

Pour de nouveaux pneumatiques performants en bruit extérieur

Luc Prévot,
Manufacture Française des Pneumatiques Michelin,
CERL,
63040 Clermont-Ferrand CEDEX 9,
tél. 04 73 32 20 00,
fax 04 73 10 75 57,
e-mail : Luc.Prevot-F267335@fr.michelin.com

Le bruit de contact pneumatique/chaussée est une des sources de gêne sonore dans les transports automobiles. À l'intérieur d'un véhicule, ce bruit dégrade le confort acoustique, alors qu'il constitue à l'extérieur du véhicule une nuisance environnementale. Depuis peu, le bruit généré par le contact du pneumatique avec la chaussée est réglementé par la directive européenne 2001/43/CE. Celle-ci prévoit la mesure du bruit extérieur sur un sol normalisé, et dans des conditions de sollicitations du pneumatique bien déterminées. Le système PAK proposé par Müller-BBM permet une mesure simple et précise du bruit de passage dans ces conditions. De multiples mécanismes élémentaires participent au bruit global généré par le roulement du pneumatique sur la chaussée ; la contribution de chacun d'entre eux dépend du couple pneumatique-chaussée. Or, l'étude de l'interaction entre le pneumatique et la chaussée présentée dans cet article montre que les gains en bruit envisageables par un travail sur le couplage pneu/sol sont négligeables devant ceux accessibles par le pneumatique seul ou la chaussée seule. Ainsi, un pneumatique performant en bruit extérieur sur un sol donné reste généralement performant en bruit extérieur sur les autres sols. Il est alors tout à fait pertinent de développer sur un sol unique normalisé des pneumatiques permettant de réduire le bruit de roulement pneumatique/chaussée. Augmenter la performance en bruit extérieur des pneumatiques, tout en maintenant le compromis des performances exigées, requiert une grande connaissance des mécanismes de génération du bruit de contact pneu/chaussée. Michelin poursuit ses efforts soutenus pour identifier et quantifier les mécanismes, ce qui permet de modifier le comportement acoustique du pneumatique et d'atténuer le bruit à sa source. La meilleure intégration sonore du pneumatique dans l'environnement constituera pour tous une réelle amélioration de la qualité de vie.

Tyre/road noise is one of the sources of disturbance in automotive transportation. Inside a vehicle, this noise degrades acoustical comfort. Outside a vehicle, it is an environmental nuisance. Exterior tyre/road noise is now ruled by a European Directive, 2001/43/CE, which specifies the method for measuring tyre/road noise with a car under specific driving conditions on a normalised track. The easy-to-use PAK system, provided by Müller-BBM, allows precise pass-by measurements in such conditions. Many elementary mechanisms take part in the global noise generated by a tyre rolling on the ground ; the contribution of each of them depends on each tyre-road pair. Yet, the study of the interaction between tyre and road presented in this article shows that potential noise reduction from the interaction is much smaller than noise reduction achievable through the improvement of tyre alone or road alone. Thus, a given tyre featuring low noise properties on one ground will globally keep its low noise properties on all grounds. Furthermore, developing low noise tyres on a given ground makes real sense. Increasing low noise properties of tyres, while preserving the compromise of all performances expected from a tyre, requires an extended knowledge of all mechanisms generating tyre/road noise. Michelin carries on its efforts towards identifying and quantifying noise mechanisms, which allows to modify the acoustical behaviour of the tyre and therefore to attenuate noise at its source. A better acoustical integration of the tyre into our environment will increase everybody's quality of life.

A

u cours des vingt dernières années, le bruit émis par les véhicules a considérablement diminué. Les pneumaticiens, par leurs efforts constants pour limiter le bruit de contact pneumatique/chaussée, ont été acteurs de cette évolution.

Cependant, le roulage du pneumatique sur la chaussée est aujourd'hui une source de gêne sonore pour les usagers et les riverains. À l'extérieur du véhicule, le bruit de contact pneumatique/chaussée est aujourd'hui une source sonore importante, dès 50 km/h environ pour un véhicule de tourisme.

Qu'est-ce que le bruit de contact pneumatique/chaussée ?

La génération du bruit de contact pneumatique/chaussée est un phénomène complexe. En effet, plusieurs sources de bruit participent simultanément au niveau global audible au passage d'un véhicule.

On distingue notamment les sources suivantes :
- vibration du pneumatique induite par les aspérités de la route ;

- vibration du pneumatique induite par les motifs de sculpture du pneumatique ;
- vibration locale des pains de gomme (choc des pains en entrée d'aire de contact, échappement en sortie d'aire de contact) ;
- phénomène de glissement des pains de gomme sur le sol ;
- phénomène de rupture d'adhésion (les pains de gomme se décollent du sol en sortie d'aire de contact) ;
- phénomène d'expulsion d'air à la pose d'un pain de gomme ;
- phénomène de compression/détente de l'air contenu entre les motifs de sculpture : l'air est comprimé dans le contact, puis détendu en sortie d'aire de contact (pompage d'air dans la sculpture) ;
- phénomène de compression/détente de l'air emprisonné dans les aspérités de la route sous l'aire de contact du pneumatique au sol (pompage d'air dans le sol) ;
- d'autres phénomènes encore, généralement négligeables.

Ensuite, quelques phénomènes physiques viennent «moduler» les sources élémentaires :

- phénomène d'amplification du bruit dans les «coins d'air», cornets acoustiques formés entre le pneumatique et la route en entrée et en sortie de l'aire de contact ;
- phénomènes de résonances acoustiques dans la sculpture du pneumatique ;
- phénomènes acoustiques dans les aspérités du pneumatique ou du sol (absorption...).

Ainsi, le bruit est principalement généré au voisinage du contact entre le pneumatique et le sol. Il va ensuite se propager dans l'air, et subir de multiples réflexions (chaussée, façades d'immeubles...) et absorptions (chaussée, arbres...) avant d'atteindre l'oreille du riverain.

Bien sûr, le poids de tous ces mécanismes de génération dépend de chaque couple pneumatique-sol considéré, ainsi que des conditions de roulement du pneumatique (vitesse, charge, et couple notamment). A titre d'exemple, on conçoit aisément que, sur un sol lisse, la sculpture du pneumatique a un rôle clé dans l'émission sonore. En revanche, sur un sol très granuleux, l'excitateur principal du pneumatique est la rugosité du sol.

Quel couplage entre le pneu et le sol ?

Pour quantifier l'interaction entre le pneumatique et la chaussée dans la génération du bruit de roulement, Michelin a entrepris la comparaison des niveaux de bruit de roulement de 11 modèles de pneumatiques sur 6 sols différents.

La mesure du bruit de roulement est inspirée de la méthode décrite par la directive européenne 2001/43/CE. Ainsi, deux microphones sont placés de chaque côté d'une piste de mesure, à 7,5 m de l'axe de roulement de la voiture, et à 1,2 m de hauteur, en terrain dégagé.

Est retenu le niveau maximum de bruit au passage d'un véhicule à 80 km/h, moteur coupé.

Pour chaque couple pneumatique/chaussée, la mesure est répétée huit fois.

La température du sol est un paramètre important dans le bruit de contact pneumatique/chaussée. C'est pourquoi une correction de température spécifique est appliquée aux

résultats bruts, pour rapporter toutes les mesures à une même température au sol de 20 °C.

Le Système PAK de Müller-BBM permet d'acquérir toutes les données nécessaires.

Pneumatiques choisis

Tous les pneumatiques sont de la dimension 195/65R15, largement répandue aujourd'hui.

Les conditions de charge et de pression des pneumatiques sont celles décrites par la directive européenne 2001/43/CE. Les pneumatiques utilisés sont présentés dans le tableau 1. Chaque train de pneumatiques est constitué de 4 produits du même lot de fabrication (les pneumatiques de nos concurrents sont prélevés sur des véhicules neufs).

Manufacturier	Produit	Segment
Michelin	Energy XH1	Grand Public
Kléber	Viaxer	Grand Public
Concurrent 1	-	Grand Public
Michelin	Pilot Alpin	Neige Haute Performance
Michelin	MXGS2	Haute Performance marché japonais
Michelin	Pilot Primacy	Haute Performance
Michelin	MXV3	Haute Performance
BF-Goodrich	Profilier G	Sporty
Michelin	Pilot Exalto	Sporty
Concurrent 2	-	Sport
Michelin	Pneu concept	

Tabl. 1 : Pneumatiques utilisés dans le plan d'expérience

Volontairement, aucun pneumatique lisse n'est inclus dans le plan d'expérience, car ce pneumatique particulier n'a aucune réalité commerciale.

Est inclus en revanche un pneumatique décalé en bruit, désigné par l'appellation «Pneu concept». Ce pneumatique est le fruit d'un programme de recherche chez Michelin visant à réduire le bruit extérieur. Sa sculpture est voisine de celle du MXGS2 commercialisé sur le marché japonais, mais son architecture a été optimisée. À l'exception de ce pneumatique, tous les produits sont disponibles dans le commerce.

Ce plan d'expérience contient donc des pneumatiques extrêmes : pour un sol donné, l'écart entre tous les pneumatiques atteint jusqu'à 7,6 dB (A). Il est important de préciser que les pneumatiques choisis satisfont à des cahiers des charges très différents, ce qui explique un tel écart en bruit extérieur.

Revêtements routiers choisis

Les différents sols utilisés sont décrits dans le tableau 2, et des photographies de ces sols en gros plan sont disponibles en figure 1.

Malgré l'absence de revêtements très silencieux du type «enrobé drainant», les sols choisis dans ce plan d'expérience sont variés et contiennent des extrêmes :

- la piste A est la piste normalisée pour la mesure du bruit de passage d'un véhicule (ISO 10844)
- la piste D est de type «macro rugueuse», constituée de gravillons à vif
- la piste E (béton de ciment poli) est extrêmement lisse.

Ainsi, pour un pneumatique donné, l'écart d'une chaussée à l'autre atteint 7,7 dB (A).

Sur l'ensemble de toutes les mesures, l'écart extrême atteint 11,9 dB (A).

Caractéristiques de surface	
A	Béton Bitumineux 0/10, selon Norme ISO/DIS 10844 (piste normalisée pour la mesure de bruit extérieur)
B	Béton Bitumineux Très Mince 0/6
C	Béton Bitumineux Très Mince 0/6, avec enduit de surface hermétique
D	Enduit superficiel monocouche 6/10
E	Béton de ciment poli
F	Béton Bitumineux 0/10

Tabl. 2 : Description des sols utilisés dans le plan d'expérience

Analyse des résultats

L'ensemble des résultats est soumis à une analyse de la variance à deux dimensions. Un test de Fisher révèle que chacun des effets est significatif, avec un risque de première espèce de 5 %.

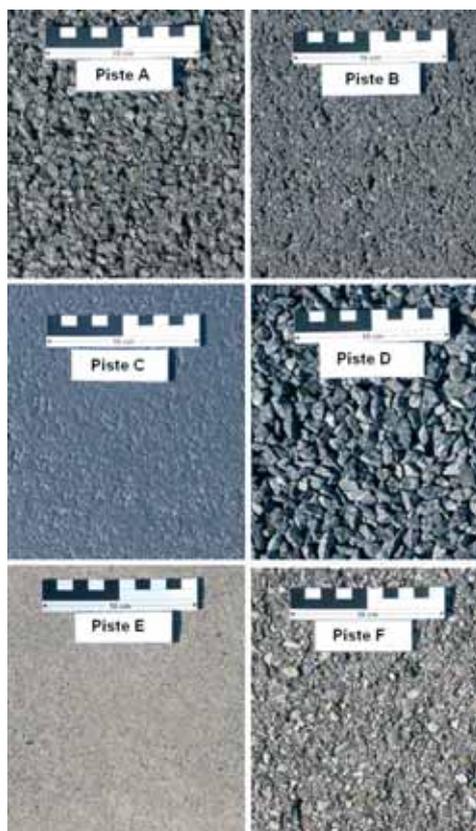


Fig. 1 : Photographies des sols utilisés dans le plan d'expérience (la règle mesure 10 cm)

Les résultats sont alors les suivants (Figure 2) :

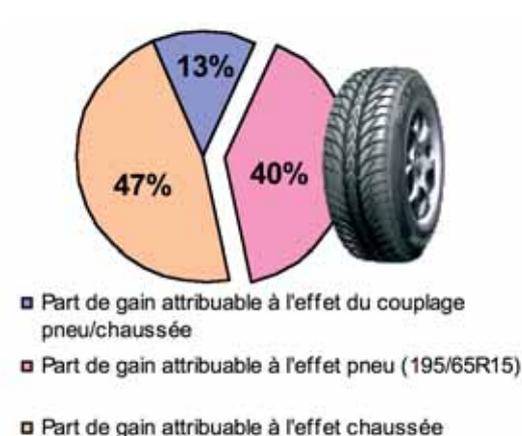


Fig. 2 : Contributions au bruit de roulement du pneumatique et de la chaussée.

Les résultats de cette étude révèlent alors quelques conclusions intéressantes :

- Le couplage entre le pneumatique et la chaussée est très faible pour le bruit de roulement. La réduction significative du bruit extérieur ne nécessite donc pas pour l'instant de coopération technique entre pneumaticiens et constructeurs de routes. L'amélioration séparée des pneumatiques d'une part, et des revêtements routiers d'autre part, permettra une réduction très significative du bruit du trafic routier.
- Les contributions au bruit extérieur dues au pneumatique seul ou à la chaussée seule sont de même ordre. Ainsi, la chasse aux décibels dans un souci de respect de l'environnement doit passer par deux réglementations distinctes sur le bruit extérieur : une réglementation pour le pneumatique, une autre pour la chaussée.
- Un type de chaussée favorable en bruit extérieur l'est pour l'ensemble des pneumatiques.
- De même, un pneumatique performant en bruit extérieur sur un sol donné, est également performant en bruit extérieur sur les autres sols. Ainsi, il est tout à fait pertinent de développer sur un sol unique normalisé des pneumatiques permettant de réduire le bruit de roulement pneumatique/chaussée.

Comment améliorer le pneumatique pour diminuer le bruit de contact pneu/chaussée ?

Le plan d'expérience rapporté ci-dessus montre que l'amélioration séparée des revêtements routiers et du pneumatique permet de diminuer le bruit de roulement pneumatique/chaussée. Observons tout d'abord la complexité du pneumatique et l'ensemble des fonctions que l'on exige de lui, avant de comprendre la démarche de diminution du bruit de roulement chez Michelin.

La complexité structurelle du pneumatique

Le pneumatique est un produit d'une très grande sophistication. C'est un assemblage de trente composants intermédiaires ou semi-finis, eux-mêmes constitués d'environ 200 matériaux différents.



Fig. 3 : La structure d'un pneumatique radial

L'enveloppe du pneu est composée de plusieurs parties qui assurent chacune une fonction spécifique (Figure 3) :

- la gomme intérieure confère l'étanchéité ;
- les flancs assurent la souplesse et le confort, ils sont aussi les pare-chocs du pneu ;
- la ceinture garantit la tenue de route ;
- la bande de roulement, en contact avec le sol, assure l'adhérence et la résistance à l'usure ;
- les talons ou bourrelets d'accrochage maintiennent le pneu sur la jante (grâce à des tringles) et assurent l'étanchéité en zone basse. Chaque modèle de pneu est un subtil assemblage entre tous ces éléments.

L'art difficile du compromis

Cette complexité structurelle est induite par le grand nombre de fonctions exigées du pneumatique, notamment l'adhérence, le comportement, la résistance à l'usure, l'endurance, etc. S'il est relativement simple d'optimiser chaque performance séparément, il est plus difficile de gérer l'équilibre entre elles. L'art du pneumaticien est l'art du compromis entre des performances souvent contradictoires.

Ainsi, l'amélioration d'une des performances du pneumatique en maintenant les autres à un niveau élevé requiert une compréhension fine des mécanismes physiques reliant le pneumatique à la performance.

Par exemple, le développement de pneumatiques silencieux garantissant également une sécurité d'usage et une faible consommation de carburant impose la connaissance étendue des mécanismes générant l'adhérence, la résistance au roulement, et le bruit de contact pneumatique/chaussée.

Démarche de réduction du bruit

La réduction du bruit de contact pneumatique/chaussée chez Michelin suit une démarche reposant sur deux piliers : l'observation expérimentale et la conception virtuelle.

Observation expérimentale

La compréhension des mécanismes élémentaires de génération du bruit passe par l'expérimentation. Michelin mobilise d'importants moyens pour affiner la connaissance

des mécanismes élémentaires et pour définir les paramètres du pneumatique permettant de minimiser la contribution de chacun des mécanismes décrits.



Fig. 4 : Chambre semi-anéchoïque Michelin

Les essais sur piste sont complétés par des essais analytiques en laboratoire (Figure 4). De même, de nombreuses mesures de vibration des pneumatiques alimentent la recherche et le développement de nos produits.

Conception virtuelle

Ensuite, la mise au point de codes de calculs permet de simuler le bruit de contact du pneumatique avec la chaussée.

Chez Michelin, la simulation du bruit rayonné par un pneumatique en roulage se scinde aujourd'hui en trois étapes, qui correspondent chacune à une prise en compte d'un phénomène physique différent :

- la simulation de l'excitation du pneumatique lors du passage des éléments de sculpture dans l'aire de contact ;
- la simulation de la réponse vibratoire du pneumatique à cette excitation (Figure 5) ;
- la simulation du champ acoustique rayonné à partir de la connaissance des sources acoustiques réparties dans l'environnement du pneumatique.

Une telle chaîne de calcul rend possible l'optimisation virtuelle des pneumatiques, par des modifications portant à la fois sur l'architecture et la sculpture du pneumatique.

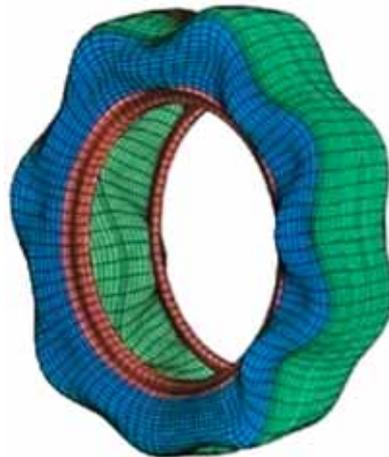


Fig. 5 : Mode propre de vibration du pneumatique

Ainsi, la recherche approfondie des mécanismes de génération du bruit, et la simulation précise du fonctionnement du pneumatique permettront le développement de pneumatiques encore plus performants en bruit extérieur.

Conclusion

Surpasser demain le pneu d'aujourd'hui a toujours été l'ambition de Michelin et des grands manufacturiers en général. Améliorer le pneumatique aujourd'hui passe par une bonne intégration du produit dans l'environnement, à toutes les étapes de son élaboration et de son usage.

Des gains conséquents en bruit de roulement du pneumatique sur la chaussée seront atteints par l'amélioration séparée du pneumatique et des revêtements routiers. Une réglementation cohérente et mettant chaque acteur devant

ses responsabilités permettra de réduire le bruit du trafic routier. Tout en respectant le difficile compromis des nombreuses performances attendues du pneumatique et en garantissant la sécurité des usagers, Michelin met en œuvre des moyens très importants pour rendre les pneumatiques encore plus silencieux. Cette meilleure intégration sonore du pneu dans l'environnement constituera pour tous une réelle amélioration de la qualité de vie.

Références bibliographiques

Le pneu, Le Confort mécanique et acoustique, Michelin, 2001.

Article présenté lors du Congrès «Confort Automobile et Ferroviaire : Acoustique, Thermique», 13 & 14 novembre 2002 – CTTM, Le Mans.

