

Harmonisation des mesures d'adhérence par modélisation du contact pneu/chaussée : vers une échelle commune pour optimiser la sécurité et la durabilité des infrastructures

Directeur de thèse : Malal KANE

Université Gustave Eiffel

Département/Laboratoire : AME/Ease

Mots-clés : Harmonisation, Adhérence, Contact Pneu/Chaussée, Modélisation, Mesure, Tribologie

1. Contexte et enjeux

L'adhérence entre le pneu et la chaussée est l'un des principaux facteurs permettant de réduire l'accidentologie, surtout lorsque les conditions atmosphériques sont dégradées (Do & Cerezo, 2015 ; Rasol & al., 2021). Développée initialement dans le domaine routier, la notion d'adhérence est utilisée également pour l'évaluation des revêtements utilisés pour d'autres infrastructures de transports comme les pistes d'aéroports, les rails de métros et, plus récemment, des voies dédiées à la recharge des véhicules électriques.

L'adhérence est caractérisée par un coefficient de frottement mesuré dans des conditions particulières (et normalisées). Divers appareils de mesure ont été développés et déployés en France et dans le monde. La diversité de ces appareils (principe de mesure, type de pneu, conditions de contact, etc.) soulève des questions sur la comparabilité des résultats et l'établissement de critères uniformes d'évaluation pour l'évaluation et l'entretien des infrastructures (Kogbara & al., 2016 ; Mataei & al., 2016).

2. Problématique

La multiplicité des appareils de mesure présente plusieurs avantages en termes de flexibilité et d'adaptation à des milieux variés (routes, marquages routiers, trottoirs, pistes d'aéroports, etc.), mais engendre également des difficultés majeures :

- Comment relier les résultats obtenus avec des dispositifs aux caractéristiques techniques très diverses ?
- Les seuils d'intervention et les critères d'évaluation, établis pour un appareil, restent-ils valables pour un autre ?

Les tentatives d'harmonisation basées sur des corrélations statistiques (comme HERMES (Wambold & al., 1995) ou comme celles réalisées tous les deux ans sur la piste d'essai du campus de Nantes de l'Université Gustave Eiffel, via l'EPFW¹ (European Pavement Friction Workshop - <https://epfw.univ-gustave-eiffel.fr/>) n'ont pas abouti à une normalisation satisfaisante, car elles ne reposent pas sur une compréhension approfondie de la physique du contact pneu/chaussée.

3. Objectifs de la recherche

L'objectif principal de cette thèse est de développer un modèle basé sur la physique du contact pneu/chaussée, qui permette d'estimer, à partir des caractéristiques d'un appareil de mesure (principe de mesure, type de pneumatique, taux de glissement, vitesse, degré de mouillage) et des conditions de fonctionnement ainsi que de la texture de la surface, un coefficient de frottement. L'usage d'un tel modèle ouvrira la voie à l'élaboration d'une échelle commune d'adhérence, permettant :

- La conversion des mesures issues de différents appareils en une unité homogène,
- La comparaison et la transposition des résultats de mesure entre divers dispositifs,
- L'établissement de critères uniformes pour l'acceptation des travaux et le déclenchement des interventions d'entretien.

En outre, ce travail contribuera à une meilleure compréhension des interactions tribologiques à l'interface pneu/chaussée, avec des retombées directes sur la sécurité routière et la sécurité des pistes d'aéroports.

4. Méthodologie

La démarche proposée reposera sur l'amélioration d'un modèle de contact déjà développé pour prédire le frottement pneu/chaussée (Kane & Edmondson, 2022), en y intégrant de nouveaux paramètres :

- Modélisation du contact :
 - Intégration des caractéristiques du pneumatique (géométrie, nature de la gomme), des conditions de fonctionnement du contact (charge appliquée, vitesse, taux de glissement) et de la chaussée (texture).

¹ L'European Pavement Friction Workshop est un workshop technique biannuel qui réunit chercheurs, ingénieurs et industriels pour comparer et harmoniser les méthodes de mesure d'adhérence des chaussées.

- Ajout d'un paramètre « hydrodynamique » prenant en compte l'épaisseur de la couche d'eau sur la chaussée, via un couplage fluide-structure basé sur un modèle visco-élasto-hydrodynamique.
- Validation expérimentale :
 - Réalisation d'essais d'adhérence avec différents dispositifs en conditions contrôlées (IMAG, ADHERA, SCRIM, GRIPTESTER, T2Go, DFT, SRT) sur les différentes surfaces de la piste d'essai du campus de Nantes.
- Développement de l'échelle d'adhérence :
 - Construction d'abaques de conversion reliant les mesures de chaque appareil au coefficient de frottement déterminé par le modèle.
 - Vérification de la cohérence de l'échelle commune à travers des comparaisons inter-appareils.

5. Perspectives et applications

Le modèle prédictif intégré et l'échelle d'adhérence commune contribueront à :

- Une meilleure harmonisation des mesures d'adhérence, facilitant la prise de décision pour l'entretien des infrastructures routières et aéroportuaires.
- L'optimisation des critères de sécurité, en permettant d'établir des seuils d'intervention fondés sur des bases physiques plutôt que statistiques.
- Une avancée dans la compréhension des phénomènes tribologiques à l'interface pneu/chaussée.

Références bibliographiques :

- Do, M. T., & Cerezo, V. (2015). Road surface texture and skid resistance. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 3(4), 043001.
- Rasol, M., Schmidt, F., Ientile, S., Adelaide, L., Nedjar, B., Kane, M., & Chevalier, C. (2021). Progress and monitoring opportunities of skid resistance in road transport: a critical review and road sensors. *Remote Sensing*, 13(18), 3729.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2017). *Aerodrome Design and Operations*. <https://www.icao.int/>
- EEA (2022). *Transport and Environment – Road Safety and Infrastructure*. <https://www.eea.europa.eu/>

- Fwa, T. F. (2021). Determination and prediction of pavement skid resistance—connecting research and practice. *Journal of Road Engineering*, 1, 43-62.
- Fwa, T. F. (2017). Skid resistance determination for pavement management and wet-weather road safety. *International journal of transportation science and technology*, 6(3), 217-227.
- Andriejauskas, T., Vorobjovas, V., & Mielonas, V. (2014). Evaluation of skid resistance characteristics and measurement methods. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE* (Vol. 9, p. 1). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.
- Kogbara, R. B., Masad, E. A., Kassem, E., Scarpas, A. T., & Anupam, K. (2016). A state-of-the-art review of parameters influencing measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, 114, 602-617.
- Mataei, B., Zakeri, H., Zahedi, M., & Nejad, F. M. (2016). Pavement friction and skid resistance measurement methods: A literature review. *Open Journal of Civil Engineering*, 6(04), 537.
- Wambold, J. C., Antle, C. E., Henry, J. J., & Rado, Z. (1995). *International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements*. PIARC.
- <https://epfw.univ-gustave-eiffel.fr/en/>
- Kane, M., & Edmondson, V. (2022). Tire/road friction prediction: Introduction a simplified numerical tool based on contact modelling. *Vehicle system dynamics*, 60(3), 770-789.

Profil recherché

Pour ce projet, le candidat doctorant devra :

- Posséder un diplôme de Master en génie mécanique, génie civil ou sciences des matériaux, avec une spécialisation en tribologie et en caractérisation des surfaces.
- Maîtriser les outils de simulation pour développer et calibrer un modèle prédictif du contact pneu/chaussée.
- Avoir une forte motivation pour réaliser des essais de mesure d'adhérence sur divers dispositifs.
- Être capable de proposer des solutions pratiques pour harmoniser les mesures d'adhérence dans différents contextes.

Calendrier prévisionnel

<i>Période (Mois)</i>	Activités principales
<i>1 – 3</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Revue de la littérature sur les mesures d'adhérence et le contact pneu/chaussée. • Recensement et analyse de l'état de l'art des appareils européens et des dispositifs français (IMAG, ADHERA, SCRIM, T2GO, DFT, GRIPTESTER, SRT...). • Identification des problèmes et formulation de la problématique.
<i>4 – 6</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Définition précise des objectifs de recherche et formulation des hypothèses. • Élaboration du protocole méthodologique intégrant aspects expérimentaux et modélisation numérique. • Planification des essais sur piste (routes et pistes d'aéroports).
<i>7 – 9</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Calibration des équipements de mesure d'adhérence. • Développement des premiers prototypes du modèle numérique basé sur le contact pneu/chaussée.
<i>10 – 12</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation d'essais pilotes sur la piste d'essai pour valider les protocoles expérimentaux. • Ajustement des paramètres du modèle numérique en fonction des résultats préliminaires.
<i>13 – 18</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Conduite des expériences principales sur la piste pour recueillir des données détaillées sur l'adhérence en conditions variées (vitesse, mouillage, texture).
<i>19 – 21</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse des données expérimentales. • Validation et ajustement des hypothèses initiales. • Préparation des premiers résultats pour intégration dans le modèle.
<i>22 – 24</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Développement et calibration du modèle numérique prédictif, incluant l'intégration d'un paramètre hydrodynamique (modèle visco-élasto-hydrodynamique) pour prendre en compte l'épaisseur de la couche d'eau.
<i>25 – 27</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation d'études paramétriques et simulations numériques pour explorer différents scénarios. • Optimisation du modèle pour refléter la variabilité des conditions de mesure.
<i>28 – 30</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaison et validation du modèle sur les différents appareils de mesure (IMAG, ADHERA, SCRIM, T2GO, DFT, GRIPTESTER, SRT...). • Élaboration d'abaques de conversion pour construire l'échelle d'adhérence commune.
<i>31 – 33</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rédaction des chapitres de la thèse intégrant la revue de la littérature, la méthodologie, les résultats expérimentaux et la modélisation. • Préparation des premiers drafts pour feedback interne et externe.
<i>34 – 36</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Finalisation de la rédaction : corrections, relectures et mise en forme. • Préparation de la soutenance.

Harmonization of Friction Measurements through Tire/Road Contact Modeling: Toward a Common Scale to Optimize Infrastructure Safety and Durability

Keywords: Harmonization, Friction, Tire/Road Contact, Modeling, Measurement, Tribology

Background and Challenges

The friction between the tire and the road is one of the main factors in reducing accident rates, especially under adverse weather conditions (Do & Cerezo, 2015; Rasol et al., 2021). Initially developed in the road transport sector, the concept of friction is also used to assess the coatings employed in other transportation infrastructures such as airport runways, metro rails, and, more recently, lanes dedicated to electric vehicle charging.

Friction is characterized by a friction coefficient measured under specific (and standardized) conditions. Various measurement devices have been developed and deployed in France and worldwide. The diversity of these devices (measurement principle, tire type, contact conditions, etc.) raises questions about the comparability of the results and the establishment of uniform evaluation criteria for assessing and maintaining infrastructures (Kogbara et al., 2016; Mataei et al., 2016).

Problem Statement

While the multiplicity of measurement devices offers several advantages in terms of flexibility and adaptation to various environments (roads, road markings, sidewalks, airport runways, etc.), it also creates major difficulties:

- How can we relate results obtained with devices having very different technical characteristics?
- Do the intervention thresholds and evaluation criteria established for one device remain valid for another?

Attempts to harmonize measurements based on statistical correlations (such as HERMES (Wambold et al., 1995) or those carried out every two years on the test track of the Nantes campus at Université Gustave Eiffel via the EPFW [European Pavement Friction Workshop –

<https://epfw.univ-gustave-eiffel.fr/>) have not led to satisfactory standardization, as they do not rely on an in-depth understanding of the physics of tire/road contact.

Research Objectives

The main objective of this thesis is to develop a model based on the physics of tire/road contact that can estimate a friction coefficient from the characteristics of a measurement device (measurement principle, type of tire, slip ratio, speed, degree of wetting), operating conditions, and surface texture. The use of such a model will pave the way for the development of a common friction scale, which will allow for:

- Converting measurements from different devices into a homogeneous unit,
- Comparing and transferring measurement results between various devices,
- Establishing uniform criteria for approving work and triggering maintenance interventions.

Furthermore, this work will contribute to a better understanding of the tribological interactions at the tire/road interface, with direct benefits for road safety and the safety of airport runways.

Methodology

The proposed approach will build on the improvement of an existing contact model developed to predict tire/road friction (Kane & Edmondson, 2022), by integrating new parameters:

- **Contact Modeling:**
 - Integration of tire characteristics (geometry, rubber composition), contact operating conditions (applied load, speed, slip ratio), and roadway texture.
 - Addition of a “hydrodynamic” parameter to account for the thickness of the water layer on the road, via a fluid-structure coupling based on a visco-elasto-hydrodynamic model.
- **Experimental Validation:**
 - Conducting friction tests with different devices under controlled conditions (IMAG, ADHERA, SCRIM, GRIPTESTER, T2Go, DFT, SRT) on various surfaces of the test track at the Nantes campus.
- **Development of the Friction Scale:**
 - Construction of conversion charts linking the measurements from each device to the friction coefficient determined by the model.
 - Verification of the coherence of the common scale through inter-device comparisons.

Perspectives and Applications

The integrated predictive model and common friction scale will contribute to:

- Better harmonization of friction measurements, facilitating decision-making for the maintenance of road and airport infrastructures,
- Optimization of safety criteria by establishing intervention thresholds based on physical principles rather than statistical correlations,
- Advancements in the understanding of tribological phenomena at the tire/road interface.