



HAL
open science

Revêtements de chaussée peu bruyants pour le milieu urbain : bilan du projet ODSURF

Michel Berengier, Johann Gusia

► **To cite this version:**

Michel Berengier, Johann Gusia. Revêtements de chaussée peu bruyants pour le milieu urbain : bilan du projet ODSURF. CFA 2016 - Congrès Français d'Acoustique, Apr 2016, LE MANS, France. 7p. hal-01393880

HAL Id: hal-01393880

<https://hal.science/hal-01393880>

Submitted on 8 Nov 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.

**Revêtements de chaussée peu bruyants pour le milieu
urbain : bilan du projet ODSURF**

M. Berengier^a et P. Gusia^b

^aIFSTTAR - AME - LAE - LUNAM Université, Centre de Nantes - Route de Bouaye,
Allée des Ponts et Chaussées - CS4, 44344 Bouguenais, France

^bBASt - Referat GS2 - Betonbauweisen, Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach,
Allemagne

michel.berengier@ifsttar.fr



Le projet ODSURF, financé par l'ADEME et la BAST en Allemagne, a été consacré à l'élaboration et à la réalisation de nouvelles technologies de revêtements de chaussée à faible bruit et de nouveaux matériaux adaptés au milieu urbain. Des solutions originales ont été imaginées, mises en œuvre sur site et testées. Parallèlement, de nouveaux modèles relatifs aux phénomènes vibratoires, de pompage d'air et d'effet dièdre ont été développés pour mieux caractériser les divers phénomènes physiques au cours du roulement d'un pneumatique sur une chaussée texturée. Outre l'approche modélisation, ce projet a fait l'objet d'une forte composante expérimentale nécessaire à la validation des modèles et à la classification acoustique des revêtements routiers. Les mesures présentées ont été réalisées sur piste d'essai et sur les sites où ont été mis en œuvre les revêtements optimisés de conception classique ou industrielle, en France et en Allemagne. Enfin, une base de données commune appelée « DEUFRABASE » est présentée. Elle regroupe les émissions sonores produites par le roulement de véhicules légers et lourds sur un large panel de revêtements routiers français et allemands pour diverses configurations de propagation. Mise à jour en fin de projet, cette base sera prochainement accessible gratuitement en ligne.

1 Introduction

Au cours des dernières années, divers documents ont été publiés en Europe afin d'établir une stratégie de réduction du bruit lié au transport routier d'au moins 30% pour les prochaines années. A cet effet, plusieurs villes européennes se sont montrées intéressées par l'utilisation de revêtements de chaussée peu bruyants pour répondre aux exigences de la Directive 2002/49/CE. La diminution du bruit à la source est la première étape dans le processus de réduction du bruit ressenti par les riverains. Une partie importante de l'émission sonore étant due au bruit de roulement, même en milieu urbain, deux solutions s'offrent à nous : réduire la part due au pneumatique ou celle due à la chaussée. Dans ce projet, nous ne traiterons que ce dernier aspect.

Dans le passé, des revêtements poreux ont été testés en milieu urbain. Même si leurs effets étaient substantiels lors de leur mise en œuvre, le colmatage progressif de la structure poreuse réduisait considérablement les gains après quelques années de service car la faible vitesse des véhicules n'assurait pas l'auto-nettoyage de la couche poreuse. En environnement urbain, il devenait donc urgent de faire des recherches sur des structures de chaussée denses et à faible bruit. Quelques projets intéressants ont montré la faisabilité d'un tel type de surface sans pour cela que des performances comparables à des structures poreuses aient pu être réellement atteintes.

Suite aux résultats obtenus lors du précédent projet DEUFRAKO-P2RN « *Prediction and Propagation of Rolling Noise* » [1], une texture superficielle de chaussée théorique, dense, produisant un bruit de roulement minimal, comparable à un revêtement poreux (BBDr) monocouche a été conçue. La texture ainsi obtenue étant très différente des textures conventionnelles, la réalisation *in-situ* de celle-ci avec des techniques et des matériaux conventionnels n'a pas produit les résultats espérés.

Afin de garantir une qualité constante de la couche de surface, des techniques de préfabrication ont été favorisées dans le projet ODSURF. De telles solutions permettent d'une part, un meilleur entretien et d'autre part, une réparation plus aisée après travaux. Les solutions existantes demandent à être optimisées. La partie conception et fabrication a été principalement prise en charge par les partenaires allemands alors que les partenaires français ont plus été impliqués sur l'aspect modélisation, l'aspect validation expérimentale après mise en œuvre et l'aspect comparaison vis-à-vis de techniques optimisées plus conventionnelles.

Enfin, la mise à jour de la base de données DEUFRABASE, développée dans le cadre du précédent projet P2RN, a été réalisée.

2 Production de revêtements de chaussées optimisés [2]

2.1 Contribution allemande

D'un point de vue théorique, et conformément aux résultats obtenus au cours du projet P2RN [1], il est possible de créer un revêtement de chaussée dense présentant une texture optimisée apte à produire des niveaux sonores du même ordre de grandeur, voire même plus faibles, qu'un revêtement poreux. Les techniques conventionnelles mises en œuvre lors du projet P2RN ont montré leurs limites. De nouveaux concepts ont dû être développés afin de pouvoir approcher les valeurs prévues par le calcul.

Ces nouveaux concepts sont basés sur des surfaces de chaussées innovantes, préfabriquées, qui répondent à plusieurs critères d'acoustique, de sécurité et de durabilité. Afin de réaliser ces objectifs, un appel d'offre a été lancé par le financeur allemand (l'Institut fédéral des routes – BAST avec l'appui du Ministère des transports) auquel ont répondu divers industriels, bureaux d'étude et universités. Trois projets ont été retenus :

- une couche de roulement à faible bruit utilisant des structures préfabriquées en béton de ciment à haute performance (UHPC) présentant une texture proche de celle déterminée dans le projet P2RN ;
- une surface de chaussée composée de pavés en béton de ciment poreux ;
- une couche de roulement utilisant des matériaux synthétiques.

Les trois procédés ont été mis en œuvre sur des sites expérimentaux afin d'être testés, mais seuls les deux premiers ont pu être mesurés pour des conditions de circulation proches des conditions réelles en milieu urbain et périurbain. En complément des essais acoustiques, des mesures de texture de surface et d'adhérence ont été réalisées afin de vérifier les critères de sécurité.

Dans le projet UHPC [3], il a été fait l'hypothèse que les chaussées en béton de ciment classique étaient plus durables mais plus bruyantes. Il a donc été envisagé de travailler avec des bétons produits avec des granulats très fins et une texture optimisée. Cette dernière (cf. Figure 1) a été conçue à partir du logiciel SPERoN [4] et après de multiples tests, la solution choisie a été réalisée sous forme de plaques de 5m x 3,5m. Les tests en laboratoires effectués, un chantier expérimental a été réalisé sur une aire de repos de l'Autoroute A45 en Rhénanie du Nord – Westphalie. Les mesures de bruit en continu (méthode CPX

– ISO/DIS 11819-2) et au passage d'un véhicule léger – VL (méthodes CPB – NFS 31119-2 ou Coast-By (CB) – 2003/43/CE) ont été réalisées à la fois par les équipes française et allemande pour diverses vitesses dont des vitesses urbaines et ont ainsi pu être comparées aux revêtements de référence français et allemands. Les résultats acoustiques sont résumés dans le Tableau 1.

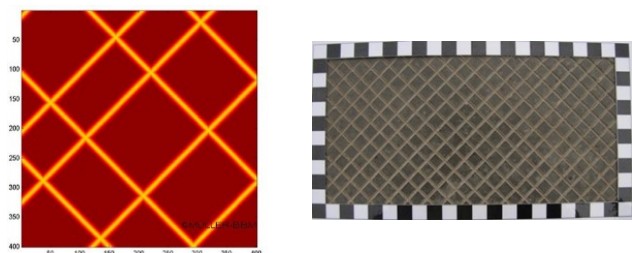


Figure 1: Texture théorique (à gauche) et aperçu de la surface de l'UHPC dans un cadre de 10 cm x 20 cm (à droite).

Tableau 1 : Résultats de mesure sur le site de l'autoroute A45. (D) : Résultats allemands ; (F) : Résultats français
* : Résultats issus du projet P2RN [1].

	Revêtement UHPC	Référence Allemande DAC 0/11	Référence Française BBSG 0/10
CPX (VL) 50 km/h	(D) 91,6 dBA	92,3 dBA	90,8 dBA
	(F) 91,1 dBA		
CPB (VL) 50 km/h	(D) 71,7 dBA	73,8 dBA*	69,8 dBA
CPB (VL) 90 km/h	(D) 77,7 dBA	81,5 dBA*	78,8 dBA
CPB (VL) 120 km/h	(D) 80,6 dBA	85,2 dBA*	82,0 dBA

De ces résultats de mesure sur le revêtement UHPC nous pouvons en tirer les conclusions suivantes :

- Concernant la méthode CPX, bien qu'ayant utilisé des équipements différents, aux incertitudes de mesure près (± 1 dBA), des résultats cohérents ont été trouvés entre les différentes équipes.
- Concernant la méthode CPB, n'apparaissent que les résultats allemands car un bruit de fond trop important lors des mesures réalisées par l'équipe française n'a pas rendu les résultats exploitables.
- Quelle que soit l'équipe ayant réalisé les mesures, l'écart constaté, voisin de 21 dBA, entre la mesure au passage en bord de voie (CPB ou CB) et la mesure en continu proche du pneumatique (CPX) confirme les résultats de la littérature [6].
- Par rapport à la référence allemande, on enregistre un gain compris entre 2 et 5 dBA suivant la méthode de mesure choisie et la vitesse ; ce qui est conforme au cahier des charges.
- Par rapport à la référence française qui est un revêtement de la classe intermédiaire dans la classification française [7], aux incertitudes de mesure près, les niveaux sonores mesurés sont comparables. Ceci est intéressant puisque en moyenne, les revêtements conventionnels en béton de ciment produisent un bruit supérieur de 3 dBA.

Dans le cadre du projet relatif à une surface de chaussée composée de pavés en béton de ciment poreux, un système à texture optimisée permettant de réduire les phénomènes vibratoires et le phénomène de pompage d'air a été tout d'abord étudié à partir du logiciel SPERoN [4]. Une première solution avec texture optimisée prenant en compte également des critères d'adhérence, de résistance au roulement pour minimiser la consommation et de coût de production a été élaborée et mise en œuvre sur un démonstrateur. Un gain de 2 dBA a été mesuré par rapport aux pavés classiques à la vitesse urbaine de 30 km/h. Le niveau sonore obtenu étant encore trop élevé par rapport aux objectifs fixés, une seconde solution a été envisagée en agissant sur l'absorption du matériau. Des pavés en béton de ciment poreux à granularité fine (cf. Figure 2) ont donc été imaginés, réalisés et expérimentés dans une rue du centre-ville d'une commune de Basse-Saxe.



Figure 2 : Pavés en béton de ciment poreux.

Les mesures de bruit au passage effectuées par un partenaire allemand, à une vitesse de 30 km/h compatible avec des conditions de conduite liées à la configuration du site, ont fourni un niveau sonore L_{Amax} voisin de 59 dBA. Ceci correspond à une réduction de l'ordre de 7 dBA par rapport à la référence allemande (DAC 0/11) et de 3-4 dBA par rapport à la référence française (BBSG 0/10) encore communément utilisée en milieu urbain. Ces premiers résultats sont encourageants. Pour des situations urbaines particulières où la vitesse est limitée, cette solution pourrait être une alternative intéressante.

Concernant le troisième projet, l'utilisation de matériaux synthétiques permet de réduire substantiellement les phénomènes vibratoires. Plusieurs variantes de chaussée ont été réalisées en laboratoire et testées. Les premiers résultats avec la variante retenue affichent un gain voisin de 6 dBA, pour un pneumatique de véhicule léger, par rapport à la référence allemande. Bien qu'encourageants, ces résultats demandent à être confirmés pour des conditions réelles de circulation. Des tests de durabilité devront être effectués en parallèle car la pérennité de tels matériaux synthétiques reste encore à évaluer.

2.2 Contribution française

Ces dernières années, les entreprises françaises se sont fortement impliquées dans des programmes de recherche relatifs à l'amélioration des caractéristiques acoustiques des couches de roulement vis-à-vis du bruit de contact pneumatique-chaussée. Les sociétés partenaires du projet ont mis à disposition du consortium divers chantiers sur lesquels ont été répandues des structures de chaussée innovantes à faible bruit afin de les tester et de comparer à terme leurs caractéristiques à celles des revêtements français de référence et des structures innovantes allemandes brièvement présentées au paragraphe précédent.

Les revêtements mis en œuvre sont des bétons bitumineux très minces (BBTM) fabriqués à partir de granulats de petite dimension 0/4 mm et 0/6 mm.

La planche d'essai en BBTM 0/4 est localisée sur un boulevard périurbain en 2x2 voies : la RD 670 située à Mouvoux (59) (Figure 3). La vitesse réglementaire du site est de 70km/h. La planche d'essai d'environ 500 m de long a été construite en 2009. Elle avait donc environ 5 ans lors de la campagne d'essais en juillet 2014. Ce BBTM 0/4, est un revêtement de chaussée optimisé sur le plan acoustique de par sa granulométrie en 0/4 mm et son réseau de vides communicants fins et de forme régulière. Sur ce site ont été réalisées des mesures de texture 3D [8], d'absorption par la méthode normalisée ISO 13472-1 et de bruit de roulement par les deux méthodes CPX et CB.

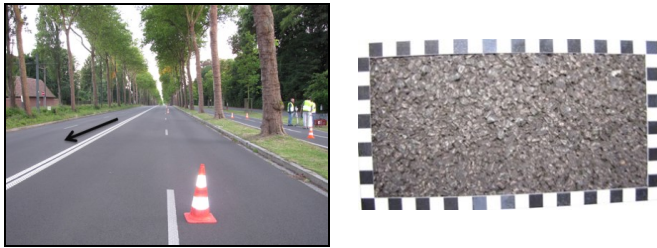


Figure 3 : Site d'essai avec indication de la voie et du sens de mesure par une flèche (à gauche) et aperçu de la surface du BBTM 0/4 dans un cadre de 10 cm x 20 cm (à droite).

La planche d'essai en BBTM 0/6 était localisée sur la RD 911, construite en 2013 pour contourner Villeneuve-sur-Lot (47) (Figure 4). Il s'agit d'une 2 voies sur laquelle la vitesse est limitée à 90 km/h. La planche d'essai d'environ 800 mètres construite à l'automne 2013 avait 1 an lors de la campagne d'essais de septembre 2014. Ce BBTM 0/6 est un revêtement de chaussée spécifiquement conçu et optimisé pour une réduction de bruit durable dans le temps de par sa granulométrie en 0/6 mm et son absorption optimisée. Toutes les mesures de bruit, de texture et d'absorption ont été réalisées sur la même voie et les mesures de texture 3D ont été effectuées dans la trace de roulement des mesures de bruit en continu (méthode CPX).

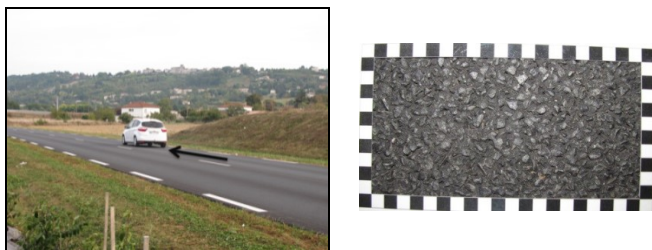


Figure 4 : Site d'essai avec indication du sens de mesure par une flèche (à gauche) et aperçu de la surface du BBTM 0/6 dans un cadre de 10 cm x 20 cm (à droite).

2.2.1 Analyse de la texture

Pour l'analyse de la texture du revêtement, un système de mesure a été développé dans le cadre de ce projet [8]. Il a pour objectif de pouvoir effectuer en un temps raisonnable, des relevés tridimensionnels de texture, de longueur et de largeur comparables au périmètre et à la largeur d'un pneumatique d'automobile standard. Nous utilisons à cet effet un capteur de déplacement sans contact,

à laser, capable de fournir simultanément l'altitude de points situés sur un segment de longueur donnée (capteur de profils 2D). Un système de déplacement permet d'assurer le balayage par le capteur de la zone à mesurer. Un système d'acquisition recueille enfin les données provenant du capteur. A partir des enregistrements, il est possible d'accéder aux diverses caractéristiques liées à la géométrie de surface des revêtements définies dans la série des normes ISO 13473 : la profondeur moyenne de profils (PMP), la profondeur de texture équivalente (PTE), la profondeur moyenne de texture (PMT), la distribution des altitudes et le spectre de texture.

Pour chaque planche d'essai, 4 relevés unitaires de 1,50 m ont été effectués avec une zone de recouvrement d'une dizaine de centimètres afin de reconstruire une surface de longueur significative proche de 6 m. Sur la Figure 5 sont présentés les résultats pour les deux planches en BBTM que l'on compare à ceux obtenus sur la planche UHPC du site allemand sur lequel on peut observer les transitions entre dalles.

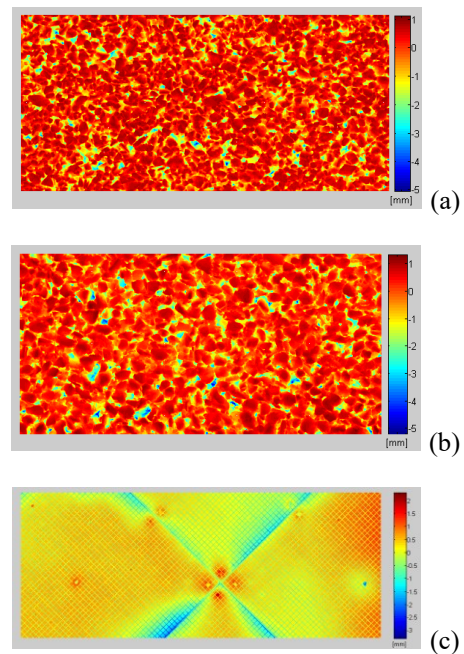


Figure 5 : Extraits des relevés mesurés sur les BBTM 0/4 (a), BBTM 0/6 (b) et UHPC (c).

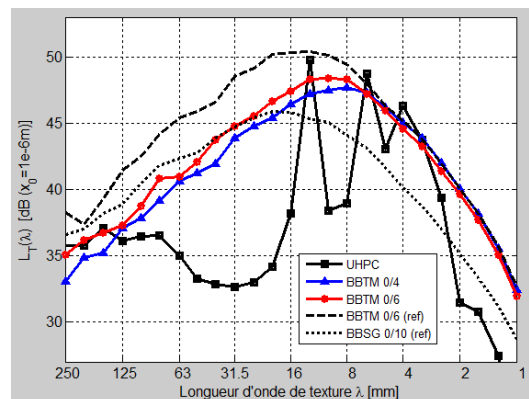


Figure 6 : Spectres de texture par bande de tiers d'octave évalués sur les BBTM 0/4, BBTM 0/6 et UHPC ainsi que ceux évalués sur deux planches de référence (BBSG 0/10 et BBTM 0/6 de la piste de référence de l'Ifsttar [5]).

Concernant les profondeurs moyennes de profils, les valeurs pour les deux BBTM sont voisines (0,84 mm pour le 0/4 et 0,9 mm pour le 0/6) et comparables au BBSG 0/10 de référence dont la valeur est très légèrement supérieure à 1 mm. En revanche, l'UHPC présente une valeur beaucoup plus faible de 0,55 mm qui est conditionnée par le seul réseau de rainures dont la profondeur est relativement faible. Ces particularités de la planche UHPC se retrouvent également sur les spectres de texture représentés sur la Figure 6. On note à cet effet que pour des valeurs de λ supérieures à 16 mm, ses niveaux sont très inférieurs à ceux obtenus sur les revêtements plus classiques alors que plusieurs pics marqués correspondant aux motifs créés par les rainures de surface apparaissent aux longueurs d'onde inférieures (12,5 mm, 6,3 mm et 4 mm). De façon générale, ces trois revêtements présentent des caractéristiques d'adhérence acceptables.

2.2.2 Absorption acoustique

La planche en béton de ciment UHPC ne présentant pas de porosité, elle est considérée comme acoustiquement réfléchissante. En revanche, les planches en BBTM présentant une certaine porosité, des mesures ont été réalisées afin d'en déterminer les valeurs d'absorption. Ces mesures ont été effectuées avec un équipement décrit dans [5] respectant les conditions de la norme ISO 13472-1. Afin d'obtenir une valeur du coefficient d'absorption représentative de la planche, la mesure a été réalisée en 5 points autour de point de référence correspondant à l'axe de mesure de la méthode Coast-By. Après moyennage des valeurs obtenues à chacun des 5 points, les spectres d'absorption par bande de 1/3 d'octave ont été calculés pour chacune des surfaces. Les valeurs représentées sur la Figure 7 sont comparées à celle du BBTM 0/6 de la piste de référence de l'Ifsttar.

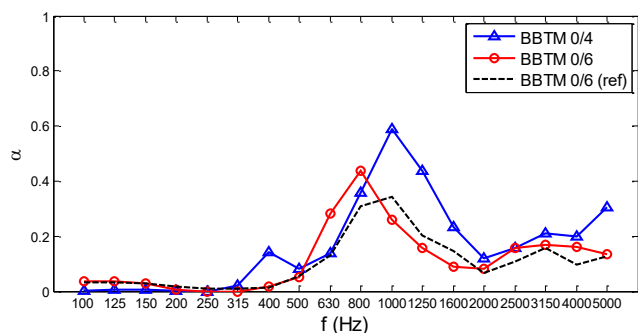


Figure 7 : Coefficient d'absorption par bande 1/3 d'octave mesuré sur le BBTM 0/4 et le BBTM 0/6.

Ces revêtements ayant été particulièrement optimisés pour réduire le bruit routier, on retrouve les premiers pics d'absorption dans les bandes de fréquences où le bruit routier est le plus énergétique. A partir de ces courbes d'absorption, il est possible en utilisant un modèle d'impédance de milieu granulaire adapté [9] de déterminer par calage inverse du modèle les valeurs des 4 paramètres principaux de la structure poreuse que sont l'épaisseur e , la porosité Ω , la résistance au passage de l'air σ et la tortuosité q^2 qui prend en compte le chemin réel emprunté par l'onde acoustique dans la structure ainsi que les divers effets thermiques et visqueux. Ces valeurs sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Paramètres du modèle d'absorption [9] recalés à partir des courbes expérimentales

Surface	e (m)	Ω	σ (kNsm ⁻⁴)	q^2
BBTM 0/4	0,030	0,18	110	5,5
BBTM 0/6	0,030	0,13	165	9,7
BBTM 0/6 (réf.)	0,025	0,12	270	10,0

A titre de comparaison, un BBDr 0/10 classique en 4 cm d'épaisseur possède une porosité Ω comprise entre 20 et 25%, une valeur de σ voisine de 10 kNsm⁻⁴ et une tortuosité q^2 de l'ordre de 3,5.

2.2.3 Mesures de bruit de roulement

Comme décrit précisément dans [5,8], un véhicule d'essai de type Renault Scénic spécifiquement dédié, a été utilisé pour toutes les mesures de bruit de roulement réalisées à partir des deux méthodes CB et CPX déjà citées au § 2.1. Sur certains sites, deux jeux de pneumatiques (sculptés et lisses) ont été utilisés. Dans le présent papier, seuls les résultats avec les pneumatiques sculptés seront présentés. Les résultats avec les pneumatiques lisses sont accessibles dans le rapport final du contrat [2]. Les différentes méthodes d'analyse sont également précisées dans [5,8].

Les Tableaux 3 et 4 fournissent les valeurs CB (L_{Amax}) et CPX (L_{rAeq}) respectivement pour les planches en BBTM 0/4 et BBTM 0/6 sur la gamme de vitesse mesurée. Les valeurs des tableaux en gras correspondent aux vitesses moyennes de chacun des sites.

Tableau 3 : Niveaux de bruit globaux à différentes vitesses pour la planche BBTM 0/4.

**Valeurs extrapolées à partir des pentes des droites de régression*

V (km/h)	50	60	70	80	90	100*	110*
L_{Amax} (dBA)	64,6	67,3	69,6	71,5	73,2	74,8	76,1
L_{rAeq} (dBA)	87,6	90,9	93,6	96,0	98,1	99,9	101,6

Tableau 4 : Niveaux de bruit globaux à différentes vitesses pour la planche BBTM 0/6.

V (km/h)	50	60	70	80	90	100	110
L_{Amax} (dBA)	64,2	66,8	69,0	70,8	72,5	74,0	75,3
L_{rAeq} (dBA)	87,4	90,0	92,2	94,1	95,8	97,3	98,6

Sur le Tableau 5, nous trouvons à titre de comparaison, à la vitesse de 70 km/h, les valeurs assorties de leurs écarts-types pour les deux revêtements et les planches de références de la piste de l'Ifsttar.

Tableau 5 : Comparaison des niveaux de bruit à 70 km/h

Surfaces	L_{Amax} (dBA)	L_{rAeq} (dBA)
BBTM 0/4	69,6 ± 0,7	93,6 ± 1,3
BBTM 0/6	69,0 ± 1,0	92,2 ± 1,5
BBTM 0/6 (Réf)	70,6 ± 1,0	93,5 ± 1,0
BBSG 0/10 (Réf)	74,6 ± 1,0	95,7 ± 0,9

Les spectres, pour les mêmes mesures à 70 km/h en méthode au passage (CB) sont tracés sur la Figure 8.

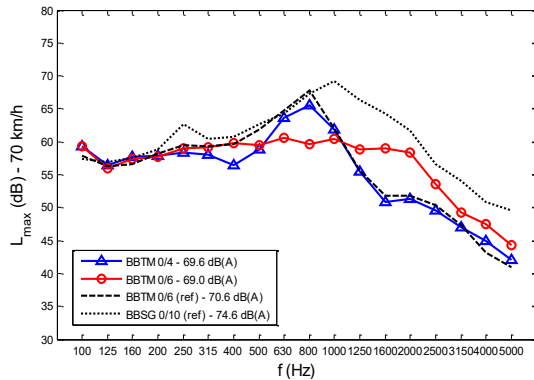


Figure 8 : Comparaison des spectres de bruit (Coast-By) à la vitesse de 70 km/h

De ces résultats, on peut dresser les conclusions suivantes :

- Concernant les BBTM, les résultats montrent que quelle que soit la méthode de mesure, les niveaux sonores pour chacune des formulations sont proches et très légèrement inférieurs à la moyenne de leur classe de revêtement se situant autour de 73 dBA [7]. Par comparaison à la référence en BBSG 0/10, nous observons un gain d'environ 5 dBA correspondant à une diminution de trafic de l'ordre d'un facteur 3.
- Si nous regardons plus attentivement le BBTM 0/4, malgré ses 5 ans d'âge, nous notons que ses caractéristiques tant en termes de bruit de roulement que d'absorption sont encore très acceptables. De même, il serait intéressant de reproduire les mêmes mesures sur le BBTM 0/6 après cinq années de mise en service afin d'évaluer la pérennité de ses performances dans le temps.
- Concernant les spectres, nous observons pour le BBTM 0/6 l'effet de l'absorption entre 630 et 800 Hz alors qu'il est observé au-delà de 1 kHz pour le BBTM 0/4.

3 Amélioration des modèles

Afin de bien comprendre les phénomènes sonores dans l'aire de contact lors du roulement d'un pneumatique sur une chaussée, il est indispensable de pouvoir maîtriser un certain nombre de modèles aptes à simuler les mécanismes d'émission. Les approches hybrides [4,10] simulent le résultat dans sa globalité alors que les approches physiques [11] représentent chacun des phénomènes individuellement.

La validation de ces divers modèles nécessite néanmoins de constituer des bases de données texture/bruit expérimentales, les plus complètes possible regroupant une large panoplie de revêtements conventionnels maîtrisés mais également quelques surfaces « modèle » permettant de mettre en relief des phénomènes particuliers. Cette base de données est détaillée dans [5].

Au cours du projet ODSURF, un effort tout particulier a été porté sur la modélisation du phénomène de pompage d'air et sur l'impact des motifs du pneumatique et de la texture de chaussée sur l'effet dièdre.

3.1 Mécanismes de pompage d'air

Le phénomène de pompage d'air est une source importante du bruit de contact pneumatique/chaussée. Ce mécanisme est lié aux compressions, dépressions et écoulements d'air se produisant dans la zone de contact. Deux principaux mécanismes de génération de bruit dus au pompage d'air sont aujourd'hui identifiés sans en connaître l'importance relative sur un revêtement routier dense réel : la variation de volume des cavités de la zone de contact (variation de volumes des rainures du pneumatique, indentation de la gomme du pneumatique par la rugosité du revêtement) d'une part, la compression de l'air par effet de couche limite d'autre part. Les diverses approches analytiques et numériques développées au cours du projet sont décrites dans [12,13].

3.2 Effet dièdre

Les surfaces du pneumatique et de la chaussée constituent un cornet à l'intérieur duquel l'onde sonore produite dans l'aire de contact est amplifiée. Les premières études faisaient l'hypothèse que les deux surfaces étaient planes. L'apport du travail effectué au cours du projet a été la prise en compte dans les modèles analytiques ou numériques des textures respectives du pneumatique et de la chaussée. Pour cela, on considère que ces textures peuvent être considérées comme des réseaux de résonateurs. Ainsi, on observe des atténuations sonores substantielles autour de fréquences de résonance. Les résultats les plus significatifs sont présentés dans [14].

4 Base de données DEUFRABASE

Lorsqu'un revêtement de chaussée peu bruyant est développé, ses caractéristiques en termes d'émission sonore sont mesurées en bordure de voie routière (à 7,50 m de l'axe de la voie et à 1,20 m de hauteur) ou à proximité du pneumatique. Afin de tester ses qualités environnementales, il y a nécessité d'en connaître l'impact pour différentes configurations d'environnement routier et pour des distances plus représentatives de la réalité, soit plusieurs centaines de mètres. L'objectif de cette base de données est donc de pouvoir estimer à partir d'un certain nombre de cas prédéfinis les divers effets des revêtements pour des situations réalistes de géométrie, de trafic et de propagation.

A la fin du projet P2RN [1], une première version avait été conçue et mise en ligne. Au cours d'ODSURF, il a été procédé à une refonte de la structure de la base en utilisant une nouvelle philosophie de développement (outil Django) afin de lui donner, à moindre coût, un caractère extensible qui permettra dans l'avenir d'y adjoindre aisément de nouvelles configurations géométriques et de trafic, incluant éventuellement des contraintes urbaines, de nouveaux indicateurs et de nouveaux revêtements au fur et à mesure de leur mise sur le marché.

Après avoir entré les différents paramètres du problème : géométrie, types de revêtements, composition du trafic, les indicateurs L_{Aeq} horaire et L_{den} , sous formes globale et spectrale, sont calculés et représentés pour chaque configuration géométrique et pour l'ensemble des revêtements sélectionnés. Un exemple de répartition horaire est présenté sur la Figure 9.

Après validation complète, la DEUFRABASE sera déposée en accès libre sur un site web hébergé par l'Ifsttar.

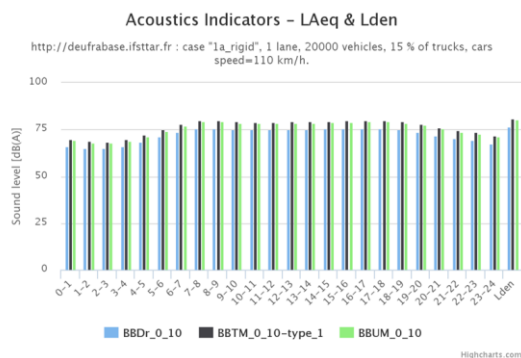


Figure 9 : Tracé de la répartition horaire de l'indicateur acoustique LAeq et de l'indicateur Lden

5 Conclusion

Suite au projet DEUFRAKO-P2RN, le projet ODSURF a permis d'aborder l'ensemble de la problématique liée à la conception, la réalisation et la validation des couches de revêtement de chaussées peu bruyantes à usage urbain.

Dans les années 1990-2000, les couches de roulement peu bruyantes poreuses alliant des capacités de drainabilité à des capacités d'absorption acoustique avaient été mises en œuvre. Des problèmes liés à la pérennité de leurs performances acoustiques dus au colmatage des pores avaient conduit les entreprises à étudier et réaliser des revêtements en couches minces (BBTM). Les recherches dans le domaine ayant montré que la dimension des granulats avait un fort impact sur l'émission sonore, des formulations intégrant des granulats de petite dimension (0/6 mm, voire même 0/4 mm) ont été envisagées. Deux de ces formulations ont été testées au cours du projet et l'une d'entre elle a montré qu'après 5 ans d'usage en milieu périurbain, des performances acoustiques intéressantes étaient maintenues.

Pour éviter de nouveaux problèmes de colmatage, nous nous sommes orientés vers des formulations non poreuses peu bruyantes. Une géométrie de texture adaptée a donc été conçue à partir d'une approche théorique. Bénéficiant de l'expérience de nos partenaires allemands sur les techniques à base de béton de ciment hydraulique, des solutions ont été expérimentées et testées. Bien que la possibilité d'améliorer leur mise en œuvre soit encore envisageable, des premiers résultats significatifs ont été enregistrés, même si les revêtements plus conventionnels comme les BBTM sont encore plus performants. Ainsi, selon les conditions d'usage, une plus large palette de solutions pour rendre nos routes et nos rues moins bruyantes s'offrent à l'aménageur.

Ce projet a montré également qu'à partir d'une modélisation théorique, même perfectible, il était possible de concevoir de nouvelles couches de roulement peu bruyantes. La poursuite des études sur les mécanismes de génération de bruit de roulement, part importante du bruit du trafic routier, paraît indispensable afin de mieux maîtriser ces phénomènes et ainsi, concevoir des outils numériques globaux regroupant les mécanismes de vibrations du pneumatique, de pompage d'air, d'effet dièdre et d'absorption. Leur validation par des techniques expérimentales adaptées nous permettra ainsi de mieux optimiser nos chaussées afin de réduire encore le bruit produit par les véhicules circulant sur ces revêtements tout en conservant d'excellentes caractéristiques d'adhérence indispensables pour assurer la sécurité des usagers.

Remerciements

Le travail a pu être réalisé grâce à la contribution d'un ensemble de partenaires autour de l'Ifsttar et de la BAST. Nous tenons à remercier tout particulièrement nos partenaires de l'ENPC, des sociétés Eurovia, Colas S.A et Müller-BBM et des universités et entreprises allemandes. Enfin, tous nos remerciements à l'ADEME et au Ministère allemand des transports pour leur support financier.

Références

- [1] DEUFRAKO-P2RN: Prediction and Propagation of Rolling Noise, *Rapport du contrat ADEME 05 66 C0069*, 178 p. (2009).
- [2] M. Bérengier et al., ODSurf : Modélisation et réalisation d'une couche de roulement de chaussée optimisée, dense et peu bruyante, – *Rapport du contrat ADEME 11 17 C0038*, 213 p. (2016).
- [3] B. Altreuther, M. Männel, Low noise road surface from precast slabs in UHPC: Acoustics, *ICCBP 2015*, Dresden, Germany (2015).
- [4] SPERoN : www.speron.net.
- [5] J. Cesbron, P. Klein, Une nouvelle base de données texture/bruit pour la prévision du bruit de contact pneumatique/chaussée, *CFA 2016*, Le Mans (2016).
- [6] F. Anfosso-Lédée, Modeling the local propagation effects of tire-road noise: propagation filter between CPX and CPB measurements, *Internoise 2004*, Prague, République Tchèque (2004).
- [7] NMPB08, Prévision du bruit routier - 1 : Calcul des émissions sonores dues au trafic routier, Setra (2009).
- [8] J. Cesbron, P. Klein, V. Gary, J.M. Clairet, On site acoustic characterization of optimized very thin asphalt concretes, *Euronoise 2015*, Maastricht, The Netherlands (2015).
- [9] M. Bérengier, M. Stinson, G. Daigle, J.F. Hamet, Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects, *Journal of the Acoustical Society of America*, **101** (1), 155-162 (1997).
- [10] P. Klein, Influence du revêtement routier sur le bruit de roulement : le modèle HyRoNe, *CFA 2010*, Lyon (2010).
- [11] J.F. Hamet, P. Klein, Use of a rolling model for the study of the correlation between road texture and tire noise, *Internoise 2001*, The Hague, The Netherlands (2001).
- [12] F. Conte, P. Klein, 3D CFD modelling of air pumping noise from road cavities with constant volume, *Internoise 2013*, Innsbruck, Autriche (2007).
- [13] F. Conte, P. Klein, M. Bérengier, Investigating lateral porosity effect on air pumping noise from connected road cavities with CFD simulations, *Internoise 2014*, Melbourne, Australie (2014).
- [14] D. Duhamel, B. Wang, Etude de réseaux de résonateurs acoustiques pour la réduction du bruit de contact pneumatique chaussée, *CFA 2016*, Le Mans (2016).