*Modélisation et simulation de la réponse vibratoire des structures sculptées en roulage :* *Application aux pneumatiques*

Avec l’avènement des véhicules électriques et les progrès réalisés par les constructeurs automobiles pour réduire le bruit d’origine aérodynamique, le bruit de roulement devient la première source de nuisance sonore du trafic routier. Ce bruit est généré par des mécanismes complexes influencés par les propriétés du pneumatique, la rugosité de la chaussée et les conditions de roulage. Cette pollution sonore est engendrée partiellement par le rayonnement acoustique induit par les vibrations du pneumatique.

La modélisation et la simulation de la réponse dynamique du pneumatique présentent une multitude de difficulté. Plusieurs non-linéarités doivent être prises en compte (non-linéarité géométrique, loi de comportement, phénomènes de contact et de frottement avec la chaussée) afin d’intégrer les caractéristiques inhérentes au roulage des pneumatiques. En outre, la réponse dynamique du pneumatique est multi-échelles puisque celle-ci est la résultante d’une dynamique macroscopique de roulage qui opère autour de la fréquence de rotation avec des amplitudes ayant un ordre de grandeur similaire aux dimensions du pneu d’une part, et d’une réponse vibratoire induite par la rugosité de la chaussée et la résonance de la sculpture de la bande de roulement d’autre part.

Ce travail de thèse propose une méthodologie numérique de simulation de l’intégralité de la réponse dynamique des pneumatiques avec une approche multi-étapes. La formulation mathématique de la méthode proposée est détaillée en justifiant les hypothèses effectuées. Deux applications numériques sont ensuite réalisées afin de déterminer les limites de validité en comparant avec la méthode d’intégration temporelle classique. Enfin, la méthode numérique est employée pour étudier la sensibilité du comportement vibratoire des pneumatiques par rapport aux conditions de roulage et aux paramètres de conception des sculptures de la bande de roulement. Les tendances obtenues sont comparées qualitativement avec celles observées expérimentalement.

Mots clés : Bruit de roulement, Dynamique non-linéaire, Contact mécanique, Frottement, Modélisation multi-échelles.

*Modeling and simulation of the rotating sculpted structures vibration response : Application to tires*

Tire/road noise is becoming a major source of vehicle noise as the transition towards electrical vehicles is underway. This has resulted in tire manufacturers refining their tire design to help reduce traffic noise. The tire/road noise is generated by various mechanisms that are influenced by the tire’s proprieties, the road’s texture and the rolling conditions. This noise is partially caused by the acoustic radiation induced by the tire vibrations.

Simulating the full dynamic response of a rolling sculpted tyre requires not only taking into account various non-linearities (geometric nonlinearity, constitutive law, frictional contact with the road surface) but also considering the multi-scale nature of the dynamic response itself. On one hand, there is the macroscopic rolling dynamic behavior that operates around the rotating frequency with relatively high amplitudes. On the other hand, the vibratory response operates in a larger frequency window with relatively low amplitudes. In fact, the road roughness and the tyre’s groove represent the mechanisms that generate the vibratory response. In contrast to a straightforward strategy that consists of using an energy-conserving stable time integrator to predict the multi-scale dynamic response, the proposed strategy is based on a two-steps approach to separate the dynamics operating at different scales.

The mathematical formulation of the proposed method is exposed alongside the several hypothesis that are made and justified. Afterwards, two numerical studies are realized in order to find the validity domain of the methodology by comparing it with the classical time integration method. Finally, the numerical method is used to study the vibrations response sensitivity with the respect to the rolling conditions and to the tread pattern parameters. The tendencies given by the numerical simulation are qualitatively compared with those observed experimentally.

Keywords : Rolling noise, Nonlinear dynamics, Contact mechanics, Friction, Multi-scale modelling