

Les revêtements de chaussée réduisant le bruit routier : le défi de la durabilité des performances

Fabienne Anfosso-Lédée
IFSTTAR-MAST
Allée des Ponts et Chaussées
CS 5004
44344 Bouguenais
E-mail : fabienne.anfosso@ifsttar.fr

Résumé

Les revêtements de chaussée dits phoniques ont un rôle important à jouer dans la lutte contre le bruit routier. Des produits avec des performances acoustiques remarquables ont été développés et plusieurs chantiers de mise en œuvre ont conduit à des réductions de bruit significatives. Cependant, le développement de ces revêtements routiers reste modeste, les prescripteurs craignant une réduction de leurs performances acoustiques au cours du temps. Les niveaux sonores obtenus sur des revêtements phoniques augmentent mais dans tous les cas, restent inférieurs à ceux obtenus sur des revêtements classiques de même âge. Le bénéfice acoustique apporté par ces revêtements reste donc bien réel même s'il s'amoindrit au cours du temps. L'article fait le point sur les phénomènes physiques en jeu, les performances des produits et leur évolution dans le temps.

Abstract

Low-noise road pavements can play an important role in the mitigation of road traffic noise. Products with high acoustic performance have been developed and several initiatives where such acoustic pavements were laid have led to significant noise reductions. However, the development of these pavements remains modest, mainly because prescribers fear a reduction in their acoustic performance over time. The sound levels obtained on acoustic pavements increase. But in all cases, they remain lower than those obtained on conventional coatings of the same age. The acoustic benefit provided by these pavements is then effective, even if it gets lower over time. The papers reviews the physical phenomena involved, the performance of products and their evolution over time.

Contexte

Le bruit dans l'environnement constitue un réel problème de santé publique. Une étude commandée par le Conseil National du Bruit et l'ADEME a estimé que 7 millions de personnes étaient exposées à des niveaux de bruit routier jugés dangereux en France, c'est-à-dire avec des niveaux d'exposition supérieurs à 65 dB(A) au cours d'une journée entière (Lden) et supérieurs à 55 dB(A) de nuit (Lnuit) [1]. L'étude a chiffré à environ 20 milliards d'euros par an le coût du bruit des transports, dont 89% seraient induits par le trafic routier, ce qui a été confirmé plus tard par le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) [2].

Dans ce contexte, la réduction du bruit routier revêt un caractère primordial et le recours à des revêtements de chaussée peu bruyants est un des leviers possibles.

Pourtant, l'essor de ces revêtements reste limité, d'une part à cause d'un manque d'information des maîtres d'ouvrage sur le sujet et d'autre part à cause de l'absence de garantie sur la pérennité des performances acoustiques de ces revêtements. L'article fait le point sur les phénomènes physiques en jeu, les performances des produits et leur évolution dans le temps.

Les revêtements de chaussée à faible émission sonore

La génération du bruit de contact pneumatique-chaussée

Le bruit de roulement est la source prédominante du bruit émis par un véhicule à des vitesses supérieures à environ 40 km/h (pour les véhicules légers) et 50 à 60 km/h (pour les poids lourds selon leur taille).

Les mécanismes physiques en jeu dans la génération de bruit de contact pneumatique-chaussée (souvent appelé « bruit de roulement ») sont maintenant bien connus, même si la modélisation complète de cette génération pose encore problème. On distingue ainsi :

- **Les mécanismes de type vibratoire:** Sous l'effet du roulement, la carcasse du pneumatique se déforme, les patins de gomme viennent frapper la chaussée et la bande de roulement se déforme sous l'indentation provoquée par les aspérités de la chaussée. Les vibrations radiales du pneumatique engendrées par ces déformations sont ensuite transmises à l'air sous forme de rayonnement acoustique. Les bruits générés sont riches en fréquences plutôt basses (inférieures 1 kHz). Ils sont influencés par les caractéristiques mécaniques du pneumatique mais aussi par la rugosité de la chaussée, appelée « texture ». On distingue en général plusieurs échelles de texture en relation avec la dimension horizontale des irrégularités, appelée longueur d'onde. Les mécanismes vibratoires sont influencés par la méga-texture du revêtement, correspondant à des longueurs d'onde de texture λ de 50 mm à 500 mm.
- **Les mécanismes aérodynamiques:** Dans la zone de contact, des cavités d'air se forment entre les motifs de la bande de roulement du pneumatique et les aspérités de la chaussée. L'air emprisonné dans ces cavités subit une forte surpression puis une dépression brusque qui provoque un bruit dit « de pompage d'air » ou « *air-pumping* », renforcé par les résonances de tuyaux dans les cavités du pneumatique. Les bruits générés sont riches en fréquences medium (de 1 kHz à 2 kHz environ). Ils sont très liés aux motifs de la bande de roulement du pneumatique, à la macro-texture de la chaussée (longueurs d'onde λ de 0,5 mm à 50 mm) ainsi qu'à son éventuelle porosité.
- **Les mécanismes de frottement:** Au cours du roulement, les pavés de gomme du pneumatique subissent des cycles d'adhérence/glissement, ce qui les fait vibrer tangentiellement et génère du bruit de type crissement (*stick/slip*). À ce phénomène s'ajoute celui des ruptures des chaînes moléculaires dans le mécanisme d'adhésion (*stick/snap*). Les bruits résultants sont riches en hautes fréquences (supérieures à 2 kHz) mais ils sont a priori peu énergétiques et ont été peu étudiés jusqu'à présent. Ils sont liés aux propriétés physico-chimiques de la gomme du pneumatique et du liant de chaussée, ainsi qu'à la micro-texture (longueurs d'onde inférieures à 0,5 mm) du revêtement.
- **L'amplification par effet dièdre:** Les bruits générés au contact entre le pneumatique et la chaussée sont amplifiés par les réflexions multiples de l'onde sonore entre la surface de la bande de roulement et la surface de chaussée qui forment un dièdre ou « cornet ». Cette amplification importante intervient sur l'ensemble du spectre mais peut être significativement atténuée lorsque la chaussée est poreuse et introduit de ce fait une absorption acoustique dans le dièdre.

Typologie des revêtements limitant l'émission de bruit

Il apparaît clairement que le développement de revêtements de chaussée à propriétés phoniques nécessite l'optimisation des deux principaux paramètres d'influence sur la génération de bruit que sont la texture et la porosité. Cette optimisation ne doit cependant pas se faire au détriment des autres propriétés fondamentales d'adhérence par temps de pluie et de durabilité mécanique.

En ce qui concerne la texture, les revêtements phoniques doivent concilier autant que possible une faible méga-texture ($\lambda \geq 50$ mm) et une forte macro-texture ($0,5 \text{ mm} \leq \lambda \leq 10$ mm). Ces conditions sont obtenues avec des bétons bitumineux utilisant des granulats de petite taille, 6 à 8 mm au maximum et même 4 mm dans le cas de BBTM (bétons bitumineux très minces). La mise en œuvre doit être suffisamment soignée, à l'aide de compacteurs à bille, de manière à obtenir une surface homogène et une texture « négative », c'est-à-dire « en creux » plutôt qu'en « pointes » (figure 1).

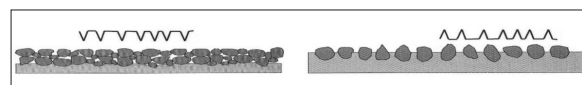


Fig. 1 : Texture négative typique d'un béton bitumineux (gauche) et texture positive typique d'un enduit superficiel (droite)
Typical negative texture of an asphalt concrete (left) and positive texture of a surface dressing (right)

La plupart des revêtements à propriétés phoniques ont une teneur en vides ou porosité significative, obtenue par une discontinuité dans la courbe granulométrique : 20 à 30% pour les bétons bitumineux drainants, 18 à 25% pour les bétons bitumineux très minces semi-poreux (BBTM classe 2), 10 à 20% pour les autres (BBTM classe 1). Cette porosité a un effet très favorable sur la réduction du bruit car elle atténue les phénomènes d'air-pumping et introduit des propriétés d'absorption sur la surface qui réduisent l'effet dièdre et plus généralement le bruit lors de sa propagation. Le coefficient d'absorption est typique d'une couche poreuse avec un pic principal à une fréquence qui dépend de l'épaisseur de la couche.

En raison de leur porosité, les matériaux de chaussées phoniques sont en général plus fragiles mécaniquement, ils résistent mal aux cisaillements (ne doivent pas être mis en fortes courbes ou en zones de freinage) et nécessitent l'utilisation de liants plus sophistiqués, modifiés par des polymères. Ils sont aussi sujets à un colmatage plus ou moins rapide qui en réduit les propriétés phoniques. Ainsi, les bétons bitumineux drainants qui sont les plus poreux, sont intéressants sur voie rapide en milieu interurbain (un trafic rapide a un effet décolmatant) mais ne sont pas adaptés au milieu urbain car ils s'y colmatent trop rapidement. Les bétons bitumineux très minces, semi-poreux et à faible granulométrie sont mieux adaptés au milieu urbain. Des techniques de décolmatage ont été testées, avec de l'eau sous pression ou des ultrasons mais elles ne se sont jamais développées du fait d'un coût élevé et de leur inaptitude à restaurer une absorption acoustique suffisante.

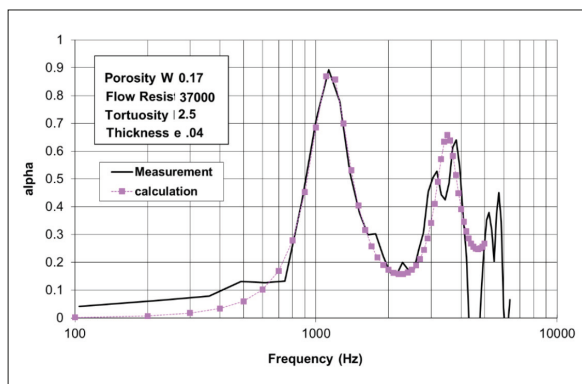


Fig. 2 : Coefficient d'absorption d'un béton bitumineux drainant de 4 cm d'épaisseur et 17% de porosité. Mesure au tube de Kundt (—) et modèle [3] (-.-)
 Sound absorption coefficient of a porous asphalt concrete 4 cm thick and 17% porosity. Measurements with Kundt tube (—) and model predictions [3] (-.-)

Méthodes de mesure

Il existe principalement deux méthodes de mesure du bruit de roulement pour caractériser in situ l'effet acoustique du revêtement de chaussée :

-La méthode de mesure au passage ou « SPB » (Statistical Pass-By): Un microphone placé en bordure de route (à 7,50 m de distance de l'axe de la voie et 1,20 m de haut) mesure le niveau maximum au passage d'un grand nombre de véhicules du trafic. L'analyse statistique par régression des niveaux sonores en fonction de la vitesse, permet de définir un niveau sonore de référence à une vitesse de référence pour différentes catégories de véhicules (traditionnellement véhicules légers et poids-lourds). La méthode est bien maîtrisée depuis de nombreuses années et fait l'objet de la norme NF EN ISO 11819-1.

- La méthode de mesure en continu ou « CPX » (Close ProXimity): Un microphone embarqué sur un véhicule d'essais à quelques centimètres d'un pneumatique en roulement mesure continuellement le bruit et la vitesse du véhicule de façon synchronisée. L'analyse statistique par régression des niveaux sonores en fonction de la vitesse, permet également de définir un niveau sonore de référence à une vitesse de référence, mais aussi une estimation de l'homogénéité de cette propriété acoustique le long d'un linéaire routier. Cette méthode est plus récente, elle est très sensible au type de pneumatique utilisé et un consensus international sur la question n'a abouti qu'en 2017 avec la publication de la norme NF EN ISO 11819-2.

Ces deux méthodes sont complémentaires mais la relation entre les deux n'est pas encore clairement établie. La méthode SPB est cependant de moins en moins utilisée au profit de la méthode CPX plus pratique, plus rapide et moins ponctuelle. En France, un travail de calibration des différents appareils est en cours [4]

Performances des revêtements phoniques

Une importante base de données a été constituée depuis une vingtaine d'années, regroupant l'ensemble des mesures SPB réalisées par le Cerema sur des revêtements routiers en France (on dispose à ce jour de trop peu de données mesurées avec la méthode CPX). La base est gérée par le Laboratoire de Strasbourg du Cerema qui édite régulièrement des analyses statistiques. La figure 3 présente une exploitation de la base pour un trafic de véhicules légers à la vitesse de référence de 90 km/h sur différents revêtements routiers de tous âges. Ces revêtements sont différenciés par leur type (BBTM, BSG, ESU, etc.) et par des chiffres indiquant la taille des granulats utilisés (ex. 0/10 indique des granulats entre 0 et 10 mm).

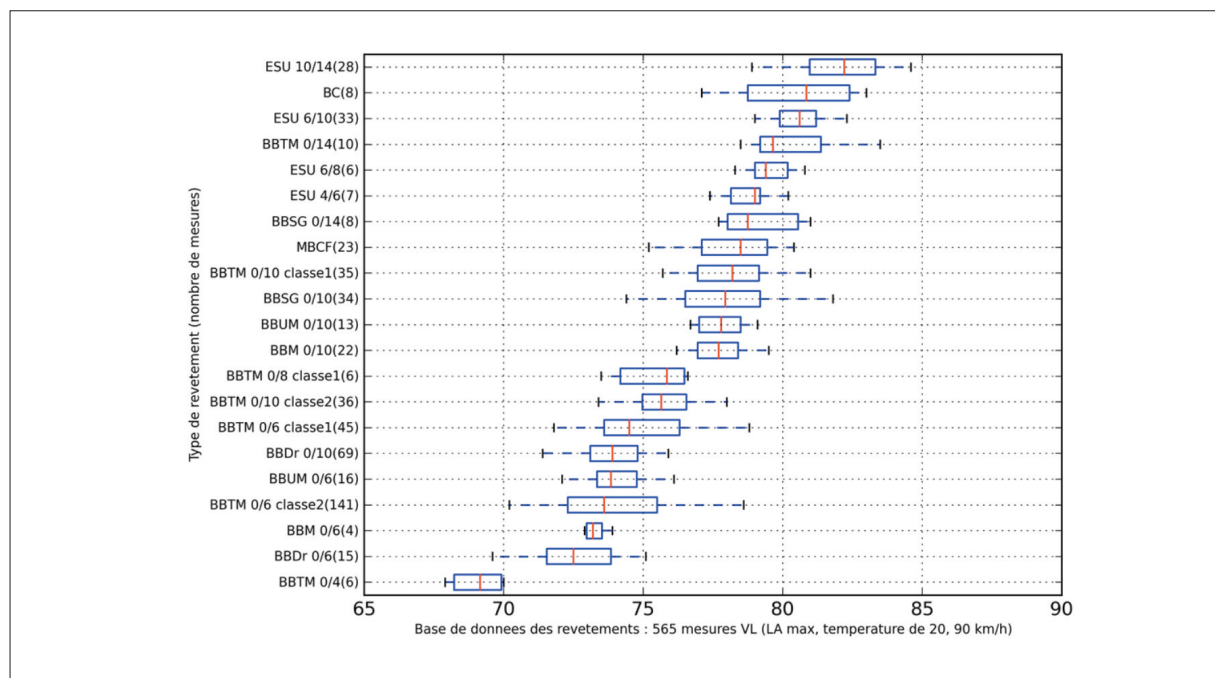


Fig.3 : Base de données du Cerema Strasbourg. Véhicules légers à 90 km/h
 Rolling noise data base from Cerema Strasbourg. Light vehicles at 90 km/h

Entre parenthèses figure le nombre de sections routières mesurées. Le graphique représente de façon classique les niveaux sonores minimum, maximum, les 1^{er} et 3^e quartiles ainsi que la médiane (barre rouge).

Sur l'importante gamme de revêtements disponibles en France, l'enjeu sonore entre les revêtements les plus bruyants et les moins bruyants est d'une douzaine de décibels. La forte variabilité de niveaux sonores pour un même type de revêtements est également un élément important. Cela signifie que la simple mention du type de revêtement ne permet pas de préjuger d'une performance acoustique certaine, en raison de la variabilité des constituants de base (provenance des granulats notamment), des conditions de mise en œuvre, du vieillissement plus ou moins important de certaines planches, etc. Enfin, une analyse plus fine du graphique montre que, conformément à ce qui a été dit en section 2.2 :

- Pour un même type de revêtement (ex. BBTM), plus la taille maximum des granulats est petite (ex. 14 > 10 > 6 mm), moins bruyant est le revêtement
- Pour une même taille maximum de granulat (ex. 10 mm), plus la technique est poreuse (ex. BBDr > BBTM classe 2 > BBTM classe 1), moins bruyant est le revêtement

Une exploitation de la base de données pour le trafic de poids-lourds donne un classement des techniques de revêtements similaires, mais avec des écarts sonores moindres entre techniques.

La durabilité des performances des revêtements phoniques

Un essor encore timide des revêtements phoniques

On peut s'étonner qu'avec des performances aussi marquées, les revêtements phoniques ne soient pas plus répandus. En 2014, le Groupe National sur les Caractéristiques de Surface (GNCDS) de l'IDRRIM¹, réunissant des industriels de la route, des maîtres d'ouvrage (services de l'État, des départements et des villes) et des experts, a conduit une enquête nationale qui a confirmé que le bruit est bien une préoccupation réelle des gestionnaires de réseaux mais que très peu d'entre eux lancent des marchés de travaux pour mettre en place des revêtements phoniques [5]. L'enquête a pointé plusieurs explications dont les principales sont : un manque d'information des gestionnaires de réseaux, l'absence de garanties sur la pérennité des performances acoustiques des produits et enfin l'absence d'obligation réglementaire ou de référentiel normatif pour valider les performances de ces produits. Le GNCDS s'est alors lancé dans la rédaction d'un guide d'état de l'art sur le bruit de roulement (en cours de publication) pour mieux informer les gestionnaires. Il travaille également au développement d'un cadre normatif dans le cadre des travaux européens sur la question.

Néanmoins, plusieurs initiatives ont été menées récemment aux abords des grandes agglomérations, visant à mettre en œuvre des enrobés phoniques, ponctuellement ou même parfois de façon plus systématique. C'est le cas notamment en Région parisienne, où des expérimentations sur le boulevard périphérique en 2012 ont abouti à des réductions sonores conséquentes et ont suscité un intérêt

particulier. Des revêtements peu bruyants ont alors été déployés plus largement, jusqu'à couvrir en 2019 la moitié du périphérique, sur les zones à forte concentration d'habitations. Plus généralement en Île de France, l'État et la Région ont posé plus de 30 km d'enrobés phoniques sur les autoroutes et routes nationales à titre expérimental, même s'ils sont bien conscient de devoir les renouveler plus rapidement que les autres revêtements plus traditionnels.

Une prévision difficile de la durabilité des revêtements

Il reste très difficile à ce jour de prévoir précisément comment et de combien une section routière va évoluer dans le temps. Le niveau de bruit de roulement augmente progressivement dans le temps à cause de l'usure de la surface sous l'effet du trafic, aux dégradations liées à l'agressivité du trafic et des conditions atmosphériques (provoquant des arrachements, des fissures, des nids-de-poules, etc.). Les interventions humaines, notamment en milieu urbain (accès aux réseaux souterrains, réparations de voirie, événements accidentels, ...) participent également beaucoup à l'augmentation du bruit de roulement.

Les revêtements phoniques voient leurs performances acoustiques se dégrader plus rapidement, sous l'effet supplémentaire du post-compactage et du colmatage. Ils sont aussi souvent considérés comme plus fragiles du fait de leur teneur en vide importante, qui peut conduire à une durée de vie moindre si on ne prend pas garde à utiliser des constituants performants (liants modifiés), à étudier une formule adéquate et à la mettre en œuvre de manière très soignée sur un support sain et étanche.

Une analyse statistique a été menée sur les sections routières de la base du Cerema Strasbourg ayant fait l'objet d'un suivi acoustique sur plusieurs années. Elle montre sur deux techniques peu bruyantes une augmentation moyenne de +0,5 dB(A) par an de 1 à 10 ans pour le BBDr 0/10 et de +0,8 dB(A) par an de 2 à 9 ans pour le BBTM 0/6 classe 2 (figure 4). Ces résultats sont cohérents avec ceux publiés dans d'autres pays européens. Les comportements individuels de certaines sections routières sont cependant très variables autour de cette tendance. Certaines évoluent rapidement puis se stabilisent, d'autres restent stables plusieurs années puis se dégradent tardivement, d'autres évoluent régulièrement, sans explication particulière.

Le suivi acoustique dans le temps effectué par Bruitparif sur la première section expérimentale du périphérique parisien met en lumière l'effet du trafic en différenciant l'évolution acoustique sur les différentes voies de circulation (figure 5, page suivante). Les gains ont été mesurés à l'aide de la méthode CPX à 70 km/h. Ces gains sont importants (5 à 8 dB(A)) sur le boulevard intérieur (BPI) recouvert d'un BBTM 0/6, et encore davantage (7 à 10 dB(A)) sur le boulevard extérieur (BPE) recouvert d'un BBTM 0/4 avec des granulats plus fins. Après 2 ans, ces gains diminuent significativement, avec une évolution plus prononcée sur les voies lentes. La diminution se stabilise les 3 années suivantes. Les pertes de performances acoustiques pour ces produits sur ce site sont d'un ordre de grandeur de 0,5 à 0,6 dB(A) par an sur voie rapide et de 0,9 à 1,0 dB(A) par an sur voie lente, avec une évolution temporelle différenciée.

1- Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité.
<https://www.idrrim.com/>

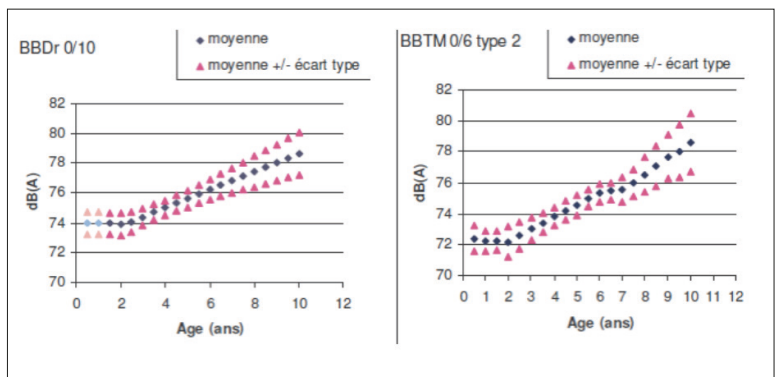


Fig. 4 : Niveau de bruit de roulement au passage à 90 km/h de véhicules légers en fonction de l'âge du revêtement. Moyenne sur au moins 5 sections suivies en BBDr 0/10 (gauche) et BBTM 0/6 classe 2 (droite). Source Cerema Strasbourg
SPB noise of light vehicles at 90 km/h as a function of road surface age. Average on at least 5 road sections in Porous Asphalt 10 (left) and Thin Layer semi Porous Asphalt 6 (right). Credit Cerema Strasbourg

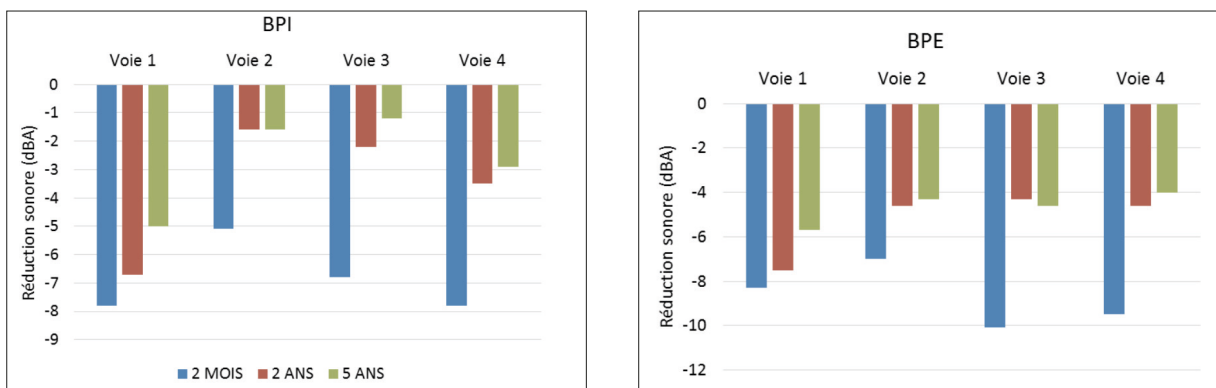


Fig. 5 : Réduction sonores au cours du temps sur le boulevard périphérique parisien intérieur (gauche) et extérieur (droite) par mesure CPX à 70 km/h. Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente. Source Bruitparif
Noise reduction over time on Paris inner (left) and outer (right) ring road. CPX measurements at 70 km/h. Lane (Voie) 1 is the fastest, lane 4 the slowest. Credit Bruitparif

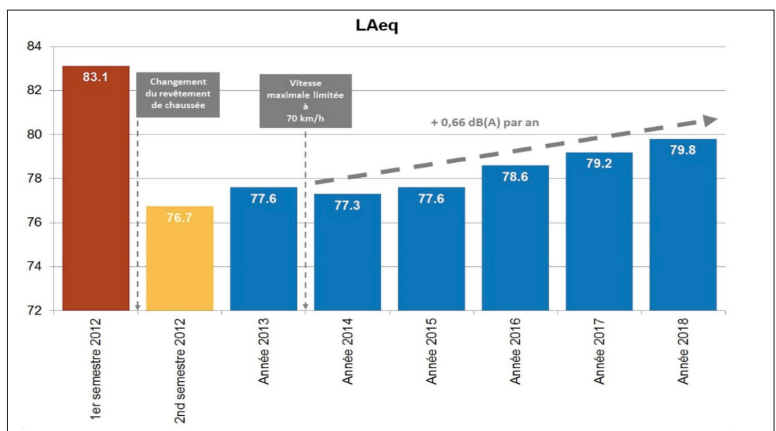


Fig. 6 : Boulevard périphérique parisien. Evolution du niveau L_{Aeq} moyen. Source Bruitparif
Paris ring road. Evolution of average noise level L_{Aeq} . Credit Bruitparif

Les niveaux de bruit L_{Aeq} moyens journaliers sont suivis depuis l'origine par Bruitparif sur une station de mesure située sur le terre-plein central (figure 6). En janvier 2014, la vitesse réglementaire de circulation a été abaissée de 80 à 70 km/h. Le bénéfice acoustique de cette réduction de vitesse reste faible par rapport à celui du changement

de revêtement. Mais depuis cette date, les conditions de circulation restent inchangées et une augmentation annuelle du niveau sonore de l'ordre de 0,6 à 0,7 d(A) a été observée. Malgré cette diminution des performances acoustiques du revêtement de chaussée, le niveau sonore reste inférieur d'environ 3,3 dB(A) par rapport à la situation initiale.

Conclusion

Les revêtements de chaussée phoniques sont une technique de réduction du bruit routier pertinente sur voie rapide (à partir de 50 km/h). Leur utilisation peine cependant à se développer en partie parce que les maîtres d'ouvrages craignent une réduction de leurs performances acoustiques au cours du temps. Des pertes de performance de l'ordre de 0,5 à 1 dB(A) par an en moyenne sont couramment observées mais les comportements individuels peuvent varier autour de cette tendance, en fonction de la qualité des produits et de leur mise en œuvre, mais aussi en fonction du trafic, de sa vitesse et de sa composition. Cependant, malgré cette dégradation, les niveaux sonores obtenus sur des revêtements phoniques restent inférieurs à ceux obtenus sur des revêtements classiques de même âge et le bénéfice acoustique apporté par ces revêtements reste bien réel même s'il s'amointrit au cours du temps.

Des experts acousticiens, des entreprises routières et des maîtres d'ouvrages se sont associés à travers le GNCDs de l'IDRRIM pour rédiger un guide qui devrait paraître très bientôt. Ce guide dresse un état de l'art complet sur le sujet et rassemble des recommandations à l'attention des maîtres d'ouvrages, prescripteurs et bureaux d'études pour rédiger des spécifications dans les marchés de travaux, fixer des exigences et préconiser des méthodes de vérification. Il est attendu que cet éclairage facilite l'emploi de ces techniques à plus grande échelle dans le but de mieux protéger les populations du bruit routier.

Références bibliographiques

[1] EY (2016), Le coût social des pollutions sonores – Analyse bibliographique des travaux français et européens, Étude pour le CNB et l'ADEME, mai 2016

[2] C. Avezard, S. Leblanc, M. Rostagnat, *Réflexion prospective sur une politique de réduction des nuisances sonores*, rapport du CGEDD n° 011057, 2017

[3] J.F. Hamet, M. Bérengier, *Acoustical characteristics of porous pavements: A new phenomenological model*, Proceedings of Internoise'93, Leuven, Belgium, 1993

[4] J. Lelong, F. Anfosso Lédée, *Vers une caractérisation harmonisée des propriétés phoniques des revêtements de chaussée : essais croisés CPX sur véhicules légers*. Acoustique & Techniques n°90, 2019

[5] *Enquête sur le critère bruit de roulement dans les marchés d'entretien ou de construction de chaussées*, Rapport du sous-groupe « bruit » du Groupe National Caractéristiques De Surface, IDRRIM, 2014