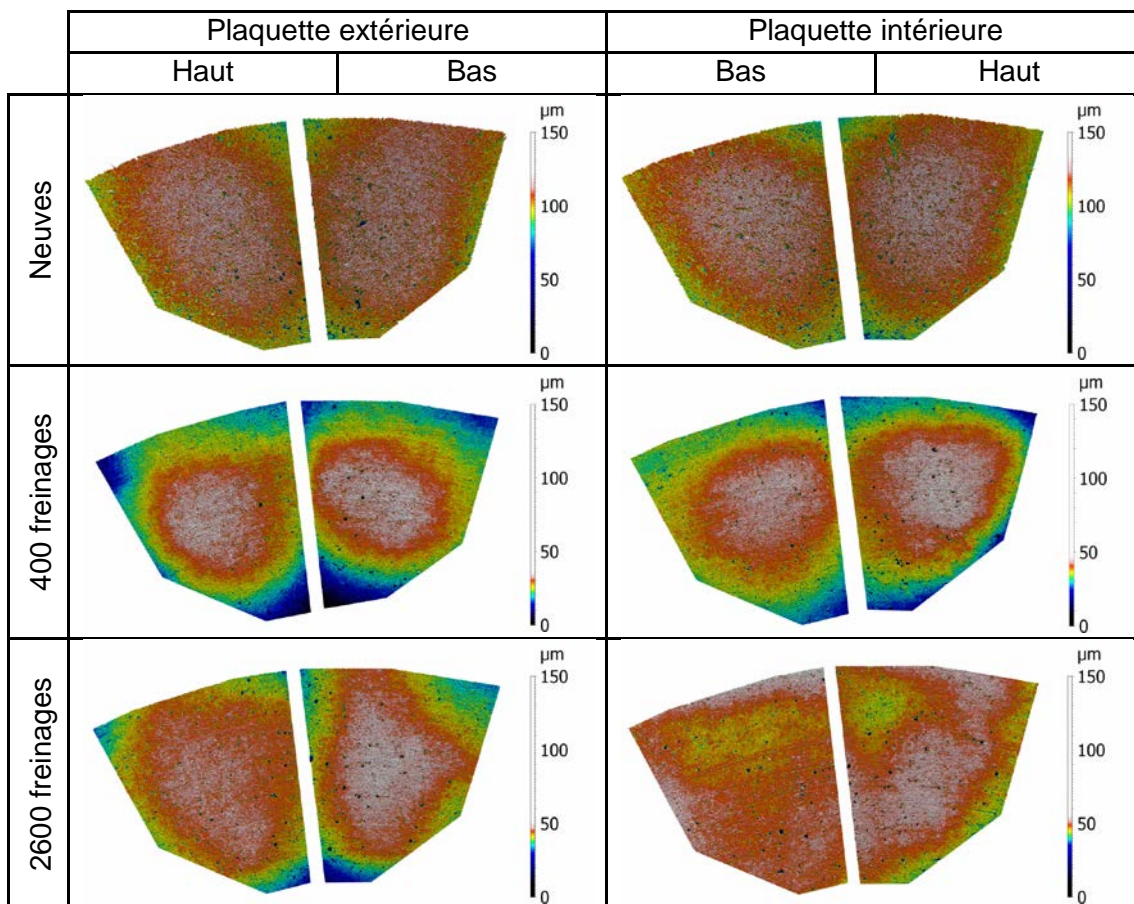


Tableau 2 : Topographies (Forme+Ondulation+Rugosité), roue avant gauche.

Pour les plaquettes neuves et jusqu'à 400 freinages, les morphologies des demi-plaquettes (intérieure-extérieure) sont identiques. Pour 2600 freinages on constate une différence entre plaquette intérieure et extérieure. Le piston se situant au niveau de la plaquette intérieure. Pour les plaquettes neuve et 400 freinages les morphologies des demi-plaquettes (haut-bas) sont identiques. Ce que l'on retrouve avec le Tableau 3 qui présente la forme globale. La surface des plaquettes subit un écrêtage très rapidement.

En retirant la forme globale (Tableau 4), les plateaux de contact et les stries d'usure apparaissent. La décomposition en surface d'ondulation et surface de rugosité (Tableau 5 et 6) permet de séparer ces deux composantes. Les plateaux et les amas anisotropes (troisième corps) se retrouvent à l'échelle de l'ondulation. Les stries d'usure et la porosité sont misent en valeur à l'échelle de la rugosité.

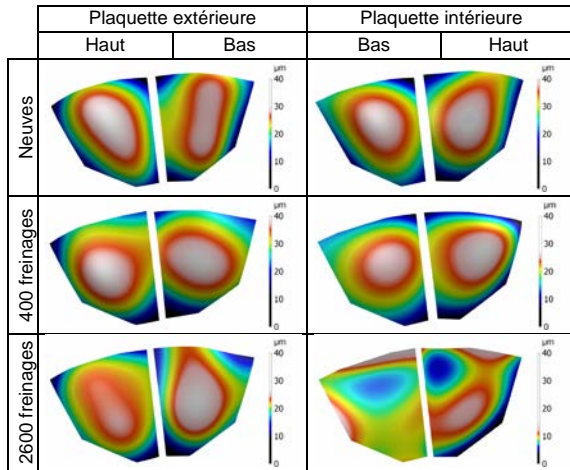


Tableau 3: Forme

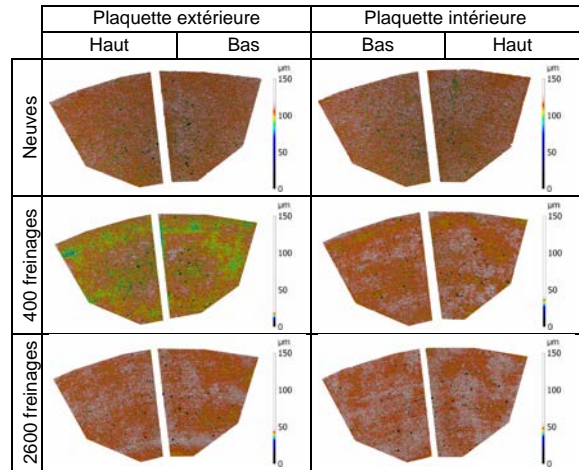


Tableau 4 : Ondulation plus Rugosité

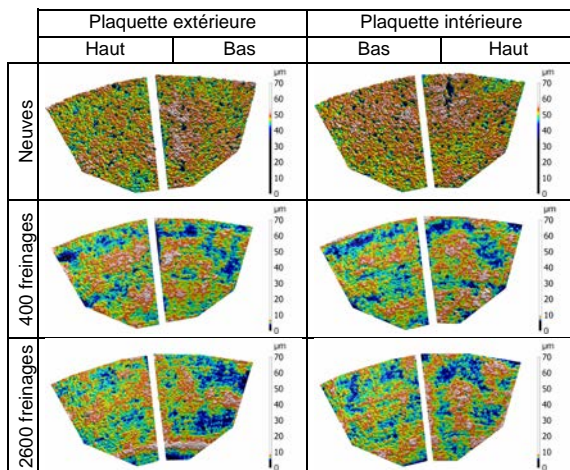


Tableau 5: Ondulation

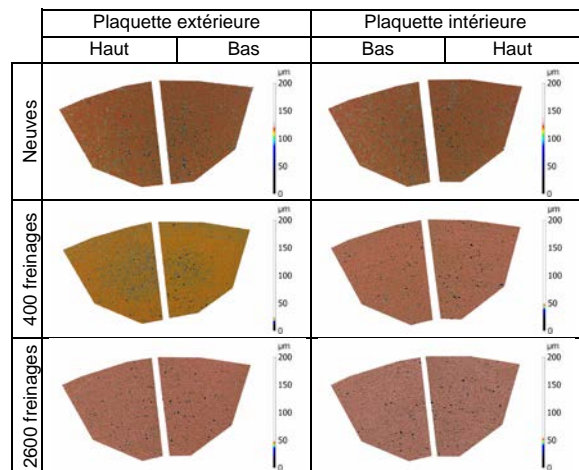


Tableau 6 : Rugosité

Compte tenu de la qualité d'image obtenue grâce à un grand nombre de points de mesure (Cf. paragraphe 2.2), il est possible d'obtenir des détails de la morphologie en regard de la microstructure. La Figure 2 présente deux zooms successifs. Pour le dernier agrandissement on est typiquement à l'échelle du grain.

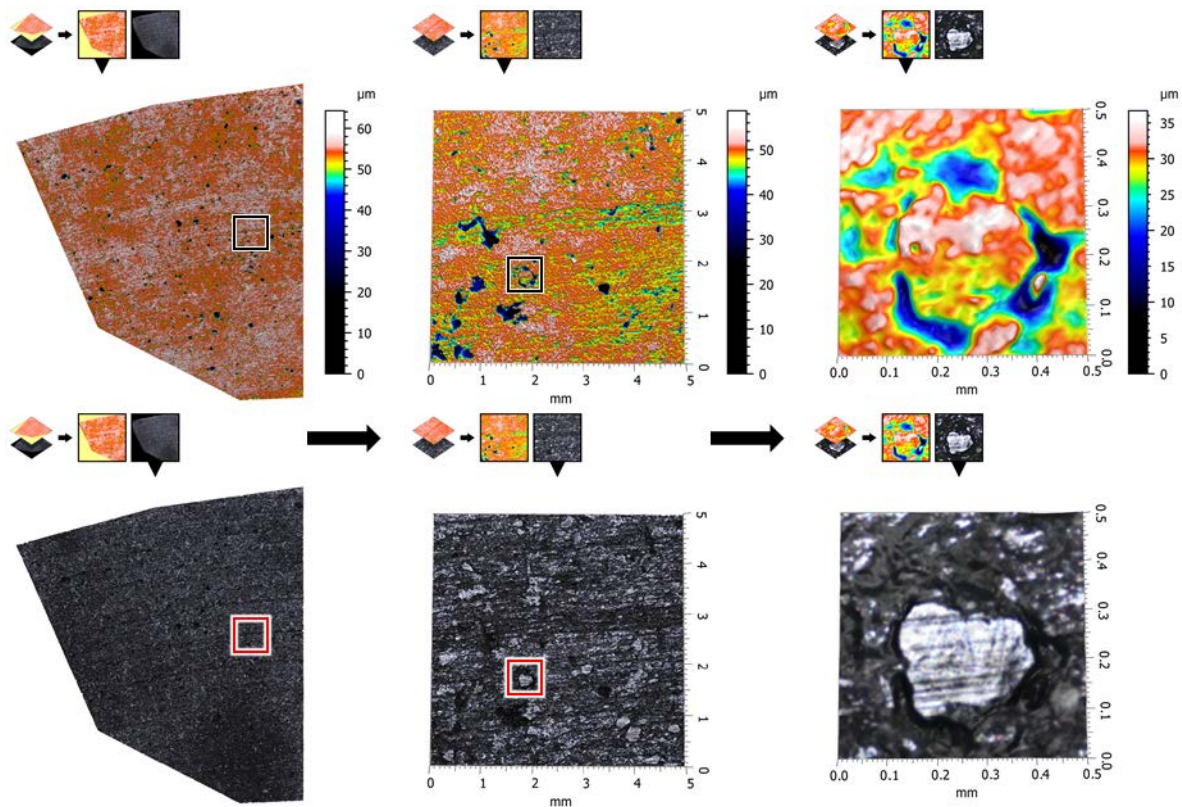


Figure 2 : Zooms successifs : image topographique et image HD
(2600 freinages roue gauche intérieure).

4 Conclusion

Une méthode de caractérisation de la morphologie à l'échelle de la plaquette de frein a été mise en place. Cette méthode repose sur la technique de mesure utilisée (variation de focus) et sur la méthodologie de traitement des topographies de surface (décomposition de la surface).

En plus de la caractérisation à l'échelle de la plaquette, il est possible également de caractériser l'usure à l'échelle des mécanismes locaux ou des constituants du matériaux (échelle des grains).

Cette méthode est transposable sur des systèmes tribologiques plan/plan de taille centimétrique.

Remerciements

Ces travaux s'inscrivent dans les thèmes de la Fédération de Recherche CNRS Transports Terrestres & Mobilité, en articulation avec le projet ELSAT2020 cofinancé par l'Union Européenne, le Ministère de l'Education Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et la Région Hauts de France, dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020. Les auteurs remercient le support de ces institutions.

Références

- [1] M. Eriksson, S. Jacobson, Tribological surfaces of organic brake pads, *Tribology International* 33 (2000) 817-827
- [2] H.A. Sherif, Investigation on effect of surface topography of pad/disc assembly on Squeal generation, *Wear* (10) (2004) 687-695
- [3] P.D Neis, N.F. Ferreira, G. F. Ferreira, G. Fekete, L.T. Matozo, D. Masotti, Towards a better understanding of the structures existing on the surface of brake pads, *Tribology International* 105 (2017) 135-147
- [4] F. Massi, Y. Berthier, L. Baillet, Contact surface topography and system dynamics of brake squeal, *Wear* 265 (2008) 1784-1792
- [5] R. Leach, *Optical measurement of surface topography*, Springer, 2011
- [6] R. Danzl, F. Helml, S. Scherer, Focus Variation - a Robust Technology for High Resolution Optical 3D Surface Metrology, *Journal of Mechanical Engineering* 57 (2011) 245-256