

Une méthode de mesure du bruit de contact pneu-chaussée pour caractériser les revêtements routiers

Fabienne Anfosso-Lédée, Yves Pichaud
LCPC
Route de Bouaye
BP 4129
44341 Bouguenais CEDEX
e-mail : fabienne.anfosso@lcpc.fr
e-mail : yves.pichaud@lcpc.fr

Avec la participation de :
G. Priolet, CETE Lyon, LRPC de Clermont-Ferrand,
L. Toussaint et G. Dutilleux, CETE Est, LRPC Strasbourg,
R. Durang, LRPC Est Parisien,
Ph. Dunez, CETE Nord Picardie, LRPC Lille,
L. Ségaud et M. Fournier, CETE Lyon, LRPC Autun

Résumé

Le bruit du trafic routier est largement influencé par les propriétés des revêtements de chaussée. Ces propriétés acoustiques sont, en général, évaluées par une mesure statique de bruit de roulement au passage de véhicules. Mais cette caractérisation reste ponctuelle et limitée à des sites plans et dégagés. Ainsi une méthode de mesure en continu du bruit de roulement a été développée, permettant d'évaluer sur un linéaire les performances acoustiques de revêtements de chaussée, sur tout type de réseau, urbain ou interurbain. Le dispositif comprend un système d'acquisition embarqué à bord d'un véhicule d'essai, permettant d'évaluer à chaque tour de roue, le niveau et le spectre de bruit en trois microphones situés à proximité d'un pneumatique. Cinq véhicules ont été instrumentés à l'identique dans cinq laboratoires différents, afin de tester la reproductibilité de la méthode. À l'aide de cet équipement, il est possible de mesurer le bruit généré par le contact pneumatique-chaussée à différentes vitesses entre 50 et 120 Km/h, sur des tronçons routiers constants, dont la longueur varie selon l'objectif de la mesure : tronçons d'un tour de roue pour la classification acoustique d'un revêtement de chaussée ou le contrôle de performances acoustiques après chantier, tronçons de dix tours de roue pour l'auscultation acoustique à grand rendement d'un long réseau.

La mise au point d'un tel système a nécessité de nombreux tests de qualification pour vérifier l'immunité aux bruits parasites : le bruit aérodynamique dû au déplacement du système de mesure avec le véhicule, le bruit mécanique du véhicule et des dispositifs de fixation. L'immunité aux bruits parasites des autres véhicules du trafic qui croisent, dépassent ou se font dépasser par le véhicule d'essai est encore en cours d'étude, de même que l'importance du choix du pneumatique d'essai, ou la présence d'obstacles latéraux. Enfin la corrélation entre la mesure en continu et la mesure au passage du bruit de roulement a été examinée à la fois expérimentalement et par la modélisation du filtre de propagation entre les positions de mesure.

Abstract

Road traffic noise is largely influenced by the properties of road surfaces. These properties are evaluated by the measurement of tyre road noise, usually by a pass-by measurement of vehicle at steady speed. But with this spot measurement, only a few meters of the road section are characterised, and furthermore, it is restricted to wide open areas, which excludes most urban or suburban areas. Thus a new dynamic method was developed, that enables the evaluation of road surface noise performances along road sections, on all sorts of networks, urban or interurban. The method consists in measuring the rolling noise at close proximity (CPX) of a tyre of a running test vehicle. An on-board acquisition system evaluates at each wheel rotation, the noise level and third-octave band spectrum simultaneously at three microphones located around the tyre. Five test vehicles were identically equipped in five different Public Work Laboratories, making possible the estimation of the reproducibility of the method. With this equipment, tyre-road noise can be evaluated at different driving speeds between 50 and 120 km/h, on road segments the length of which can be fixed according to the purpose: one wheel rotation (approximately 2 m) for the acoustic characterisation of a pavement product, or for checking the conformity of production of a new pavement after (re)laying, ten or more wheel rotations for the monitoring of extended road networks. The development of the device and the method required many qualification tests in order to check the immunity of the measurements to external noise sources: aerodynamic noise due to the displacement of the measuring sensors and their mounting system at high speed, mechanical noise from the test vehicle. The effect of other vehicles in the traffic, passing or overtaking the test vehicle is still under study, as well as the effect of lateral obstacles, and the choice of the test tyre. Finally, the correlation between CPX and pass-by (Controlled Pass-By) methods is analysed on the basis of experimental results and theoretical modelling of the propagation filter between respective measurement positions.

Le bruit routier est une préoccupation majeure d'environnement en France et en Europe. La réduction du bruit à la source présente un intérêt certain, surtout dans les zones fortement urbanisées où l'espace disponible pour la construction d'écrans antibruit est limité. Le bruit émis par les moteurs et systèmes de transmission des véhicules a considérablement diminué ces dernières décennies, faisant alors émerger la contribution du contact entre le pneumatique et la chaussée dans la plupart des conditions de circulation : à partir de 30 Km/h pour les véhicules légers, entre 60 et 80 Km/h pour les poids-lourds. L'amélioration des revêtements de chaussées pour la réduction de ce bruit de contact pneu-chaussée

présente un enjeu certain, puisque des différences d'une dizaine de décibels sont observées entre les revêtements les plus bruyants et les moins bruyants en France. Mais les progrès technologiques en la matière supposent que des outils fiables et adaptés soient disponibles pour l'évaluation de ces performances. Une telle évaluation est utile pour le développement et la classification des revêtements en terme de potentiel de réduction du bruit émis, pour le contrôle des performances effectives de revêtements en place, après travaux par exemple, et pour le diagnostic ou le suivi d'un long linéaire de réseau. La méthode couramment utilisée depuis plusieurs années pour cette évaluation acoustique est une méthode de

mesure du bruit des véhicules en bordure de voie (à 7,50 m de l'axe de circulation). Cette méthode, dite « au passage », est bien maîtrisée. Elle fait l'objet d'une norme internationale (NF EN ISO 11819-1 [3]) et offre une caractérisation assez réaliste du bruit émis dans un environnement routier puisqu'elle prend en compte tous les types de véhicules d'un trafic. Cependant, elle ne permet qu'une caractérisation ponctuelle du revêtement routier au voisinage du microphone, et ne permet donc pas d'en évaluer l'homogénéité.

De plus, cette méthode au passage est soumise à des conditions de site très restrictives (zone dégagée de tout obstacle, bâtiment, écran, section de route plane et droite, accotements plans et homogènes...) qui la rendent quasi inapplicable dans les zones fortement urbanisées, là où précisément les problèmes de bruit sont aigus. Pour ces raisons, une méthode de mesure en continu du bruit de roulement a été développée, permettant d'évaluer sur un linéaire les performances acoustiques de revêtements de chaussée, sur tout type de réseau, urbain ou interurbain. Le présent article détaille des différentes étapes de mise au point du système.

Développement du système de mesure en continu

Un rapide état de l'art

Le principe de la mesure en continu du bruit de roulement consiste à fixer un ou plusieurs microphones à proximité d'une roue, dans la zone proche du contact avec la chaussée, et de mesurer le bruit en continu au cours du roulement. Pour de nombreux systèmes existant à travers le monde, la roue d'essais est montée sur une remorque tractée par un véhicule d'essais. La remorque est en général couverte par un capot afin de protéger les capteurs microphoniques du flux d'air lors du déplacement et des bruits perturbateurs du trafic avoisinant. La difficulté est alors de supprimer la réverbération acoustique apportée par le capot, ce qui est réalisé par l'adjonction d'une épaisse couche de matériau absorbant à l'intérieur de celui-ci.

sont ensuite analysés pour être ramenés à une évaluation globale de la section routière, soit par régression des niveaux sonores en fonction de la vitesse, soit par simple moyenne arithmétique après correction de vitesse.

Un projet de norme internationale existe depuis plusieurs années (projet ISO-CD 11819-2 [1]), décrivant le mode opératoire et les spécifications sur l'équipement de mesure, mais reste bloqué en raison du choix des pneumatiques d'essai. Il sert néanmoins de base aux expérimentations réalisées par un grand nombre d'équipes de recherche à travers le monde, du moins en ce qui concerne les positions de microphone spécifiées et le mode d'acquisition et de traitement des données.

Description du véhicule instrumenté LPC

Le principe retenu par le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées est la mesure du bruit de roulement directement sur un véhicule d'essais. Ce véhicule a été choisi léger (Renault Scénic essence 2.0 l) afin d'optimiser la maniabilité de l'outil en milieu urbain. Contrairement aux exigences du projet de norme internationale [1], qui spécifie très précisément quatre pneumatiques spéciaux, l'option a été prise de considérer un pneumatique « standard » du marché (Michelin Energy 195/60/R15), et de l'étalonner sur une planche routière de référence non circulée (piste d'essai) périodiquement et à chaque renouvellement.

Trois microphones sont montés au voisinage du pneumatique arrière droit, le plus éloigné du moteur et de l'échappement. Deux microphones sont situés à proximité du flanc latéral extérieur du pneumatique (microphones M1 et M2) à 10 cm de hauteur et à 20 cm de part et d'autre de l'axe de la roue, selon les exigences du projet de norme internationale [1]. Le troisième microphone (M3) est situé à l'arrière du pneumatique, dans le dièdre formé par la bande de roulement et la surface de chaussée, à 15 cm de hauteur (figure 1). Cette position a été longtemps utilisée sur un prototype de véhicule de mesure acoustique développé par le LREP (Laboratoire régional de l'Est parisien), il y a plusieurs années, et utilisé principalement en milieu urbain, les positions latérales ayant été jugées trop dangereuses pour la sécurité pour les piétons.

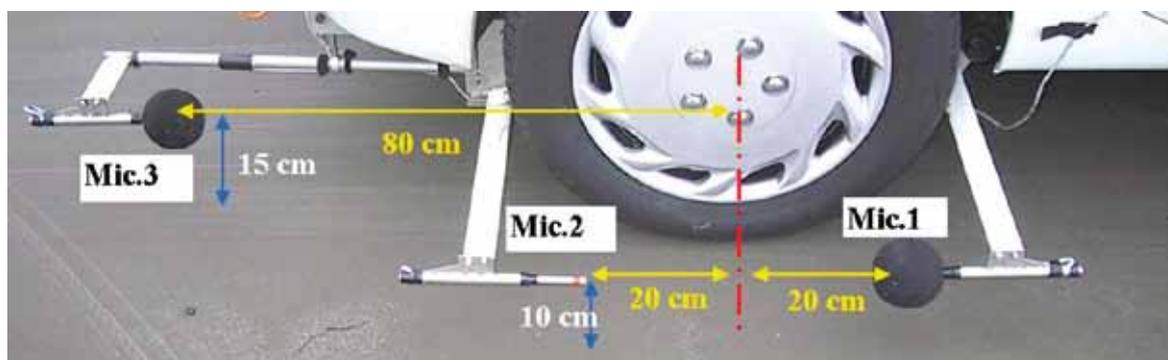


Fig. 1 : Position des 3 microphones et système de montage

Le mode opératoire consiste à acquérir, au cours du roulement, un grand nombre d'échantillons constitués d'un niveau de pression et d'un spectre moyens ainsi que de la vitesse moyenne sur un segment routier de longueur fixe, généralement de quelques mètres. Les échantillons

Les microphones sont montés sur le véhicule par l'intermédiaire de barres profilées amovibles de type ailettes d'aérodynamisme. Les barres de fixation des microphones latéraux sont fixées sur le châssis du véhicule, celle du microphone arrière est fixée sur l'attache remorque.

L'ensemble du dispositif a été conçu pour assurer une stabilité suffisante des microphones (faibles vibrations), une transparence acoustique et aérodynamique maximale, ainsi qu'une grande souplesse d'utilisation lors du montage - démontage des capteurs.

Le système d'acquisition embarqué à bord du véhicule, et développé par O1dB-METRAVIB, comprend 5 canaux : 3 pour les microphones de mesure, un pour l'information tachymétrique et le dernier pour l'enregistrement de commentaires éventuels de l'opérateur lors des mesures. La tachymétrie permet de séquencer l'intégration des signaux acoustiques tous les tours de roue, mais également de mesurer la vitesse moyenne et de localiser la zone de mesure. Ainsi à chaque tour de roue, on dispose d'un niveau de pression acoustique équivalent et de son spectre intégrés spatialement (et non temporellement) sur des tronçons de même longueur quelle que soit la vitesse du véhicule de mesure, et cela pour chacun des trois microphones. Une section routière est donc découpée en tronçons de même longueur sur lesquels on dispose de trois mesures acoustiques et d'une vitesse de circulation.

À noter que le déclenchement de l'acquisition peut s'effectuer par intervention manuelle de l'opérateur ou automatiquement par l'intermédiaire d'un capteur infrarouge fixé à l'extérieur du véhicule, lorsque ce dernier rencontre une surface rétro-réfléchissante (bande de type nid d'abeille en bordure de voie par exemple). Cette facilité permet d'une part de localiser précisément les différents événements acoustiques rencontrés, et d'autre part d'effectuer plusieurs passages tout en caractérisant exactement les mêmes tronçons routiers. Ces différents passages peuvent s'effectuer soit à la même vitesse pour obtenir un résultat moyen minimisant l'erreur systématique, soit à différentes vitesses pour déterminer la loi de variation du niveau sonore en fonction de la vitesse de circulation. La première procédure est utilisée dans le cas du contrôle de performances d'un revêtement spécifiées dans un cahier des charges, la seconde dans le cas d'une qualification de revêtement (étiquetage d'un produit).

Qualification de la méthode

Immunité au bruit aérodynamique

L'objectif des investigations menées était de connaître qualitativement et quantitativement les effets aérodynamiques au voisinage des microphones de mesure, afin de cerner le domaine de validité de la mesure de bruit de roulement, et d'optimiser le choix des protections anti-vent des microphones.

Dans ce dessein, l'équipe du Laboratoire régional des ponts et chaussées d'Autun a d'abord travaillé de façon statique en laboratoire, avec des matériels de prise de son et des géométries aussi proches que possible des montages existant sur le véhicule d'essais. Puis, le déplacement du véhicule a été simulé, par la génération d'un flux d'air variable (ventilateur) afin d'observer, mesurer et analyser, les phénomènes aéro-acoustiques induits. Ainsi, le bruit aérodynamique a été mesuré à

différentes vitesses de flux d'air pour plusieurs types de protections anti-vent des microphones : une boule anti-vent standard (B&K UA 237), une bonnette anti-vent et anti-pluie, une ogive anti-vent (B&K UA 386), une ogive anti-turbulence (B&K UA 436), une boule profilée (fabriquée par le LREP) (figure 2). On peut observer que le bruit aérodynamique est relativement élevé ; il peut atteindre 90 dB (A) à 100 Km/h, même en présence d'une boule anti-vent. Il suit une évolution logarithmique en fonction de la vitesse du flux d'air :

$$L_{aero} = a \log_{10}(V_{air}) + b$$

avec V_{air} la vitesse d'écoulement en Km/h, $a \approx 60$ à 65, et b dépendant du type de protection.

Les ogives anti-vent ou anti-turbulence sont moins efficaces pour réduire le bruit aérodynamique que la boule anti-vent standard et que la boule profilée réalisée par le LREP.

Des tests aérodynamiques intégrant les barres de maintien du dispositif sur le véhicule porteur ont permis de vérifier que l'influence de celles-ci sur les niveaux sonores mesurés est faible.

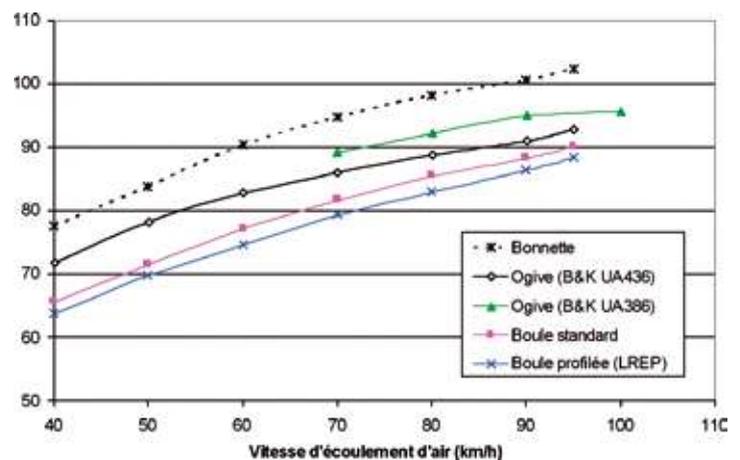


Fig. 2 : Niveaux de bruit aérodynamique en fonction de la vitesse pour différentes protections (LRPC Autun)

Enfin, des essais en dynamique ont été menés sur piste avec un véhicule d'essais, afin d'évaluer et valider les vitesses d'écoulement d'air autour des protections microphoniques. Il apparaît que la vitesse d'écoulement de l'air sur les microphones latéraux (n°1 et n°2, les plus exposés) est très proche de la vitesse du véhicule (figures 3 et 4).



Fig. 3 : Mesure in situ des vitesses d'écoulement d'air par tube de Pitot (LRPC Autun)

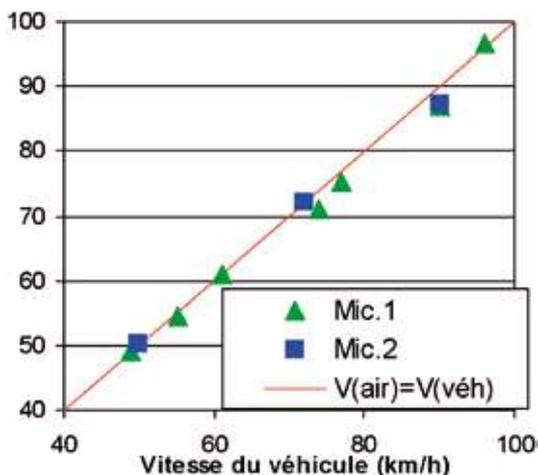


Fig. 4 : Vitesse d'écoulement d'air aux microphones latéraux en fonction de la vitesse du véhicule (LRA)

Enfin, ces recherches se concrétisent par l'édition de gabarits opérationnels, spécifiant les limites de validité des mesures de bruit de roulement, en fonction de l'évolution du bruit aérodynamique avec la vitesse du véhicule. Un exemple est présenté en figure 5 pour le bruit global mesuré avec une boule anti-vent standard : le résultat de la mesure de bruit de roulement doit se situer dans la partie supérieure (verte) pour que l'on soit sûr de ne pas être contaminé par le bruit aérodynamique. S'il se trouve dans la zone intermédiaire (vert hachuré), il y a pollution par du bruit aérodynamique et il convient de corriger le résultat final ou de rejeter la mesure.

Le même type de graphique et de raisonnement doit être tenu pour chaque bande de tiers d'octave, entre 400 Hz et 5 kHz, et pour chaque microphone. Jusqu'à présent, sur les revêtements de chaussée testés, les niveaux de bruit mesurés avec la boule anti-vent standard se situent dans la zone d'immunité au bruit aérodynamique : le bruit aérodynamique est négligeable par rapport au bruit de roulement.

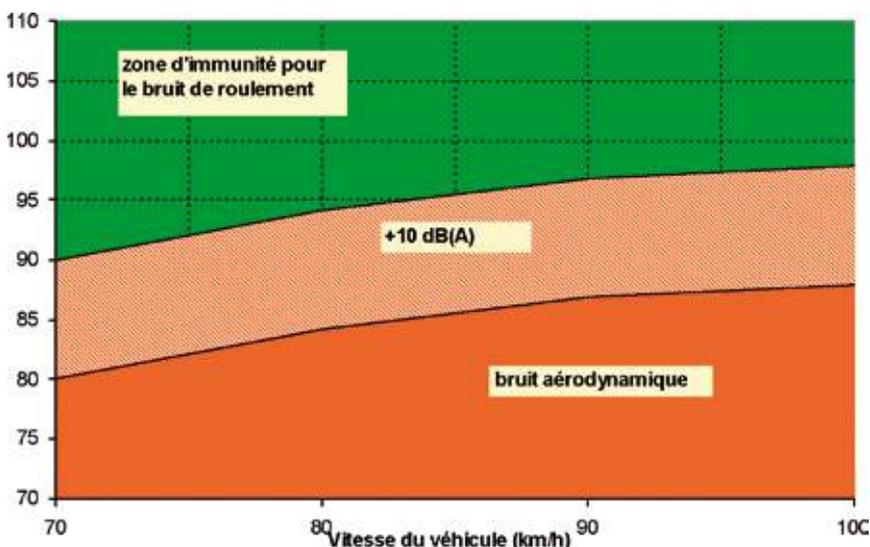


Fig. 5 : Exemple de gabarit pour vérifier l'immunité au bruit aérodynamique du bruit de roulement mesuré avec une boule anti-vent standard (LRPC Autun)

Immunité au bruit du moteur et de l'échappement

Des mesures de bruit de roulement en continu suivant différents rapports de boîte de vitesse ont été effectuées par deux véhicules Renault Scénic, l'un diesel (1.9 l) et l'autre essence (2.0 l). Les configurations de fixation, de signalisation du véhicule, et de système d'acquisition sont similaires. Les essais ont été réalisés sur une planche de 200 m de long avec revêtement fermé classique (BBSG 0/10). Deux passages ont été effectués à trois basses vitesses, 50, 60, et 70 Km/h, avec les rapports de boîte suivants : 3e, 4e, 5e et débrayé. Pour chaque rapport de boîte, une régression logarithmique complète est effectuée sur l'ensemble des niveaux mesurés par échantillon de tour de roue lors des 6 passages aux 3 vitesses. Les coefficients de corrélation R^2 sont supérieurs à 0,9.

Il apparaît sur la figure 6, que quels que soient la vitesse et le microphone, le niveau acoustique augmente lorsque le rapport de boîte de vitesse diminue, cette augmentation correspondant à une pollution par le bruit de la motorisation. La situation au point mort est supposée minimiser la contribution du moteur + échappement (on négligera les bruits de

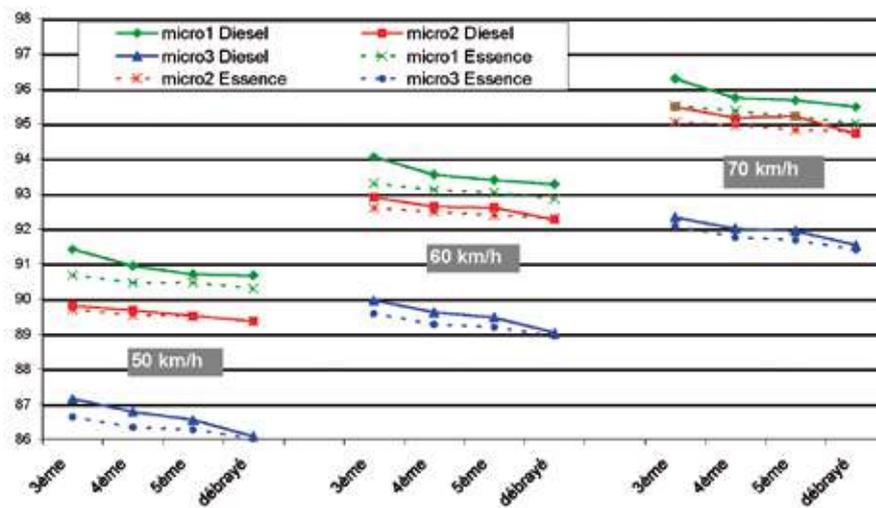


Fig. 6 : Niveaux de bruit en continu à basse vitesse pour différents rapports de boîte (LRPC Lille)

transmission mécanique), alors qu'elle est « maximale » au plus petit rapport de boîte. En fait, les niveaux sont quasiment identiques avec la boîte de vitesse débrayée, hormis pour le micro 1, plus influencé par le bruit moteur grâce à sa position. Les écarts entre 3e rapport de boîte et point mort sont inférieurs à 1 dB (A), même à 50 Km/h, et cela pour les 2 types de motorisation. Il peut donc en être conclu que la contribution du bruit du moteur est négligeable sur la mesure du bruit de roulement lorsque le véhicule est conduit au rapport de boîte optimal (i.e. 4e ou 5e rapport).

Les analyses spectrales de l'ensemble des passages confirment la similitude, avec cependant un pic fréquentiel du moteur diesel à 125 Hz. Ces basses fréquences ont une influence négligeable sur le niveau global en dB (A). Certains spectres font apparaître un pic aux environs de 400 Hz. Ce pic est attribué au rayonnement du pot d'échappement, car il apparaît surtout lorsque la charge du moteur est importante (accélération), et surtout au microphone n°3 (derrière le pneumatique), les positions latérales étant protégées par le pneumatique.

Le bruit émis par le moteur et le système d'échappement a donc été mesuré aux 3 positions de microphones, en fonction du régime moteur, lorsque le véhicule est à l'arrêt (absence de bruit de roulement). Les spectres de bruit mesurés au microphone n°3 sont présentés sur la figure 7 pour quelques régimes moteurs. À 4000 tours/mn, le niveau sonore peut atteindre 85 dB à 125 Hz et à 400 Hz. La première correspond à la fréquence fondamentale de rotation du moteur, et la seconde à une fréquence de résonance du pot d'échappement.

Ensuite, le régime moteur a été enregistré en fonction de la vitesse du véhicule en condition « normale » de circulation, c'est-à-dire à vitesse stabilisée et avec un rapport de boîte optimal. Il est ainsi possible d'estimer la contribution du bruit moteur + échappement en fonction de la vitesse du véhicule, et de vérifier si elle est inférieure au bruit de roulement mesuré. Ce bruit moteur varie linéairement avec la vitesse de rotation du moteur :

$$L_{\text{moteur}} = a S + b$$

avec S la vitesse de rotation du moteur en tours/mn, $a \approx 0,006$ à $0,008$.

Les limites d'usage imposées par ce bruit mécanique seront ajoutées à celles du bruit aérodynamique, et c'est en fait la valeur cumulée qui figurera dans les gabarits tels que présentés en figure 5. Mais l'analyse des données de bruit du moteur montre clairement, qu'excepté autour de 400 Hz pour le microphone n°3, les niveaux de bruit mécaniques sont largement inférieurs aux niveaux de bruit aérodynamique, mais il conviendra de refaire régulièrement ce type de test sur les véhicules pour en maîtriser le vieillissement.

Influence du pneumatique

Le pneumatique est naturellement un paramètre essentiel du bruit mesuré. Le parti a été pris de considérer un pneumatique « standard » du marché, et de le calibrer régulièrement sur une planche routière de référence. Cette procédure est utilisée avec satisfaction en France depuis plusieurs années pour la mesure du bruit de roulement au passage de véhicules maîtrisés (méthode « VI » décrite en [2]). Pour l'instant, les cinq prototypes de véhicules de mesure sont tous équipés du même pneumatique, mais d'autres pneumatiques du marché ont été testés, pour étudier l'effet du type (marque), et de la largeur du pneumatique sur différents revêtements. Les résultats globaux en dB (A) à 90 Km/h sur 5 revêtements différents et pour 12 types de pneumatiques différents sont présentés dans le tableau 1 page 32. Ils résultent d'une analyse par régression sur 8 passages à vitesses différentes, échelonnées entre 50 et 130 Km/h.

Les revêtements testés vont d'un bruyant (Enduit superficiel 0/14) à un assez peu bruyant (Béton Bitumineux Très Mince 0/6). Les résultats entre les pneumatiques testés présentent des écarts maximum entre 0,4 et 2,7 dB (A), et des écarts types inférieurs à 1 dB (A). Un exemple de résultats spectraux pour 7 pneumatiques récents sur un Béton Bitumineux Dense est présenté sur la figure 8, et montre qu'aucun effet spectral particulier n'est observé.

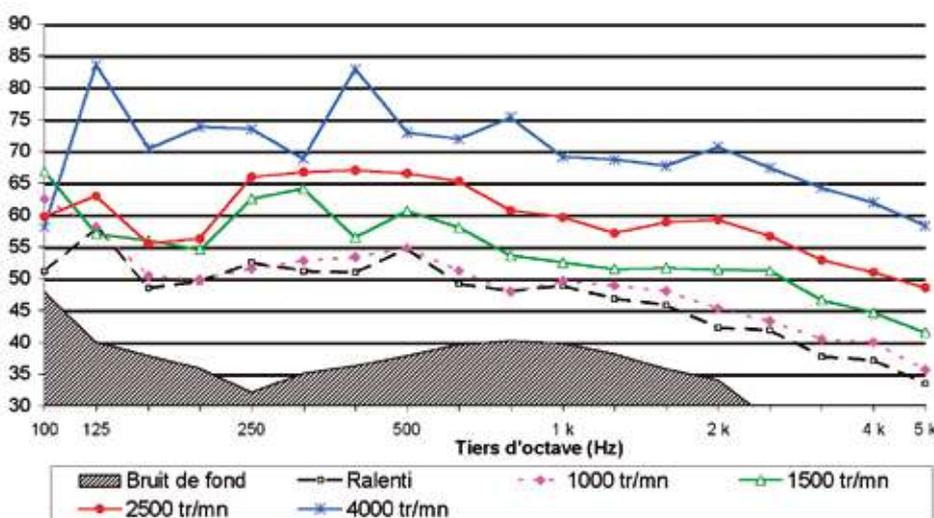


Fig. 7 : Spectre de bruit moteur+échappement au microphone n°3 (LCPC)

Revêtement	LAeq 90 Km/h [dB(A)]	Mic.1	Mic.2	Mic.3
Béton Bitumineux Dense (BBSG) 0/10 Piste LCPC	7 pneus (neufs) : 4 marques ; 3 largeurs (185-195-205)			
	Moyenne	98.2	98.0	94.7
	Écart maxi	0.8	1.2	1.5
	Écart type	0.3	0.4	0.5
Béton Bitumineux Dense (BBSG) 0/10 RN 422	4 pneus : 3 marques ; 3 largeurs (185-195-205)			
	Moyenne	100.6	100.7	98.6
	Écart maxi	0.9	1.1	1.4
	Écart type	0.4	0.5	0.7
Béton Bitumineux Mince (BBm) 0/10 Piste Lohr	6 pneus : 3 marques ; 3 largeurs (185-195-205)			
	Moyenne	98.2	98.2	96.2
	Écart maxi	2.7	1.8	2.3
	Écart type	1.0	0.7	0.8
Enduit Superficiel (ES) 10/14 RN 422	6 pneus : 3 marques ; 3 largeurs (185-195-205)			
	Moyenne	102.6	102.3	99.6
	Écart maxi	0.9	1	1.5
	Écart type	0.4	0.4	0.7
Béton Bitumineux Très Mince (BBTM) 0/6 Type 2 RN 420	3 pneus : 2 marques ; 3 largeurs (185-195-205)			
	Moyenne	96.7	97.8	93.6
	Écart maxi	0.4	0.5	1
	Écart type	0.2	0.3	0.5

Tabl. 1 : Niveaux de bruit à 90 Km/h avec différents pneus et revêtements (LCPC, LRPC Strasbourg)

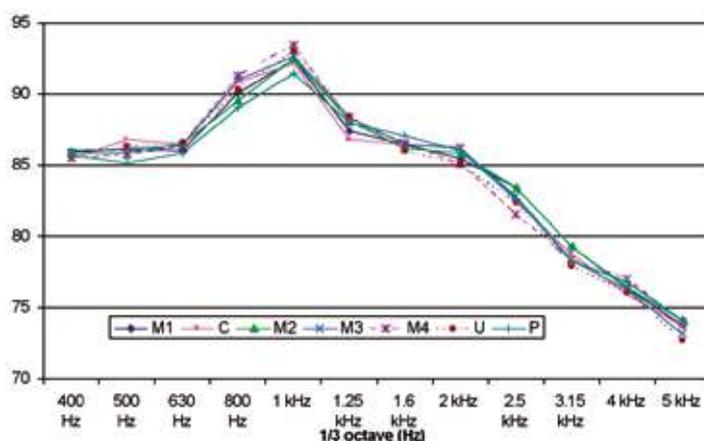


Fig. 8 : Spectres de bruit à 90 Km/h sur BBSG 0/10 pour différents pneus

L'effet de la température sur le bruit de roulement mesuré va également faire l'objet de recherches complémentaires. En effet, des recherches précédentes ont montré que le bruit de roulement mesuré en bordure de voie au passage de véhicules décroît linéairement lorsque la température de l'air augmente, à raison de - 0,1 dB (A) par °C pour un revêtement bitumineux dense, ce qui peut conduire à des variations de ce niveau de bruit allant jusqu'à 2,5 dB (A) entre 5°C et 30°C. Afin de comparer les performances des revêtements de chaussée, il est capital de ramener les mesures à une température de référence de 20°C par une loi de correction linéaire.

Il est donc important de vérifier si cette loi de correction reste valide pour la mesure en continu à proximité du pneumatique. À noter qu'une forte corrélation existant entre la température de l'air, celle de la surface de chaussée et de celle de la surface du pneumatique, le même type de loi linéaire entre bruit au passage et températures de surface peut être établie, avec des coefficients différents.

Tests complémentaires de qualification

Des tests sont en cours pour prouver l'immunité aux bruits extérieurs dus aux autres véhicules du trafic. Une première approche par simulation de perturbation sur des résultats de mesures réelles a été réalisée, et complétée par des mesures statiques de perturbations au droit des microphones de mesure sur le véhicule d'essais. Ces essais ont montré une pollution importante aux 3 microphones de mesures dès lors que le véhicule d'essais doublait un véhicule, mais une immunité au bruit des véhicules légers croisés par le véhicule d'essais. La situation est moins claire en ce qui concerne le croisement de poids lourds, et une expérimentation réalisée avec des poids lourds en conditions maîtrisées est en cours d'analyse. Les conclusions de ces investigations permettront d'affiner la méthodologie de traitement des données acquises sous trafic.

Fiabilité et pertinence de la méthode

Fiabilité

Une campagne d'essais croisés entre 5 laboratoires des ponts et chaussées a été organisée en juillet 2005. Elle visait à évaluer la répétabilité et la reproductibilité de la méthode dans deux de ses principales applications : la classification de revêtement et le contrôle de performances. Ainsi 3 revêtements sur piste non circulée

(BBSG, BBTMO/6, BBDr), 1 revêtement sur voie rapide (BBTMO/6, périphérique de Nantes) et 2 revêtements sur voies urbaines (BBTMO/10) ont été testés par chacune des équipes. Chaque série de mesure a été répétée trois fois pour tester la répétabilité. Les analyses devraient être terminées d'ici peu.

Différentiation de revêtements

La méthode ainsi définie et qualifiée doit répondre à l'objectif initial de qualification des performances acoustiques des revêtements de chaussée. Il est notamment important que cette méthode distingue avec suffisamment de précision les niveaux de performances sur la gamme des revêtements de chaussée existant en France. La figure 9 ci-dessous présente un exemple de mesure de bruit de roulement en continu sur un itinéraire de quelques kilomètres, comprenant une section avec un revêtement peu bruyant (Béton Bitumineux Très Mince de fine granulométrie), puis une section avec un revêtement traditionnel en Béton Bitumineux Semi Grenu, et enfin une section en Enduit Superficiel rugueux (ES 0/10) assez bruyant. Cet exemple illustre que les différents revêtements sont parfaitement identifiables par leurs caractéristiques acoustiques, et que l'écart observé entre le revêtement le plus bruyant et le moins bruyant est de 12 dB (A) environ.

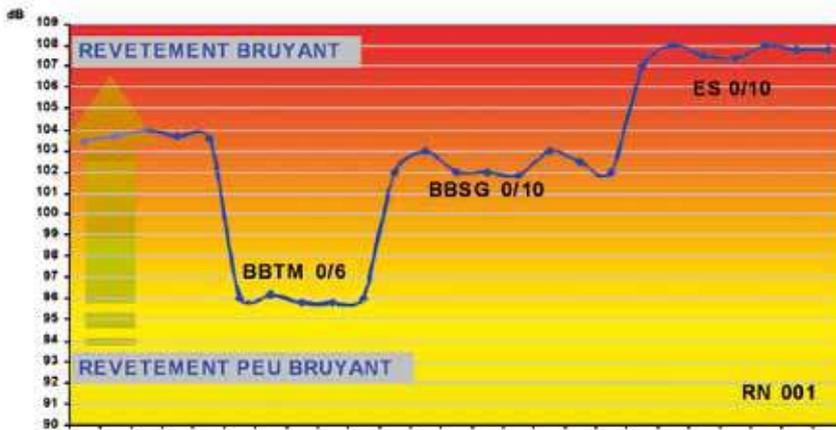


Fig. 9 : Exemple de mesure de bruit de roulement sur un itinéraire comportant plusieurs types de revêtements (LRPC Clermont-Ferrand)

Corrélation avec la méthode au passage

Une question importante qui se pose est celle de la comparabilité des résultats de cette nouvelle méthode avec ceux de l'ancienne - mais toujours d'actualité - méthode de mesure au passage ([2] et [3]). En d'autres termes, existe-t-il une corrélation entre les mesures en

continu sur le véhicule mobile, et les mesures au passage en bord de voie ? En réalité, les niveaux de bruit mesurés sont différents, et cette différence dépend du type de chaussée (selon qu'elle est poreuse ou non), de la position du microphone, et de la configuration du site de mesure. Les niveaux de bruit de roulement mesurés en continu sont beaucoup plus élevés parce qu'ils sont mesurés beaucoup plus près de la source sonore. Dans le cas d'une mesure en continu, cette source est un pneumatique alors que c'est un (voire plusieurs) véhicule dans son ensemble pour une mesure au passage. Et enfin, les chemins de propagation de l'onde sonore sont très différents dans les deux cas : dans le cas de la mesure au passage, l'onde sonore interagit avec l'environnement proche de la route et peut s'atténuer plus ou moins si la chaussée est poreuse ou en présence d'herbe sur le bas-côté.

Une approche par la modélisation de la propagation du son entre le pneumatique, les microphones de la mesure en continu, et le microphone de la mesure au passage, a été réalisée. Ce modèle assimile la source de bruit dans le cas de la mesure en continu à une source ponctuelle située au point de contact pneumatique-chaussée, et à 4 sources ponctuelles aux 4 points de contact pneu-chaussée dans le cas de la mesure au passage. Les atténuations en propagation sont calculées par une méthode semi-analytique de Rasmussen pour la position de mesure au passage, et par une méthode BEM pour la mesure en champ proche du pneumatique [4].

Ce modèle prédit une atténuation de l'ordre de 22 dB (A) pour un revêtement fermé, et de l'ordre de 24 à 25 dB (A) pour un revêtement poreux.

Des validations préliminaires ont été menées en comparant les niveaux de bruit de roulement en continu avec des mesures simultanées du bruit au passage du véhicule d'essai, sur des revêtements poreux et non-poreux. Les résultats expérimentaux ont montré un bon accord

avec les prévisions (Tableau 2), mais d'autres données expérimentales seront acquises dans les prochains mois pour confirmer et approfondir cette loi de passage. D'ores et déjà, il apparaît que les lois de passage de la mesure en continu à la mesure au passage sont complexes et nécessitent de connaître en détail les caractéristiques du matériau constituant le revêtement.

DL(90 Km/h) (dB (A))	Revêtement réfléchissant		Revêtement poreux	
	Mesure	Calcul	Mesure	Calcul
Micro 1	21.9	-----	21.9	-----
Micro 2	23.2	-----	24.6	-----
Moyenne ISO (Mic1+2)	22.5	22.0	23.3	24.7

Tabl. 2 : Filtres d'atténuation (différences de niveaux de pression acoustique) entre mesure en continu (CPX) et mesure au passage, sur 2 types de revêtements

Conclusions

Une nouvelle méthode de mesure du bruit de roulement en continu a été développée et qualifiée. Cette méthode servira pour l'évaluation des performances acoustiques des revêtements de chaussée. Cette méthode est certes moins réaliste que l'actuelle méthode au passage de véhicules (méthode VI), puisqu'elle n'évalue pas le bruit d'un trafic mais le bruit généré par un pneumatique particulier de véhicule léger. Mais elle en est complémentaire en permettant une évaluation à grand rendement, sans restriction de site, et en prenant en compte les variations le long d'un linéaire. Cette méthode constitue ainsi un outil intéressant pour le chercheur qui s'intéresse aux mécanismes de génération de bruit de roulement, pour l'acousticien qui veut introduire les caractéristiques acoustiques d'un revêtement dans sa prévision de bruit dans l'environnement, pour l'entreprise routière qui cherche à mettre au point des produits peu bruyants, pour le maître d'ouvrage qui cherche à contrôler les performances du revêtement qu'il a fait réaliser, et pour le gestionnaire de réseau qui souhaite disposer d'un diagnostic de l'état des revêtements de son réseau.

Remerciements

Ce projet a bénéficié du soutien financier du Ministère de l'équipement (DRAST, DR, SETRA, CERTU), du Ministère de l'écologie et développement durable (Mission Bruit), et de la Région des Pays de la Loire.

Références bibliographiques

- [1] ISO TS 11819-2 Draft document, "Acoustics : Measurement of the influence of road surfaces on road traffic noise – Part 2 : the close-proximity method", 2000.
- [2] AFNOR, NF S 31 119-2, « Acoustique : Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussées - Mesurages acoustiques au passage - Procédure « Véhicules Maîtrisés » », décembre 2000.
- [3] NF/EN/ISO 11819-1, « Acoustique : Mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation – Partie 1 : Méthode statistique au passage », septembre 1997.
- [4] F. Anfosso-Lédée, « Modelling the local propagation effects of tire-road noise », Internoise Congress, Prague, August 2004

