



**HAL**  
open science

# Une nouvelle base de données texture/bruit pour la prévision du bruit de contact pneumatique/chaussée

Julien Cesbron, Philippe Klein

## ► To cite this version:

Julien Cesbron, Philippe Klein. Une nouvelle base de données texture/bruit pour la prévision du bruit de contact pneumatique/chaussée. CFA 2016, 13e Congrès Français d'Acoustique, 20e colloque Vibrations, SHocks and NOise, Apr 2016, LE MANS, France. 7p. hal-01358993

**HAL Id: hal-01358993**

**<https://hal.science/hal-01358993>**

Submitted on 1 Sep 2016

**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.

# CFA/VISHNO 2016

## Une nouvelle base de données texture/bruit pour la prévision du bruit de contact pneumatique/chaussée

J. Cesbron<sup>a</sup> et P. Klein<sup>b</sup>

<sup>a</sup>IFSTTAR, AME, LAE, LUNAM Université, Route de Bouaye, CS4, 44344  
Bouguenais, France

<sup>b</sup>IFSTTAR, AME, LAE, Université de Lyon/CeLyA, 25, avenue F. Mitterrand, Case 24,  
Cité des Mobilités, F-69675 Bron, France  
julien.cesbron@ifsttar.fr



LE MANS

Dans le cadre du projet franco-allemand ODSurf, des mesures de bruit de roulement, de texture et d'absorption acoustique ont été réalisées sur pistes pour une large gamme de revêtements routiers. La texture des surfaces a été mesurée en trois dimensions à l'aide d'un équipement utilisant un capteur laser 2D. Plusieurs relevés alignés permettent d'obtenir une surface pouvant mesurer jusqu'à 6 m environ. L'analyse des résultats donne la profondeur moyenne de texture, la densité de probabilité des hauteurs ainsi que les spectres de texture. Pour les chaussées poreuses, l'absorption acoustique a été mesurée conformément à la norme ISO 13472-1. Enfin, les mesures de bruit ont été réalisées simultanément à proximité du pneumatique et en bord de voie pour une monte de pneumatiques à motifs et une monte de pneumatiques lisses. Les niveaux de bruit global et les spectres en tiers d'octave obtenus par les deux méthodes de mesure sont très bien corrélés. Une classification acoustique est établie et quatre catégories de revêtements sont proposées à partir de l'allure des spectres de bruit.

## 1 Introduction

Le bruit de contact pneumatique/chaussée est une source prédominante du bruit du trafic routier [1]. L'amélioration des modèles statistiques hybrides de prévision du bruit de roulement [2, 3] nécessite d'une part des mesures de bruit à proximité du pneu et en bord de voie et d'autre part des mesures de texture 3D et d'absorption acoustique sur une large gamme de revêtements routiers.

Dans le cadre du projet ODSurf [4], des mesures de bruit de roulement et de propriétés de surfaces (texture et absorption acoustique) ont été réalisées sur plusieurs surfaces routières localisées sur des pistes d'essais en France et en Allemagne. Ces mesures ont permis d'actualiser et de compléter la base de données acquise au cours du précédent projet P2RN [5], notamment par l'utilisation d'un nouveau système de mesure de texture 3D et d'une méthode de mesure simultanée du bruit de roulement en continu et au passage pour deux types de pneumatiques, l'un à motifs et l'autre lisse.

## 2 Sites d'essais et revêtements testés

Le premier site d'essais est la piste de référence de l'Ifsttar à Bouguenais (France) où 11 revêtements de chaussée ont été testés (Figure 1) : un béton bitumineux drainant 0/6 (A), deux enduits superficiels 8/10 (A') et 1,5/3 (F), deux bétons bitumineux semi-grenu 0/10 (E1 et E2), un béton bitumineux souple 0/10 (G0), une surface conforme à la norme ISO 10844 (ISO), une résine époxy lisse (L1), un sable enrobé 0/4 (L2) et deux bétons bitumineux très minces (M1 et M2). Les surfaces A', E1, E2, F, G0, ISO, L1, L2 et M1 sont fermées alors que les surfaces A et M2 sont absorbantes.

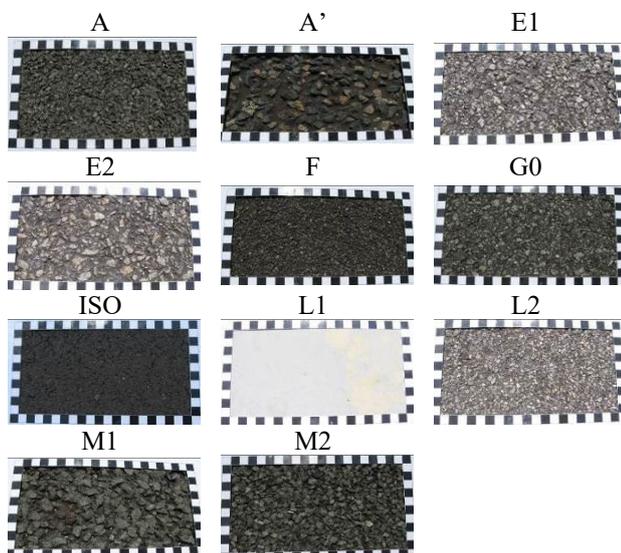


Figure 1: Aperçus (20 cm x 10 cm) des 11 surfaces de chaussée testées sur la piste de référence de l'Ifsttar à Bouguenais (France).

Le second site d'essais est la piste de la BAST située à Geilenkirchen (Allemagne) où 6 revêtements de chaussée ont été testés (Figure 2) : une couche de surface optimisée pour la réduction du bruit (LOA), un « stone mastic asphalt » 0/8 (LS1), deux bétons de ciment polis, l'un avec des cavités cylindriques répartis périodiquement (LS2), l'autre avec des rainures longitudinales (LS5) et enfin deux « porous mastic asphalts » (PMA et PMAG). Les surfaces LS1, LS2 et LS5 sont fermées alors que les surfaces LOA, PMA et PMAG sont annoncées comme poreuses.

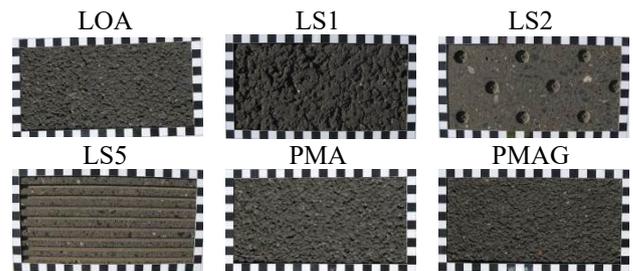


Figure 2: Aperçus (20 cm x 10 cm) des 6 surfaces de chaussée testées sur la piste de la BAST à Geilenkirchen (Allemagne).

## 3 Mesures de texture

Le système de mesure de texture 3D utilisé lors des essais est présenté Figure 3. Un capteur laser de profils 2D relève simultanément par triangulation l'altitude de points situés sur un même segment. À l'aide d'un axe linéaire motorisé, le système déplace, à vitesse constante, le capteur laser sur un tronçon rectiligne dans le sens longitudinal et déclenche l'acquisition d'échantillons à pas spatial constant. Une table de positionnement permet de déplacer manuellement le capteur dans le sens transversal, de manière à effectuer successivement plusieurs relevés parallèles décalés latéralement. Au final, pour une position donnée du châssis, un relevé de texture unitaire a une longueur maximale de 1,5 m, une largeur maximale de 0,35 m, un pas d'échantillonnage de 0,1 mm et une répétabilité verticale point à point de 0,03 mm.

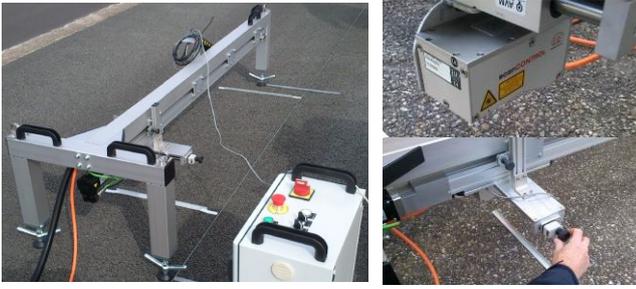


Figure 3: Système de mesure de texture 3D - A gauche : vue d'ensemble - En haut à droite : capteur laser - En bas à droite : table de positionnement transversal du capteur.

Dans le cadre du projet, 2 à 4 relevés de texture unitaires successifs ont été réalisés dans la bande de roulement de mesure de bruit, permettant la reconstruction de surfaces de l'ordre de 3 à 6 m de long sur 0,30 à 0,35 m de large. En effet, si les relevés unitaires de 1,50 m de long sont suffisants pour évaluer des paramètres de texture standards, en particulier les spectres de texture, les relevés reconstruits à partir de plusieurs relevés unitaires peuvent être utilisés directement dans des modèles de contact dynamique offrant la possibilité de « rouler » sur une distance supérieure au périmètre d'un pneumatique de véhicule léger (environ 2 m).

La Figure 4 regroupe des extraits de 10 cm par 10 cm des textures mesurées sur les planches des deux sites. Elle donne un aperçu de la taille des granulats et du type de rugosité de chaque planche.

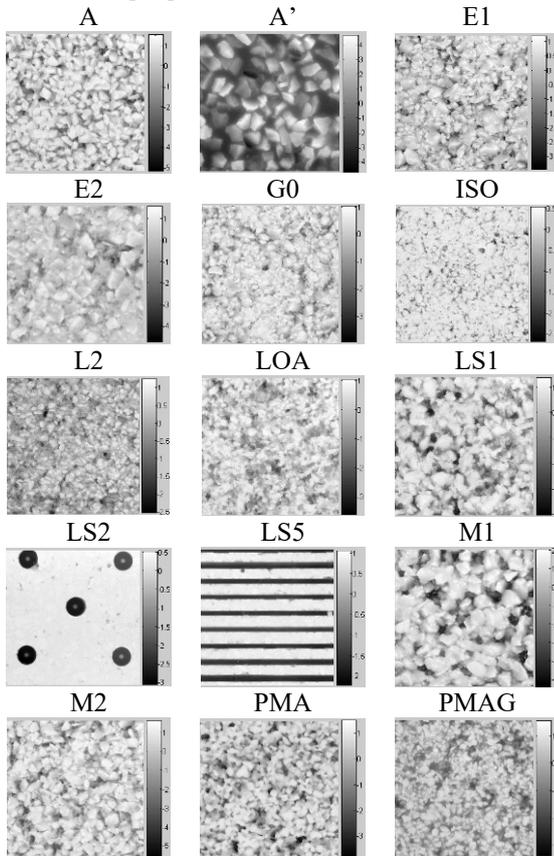


Figure 4: Extraits (10 cm x 10 cm) des textures 3D mesurées sur l'ensemble des planches.

Plusieurs quantités, définies dans la série de normes ISO 13473, permettent de caractériser les textures :

- la Profondeur Moyenne de Profil (PMP) évaluée à partir de 7 à 8 profils longitudinaux extraits du relevé 3D par pas latéral de 4 cm ;
- les quantités liées à la distribution des altitudes évaluées à partir de relevés 3D de 200 mm par 200 mm : densité de probabilité des altitudes, écart quadratique moyen, asymétrie et aplatissement de la surface ;
- les spectres de texture évalués à partir des mêmes profils que pour la PMP, décomposés en sous-profils de 1,50 m de long avec un recouvrement de 50 %.

Les PMP des planches conventionnelles à texture aléatoires sont représentées par ordre croissant sur la Figure 5. La valeur de PMP la plus faible est celle de la planche ISO qui s'élève à 0,31 mm. La plus élevée est celle de la planche A' (3,28 mm) qui est beaucoup plus élevée que celles des autres planches, la valeur de PMP immédiatement inférieure étant celle de la planche M1 qui est égale à 1,50 mm.

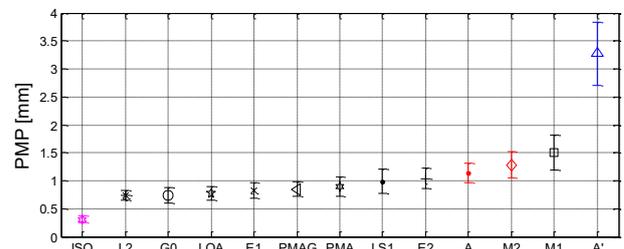


Figure 5: Valeurs de PMP des planches à texture aléatoire classées par ordre croissant.

Concernant la distribution des altitudes, les densités de probabilités évaluées sur les planches à texture aléatoires sont représentées sur la Figure 6. La plupart des planches présentent des textures légèrement négatives (E2, L2, LOA, PMAG) ou négatives (A, E1, G0, ISO, LS1, M1, M2, PMA). La planche A' se distingue à nouveau des autres planches par une texture positive marquée, créée par les granulats clairement visibles sur la Figure 4.

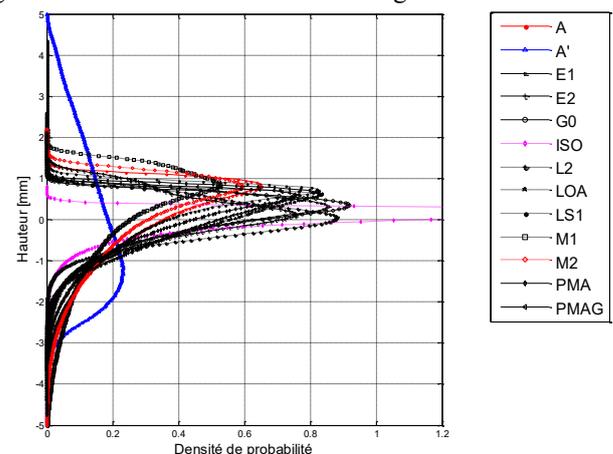


Figure 6: Densité de probabilités des planches à texture aléatoire.

Les spectres de texture par bandes de tiers d'octave ont également été évalués conformément aux recommandations de la norme ISO 13473 (volet 4). Ils sont représentés sur la Figure 7, pour les planches à texture aléatoire uniquement et pour les longueurs d'onde comprises entre 1 mm et 250

mm. Une très large gamme de niveaux est observée, les plus faibles étant ceux de la planche ISO sur toute la gamme de longueur d'onde considérée. La plage de longueur d'onde peut être séparée en deux domaines distincts. Pour les longueurs d'onde supérieures à 12,5 mm, les différences de niveaux sont très importantes et peuvent atteindre 20 dB. La hiérarchie entre planches reste quasiment inchangée sur ce domaine : la planche A' a les niveaux les plus élevés puis l'étalement des niveaux jusqu'à ceux de la planche ISO est assez progressif. Pour les longueurs d'onde inférieures à 8 mm, l'étendue des niveaux est moins importante et décroît d'environ 10 dB pour 8 mm à moins de 5 dB pour 1 mm. Dans cette gamme, la hiérarchie entre revêtements est différente de celle observée aux longueurs d'onde plus importantes. Les niveaux les plus élevés sont ceux de la planche A du fait des pics vers le bas étroits et d'amplitude assez importante qui sont dus à la porosité du matériau. Les niveaux de la planche M2 sont proches de ceux de la planche A pour la même raison. En revanche, la planche A' présente des niveaux relativement aux autres planches de moins en moins élevés lorsque la longueur d'onde diminue.

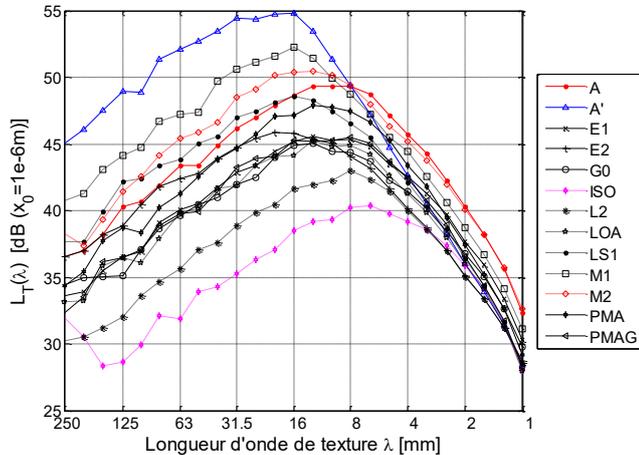


Figure 7: Spectres de texture par bandes de tiers d'octave des planches à texture aléatoire.

## 4 Mesures d'absorption acoustique

Les mesures d'absorption acoustique ont été réalisées conformément à la norme ISO 13472-1. Le système de mesure est composé d'une source acoustique et d'un microphone positionnés à des distances  $d_s=1,25$  m et  $d_m=0,25$  m au-dessus de la surface à tester (Figure 8).

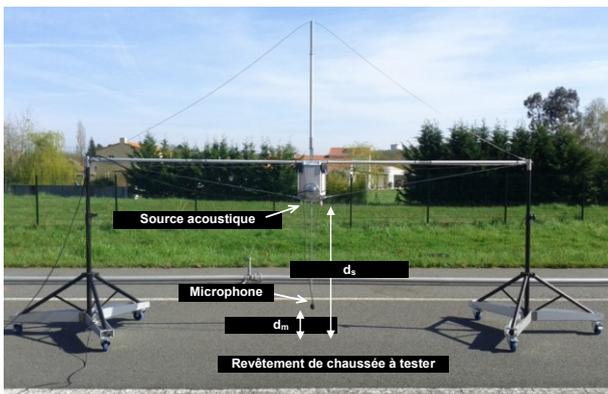


Figure 8: Système de mesure d'absorption acoustique.

Au cours de l'essai, la source et le microphone sont d'abord positionnés verticalement, microphone vers le bas, au centre de la surface à tester. Un signal de type bruit blanc est généré puis envoyé au haut-parleur. Le rapport signal/bruit est amélioré en répétant l'acquisition plusieurs fois et en moyennant de façon synchrone la réponse du microphone. Le système est ensuite retourné verticalement, microphone vers le haut, afin d'obtenir la réponse impulsionnelle en champ libre. Celle-ci est ensuite soustraite à la réponse en présence du revêtement absorbant de façon à isoler la contribution du signal réfléchi.

Pour un revêtement donné, le coefficient d'absorption  $\alpha$  a été mesuré en 5 points espacés de 2 m autour de la position du microphone utilisé pour la mesure du bruit au passage. À partir de la valeur moyenne fréquentielle en bande fine, le coefficient d'absorption par bande de tiers d'octave a ensuite été calculé. Les résultats sont donnés Figure 9 pour les surfaces A, LOA, M2, PMA et PMAG. Le revêtement A (BBDr 0/6) présente un pic d'absorption de l'ordre de 0,8 entre 1250 Hz et 1600 Hz, tandis que le revêtement M2 (BBTM 0/6) présente un pic d'absorption de l'ordre de 0,4 entre 800 Hz et 1 000 Hz. Les revêtements LOA, PMA et PMAG ont un coefficient d'absorption acoustique très faible, de l'ordre de 0,1 ou 0,2, sur une large gamme de fréquences comprise entre 315 Hz et 2000 Hz. Ils sont donc très peu absorbants et seront qualifiés de revêtements fermés par la suite.

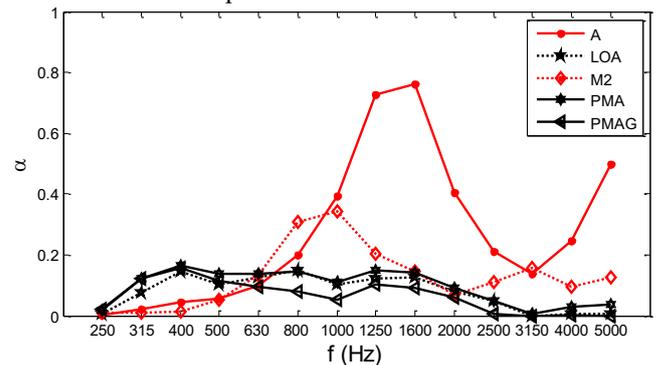


Figure 9: Coefficient d'absorption mesuré sur les planches A, LOA, M2, PMA et PMAG.

## 5 Mesures de bruit de roulement

Les mesures de bruit de roulement ont été réalisées à l'aide d'un véhicule Renault Scénic (Figure 10). Deux types de pneumatiques ont été testés : des pneumatiques standards à motifs (Michelin Energy E3A 195/60 R15) et des pneumatiques de compétition lisses (Avon 16'' radial slick 210/60 R16). La pression de gonflage au cours des essais était de 2,2 bars.



Figure 10: Véhicule d'essais (à gauche) et pneumatiques testés (à droite).

Les mesures de bruit en continu (méthode CPX, ISO/DIS 11819-2) et au passage (méthode CB, directive européenne 2001/43/EC) ont été réalisées simultanément sur une distance de 20 mètres de long centrée autour du Point de Référence (PR) de la planche d'essais (Figure 11). Le véhicule traverse la zone d'essais comprise entre les axes AA' et BB' à vitesse constante. La transmission est mise au point mort immédiatement avant de franchir la ligne AA' afin de réduire au maximum l'influence du bruit du moteur sur la mesure au passage.

Sur chaque planche d'essais, plusieurs passages ont été effectués à différentes vitesses de consigne :

- de 65 km/h à 110 km/h par pas de 5 km/h sur les planches de la piste de l'Ifsttar à Bouguenais ;
- de 50 km/h à 110 km/h par pas de 5 km/h sur les planches de la piste de la BAST à Geilenkirchen.

La vitesse réelle du véhicule à chaque passage est mesurée avec précision par le système de mesure CPX. Les microphones de mesure CPX sont positionnés conformément à la norme ISO/DIS 11819-2. Le microphone de mesure au passage est positionné à 7,5 m de l'axe de circulation du véhicule et à 1,2 m de la surface du sol, conformément à la norme ISO 11819-1.

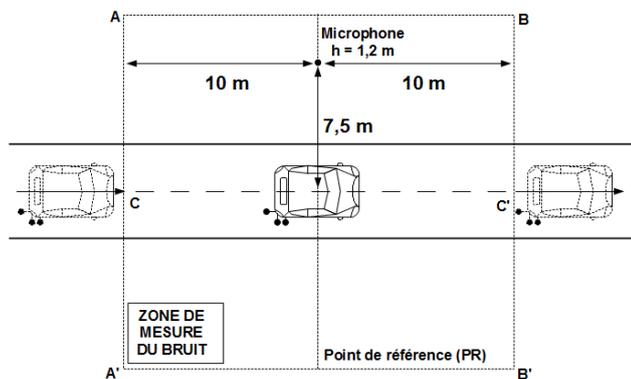


Figure 11: Procédure de mesure du bruit de roulement simultanément au passage et en continu.

Les mesures de bruit au passage sont analysées par régression des niveaux de bruit  $L_{Amax}$  en fonction du logarithme en base 10 de la vitesse  $V$  :

$$L_{Amax}(V) = a_{L_{Amax}} + b_{L_{Amax}} \log_{10}(V). \quad (1)$$

Une analyse similaire est réalisée pour chaque tiers d'octave compris entre 100 Hz et 5000 Hz. L'analyse des mesures CPX requiert une attention particulière en raison de la pollution possible des données par le bruit aérodynamique [6] pour les fréquences en-dessous de 400 Hz et au-delà de 4000 Hz. Par conséquent, pour chaque tiers d'octave entre 400 Hz et 4000 Hz, l'équation suivante est ajustée :

$$L_{Aeq}(V, f) = a_{L_{eq}}(f) + b_{L_{eq}}(f) \log_{10}(V) \quad (2)$$

où  $L_{Aeq}(V, f)$  est la moyenne arithmétique des niveaux de bruit sur les deux microphones latéraux de la méthode CPX à la vitesse  $V$  et à la fréquence centrale de tiers d'octave  $f$ . Le niveau CPX global est ensuite recomposé sur la gamme de fréquence valide :

$$L_{rAeq}(V) = 10 \log_{10} \left( \sum_{f=f_1}^{f_2} 10^{L_{Aeq}(f)/10} \right) \quad (3)$$

où  $f_1 = 400$  Hz et  $f_2 = 4000$  Hz. Ensuite, une analyse par régression logarithmique du niveau global recomposé pondéré A en fonction de la vitesse est effectuée :

$$L_{rAeq}(V) = a_{L_{rAeq}} + b_{L_{rAeq}} \log_{10}(V). \quad (4)$$

Les niveaux de bruit obtenus permettent d'établir une classification acoustique des revêtements testés, donnée Figure 12 pour le pneumatique à motifs et Figure 13 pour le pneumatique lisse. Les deux types de mesure (CPX et CB) donnent un classement assez proche des revêtements. Comme pour la texture, une large gamme de niveaux de bruit est observée. Dans le cas du pneu à motifs, la différence est de l'ordre de 10 dBA entre le revêtement le moins bruyant et le plus bruyant, alors qu'elle est de l'ordre de 15 dBA pour le pneu lisse. Pour les deux types de pneu, la valeur des pentes de la régression statistique est comprise entre 20 et 40 dBA/dec.

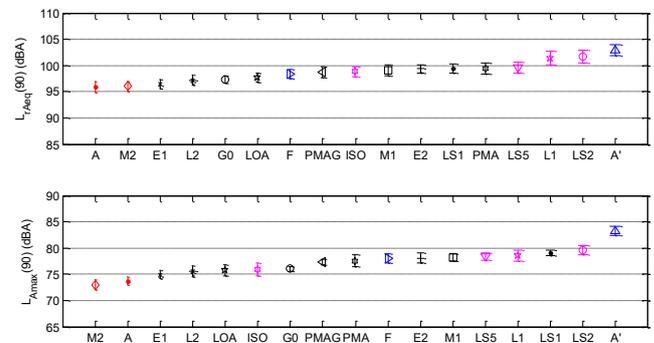


Figure 12: Niveaux de bruit global à 90 km/h mesurés en continu (en haut) et au passage (en bas) - Pneu à motifs.

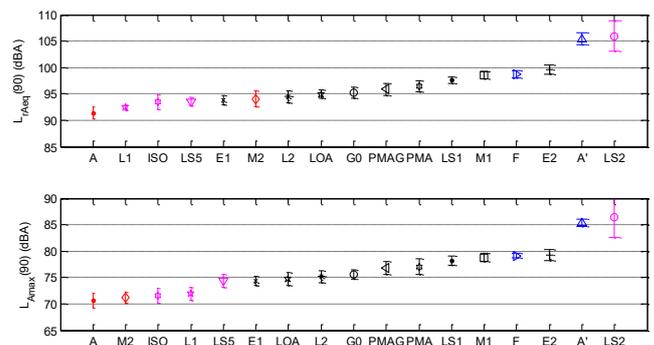


Figure 13: Niveaux de bruit global à 90 km/h mesurés en continu (en haut) et au passage (en bas) - Pneu lisse.

La Figure 14 donne la corrélation statistique entre les niveaux de bruit recomposés mesurés en continu et au passage dans le cas du pneu à motifs. Le coefficient de corrélation est de 0,94 et la pente de la régression statistique est proche de 1, ce qui montre un très bon accord entre les deux méthodes de mesure. La corrélation entre les pentes de la régression statistique est du même ordre de grandeur. Les corrélations sont similaires pour le pneu lisse.

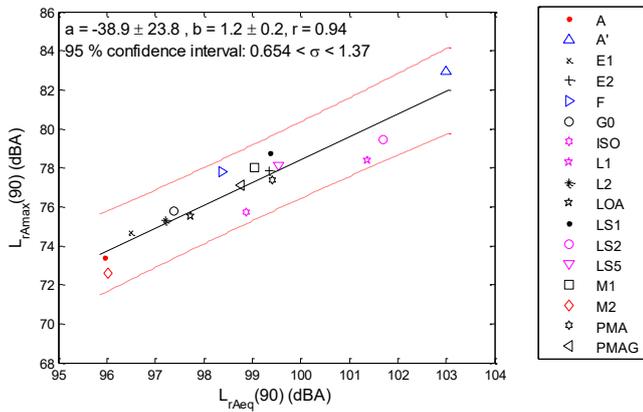


Figure 14: Corrélation entre niveaux de bruit mesurés au passage et en continu dans le cas du pneu à motifs.

La corrélation entre les spectres de bruit issus des deux méthodes de mesure est étudiée Figure 15 dans le cas du pneu à motifs. Le graphe inclut les niveaux de bruit pour toutes les fréquences comprises entre 400 Hz et 4000 Hz. La corrélation entre valeurs spectrale CPX et CB est quasi-parfaite : le coefficient de corrélation est de 0,98 et la pente de la régression est de 1,0. Les corrélations sont similaires pour le pneu lisse. Par conséquent, seuls les spectres CPX seront analysés par la suite.

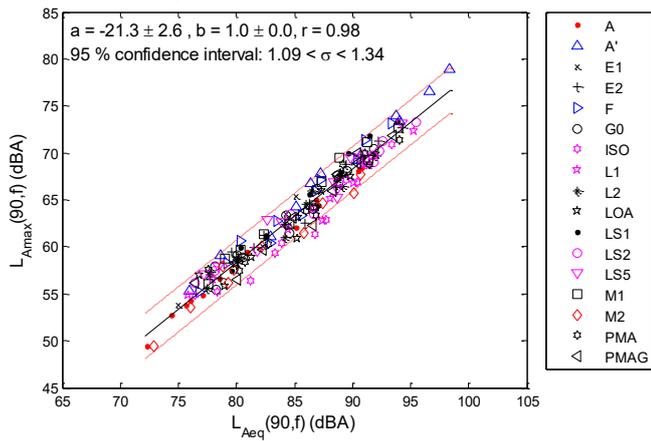


Figure 15: Corrélation entre niveaux spectraux mesurés en continu et au passage dans le cas du pneu à motifs.

L'analyse des spectres de bruit permet de distinguer quatre catégories de revêtements :

- les surfaces poreuses (A et M2) ;
- les surfaces fermées en béton bitumineux (E1, E2, G0, L2, LOA, LS1, M1, PMA et PMAG) ;
- les surfaces lisse ou quasi-lisses (ISO, L1, LS2 et LS5) ;
- les enduits superficiels (A' et F).

Les surfaces poreuses ont des spectres très proches pour les deux types de pneu (Figure 16), avec une valeur maximale à 800 Hz et une réduction du bruit élevée après 1000 Hz en raison des propriétés d'absorption acoustique de ces deux surfaces (voir §4).

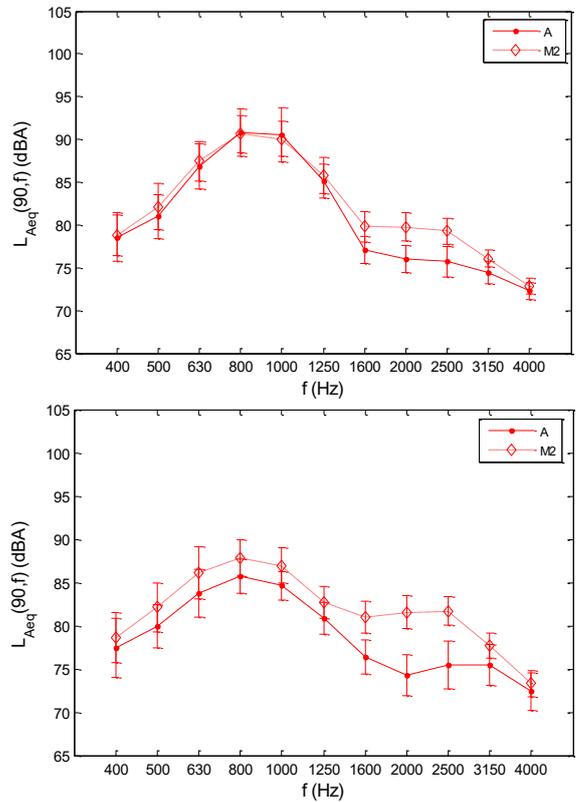


Figure 16: Spectres CPX pour les surfaces poreuses (haut : pneu à motifs, bas : pneu lisse)

Les surfaces fermées en béton bitumineux (Figure 17) ont des spectres de forme très différente entre le pneu à motifs (pic très prononcé à 1000 Hz) et le pneu lisse (pic peu prononcé aux alentours de 2000 Hz). Le pic à 1000 Hz pour le pneu à motifs est en partie dû à la fréquence d'impacts des pains de gomme sur la chaussée au cours du roulement [7].

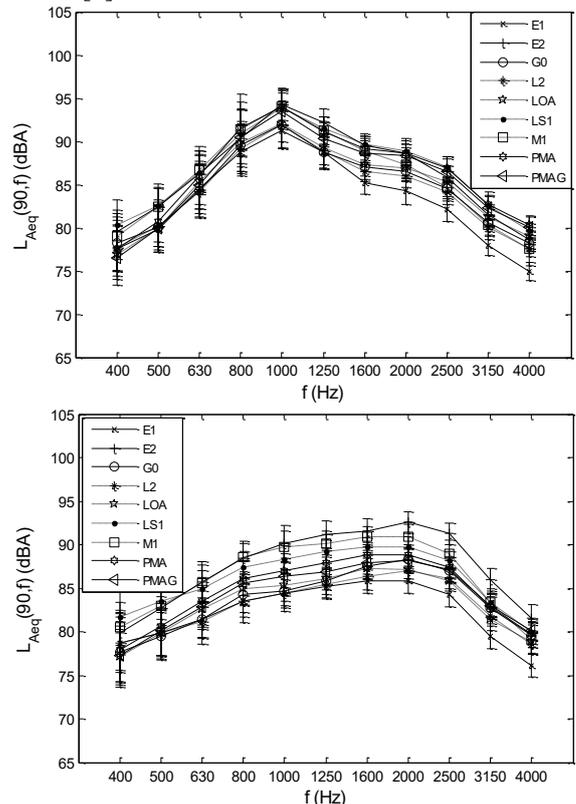


Figure 17: Spectres CPX pour les surfaces fermées en béton bitumineux (haut : pneu à motifs, bas : pneu lisse)

Les surfaces lisse ou quasi-lisses ont également des spectres de forme très différente suivant le type de pneu (Figure 18). Pour le pneu à motifs, le pic à 1000 Hz et son harmonique à 2000 Hz sont observés. Au contraire, les spectres pour le pneu lisse sont plutôt plats et de niveau assez faible pour les surfaces ISO et L1. Pour la surface LS2, un pic très élevé est observé à 2500 Hz en raison de la résonance acoustique des cavités cylindriques constituant cette surface. De même pour LS5, les deux pics de faible amplitude à 1250 Hz et 2500 Hz sont probablement liés à la résonance des rainures longitudinales.

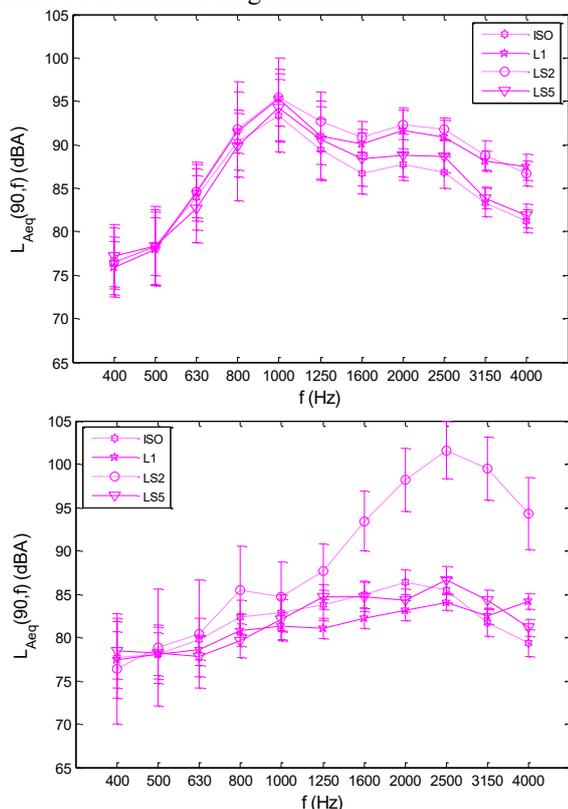


Figure 18: Spectres CPX pour les surfaces lisses ou quasi-lisses (haut : pneu à motifs, bas : pneu lisse)

Les enduits superficiels ont des spectres assez similaires pour les deux types de pneu (Figure 19). La majeure partie de l'énergie acoustique est comprise à basse fréquence entre 400 Hz et 1600 Hz en raison de la forte excitation vibratoire du pneu sur ces surfaces très rugueuses.

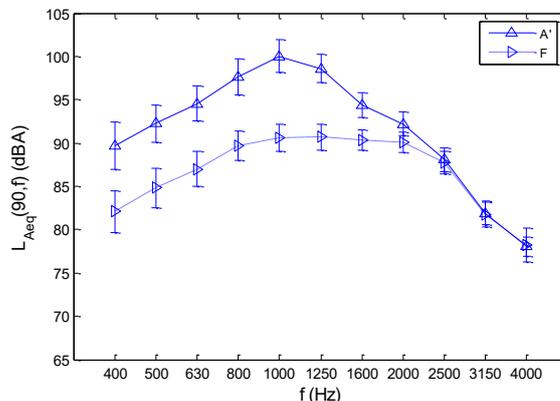
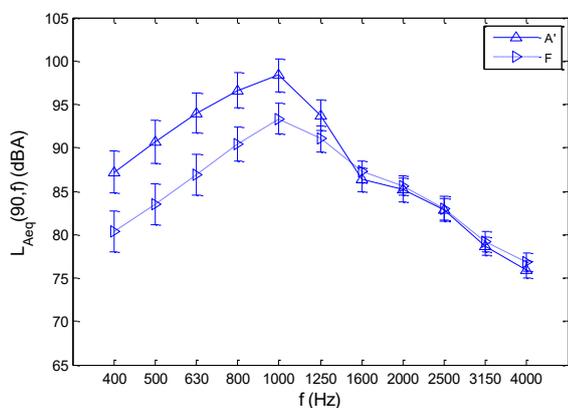


Figure 19: Spectres CPX pour les enduits superficiels (haut : pneu à motifs, bas : pneu lisse)

## 6 Conclusion

Une nouvelle base de données texture 3D/bruit a été constituée. Les niveaux de bruit obtenus par les mesures en continu et au passage sont bien corrélés. Une classification acoustique a été établie et quatre catégories de revêtements ont été distinguées à partir de l'allure des spectres de bruit. La base de données sera utilisée à l'avenir pour l'amélioration des modèles de prévision du bruit, qu'ils soient basés sur une approche statistique hybride ou sur une approche physique déterministe.

## Remerciements

Ces travaux de recherche ont été financés par l'ADEME dans le cadre du projet ODSurf et par le Labex CeLyA.

## Références

- [1] J.-F. Hamet, F. Besnard, S. Doisy, J. Lelong and E. le Duc, New vehicle noise emission for French traffic noise prediction, *Applied Acoustics* **71**(9), 861-869 (2010).
- [2] P. Klein, Influence du revêtement routier sur le bruit de roulement: le modèle HyRoNe, 10<sup>e</sup> Congrès Français d'Acoustique, Lyon, France (2010).
- [3] G. Dubois, J. Cesbron, H. P. Yin, F. Anfosso-Lédée and D. Duhamel, Statistical estimation of low frequency tyre/road noise from numerical contact forces, *Applied Acoustics* **74**(9), 1085-1093 (2013).
- [4] M. Bérengier and P. J. Gusia, ODSURF: Optimized low noise urban road surfaces. Proceeding of Internoise 2014, Melbourne, Australia (2014).
- [5] M. Auerbach and M. Bérengier, DEUFRAKO – Prediction and propagation of rolling noise. Proceedings of Internoise 2008, Shanghai, China (2008).
- [6] F. Anfosso-Lédée and J. Kragh, Wind noise influence on close-proximity tyre/road noise measurements with uncovered systems, Proceedings of Internoise 2013, Innsbruck, Austria (2013).
- [7] U. Sandberg. The multi-coincidence peak around 1000 Hz in tyre/road noise spectra. Proceedings of Euronoise 2003, Naples, Italy (2003).