



HAL
open science

Caractérisation mécanique du contact gomme-revêtement

Smail Hamlat, Ferhat Hammoum, Pierre-Yves Hicher

► **To cite this version:**

Smail Hamlat, Ferhat Hammoum, Pierre-Yves Hicher. Caractérisation mécanique du contact gomme-revêtement. 17ème Congrès Français de Mécanique, Association française de mécanique, Aug 2005, Troyes, France. hal-04398586

HAL Id: hal-04398586

<https://hal.science/hal-04398586>

Submitted on 16 Jan 2024

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.

Caractérisation mécanique du contact gomme- revêtement.

Smail Hamlat ⁽¹⁾, Ferhat Hammoum ⁽¹⁾, Pierre-Yves Hicher ⁽²⁾

(1) Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Division Matériaux et Structures de Chaussées

route de Bouaye - BP 4129

44341 Bouguenais cedex

(2) Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique UMR CNRS 6183

Ecole Centrale Nantes- Université de Nantes

Résumé :

Les revêtements routiers constituent une part importante dans la conception des infrastructures de transport. Afin d'assurer la durabilité des revêtements routiers sous un trafic relativement important et une sécurité de conduite vis à vis des usagers, il est nécessaire d'effectuer au préalable une étude de formulation avec des constituants de qualité et disponibles localement afin de garantir certaines propriétés de surface essentielles comme l'adhérence, le drainage de l'eau et le bruit de roulement. Par contre, il est important de compléter cette étude de formulation par une évaluation du comportement du revêtement lorsqu'il est soumis à une sollicitation tangentielle à sa surface reproduisant l'action d'un pneumatique sur une chaussée. Dans ce travail, on décrit la méthodologie d'étude pour caractériser le contact entre un élément de gomme représentant le pneumatique et un échantillon de revêtement bitumineux. A partir de la mesure du coefficient de frottement, on montre la dépendance du frottement vis-à-vis des conditions de chargement. Ce travail de caractérisation du contact permet d'évaluer les phénomènes d'indentation et d'adhésion en relation avec les caractéristiques géométriques des surfaces des revêtements routiers.

Abstract :

Wearing courses constitute an important part in the design of road network. An optimisation step with available constituents that assures durability of macro-texture is necessary to improve the surface properties of an asphalt wearing courses such as skid resistance, drainability and rolling noise. However, it is important to complete this survey of optimisation by an assessment of the behaviour of wearing courses when it is submitted to a shear loading reproducing the action of tire on road. In this work, we describe the method to characterize contact between a piece of rubber representing the tire and a bituminous material representing the wearing courses. From the measurement of the friction coefficient, we show the dependence of friction with loading conditions. The contact characterization allows us to evaluate the effect of indantation and adhesion phenomena in connection with the geometric characteristics of the wearing courses.

Mots clefs :

Adhérence; frottement; indentation ; texture des revêtements routiers.

1. Introduction

Les revêtements routiers sont constitués d'un mélange hydrocarboné de granulats et de liant dont les proportions sont déterminées de manière à satisfaire certains critères de durabilité et d'usage comme l'adhérence avec les véhicules. La surface de contact réel entre un pneumatique et un revêtement est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres carrés. Les travaux de De-Beer [1] montrent que l'intensité et la distribution des contraintes dans l'aire de contact en roulement libre et à faible vitesse sont fonction de la charge appliquée et de la pression de gonflage.

Dans le cas de freinage ou d'envirage du pneumatique, on retrouve des concentrations de contraintes aux niveaux des flancs. Les recherches menées par Michelin ont montré que ces contraintes verticales peuvent atteindre localement 150 bars [2]. Les conséquences sur le comportement des revêtements (fermeture de texture, décapage du film de liant et arrachement des granulats) n'ont pas été étudiées en détail. On suppose qu'au-delà d'un certain seuil de chargement répété en cisaillement, on amorce une fissuration locale dans les zones de forts gradients de déformation qui se traduit ensuite par un arrachement de granulats à la surface du revêtement.

Dans notre démarche, on s'intéresse au cas du **contact sec** où le coefficient de frottement est élevé [3]. Cette situation est souvent considérée comme étant un élément favorable pour la sécurité des usagers mais également comme un élément défavorable pour la durabilité des revêtements.

2. Description du contact entre un pneumatique et un revêtement routier

L'adhérence revêtement - pneumatique est définie comme la capacité à mobiliser des forces de frottement dans la zone de contact sous l'effet des sollicitations engendrées par le véhicule lors des manœuvres d'accélération, de freinage et de changement de direction.

La force d'adhérence résulte d'une combinaison de deux mécanismes: l'adhésion et l'indentation [4] dans lesquels l'état de la surface du revêtement et le caractère viscoélastique de la gomme jouent un rôle déterminant [5].

L'indentation est la déformation de la gomme par glissement sur les aspérités du sol dont la taille varie du centimètre au micron (mobilisation d'énergie suite aux déformations).

L'adhésion provient du phénomène de liaison moléculaire qui intervient à une échelle de l'ordre du centième de micron et qui se trouve amplifié par le glissement (mobilisation d'énergie suite aux vibrations des chaînes moléculaires).

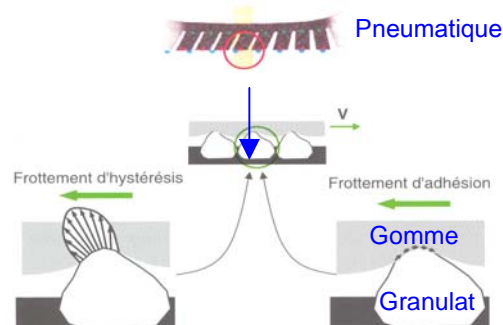


Fig.1 - Mécanisme d'adhérence pneumatique – chaussée [5].

Le frottement entre un pneumatique et un revêtement routier dépend du trafic, de la géométrie de la chaussée, de la qualité de ses constituants (matériaux utilisés) et des conditions environnementales.

Le coefficient de frottement ne peut pas être considéré comme une grandeur constante car il faut tenir compte d'un grand nombre de paramètres (vitesse de chargement, rugosité de la surface, intensité de la charge, température). Il est donc important d'évaluer la dépendance de ce coefficient de frottement vis-à-vis des conditions de contact.

3. Description multi-échelle du frottement sec

3.1 A l'échelle d'un pain de gomme d'un pneumatique

Le frottement est défini comme le rapport de la force tangentielle T sur la force normale W , $\mu=T/W$ [6]. En pratique, on rencontre un coefficient de frottement statique et un coefficient de frottement cinématique. A l'échelle d'un pain de gomme, le premier correspond à un effort tangential nécessaire pour créer le premier mouvement de la zone du contact et le second correspond à l'effort tangential nécessaire pour entretenir le mouvement.

3.2 A l'échelle d'une roue

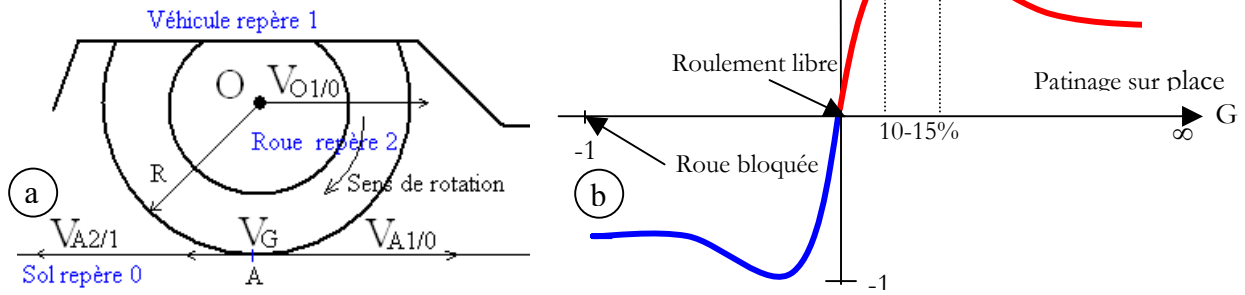


Fig.2 - Dépendance du coefficient de frottement vis à vis du taux de glissement [2]

Notation des repères :

Véhicule : repère **1**, Roue : repère **2**, Sol : repère **0**.

$V_{A1/0}$ est la vitesse du point A appartenant au repère **1** (véhicule) par rapport à un repère lié à **0** (sol)

La vitesse de glissement en A (notée V_G) est définie par : $V_G = (V_{A2/0}) = (V_{A2/1}) - (V_{A1/0})$, où $V_{A2/1}$ est la vitesse de la roue et $V_{A1/0}$ est la vitesse du véhicule. Ce qui donne $V_G = \omega \cdot R - V_V$ où R est le rayon de roulement et ω est la vitesse angulaire de la roue.

Le taux de glissement G est le rapport des vitesses relatives V_G (glissement du pneu par rapport au sol) et V_V (la vitesse du véhicule).

$$G = \frac{V_G}{V_V} = \frac{\text{Vitesse de la roue} - \text{Vitesse du véhicule}}{\text{Vitesse du véhicule}} = \frac{\omega \cdot R - V_V}{V_V} \cdot 100$$

La dépendance du coefficient de frottement vis-à-vis du taux de glissement est illustrée sur la figure 2-b.

Dans le cadre de notre étude de caractérisation au laboratoire, les mesures sont identifiées à une situation de roue bloquée et la vitesse de glissement du patin de gomme sur le revêtement correspond à la vitesse imposée par l'opérateur.

4. Campagne expérimentale

4.1 Principe de l'essai

Pour un couple de matériau gomme-revêtement, chaque combinaison d'intensité de charge, fréquence et amplitude produit une vitesse de glissement spécifique.

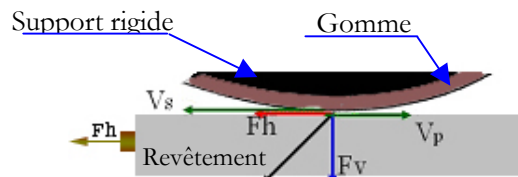


FIG. 3-a. Principe d'essai

Pour reproduire l'effet d'une force tangentielle, on a choisi un contact du type courbe-plan qui permet de générer dans la zone de contact un effort de cisaillement identique en tout point dans des conditions bien maîtrisées.

On applique une force verticale F_v cyclique et on mesure la réponse donnée par la force horizontale (voir Fig 3-b) ainsi que le déplacement vertical du vérin.

Le frottement cinématique entre la gomme et le revêtement est donné par le rapport de la force horizontale sur la force verticale.

$$\mu_{c(t)} = F_{h(t)} / F_{v(t)}$$

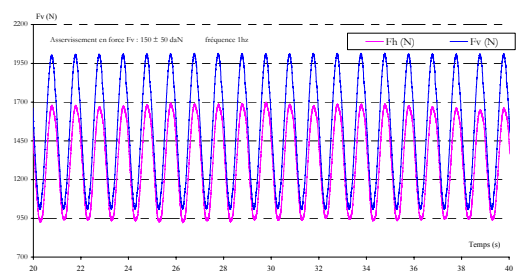


FIG. 3-b. Réponse (F_h) à une sollicitation sinusoïdale (F_v)

Le frottement cinématique est mesuré durant la phase stable. Dans cette phase, la vitesse de glissement du patin sur le revêtement est constante.

Le coefficient de frottement cinématique est calculé à partir d'une moyenne sur 100 cycles de sollicitation avec une fréquence d'échantillonnage de 500Hz.

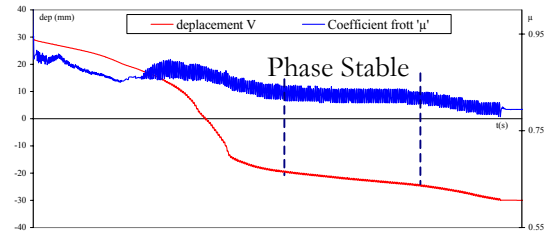


FIG.3-c. Evolution du frottement en fonction du glissement du patin

4.2 Matériaux utilisés

Le choix des matériaux utilisés dans notre étude de caractérisation gomme-revêtement est guidé par l'importance d'utilisation des produits sur le réseau routier. Le revêtement de référence est un Béton Bitumineux Très Mince (BBTM) de granulométrie 0-6 mm. Ce type d'enrobé (défini par la norme XP P98-137), confère à la chaussée d'excellentes propriétés d'adhérence et de très bonnes performances de conservation de texture et de profil. Il est utilisé dans le réseau routier à hauteur de 35% sur les autoroutes et 14% sur les routes nationales[7].

Pour évaluer l'influence de la granulométrie, on propose de comparer le revêtement de référence avec deux autres matériaux : un BBTM (0-10) où nous avons augmenté la taille "D" de la granulométrie et un SMA (Stone Mastic Asphalt), de granulométrie 0-4mm, riche en sable et présentant une faible porosité (fig4-a).

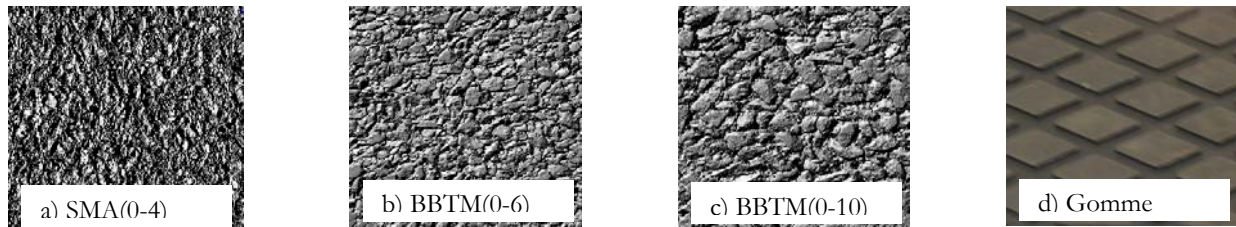


Fig.4 - Textures des matériaux utilisés mesurées au profilomètre laser.

Les caractéristiques des revêtements utilisés dans la campagne d'essai sont représentées dans le tableau suivant :

		Granulométrie	% liants	% vides
BBTM(0-10)	liant pur	0-10mm. discontinue	5.6	23
BBTM(0-6)	liant pur	0-6mm. discontinue	5.6	18.49
SMA (0-4)	liant pur	0-4 mm. continue	6.8	7.4

Le patin de gomme utilisé est une bande de roulement pour pneumatique de 8 mm d'épaisseur avec des sculptures en losange (fig.4-d). Cette gomme a un comportement viscoélastique, sa température de transition vitreuse est de -47 °C et son module est de l'ordre de 27MPa à 20°C.

4.3 Campagne de mesure

Les enrobés bitumineux sont fabriqués avec des granulats de même nature. Ils ont subi le même compactage pour obtenir une texture reproductible et homogène. Tous les essais sont effectués à une température ambiante. La surface de contact apparente entre la gomme et le revêtement est de 14cm x 4cm.

4.3.1 Dépendance du frottement vis-à-vis des conditions de sollicitation

4.3.1.1 Influence de la charge et de la granulométrie

L'augmentation de la charge verticale induit une surface de contact réelle plus importante par indentation de la gomme dans les aspérités du revêtement.

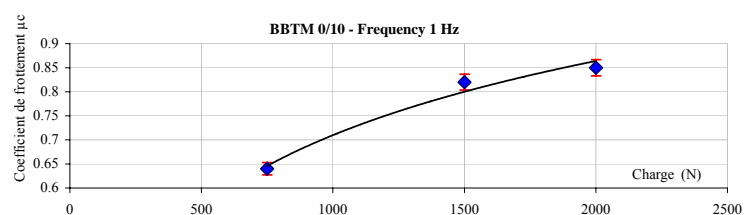


FIG.5 - Influence de la charge sur le frottement

L'enfoncement de la gomme dans les aspérités du revêtement est proportionnel à la charge appliquée (Fig.5) et à la taille "D" de la granulométrie du revêtement (Fig.6). Cette dépendance traduit le rôle joué par le phénomène d'indentation de la gomme.

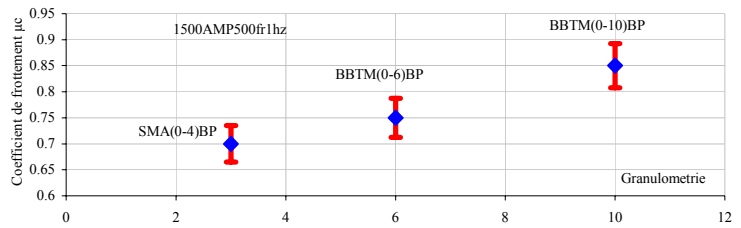


FIG.6 - Influence de la granulométrie du revêtement sur le frottement

4.3.1.2 Influence de la vitesse

Les résultats sur la figure 7 sont obtenus sur un BBTM (0-6) fabriqué avec un liant pur sollicité avec une force verticale cyclique de $(1500 \pm 500)N$ à différentes fréquences (0.1, 1 et 5 Hz). On retrouve le même effet de la vitesse dans les travaux menés par le centre de développement du transport canadien [8].

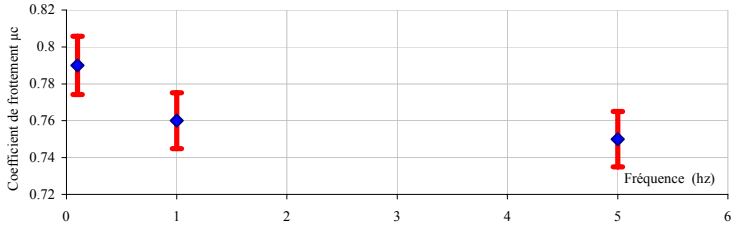


FIG.7 - Influence de la vitesse du chargement sur le frottement

Le frottement cinématique diminue lorsque la vitesse de sollicitation augmente.

L'augmentation de la fréquence de la charge se traduit par une plus grande contribution de la partie élastique de la gomme (E' augmente). Puisque la contrainte engendrée est constante (asservissement en force contrôlée), il en résulte une diminution de la surface de contact par indentation et de ce fait une diminution du coefficient du frottement apparent.

4.3.2 Evolution au jeune âge de la texture

La caractérisation géométrique de la texture est réalisée à l'aide d'un profilomètre laser. Ce moyen de mesure permet de numériser des zones de 200 mm par 200 mm avec un pas minimum de 10 microns en abscisse et en ordonnée. Lors de la mise au point selon l'axe des altitudes, le capteur est réglé de façon à projeter une tâche d'environ 15 microns.

Une fois la numérisation terminée, les points présentant une invalidité ont été interpolés avec les points adjacents valides par l'utilisation de filtres appropriés [9].

Les différents paramètres sont calculés sur des profils redressés [10], ce qui permet d'inhiber les effets induits par le compactage de l'éprouvette et les défauts de mise en place. On applique une sollicitation cyclique de $(1500 \pm 500)N$ à une fréquence de 1Hz puis on suit l'évolution de la texture d'une éprouvette de type BBTM(0-10) durant 6000 cycles.

Les résultats de mesure de texture par le profilomètre laser sont présentés ci-dessous :



FIG. 8 - Mesures de texture au laser d'un BBTM(0-10) à l'état initial et après 6000 cycles

✓ La surface développée passe de 211% à l'état initial à 193% après 6000 cycles. Cette diminution de la surface développée peut être expliquée par un réarrangement des granulates c-à-d une redistribution des amplitudes comme le montre la figure 9.

✓ Le facteur d'asymétrie de la surface (SPsk ; skewness) diminue aussi en valeur absolue (il passe de -1.35 à -1.22 après 6000 cycles). L'histogramme des altitudes des pics de la surface représenté par les courbes d'Abbot confirme aussi cette évolution des amplitudes par la création de nouveaux pics.

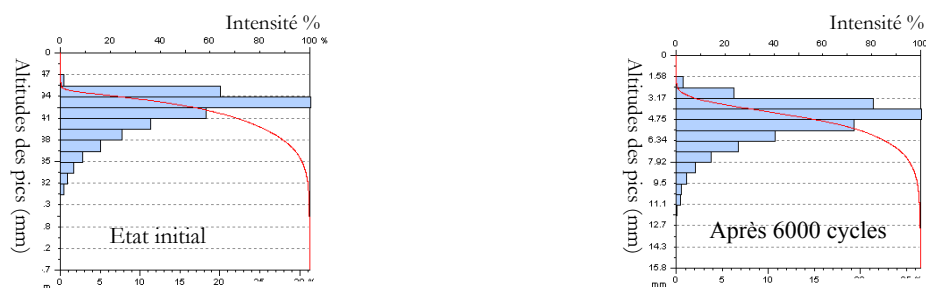


FIG. 9 - Les courbes d'Abbot à l'état initial et après 6000 cycles

5. Conclusion

Les mesures effectuées sur le coefficient de frottement cinématique en contact sec entre un élément de gomme et une surface d'un revêtement routier permettent de retrouver l'effet phénoménologique d'indentation.

L'adhérence d'un revêtement en contact avec une gomme viscoélastique dans les conditions de la roue bloquée augmente avec la dimension 'D' des granulats et la charge appliquée. Par contre elle est inversement proportionnelle à la vitesse.

L'étude de l'évolution au jeune âge de la texture sous sollicitation tangentielle après 6000 cycles montre un réarrangement des granulats sous forme de redistribution des amplitudes et création de nouveaux pics.

Cette étape de l'évolution de la texture des revêtements de chaussée est la conséquence de l'application d'une charge tangentielle répétée. On peut supposer que cette évolution est une phase intermédiaire avant l'apparition du phénomène d'arrachement des granulats.

Références

- [1] M. De Beer, L. Kannemeyer, C. Fisher. Towards improved mechanistic design of thin asphalt layer surfacings based on actual tyre/pavement contact stress-in-motion (SIM) data in south Africa. 7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa: p 7-12, 1999.
- [2] Société de Technologie Michelin. Le pneu et l'adhérence : p 25, p 39, Janvier 2001.
- [3] D. Vanky, S. Fouvry, P. Kapsa, H. Maitournam. Contact entre solide, aspects mécaniques, fatigue, endommagement. Chapitre « glissement entre corps solides et force de frottement: p1, octobre 1998.
- [4] D. F. Moore. The friction of pneumatic tyres: p 4-9, 1975.
- [5] Adhérence des couches de roulement neuves (Contrôle de la macrotecture). Direction des routes : p12-14, mai 2002.
- [6] L. Bureau. Élasticité et rhéologie d'une interface macroscopique. Thèse de doctorat, Université Paris VII, juillet 2002.
- [7] F. Prevost, P. Gresset, Y. Ghiron. Les enrobés bitumineux « Tome 2 » : p 29, p 40-41, USIREF – 2003.
- [8] Transportation Development Centre (Canada). Friction fundamentals, concepts and methodology: p 9-10, October 1999.
- [9] J. Lucas, P-A. Begou. Adhérence des chaussées, bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées N°185 : p 68-69, juin 1993.
- [10] K. J. Stout, P. J. Sullivan, W. P. Dong, E. Mainsah, N. Luo, T. Mathia, H. Zahouani. The development of methods for the characterisation of roughness in three dimensions, Report of the Commission of the European Communities: p 113, 1993.