

Soutenance d'Habilitation à Diriger des Recherches

Modélisation et expérimentation du contact pneumatique/chaussée pour réduire l'impact acoustique des revêtements routiers

Candidat : JULIEN CESBRON, Chargé de Recherche à l'IFSTTAR

Lundi 12 février 2018, IFSTTAR, Site de Nantes (Amphithéâtre Viarme), 14h00

Le bruit routier constitue une nuisance importante pour l'environnement, ayant un impact sanitaire sur les populations exposées. La principale source d'émission du bruit routier en conditions de trafic fluide est le bruit de contact pneumatique/chaussée. En effet, des mécanismes d'interaction complexes entre le pneumatique et la chaussée génèrent au cours du roulement des sources de bruit d'origines vibratoire et aérodynamique, qui sont ensuite amplifiées par effet dièdre avant de se propager dans l'environnement. En amont du problème, l'étude théorique et expérimentale du contact dynamique entre le pneumatique et la chaussée joue un rôle essentiel pour améliorer les modèles de prévision du bruit et développer des revêtements routiers peu bruyants.

La modélisation du contact dynamique pneumatique/chaussée est complexe de par sa nature multi-échelles et non-linéaire, nécessitant une résolution dans le domaine temporel. Dans le cadre des travaux présentés, l'hypothèse de contact quasi-statique est retenue et le pneumatique est approché par un massif semi-infini élastique ou viscoélastique. Une méthode classique de résolution par approche directe, appelée Méthode d'Inversion de Matrice (MIM), permet de résoudre le problème de contact viscoélastique avec roulement dans des configurations simplifiées. Cependant, les temps de calculs deviennent trop élevés pour le contact entre un pneumatique et une surface de chaussée réelle. Une approche multi-aspérités originale a donc été développée. Elle repose sur un partitionnement de la surface de la chaussée en sous-domaines appelés aspérités. La loi de contact locale sur chaque aspérité est connue à l'aide d'une identification par MIM. Une Méthode Itérative à Deux Échelles (MIDE) est alors déployée pour résoudre le problème efficacement. La première étape de calcul, dite macro-échelle, permet d'estimer la distribution des forces de contact aux sommets des aspérités. La seconde étape de calcul, dite micro-échelle, donne la distribution de pression locale sur chaque aspérité en contact. L'application de la MIDE à un petit échantillon de surface de chaussée réelle montre que l'erreur globale de calcul à macro-échelle ne dépasse pas 5% par rapport à la MIM, et que les résultats à micro-échelle lui sont identiques, validant ainsi l'approche développée. L'application au contact pneumatique/chaussée montre que la distribution de pression initiale calculée à partir des forces obtenues à macro-échelle semble suffisamment précise pour la prévision du bruit de roulement. La MIDE à macro-échelle a aussi permis d'estimer l'influence de la viscoélasticité de la gomme sur la diminution de l'aire de contact apparente en conditions de roulement, qui est de l'ordre de 20% par rapport à l'empreinte statique.

Concernant la partie expérimentale, des mesures de contact pneumatique/chaussée en conditions statiques ont permis de montrer la pertinence de l'approche multi-aspérités pour modéliser le problème de contact rugueux, aussi bien à macro-échelle qu'à micro-échelle. Des mesures réalisées sur banc d'essai en conditions de roulement ont ensuite permis de confirmer la nature quasi-statique du contact dans le cas du roulement d'un pneumatique lisse de taille réduite sur une seule aspérité de géométrie sphérique. En effet, la durée de contact sur une aspérité est inversement proportionnelle à la vitesse de roulement du pneumatique et l'invariance des spectres de forces modifiés est assez bien vérifiée jusqu'à une fréquence de 700 Hz. Les comparaisons essais/calculs ont montré que le modèle quasi-statique élastique n'est pas représentatif de la dissymétrie des signaux de force mesurés lors du roulement du

pneumatique sur une seule aspérité. Le modèle viscoélastique permet d'améliorer les résultats. Enfin, des mesures de contact dynamique réalisées sur piste d'essai ont permis d'apporter des connaissances sur l'influence de la vitesse du véhicule sur l'aire de contact et sur la nature quasi-statique du contact entre un pneumatique lisse et des surfaces de chaussée réelles. D'une part, l'aire de contact en condition de roulement est quasi-indépendante de la vitesse et est 20 % plus petite qu'en condition de contact statique, conformément aux résultats du modèle viscoélastique. D'autre part, la valeur efficace du signal de force longitudinale dépend peu de la vitesse de roulement, confortant l'hypothèse de contact quasi-statique. Cependant, bien que les spectres de force longitudinale à différentes vitesses soient proches en-dessous de 300 Hz, à plus haute fréquence les niveaux de force ont tendance à augmenter avec la vitesse de roulement, ce qui est contraire à l'hypothèse de contact quasi-statique et pourrait être dû aux vibrations radiales du pneumatique.

Les bases de données texture/bruit constituées au cours de projets franco-allemands (P2RN (2006-2009) et ODSurf (2011-2016)) ont permis de développer des outils de prévision du bruit. Les distributions statistiques des paramètres de contact issus du modèle multi-aspérités ont été étudiées à partir de relevés de texture 3D sur plusieurs surfaces de chaussée réelle. Des corrélations ont été établies entre les paramètres de contact moyens et les niveaux de bruit CPX (mesurés à proximité du pneumatique) à 90 km/h recomposés entre 400 Hz et 1000 Hz. Ces résultats sont cohérents avec les mécanismes de contact responsables de la mise en vibration du pneumatique et donc de l'émission sonore à basse fréquence. Une méthode de prévision du bruit en-dessous de 1000 Hz par approche statistique hybride a donc été développée. Elle repose sur la corrélation entre les niveaux de force de contact issus du modèle multi-aspérités et les niveaux de bruit CPX. Le calcul de la distribution de pression de contact s'effectue dans le domaine temporel pour un pneumatique roulant sur plusieurs mètres de chaussée. Puis les spectres de forces de contact sont calculés, permettant d'établir les relations statistiques entre niveaux de force et de bruit pour chaque tiers d'octave. Pour un pneumatique à motifs, le modèle permet d'estimer les niveaux de bruit entre 315 Hz et 800 Hz avec un pourcentage d'erreur moyen inférieur à 2%, ce qui est meilleur que l'approche statistique classique utilisant des corrélations entre spectres de texture brut et spectres de bruit.

En parallèle, des recherches ont été menées dans le cadre de projets collaboratifs sur les revêtements de chaussée peu bruyants. Lors du projet franco-allemand ODSurf, les performances acoustiques de deux Bétons Bitumineux Très Minces (BBTM), conçus et mis en œuvre par des industriels français, ont été évaluées sur site. Par rapport à un Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG) 0/10 de référence, le niveau de bruit global à 70 km/h est réduit de 2,1 dBA (BBTM 0/4) à 3,5 dBA (BBTM 0/6) pour les mesures CPX à la source et de 5,0 dBA (BBTM 0/4) à 5,6 dBA (BBTM 0/6) pour les mesures en bord de voie. Ces performances sont très bonnes pour des revêtements ouverts à la circulation depuis 5 ans pour le BBTM 0/4 et 1 an pour le BBTM 0/6. Enfin, au cours du projet européen PERSUADE (2009-2015), les surfaces poroélastiques développées ont permis une réduction du bruit variant entre 8,3 et 12,7 dBA. La faible raideur dynamique des surfaces développées permet de réduire la mise en vibration du pneumatique lors du roulement. À l'avenir, la durabilité des surfaces de chaussée poroélastiques reste à améliorer puisque leur durée de vie pour des conditions réelles de trafic reste faible.

Les travaux présentés ouvrent de nombreuses perspectives. Le modèle de contact dynamique pneumatique/chaussée pourra être amélioré en couplant l'approche multi-aspérités avec un modèle vibratoire de pneumatique adéquat. Des mesures sur banc d'essai seront effectuées pour des configurations plus complexes afin de vérifier si l'hypothèse quasi-statique reste valide. L'étude expérimentale et théorique des mécanismes de pompage d'air sera également menée afin d'améliorer les connaissances sur ce sujet. À partir des modèles de prévision du bruit développés, l'objectif à terme est de pouvoir améliorer les performances acoustiques des surfaces routières dès l'étape de formulation en laboratoire. Ces perspectives impliquent d'une part la poursuite de l'encadrement de thèses pour les recherches en amont du problème (contact, pompage d'air) et d'autre part la participation active à des projets de recherche collaboratifs pour réduire le bruit émis par les surfaces routières et proposer des solutions innovantes reposant sur une approche holistique du problème (durabilité, bruit, adhérence, résistance au roulement...).