

## **BRUIT DE ROULEMENT**

État de l'art et recommandations

Mai 2012



## **SOMMAIRE**

INT	RODUCTION	8.
I.	RAPPELS FONDAMENTAUX SUR LE BRUIT ROUTIER ET LA CONTRIBUTION DE CONTACT PNEUMATIQUE-CHAUSSÉE.  1. Bruit routier et origine des sources 2. Bruit de roulement - les phénomènes	.9 .9 12
II.	LA RÈGLEMENTATION RELATIVE AU BRUIT ROUTIER	
	1. La loi Bruit du 31 décembre 1992          2. La Directive Européenne 2002/49/CE          3. Méthodes règlementaires pour la prévision du bruit routier	22
III.	LES REVÊTEMENTS DE CHAUSSÉE DANS LES MODÈLES DE CALCURÈGLEMENTAIRES POUR LA PRÉVISION DU BRUIT ROUTIER	JL 26
	1. Rappel du domaine d'emploi des modèles       2         2. NMPB 2008       2         3. Directive 2015/996/CE dite « CNOSSOS-EU »       3         4. Compatibilité des deux méthodes de prévision du bruit routier       3	26 30
IV.	MÉTHODES DE MESURE DU BRUIT DE ROULEMENT	3
	<ol> <li>Domaine d'emploi des mesures</li></ol>	34 38
	<ol> <li>Corrélation entre les méthodes au passage (VI/SPB) et en continu (CPX)</li> <li>Mesure de bruit dû au trafic en point fixe</li></ol>	
V.	REVÊTEMENTS DE CHAUSSÉE LIMITANT LE BRUIT DE ROULEMENT	<b>!7</b>
	1. Typologie       4         2. Performances: Base de données bruit de roulement       5         3. Impact sur les niveaux sonores en façade d'habitations       5         4. Exemples illustratifs       5	53 56
VI.	DURABILITÉ DES PERFORMANCES DES REVÊTEMENTS LIMITANT LE BRUIT 6	35
	<ol> <li>Généralités sur la durabilité</li></ol>	<b>59</b>
VII.	PRISE EN COMPTE DU BRUIT ROUTIER PAR LA MAÎTRISE D'OUVRAGE	<b>'</b> 6
	<ol> <li>Principes généraux dans les travaux neufs et d'entretien</li></ol>	79 35

## Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité

RÉFÉREN	CES			• • •							٠.															91
GLOSSAIF	RE																									95
ANNEXES																										98
ANNEXE 1 -	· Orgai	nisme	s pra	iqua	nt le	s m	esi	ıres	s de	e br	uit	de	rou	len	ner	nt e	n F	ra	nce	Э.						99
ANNEXE 2 -	Perfo	rmand	es de	es re	vête	me	nts	de	cha	aus	sée	e : c	lon	née	es	sta	tisti	qu	es	СО	mp	lèt	es.		1	00
ANNEXE 3 -	Impa	ct des	revê	eme	ents	de d	cha	uss	ée	en '	faç	ade	e d'I	hab	oita	tio	ns								1	04
ANNEXE 4 -	Critèr cons	es de tructio	ľUE n et l	en n 'entr	natiè etie	re c n de	le n	nar oute	ché es -	s p - Cl	ubl าลน	ics Isse	éco ées	olog no	giq n k	ues	s po yan	our	· la s	co	nc	ept	ion	, la	1	07

## **LISTE DES FIGURES**

de tous types de véhicules thermiques (VL ou PL)
Figure 2 : Schéma de principe de l'évolution avec la vitesse des différentes sources de bruit de tout type de véhicules électriques (VL ou PL)
Figure 3 : Pondération A en fonction de la fréquence
Figure 4 : Mécanismes de génération du bruit pneu-chaussée
Figure 5 : Schéma d'un profil de macrotexture positive et négative
Figure 6 : Simulation de l'atténuation du bruit produit par une source routière ponctuelle au-dessus d'un sol plan sans obstacle, à l'aide de la méthode NMPB 2008
Figure 7 : Rayons sonores en conditions favorables à la propagation du son
Figure 8 : Rayons sonores en conditions défavorables à la propagation du son
Figure 9 : Spectre d'absorption typique d'un revêtement drainant, l'épaisseur de la couche définit la fréquence du pic d'absorption : 4 cm pour courbe pleine, 7 cm pour courbe discontinue (Projet Silvia, figure A-14 de [29])
Figure 10 : Exemple de chemin de propagation, ici avec deux diffractions par une arête horizontale et une réflexion
Figure 11 : Atténuation apportée par une paroi simple
Figure 12 : Echelle du bruit (d'après [8])
Figure 13 : Segmentation des revêtements de chaussées en 3 catégories de performances acoustiques, [13]
Figure 14 : Répartitions spectrales de trafic NMPB 2008
Figure 15 : Prévision de niveaux sonores maximum au passage selon la méthode française sur les 3 catégories de revêtements : (gauche) VL à vitesse stabilisée, toutes déclivités, (droite) PL sur rampe à 6% vitesse stabilisée [13]
Figure 16 : Effet revêtement en fonction de la vitesse du flot de véhicules, pour les VL et PL en allure stabilisée et sur route horizontale ; reproduction de la figure 3.28 de [13]
Figure 17 : Ajustement du modèle CNOSSOS-EU (EU) sur le modèle français de prévision de bruit (FR) Lr = composante roulement, Lw = puissance totale - Cas d'un véhicule léger sur un revêtement R2 non drainant (gauche); Cas d'un train routier sur un revêtement R1 drainant (droite) (source Cerema)
Figure 18 : Mesure de bruit de roulement au passage (VI ou SPB)
Figure 19 : Exemple de régression calculée sur un ensemble de passages de véhicules légers, chaque point correspond à un passage de véhicule
Figure 20 : Exemple de mesure au passage avec backing board
Figure 21 : Disposition de mesure en continu (CPX), le microphone arrière est optionnel
Figure 22 : Principe de mesure en continu (CPX)
Figure 23 : Remorque de mesure CPX du Cerema (Laboratoire de Strasbourg)
Figure 24 : Pneumatique utilisé pour établir la XP S 31 145 et la méthode LPC n°63

Figure 25	Pneumatiques de référence de la norme NF EN ISO 11819-2
Figure 26	Essais croisés de fin 2016 sur les différents revêtements de la piste Université Gustave Eiffel (niveaux sonores CPX à 80 km/h)
Figure 27	Essais croisés de fin 2016, statistique des écarts de niveaux sonores CPX à 80 km /h avec la planche N (BBSG 0/6)
Figure 28	Essais croisés de fin 2016, statistique des écarts de niveaux sonores CPX à 80 km /h avec la planche N (BBSG 0/6) mesurée par la remorque équipée du pneu P1 (Cs/7)43
Figure 29	Relation entre niveaux SPB (L <sub>veh</sub> ) sur VL et CPXP (pneu P1) mesurés à 80 km /h, la légende indique les types de revêtements et l'origine des mesures, Figure 6.1 du livrable D2-3 de ROSANNE [22]
Figure 30 :	Relation entre niveaux SPB sur PL multi-axes et CPX avec pneu P1 (a) ou pneu H1 (b), mesurés à 80 km /h
Figure 31	Base de données revêtements : 565 mesures VI/VL au 30/06/2018 (L <sub>Amax</sub> , température de 20°C, vitesse 90 km /h). Revêtements de 0 à 15 ans
Figure 32	Base de données revêtements : 375 mesures VI/VL au 30/06/2018 (L <sub>Amax</sub> , température de 20°C, vitesse 90 km /h) - Revêtements de 0 à 3 ans
Figure 33	Base de données revêtements : 204 mesures VI/TR au 30/06/2018 (L <sub>Amax</sub> , température de 20°C, vitesse 80 km /h) - Revêtements de 0 à 15 ans
Figure 34	Base de données revêtements : 76 mesures VI/TR au 30/06/2018 (L <sub>Amax</sub> , température de 20°C, vitesse 80 km /h). Revêtements de 0 à 3 ans
Figure 35	Localisation des points de mesure sur le site
Figure 36	Résultats des mesures VI avant et après travaux (V <sub>ref</sub> = 110 km /h pour les VL et 85 km /h pour les PL)
Figure 37	Gains mesurés au point fixe PF1 à 20 m de la route
Figure 38	Mesures CPX de nuit sur le boulevard périphérique parisien
Figure 39	Points de mesure fixes (a) en terre-plein central ; (b) en façade de bâtiment
Figure 40	Mise en place d'enrobés acoustiques Porte de Vincennes – Juin 2012
Figure 41	Emplacement d'une station de mesure de surveillance du bruit (A4) à Joinville-le-Pont (94)
Figure 42	Evolution avant / après remplacement du revêtement de chaussée ; indicateur L <sub>Aeq</sub> (24h)
Figure 43	Evolution statistique moyenne du bruit de roulement en fonction de l'âge pour deux techniques de revêtements : BBDr 0/10 (gauche) et BBTM 0/6 classe 2 (droite)
Figure 44	Evolution du bruit de roulement en fonction de l'âge pour des revêtements drainants (PAC) et denses (DAC)
Figure 45	Evolution sur 10 ans du bruit de roulement au passage de VL en milieu urbain (Copenhague) sur 5 revêtements : bétons bitumineux denses (AC) 0/11 0/8 et 0/6, BBUM 0/6 (UTLAC) et SMA 0/6
Figure 46	Boulevard Périphérique Porte de Vincennes - Evolution du niveau L <sub>Aeq</sub> moyen semestriel
Figure 47	Carte stratégique de bruit routier (L <sub>DEN</sub> ) de la ville de Paris en 2015

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 :	Autorités compétentes en charge des CBS et PPBE
Tableau 2 :	Domaines d'emploi comparés des méthodes de mesure de bruit de roulement 34
Tableau 3 :	Essais croisés de fin 2016. Classement des planches routières par les différentes configurations de mesure (niveaux sonores moyens à 80 km /h en dB(A))
Tableau 4 :	Performances comparées des différentes techniques
Tableau 5 :	Résultats des mesures VI avant renouvellement de la couche de roulement
Tableau 6 :	Résultats des mesures VI après 1 mois du renouvellement de la couche de roulement
Tableau 7 :	Résultats des mesures VI après 6 mois du renouvellement de la couche de roulement
Tableau 8 :	Résultats des mesures au point fixe PF1 recalées sur le TMJA 2012
Tableau 9 :	Niveaux CPX avant travaux à 70 km /h (20°C, moyenne des microphones latéraux) : Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente
Tableau 10 :	Variation du bruit de roulement à l'état « zéro » 2 mois après changement de revêtement
Tableau 11 :	Augmentation moyenne annuelle du niveau de bruit d'un trafic (mixte VL et PL) en dB/an, d'après l'étude conjointe Pays Bas/Danemark [30] basée sur l'analyse des données de 5 pays européens
Tableau 12 :	Réduction du bruit roulement au bout de 2 ans, mesures CPX (microphones latéraux) à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente
Tableau 13 :	Evolution de la performance entre 2012 (état « zéro » après travaux) et 2014, mesurés par méthode CPX à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente73
Tableau 14 :	Réduction du bruit de roulement au bout de 5 ans, méthode CPX à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente
Tableau 15 :	Evolution de la performance en dB(A) de 2014 à 2017, mesurés par méthode CPX à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente
Tableau 16 :	Avantages et inconvénients des différentes approches
Tableau 17 :	Avantages et inconvénients des quatre approches recensées par la CEDR pour intégrer le bruit dans les marchés de revêtements selon les 3 piliers du développement durable (traduction du tableau 6.1 de [33])

#### INTRODUCTION

Ce guide technique dresse un état de l'art sur les performances acoustiques des revêtements de chaussées, c'est-à-dire leur impact sur l'émission de bruit de roulement et leur contribution à la réduction du bruit routier.

Selon un récent rapport de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), le bruit des transports constitue la deuxième nuisance d'environnement affectant la santé après la pollution de l'air. Les effets sanitaires du bruit (dits « extra-auditifs ») associés aux expositions environnementales, sont connus mais encore assez peu pris en compte dans les études d'impacts liées aux projets d'infrastructures : perturbation du sommeil, stress, hypertension artérielle, risques accrus d'infarctus du myocarde, perturbation des apprentissages [1]. Au moins un million d'années de vie en bonne santé sont perdues tous les ans à cause du bruit de la circulation en Europe occidentale [2]. En France comme en Europe, toutes les études, les rapports parlementaires et les enquêtes montrent clairement que l'exposition et la gêne des citoyens exprimée par rapport au bruit dans l'environnement provient très majoritairement de la circulation routière [3][4][5][6]. En France, une récente étude pilotée par le Conseil National du Bruit (CNB) a évalué à plus de 7 millions le nombre de personnes exposées à des niveaux de bruit routier journaliers et nocturnes jugés dangereux (Lden ≥ 65 dB(A) et Lnuit ≥ 55 dB(A)) [7]. Ce rapport chiffre à au moins 11,5 milliards d'euros par an le coût sur la santé du bruit des transports dont 89% seraient induits par le trafic routier. Ce chiffre impressionnant a été confirmé par un récent rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) [8].

Le bruit de contact pneumatique-chaussée, ou bruit de roulement, constitue la source prépondérante du bruit émis par un trafic routier dans la plupart des conditions de circulation. Les revêtements routiers qui jouent un rôle important dans l'émission de bruit de roulement, vont ainsi pouvoir contribuer à travers leur optimisation, à un meilleur environnement sonore et à la réduction des nuisances. Ainsi, dans sa récente réflexion sur la politique de réduction des nuisances sonores [8], le CGEDD cite parmi ses principales recommandations celle d'encourager la labellisation et la promotion de l'utilisation des revêtements de chaussées peu bruyants.

Même si les caractéristiques acoustiques des revêtements de chaussée ne font actuellement l'objet d'aucune exigence réglementaire, elles interviennent indirectement dans le dimensionnement des protections phoniques dans le cadre de l'application de la loi Bruit de 1992 ainsi que dans la réalisation de cartes de bruit au titre de la Directive Européenne 2002/49/CE sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. Par ailleurs, cette Directive impose la réalisation de plans de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) autour des grandes infrastructures de transport et dans les grandes agglomérations. Dans ce cadre, les revêtements peu bruyants peuvent être utilisés comme des moyens de réduction du bruit routier à part entière ou en complémentarité avec d'autres moyens. Il est alors important de prévoir, évaluer ou comparer leur efficacité tout au long de leur durée de vie.

Une enquête menée par l'IDRRIM via son Groupe National des Caractéristiques de Surface des Chaussées (GNCDS) en 2014 a mis en évidence que les prescripteurs routiers (maîtres d'ouvrage, gestionnaires, etc.) étaient peu informés sur les revêtements de chaussées peu bruyants, leurs performances et les méthodes d'évaluation à leur disposition et que très peu d'entre eux introduisaient des critères de performance acoustique dans les marchés [9].

Ce guide vise à combler ce manque en dressant un état de la connaissance et de la pratique sur les méthodes de mesure du bruit de roulement, les performances acoustiques des revêtements de chaussée et leur évolution dans le temps. Il donne quelques exemples de prescriptions suivis de recommandations. Il s'adresse aux acteurs de la construction routière, entreprises, maîtres d'œuvre ou maîtres d'ouvrage, aux gestionnaires de réseaux routiers ou de voirie urbaine, aux ingénieurs et techniciens des services techniques ou de bureaux d'études en charge de la problématique du bruit.

Spécifique à la réduction du bruit à la source par les revêtements de chaussée, il se veut complémentaire d'autres guides utiles à la lutte contre le bruit routier et dont la liste figure parmi les références bibliographiques.

Ce guide se substitue ainsi aux documents antérieurs traitant du sujet du bruit de roulement tels que les notes d'information du Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR) et les notes de sensibilisation du GNCDS. La liste des documents abrogés figure parmi les références bibliographiques.

# I. Rappels fondamentaux sur le bruit routier et la contribution du contact pneumatique-chaussée

#### 1. Bruit routier et origine des sources

Le bruit routier correspond à l'énergie sonore émise par l'ensemble des véhicules constituant le trafic. Il dépend du nombre de véhicules composant ce trafic et de leurs caractéristiques d'émission sonore.

Les véhicules sont regroupés en catégories ayant des caractéristiques sonores similaires : en France, la méthode réglementaire de prévision du bruit routier : (NMPB, voir chapitre II.3.b) distingue la catégorie des véhicules légers (VL) de celle des poids-lourds (PL) dont le PTAC est supérieur à 3,5 tonnes. La méthode européenne CNOSSOS-EU (voir chapitre II.3.c), définit quant à elle cinq catégories puisqu'elle distingue les moyens et les gros PL et qu'elle considère aussi les deux-roues.

Pour un véhicule, les sources de bruit proviennent :

- Du **système mécanique : bruit de propulsion** provenant du moteur, des transmissions et de l'échappement ;
- Du contact pneumatique-chaussée : bruit de roulement.

Le bruit aérodynamique, supposé être significatif à des vitesses supérieures à 130 km /h, est en général négligé ou intégré dans le bruit de roulement.

Les intensités absolues et relatives de ces deux types de sources (propulsion et roulement) dépendent de la catégorie du véhicule et de son allure (vitesse, accélération, décélération), mais aussi des propriétés acoustiques de la chaussée. Ainsi pour les véhicules thermiques (Figure 1) :

- Le bruit de roulement prédomine à partir de 30 à 40 km /h pour les VL (récents) et à partir de 60 à 80 km /h pour les PL;
- A vitesses plus faibles, le bruit de propulsion prédomine.

Pour les véhicules électriques, le bruit mécanique est très faible, l'échappement étant inexistant et le moteur électrique étant nettement moins bruyant que le moteur thermique. Le bruit de roulement prédomine donc à toutes les vitesses (Figure 2). Néanmoins la règlementation récente impose aux constructeurs d'ajouter un dispositif qui émet un son synthétique lorsque le véhicule roule à faible vitesse afin d'éviter de surprendre les piétons (dispositif AVAS - Acoustic Vehicle Alerting System - qui fonctionne en dessous de 30 km/h). Cette source sonore s'ajoute donc à basse vitesse.

Pour les deux-roues motorisés, le bruit de roulement est négligeable. L'émission sonore provient essentiellement du moteur et du système d'échappement (si motorisation thermique).

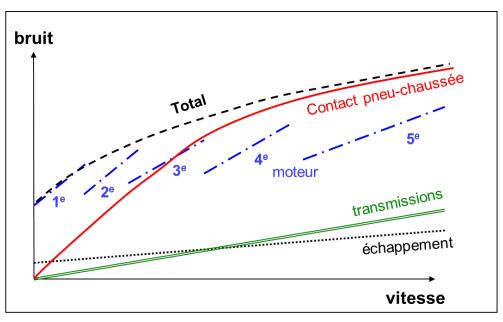


Figure 1 : Schéma de principe de l'évolution avec la vitesse des différentes sources de bruit de tous types de véhicules thermiques (VL ou PL) (source Université Gustave Eiffel)

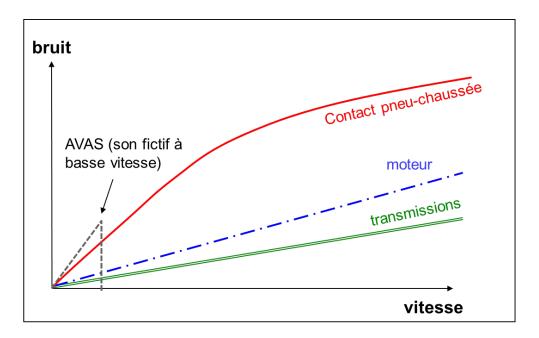


Figure 2 : Schéma de principe de l'évolution avec la vitesse des différentes sources de bruit de tout type de véhicules électriques (VL ou PL) (source Université Gustave Eiffel)

Pour un rapport de boite donné, le bruit de propulsion augmente linéairement avec la vitesse V du véhicule. Le bruit de roulement augmente de façon logarithmique avec la vitesse, selon une loi du type a log V avec a une constante de l'ordre de 30.

Les caractéristiques du revêtement de chaussée affectent l'émission de bruit de roulement. Mais elles peuvent aussi, dans le cas d'un revêtement poreux, atténuer l'ensemble du bruit émis par les différentes sources lors de sa propagation.

L'oreille humaine perçoit des sons audibles, dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz (20 kHz) environ. Ces chiffres peuvent varier suivant l'âge et les personnes. D'une manière générale, l'oreille est beaucoup plus sensible aux fréquences médium, comprises entre 1 kHz et 5 kHz environ, qu'aux fréquences graves et très aiguës. Ces fréquences médium correspondent à celles de la voix. A noter que le bruit de roulement prédomine également aux fréquences voisines de 1 kHz, ce qui le rend particulièrement gênant.

En acoustique environnementale, on utilise la pondération A des niveaux sonores, afin de tenir compte de la sensibilité moyenne de l'oreille aux différentes fréquences, à faible volume sonore. Elle a pour conséquence de renforcer la contribution des fréquences médium au niveau sonore global, en réduisant fortement la contribution des fréquences graves. Le niveau sonore après application de la pondération s'exprime en dB(A).

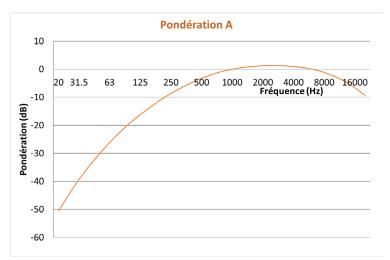


Figure 3 : Pondération A en fonction de la fréquence

#### 2. Bruit de roulement - les phénomènes

Les processus de génération du bruit de roulement sont essentiellement de deux natures : les phénomènes de **résonance d'air** et les phénomènes **vibratoires** (Figure 4).

D'autres phénomènes tels que le stick-slip (succession rapide d'adhérence et de glissement) et le **stick-snap** (effet de ventouse correspondant à une forte adhésion sur une surface lisse et fermée) ajoutent une contribution en hautes fréquences (crissements à des fréquences supérieures à 1 250 Hz) mais sont peu énergétiques en général.

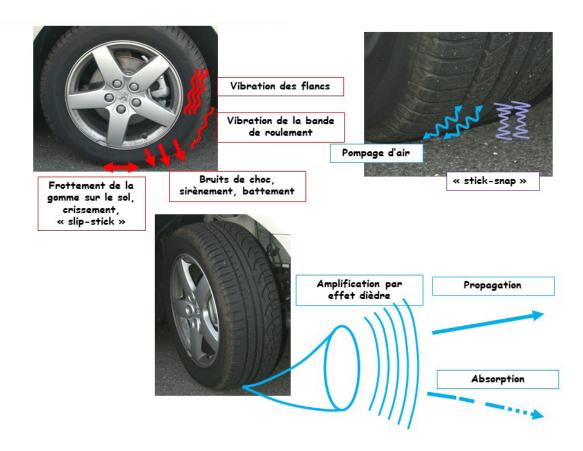


Figure 4 : Mécanismes de génération du bruit pneu-chaussée

Les **phénomènes vibratoires** sont générés à la fois par la déformation du pneumatique au cours du roulement du véhicule, par le choc des pavés de gomme du pneumatique sur le revêtement et par la mise en vibration mécanique de la bande de roulement du pneumatique par indentation sur la texture de surface.

Les phénomènes de résonance d'air (ou « air pumping ») sont dus à la compression et à la détente de l'air piégé entre le pneumatique et la surface de la chaussée (pompage d'air) d'une part, et à la résonance de l'onde sonore dans les sculptures du pneumatique (effet résonateur) d'autre part.

Un effet amplificateur s'ajoute à l'arrière du pneumatique, appelé effet dièdre, en raison de réflexions multiples du son entre la surface du pneumatique et celle du revêtement de la chaussée.

## 3. Bruit de roulement - impact des caractéristiques de la chaussée et du pneumatique

Deux caractéristiques des chaussées influent sur le bruit de roulement :

- La texture :
- · Les vides communicants.

La **texture** du revêtement (mégatexture et macrotexture) a un effet sur les vibrations :

- Une irrégularité de mégatexture (longueurs d'onde de 50 à 500 mm) favorise les vibrations de la carcasse du pneumatique ;
- Les vibrations de la bande de roulement du pneumatique sont liées directement à la dimension maximale des granulats (D). Pour une même famille de matériau, plus le D est élevé, plus ces vibrations sont importantes. Une macrotexture « négative » (en creux comme illustré figure 5) limite les vibrations du pneumatique.

« D » est la dimension supérieure de tamis de la classe granulaire d/D ou 0/D définie dans la NF P 18-545

Pour une famille donnée d'enrobés (ex : les BBTM ou les SMA), « *Dmax »* est égal au plus grand des « *D »* des classes granulaires 0/D ; exemple, le « *Dmax »* des BBTM 0/4, 0/6 et 0/10 est égal à 10 mm.

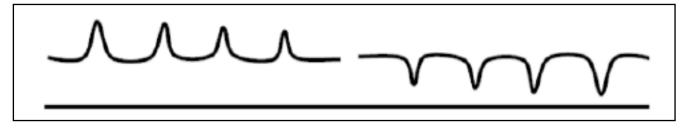


Figure 5 : Schéma d'un profil de macrotexture positive (à gauche) et négative (à droite).

La macrotexture joue également un rôle sur la présence de cavités d'air entre le pneumatique et la chaussée, et donc sur le phénomène d'air pumping. Une étude plus approfondie [10] montre que le niveau acoustique émis dans les graves et médiums (en dessous de 1 500 Hz) augmente avec le niveau de texture aux longueurs d'onde supérieures à 10 mm en raison de l'augmentation des vibrations radiales du pneumatique. Par contre, le niveau de bruit dans les aigus (fréquences supérieures à 1 500 Hz) diminue lorsque le niveau de texture aux longueurs d'onde inférieures à 10 mm augmente, en raison d'une atténuation du phénomène de pompage d'air.

Par ailleurs, l'émission sonore générée lors du roulement est atténuée par la présence de **vides communicants** à l'intérieur du revêtement (sa porosité ouverte). En effet, ces vides réduisent considérablement le phénomène d'air pumping. En outre, ils confèrent à la couche de roulement des propriétés d'absorption acoustique qui réduisent l'effet dièdre et plus généralement atténuent le son émis lors de sa propagation jusqu'en bord de voie.

L'absorption acoustique d'un enrobé à forte teneur en vides communicants fait l'objet d'un modèle phénoménologique dit « *INRETS-LCPC* » qui prend en compte la dissipation de l'énergie acoustique par frottement visqueux et échanges thermiques de l'onde sonore sur les parois internes des pores de l'enrobé ouvert. Le modèle fait appel à différents paramètres comme la teneur en vides, la résistance spécifique au passage de l'air, le facteur de forme, l'épaisseur de l'enrobé, la discontinuité de surface et l'angle d'incidence de l'onde [10a].

En ce qui concerne les pneumatiques, les paramètres d'influence sont la taille de l'aire de contact (directement liée à la taille du pneumatique), les sculptures de la bande de roulement (motifs dissymétriques, profondeur d'entaillement), les propriétés de la gomme (une gomme souple est moins bruyante qu'une gomme dure) et la structure de la bande de roulement (moins bruyante lorsqu'elle est plus épaisse). Les performances acoustiques des pneumatiques sont encadrées par une abondante règlementation (Règlements Nations-Unies R117, Union Européenne R661-2009) et un système de labelling en trois classes sonores (Règlement EU 1222/2009).

Selon les industriels du secteur, les perspectives d'amélioration des performances acoustiques des pneumatiques restent limitées car elles doivent concilier d'autres exigences, telles que la sécurité (adhérence par temps de pluie), la consommation énergétique (résistance au roulement) et la durabilité (résistance à l'abrasion). Ce guide ne développera pas davantage ce point, on pourra se référer à [10] pour plus d'informations.

#### 4. Propagation du bruit routier

Les ondes sonores émises par le trafic routier se propagent jusqu'au récepteur tout en subissant des modifications qui résultent de différents phénomènes que l'on peut regrouper en trois grandes catégories :

- Le principe de conservation de l'énergie (divergence géométrique);
- Les effets « atmosphériques » (absorption et effets micro-météorologiques) ;
- Les effets de « frontière » ou interactions des ondes sonores avec les obstacles (réflexions, diffractions, et transmissions).

Les paragraphes suivants donnent quelques précisions sur ces phénomènes.

#### a. Divergence géométrique

Il est considéré une onde sonore qui se propage dans l'espace, sans obstacle ni dissipation d'énergie. La divergence géométrique est une conséquence du principe de conservation de l'énergie. À mesure que l'onde se propage, la surface du front d'onde augmente. Pour que l'énergie de l'onde soit conservée, il est nécessaire que l'amplitude du front d'onde diminue avec la distance à la source.

Un véhicule isolé peut être assimilé à une source de bruit ponctuelle. Dans ce cas, la décroissance du niveau sonore est de 6 dB par doublement de la distance par rapport à la source.

Autre cas important pour le bruit routier, un flot continu de véhicules est habituellement représenté par une « *ligne-source* » ou un ensemble de sources ponctuelles régulièrement réparties sur l'axe de la route. Dans le cas d'une ligne-source, la décroissance du niveau sonore n'est plus que de 3 dB par doublement de distance par rapport à la source.

La divergence géométrique est le facteur dominant de la diminution des niveaux sonores. Contrairement aux autres atténuations évoquées dans cette partie, la divergence géométrique ne dépend pas de la fréquence.

#### b. Effets atmosphériques

#### Absorption atmosphérique

La propagation des ondes sonores dans un fluide s'accompagne d'une interaction des ondes avec les molécules de gaz, ce qui implique une dissipation d'énergie. La norme ISO 96131:1993 spécifie la méthode de calcul de l'absorption atmosphérique et donne un coefficient d'atténuation  $\alpha$  qui est fréguemment exprimé en dB/km.

L'absorption atmosphérique est négligeable à basse fréquence mais croît très rapidement à mesure que la fréquence augmente. Elle est voisine de 1 dB/km à 200 Hz, de 4 dB/km à 1 000 Hz et de 26 dB/km à 4 000 Hz.

L'atténuation atmosphérique est un facteur essentiel de la propagation du son à grande distance. Elle contribue largement au fait que cette propagation se comporte globalement comme un filtre passe-bas, c'est à dire que les hautes fréquences disparaissent progressivement à mesure que la source s'éloigne du récepteur.

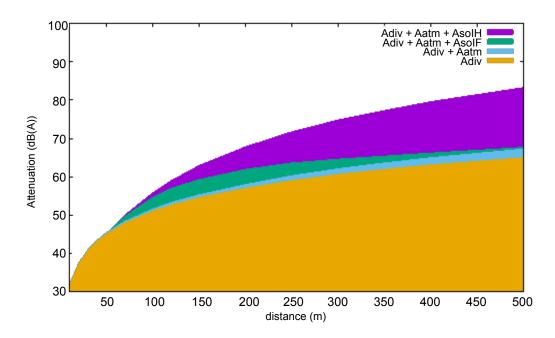


Figure 6 : Simulation de l'atténuation du bruit produit par une source routière ponctuelle au-dessus d'un sol plan sans obstacle, à l'aide de la méthode NMPB 2008 (source Cerema).

Dans la Figure 6, la source est située à l'origine du repère de distance. Le sol est réfléchissant sous la source (G=0) et absorbant ailleurs (G=1). Adiv correspond à la divergence géométrique, Aatm à l'atténuation atmosphérique. AsolH (resp. AsolF) est l'effet de sol en conditions météorologiques homogènes (resp. favorables).

#### Effets météorologiques

Dans cette partie, le rayonnement d'une source de bruit est supposé équivalent à l'émission de rayons sonores dans toutes les directions de l'espace.

Dans une atmosphère où la vitesse du son ne varie pas d'un point à un autre, la trajectoire de chaque rayon est rectiligne. Il s'agit alors de *« conditions homogènes »*.

L'hypothèse est souvent faite que la vitesse du son varie en fonction de la hauteur au-dessus du sol mais qu'elle est constante dans tout plan horizontal. Si la vitesse du son augmente avec l'altitude, les rayons sont courbés vers le sol. Il s'agit alors de « conditions favorables » (à la propagation), c'est-à-dire de conditions qui aboutissent en général à une augmentation des niveaux sonores par rapport aux conditions homogènes. A l'inverse, si la vitesse du son diminue avec la hauteur, les rayons sont courbés vers le ciel. Il s'agit de « conditions défavorables » (à la propagation), c'est-à-dire de conditions qui aboutissent à une diminution des niveaux sonores par rapport aux conditions homogènes.

Dans la nature, les conditions homogènes n'existent que de façon transitoire. En l'absence de vent, les conditions favorables sont typiques d'une fin de nuit dégagée et les conditions défavorables typiques d'une journée ensoleillée.

Les conditions de propagation dépendent à la fois de la variation de la température et de la variation de la vitesse du vent avec l'altitude. En l'absence de vent, les conditions sont les mêmes quelle que soit la direction définie par la source et le récepteur. En présence de vent, l'effet de la température

tend à disparaître et des conditions favorables (Figure 7) sont rencontrées lorsque le récepteur est «sous le vent » par rapport à la source. A contrario, des conditions défavorables apparaissent lorsque le récepteur est « face au vent » par rapport à la source (Figure 8).

Les effets météorologiques sur le niveau sonore ne sont sensibles que pour des distances supérieures à 100 m environ (Figure 6).

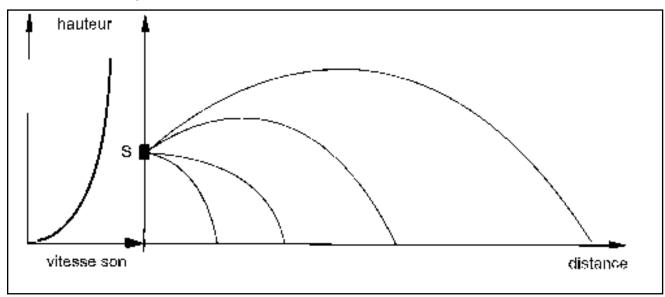


Figure 7: Rayons sonores en conditions favorables à la propagation du son (Source Cerema)

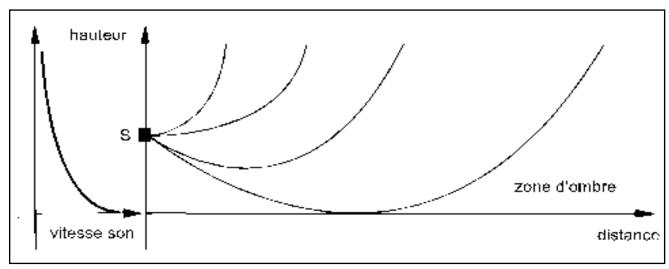


Figure 8 : Rayons sonores en conditions défavorables à la propagation du son (Source Cerema)

La courbure des rayons vers le ciel en conditions défavorables (Figure 8) aboutit en théorie à des « zones d'ombre » où les ondes sonores rayonnées par une source particulière ne pénètrent pas. En pratique, les turbulences caractéristiques de ce type d'atmosphère limitent l'effet de zone d'ombre.

#### c. Effets de frontière

La propagation se déroule en général au-dessus d'un sol (chaussée, terrain naturel). Dans le cas d'un sol horizontal homogène en atmosphère homogène, l'onde sonore arrivant au récepteur résulte de deux chemins de propagation : le chemin direct défini par la ligne droite entre la source et le récepteur et le chemin réfléchi sur le sol. La **réflexion** sur le sol s'accompagne en général d'une perte d'énergie et

d'un déphasage. Les chemins direct et réfléchi forment des interférences constructives et destructives au récepteur à des fréquences particulières. Plus un sol est réfléchissant, plus les interférences sont marquées. La première interférence destructive peut influer significativement sur le niveau sonore global.

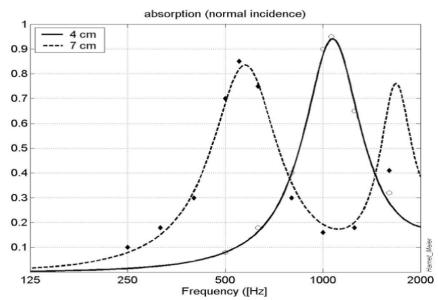


Figure 9 : Spectre d'absorption typique d'un revêtement drainant, l'épaisseur de la couche définit la fréquence du pic d'absorption : 4 cm pour courbe pleine, 7 cm pour courbe discontinue (Projet Silvia, figure A-14 de [29])

Le caractère absorbant d'un sol dépend de sa nature. Il peut être mesuré par le coefficient d'absorption alpha ( $\alpha$ ) qui varie entre 0 et 1. Une chaussée non drainante sera presque parfaitement réfléchissante ( $\alpha$ =0). Une chaussée drainante présentera un maximum d'absorption entre 600 Hz et 1 000 Hz (Figure 9). Le terrain naturel présente en général une absorption qui augmente avec la fréquence. Le phénomène de réflexion est similaire sur un écran anti-bruit ou une façade de bâtiment. Dans la NMPB 2008 (chapitre III.2), le coefficient d'absorption n'est utilisé que pour les objets solides autres que les chaussées et les sols. Dans ces deux derniers cas, l'absorption est décrite à l'aide du « facteur de sol » G, qui diminue quand la résistance du matériau au passage de l'air augmente.

Le phénomène de diffraction apparaît lorsqu'une onde sonore rencontre l'arête d'un obstacle comme un écran anti-bruit, un bâtiment, un relief du terrain particulièrement marqué, ou encore une jonction entre deux matériaux différents sur une surface plane (discontinuité d'impédance). Ce phénomène introduit en général des atténuations importantes (jusqu'à 25 dB) pour une diffraction par une seule arête. La diffraction dépend fortement de la fréquence.

En général, un chemin de propagation entre une source et un récepteur est une combinaison d'une ou plusieurs réflexions sur des surfaces et d'une ou plusieurs diffractions (Figure 10).

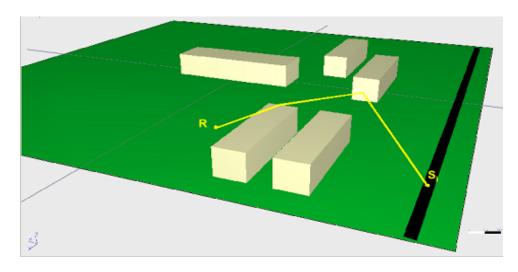


Figure 10 : Exemple de chemin de propagation, ici avec deux diffractions par une arête horizontale et une réflexion (Source Cerema)

La dernière étape d'un chemin de propagation jusqu'au riverain est souvent la transmission à travers l'enveloppe d'un bâtiment. A priori, plusieurs chemins de transmission sont mobilisés : les murs, les ouvrants et les entrées d'air. Pour les murs, l'isolement acoustique, c'est à dire l'atténuation, augmente globalement avec la fréquence et avec la masse surfacique des matériaux mis en œuvre, sauf à des fréquences particulières qui dépendent de la géométrie de chaque paroi et de ses constituants, comme illustré à la Figure 11 pour une paroi simple [11]. La transmission s'effectue par voie solidienne (mise en vibration des parois qui rayonnent du bruit à l'intérieur) et par voie aérienne (entrées d'air, défauts d'étanchéité à l'air des ouvrants).

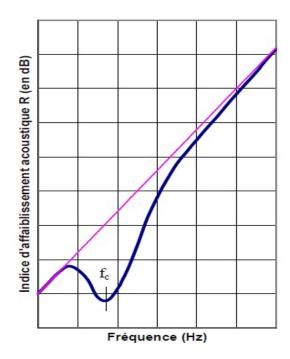


Figure 11 : Atténuation apportée par une paroi simple (source Certu (2003))

L'isolement est souvent déterminé par les ouvrants. Par défaut, il est considéré que l'isolement global d'un logement vis-à-vis du bruit routier est de 25 dB(A). Ainsi, lorsque les seuils réglementaires à deux mètres en avant de la façade des bâtiments sont respectés, soit 60 dB(A) de jour (respectivement 55 dB(A) de nuit), les niveaux sonores à l'intérieur des pièces d'habitation ne dépassent pas 35 dB(A) de jour (respectivement 30 dB(A) de nuit). La performance d'une enveloppe de bâtiment décroît très rapidement dès qu'elle présente une perméabilité à l'air significative (ex. fenêtre mal fermée). Dans le cas de chaussées à fort trafic en milieu très densément urbanisé, l'atténuation par transmission peut aussi être exploitée si le principe de la tranchée couverte est utilisé.

## II. La règlementation relative au bruit routier

Selon la norme AFNOR NF S 30-105, le bruit est défini comme « toute sensation auditive désagréable ou gênante, tout phénomène acoustique produisant cette sensation, tout son ayant un caractère aléatoire qui n'a pas de composantes définies ».

Le bruit est dû à une variation de la pression régnant dans l'atmosphère. Il peut être caractérisé par sa fréquence (grave, médium, aiguë) et par son amplitude évaluée en niveau de pression acoustique.

L'oreille humaine a une sensibilité très élevée puisque le rapport entre un son juste audible (2 10<sup>-5</sup> Pa) et un son douloureux (20 Pa) est de 1 000 000. L'échelle usuelle pour mesurer le bruit est donc une échelle logarithmique et les niveaux de bruit sont exprimés en décibel A (dB(A)) où A est un filtre caractéristique des particularités fréquentielles de l'oreille.

Le bruit de la circulation automobile fluctue au cours du temps. La mesure instantanée au passage d'un camion par exemple ne suffit pas pour caractériser le niveau d'exposition des personnes. C'est donc le cumul de l'énergie sonore reçue par un individu qui est l'indicateur le plus représentatif des effets du bruit sur l'homme et en particulier de la gêne issue du bruit de trafic.

Ainsi, pour caractériser le bruit routier, on utilise le niveau de bruit équivalent sur une période déterminée (1 mn, 1 h, 24 h, etc.) exprimé en décibels A et noté  $L_{\text{Aeq}}$ . Cet indicateur représente la moyenne énergétique du bruit reçu pendant la période considérée. D'autres indicateurs peuvent être définis à partir du  $L_{\text{Aeq}}$ , qui prennent en compte des périodes particulières  $(L_{\text{n}}, L_{\text{den}})$ ..

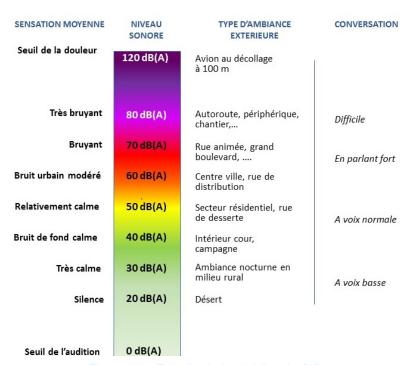


Figure 12 : Echelle du bruit (d'après [8])

La réglementation s'appliquant en France en matière de lutte contre les nuisances sonores dues aux transports terrestres, s'appuie essentiellement sur deux dispositifs. Historiquement fondée sur des approches et des préoccupations nationales avec la loi sur le bruit de décembre 1992, elle s'est enrichie dans les années 2000 d'un volet européen avec la Directive Européenne 2002/49/CE. Ces deux règlementations se complètent. Toutes deux impliquent la prévision ou la mesure de niveaux sonores en façade pour estimer le ressenti du riverain (notion abordée au chapitre V.3). Les méthodes préconisées (voire imposées) pour le calcul de ces niveaux sonores sont des piliers essentiels de cet

ensemble règlementaire. Elles sont brièvement évoquées à la fin de ce chapitre. La façon dont elles intègrent le bruit de roulement et les caractéristiques des revêtements de chaussée fait l'objet du chapitre III.

#### 1. La loi Bruit du 31 décembre 1992

La réglementation actuelle relative au bruit routier découle d'articles de la loi dite loi "Royal" ou loi "bruit", codifiée aux articles L.571-1 à L.571-26 du code de l'environnement. Elle a pour objet principal d'offrir un cadre législatif complet à la problématique du bruit et de poser des bases cohérentes de traitement réglementaire de cette nuisance. Elle a pour but de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation — sans nécessité ou par manque de précaution — des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement.

La réglementation relative au bruit du trafic routier se répartit entre :

#### Les textes relatifs à la limitation du bruit des voies nouvelles ou faisant l'objet d'une modification.

L'article L.571-9 du code de l'environnement (ancien article 12 de la loi bruit) impose la prise en compte du bruit dans tout projet neuf d'infrastructure routière ou ferroviaire, et lors de la transformation significative d'une voie existante (augmentation du niveau sonore de plus de 2 dB(A) après modification). Afin de respecter les niveaux de bruit fixés réglementairement, les maîtres d'ouvrages d'infrastructures sont tenus de mettre en place des protections (écrans antibruit, traitements de façades).

#### Les textes associés sont :

- Les articles R.571-44 à R.571-52 du code de l'environnement relatifs à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transport terrestres;
- L'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures qui définit les indicateurs et fixe les valeurs de niveaux sonores maximaux admissibles;
- La circulaire n°97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau routier national.

#### Extrait de la circulaire n°97-110

« Ainsi, dans les situations courantes on cherchera, autant que possible, à prendre en compte les nuisances sonores dès le stade des études de conception d'une route, et mettre ainsi à profit les possibilités d'agir sur :

- Ses caractéristiques géométriques (tracé, profil en long, profil en travers);
- Les conditions de circulation (allure, vitesse);
- La création des protections à la source (écran, butte, semi-couverture ou couverture).

L'utilisation de revêtements de chaussée dits « peu bruyants » peut être considérée comme un complément aux moyens de protection précédemment décrits. De nombreuses expérimentations ont été faites et sont encore en cours dans ce domaine. Toutefois, dans l'état actuel de la connaissance des phénomènes et des techniques, il est difficile de garantir la pérennité des qualités acoustiques de ces revêtements. Si on les utilise comme éléments de protection contribuant au respect des seuils réglementaires, il convient de se baser pour ce qui les concerne, sur des performances acoustiques réalistes et durables... »

Les textes concernant la réduction des nuisances sonores auxquelles sont exposés les bâtiments nouveaux construits en bordure d'infrastructures existantes.

L'article L.571-10 du code de l'environnement (ancien article 13 de la loi bruit) a introduit le classement des infrastructures de transports terrestres en fonction de leurs caractéristiques acoustiques et de leur trafic. Sur la base de ce classement, le Préfet détermine, après consultation des communes, les secteurs affectés par le bruit, les niveaux de nuisances sonores à prendre en compte et les prescriptions techniques applicables lors de la construction d'un bâtiment afin d'atténuer l'exposition à ces nuisances.

#### Les textes associés sont :

- Les articles R.571-32 à R.571-43 et l'arrêté du 30 mai 1996 qui précisent les règles à appliquer pour le classement des voies et les spécifications à respecter par les constructeurs, pour la protection, respectivement, des locaux scolaires et des bâtiments d'habitation qui seront implantés dans des zones exposées au bruit. En particulier, l'arrêté du 30 mai 1996 spécifie des valeurs d'isolement acoustique minimales des nouveaux bâtiments vis-à-vis du bruit de l'infrastructure en fonction de son classement;
- La circulaire du 12 juin 2001 (avec annexes) qui précise les modalités de recensement, de hiérarchisation et de financement des opérations de résorption des points noirs du bruit (PNB) des réseaux routier et ferroviaire de l'État. Y est notamment définie la notion de point noir du bruit des réseaux routier et ferroviaire de l'État (indicateurs de gêne, critères acoustiques, critères d'antériorité);
- La circulaire du 25 mai 2004 qui porte sur l'article L.571-10 du code de l'environnement et fixe, conformément au plan national d'actions contre le bruit du 6 octobre 2003, les nouvelles instructions à suivre concernant les observatoires du bruit des transports terrestres, le recensement des points noirs du bruit et les opérations de résorption des points noirs dus au bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux. C'est dans cette opération qu'est privilégiée la réduction du bruit à la source dans des conditions satisfaisantes d'insertion dans l'environnement et à des coûts de travaux raisonnables.

Les bruits des transports terrestres sont caractérisés par des paramètres liés au matériel roulant d'une part et aux infrastructures d'autre part. La circulaire mentionne que :

« Pour ce qui concerne le bruit routier, dans certaines situations, la pose de revêtements routiers peu bruyants est une des actions alternatives aux protections de type écran ou à l'isolation acoustique des façades ».

À noter qu'en 2009, dans sa « loi Grenelle 1 » (article 41), l'État confirme son engagement à résorber les points noirs du bruit les plus préoccupants dans un délai maximal de 7 ans.

Glossaire : Un **point noir du bruit** des réseaux routier et ferroviaire de l'État est un bâtiment sensible, qui est en particulier localisé dans une zone de bruit critique engendrée par au moins une infrastructure de transport terrestre des réseaux routier ou ferroviaire de l'État, et qui répond aux critères acoustiques et d'antériorité. Concernant les critères acoustiques, les indicateurs de gêne évalués en façades d'un point noir dépassent la valeur limite diurne 70 dB(A) et/ou la valeur limite nocturne 65 dB(A) ; ils sont évalués compte tenu des hypothèses de trafic retenues pour le classement sonore des infrastructures qui sont à l'origine de l'exposition sonore et prennent en compte l'ensemble des contributions sonores significatives.

#### 2. La Directive Européenne 2002/49/CE

L'Union Européenne, dans le cadre de la lutte contre les nuisances sonores, définit une approche commune visant à éviter, prévenir ou réduire en priorité les effets nuisibles de l'exposition au bruit dans l'environnement. Ainsi, la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 sur l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement vient en complément de l'abondante législation communautaire sur les sources.

Ses objectifs sont multiples :

- Permettre une évaluation harmonisée, dans les vingt-sept États européens, de l'exposition au bruit dans l'environnement, au moyen de cartes de bruit stratégiques (CBS) élaborées à partir de calculs prévisionnels de niveaux sonores;
- Prévenir et réduire les bruits excessifs au moyen de plans de prévention du bruit dans l'environement (PPBE) ;
- Protéger les zones calmes ;
- Faire en sorte que l'information et la participation du public soient au cœur du processus.

La directive 2002/49/CE (aussi connue sous le sigle END pour Environmental Noise Directive) concerne les sources de bruit des transports routiers, ferroviaires et aériens ainsi que celles provenant des installations industrielles. Elle s'applique au voisinage des grandes infrastructures de transport et au sein des grandes agglomérations. Celles-ci sont définies en fonction de leur trafic ou de leur nombre d'habitants. Une approche en deux étapes a été adoptée, mais actuellement dans sa configuration définitive, la Directive concerne les agglomérations de plus de 100 000 habitants ainsi que les territoires impactés par les routes (quel que soit leur statut) de plus de 3 millions de véhicules par an et les voies ferrées de plus de 30 000 passages de trains par an.

La transposition de la directive européenne en droit français se retrouve dans les articles L.572- 1 à L.572-11 du code de l'environnement. Les textes associés sont :

- **Décret n°2006-361 du 24 mars 2006** relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement et modifiant le code de l'urbanisme (décret codifié aux articles R.572-1 à R.572-11 du code de l'environnement);
- Arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement : arrêté technique fixant les conditions de mise en œuvre de la directive 2002/49/CE. Il précise le contenu des cartes de bruit, les méthodes d'évaluation de l'exposition au bruit, et les valeurs limites dont le dépassement peut justifier l'adoption de mesures de réduction du bruit.

S'en sont suivies différentes circulaires, instructions ministérielles fixant les modalités d'élaboration.

Si la directive 2002/49/CE détaille précisément les prescriptions techniques relatives à la cartographie, elle laisse en revanche aux États le soin de désigner les autorités responsables de l'élaboration des cartes, des plans d'action et de la collecte des données au niveau national. Les autorités compétentes en charge des CBS et PPBE sont fixées par le décret du 24 mars 2006 et complétées par les arrêtés du 14 avril et 26 décembre 2017 (Tableau 1).

Tableau 1 : Autorités compétentes en charge des CBS et PPBE

	CARTES DE BRUIT STRATÉGIQUES (CBS)	PLANS DE PRÉVENTION DU BRUIT DANS L'ENVIRONNEMENT (PPBE)							
Agglomérations	Commune ou EPCI compétents dans la lutte contre les nuisances sonores								
Grandes Infrastructures de transports terrestres	Représentant de l'État, du Département	Maîtres d'ouvrages :      État (RRN, réseau ferré, aéroports)     Collectivité gestionnaires d'infrastructures (Conseils départementaux, Communes/EPCI compétents)							

Fondés sur les cartes de bruit stratégiques (CBS), les PPBE sont réalisés un an après les CBS qui leur sont associées. Afin de prévenir et réduire le bruit dans l'environnement, lorsque cela est nécessaire, ils doivent :

- Traiter en priorité les zones où les niveaux sonores dépassent ou risquent de dépasser des valeurs dites « limites » et peuvent entraîner des effets nuisibles pour la santé. A noter cependant que la Directive à ce jour ne fixe pas de valeurs limites de niveaux sonores ;
- Protéger les zones calmes contre l'augmentation du bruit.

Pour les infrastructures relevant de l'État, il conviendra d'utiliser, autant que faire se peut, les travaux des observatoires du bruit en matière de réduction du bruit (réduction du bruit à la source, protections acoustiques et aides à l'insonorisation) et d'y intégrer des mesures de prévention, notamment :

- Le classement sonore des voies ;
- Les dispositions réglementaires s'appliquant aux maîtres d'ouvrages de bâtiments ou de projets d'infrastructures de transports;
- Les dispositions constructives ou d'urbanisme susceptibles d'être envisagées aux abords des voies;
- Les dispositions qui peuvent être prises à titre préventif en matière de maîtrise des trafics et des vitesses de circulation.

Tout comme les CBS, les PPBE doivent également :

- Être réexaminés, et le cas échéant révisés, tous les 5 ans ;
- Être diffusés largement auprès du public, avec une publication par voie électronique.

Les PPBE comportent une évaluation du nombre de personnes exposées à un niveau de bruit excessif et identifient les sources des bruits dont les niveaux doivent être réduits. Ils recensent les mesures prévues par les autorités compétentes pour traiter les situations identifiées par les cartes de bruit et notamment lorsque les valeurs limites sont dépassées.

#### 3. Méthodes règlementaires pour la prévision du bruit routier

#### a. Domaine d'application des méthodes

La réglementation nationale sur le bruit des transports terrestres impose l'évaluation de l'impact acoustique des infrastructures routières, qu'il s'agisse de voies nouvelles ou de transformations de voies. Cette évaluation repose en général sur la simulation conformément à une méthode de calcul normalisée (un modèle).

De même, dans le cadre de l'application de la directive européenne 2002/49/CE (END), les cartes de bruit stratégiques sont réalisées par simulation numérique.

La méthode en vigueur en France est la NMPB 2008. Elle est utilisée pour l'application de la législation nationale sur le bruit des infrastructures de transport terrestre, pour diverses études d'impact et elle a été utilisée jusqu'au 31 décembre 2018 pour l'application de l'END. Depuis cette date, le modèle spécifié dans la directive 2015/996/CE [12], dit modèle « CNOSSOS-EU », doit impérativement être utilisé pour la réalisation de cartes de bruit stratégiques (CBS).

La prise en compte des caractéristiques des revêtements de chaussée dans ces modèles règlementaires fait l'objet du chapitre III.

#### b. La méthode utilisée en France

La méthode de prévision du bruit routier actuellement recommandée dans la circulaire n°97- 110 du 12 décembre 1997 est décrite dans le guide méthodologique « *Prévision du bruit routier* » (Setra 2009). Elle permet de calculer le niveau sonore équivalent L<sub>Aeq</sub> de long terme causé par un trafic routier en un point récepteur situé au voisinage de l'infrastructure. Le niveau sonore de long terme est le niveau sonore correspondant à des conditions moyennes de circulation et des conditions météorologiques moyennes représentatives d'une longue période (typiquement un an pour les conditions de circulation et plusieurs années pour les conditions météorologiques). La réglementation actuelle relative au bruit des infrastructures routières est fondée sur ce niveau sonore de long terme.

La méthode « Prévision du bruit routier » est composé de deux documents :

- Le premier intitulé « Calcul des émissions sonores dues au trafic routier » ;
- Le deuxième intitulé « NMPB 2008 Méthode de propagation du bruit incluant les effets météorologiques ».

Pour ce qui concerne le calcul de l'émission sonore du flot de véhicules, il est basé sur un parc de véhicules actuel et comporte les éléments suivants :

- La décomposition de l'émission en deux composantes : la composante « roulement » supposée émise par le contact pneumatique-chaussée, et la composante « moteur », supposée émise par l'ensemble des sources mécaniques des véhicules :
- La prise en compte de l'influence du revêtement de chaussée sur le bruit émis ;
- Une méthode pour estimer la répartition du trafic moyen journalier sur les périodes 6h 22h, 6h 18h, 18h 22h et 22h 6h, visées par la réglementation ou par la transposition de la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement;
- Des recommandations relatives aux hypothèses de vitesse et d'allure des véhicules.

Pour ce qui concerne la NMPB 2008, le guide décrit la méthode actualisée de la propagation du bruit routier en milieu extérieur permettant, conformément aux exigences de la réglementation, de calculer le niveau sonore à longue distance des voies et de prendre en compte les effets météorologiques.

#### c. La méthode Européenne dite « CNOSSOS-EU »

Dans le cadre de l'harmonisation des méthodes de prévision de bruit à l'échelle européenne qui était prévue par directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, l'Union Européenne a publié la directive 2015/996/CE du 19 mai 2015 [12], qui énonce les méthodes communes d'évaluation du bruit, méthodes que les États membres sont tenus d'utiliser à partir du 31 décembre 2018 pour la réalisation des CBS. Avant cette date, les États membres pouvaient utiliser les méthodes d'évaluation adoptées au niveau national. A noter également que les États membres restent libres d'utiliser d'autres méthodes pour leur PPBE. L'annexe de la directive 2015/996/CE, fruit du projet CNOSSOS-EU (Common NOise aSSessment methOds in EUrope), détaille les méthodes de calcul pour chaque type de sources (émission et propagation) et pour l'estimation des populations exposées. Pour le bruit routier, les propriétés des revêtements de chaussée sont prises en compte sous forme d'un jeu de coefficients correcteurs du niveau d'émission (voir chapitre III.3).

# III. Les revêtements de chaussée dans les modèles de calcul règlementaires pour la prévision du bruit routier

#### 1. Rappel du domaine d'emploi des modèles

Dans le cadre de l'application de l'END, le modèle spécifié dans la directive 2015/996/CE [12], dit modèle « CNOSSOS-EU »¹, doit impérativement être utilisé pour la réalisation de cartes de bruit stratégiques (CBS) depuis le 1er janvier 2019. Le modèle NMPB 2008² reste en vigueur en France pour la réalisation des PPBE (Plans de Prévention du Bruit dans l'Environnement) requis par l'END, ainsi que pour l'application de la législation nationale sur le bruit des infrastructures de transport terrestre et pour diverses études d'impact.

Ces modèles sont destinés aux bureaux d'études en acoustique, aux services compétents de l'État ou des gestionnaires d'infrastructures de transport terrestre. Ils peuvent notamment servir à évaluer l'impact d'un changement de revêtement.

Pour ces deux modèles, le calcul implique dans un premier temps de déterminer la puissance acoustique associée au trafic routier, en fonction de sa composition, des débits et des allures observées. Le revêtement de chaussée a évidemment une influence importante sur la puissance acoustique obtenue. Le principe de calcul du terme d'émission de bruit routier est brièvement décrit pour chacun de ces deux modèles dans la suite du chapitre.

#### 2. NMPB 2008

#### a. Principes généraux du modèle d'émission de bruit routier

La méthode en vigueur en France pour le calcul de l'impact acoustique des infrastructures routières a été développée par plusieurs organismes du Réseau Scientifique et Technique de l'actuel MTES (Cerema³, CSTB et Université Gustave Eiffel⁴). Elle est décrite dans le tome 1 du guide Sétra⁵ « Prévision du bruit routier » [13] pour le calcul de la puissance acoustique de la source routière, et dans la norme NF S 31-133:2011<sup>6</sup> pour le calcul de l'atténuation entre la source routière et le riverain. Au sens strict, la NMPB 2008 est limitée au calcul de l'atténuation [14] mais par abus de langage, ce nom est donné à la méthode complète de calcul d'émission et d'atténuation. Dans le cadre du présent guide, seule la puissance acoustique présente un intérêt (tome 1 du guide Sétra).

La modélisation des émissions sonores repose sur le cumul des composantes « bruit de roulement » et « bruit moteur » pour chaque catégorie de véhicules. Les formulations de ces composantes sont issues de mesures d'émissions des véhicules qui ont été actualisées par rapport aux précédentes méthodes de référence (notamment le « Guide du Bruit des Transports Terrestres » de 1980 et la NMPB 96), pour tenir compte de l'évolution du parc automobile et des revêtements routiers.

Il est intéressant d'exploiter cette méthode afin d'estimer les ordres de grandeur des performances acoustiques des revêtements de chaussées en fonction des paramètres d'influence (type de véhicule, vitesse, allure, déclivité, ...), en particulier le gain en matière d'émissions sonores apporté par un revêtement « silencieux » par rapport à un revêtement classique. Ce gain est appelé « effet revêtement ».

<sup>1</sup> D'après S. Kephalopoulos, M. Paviotti, F. Anfosso-Lédée, Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), JRC Reference Report, Joint Research Centre, 2012

<sup>2</sup> NMPB 2008 : Nouvelle méthode de prévision du bruit routier 2008.

<sup>3</sup> Travaux effectués par les laboratoires suivants : SETRA, CERTU, CETE de l'Est et LRPC de Strasbourg. Ces laboratoires ont depuis le 1er janvier 2014 fusionné pour former le Cerema.

<sup>4</sup> L'INRETS qui a participé aux travaux de recherche. Depuis le 1er janvier 2011, l'INRETS a fusionné avec le LCPC pour former l'IFSTTAR, devenu Université Gustave Eiffel le 1er janvier 2020.

<sup>5</sup> Aujourd'hui Cerema ITM

<sup>6</sup> Cette norme correspond pour l'essentiel au tome 2 du guide Sétra avec toutefois quelques variations et compléments dans la définition du modèle de calcul.

Le modèle d'émission prédit des niveaux sonores par bandes de tiers d'octaves de 100 Hz à 5 000 Hz et admet les paramètres suivants :

- · Véhicules :
  - · Catégorie de véhicule : véhicules légers (VL) et poids-lourds (PL) ;
  - Allure : stabilisée, accélérée, décélérée ;
  - Vitesse: de 20 km /h (5 km /h en accélération/décélération) à 130 km /h (resp. 110 km /h) pour les VL (resp. PL).
- · Chaussée:
  - Déclivité : pente [de -6% à -2%], plane [de -2% à 2%], rampe [de 2% à 6%];
  - Catégorie de revêtement : R1, R2, R3 ou valeurs de mesures selon la méthode VI (voir chapitre IV);
  - Revêtement Drainant / Non Drainant ;
  - Age du revêtement : moins de 2 ans, loi de vieillissement de 2 à 10 ans.

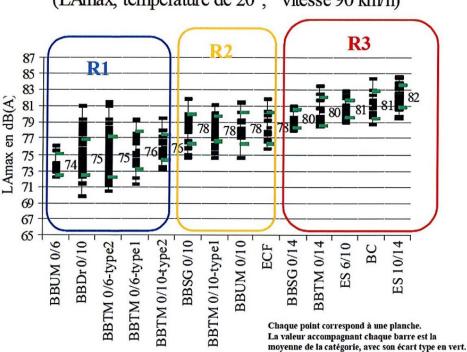
#### b. Catégorisation des revêtements de chaussées

Le tome 1 du guide Sétra [13] propose une méthode de calcul prévisionnel du bruit routier distinguant trois catégories de performances de revêtements de chaussées. Les catégories ont été définies à partir d'une analyse statistique de la base de données nationale des performances acoustiques des revêtements de chaussée, gérée par le Laboratoire de Strasbourg (Cerema Est) et qui répertorie les mesures de bruit de roulement effectuées principalement par les différents sites du Cerema. L'exploitation a porté sur des mesures en bord de voie dites VI (Véhicules Isolés, voir § IV.2) sur des véhicules légers (VL), sur une centaine de planches de revêtements de tous âges confondus. La cohérence avec les mesures de poids-lourds (PL) a été vérifiée.

La Figure 13 extraite du tome 1 du guide Sétra [13], présente la segmentation de certains revêtements de chaussées en trois catégories de performances acoustiques. Chaque trait noir représente le résultat mesuré (représentatif du niveau sonore maximum au passage d'une moyenne de 80 véhicules légers à 90 km /h et ramené à 20°C) sur une planche du type de revêtement indiqué en abscisse. Chaque chiffre indique la moyenne des niveaux sonores mesurés sur toutes les planches d'un type de revêtement, tous âges confondus. Sur la base de ces moyennes, trois classes ont été définies :

- Classe R1 pour les revêtements « peu bruyants » de moyenne inférieure à 76 dB(A);
- Classe R2 pour les revêtements « intermédiaires » dont la moyenne est supérieure à 76 dB(A) mais inférieure à 79 dB(A);
- Classe R3 pour les revêtements « bruyants » dont la moyenne est supérieure à 79 dB(A).

Il est cependant utile de préciser que la Figure 13 n'implique en aucune façon qu'un même type de revêtement utilisé dans deux chantiers différents sera dans les deux cas dans la même catégorie. Ainsi par exemple, le BBUM 0/6 pourra dans certaines situations avoir les caractéristiques d'un revêtement R1. mais aussi dans d'autres situations celles d'un revêtement R2.



Base de données des revêtements : mesures VI/VL (LAmax, température de 20°, vitesse 90 km/h)

Figure 13 : Segmentation des revêtements de chaussées en 3 catégories de performances acoustiques, [13]

Naturellement, d'autres couches de roulement existaient au moment où cette classification a été définie mais elles n'ont pas été prises en compte, faute d'un nombre de données expérimentales suffisantes.

Depuis la publication du tome 1 du guide « *Prévision du bruit routier* », d'autres revêtements sont apparus. Pour un revêtement non pris en compte par le tome 1 du guide du Sétra, deux approches sont possibles. D'une part, le revêtement en question peut être rattaché à l'une des catégories R1 à R3 sur la base d'informations comme la plus grande dimension des granulats (D) et la teneur en vides communicants. D'autre part, il est permis, sous certaines conditions, de déterminer une composante roulement spécifique au revêtement considéré, sur la base de mesures VI au passage<sup>7</sup>.

Dans ces trois catégories, il faut aussi distinguer si le revêtement est « drainant » (au sens de la norme NF EN 13108-7) ou « non drainant ». En effet, la répartition en fréquence de l'émission sonore est alors différente, ce qui peut conduire après un calcul de propagation à des niveaux de bruit différents en façade d'habitation.

Il est ainsi observé sur la Figure 14, qui correspond à un « spectre de trafic » composé de 15 % de PL, qu'à niveau d'émission égal, le spectre d'un revêtement drainant présente un maximum à une fréquence plus basse que celui d'un revêtement non drainant.

<sup>7</sup> Cf Prévision du bruit routier tome 1, §3.5 p 43 « Démarche de production des composantes « roulement » et plus particulièrement §3.5.7 p 46 « Possibilité d'utiliser d'autres valeurs de la composante roulement ».

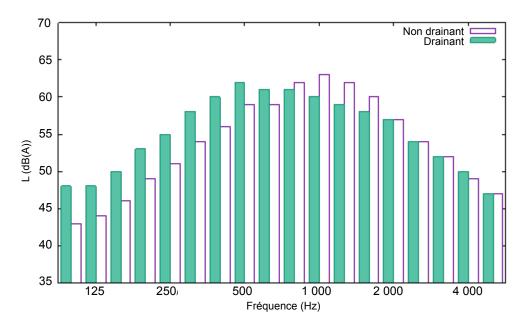


Figure 14 : Répartitions spectrales de trafic NMPB 2008 (source Cerema)

#### c. Calcul des niveaux d'émission acoustique

La Figure 15 présente les niveaux sonores maximaux au passage de véhicules calculés par la méthode [13] pour des véhicules légers à vitesse stabilisée (graphique gauche) et pour des poids lourds en rampe de 6 % (graphique droit). Les composantes du bruit de roulement pour chaque catégorie de revêtement R1, R2 et R3 et celles du bruit « moteur » sont représentées en pointillés. La somme de ces composantes est représentée par les courbes pleines colorées.

Un écart de 2 à 3 dB(A) est prédit entre deux catégories de revêtements consécutives pour les vitesses les plus élevées. A basse vitesse, cet écart est moindre car la composante « moteur » est plus significative. Ce moindre écart est plus marqué pour les PL.

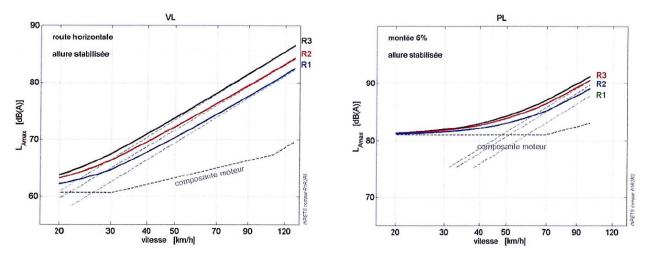


Figure 15 : Prévision de niveaux sonores maximum au passage selon la méthode française sur les 3 catégories de revêtements : (gauche) VL à vitesse stabilisée, toutes déclivités, (droite) PL sur rampe à 6% vitesse stabilisée [13]

À titre informatif, les valeurs de l'intervalle de confiance à 95% associé de la composante de « roulement » mesurée sont de l'ordre de ± 3 dB(A) [13].

#### d. Calcul de l'effet revêtement

L'effet revêtement est la différence attendue sur le bruit de trafic résultant de l'utilisation d'un revêtement de catégorie R1 plutôt qu'un revêtement de catégorie R3. A titre illustratif, la Figure 16 présente l'effet revêtement en fonction de la vitesse du flot de véhicules, pour les catégories de véhicules VL et PL en allure stabilisée et sur route horizontale.

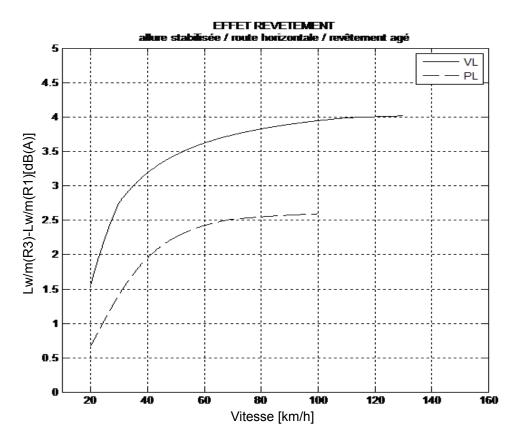


Figure 16 : Effet revêtement en fonction de la vitesse du flot de véhicules, pour les VL et PL en allure stabilisée et sur route horizontale ; reproduction de la figure 3.28 de [13]

Selon ce modèle, des gains d'émission significatifs de l'ordre de 2 à 4 dB(A) peuvent être obtenus, même sur des sections de voirie urbaine avec des vitesses de circulation faibles comprises entre 30 et 50 km /h et un faible taux de poids lourds (sous réserve d'une allure stable ou décélérée). A noter qu'il s'agit de gains à l'émission (puissance acoustique émise) qui n'intègrent pas les transformations subies par la propagation. Ils sont en général supérieurs aux gains sonores obtenus en bord de voie ou en façade d'habitation.

#### 3. Directive 2015/996/CE dite « CNOSSOS-EU »

La directive européenne 2015/996/CE établissant les méthodes communes d'évaluation du bruit conformément à l'END décrit un modèle d'émission routière au paragraphe 2.2 de son annexe [12]. Ce modèle distingue cinq catégories de véhicules : les véhicules légers, les véhicules de moyen tonnage, les véhicules lourds, les deux-roues motorisés, et une catégorie ouverte qui reste à définir.

Comme pour le modèle français, l'émission sonore d'un véhicule routier provient de deux sources principales :

- 1. Le bruit de contact pneumatique/chaussée ;
- 2. Le bruit de propulsion produit par la chaîne cinématique (moteur, transmission, etc.) du véhicule.

Pour les deux-roues motorisés, le bruit de contact pneumatique/chaussée est considéré comme négligeable.

Dans ce modèle européen, le niveau de puissance acoustique d'un véhicule est indépendant de l'âge du revêtement et la répartition spectrale est dépendante de la vitesse. Le modèle est défini par bandes d'octaves de 63 à 8000 Hz. La structure du modèle est définie à partir de conditions de référence :

- Vitesse constante ;
- · Route horizontale:
- Température de 20°C;
- Revêtement routier de référence virtuel combinant un DAC 0/11 (équivalent à un BBSG) et un SMA 0/11, entre 2 et 7 ans d'âge, dans un état d'entretien représentatif;
- Chaussée sèche ;
- Absence de pneus à clous.

À partir de cette configuration de référence et en fonction des besoins, des correctifs sont appliqués sur le terme roulement du modèle parmi lesquels :

- L'effet d'accélération ;
- L'influence de la température ;
- La nature du revêtement de chaussée.

Le terme moteur du modèle reçoit également des correctifs relatifs à :

- · L'accélération ;
- La déclivité ;
- La nature du revêtement de chaussée pour prendre en compte les éventuels phénomènes d'absorption acoustique par la chaussée.

Les deux termes du modèle sont donc dépendants de la couche de roulement de la chaussée. La prise en compte du revêtement de chaussée se fait par la définition d'un jeu de neuf coefficients dont les huit premiers  $(\alpha_i, i=\{1,...,8\})$  correspondent aux corrections par rapport au revêtement de référence à apporter dans chaque bande d'octave et le neuvième  $(\beta)$  correspond à la variation globale de cette correction avec la vitesse. Ces neufs coefficients correctifs sont tabulés d'après des données de mesures Néerlandaises pour différents types de revêtements qui correspondent peu aux revêtements utilisés en France. Néanmoins, un travail a été mené par le Cerema pour définir ces coefficients à partir des classes de revêtements R1, R2 et R3 utilisées dans la NMPB 2008. Les résultats sont présentés dans le paragraphe suivant.

#### 4. Compatibilité des deux méthodes de prévision du bruit routier

En ce qui concerne le bruit routier, le modèle d'émission européen harmonisé [12] diffère de celui qui est défini dans le tome 1 du guide Sétra [13] alors que pour la partie propagation, le modèle européen harmonisé est presque identique au modèle français.

Il est essentiel que le changement de modèle n'introduise pas de variations majeures dans les cartes produites d'une échéance à l'autre, toutes choses égales par ailleurs. Par conséquent, le MTES a demandé au Cerema d'étudier la compatibilité du modèle européen harmonisé d'émission routière avec le modèle français. Bien que les modèles soient formellement différents, il est possible de trouver des jeux de coefficients correctifs α, pour les grandes familles {R1, R2, R3} x {« Drainant », « Non Drainant »} permettant de conserver le niveau de puissance global en dB(A) avec une précision acceptable [15]. La Figure 17 illustre les très faibles écarts obtenus entre les deux méthodes en fonction de la vitesse dans le cas respectivement d'un véhicule léger sur revêtement de catégorie R2 (gauche) et d'un train routier sur un revêtement drainant de catégorie R1 (droite). Ces jeux de coefficients sont tabulés en annexe de l'arrêté du 1er juin 2018 modifiant l'arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement.

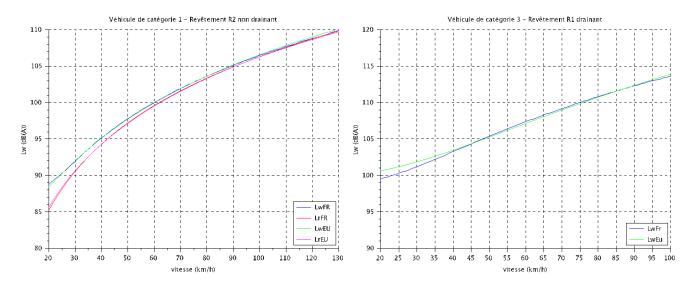


Figure 17 : Ajustement du modèle CNOSSOS-EU (EU) sur le modèle français de prévision de bruit (FR) Lr = composante roulement, Lw = puissance totale - Cas d'un véhicule léger sur un revêtement R2 non drainant (gauche); Cas d'un train routier sur un revêtement R1 drainant (droite) (source Cerema)

### IV. Méthodes de mesure du bruit de roulement

#### 1. Domaine d'emploi des mesures

Les mesures de bruit de roulement sur site sont utilisées dans les cas suivants :

- Pour le développement d'un nouveau revêtement, particulièrement lorsque des performances phoniques sont recherchées ;
- Pour la mesure de la performance acoustique d'un revêtement existant, pour évaluer la réduction obtenue après chantier, pour déterminer les données d'entrée d'un modèle de calcul visant à évaluer le bénéfice acoustique d'un changement de revêtement, pour vérifier la conformité à un cahier des charges;
- Pour l'auscultation d'un réseau, le diagnostic d'un revêtement ou encore le suivi de la performance acoustique d'un revêtement routier.

Il n'existe pas d'obligation règlementaire relative au bruit de roulement. De ce fait, celui-ci est rarement pris en compte dans les outils de programmation de l'entretien routier. Les mesures sont donc pratiquées de façon volontaire par les entreprises, les maîtres d'ouvrages ou les gestionnaires routiers.

Deux types de méthodes existent :

- La mesure au passage (dite « VI » ou « SPB ») qui consiste à mesurer en bord de voie à l'aide d'un système fixe le niveau sonore maximum lors du passage de véhicules, en général au sein d'un trafic;
- La **mesure de proximité en continu** (dite « *CPX* ») qui consiste à mesurer à l'aide d'un système embarqué sur un véhicule d'essais, le bruit émis à proximité d'un pneumatique en roulement.

Ces méthodes ne sont pas équivalentes, les niveaux sonores mesurés sont significativement différents et leur corrélation n'est pas encore clairement établie. Elles sont cependant complémentaires. La mesure au passage reflète une réalité du trafic dans sa diversité. Les mesures CPX permettent d'évaluer les propriétés acoustiques d'un revêtement sur l'ensemble du tronçon. Le mesurage en champ proche, continu et direct, du bruit de contact pneumatique - chaussée dans des conditions standard permet d'obtenir des informations sur l'homogénéité des performances acoustiques d'un revêtement.

Le Tableau 2 récapitule les différents domaines d'emploi.

Il est rappelé que le bruit de roulement n'est pas le seul paramètre de l'exposition des riverains. Les méthodes de mesure du bruit de roulement ne traduisent donc pas totalement la situation d'exposition. Lors d'un changement de revêtement de chaussée, certains maîtres d'ouvrage choisissent d'évaluer les bénéfices acoustiques par une mesure en un point fixe du niveau sonore moyen du trafic avant puis après travaux. Cette méthode, si elle est opérée directement en façade d'habitations exposées, présente l'avantage de caractériser au mieux l'exposition des riverains et d'être en cohérence avec l'application de la règlementation. Cependant, cette méthode n'étant pas une mesure de bruit de roulement, elle traduit difficilement l'impact d'un changement de revêtement. En effet, la mesure en façade est globale, spécifique à un site, elle intègre les contributions de diverses sources sonores (parfois autres que la route à caractériser) et surtout les conditions de propagation entre la source (la route) et le récepteur (la façade).

Lorsque seul l'impact d'un changement de revêtement doit être évalué, il est plutôt recommandé de mesurer directement le bruit de roulement sur site et à proximité de la source, de préférence par la méthode CPX.

Une liste (non exhaustive) des organismes pratiquant la mesure de bruit de roulement en France est donnée à titre indicatif en Annexe 1.

Tableau 2 : Domaines d'emploi comparés des méthodes de mesure de bruit de roulement

	MESURE AU PASSAGE (VI, SPB)	MESURE EN CONTINU (CPX)
Domaine d'application conseillé	<ul> <li>Evaluation précise du bénéfice acoustique d'un revêtement dans l'environnement;</li> <li>Complément éventuel à une mesure CPX pour affiner un diagnostic.</li> </ul>	<ul> <li>Comparaisons « avant-après » de la performance d'un revêtement à la source;</li> <li>Vérification de la conformité à un cahier des charges précis;</li> <li>Mesure de l'homogénéité et suivi de l'évolution des performances d'un revêtement ou d'un réseau dans le temps;</li> <li>Qualification d'un nouveau revêtement.</li> </ul>
Points forts	<ul> <li>Permet d'évaluer un bruit de trafic et l'effet du revêtement pour toute catégorie de véhicules;</li> <li>Permet d'estimer un niveau d'exposition en façade moyennant le recours à un modèle de prévision;</li> <li>La méthode est pratiquée et normalisée depuis de nombreuses années. Elle a permis de constituer d'importantes bases de données de bruit de roulement (voir Figure 13).</li> </ul>	<ul> <li>Mesure rapide et répétable;</li> <li>Méthode permettant d'ausculter un grand linéaire;</li> <li>Prend en compte l'homogénéité / hétérogénéité d'un revêtement;</li> <li>Elle est bien adaptée à la caractérisation de la qualité acoustique des revêtements;</li> <li>Se généralise en Europe.</li> </ul>
Limites	<ul> <li>Faible applicabilité: de nombreuses restrictions de site notamment en milieu urbain;</li> <li>Mesure ponctuelle qui évalue un endroit bien délimité (problème de représentativité de l'ensemble de la section);</li> <li>Lourde à mettre en œuvre.</li> </ul>	<ul> <li>Mesure peu corrélable à l'exposition du riverain;</li> <li>Mesure peu représentative du trafic réel;</li> <li>Méthode plus récente, peu de recul, base de données encore limitée à ce jour.</li> <li>Reproductibilité encore mal maîtrisée</li> </ul>

## 2. Méthode de mesure du bruit de roulement au passage : la méthode "Véhicule isolé" (VI) ou méthode SPB

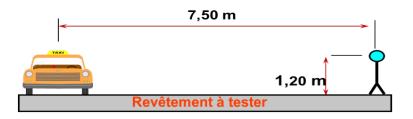
#### a. Principe général

La méthode VI (Véhicules Isolés) consiste à mesurer en un point fixe situé en bord de voie, le niveau sonore maximal - L<sub>Amax</sub> - au passage d'un grand nombre de véhicules d'un trafic. Le terme "isolé" signifie que les véhicules sont mesurés individuellement dans le flot de circulation. La méthode VI est définie par la norme internationale NF EN ISO 11819-18 et parfois désignée par son acronyme international SPB (Statistical Pass-By).

Le microphone est situé en bord de voie, à 7,50 m de l'axe de la voie considérée et à 1,20 m de hauteur (Figure 18).

Les véhicules mesurés doivent circuler dans des conditions de prédominance du bruit de roulement, c'est-à-dire à vitesse stabilisée supérieure à 45 km /h. La méthode impose de séparer les différentes catégories de véhicules et de mesurer un nombre minimum de véhicules par catégorie : au moins 100 véhicules légers (VL) et au moins 80 poids-lourds (PL).

<sup>8</sup> Cette norme est en cours de révision à la date de parution du présent guide



#### Contraintes de site :

- Pas d'obstacle réfléchissant
- Profil en long rectiligne sur au moins 200 m
- Profil en travers plat
- Sans grand déblais, ni remblais
- Accotements dérasés



Figure 18 : Mesure de bruit de roulement au passage (VI ou SPB) (source Cerema-Université Gustave Eiffel)

A chaque passage de véhicule, le niveau sonore maximum  $L_{\text{Amax}}$  et la vitesse V sont relevés. A l'issue des mesurages, il est obtenu, pour chaque catégorie de véhicules, une centaine de couples ( $L_{\text{Amax}}$ , V) (voir Figure 19).

Pour chaque catégorie de véhicules, la droite de régression qui relie le  $L_{\text{Amax}}$  à la vitesse V est calculée selon la formule :

$$L_{\text{Amax}}(V) = L_{\text{Amax}}(V_{\text{réf}}) + a \log_{10}(V/V_{\text{réf}})$$
 (Équation 1)

οù

 $L_{\text{Amax}}(V_{\text{réf}})$  représente le niveau sonore ramené à la vitesse de référence  $V_{\text{réf}}$ ;

a est la pente de la droite de régression. Elle permet de déterminer le  $L_{_{\rm Amax}}$  pour une vitesse quelconque, à condition toutefois que celle-ci soit contenue dans l'intervalle de validité de la régression.

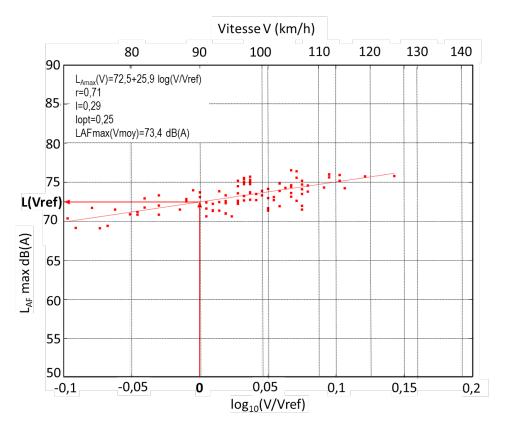


Figure 19 : Exemple de régression calculée sur un ensemble de passages de véhicules légers, chaque point correspond à un passage de véhicule (Source : Cerema)

Le résultat principal fourni par la mesure est ainsi la valeur en dB(A) du  $L_{Amax}$  ( $V_{réf}$ ) pour la catégorie de véhicules considérée. Un spectre moyen en tiers d'octaves à la vitesse de référence peut également être fourni. En France, la vitesse de référence était jusqu'à présent 90 km /h pour les VL et 80 km /h pour les PL et les TR. La valeur du  $L_{Amax}$  (90 km /h) pour les VL est souvent considérée comme représentative de la qualité acoustique du revêtement.

La répétabilité "r" et la reproductibilité "R" de la méthode VI sont les suivantes :

- r = 1 dB(A)
- R = 1.5 dB(A)

#### b. Intérêt de la méthode VI

La méthode de mesure au passage VI permet de quantifier ponctuellement l'effet du revêtement sur le bruit d'un trafic. Maîtrisée depuis plusieurs décennies, elle a servi à construire une importante base de données « bruit de roulement » qui permet encore à ce jour de quantifier les performances acoustiques intrinsèques des différentes formules de revêtements de chaussées (chapitre V.2). Ces jeux de coefficients sont tabulés en annexe de l'arrêté du 1er juin 2018 modifiant l'arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement. Elle a notamment permis de définir les trois catégories de revêtements R1, R2 et R3 utilisées pour les calculs règlementaires de bruit dans l'environnement (paragraphe III.2.b).

Par ailleurs, si les conditions d'environnement et de trafic sont identiques, la méthode permet également de comparer les performances acoustiques de revêtements routiers.

Enfin, cette méthode permet de déterminer les lois d'émission sonore pour différentes catégories de véhicules, au sens du guide méthodologique de prévision du bruit routier du Sétra de 2009 [13] et son application permet le calcul de niveaux sonores  $L_{\text{Aeq}}$  en façade des habitations riveraines de l'infrastructure routière.

#### c. Contraintes et limites de la méthode VI

La méthode de mesure au passage VI impose de fortes contraintes de site. En effet, celui-ci doit être exempt de tout obstacle réfléchissant (bâtiment, arbre, glissière de sécurité, etc.). Son profil en travers doit être plat, sans grand déblai ni remblai (dénivelé maximum de 0,50 m). Son profil en long doit être rectiligne sur au moins 200 mètres de part et d'autre du point de mesure et ne doit pas présenter de pente significative (inférieure à 2 %). Les accotements doivent être dérasés. Il est difficile de la pratiquer dans le respect de toutes ces conditions, notamment en milieu urbanisé.

Comme pour toute mesure de bruit en milieu extérieur, la mesure est soumise à des contraintes météorologiques. La température doit être comprise entre 5°C et 30°C (si possible proche de 20°C) et la vitesse du vent doit être faible (inférieure à 5 m/s). La mesure de bruit de roulement au passage se pratique sur chaussée sèche, au moins 48 heures après les dernières précipitations dans le cas d'un revêtement poreux.

Le trafic ne doit pas être trop intense pour que les véhicules du flot soient séparés, mais il ne doit pas non plus être trop faible pour limiter la durée de mesure (et donc son coût) et éviter la dérive des paramètres météorologiques. Si la norme spécifie trois classes de véhicules (VL, PL à 2 essieux et PL à plus de 2 essieux), dans la pratique, les mesures portent essentiellement sur les VL et sur les TR.

Par ailleurs, ces mesures en bord de voie sont ponctuelles. Elles ne peuvent pas de ce fait rendre compte de l'homogénéité des performances acoustiques d'une section de chaussée.

# d. Variante : méthode du « backing board »

Cette méthode permet d'étendre le domaine d'application de la méthode SPB aux sites complexes (urbains par exemple) en présence de surfaces réfléchissantes à proximité du point de mesure.

Cette procédure est décrite dans la note technique ISO/PAS 11819-4:2013 et devrait à terme figurer comme une annexe de la future norme révisée SPB (NF EN ISO 11819-1).

Le principe est de substituer aux conditions de champ libre que la présence d'obstacles perturbe, une condition de champ réfléchi contrôlée. Le microphone est monté sur une planche rectangulaire totalement réfléchissante de dimensions 0,90 m x 0,75 m (backing board) (Figure 20). L'onde sonore provenant du véhicule est réfléchie par le backing board, provoquant une augmentation d'environ 6 dB(A) de la pression sonore. Il suffit alors de retrancher ces 6 dB(A) à la valeur mesurée pour retrouver approximativement le niveau théorique en champ libre.

Cette méthode peut être utilisée pour des mesures dans un environnement bâti urbain ou en présence de barrières de sécurité, murs antibruit, remblais ou de routes en déblai.

Cette correction introduit cependant une plus grande incertitude sur la mesure, notamment en dessous de 500 Hz et au-dessus de 2000 Hz.



Figure 20: Exemple de mesure au passage avec backing board (source: Université Gustave Eiffel)

#### e. Variante : méthode "Véhicule maîtrisé" (VM)

La méthode de mesure au passage VM (véhicule maîtrisé) fut historiquement la première méthode utilisée en France. Elle est décrite dans la norme NF S 31119-2. Le terme "maîtrisé" signifie qu'au lieu de mesurer des véhicules du trafic, il est utilisé des véhicules d'essais conduits dans des conditions bien définies. La procédure de mesurage nécessite l'emploi de deux véhicules équipés chacun de deux montes de pneumatiques.

La méthode VM a permis d'alimenter les premières bases de données sur les performances acoustiques des revêtements. Mais à cause des contraintes d'équipement s'ajoutant à celles d'une mesure au passage, la méthode VM n'est plus appliquée sauf pour des besoins de recherche, sur piste ou sur route non ouverte au trafic. Il a été montré que les deux méthodes VI et VM fournissent, pour les VL, des résultats proches à  $\pm$  1 dB(A).

#### 3. Méthode de mesure du bruit de roulement en continu (CPX)

# a. Principe général

La méthode de mesure en continu consiste à mesurer le bruit émis à proximité d'un pneumatique d'essais en roulement. Le pneumatique d'essais peut être directement monté sur un véhicule d'essais ou monté sur une remorque tractée. Souvent désignée par son acronyme international CPX (Close ProXimity), la méthode est décrite dans la norme NF EN ISO 11819- 2, complétée par la spécification technique XP ISO/TS 11819-3, toutes deux publiées en 2017. Avant cette date, la mesure était pratiquée en France sur des véhicules d'essais uniquement et selon la norme expérimentale XP S 31145-1, complétée le cas échéant par la méthode d'essais LPC n°63 [16].

La norme internationale NF EN ISO 11819-2 publiée en mars 2017 et l'ancienne norme expérimentale XP S 31145-1 qui prévalait en France avant cette date sont très proches. Le principe de mesure est identique. La méthodologie de la norme expérimentale française apporte plus de précision au résultat car elle requiert une mesure à chaque rotation de la roue d'essai (environ 2 m) alors que la norme internationale impose d'évaluer un niveau sonore tous les 20 m. La mesure des niveaux sonores tous les 2 m peut se ramener à un niveau sonore sur 20 m conforme à la norme internationale par une simple moyenne a posteriori, mais elle permet en outre d'identifier la présence éventuelle de défauts de chaussée ponctuels.

En revanche, une différence importante entre les deux documents normatifs réside dans le choix du pneumatique d'essais. La norme expérimentale XP S 31145-1 autorisait l'utilisation d'un pneumatique ordinaire du commerce à condition de l'étalonner régulièrement sur une chaussée de référence sur piste. La norme internationale NF EN ISO 11829-2 préconise quant à elle le recours à deux pneumatiques d'essais de référence, spécifiques, et décrits dans l'XP ISO/TS 11819-3. L'un (« P1 ») est décrit dans la norme ASTM F2493. Il est supposé émettre un bruit de roulement représentatif d'un VL. L'autre (« H1 » : Avon AV4) est supposé représenter le bruit émis par un PL, mais il n'est plus conforme à la nouvelle règlementation et n'est plus commercialisé à ce jour. Aucun de ces deux pneumatiques n'est utilisable sur les véhicules d'essais français.

Le Cerema Strasbourg s'est équipé d'une remorque de mesure, seul équipement existant à ce jour en France sur lequel peuvent être montés ces pneumatiques.

La roue d'essais est équipée de deux microphones, placés à proximité du contact entre le pneumatique et la chaussée, à 20 cm du flanc latéral du pneumatique, 20 cm de l'axe de la roue et 10 cm au-dessus de la chaussée (Figure 21). D'autres positions de microphones peuvent être utilisées de façon optionnelle.

Un système d'acquisition est embarqué à bord du véhicule d'essais, permettant d'enregistrer en continu les niveaux sonores et la vitesse tous les 20 m lorsque le véhicule roule sur la section routière à caractériser (Figure 22). Les systèmes français sont même conçus pour enregistrer les données tous les 2 m et les recomposent ensuite par segments de 20 m ou 100 m. Les niveaux sonores mesurés aux deux microphones sont moyennés. Le niveau sonore de chaque segment de 20 m est recalé par rapport à la vitesse. Pour une vitesse de référence donnée, le niveau sonore moyen de la section est calculé ainsi que la dispersion autour de cette moyenne. L'écart type des niveaux sonores le long de la section donne une estimation de l'homogénéité du revêtement.



Figure 21 : Disposition de mesure en continu (CPX), le microphone arrière est optionnel (source Université Gustave Eiffel)

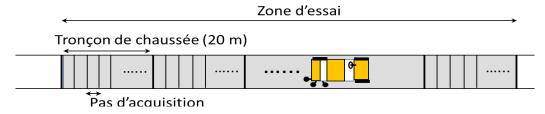


Figure 22 : Principe de mesure en continu (CPX)

Le résultat principal fourni par la mesure est le niveau en continu moyen sur la section à la vitesse de référence  $V_{ref}$  pour un pneumatique P donné  $L_{CPX,P}(V_{ref})$ . Un spectre moyen en tiers d'octaves entre 315 Hz et 4 kHz, à la vitesse de référence peut également être fourni.

La répétabilité "r" et la reproductibilité "R" de la méthode CPX ont été estimées pour l'ancienne norme expérimentale XP S 31-145 :

- r = 0,6 dB(A) (1 dB(A) pour le protocole d'auscultation à grand rendement);
- R = 1.4 dB(A) (2 dB(A) pour le protocole d'auscultation à grand rendement).

Le pneumatique d'essais peut être monté directement sur le véhicule d'essais (Figure 21) ou sur une remorque en général équipée d'un capot protecteur pour une meilleure immunité aux perturbations extérieures, en particulier au vent sur les microphones dû au déplacement du véhicule et aux autres bruits du trafic (Figure 23). La remorque permet surtout d'utiliser toutes sortes de pneumatiques d'essais. Son inconvénient majeur est d'être peu maniable du fait de son importante largeur. La mesure directement sur véhicule d'essais offre les avantages d'une conception simple et moins coûteuse, et surtout d'une grande maniabilité de l'appareil même en milieu urbain dense. Cependant, elle s'adapte difficilement aux divers pneus d'essais et reste sensible aux bruits aérodynamiques au-dessus de 90 km /h.





Figure 23 : Remorque de mesure CPX du Cerema (Laboratoire de Strasbourg)

# b. Conditions d'application de la méthode CPX, avantages et inconvénients

La méthode CPX peut s'appliquer aussi bien sous circulation que sur une section non circulée. La section routière caractérisée ne doit pas comporter d'obstacles latéraux de hauteur significative (> 1,50 m) et situés à moins de 2 mètres des microphones de mesure sauf dans le cas d'une remorque capotée.

Elle est adaptée à la plupart des applications des mesures de bruit de roulement : caractérisation des performances acoustiques d'un revêtement, comparaison de revêtements routiers, suivi de performances dans le temps, auscultation d'un réseau routier, cartographie sonore d'un réseau [17]. Il est même envisagé à terme de l'utiliser pour déterminer les coefficients de correction des revêtements routiers requis par le modèle européen CNOSSOS-EU [18]. De plus, la mise en œuvre des mesures est relativement facile, rapide et peu contrainte. Contrairement à la méthode au passage, le résultat n'est pas ponctuel et l'homogénéité du revêtement peut être vérifiée. Tous ces avantages conduisent depuis quelques années au recours croissant à la méthode CPX.

Il faut cependant admettre que la méthode ne reproduit pas la réalité d'un trafic. Le résultat est très dépendant du pneumatique d'essai utilisé, de ses caractéristiques et de son évolution. Cette dépendance n'est d'ailleurs pas encore totalement maîtrisée (voir section suivante). Par ailleurs, la méthode est encore récente, les données de référence pour les performances de revêtements sont peu nombreuses. L'utilisation de la méthode dans un cadre contractuel ou règlementaire doit donc rester prudente pour encore quelques années.

#### c. Importance du pneumatique d'essais pour la mesure CPX

Le pneumatique est un élément essentiel de la mesure CPX. Deux pneumatiques différents donneront des niveaux sonores CPX différents, des spectres différents et même des écarts entre revêtements de chaussées différents.

Une campagne d'essais croisés menée en 2010 a révélé des écarts très importants entre appareils de mesure CPX [19]. Les sept véhicules instrumentés utilisaient des pneumatiques d'essais différents ou ayant vieilli différemment. Une étude approfondie lancée par le sous-groupe bruit du GNCDS de l'IDRRIM a étudié l'influence des différents paramètres pouvant expliquer ces écarts : pneumatiques, chaine de mesure, capteurs, etc. Elle a conclu que l'élément principal à l'origine des écarts est le pneumatique d'essais, son type mais aussi son âge [20].

La norme expérimentale française XP S 31145 et la méthode LPC n°63 se référaient à un pneumatique du commerce (exemple en Figure 24 de celui ayant permis d'établir les méthodes). La norme NF EN ISO 11819-2 maintenant en vigueur préconise deux pneumatiques de référence spécifiques :

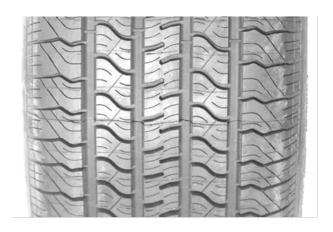
• Le pneumatique « P1 » (Uniroyal Tiger Paw SRTT 225/60 R16) qui répond à une norme ASTM garantissant la stabilité de ses caractéristiques et la pérennité de sa fabrication ;

• Le pneumatique « H1 » (Avon Supervan AV4 195/R14C 106/104) supposé représentatif d'un poids-lourd. A noter que ce pneumatique n'est plus commercialisé. Des recherches sont en cours pour tester d'autres alternatives.

Les dimensions de ces pneumatiques sont différentes et incompatibles avec les véhicules d'essais français.



Figure 24 : Pneumatique utilisé pour établir la XP S 31 145 et la méthode LPC n°63 (Michelin Energy E3A195/60/R15)



(a) P1 (Uniroyal SRTT)

(b) H1 (Avon AV4)

Figure 25 : Pneumatiques de référence de la norme NF EN ISO 11819-2

Plus récemment, une expérimentation inter-laboratoires sur plusieurs planches routières de la piste de référence de l'Université Gustave Eiffel (Nantes) a été menée [21]. Au total, 7 équipes avec leurs appareils de mesure (6 véhicules instrumentés et 1 remorque) dotés de 10 jeux de pneumatiques différents ont testé jusqu'à 9 surfaces routières de la piste. Les niveaux sonores obtenus avec les pneumatiques de référence ont pu être mesurés sur ces planches grâce à la remorque du Cerema Strasbourg.

La Figure 26 présente les niveaux sonores moyens obtenus à la vitesse de référence de 80 km /h, mesurés par les différentes configurations (une configuration correspond à un véhicule, un pneumatique d'essais, un système de mesure et une équipe de mesure). Les résultats diffèrent de plusieurs décibels, jusqu'à 8 dB(A) sur une même surface routière. Sur certaines planches, les appareils équipés d'une même référence de pneumatique de même âge, ont obtenu des écarts moindres (moins de 2 dB(A)). Cela confirme que l'amélioration de la méthode nécessite au minimum la maîtrise des pneumatiques d'essais.

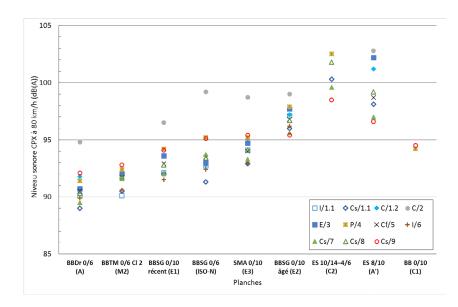


Figure 26 : Essais croisés de fin 2016 sur les différents revêtements de la piste Université Gustave Eiffel (niveaux sonores CPX à 80 km/h) (Source : Université Gustave Eiffel)

Chaque symbole matérialise une configuration appareil/pneumatique d'essais

Ces différences varient d'une surface à l'autre. Ainsi, si le niveau sonore mesuré est exprimé par rapport à celui mesuré sur une planche de référence, les écarts ne sont pas non plus constants d'un système de mesure à l'autre. La Figure 27 présente les résultats statistiques dans le cas où la planche N en BBSG 0/6 (dite « ISO »), typique d'une surface de référence pour l'homologation acoustique des véhicules, est prise comme référence. Le graphique fait apparaître en lignes verticales, les séparations entre les trois classes de revêtements R1, R2 et R3 de la méthode NMPB. On constate cependant que les mesures CPX relatives à la planche de référence N donnent en moyenne un classement cohérent des revêtements.

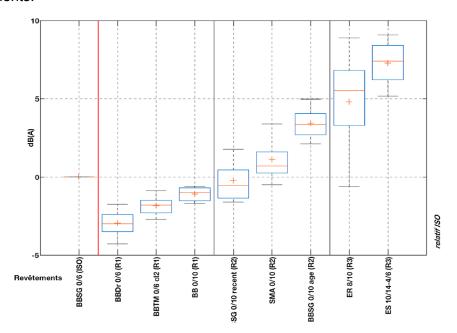


Figure 27 : Essais croisés de fin 2016, statistique des écarts de niveaux sonores CPX à 80 km /h avec la planche N (BBSG 0/6) (Source : Université Gustave Eiffel)

De même, des écarts importants persistent si le niveau sonore relatif à une valeur mesurée sur une planche de référence est exprimé par un appareil de référence. La Figure 28 présente l'exemple où tous les appareils se réfèrent à la valeur mesurée par la remorque avec le pneu P1 (Cs/7) sur la planche N. Là aussi, on constate que les mesures CPX relatives donnent en moyenne un classement cohérent des revêtements selon les trois classes de la NMPB.

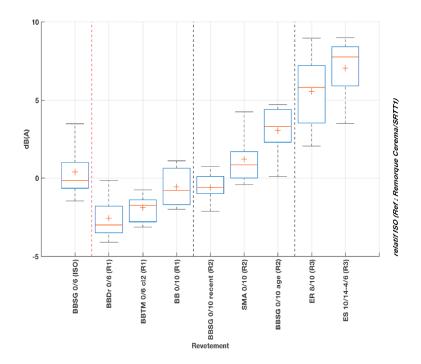


Figure 28 : Essais croisés de fin 2016, statistique des écarts de niveaux sonores CPX à 80 km /h avec la planche N (BBSG 0/6) mesurée par la remorque équipée du pneu P1 (Cs/7) (Source : Université Gustave Eiffel)

Ce classement des planches reste d'ailleurs assez cohérent en niveaux CPX absolus, quelle que soit la configuration utilisée (Tableau 3). Ces résultats devront être complétés par d'autres campagnes inter-laboratoires.

Tableau 3 : Essais croisés de fin 2016. Classement des planches routières par les différentes configurations de mesure (niveaux sonores moyens à 80 km /h en dB(A))

I/1.1	CS/1.1	C/1.2	C/2	E/3	Cs/7	Cs/8	I/6	Cf/5	P/4	Cs/9
90.1	89.0	91.8	94.8	90.7	89.5	90.3	89.9	90.5	91.4	92.1
90.1	90.5			92.0	91.6	91.8	90.6	91.7	92.4	92.8
92.1	91.3	92.8	96.5	93.6	92.0	92.8	91.5	92.9	94.2	94.1
92.7	92.0	93.6	99.2	93.0	93.7	93.4	92.4	93.5	95.2	95.1
94.1	92.9	94.8	98.7	94.7	93.3	94.1	92.9	94.0	95.2	95.4
97.1	96.0	97.2	99.0	97.7	95.6	96.7	96.2	96.8	97.9	95.4
	98.1				99.6	101.8			102.5	96.6
	100.3	101.2	102.8	102.2	97.0	99.2		98.7		98.5

# Légende :

BBDr 0/6	BBTM 0/6	BBSG 0/10	BBSG 0/6	SMA 0/10	BBSG 0/10	ES 10/14-4/6	ES 8/10
(A)	CI2 (M2)	récent (E1)	(ISO-N)	(E3)	âgé (E2)	(C2)	(A')

# 4. Corrélation entre les méthodes au passage (VI/SPB) et en continu (CPX)

Les méthodes VI (SPB) et CPX ne sont pas équivalentes, la première mesurant à 7,50 m de la voie le bruit de roulement d'un grand nombre de pneumatiques, la seconde mesurant à 20 cm du contact le bruit de roulement d'un pneumatique particulier.

Pour une même planche routière, la différence entre les niveaux de bruit de roulement mesurés est de l'ordre d'une **vingtaine de décibels**, mais elle dépend du pneumatique considéré et de la nature du revêtement de chaussée. En effet, l'écart sera plus important pour un revêtement poreux qui réduira davantage le niveau sonore en bord de voie qu'au voisinage immédiat du pneumatique grâce à l'absorption acoustique sur une plus grande surface.

Une analyse de corrélation entre les deux méthodes a été menée au cours du projet européen ROSANNE [22]. L'étude a recensé les principaux résultats de mesures conjointes SPB/CPX sur des mêmes sections routières en Europe (Allemagne, Danemark, Norvège). Les conclusions sont les suivantes :

#### Pour les véhicules légers :

Lorsque les mesures selon les deux méthodes ont pu être réalisées à la même vitesse de référence, une corrélation assez claire a été observée (coefficient de corrélation  $R^2$  = 0,94) entre les niveaux sonores CPX mesurés avec le pneumatique de référence P1 (Uniroyal Tiger Paw SRTT 225/60 R16) (*CPXP*) et les niveaux sonores SPB ( $L_{AFmax}$ ) de véhicules légers (Figure 29). En considérant des niveaux *CPXP* typiquement mesurés, une relation d'équivalence moyenne a été proposée valable à ±1 dB pour environ 90 % des données :

$$L_{AFmax} = CPXP - 20,5 dB$$
 (Équation 2)

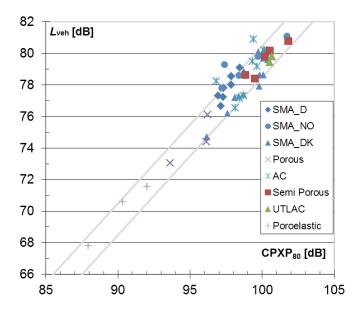
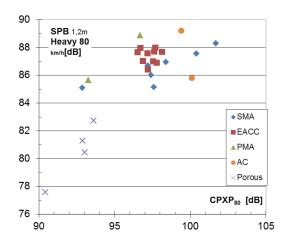


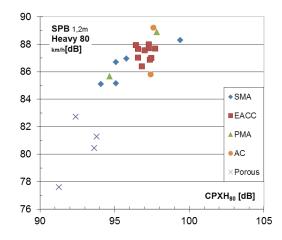
Figure 29 : Relation entre niveaux SPB ( $L_{veh}$ ) sur VL et CPXP (pneu P1) mesurés à 80 km /h, la légende indique les types de revêtements et l'origine des mesures, Figure 6.1 du livrable D2-3 de ROSANNE [22].

Cependant, lorsque les mesures SPB et CPX n'ont pas pu être effectuées à la même vitesse de référence mais qu'elles ont été corrigées a posteriori, la corrélation est moins bonne, car la correction en vitesse introduit des biais.

#### Pour les poids-lourds :

Les niveaux SPB mesurés sur des poids-lourds et les niveaux *CPXP* mesurés avec le pneumatique P1 ne sont clairement pas corrélés (Figure 30 (a)). Néanmoins, sur revêtement non poreux, une corrélation linéaire semble plus marquée entre les niveaux SPB mesurés sur des trains routiers et les niveaux *CPXH* mesurés avec le pneumatique H1 (Figure 30 (b)). Cette corrélation reste cependant faible (coefficient de corrélation R² = 0,52) et davantage de données seraient nécessaires pour confirmer cette tendance. En considérant des niveaux *CPXH* typiquement mesurés à 80 km /h sur des revêtements denses, les niveaux SPB des trains routiers sur des revêtements non poreux sont en moyenne inférieurs de 9,5 dB aux niveaux CPX mesurés avec le pneumatique H1. Pour les PL à 2 essieux, la différence est de 12,0 dB.





(a): Figure 6.14 du livrable D2-3 de ROSANNE (b): Figure 6.11 (b) du livrable D2-3 de ROSANNE [22]

Figure 30 : Relation entre niveaux SPB sur PL multi-axes et CPX avec pneu P1 (a) ou pneu H1 (b), mesurés à 80 km /h.

# 5. Mesure de bruit dû au trafic en point fixe

Certaines études s'appuient sur des mesures acoustiques de bruit de trafic, en un ou plusieurs points fixes situés à proximité de la voie. La méthode de mesure est décrite dans la norme NF S 31085. Elle est utilisée en général pour des mesures de constat du bruit généré par une infrastructure routière ou pour des mesures d'estimation d'un niveau sonore de long terme. Elle n'est en aucun cas une mesure de bruit de roulement mais son application avant et après travaux sur l'infrastructure permet d'en évaluer l'impact sonore.

Le microphone peut être localisé en façade de bâtiment (2 m en avant) ou en zone dégagée dans un rayon de 50 m autour du microphone. Ce microphone mesure un niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A ( $L_{Aeq}$ ) émis par l'ensemble du trafic, sur une période pouvant aller de quelques minutes à plusieurs heures. La norme stipule que la mesure doit enregistrer un minimum de 200 passages de véhicules pour un trafic relativement fluide (au moins 500 véhicules dans le cas d'un trafic pulsé ou avec un taux de poids lourds élevé). Le niveau sonore mesuré dépend :

- De la position du microphone, en particulier de son éloignement à la route ;
- Des conditions de propagation du son : la nature des sols et des surfaces réfléchissantes, la présence d'obstacles, et si le point de mesure est à plus de 100 m de la route, des conditions météorologiques;
- Du volume et de la composition du trafic, de sa vitesse.

L'application de la méthode nécessite de s'assurer que le bruit provient principalement de l'infrastructure routière et de son trafic. Les autres sources de bruit doivent être éliminées.

Pour comparer les résultats de mesures avant et après travaux (renouvellement de la couche de roulement par exemple), il convient de le faire à trafic constant. Le recalage des niveaux sonores par rapport à un trafic de référence de débit  $Q_{ref}$  et de vitesse  $V_{ref}$  s'effectue selon la formulation :

$$L_{\text{Aeq}}(Q_{\text{ref}}, V_{\text{ref}}) = L_{\text{Aeq}}(Q, V) + 10 \log(Q_{\text{ref}}/Q) + C_{\text{v}} \log(V_{\text{ref}}/V)$$
 (Équation 3)

où Q et V représentent respectivement le volume et la vitesse moyenne de trafic lors des mesures.  $C_{_{V}}$  est un coefficient dépendant des conditions de circulation.

Si le point de mesure est à plus de 100 m de la route, il convient également de s'assurer de l'équivalence des conditions météorologiques afin de ne pas introduire de biais important.

# V. Revêtements de chaussée limitant le bruit de roulement

# 1. Typologie

# a. Caractéristiques générales

Les caractéristiques les plus influentes d'un revêtement sur le bruit de roulement sont **sa texture** et ses **vides communicants** (cf. Chapitre 1). Les données expérimentales issues du retour d'expérience terrain consistent essentiellement en des données liées à la circulation de véhicules légers. Sur la base de ces données, les facteurs qui conduisent à une réduction du bruit de roulement sont :

- · Pour limiter la génération :
  - Une surface du revêtement homogène en termes de macrotexture afin d'éviter les phénomènes de vibration des pneumatiques;
  - Une macrotexture « négative » pour limiter les vibrations du pneumatique (voir figure 5). Ce type de texture nécessite un compactage avec des compacteurs à billes ;
  - · Une granularité fine, avec un D compris entre 4 mm et 8 mm ;
  - Une incorporation d'additifs dans les mélanges bitumineux visant à amortir les phénomènes vibratoires.
- Pour augmenter l'absorption :
  - Une porosité (teneur en vides communicants) élevée pour augmenter la capacité d'absorption acoustique et diminuer l'effet de pompage d'air; à noter que cette porosité peut être optimisée en jouant sur la dimension et la forme des vides (notion de « tortuosité »);
  - Une épaisseur de couche de roulement optimisée en fonction de la formule du revêtement pour absorber préférentiellement les fréquences les plus audibles par l'oreille humaine.

À ce jour, les revêtements dit « phoniques » principalement utilisés correspondent à des bétons bitumineux minces voire très minces, composés de granulats de petite dimension (granularité 0/4 ou 0/6), et de liants à propriétés renforcées pour compenser leur fragilité d'un point de vue mécanique (induite par leur porosité importante) par rapport aux enrobés classiques.

Les bétons de ciments drainants pour réduire le bruit routier ne sont pas décrits ici car cette technique est peu répandue en France. A noter que des travaux de recherche sont en cours au niveau européen afin d'améliorer les performances acoustiques de ce type de revêtements.

Les propriétés acoustiques des enrobés ne font pas l'objet d'une norme française. Néanmoins les autres caractéristiques de ces enrobés respectent celles définies pour les mélanges bitumineux employés en couche de roulement :

- NF EN 13108-1 pour la définition des bétons bitumineux minces (BBM);
- NF EN 13108-2 pour la définition des bétons bitumineux très minces (BBTM);
- NF EN 13108-5 pour la définition des Stone Mastic Asphalt (SMA);
- NF EN 13108-7 pour la définition des bétons bitumineux drainants (BBDr);
- NF EN 13108-9 pour la définition des bétons bitumineux ultra minces (BBUM).

Ces mélanges bitumineux font également l'objet des normes NF EN 13108-20 pour leur formulation et NF P98-150-1 pour leur formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôle sur chantier. Le futur Fascicule de documentation des mélanges bitumineux et le guide en cours de préparation au sein de l'IDRRIM « Mélanges bitumineux pour les chaussées routières » prendront également en compte ces techniques. Le lecteur pourra également se reporter au guide technique « Aide au Choix des Techniques d'Entretien des couches de surface des chaussées » (ACTE - SETRA juillet 2003) [23].

Ce chapitre présente les différents revêtements bitumineux possédant des performances acoustiques significatives. À noter que certaines entreprises routières proposent des revêtements dédiés à la recherche de réduction de bruit qui ne répondent pas systématiquement à l'ensemble des critères des normes concernées. Pour autant, ces produits peuvent être retenus dans le cadre d'un marché à performances acoustiques.

#### b. Les bétons bitumineux drainants (BBDr)

Les BBDr font l'objet de la norme « produit » NF EN 13108-7.

A l'origine, ces mélanges bitumineux ont été développés en couche de roulement pour résoudre les problèmes d'adhérence et de visibilité par temps de pluie et réduire ainsi le phénomène d'aquaplanage. La principale caractéristique de ces enrobés réside dans leur teneur en vides élevée (plus de 20 %) dont la plus grande partie correspond à des vides communicants, autorisant une circulation interne des eaux pluviales (drainage) plus grande. La formule, qui repose sur une granulométrie discontinue, présente une forte proportion de gravillons, une faible quantité de sable et requiert fréquemment l'utilisation de liants modifiés par des polymères.

Leur épaisseur nominale est fonction de leur granularité et varie de 3 à 4 cm pour un 0/6 et de 4 à 5 cm pour un 0/10.

Il existe deux classes de BBDr qui dépendent de leur pourcentage de vides (classe 2 présentant plus de vides que la classe 1), déclinées en deux granularités 0/6 et 0/10. La granularité 0/8 est en cours de normalisation.

Leur profil de texture permet une réduction notable de la génération de bruit grâce à une surface dotée d'une macrotexture négative. Le recours à des granulats de petite taille (granularité 0/6 plutôt que 0/10) limite les phénomènes de vibrations et de chocs pneumatiques/chaussée.

Le BBDr 0/6 classe 2 conduit donc à la plus grande réduction du bruit dans cette famille de produits.

Outre leurs capacités d'évacuation de l'eau et de réduction des projections d'eau sur la chaussée, les BBDr apportent :

- Une réduction significative du bruit de contact pneu/chaussée ;
- Une atténuation plus ou moins sensible de la propagation du bruit généré par les véhicules en mouvement ou à l'arrêt du fait de l'absorption acoustique.

#### Limites d'emploi et précautions spécifiques :

- Ces revêtements, du fait de leur porosité très élevée, perdent progressivement leur performance acoustique initiale, en raison du colmatage des vides (boues, gommes de pneumatique, particules, matières huileuses, ...) et de l'arrachement de granulats en surface (en particulier en l'absence de bitume modifié par des polymères). Leur évolution dépend des conditions de circulation : sur voies rapides ou autoroutières (vitesse > 70 km /h), la vitesse des véhicules génère un auto-nettoyage des vides qui maintient relativement dans la durée la bonne performance acoustique. En voirie urbaine, la vitesse moins élevée ne permet pas ce mécanisme de décolmatage. L'efficacité des nettoyages réguliers à l'aide de machines spéciales pour lutter contre le colmatage et ainsi éviter la dégradation rapide des performances acoustiques n'a pas été démontrée à ce jour ;
- Les BBDr sont peu résistants aux contraintes tangentielles et de cisaillement du fait de leur structure drainante. Il est donc déconseillé de les utiliser dans des carrefours, sur des giratoires, dans des virages à faible rayon en plan ou sur zones de stationnement ;
- Les BBDr doivent être appliqués sur des supports imperméabilisés de très bonne planéité.
   L'attention doit être portée sur les pentes de la chaussée (transversale et longitudinale) afin d'éviter des zones de stagnation d'eau et sur la gestion des eaux récupérées;
- Les BBDr présentent des spécificités de comportement hydrique et thermique qui nécessitent d'adopter des dispositions spéciales en matière d'entretien hivernal.

#### Cas particulier des bétons bitumineux drainants bicouches

Développés dans un souci d'augmenter la drainabilité des bétons bitumineux drainants et de la rendre plus durable, les bétons bitumineux drainants bicouches combinent une couche de roulement en BBDr à faible granularité avec une sous-couche en BBDr à forte granularité. Le décolmatage de la couche de surface se fait par effet de chasse des impuretés vers le BBDr de sous-couche. La faible granularité du BBDr de surface minimise la génération du bruit. Ce complexe assure également une absorption acoustique parmi les plus importantes. Ce type de complexe a été développé aux Pays-Bas, en Italie et en France. Leur emploi en France reste limité en raison d'un coût plus important.

# c. Les bétons bitumineux minces (BBM)

Les BBM font l'objet de la norme « produit » NF EN 13108-1.

Ils ont été développés dans les années 1980 pour les travaux d'entretien des couches de roulement afin de redonner aux chaussées de l'adhérence et de l'uni tout en diminuant les coûts par rapport aux techniques antérieures.

Les BBM s'appliquent en épaisseurs nominales comprises entre 3 et 5 cm. Il existe plusieurs classes et types de BBM caractérisés par :

- Leurs performances mécaniques à l'orniérage (classe 1, 2 et 3) :
- La présence ou non d'une discontinuité granulométrique (type A, B ou C).

Les BBM sont déclinés en deux granularités 0/10 et 0/14 ; seule la granularité 0/10 peut être employée en revêtement phoniques.

Les différents types de BBM 0/10 permettent d'obtenir des performances acoustiques sensiblement équivalentes selon les formules.

La dernière évolution dans le domaine des revêtements peu bruyants de type BBM concerne l'utilisation de formules de très faible granularité (0/6 voire 0/4) susceptibles de générer encore moins de bruit. Le retour d'expérience sur ces BBM n'est pas encore important.

#### Limites d'emploi et précautions spécifiques :

- En fonction de l'usage souhaité, la classe de résistance à l'orniérage la plus adaptée sera choisie;
- Ces produits ne doivent pas être utilisés dans les zones de cisaillement important (carrefours, giratoires, ...) sous trafic élevé.

# d. Les bétons bitumineux très minces (BBTM)

Les BBTM font l'objet de la norme « produit » NF EN 13108-2.

Conçus initialement dans les années 1990 comme alternative d'entretien aux enduits superficiels d'usure et aux enrobés coulés à froid, les BBTM présentent une meilleure durabilité des caractéristiques de texture et d'adhérence sous fort trafic. Leur développement s'est inscrit dans la logique de séparation des fonctions structurelles et superficielles des différentes couches d'une structure de chaussée, tout en diminuant le coût par rapport aux techniques antérieures.

Ils s'appliquent en épaisseurs nominales comprises entre 2 et 3 cm. Il existe deux classes de BBTM qui dépendent de leur pourcentage de vides (classe 2 présentant plus de vides que la classe 1), déclinées en deux granularités 0/6 et 0/10. Les granularités 0/4 et 0/8 sont en cours de normalisation.

Leur profil de texture permet une réduction notable de la génération de bruit grâce à une surface dotée d'une macrotexture négative. Le recours à des granulats de petite taille (granularité 0/6 plutôt que 0/10) limite les phénomènes de vibrations et de chocs pneumatiques/chaussée.

Le BBTM 0/6 classe 2 conduit donc à la plus grande réduction du bruit dans cette famille de produits.

La dernière évolution dans le domaine des revêtements peu bruyants de type BBTM concerne l'utilisation de formules de très faible granularité (0/4) discontinues ou continues susceptibles de générer encore moins de bruit. Le retour d'expérience sur ces BBTM n'est pas encore important.

#### Limites d'emploi et précautions spécifiques :

- Les BBTM sont peu résistants aux contraintes tangentielles et de cisaillement du fait de leur structure poreuse. Il est donc déconseillé de les utiliser dans les carrefours, sur des giratoires, dans des virages à faible rayon en plan ou sur zones de stationnement :
- Les BBTM doivent être appliqués sur des supports de très bonne qualité (planéité, non fissuré).
   La couche d'accrochage doit être choisie pour assurer le bon collage sur le support (nature et dosage de l'émulsion). Une attention doit être portée sur les pentes de la chaussée afin d'éviter des zones de stagnation d'eau;
- Les BBTM présentent des spécificités de comportement hydrique et thermique qui peuvent nécessiter l'adoption de dispositions particulières en matière d'entretien hivernal :
- L'application d'un BBTM sur un BBTM existant présente un fort risque de feuilletage et de création d'un piège à eau.

#### e. Les Bétons Bitumineux Ultra Minces (BBUM)

Les BBUM font l'objet de la norme « produit » NF EN 13108-9.

Leur développement s'est inscrit dans la logique de séparation des fonctions structurelles et superficielles des différentes couches d'une structure de chaussée tout en réduisant l'épaisseur de mise en œuvre par rapport aux BBTM.

Ils présentent un bon niveau de macrotexture en épaisseur moindre, donc en étant plus économique. Ils sont essentiellement utilisés pour donner ou restaurer des caractéristiques d'adhérence aux chaussées.

Les BBUM s'appliquent en épaisseurs nominales comprises entre 1 et 2 cm. La couche d'accrochage joue un rôle primordial pour la bonne tenue mécanique de l'ensemble et l'imperméabilisation de la structure.

Il existe quatre granularités 0/4, 0/6, 0/8 et 0/10. La performance acoustique est améliorée avec la diminution du « D », mais dépend aussi de la formule.

# Limites d'emploi et précautions spécifiques :

- Les BBUM doivent être appliqués sur des supports de très bonne qualité (planéité, non fissuré).
   La couche d'accrochage doit être choisie pour assurer le bon collage sur le support (nature et dosage de l'émulsion). Une attention particulière doit être portée sur les pentes de la chaussée afin d'éviter des zones de stagnation d'eau;
- Les BBUM sont peu résistants aux contraintes tangentielles et de cisaillement. Il est fortement déconseillé de les utiliser sur des zones de carrefours, sur des giratoires, dans des virages à faible rayon en plan ou sur zones de stationnement.

# f. Les Stone Mastic Asphalt (SMA)

Les SMA font l'objet de la norme « produit » NF EN 13108-5.

Les SMA sont couramment employés dans certains pays d'Europe (Allemagne, Belgique, Pays- Bas, Royaume-Uni, Italie, ...) mais n'ont à ce jour jamais trouvé une réelle place en France du fait de leur coût initial plus élevé, ce surcoût n'étant pas assorti d'un avantage identifié par les maîtres d'ouvrage. Cependant, dans ces pays européens, il est reconnu que les SMA possèdent une durabilité élevée tout en conservant des propriétés acoustiques correctes. La confirmation de cette durabilité et l'amélioration phonique constituent les enjeux à venir pour que le SMA se positionne en France en tant qu'enrobé acoustique.

Ce sont des enrobés bitumineux de granularité 0/4 à 0/20 contenant une forte proportion de gravillons et un taux de fines élevé. Les granulats concassés forment le squelette rigide. Les fines, le sable, les fibres (cellulose) et le bitume sont mélangés pour obtenir un mastic riche en liant qui remplit les vides inter-granulaire (faible pourcentage de vides : 2 à 6%).

Les SMA s'appliquent en épaisseurs nominales comprises entre 2 et 8 cm. Ils sont ainsi plus résistants aux efforts tangentiels et contraintes de cisaillement et mieux adaptés aux conditions hivernales que les enrobés « ouverts ».

Les formules avec les granularités les plus petites (0/4 à 0/10) sont les plus efficaces en matière de réduction de bruit.

Ce type de revêtement est très répandu dans les pays du nord de l'Europe et aux États-Unis en raison de sa durabilité apportée par des films épais de bitume (teneur en liant forte) et de sa résistance à l'orniérage apportée par le contact grain sur grain des granulats. Il ne doit pas être confondu avec le SMA utilisé au Royaume-Uni qui est une version plus ouverte (plus forte macrotexture) du BBTM français.

En France, le retour d'expérience sur le SMA n'est pas encore important.

# g. Les recherches en cours

Les premières expériences de revêtements poro-élastiques ont été réalisées en Suède dans les années 1970, puis au Japon. Leur formulation comprend 40 à 95% de caoutchouc en volume (notamment issu du recyclage de pneumatiques usagés), 5 à 15% de liant polyuréthane et un liant complémentaire destiné à coller le revêtement sur son support. Leur pourcentage de vides varie de 25 à 40%.

De courtes planches expérimentales ont été mises en œuvre récemment sur route, aux Pays Bas puis au Danemark, en Pologne, en Belgique, en Suède et en Slovénie dans le cadre du projet Européen PERSUADE [24]. Elles ont permis des réductions de bruit importantes (6 à 10 dB(A) de moins qu'un SMA 0/11 en moyenne) mais leur durabilité reste trop faible (une vingtaine de mois dans le meilleur des cas). En France, cette technique n'a pas encore été expérimentée.

Le béton de ciment en couche de roulement, qui présente une longévité exceptionnelle mais aussi l'inconvénient d'être parmi les revêtements les plus bruyants, fait l'objet de recherches récentes pour optimiser sa texture afin de réduire le bruit de roulement. Par exemple, dans le cadre du projet de recherche collaboratif Franco-Allemand ODSURF [25], des performances équivalentes à un BBSG 0/10 ont été obtenues par une désactivation ou un rainurage adaptés.

# h. Récapitulatif des performances comparées des différentes techniques

Tableau 4 : Performances comparées des différentes techniques limitant le bruit de roulement

Techniques	Granularité	Classe / Type	Epaisseur de mise en œuvre (cm)	Réduction du bruit de roulement par rapport à revêtement classique (BBSG 0/10)
	0/6	Classe 1	3 à 4	+ à ++
BBDr	0/6	Classe 2	3 8 4	++
BBDI	0/10	Classe 1	4 à 5	+ à ++
	0/10	Classe 2	4 a 5	T d TT
	0/4			++
	0/8			- à +
ввтм	0/6	Classe 1	2 à 3	+ à ++
DDIW	0/6	Classe 2		++
	0/10	Classe 1		à -
		Classe 2		+ à ++
	0/4		3 à 5	+ à ++
ВВМ	0/6	Tous types		+
	0/10			- à +
	0/4			+
DDUM	0/6		4.5	+
BBUM	0/8		1 à 2	- à +
	0/10			à -
	0/4			- à +
SMA	0/8		2 à 8	
	0/10			à -

Notations: '--': faible '-': moyen '+': élevée '++': très élevée

# i. Les outils de laboratoire pour la formulation des enrobés phoniques

Comme il n'existe pas de méthode pour mesurer le bruit de roulement en laboratoire, la formulation d'un enrobé phonique est affinée par le biais d'essais permettant d'appréhender certains paramètres influant sur la performance acoustique des enrobés :

- La mesure de la granulométrie par tamisage (NF EN 933-1) pour apprécier la courbe du mélange et le Dmax;
- La Presse à Cisaillement Giratoire (NF EN 12697-31) pour apprécier en laboratoire le pourcentage de vides des formules d'enrobés;
- La mesure du pourcentage de vides communicants (NF P 98-254-2) pour apprécier la capacité d'absorption acoustique ;
- L'essai au tube d'impédance (ou tube de Kundt ISO 10534-2) pour mesurer l'absorption acoustique d'une formule d'enrobé.

D'autres moyens expérimentaux sont développés pour optimiser les revêtements, comme par exemple :

- La tomographie à rayon X pour caractériser la morphologie de la porosité des enrobés :
- La mesure de l'absorption acoustique en cabine alpha ;
- La mesure de la carte de texture du revêtement (relevés de la surface en 3D).

#### 2. Performances : Base de données bruit de roulement

# a. Présentation de la base de données bruit de roulement

Une base de données capitalisant les mesures de performances acoustiques d'un grand nombre de revêtements a été créée dans les années 1990. Elle est gérée et alimentée régulièrement par le Cerema. Les mesures répertoriées sont effectuées selon les normes en vigueur : mesures de bruit de roulement au passage et en continu (voir Chapitre 4). La base contient en 2018 environ 1200 données de mesures au passage. Elle accueille aussi les mesures CPX mais les données sont encore trop peu nombreuses à ce jour pour être correctement exploitées.

Le contenu de cette base de données est disponible auprès du Cerema de Strasbourg. Elle permet notamment de hiérarchiser les revêtements de chaussée les uns par rapport aux autres et d'avoir des éléments d'évolution des niveaux de bruit en fonction de leur âge. Elle a permis en outre de définir les trois catégories de revêtements utilisées dans la méthode de prévision NMPB (voir chapitre III.2.b).

A ce jour, l'indicateur utilisé pour qualifier les performances acoustiques des revêtements est le niveau sonore maximum du bruit de roulement au passage, noté  $L_{Amax}$ . Il est présenté ici une analyse des résultats de la base de données par type de revêtement, à partir des mesures de bruit de roulement au passage de VL (90 km /h) et TR (80 km /h). Les revêtements sont généralement identifiés par leur type et leur granulométrie. Seuls les types de revêtements pour lesquels au moins cinq valeurs sont disponibles dans la base sont présentés. Une exploitation des données en fonction de l'âge du revêtement est également réalisée. Celle-ci distingue les revêtements relativement neufs (de 0 à 3 ans) de l'ensemble des résultats tous âges confondus (de 0 à 15 ans). Une analyse plus détaillée de l'évolution des niveaux de bruit en fonction du temps est présentée au Chapitre VI.

# b. Analyse pour les véhicules légers (VL)

Les figures suivantes représentent les mesures issues de la base de données, sous forme de diagrammes en boites à moustache. Les valeurs correspondant à ces figures sont récapitulées en Annexe 2. Pour chaque type de revêtement, le diagramme indique, le 1<sup>er</sup> décile, le 1<sup>er</sup> quartile, la médiane, le 3<sup>ème</sup> quartile et le 9<sup>ème</sup> décile des séries statistiques des L<sub>Amax</sub> pour chaque revêtement et catégorie de véhicules.

Le 1<sup>er</sup> décile est la valeur d'une série, dont au moins 90 % des valeurs de cette série lui sont supérieures. Il est représenté par le trait noir à gauche de la boite.

Le 9<sup>ème</sup> décile est la valeur d'une série, dont au moins 10 % des valeurs de cette série lui sont supérieures. Il est représenté par le trait noir à droite de la boite.

Le 1<sup>er</sup> quartile est la valeur d'une série, dont au moins 75 % des valeurs de cette série lui sont supérieures.

Le  $3^{\text{ème}}$  quartile est la valeur d'une série, dont au moins 25 % des valeurs de cette série lui sont supérieures. Les  $1^{\text{er}}$  et  $3^{\text{ème}}$  quartiles sont les bords de la boite.

La médiane est la valeur d'une série, dont au moins 50 % des valeurs de cette série lui sont supérieures et 50 % inférieures. Elle est représentée par un trait rouge.

#### Tous âges confondus (0 à 15 ans)

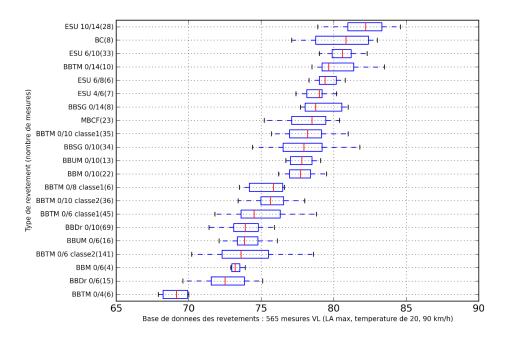


Figure 31 : Base de données revêtements : 565 mesures VI/VL au 30/06/2018 (L<sub>Amax</sub>, température de 20°C, vitesse 90 km /h). Revêtements de 0 à 15 ans

#### De 0 à 3 ans

Une figure de même type est présentée ci-après mais en extrayant de la base de données uniquement les planches mesurées de moins de 3 ans. Elle traduit les performances des revêtements au jeune âge.

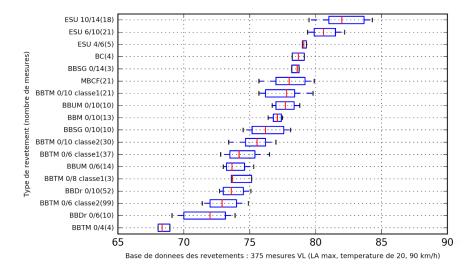


Figure 32 : Base de données revêtements : 375 mesures VI/VL au 30/06/2018 (L<sub>Amax</sub>, température de 20°C, vitesse 90 km /h) - Revêtements de 0 à 3 ans

# c. Analyse pour les trains routiers (TR)

# Tous âges confondus (0 à 15 ans)

Le même type d'analyse statistique est représentée dans les figures suivantes pour les mesures de bruit de roulement des poids lourds de type trains routiers (TR).

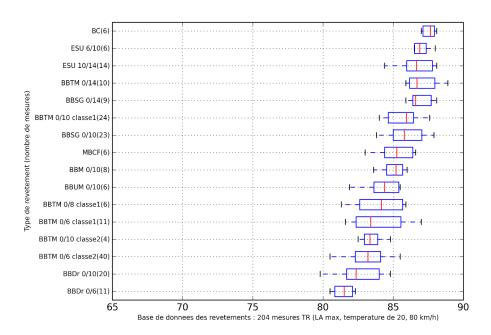


Figure 33 : Base de données revêtements : 204 mesures VI/TR au 30/06/2018 (L<sub>Amax</sub>, température de 20°C, vitesse 80 km /h) - Revêtements de 0 à 15 ans

#### De 0 à 3 ans

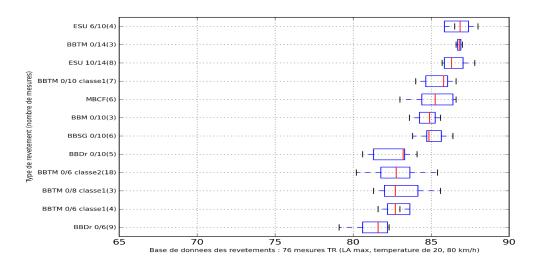


Figure 34 : Base de données revêtements : 76 mesures VI/TR au 30/06/2018 (L<sub>Amax</sub>, température de 20°C, vitesse 80 km /h). Revêtements de 0 à 3 ans

# 3. Impact sur les niveaux sonores en façade d'habitations

Pour un revêtement de chaussée donné, le bruit ressenti en façade des habitations dépend de plusieurs facteurs, dont deux principaux :

- L'émission acoustique du flot de véhicules, c'est-à-dire la puissance acoustique générée par la source de bruit associée au trafic routier ;
- Les conditions de propagation (chapitre I.4) de cette source du bruit liées :
  - À la structure urbanistique et architecturale du site ;
  - Aux effets des caractéristiques du milieu de propagation : météorologie et nature des sols ;
  - À la présence d'obstacles ou de bâtiments.

En fonction des typologies de sites, les mesures de bruit en façade d'habitations peuvent différer de façon plus ou moins importante des mesures réalisées à proximité de l'infrastructure routière. Ainsi, les performances des revêtements présentées ci-avant contribuent de façon plus ou moins prépondérante à la réduction du bruit en façade à cause :

- De la réalité du trafic : la présence de PL dans le trafic ainsi que les vitesses réelles, en général plus basses que la vitesse de référence pour la mesure de bruit de roulement, peuvent conduire à des différences moindres entre revêtements. La contribution du bruit moteur des véhicules ou avec un trafic non stabilisé (à proximité de carrefours par exemple) peuvent conduire à des niveaux sonores significativement plus élevés;
- Des conditions de propagation précitées qui modifient les niveaux sonores ;
- De l'ambiance sonore globale du site : la route étudiée n'est pas forcément la source de bruit prépondérante. En outre, le mesurage du bruit en façade d'habitations présente des spécificités particulières. Des détails sur ces spécificités sont fournis en Annexe 3, ainsi que dans le dossier technique et pédagogique de Bruitparif [26].

Néanmoins, il existe certaines configurations pour lesquelles le changement de revêtement est plus efficace que les autres techniques pour réduire le bruit en façade<sup>9</sup>.

C'est notamment le cas lorsque les habitations sont éloignées de la route ou situées en hauteur, car les écrans antibruit sont alors insuffisants voire inopérants. De plus, les revêtements de chaussée peu bruyants sont performants pour des flots continus de véhicules, notamment la nuit.

L'impact en façade d'un changement de revêtement dans un environnement complexe ne peut en général s'estimer qu'à partir de simulations qui prennent en compte l'ensemble des spécificités du site (situation géographique, topographie, présence d'autres bâtiments, d'autres sources de bruit, d'obstacles, etc.). Des modèles de prévision du bruit tels que ceux décrits au chapitre III sont alors utilisés. Il est important que ces modèles intègrent de façon précise les caractéristiques des revêtements.

En aménagement urbain, la réflexion doit être globale. Un exemple courant et récurrent qui peut être cité est l'aménagement spécifique de passages piétons (marquage sonore, surélévation, cloutage, ...) qui peuvent fortement réduire voire annuler l'effort et l'investissement apporté par le revêtement acoustique.

<sup>9</sup> Ce guide est spécifique à la réduction du bruit routier à la source par les revêtements de chaussée. Il n'aborde pas le renforcement de l'isolation de façade, une technique courante pour limiter l'exposition au bruit des riverains.

# 4. Exemples illustratifs

Les trois exemples suivants illustrent l'effet d'un changement de revêtement, à la fois à proximité de la voie et en façade. Le premier (A13) est un site autoroutier ouvert. Le second est un boulevard urbain (périphérique parisien) en milieu bâti complexe. Le troisième (A4 et A6) est constitué de deux sites autoroutiers en milieu urbain.

# a. Exemple A13 Troarn (Calvados)

#### Contexte et nature des travaux

Une étude a été menée par Sanef à l'extrême ouest de l'autoroute A13, section Dozulé / Caen. L'objectif était de déterminer, au droit de la commune de Troarn, le gain acoustique apporté par le renouvellement de l'ancienne couche de roulement par un BBTM 0/10 de classe 2.

Des mesures acoustiques ont été réalisées avant et après renouvellement du tapis en août 2013, au droit d'une planche de 3 km de chaussée autoroutière (Figure 35). Deux types de mesures ont été effectuées : des mesures de bruit de roulement selon la méthode au passage (**VI**, norme NF EN ISO 11819-1) et des mesures de bruit de trafic dans l'environnement pendant 24 heures en point fixe (**PF**, norme NF S 31085).

# PF2 PF1 VI1

#### LOCALISATION DES POINTS DE MESURE

Figure 35 : Localisation des points de mesure sur le site (Source : SANEF)

#### Les mesures ont été effectuées :

- Avant le renouvellement de la couche de roulement ;
- 1 mois après le renouvellement de la couche de roulement ;
- 6 mois après le renouvellement de la couche de roulement.

#### Résultats des mesures au passage (mesures VI)

A chaque série de mesures, à des âges différents, le revêtement a été classé selon les 3 catégories issues de la base de données nationale bruit de roulement (voir III.2.b). Cela impose de ramener les niveaux de bruit de roulement des VL à la vitesse de 90 km/h, selon l'équation 1 du paragraphe IV.2.a.

Le revêtement avant travaux était classé en catégorie R3.

Tableau 5 – Résultats des mesures VI avant renouvellement de la couche de roulement

NIVEAU	NIVEAUX SONORES À LA TEMPÉRATURE DE RÉFÉRENCE : 20°C						
Paramètres	Catégorie 1 (VL)	Catégorie PL : 2a+2b	Catégorie 2a	Catégorie 2b			
Nombre de véhicules	124	107	37	70			
Vitesse moyenne	120 km /h	85 km /h	87 km /h	84 km /h			
L <sub>Amax</sub> (à la vitesse moyenne)	84,0	86,5	85,5	86,5			
Vitesse de référence	110 km /h	85 km /h					
L <sub>Amax</sub> (à la vitesse de référence)	84,0	86,5	85,5	87,0			
L <sub>Amax</sub> à 90 km/h	82,5						
Indice Statistique au Passage (SPBI)	85,5						

Tableau 6 – Résultats des mesures VI après 1 mois du renouvellement de la couche de roulement

NIVEAUX SONORES À LA TEMPÉRATURE DE RÉFÉRENCE : 20°C						
<b>Paramètres</b>	Catégorie 1	Catégorie PL :2a+2b	Catégorie 2a	Catégorie 2b		
Nombre de véhicules	110	103	31	72		
Vitesse moyenne	118 km /h	88 km /h	93 km /h	86 km /h		
L <sub>Amax</sub> (à la vitesse moyenne)	82,5	86,0	85,0	87,0		
Vitesse de référence	110 km /h	85 km /h				
L <sub>Amax</sub> (à la vitesse de référence)	82,0	86,5	85,0	86,5		
L <sub>Amax</sub> à 90 km/h	80,5					
Indice Statistique au Passage (SPBI)	84,5					

Six mois après le renouvellement de la couche de roulement, le niveau sonore VI des VL a diminué de 3,5 dB supplémentaires, celui des PL a diminué de 2,5 dB. Le revêtement se classe maintenant en catégorie R2.

Tableau 7 – Résultats des mesures VI après 6 mois du renouvellement de la couche de roulement

NIVEAU	NIVEAUX SONORES À LA TEMPÉRATURE DE RÉFÉRENCE : 20°C						
Paramètres	Catégorie 1	Catégorie PL : 2a+2b	Catégorie 2a	Catégorie 2b			
Nombre de véhicules	110	113	39	74			
Vitesse moyenne	125 km /h	95 km /h	113 km /h	86 km /h			
L <sub>Amax</sub> (à la vitesse moyenne)	79,5	83,5	81,5	85,0			
Vitesse de référence	110 km /h	85 km /h					
L <sub>Amax</sub> (à la vitesse de référence)	78,5	84,0	81,5	84,5			
L <sub>Amax</sub> à 90 km/h	77,0						
Indice Statistique au Passage (SPBI)		82,	0				

La Figure 36 récapitule les résultats de l'expérimentation. Les évolutions des niveaux de bruit de roulement sont représentées pour chaque catégorie de véhicules à la vitesse de référence qui leur est propre : 110 km /h pour les VL et 85 km /h pour les PL. La catégorie 2a correspond aux PL de deux essieux, la catégorie 2b à ceux de plus de deux essieux.

Les enseignements que l'on peut tirer de cette expérimentation sont les suivants :

- Au final, pour les véhicules légers, le gain apporté par la mise en place du nouvel enrobé est de 5,5 dB.
- Le L<sub>Amax</sub> au passage pour une vitesse de référence de 90 km /h est de 77 dB(A), classe ce nouvel enrobé parmi les plus performants de la catégorie R2 de la base de donnée nationale. Cette valeur correspond bien au résultat attendu pour un BBTM 0/10 de classe 2.
- Pour les véhicules lourds à 2 essieux et les véhicules lourds à plus de 2 essieux, le gain est de 4 dB et 2,5 dB. Le gain est moins important pour les véhicules lourds. Cette différence est essentiellement due au fait que, pour les véhicules lourds, le bruit de contact des pneumatiques sur la chaussée est accompagné de bruits mécaniques (moteur, échappement) pour lesquels la modification d'enrobé n'a pas d'effet.
- Au jeune âge, un film de liant est présent en surface du revêtement. Le passage des véhicules décape ce film au bout de quelques semaines, ce qui peut entraîner une amélioration de la performance acoustique.

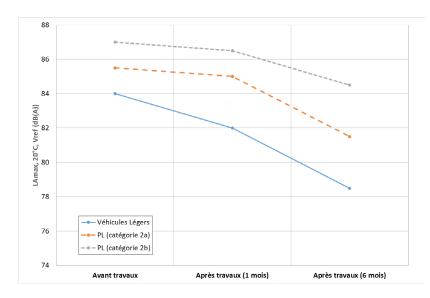


Figure 36 : Résultats des mesures VI avant et après travaux (V<sub>ref</sub> = 110 km /h pour les VL et 85 km /h pour les PL) (Source : SANEF)

#### Résultats de mesure dans l'environnement selon NF S 31085

AP

Des mesures de bruit de trafic sur 24 h ont également été faites en point fixe en bordure de l'autoroute (20 m) (voir chapitre IV.5). Les niveaux sonores mesurés au point fixe PF1, recalés par rapport au trafic de référence TMJA de 2012, sont présentés dans le Tableau 8. Les gains obtenus sont représentés en Figure 37.

Tableau 8 – Résultats des mesures au point fixe PF1 recalées sur le TMJA 2012

L <sub>Aeq</sub> 6h-18h	L <sub>Aeq</sub> 18h-22h	L <sub>Aeq</sub> 6h-22h	L <sub>Aeq</sub> 22h-6h	L <sub>De</sub>

	L <sub>Aeq</sub> 6h-18h	L <sub>Aeq</sub> 18h-22h	L <sub>Aeq</sub> 6h-22h	L <sub>Aeq</sub> 22h-6h	L <sub>Den</sub>
AVANT TRAVAUX	74,5	73,0	74,0	67,0	76,0
PRÈS TRAVAUX (1 MOIS)	72,0	69,0	71,5	66,0	74,0
PRÈS TRAVAUX (6 MOIS)	69,5	67,5	69,0	62,0	71,0

6 5 Gain (dB) gain 1 mois après travaux gain 6 mois après travaux ■ gain entre 1 et 6 mois 0 LAeq 18h-22h LAeq 22h-6h LDEN LAeq 6h-18h LAeq 6h-22h

Figure 37 : Gains mesurés au point fixe PF1 à 20 m de la route (Source : SANEF)

Le gain acoustique est de l'ordre de 5 dB(A) à 6 mois. On retrouve que le décapage de l'enrobé permet d'avoir un gain final plus important.

# b. Exemple rocade urbaine : Boulevard Périphérique Parisien porte de Vincennes

Le boulevard périphérique parisien est une voie circulaire d'une longueur de 35 km qui fait le tour de la ville de Paris. Il comporte le plus souvent 4 voies de circulation dans chaque sens et supporte un trafic très dense : 1,3 millions de véhicules l'empruntent chaque jour (chiffre 2013 Ville de Paris). Le flux de véhicules peut dépasser les 270 000 véhicules par jour sur certaines portions. Cet axe concentre 40 % de la circulation automobile de Paris et représente 1 à 2 % du trafic national. Avec plus de 100 000 habitants le long de son parcours, c'est un axe qui génère une exposition très élevée au bruit. Bruitparif a ainsi évalué qu'environ 40 000 riverains du périphérique sont exposés quotidiennement à des niveaux de bruit qui excèdent les valeurs limites réglementaires françaises.

Depuis 2001, la mairie de Paris est engagée pour améliorer le cadre de vie des riverains du boulevard périphérique. Plusieurs actions ont déjà permis de réduire les nuisances sonores liées à la circulation, en particulier les couvertures des Portes de Vanves et des Lilas ont été réalisées, mais ces actions sont extrêmement coûteuses et ne peuvent être généralisées partout. Aussi, la mairie de Paris a souhaité mettre en place d'autres types d'actions moins coûteuses et permettant de toucher un plus grand nombre de riverains. Parmi les actions envisagées, figurent l'utilisation de revêtements de chaussée moins bruyants, dont la mise en place coûte de l'ordre de 20 à 30 % de plus que la mise en place de revêtements classiques.

#### Contexte et nature des travaux

Dans le cadre de la directive européenne 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, la Ville de Paris a réalisé son Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE). Les réflexions engagées s'articulent autour de plusieurs thématiques, dont l'une d'elles vise à expérimenter des revêtements moins bruyants sur le Boulevard Périphérique (BP).

Il a ainsi été demandé au titulaire du marché de réfection des chaussées de la Section des Tunnels, des Berges et du Périphérique (STBP) de la Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD) de proposer des produits à caractéristiques phoniques améliorées. Il a été retenu deux produits dont les études de formulation ont répondu au cahier des charges imposées : un BBTM 0/6 pour le BPI et un BBTM 0/4 pour le BPE. L'objet de cette expérimentation est notamment d'apprécier les vertus phoniques de ces revêtements à court terme mais aussi la pérennité du revêtement lui-même et l'évolution dans le temps de ses caractéristiques acoustiques.

Ce chantier expérimental, engagé en 2012 sur le boulevard périphérique au niveau de la porte de Vincennes, fait de la Ville de Paris l'une des premières grandes collectivités à avoir mis en œuvre des enrobés phoniques, en milieu urbain dense, sur un axe des plus circulés (4 800 véhicules/heure). Les travaux ont consisté à un rabotage de 8 cm sur les quatre voies puis mise en œuvre d'un BBME de liaison de 5 cm et de la couche de roulement en 3 cm, en étant très attentif à la mise en œuvre des couches d'accrochage.

#### Mesures acoustiques méthode CPX

Des mesures de caractérisation des revêtements existants sur le plan phonique ont été réalisées par le CETE (aujourd'hui Cerema) de Sourdun. Le Tableau 9 résume les valeurs des niveaux sonores des micros latéraux obtenues en dB(A) pour la vitesse de 70 km /h à 20°C : les voies de circulation ont volontairement été distinguées afin d'avoir une approche selon le trafic supporté.



Figure 38 : Mesures CPX de nuit sur le boulevard périphérique parisien (Source : Ville de Paris)

Tableau 9 – Niveaux CPX avant travaux à 70 km /h (20°C, moyenne des microphones latéraux) : Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente

AVRIL 2012				
Vitesse 7	'0 km/h			
BPI	dB(A)			
Voie 1	100,6			
Voie 2	97,9			
Voie 3	98,9			
Voie 4	99,9			
BPE	dB(A)			
Voie 1	99,7			
Voie 2	98,4			
Voie 3	101,5			
Voie 4	100,9			

Un suivi de la performance du gain acoustique des deux revêtements a été réalisé et confié au même prestataire. Le CETE est intervenu en août 2012 pour satisfaire à la caractérisation de l'état « zéro » des mesures soit juste après les travaux (2 mois). Le Tableau 10 donne l'évolution des performances en dB(A) des deux revêtements.

Tableau 10 – Variation du bruit de roulement à l'état « zéro » 2 mois après changement de revêtement

BBTM 0/6	70 km/h	BBTM 0/4	70 km/h
BPI	LATERAL	BPE	LATERAL
Voie 1	- 7,8 dB(A)	Voie 1	- 8,3 dB(A)
Voie 2	- 5,1 dB(A)	Voie 2	- 7,0 dB(A)
Voie 3	- 6,8 dB(A)	Voie 3	- 10,1 dB(A)
Voie 4	- 7,8 dB(A)	Voie 4	- 9,5 dB(A)

La réduction du bruit de roulement à l'état zéro est très importante puisqu'elle varie pour le BBTM 0/6 « VP » de 5 dB(A) jusqu'à 7,8 dB(A) et pour le BBTM 0/4 « VP » de 7,0 dB(A) jusqu'à 10,1 dB(A). Bien entendu, ces performances dépendent en grande partie de l'état initial des revêtements de chaussée.

Pour des niveaux sonores initiaux sensiblement identiques, le BBTM 0/4 est plus efficace juste après la mise en œuvre. L'effet du  $D_{max}$  de l'enrobé y joue un rôle non négligeable ainsi que le pourcentage de vides plus élevé et de plus petite taille. La réalisation de la mesure du coefficient d'absorption

acoustique au niveau de l'étude de formulation peut permettre d'anticiper ce comportement.

La durabilité des performances acoustiques des deux produits est reprise dans le chapitre VI.3.

# Mesures acoustiques méthode station fixe Bruitparif

Entre juin 2012 et juin 2013, au moyen de 4 stations de mesure positionnées sur le périphérique au niveau de ce secteur d'expérimentation (une au niveau du terre-plein central sur le périphérique et trois en façade des immeubles les plus proches), Bruitparif a pu évaluer l'amélioration apportée par la mise en place de ces revêtements tant pour les riverains que pour les automobilistes qui empruntent le périphérique.





Figure 39 : Points de mesure fixes (a) en terre-plein central ; (b) en façade de bâtiment (Source : Ville de Paris)

Ainsi, trois mois après la pose des nouveaux revêtements [27], la diminution moyenne constatée s'élève à :

- 7,5 dB(A) au niveau du terre-plein central ;
- 2,2 à 4,3 dB(A) en façade des immeubles d'habitation les plus proches et jusqu'à 7 dB pour les fréguences comprises entre 1 000 et 2 000 Hz ;
- 8 à 12 dB(A) à l'intérieur du véhicule dans la gamme de fréquences comprise entre 1 000 et 2 000 Hz.

Les diminutions ont été constatées de manière identique sur les périodes diurne et nocturne. La pose de revêtements acoustiques sur le périphérique a donc permis de diminuer significativement le bruit.





Figure 40 : Mise en place d'enrobés acoustiques Porte de Vincennes – Juin 2012 (Source : Ville de Paris)

#### c. Autoroutes A4 et A6

Des stations de mesure du bruit ont été déployées par Bruitparif sur des tronçons des autoroutes A4 et A6 où des revêtements de chaussée peu bruyants ont été mis en œuvre en 2017. Ainsi, sur l'autoroute A4, deux stations ont été installées à proximité des voies de circulation à Joinville-le-Pont (94) sur les portiques PMV, une dans chaque sens de circulation (voir Figure 41). Sur l'autoroute A6, deux stations ont également été implantées, sur des candélabres positionnés dans chaque sens de circulation à L'Haÿ-les-Roses (94).



Figure 41 : Emplacement d'une station de mesure de surveillance du bruit (A4) à Joinville-le-Pont (94) (Source : Bruitparif)

La Figure 42 présente les diminutions observées au 31 janvier 2018 pour les revêtements âgés de 3 à 6 mois [28]. Sur l'indicateur L<sub>Aeq</sub> (24h), les gains sont de l'ordre de 5 à 8,5 dB(A). Les stations déployées ont vocation à être maintenues pendant de nombreuses années afin de documenter l'évolution des performances acoustiques des revêtements de chaussée.

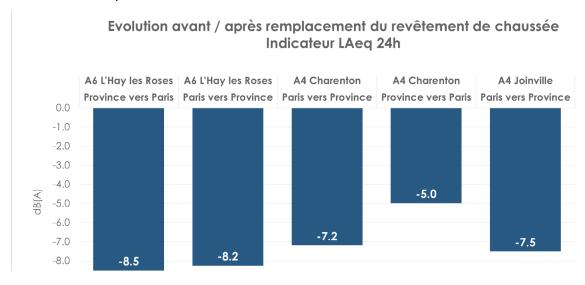


Figure 42 : Evolution avant / après remplacement du revêtement de chaussée ; indicateur L<sub>Aeq</sub>(24h) (Source : Bruitparif)

# VI. Durabilité des performances des revêtements limitant le bruit

#### 1. Généralités sur la durabilité

Les revêtements phoniques possèdent généralement une forte teneur en vides communicants qui est source de fragilité et peut conduire à une durée de vie moindre, notamment en conditions hivernales, 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. Ils doivent être mis en œuvre sur un support sain et étanche, éventuellement additionné d'une couche de liaison

Des retours d'expérience montrent qu'avec ces précautions, des enrobés phoniques ont des durabilités mécaniques proches de celles des enrobés classiques.

#### a. Les mécanismes de vieillissement

Il a été vu au chapitre I que le bruit de roulement dépendait principalement de la texture de chaussée et de la teneur en vides communicants de la couche de roulement. Toutes les évolutions de ces deux caractéristiques au cours du temps vont donc se répercuter sur le bruit.

La texture évolue sous l'effet du trafic et des conditions climatiques. Tout d'abord, l'action du trafic dans les premières semaines suivant la mise en œuvre, vient décaper la couche de liant en surface, mettant à nu les granulats supérieurs et augmentant ainsi la microtexture. Puis, après cette première phase de quelques semaines, le trafic provoque une usure progressive de la surface par polissage.

La teneur en vides communicants diminue en raison du post-compactage et du colmatage. Cette modification réduit l'absorption acoustique et augmente la génération de bruit par le phénomène d'airpumping.

Par ailleurs, les performances acoustiques d'un revêtement sont dépendantes :

- Des dégradations de type arrachements, fissures, nids-de-poules pouvant être liées au revêtement en lui-même ou à la structure sous-jacente;
- Des dégradations par les interventions humaines sur la voirie urbaine (bouches d'accès aux réseaux fluides, passages de canalisations, réparations ponctuelles) ou par des évènements accidentels (déversements de produits, etc).

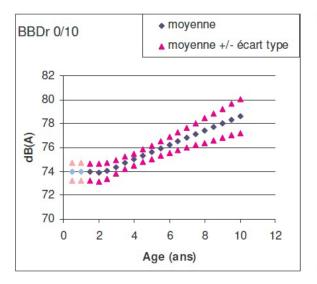
#### Analyse de l'évolution des performances acoustiques à partir de la base de données bruit de roulement

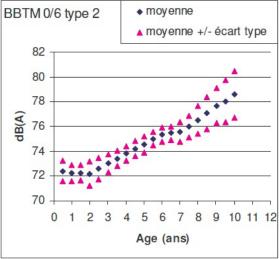
La base de données « bruit de roulement » contient un certain nombre de mesures réalisées sur une même planche, à des dates différentes, qui permet d'établir un suivi de l'évolution du  $L_{\tiny Amax}$  (90 km /h) au cours du temps. Pour exploiter les résultats obtenus, les mesures effectuées sur routes à fort trafic (autoroutes et routes à 3 ou 4 voies) sont séparées des routes à plus faible trafic (routes à chaussée bidirectionnelle).

Lorsque le nombre de planches suivies est suffisamment important, une analyse est réalisée afin de dégager une tendance générale pour la technique. Pour ne pas introduire de biais dans l'analyse, la méthode présentée ici consiste à réaliser les calculs suivants :

 Recherche de la période d'étude la plus longue possible comprenant au moins 5 planches (nombre minimum fixé arbitrairement). Pour définir cette période, l'ensemble des planches pour lesquelles un niveau sonore est disponible est compilé par pas de 6 mois. L'échantillon de planches retenu est composé de toutes les planches couvrant cette période. • La moyenne et l'écart type des niveaux sonores par pas de 6 mois sont calculés sur cet échantillon.

Ci-après sont donnés deux exemples d'application de cette analyse, réalisés sur des revêtements BBDr 0/10 (autoroutes et routes à 3 ou 4 voies) et BBTM 0/6 classe 2 (routes à chaussée bidirectionnelle).





Analyse des planches suivies dans le temps

Figure 43 : Evolution statistique moyenne du bruit de roulement en fonction de l'âge pour deux techniques de revêtements : BBDr 0/10 (gauche) et BBTM 0/6 classe 2 (droite)

\* BBDr 0/10 : Cette analyse a été réalisée sur 5 planches. Il est observé sur cette période assez étendue une augmentation du niveau sonore avec le temps (4,5 dB(A) entre l'âge de 1 an et demi et l'âge de 10 ans). Cette augmentation est d'environ 0,5 dB(A) par an. Les dispersions sont un peu plus fortes sur les mesures à 10 ans que sur les mesures à un âge plus jeune.

Remarque : les courbes ont été extrapolées entre 6 mois et 1 an et demi (stabilité du niveau sonore), par homogénéité avec le revêtement BBTM 0/6 type 2, en l'absence de données suffisantes.

\* BBTM 0/6 type 2 : Cette analyse a été réalisée sur 5 planches pour la période de 2 ans à 9 ans et sur 4 planches seulement pour les périodes de 6 mois à 2 ans et de 9 à 10 ans (par homogénéité avec la durée de l'analyse effectuée sur le revêtement BBDr 0/10). Globalement, il est observé une augmentation d'environ 0,8 dB/an entre l'âge de 2 et 9 ans.

Il est toutefois constaté, en regardant les suivis individuels des planches, que les comportements ne sont pas tous identiques et réguliers : certaines planches peuvent même voir leur niveau sonore diminuer après quelques années, avant d'augmenter à nouveau plus tard.

#### Autres données sur le vieillissement acoustique des revêtements de chaussée

Les conclusions de l'étude SILVIA [29] pour le BBDr 0/10 vont dans le même sens. En dépit d'un comportement plutôt hétérogène de tous les revêtements testés, une grande partie d'entre eux a montré une augmentation du niveau de 5 à 6 dB(A) pour les VL au terme d'une période d'exploitation comprise entre 1 et 10 ans. Il a également été observé que les niveaux de bruit sur les sections initialement les plus silencieuses ont tendance à augmenter au cours de cette période, tandis que sur les sections initialement les plus bruyantes tendent à rester stables pendant les premières années.

Pour le BBUM 0/6 (classe 2), une augmentation assez régulière des niveaux de bruit a été observée (+3 dB(A) au terme d'une période d'exploitation comprise entre 1 et 7 ans).

La Figure 44 compare l'évolution des performances acoustiques dans le temps des revêtements de chaussées drainants à celle de bétons bitumineux denses. Bien que les performances acoustiques d'un enrobé drainant restent continuellement supérieures à celle d'un revêtement classique, l'écart a tendance à se réduire avec le temps.

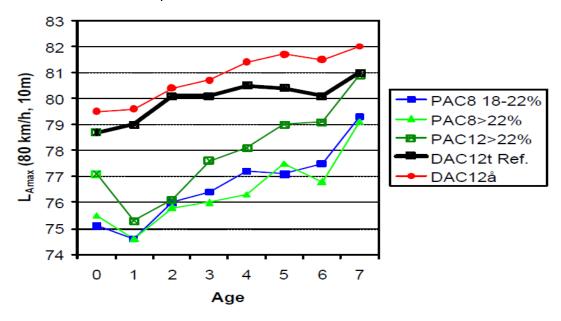


Figure 44 : Evolution du bruit de roulement en fonction de l'âge pour des revêtements drainants (PAC) et denses (DAC) (d'après une étude danoise, figure 6.1 dans [29])

Une autre étude danoise a suivi pendant 10 ans l'évolution du bruit au passage (SPB) de revêtements en milieu urbain. Une évolution similaire est observée (Figure 45).

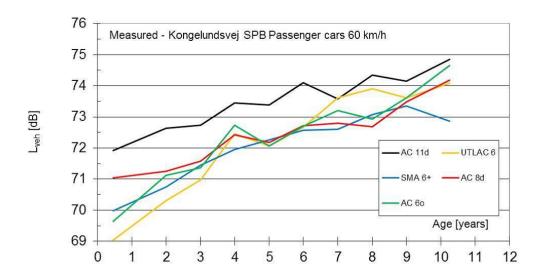


Figure 45 : Evolution sur 10 ans du bruit de roulement au passage de VL en milieu urbain (Copenhague) sur 5 revêtements : bétons bitumineux denses (AC) 0/11 0/8 et 0/6, BBUM 0/6 (UTLAC) et SMA 0/6 (figure 4.9 dans [35])

Une étude portée par les Pays Bas a rassemblé et analysé les données relatives au suivi acoustique de planches routières par tout type de méthode (SPB ou CPX) dans 5 pays européens : Pays-Bas, Danemark, France, Allemagne, et Suisse [30]. Les résultats, bien que présentant de grandes dispersions, ont permis d'aboutir à des coefficients d'augmentation moyenne du niveau sonore avec l'âge récapitulés dans le Tableau 11.

Tableau 11 : Augmentation moyenne annuelle du niveau de bruit d'un trafic (mixte VL et PL) en dB/an, d'après l'étude conjointe Pays Bas/Danemark [30] basée sur l'analyse des données de 5 pays européens.

		Augmentation du niveau sonore [dB/an]		
Type de revêtement	Dmax [mm]	Haute vitesse (≥ 80 km /h)	Basse vitesse (50-60 km /h)	
Béton Bitumineux	16	0,1	-	
Dense	≤ 11	0,3 - 0,4	0,3 - 0,4	
DDM / DDTM	10	0,2	-	
BBM / BBTM	≤ 8	0,4 - 0,6	0,4	
DDD simula accela	16	0,3	-	
BBDr simple couche	≤ 8	-	-	
BBDr double couche	≤ 8	-	1,0	

Une étude similaire menée en Belgique [31], sur des revêtements de chaussée expérimentaux de type BBDr bicouche et SMA montent des évolutions du bruit de roulement de l'ordre de + 0,6 à + 2,4 dB par an selon la méthode CPX et de l'ordre de + 0,2 à + 1,7 dB par an selon la méthode SPB. Le processus de mise en œuvre semble également jouer un rôle important sur l'évolution des performances acoustiques au fil du temps.

#### d. Conclusion sur la durabilité acoustique

Dans la majorité des cas, les performances acoustiques des revêtements peu bruyants se dégradent dans le temps mais sans atteindre pour autant les niveaux sonores obtenus sur des enrobés classiques de même âge.

# 2. Exigences minimales et conditions pour la durabilité

# a. Considérations générales

En préambule, il est précisé que les performances à atteindre sur une couche de roulement sont issues d'un compromis. En effet, les caractéristiques attendues en matière de performances, de viabilité et de durabilité n'évoluant pas nécessairement dans le même sens, elles doivent être choisies en fonction des enjeux définis par le gestionnaire de réseau.

Ainsi, les principales considérations à prendre en compte dans le cadre de la construction ou du renouvellement d'une couche de roulement peuvent être fonction :

- De l'importance et de la gestion du trafic ;
- De l'impact du climat sur le réseau et de son mode de gestion dans l'exploitation;
- Du contexte urbain dans lequel l'infrastructure se situe.

Quelles que soient les performances acoustiques recherchées sur un revêtement routier, il est conseillé à l'exploitant d'assurer :

- Le contrôle des performances phoniques à la réception ;
- Le suivi de l'évolution dans le temps de ces performances ;
- Le maintien d'une bonne condition d'utilisation du réseau par l'usager quelles que soient les conditions climatiques ;
- · La recyclabilité future du produit ;
- Le renouvellement ultérieur des couches de roulement ;
- Une certaine homogénéité et cohérence de son réseau, essentiellement en matière d'impact sur la sécurité.

Les mélanges bitumineux qui permettent une réduction des émissions du bruit de roulement présentent le plus souvent une forte macrotexture et une bonne drainabilité des eaux de surface.

Il est précisé que ce type de revêtements convient à tous types de réseaux routiers, sous réserve de respecter quelques précautions d'emploi liées notamment à la configuration du site (géométrie de la voie) et aux conditions d'exploitation (vitesse d'exploitation, viabilité hivernale). Leur utilisation en entretien permet de régénérer l'intégrité d'une couche de roulement d'une chaussée non fissurée et non déformée.

#### b. Conditions de support

La qualité du support est essentielle afin d'assurer la durabilité de ce type de revêtement. Ainsi, une visite et une étude préalable de la chaussée sont nécessaires lors de la programmation des travaux et généralement planifiées un an avant la réalisation du revêtement. Cette visite doit permettre, entre autres, de vérifier :

#### La configuration du site et l'adéquation technique

Les techniques permettant de réduire les émissions du bruit de roulement sont souvent des techniques minces ( $\leq$  4 cm) et peu grenues (D  $\leq$  10 mm). Leur application est donc déconseillée dans les zones à fortes contraintes tangentielles telles que les giratoires, tourne à gauche, etc. où les risques d'arrachements sont importants.

#### L'imperméabilité du support

Les techniques de revêtements acoustiques ne permettent d'assurer ni l'imperméabilité du corps de chaussée, ni un collage au support pérenne. On veillera donc :

- A étancher les sections qui peuvent l'être par de simples pontages de fissures, garnissage, purges, etc.
- A appliquer, sur les sections dont le revêtement a une forte teneur en vides communicants, un enduit superficiel ou un enrobé coulé à froid (ECF), ou à surdoser la couche d'accrochage. On fraisera ces mêmes sections quand elles sont fortement circulées : il faudra alors vérifier la cohésion du nouveau support et sa capacité d'imperméabilisation.

Si le support, fraisé ou non, est un mélange non traité ou traité avec un liant hydraulique, il n'est pas conseillé l'emploi d'un revêtement à propriétés acoustiques sans couche de liaison préalable appliquée avec un enrobé bitumineux.

#### La gestion des eaux pluviales

Les techniques qui réduisent le bruit ont une forte teneur en vides communicants et une PMT élevée ; poreuses, elles sont particulièrement sensibles à l'eau qui stagne aux points bas. Il conviendra donc d'accorder une vigilance particulière à l'efficacité des systèmes d'assainissement, ce qui reste important par ailleurs quel que soit le type de revêtement mis en œuvre.

#### Le niveau de déformations, la qualité d'uni et la géométrie

Les déformations peuvent être de natures transversales et/ou longitudinales. Dans tous les cas, des déformations permanentes du support trop importantes (comme l'orniérage à petit rayon par exemple) ne permettent pas une mise en œuvre sans apport (reprofilage) ou enlèvement préalable de matériaux (fraisage)). Ainsi ce type de produit ne convient pas en général pour corriger le dévers d'une chaussée, qui nécessite une mise en œuvre en épaisseur variable. Une note de l'IDRRIM expose cette problématique [32].

Concernant l'uni longitudinal et pour des travaux d'entretien avec des conditions de mise en œuvre conformes aux règles de l'art (uni peu dégradé notamment), les enrobés à performances acoustiques améliorent la plupart du temps la qualité d'uni en petites ondes. En ce qui concerne la correction des moyennes ondes, ces techniques ne sont souvent pas adaptées sans préparation préalable du support (fraisage guidé, reprofilage...) du fait de leur épaisseur relativement faible (≤ 4 cm). Pour des travaux de construction ou de réhabilitation, il est conseillé de s'assurer au préalable de la qualité d'uni longitudinal de la couche sous-jacente afin d'atteindre les performances exigibles sur la couche de roulement [32].

#### La déformabilité

Compte-tenu de la faible épaisseur d'application des matériaux à performance acoustique et de leur rigidité, un contrôle du niveau de déflexion préalable est requis avant application. En cas de déflexion trop importante (critère défini en fonction de la nature de la structure et du trafic), l'application d'un revêtement à performances acoustiques n'est pas conseillée [23].

c. Conditions de mise en œuvre et points sensibles sur chantier

#### **Fraisage**

Le support fraisé ne doit pas présenter d'aspérités pouvant empêcher ou freiner l'écoulement transversal de l'eau, notamment pour une application d'un enrobé à fort pourcentage de vides.

# Nettoyage du support

Le support doit être balayé et exempt de tout élément susceptible de se détacher sous une action mécanique (élimination du feuilletage). Le plus souvent, une balayeuse aspiratrice avec jet à haute pression est utilisée. Une autre solution ayant fait ses preuves est de laisser circuler les véhicules au moins pendant 24 heures sur le support fraisé puis de balayer.

#### Couche d'accrochage

La couche d'accrochage est réalisée avec des émulsions de bitume de grade usuel ou modifié par des polymères. La qualité et le dosage de l'émulsion nécessitent une attention particulière afin d'assurer une bonne imperméabilisation du support et un collage efficace de la couche mise en œuvre.

La norme NF P 98150-1 préconise un dosage minimal en émulsion de 300 g/m² de bitume résiduel pour les BBTM et 350 g/m² pour les BBDr. Un ajustement du dosage peut toutefois être effectué en fonction de l'état du support et de la configuration du site (support ouvert, support fraisé ou rainuré, pente importante, route sinueuse, ...).

## **Application**

La mise en œuvre s'effectue conformément aux dispositions de la NF P 98150-1. L'application des techniques permettant une réduction des nuisances sonores ne peut pas se faire de façon manuelle, ne convient pas aux réparations ponctuelles et nécessite des conditions météorologiques favorables, le produit étant particulièrement sensible au refroidissement (à titre indicatif : température supérieure à 10°C et vitesse de vent inférieure à 30 km /h).

#### d. Conditions d'exploitation

#### Viabilité hivernale

En surface, les enrobés à performances acoustiques présentent une porosité importante et une température de surface plus faible que les bétons bitumineux plus denses. Ce comportement particulier entraîne une occurrence plus importante des phénomènes de verglaçage et de tenue de la neige sur ce type de couche de roulement. Dans les zones à viabilité hivernale élevée, les enrobés à performances acoustiques à forte teneur en vides communicants peuvent nécessiter une adaptation de la viabilité hivernale (surveillance accrue, dosages en fondants renforcés, fréquence de passage plus élevée, ...).

# Fragilité du matériau et sensibilité aux hydrocarbures

Les enrobés avec fort pourcentage de vides et diamètre D faible, présentent une fragilité aux chocs plus marquée que les autres mélanges bitumineux. L'utilisation de liants modifiés tend à améliorer la résistance aux chocs (lame de déneigement, déjantage, ...).

Par ailleurs, les formulations à fort pourcentages de vides présentent de par leur porosité une sensibilité aux hydrocarbures plus élevée que des formules dont la composition granulaire est continue. De ce fait, une utilisation dans des zones de stationnement n'est pas recommandée.

#### e. Traitement en fin de vie

Le recyclage d'un enrobé à performances acoustiques dans des formules semi-grenues ou denses ne fait pas l'objet de contre-indication particulière.

#### f. Conclusion

Les techniques de revêtements à performances acoustiques sont souvent également performantes sur d'autres caractéristiques de surface telles que l'adhérence ou la drainabilité superficielle. Elles peuvent également apporter un gain esthétique de par l'homogénéité de leur texture.

Cependant, leur composition très grenue entraîne une certaine porosité et limite les points de contacts avec le support, ce qui oblige des dispositions constructives adaptées, notamment vis-à-vis de l'imperméabilisation de la chaussée et du soin apporté à la préparation du support pour obtenir un collage pérenne. L'application dans des zones à fortes contraintes tangentielles n'est pas recommandée (carrefours, giratoires, etc.).

Les conditions d'exploitation dans des zones à fortes viabilités hivernales demandent une adaptation particulière.

Le traitement en fin de vie ne génère pas de dispositions particulières mais une déconstruction sélective de ces couches composées de granulats de bonne qualité permettrait d'économiser cette ressource.

# 3. Exemple de suivi expérimental d'une rocade urbaine : boulevard périphérique parisien, porte de Vincennes (suite du paragraphe 5.4.2)

Depuis 5 ans, la mairie de Paris et Bruitparif ont suivi, en partenariat, les performances des nouveaux revêtements de chaussée.

# a. Mesures de bruit en continu pneumatique chaussées

#### Période 2012-2014

Les réductions de niveaux sonores obtenues en 2014, 24 mois après la mise en service des nouveaux revêtements, sont présentées dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Réduction du bruit roulement au bout de 2 ans, mesures CPX (microphones latéraux) à 70 km /h Voie 1 la plus rapide, voie 4 la plus lente.

BBTM 0/6	70 km /h	BBTM 0 /4	70 km /h
BPI	CPXLATÉRAL(dB(A))	BPE	CPXLATÉRAL(dB(A))
Voie 1	- 6,7	Voie 1	- 7,5
Voie 2	- 1,6	Voie 2	- 4,6
Voie 3	- 2,2	Voie 3	- 4,3
Voie 4	- 3,5	Voie 4	- 4,6

Après 24 mois de service, les gains restent encore importants et varient entre 1,6 et 6,7 dB(A) pour le BBTM 0/6 et entre 4,3 et 7,5 dB(A) pour le BBTM 0/4. Pour mémoire, à l'état « zéro » 2 mois après la mise en service, ils variaient entre 5,1 et 7,8 dB(A) pour le BBTM 0/6 et entre 7,0 et 10,1 dB(A) pour le BBTM 0/4 (tableaux 5-7, paragraphe V.4.b). Il convient toutefois de constater une évolution des niveaux sonores entre les voies lentes et les voies rapides. La diminution des gains pour la voie rapide et les voies lentes est rapportée dans le Tableau 13.

Une première hypothèse facilement intuitive est l'influence de la nature du trafic sur les voies lentes qui tend d'une part à fermer la texture de surface et d'autre part à induire un post compactage de l'enrobé. Ceci provoque une baisse de la porosité et fait chuter les performances acoustiques.

Une deuxième hypothèse à avancer est le colmatage de surface de l'enrobé qui limiterait ses performances par l'obturation des vides.

Tableau 13 : Evolution de la performance entre 2012 (état « zéro » après travaux) et 2014, mesurés par méthode CPX à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, Voie 4 la plus lente.

BBTM 0/6	70 km /h		BBTM 0 /4	70 km /h	
BPI	2012 2014		ВРЕ	2012	2014
Voie 1	+ 1,1 (~ 0,5/an)		Voie 1	+ 0,8 (~ 0,4/an)	
Voie 2	+ 4,3 (~ 2,1/an)		Voie 2		
Voie 3			Voie 3	+ 4,4 (~	2,2/an)
Voie 4			Voie 4		

Il y a donc une évolution différenciée des performances selon les voies de circulation en fonction de la composition et de l'intensité du trafic. Il aurait été intéressant de connaître celles-ci pour chaque voie du boulevard périphérique.

Maintenant, en regardant la performance moyenne des deux enrobés sur deux ans, on constate que les pentes sont identiques en fonction du type de voies. L'évolution des deux produits en termes de perfe de performance acoustique est identique entre 2012 et 2014.

Néanmoins, concernant la durabilité mécanique du BBTM 0/4, quelques mois après la mise en œuvre, le revêtement a subi quelques dégradations de surface (plumage) principalement dans les bandes de roulement des voies 3 et 4.

### Période 2014-2017

Suite aux résultats de la première période, la mairie de Paris a poursuivi en interne la mesure des performances de ces enrobés par une nouvelle série de mesures en avril 2017. Le changement de laboratoire implique d'interpréter avec prudence les valeurs brutes, mais ces résultats permettent d'étudier l'évolution des produits. Les gains mesurés en 2017 sont présentés dans le Tableau 14.

Tableau 14 : Réduction du bruit de roulement au bout de 5 ans, méthode CPX à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, Voie 4 la plus lente

BBTM 0/6	70 km /h	BBTM 0 /4	70 km /h
BPI	CPXLATÉRAL(dB(A))	BPE	CPXLATÉRAL(dB(A))
Voie 1	- 5,0	Voie 1	- 5,7
Voie 2	- 1,6	Voie 2	- 4,3
Voie 3	- 1,2	Voie 3	- 4,6
Voie 4	- 2,9	Voie 4	- 4,0

Le bilan à cinq ans reste positif puisque la réduction du bruit de roulement varie entre 1,6 et 5,0 dB(A) pour le BBTM 0/6 et entre 4,0 et 5,7 dB(A) pour le BBTM 0/4.

Cette tendance est plutôt rassurante sur l'évolution des performances acoustiques, notamment concernant le BBTM 0/4 sur lequel le gain acoustique est encore notable ainsi que la voie la plus rapide sur le BBTM 0/6.

Tableau 15 : Evolution de la performance en dB(A) de 2014 à 2017, mesurés par méthode CPX à 70 km /h. Voie 1 la plus rapide, Voie 4 la plus lente.

BBTM 0/6	70 km /h		BBTM 0 /4	70 km /h	
BPI	2014 2017		BPE	2014	2017
Voie 1	+ 1,7 (~ 0,6/an)		Voie 1	+ 1,8 (~	0,6/an)
Voie 2			Voie 2		
Voie 3	+ 0,4 (~	0,1/an)	Voie 3	+ 0,2 (<	0,1/an)
Voie 4			Voie 4		

Durant la première période, l'évolution acoustique des deux produits est plus prononcée sur les voies lentes que les voies rapides. Cette tendance n'est plus confirmée sur cette période de trois ans. Il faudra la confirmer par une prochaine campagne de mesure.

Également, un plumage de surface s'est généralisé sur l'ensemble de la surface, ce qui pose la question de sa durabilité mécanique et le maintien d'un niveau de service acceptable pour le gestionnaire.

### En conclusion

À court terme une évolution plus rapide est constatée sur les voies lentes. Il est possible d'avancer que le trafic lourd sur les voies lentes modifie la compacité de l'enrobé rapidement à l'inverse d'un trafic plus léger sur les voies rapides.

À moyen-long terme, cette compacité n'évolue plus et la réduction du niveau acoustique ralentit fortement.

Sur une approche produit, les deux enrobés ont sensiblement le même comportement avec un avantage sur la réduction acoustique initiale pour le BBTM 0/4.

Il est donc possible d'avancer ici un ordre de grandeur des pertes des performances acoustiques des enrobés phoniques de l'ordre de 0,5-0,6 dB(A) par an sur voie rapide et de 0,9-1,0 dB(A) par an sur voie lente avec une évolution temporelle différenciée.

Les performances du BBTM 0/4 sont contrariées par l'apparition de zones de plumage.

Ces dégradations constatées sur ce revêtement quelques mois après la mise en œuvre et qui ont lentement évolué au court du temps ne semblent pas influer directement sur la performance acoustique, le matériau est peut-être moins absorbant mais pas plus générateur de bruit. Ce comportement pose quand même la question de la durabilité mécanique du BBTM 0/4 et de son renouvellement malgré ses performances en cas d'une baisse trop importante du niveau de service exigé par le gestionnaire (sécurité, confort, ...).

### Mesures acoustiques méthode station fixe Bruitparif

Depuis 2013, Bruitparif continue de suivre les performances acoustiques de ces nouveaux revêtements au moyen de l'exploitation permanente de la station positionnée au niveau du terre-plein central. La Figure 46 présente l'évolution du niveau L<sub>Aeq</sub> moyen journalier pour chaque semestre depuis 2012.

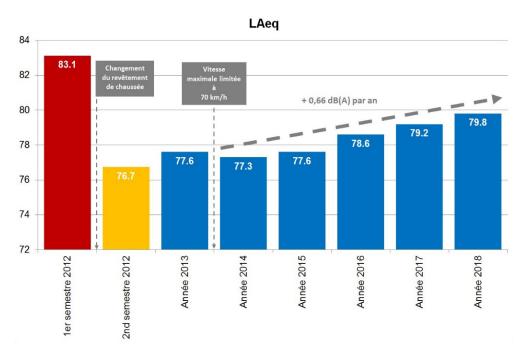


Figure 46 : Boulevard Périphérique Porte de Vincennes - Evolution du niveau L<sub>Aeq</sub> moyen semestriel (Source : Bruitparif)

Au 1<sup>er</sup> janvier 2014, la vitesse de circulation réglementaire sur le boulevard périphérique est passée de 80 km /h à 70 km /h. Depuis cette date et jusqu'à ce jour, avec des conditions de circulation inchangées, 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.

### c. Suites de l'expérimentation

Les revêtements expérimentés se sont avérés avoir une bonne tenue mécanique dans le temps, avec un avantage pour le BBTM 0/6. Ils ont relativement bien supporté les saisons hivernales ainsi que le volume très important de trafic. Ces nouveaux revêtements présentent des caractéristiques d'adhérence équivalentes aux revêtements usuels et évacuent bien les précipitations.

Au vu des résultats obtenus tant en termes de baisse du bruit généré par la circulation que de résistance mécanique de ces nouveaux revêtements, la ville de Paris a décidé d'étendre la pose de revêtements acoustiques type BBTM 0/6 sur les tronçons prioritaires du boulevard périphérique. Ainsi, entre 2012 et 2016, la Ville de Paris a mis en œuvre des enrobés phoniques sur 30 % des chaussées du périphérique parisien.

# VII. Prise en compte du bruit routier par la maîtrise d'ouvrage

### 1. Principes généraux dans les travaux neufs et d'entretien

Compte tenu, notamment, des fortes contraintes financières pesant sur le maître d'ouvrage, celui-ci peut facilement focaliser son attention sur les seuls aspects de durabilité mécanique des techniques mises en œuvre dans le domaine de la chaussée.

Pour autant, il lui revient bien de prendre en compte la gestion du bruit à l'occasion des travaux qu'il entreprend. Le maître d'ouvrage doit donc se montrer vigilant, non seulement en milieu urbain, ce qui devient peu à peu un réflexe, mais également dans des secteurs moins densément peuplés. En effet, certaines zones d'habitat qui ne sont pas nécessairement identifiées comme point noir du bruit, méritent néanmoins un minimum d'attention, pour éviter de dégrader, et autant que possible, améliorer l'environnement sonore dû à la route.

C'est pourquoi, au-delà de la réglementation en vigueur qui impose un certain nombre de prescriptions à la maîtrise d'ouvrage, certaines actions complémentaires peuvent lui être recommandées.

A titre d'exemple, l'adaptation des techniques aux traverses de petites agglomérations, hameaux, lieux-dits... peut souvent à moindre coût préserver les populations riveraines du bruit routier. Ainsi, même un maître d'ouvrage en milieu essentiellement rural, aura tout intérêt à recenser les zones les plus sensibles de son réseau.

Dans la suite de ce chapitre, les prescriptions réglementaires et les actions préconisées sont décrites sous forme d'une fiche ou logigramme pour chacun des deux cas de figure : travaux neufs ou travaux d'entretien. Ces fiches sont construites dans une démarche pragmatique et lisible pour le maître d'ouvrage en établissant un diagramme listant dans l'ordre :

- 1. Les textes de référence ;
- 2. Le type d'études à mener ;
- 3. Une échelle de la sensibilité acoustique, qui définira les actions à mener ;
- 4. Les actions à mener, avant, pendant et après travaux ;
- 5. Les éléments de communication.

### a. Travaux neufs et aménagements significatifs

Selon l'Article 2 du décret du 9 janvier 1995 (codifié à l'article R.571-45 du Code de l'Environnement) :

« Est considérée comme significative, au sens de l'article 1er, la modification ou la transformation d'une infrastructure existante, résultant d'une intervention ou de travaux successifs autres que ceux mentionnés à l'article 3 et telle que la contribution sonore qui en résulterait à terme, pour au moins une des périodes représentatives de la gêne des riverains mentionnées à l'article 4, serait supérieure de plus de 2 dB (A) à la contribution sonore à terme de l'infrastructure avant cette modification ou cette transformation.»

Le logigramme présenté en annexe 4, recommande de suivre les étapes suivantes :

- 1) Textes de références : leur prise en compte est une première étape obligatoire.
- 2) Etude d'impact : la première mesure à prendre est la réalisation d'une étude d'impact telle que définie au point II du logigramme. Elle consiste à réaliser un état des lieux du point de vue acoustique à partir de mesures en façade, et quantifier, par calcul, l'impact sonore du projet d'aménagement.

3) Etude de sensibilité acoustique : Cette étude précise le niveau de sensibilité acoustique du secteur concerné par l'opération. Elle découle de l'étude d'impact qui vient préciser les seuils en fonction de l'ambiance sonore existante, et les croise avec la typologie, la densité, et donc la sensibilité liée au bâti.

L'étude d'impact et l'étude de sensibilité acoustique sont de la responsabilité du maître d'ouvrage (cf. article R.571-44 du Code de l'Environnement). Elles sont définies par l'arrêté du 5 mai 1995.

Ces deux études demandent des compétences en acoustique. Les maîtres d'ouvrage qui n'en disposent pas peuvent se tourner vers des bureaux d'études publics ou privés (environnement ou acoustique).

4) Les prescriptions graduées : elles découlent du niveau de sensibilité.

Ces prescriptions se déclinent en actions adaptées aux différentes phases de l'opération :

- Avanttravaux: essentiellement des mesures de bruit (action recommandée) et un dimensionnement des protections;
- Pendant les travaux : des mesures de bruit de chantier ;
- Après travaux : une réception des protections de type écrans le cas échéant, une réception des couches de roulement si prescriptions au CCTP, des mesures de bruit et d'isolement en façade en cas de renforcement. Ces mesures restent toutefois conseillées mais non obligatoires;
- Les mesures réalisées afin de réceptionner les écrans ou les couches de roulement sont à comparer aux prescriptions du CCTP. Si les objectifs ne sont pas atteints, le maître d'ouvrage pourra être amené à appliquer des pénalités à l'entreprise ou demander une réfection totale ou partielle des ouvrages ne donnant pas satisfaction;
- Il est capital, même à des simples fins de communication, de s'assurer que les mesures avant et après travaux soient bien réalisées avec les mêmes appareils, les mêmes équipes, et la même méthode s'agissant des mesures de bruit de roulement. Sur le plan pratique, il convient de retenir un seul prestataire pour les mesures avant et après travaux;
- D'autre part le maître d'ouvrage pourra décider de prendre des dispositions complémentaires pour assurer le respect des protections réglementaires dues aux riverains (isolement de façade, limitation de vitesse, travail sur la couche de roulement, ...).
- 5) Un objectif de communication et/ou le souhait de constituer ou d'enrichir une base de données peut également justifier des mesures.

### b. Travaux en entretien

Selon l'Article 3 du décret du 9 janvier 1995 (codifié à l'article R 571-46 du Code de l'Environnement)

- « Ne constituent pas une modification ou une transformation significative, au sens de l'article 1er :
  - 1° Les travaux d'entretien, de réparation, d'électrification ou de renouvellement des infrastructures ferroviaires ;
  - 2° Les travaux de renforcement des chaussées, d'entretien ou de réparation des voies routières ;
  - 3° Les aménagements ponctuels des voies routières ou des carrefours non dénivelés. »

Le logigramme présenté en annexe 4, recommande de suivre les étapes suivantes :

- 1) Les textes de références : leur prise en compte est une première étape obligatoire ;
- 2) Etude d'impact : La première mesure à prendre est le repérage des zones sensibles :
  - Ce repérage peut être effectué en un premier temps par une approche macro :
    - Exploitation de données existantes ;
    - Géolocalisation macro des zones sensibles.

Le maître d'ouvrage peut, dans un certain nombre de cas, être en mesure de référencer les zones sensibles, sans l'appui d'un tiers.

- Une approche fine (sous forme de modélisation acoustique du site et projetée avec les nouvelles caractéristiques après travaux d'entretien) peut être mise en œuvre :
  - Exploitation de données existantes ;
  - · Prise en compte de l'environnement du site ;
  - Prise en compte du revêtement existant ;
  - Cartographie des zones sensibles.

L'approche fine pour sa part, faisant appel à une modélisation, exige des compétences en acoustique confirmées (Cerema ou bureau d'étude privé).

- 3) Etude de sensibilité acoustique : Cette approche permet d'alerter le maître d'ouvrage sur le niveau de sensibilité acoustique du secteur concerné par ses opérations.
- 4) Les prescriptions graduées : De ce niveau de sensibilité découle également des prescriptions graduées, qui relèvent de recommandations (excepté les mesures de bruit de chantier).

Ces prescriptions se déclinent en actions adaptées aux différentes phases de l'opération :

- Avant travaux :
  - Réalisation de mesures de bruit (cf Tableau 2 en IV.1);
  - · Choix de revêtement adapté ;
  - Prescription de déploiement de la politique d'entretien.
- Pendant les travaux :
  - Respect des prescriptions particulières liées à la prise en compte du bruit (matériaux par exemple);
  - · Mesures de bruit de chantier.
- · Après travaux :
  - Réception des couches de roulement par des mesures de bruit de roulement (cf Tableau 2 en IV.1), obligatoire si prescriptions au CCTP;
  - Mesures réalisées sur les couches de roulement à comparer aux prescriptions du CCTP. Si les objectifs ne sont pas atteints, le maître d'ouvrage peut être amené à appliquer des pénalités à l'entreprise ou exiger la réfection totale ou partielle des ouvrages ne donnant pas satisfaction;
  - Il est capital, même à des simples fins de communication, de s'assurer que les mesures avant et après travaux soient bien réalisées avec les mêmes appareils, les mêmes équipes, et la même méthode (de préférence CPX);
  - Sur le plan pratique et pour optimiser la fiabilité des résultats comparés, il convient de retenir un seul prestataire pour les mesures avant et après travaux;
  - Réalisation de mesures de bruit en façade si nécessaire ;
  - · Réalisation d'un suivi pluriannuel sur les matériaux expérimentaux ou innovants.
- 5) Un objectif de communication et/ou le souhait de constituer ou d'enrichir une base de données peut également justifier des mesures

### c. Chantiers expérimentaux

Certaines techniques sont expérimentales ou ont été utilisées de façon relativement confidentielle : parmi celles-ci, des enduits scellés, certains types d'enrobés à froid ou tout autre produit issu de la recherche des entreprises.

Bien que le recours à ces techniques ne soit pas toujours ou pas essentiellement motivé par des gains au niveau acoustique, il est préconisé de prendre en compte le critère bruit dans le cadre du suivi général de leur performances, afin de compléter la base de données sur le bruit.

# 2. Rédaction de prescriptions dans le cadre d'un marché à performances acoustiques

Le choix d'une solution résulte d'un compromis dans lequel le maître d'ouvrage doit concilier plusieurs contraintes : la performance acoustique du revêtement, sa performance mécanique et la durabilité de ces deux performances.

Si la spécification des performances mécaniques est incontournable et bien maîtrisée depuis de nombreuses années, celle de la performance acoustique et a fortiori de sa durabilité est en revanche plutôt expérimentale et peu partagée. Le manque de références réglementaires ou normatives, la difficulté à vérifier les exigences par une méthode fiable et les suites à donner en cas de non-respect des exigences, sont les principales raisons évoquées pour justifier l'absence d'exigences acoustiques dans les marchés [9].

Dans la pratique, il existe trois approches distinctes à partir desquelles le maître d'ouvrage peut fixer ses objectifs en matière de limitation des émissions sonores à la source.

- Soit il choisit un type de revêtement en s'appuyant sur la catégorisation des revêtements (chapitre III.2.2 : catégories R1, R2 et R3) ; en ce cas, il ne prescrit pas de niveau de performance en dB(A), mais spécifie une couche de roulement réputée peu émissive (exemple BBTM 0/6 classe 2, BBDr) ;
- Soit il décide d'un niveau de performance en dB(A) pour une méthode donnée. Ce niveau est alors exprimé en niveau absolu de bruit de roulement en dB(A) au CCTP ;
- Soit il décide d'obtenir un gain sonore par rapport à une situation initiale. Le maître d'ouvrage spécifiera également un niveau de performance en dB(A) au CCTP, mais il ne pourra exprimer le niveau absolu de bruit de roulement attendu, qu'après avoir mesuré le niveau de bruit initial et avoir défini le gain souhaité.

Quelle que soit l'approche, le marché peut être assorti de pénalités en cas de non-respect. Les formules de pénalités doivent prendre en compte le caractère reproductible et répétable des méthodes de mesure.

### a. Spécification du type de revêtement

Il est possible de spécifier un type d'enrobé en se basant sur les normes existantes (ex : BBTM 0/6 classe 2 selon NF EN 13108-2) et avec éventuellement des exigences complémentaires (par exemple sur la nature du liant, sur la capacité d'absorption acoustique, ...).

Une mesure in-situ des propriétés acoustiques (chapitre IV) est recommandée pour s'assurer que le produit offre bien des performances de bruit de roulement acceptables (par exemple, il peut être demandé une appartenance du produit à une catégorie R1 ou R2 ; il peut également être demandé une performance acoustique  $L_{Amax,90} \le 76 \text{ dB(A)}$  en méthode VI ou CPXP  $\le 97 \text{ dB(A)}$  en méthode CPX à 80 km /h et 20°C).

L'avantage de ce type d'exigence est que le maître d'ouvrage choisit un type de revêtement dont les caractéristiques mécaniques sont normalisées. Par ailleurs, il peut estimer la performance acoustique synthétisée dans la base de données bruit de roulement (chapitre V.2).

L'inconvénient est qu'il n'a pas de vraie garantie sur les performances acoustiques. Le chapitre V.2 rappelle en effet que les performances d'un même type de revêtement s'échelonnent parfois sur plusieurs dB(A).

### b. Spécification d'un niveau de performance en dB (A)

Plusieurs approches conduisent à introduire des performances acoustiques dans un cahier des charges :

- Un niveau de bruit de roulement absolu (VI ou CPX) à une vitesse de référence est exigé.
   Ce type de spécification est le seul possible lorsque le maître d'ouvrage ne dispose pas de mesures acoustiques préalables à la réalisation du revêtement. Cela suppose d'avoir de bonnes connaissances en matière de bruit routier et de performances des produits acoustiques;
- Une diminution du bruit de roulement (parfois appelée gain) par rapport au revêtement existant est spécifiée. Elle doit être vérifiée ensuite selon une méthode à préciser (de préférence mesure en champ proche CPX). Les conditions de site sont déterminantes pour le choix de la méthode de mesure. Il est alors nécessaire d'effectuer des mesures avant la rédaction du marché (connaissance de l'état initial, fixation du gain et du niveau de bruit absolu qui en résulte) et à les répéter à l'identique (même équipe, même matériel, même vitesse de référence) après le chantier. Il peut être astucieux de mesurer aussi les performances avant et après travaux d'un revêtement contigu qui ne sera pas affecté par les travaux et qui servira de témoin à la mesure de réception.

Lors d'un changement de revêtement de chaussée, certains maîtres d'ouvrage choisissent d'évaluer les gains acoustiques directement en façade d'habitation. Cette méthode présente l'avantage de caractériser au mieux l'exposition des riverains et d'être en cohérence avec l'application de la règlementation. Cependant, cette méthode n'étant pas une mesure de bruit de roulement, elle traduit difficilement l'impact d'un changement de revêtement. En effet, la mesure en façade est globale, spécifique à un site, elle intègre les contributions de diverses sources sonores (parfois autres que la route à caractériser) et surtout les conditions de propagation entre la source (la route) et le récepteur (la façade).

Ce type d'approche par spécification peut favoriser la compétitivité et l'innovation notamment par l'attribution d'une prime à l'entreprise qui proposerait une performance plus importante que celle demandée dans le CCTP.

La vérification du respect de ces performances doit prendre en compte l'incertitude des mesures. Les pièces administratives du marché doivent prévoir des règles adaptées en cas de non-respect de ces performances.

### c. Avantages et inconvénients des différentes spécifications

Les avantages et inconvénients de chaque type de spécifications performancielles sont récapitulés dans le Tableau 16 ci-après.

Tableau 16 : Avantages et inconvénients des différentes approches

	EXIGENCE	E		
	EXIGENCE EN RÉDUCTION DE BRUIT DE	EXIGENCE EN NIVEAU MAXIMA		EXIGENCE D'UN TYPE DE REVÊTEMENT
	ROULEMENT AVANT/APRÈS TRAVAUX	VI (SPB)	CPX	
VALEURS INDICATIVES	4 à 6 dB(A) à même vitesse avec la méthode VI ou CPX par rapport à une valeur initiale mesurée	72 à 75 dB(A) à V <sub>ref</sub> = 90 km /h avec la méthode VI Pour une autre vitesse V, on peu L(V <sub>ref</sub> ) + 30 l		BBTM 0/6 classe 2 selon NF EN 13108-2
AVANTAGES	<ul> <li>Exigence acoustique relative plus facile à spécifier</li> <li>Exigence acoustique relative sur laquelle il est plus facile de communiquer</li> <li>Peut permettre de comparer plusieurs solutions de réduction du bruit</li> </ul>	<ul> <li>Véritable exigence acoustique</li> <li>Existence d'une base de données VI fournissant des valeurs de référence</li> <li>Pas besoin de mesure avant travaux</li> </ul>	Véritable exigence acoutisque     A terme, quand la méthode CPX sera effective, permettra une vraie comparaison des revêtements entre eux     Pas besoin de mesure avant travaux	<ul> <li>Caractéristiques mécaniques normalisées</li> <li>Facilité de rédaction</li> <li>Pas besoin de mesure</li> </ul>
	Oblige à spécifier les	autres caractéristiques (mécanique	Absence de garantie	
INCONVÉNIENTS	<ul> <li>Oblige à faire des mesures avant la rédaction du marché et à les répéter après chantier à l'identique (même équipe, même matériel, même vitesse, etc). Ce qui revient au final à fixer un niveau en absolu.</li> <li>Difficulté à fixer un gain à la fois réaliste et ambitieux</li> <li>La valeur de la réduction de bruit est spécifique au chantier et à la méthode utilisée, il n'est pas transférable dans un autre marché</li> </ul>	<ul> <li>Méthode de mesures souvent impossible à appliquer en site urbain</li> <li>Ce n'est pas un critère sur lequel il est facile de communiquer aurpès du grand public</li> </ul>	<ul> <li>Actuellement manque de données CPX dans la base bruit de roulement</li> <li>Ce n'est pas un critère sur lequel il est facule de communiquer auprès du grand public</li> </ul>	sur les performances acoustiques • Ne favorise pas l'innovation • Ce n'est pas un critère sur lequel il est facile de communiquer auprès du grand public
RECOMMANDATION	Cette approche revient au final à définir un niveau absolu (colonne suivante)	Approche à privilégier (de préfér Spécification à assortir d'une tol répétabilité et la reproductibilité de	érance pour tenir compte de la	Utilisation déconseillée de ce type d'exigence

Guide bruit de roulement I Mai 2020 - Page 81 -

### d. Critères de sélection

### La pratique actuelle

Afin d'essayer d'optimiser la réduction du bruit routier, certains maîtres d'ouvrage peuvent être tentés de faire de la performance acoustique du revêtement un critère de jugement des offres. L'entreprise la mieux-disante au plan technique, est alors celle qui propose le niveau d'émission le plus bas.

Cette pratique est plutôt volontariste dans son principe puisqu'elle incite très fortement les entreprises à travailler sur des produits de plus en plus performants au plan acoustique. Il y a toutefois quelques points de vigilance à respecter quant à l'utilisation de cette méthode.

D'une part, si les entreprises ont le choix de déterminer le niveau d'émission sonore au niveau de leur offre, il existe un risque que ces dernières ne répondent pas aux exigences minimales souhaitées par le maître d'ouvrage. Il est donc fortement conseillé au maître d'ouvrage de fixer dans son cahier des charges le niveau de bruit de roulement maximal admissible, tout en laissant aux entreprises la possibilité de proposer mieux.

L'introduction du gain proposé par l'entreprise comme critère de jugement des offres, en cas de non atteinte du résultat, au-delà des éventuels conflits entre maîtrise d'ouvrage et entreprise titulaire du marché peut remettre en cause le principe de concurrence.

L'approche suivante semble être une bonne pratique dans l'état actuel des connaissances sur les marchés chaussées à performance bruit :

- Fixer un niveau maximum de bruit (niveau absolu ou niveau de réduction relative par rapport à l'existant) dans les spécifications techniques ;
- Mettre dans les pièces de la consultation des clauses permettant une notation sur ce critère ;
- Associer à la démarche des pénalités suffisamment dissuasives en cas de non-respect de l'atteinte des engagements pour éviter toute remise en cause de la mise en concurrence.

# Recommandations et questions à se poser lors de la fixation des objectifs, des contrôles et des pénalités

Il est recommandé de spécifier des exigences de performance acoustique dans le CCTP pour le besoin et dans le Règlement de Consultation (RC) pour le jugement des offres. Ces exigences sont de préférence exprimées en termes de niveaux de bruit de roulement CPX.

Quel que soit le mode de dévolution retenu (appel d'offre avec un niveau d'émission sonore fixé par le maître d'ouvrage, ou appel d'offre laissant une liberté aux entreprises en faisant de la performance acoustique un critère de sélection), le maître d'ouvrage doit se poser un certain nombre de questions afin d'éviter de multiplier les situations contentieuses ingérables.

### 1- L'expression du besoin et le contrôle, tiennent-ils compte des marges d'incertitudes liées à la mesure elle-même ?

### 2- Pour qu'un résultat soit atteint :

- La réception du revêtement se fait-elle en considérant le revêtement dans sa totalité, ou par tronçons de 100 m, 200 m, 500 m, etc. ? (définition du lot de mesure dans le marché);
- Quelle est la dispersion des niveaux sonores acceptable et comment la spécifier (écart type) ?
- Quelle valeur limite isolée est jugée inacceptable ?
- Quelles sont les éventuelles pénalités à donner en cas de non atteinte des objectifs(réfaction de prix, seuil de réfection)?
- Faut-il considérer un niveau sonore *moyen* sur le revêtement ?
- Quelle vitesse choisir pour l'essai de réception en fonction de l'usage?

- Dans quels délais sont réalisées les mesures de contrôles ? Influence du trafic sur le décapage des chaussées puis l'encrassement... (juste après la mise en œuvre du revêtement, après le décapage du film de liant, en l'absence d'humidité résiduelle, ...)
- Le donneur d'ordre s'est-il assuré de la possibilité de reproduire les conditions de mesures avant et après travaux, en façade et/ou en bruit de roulement ?
- Etc.

Il est bon de savoir par qui le maître d'ouvrage peut se faire assister à chaque étape du marché en fonction de son contexte local.

### e. Exemples de marchés spécifiant la performance acoustique

Plusieurs chantiers de mise en œuvre de revêtements phoniques ont été initiés récemment sur des axes autoroutiers et routiers à fort trafic aux abords des grandes agglomérations. Les spécifications retenues par les maîtres d'ouvrages pour ces opérations sont détaillées ci-après.

### **EXEMPLE 1**

### Spécifications techniques :

Mise en œuvre d'un enrobé phonique.

- Pas de spécifications concernant la formule de l'enrobé (type de produit, granularité, caractéristiques des granulats, nature du bitume, caractéristiques du bitume).
- Épaisseur de mise en œuvre : 2,5 cm.

**Critères de jugement des offres** avec note technique prenant en compte les performances phoniques du revêtement :

- Méthode de mesure : CPX selon XP S 31-145-1 à 90 km/h, 20°C en vigueur à l'époque.
- Définition d'une valeur de référence de 99 dB(A) correspondant à un enrobé non phonique (probablement à partir de la base de données bruit de roulement pour les BBTM1 0/10 couramment appliqués sur ce type de réseau).
- Jugement des offres en fonction de :
  - · L'engagement de l'entreprise sur le gain par rapport à la valeur de référence ;
  - L'engagement de l'entreprise sur la perte maximale de performance à 3 ans.

Contrôle des performances phoniques prévu avec pénalités pour :

- Non-respect de l'engagement sur la performance phonique de base (montant de la pénalité fixé par décibel en dépassement dès le premier décibel) ;
- Non-respect de l'engagement sur la perte maximale de performance phonique à 3 ans (montant de la pénalité fixé par demi-décibel dès le premier demi-décibel en dépassement).

### **EXEMPLE 2:**

### **Spécifications techniques:**

- Mise en œuvre d'un enrobé phonique ;
- Spécifications concernant la formule d'enrobé : BBTM 0/6 phonique. Caractéristiques des granulats fixées. Bitume modifié demandé avec caractéristiques imposées (PMB 25/55-60 de retour élastique à 25°C ≥ 70 %) ;
- Epaisseur de mise en œuvre : 2,5 cm.

**Critères de jugement des offres** avec note technique prenant en compte les performances phoniques du revêtement :

- Méthode de mesure : la performance phonique fera l'objet d'un contrôle par le maître d'ouvrage 3 mois après la mise en œuvre des enrobés, par mesure du bruit de roulement en champ proche selon les normes ISO 11819-2:2017 et TS 11 819-3 : « Acoustique Méthode de mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation Partie 2 : Méthode de proximité immédiate » et « Partie 3 : Pneumatiques de référence » publiée en mars 2017 ;
- Jugement des offres en fonction de :
  - L'engagement de l'entreprise sur la performance à 3 mois, sur la performance à 3 ans et sur la durée de vie de l'enrobé phonique;
  - La performance du produit proposé par les entreprises, rendue contractuelle.

Contrôle des performances phoniques prévu avec pénalités pour non-respect des engagements avec des montants de pénalités fixés par décibel au-delà d'un décibel.

### **EXEMPLE 3:**

### **Spécifications techniques:**

- Mise en œuvre d'un enrobé phonique alternatif aux enrobés type BBTM classique. Les performances restent les mêmes.
- Pas de spécifications concernant la formule. Les caractéristiques des granulats sont fixées par le CCTP par rapport aux documents d'application des normes pour des formules similaires. Les caractéristiques du bitume sont fixées par rapport aux spécifications du maître d'ouvrage pour des formules similaires (PMB pour des trafics ≥ T0).
- Épaisseur de mise en œuvre : 4 cm.

**Critères de jugement des offres** avec note technique prenant en compte les performances phoniques du revêtement :

- Méthode de mesure : CPX selon XP S 31-145-1 à 90 km/h, 20°C (en vigueur à l'époque).
- Valeur maximale à 3 mois autorisée de 97 dB(A).
- · Jugement des offres en fonction de :
  - L'engagement de l'entreprise sur la performance à 3 mois, sur la performance à 3 ans et sur la durée de vie de l'enrobé phonique;
  - La performance du produit proposé par les entreprises, rendue contractuelle.

Contrôle des performances phoniques prévu avec pénalités pour non-respect des engagements avec des montants de pénalités fixés en fonction de la différence entre la valeur mesurée et l'engagement.

### **EXEMPLE 4:**

Cet exemple issu d'un chantier de voie autoroutière urbaine réalisée récemment illustre la difficulté à spécifier une performance sur un niveau sonore par la méthode VI.

### Spécifications sur les bruits :

Du fait du contexte de ce projet en milieu urbain, des spécifications et niveaux de performances relatives au bruit ont été intégrés dans les pièces techniques du marché.

- Les mesures après travaux doivent être réalisées dans un délai de 3 mois minimum après mise en service et sous un délai de 2 ans maximum. Le niveau L<sub>Amax</sub> obtenu au passage ne devra pas excéder 75 dB(A), mesuré pour des VL à 90 km/h et à 20°C sur les deux sections choisies.
- Il a été demandé d'effectuer le contrôle du bruit de roulement à l'aide de mesures au passage selon la norme ISO 11819-1 « Mesurage de l'influence des revêtements de chaussée sur le bruit émis par la circulation ». Dans le cas de mesures réalisées à des vitesses plus élevées, cette valeur de 75 dB(A) sera ajustée comme suit : 75 + A log (V/90), avec A = 30 et V la vitesse de réception.

Un enrobé phonique type BBTM 0/6 a été retenu.

### Rapport de contrôle :

Pour des raisons pratiques de faisabilité, au final des mesures de bruit en continu selon la norme XP S 31-145-1 ont été réalisées en juin 2016. De ce fait un recalage entre la méthode d'essai en champ proche selon la norme XP S 31-145-1 et la méthode au passage selon la norme ISO 11819-1 a fait l'objet d'une analyse et d'un accord entre prescripteur et exécutant.

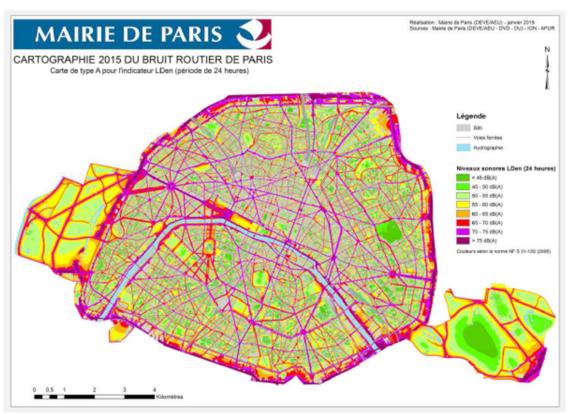
Ce retour d'expérience illustre d'une part le trop faible champ d'application de la méthode au passage et d'autre part la difficulté d'émettre des spécifications qui soient facilement contrôlables. Une généralisation des mesures CPX dans les années à venir devrait permettre de solutionner ces problématiques.

### 3. Cas spécifique de la maîtrise d'ouvrage urbaine

### a. Spécificité du milieu urbain

Le milieu urbain cumule deux particularités qui obligent la maîtrise d'ouvrage à une approche globale au sein de son territoire plutôt qu'une approche centrée sur l'objet routier. Ici, le cas de la Ville de Paris est présenté, mais la plupart des actions peuvent se généraliser aux autres grandes aires urbaines. La Ville de Paris doit veiller, en tant que maître d'ouvrage, à intégrer l'enjeu de l'environnement sonore dans le processus de conception de l'ensemble des actions qu'elle mène pour transformer la ville, qu'il s'agisse de transport et mobilité, d'aménagement de l'espace public, d'urbanisme, de logement ou d'équipements publics.

Concernant le bruit du trafic routier, les cartes de bruit routier représentent une estimation des nuisances sonores actuelles du territoire dues à la source de bruit majeure. Après analyse, ces cartes sont un outil pour constituer un premier état des lieux, notamment en ce qui concerne les niveaux d'exposition de la population. Elles ont vocation à être prises en compte lors de la réalisation des projets d'aménagement et d'urbanisme.



Carte de type A du bruit routier pour l'indicateur  $L_{DEN}$  - 2015 (Ville de Paris / DEVE). Carte accessible sur paris.fr

Figure 47 : Carte stratégique de bruit routier (L<sub>DEN</sub>) de la ville de Paris en 2015

Un plan de prévention du bruit dans l'environnement (PPBE) doit présenter des actions de réduction du bruit dans les zones à enjeux, où des dépassements des valeurs limites réglementaires sont constatés. Compte tenu de la densité du bâti et des infrastructures de transports terrestres à Paris, il apparaît que les actions pouvant mener à une baisse des niveaux de bruit doivent être étudiées dans une approche globale. L'ensemble du territoire parisien a donc été identifié comme zone à enjeux.

### b. Les actions menées depuis 2001 sur le bruit routier

### Le plan de lutte contre le bruit de 2006

Avant la transposition dans le droit français de la directive européenne, la Ville de Paris a souhaité répondre aux aspirations croissantes des Parisiens à un environnement de qualité et mieux préservé, en mettant la lutte contre le bruit excessif au rang des priorités de la municipalité. Celle-ci s'est donc engagée dans l'élaboration d'un plan municipal de lutte contre le bruit. Adopté par le Conseil de Paris en février 2006, ce plan a permis d'aborder l'ensemble des sources de bruit dans la ville et de définir une cinquantaine de mesures allant au-delà des exigences réglementaires.

Parmi celles-ci, figure par exemple :

- Mettre l'accent sur le bruit provenant des activités municipales ;
- Réduire le bruit de la collecte des ordures ménagères ou le bruit lié à l'entretien des espaces verts;
- Rechercher un confort acoustique optimal dans les crèches ou les écoles ;
- Prendre en compte le bruit dans les aménagements urbains ;
- Etc.

### La réduction du bruit routier

La politique générale de la Ville en matière de déplacement tend à réduire la place de la voiture, à favoriser l'usage des transports en commun et à développer des modes de déplacement alternatifs. Ces mesures de réduction des sources de bruit ont été complétées par des mesures de protection. Celles-ci comportent deux aspects : la limitation de la transmission du bruit au moyen de dispositifs tels que les couvertures de voies et écrans antibruit, et l'isolation en façades des habitations.

### Les mesures liées au boulevard périphérique :

Une étude de Bruitparif a démontré l'efficacité des écrans acoustiques, qui peuvent apporter une amélioration moyenne de 7 dB. Elle relève également des émergences, liées à certains deux-roues motorisés particulièrement bruyants et aux sirènes des véhicules d'urgence.

Dans le cadre du contrat de plan État-région 2000-2006, la Ville de Paris a engagé un programme de couverture du boulevard périphérique. Porte des Lilas, la couverture achevée en janvier 2007 a permis un gain acoustique de l'ordre de 2,7 dB le jour et 3,8 dB la nuit. Porte de Vanves, le niveau de bruit moyen lié au boulevard périphérique a diminué de 10 à 15 dB depuis janvier 2008.

La Ville de Paris a également mené en 2014 un diagnostic acoustique détaillé de l'environnement sonore autour du boulevard et une pré-expertise des actions envisageables sur 15 secteurs à enjeu pour réduire l'exposition de la population. Ces données ont vocation à être exploitées par les équipes de conception des opérations d'aménagement urbain.

Comme mentionné dans les chapitres V et VI, dans le cadre du Grand Projet de Renouvellement Urbain (GPRU) porte de Vincennes, une expérimentation de mise en œuvre de revêtement de chaussée acoustique a été engagée en 2012. Les évaluations menées ont ainsi montré des résultats satisfaisants, tant en matière d'émission de bruit par les véhicules qu'en niveau sonore au niveau des immeubles riverains.

Au vu des résultats satisfaisants de cette expérimentation, neuf secteurs supplémentaires du périphérique représentant 10 % du linéaire du boulevard ont été traités par un enrobé phonique. 15 000 riverains côté Paris et côté communes limitrophes bénéficient ainsi des effets bénéfiques de ces revêtements peu bruyants sur leur environnement sonore. Ce programme est poursuivi pour couvrir jusqu'à la moitié du boulevard périphérique en 2019.

### Envisager une expérimentation d'enrobés dans Paris intramuros (axe à 50 km /h)

Certains axes de circulation supportant une circulation de transit devraient rester à une vitesse limitée à 50 km /h. Or ces axes sont ceux dont le niveau sonore est le plus élevé et ils concentrent la plupart des logements ou établissements sensibles dont les niveaux d'exposition sont supérieurs aux recommandations du Code de l'environnement.

Même si les vitesses moyennes constatées à Paris sont faibles (15 à 20 km /h), ces axes comportent une circulation rythmée par les feux tricolores qui comportent des phases de bruit généré par une circulation à 50 km /h.

À cette vitesse, le bruit émis par le roulement des pneumatiques sur le revêtement de chaussée dépasse celui issu du moteur. L'expérimentation d'enrobés phoniques serait donc menée sur des axes très circulés afin d'évaluer l'opportunité de ce type de revêtement sur des axes intra-muros.

### 4. Exemples de recommandations dans d'autres pays

### a. Les travaux de la CEDR (2012-2017)

La prise en compte du bruit dans la planification et la gestion des routes est une problématique partagée en Europe. La CEDR (Conférence Européenne des Directeurs des Routes) a récemment mené plusieurs réflexions sur le sujet et soutenu des projets de recherche collectifs.

Le projet ON-AIR a publié un guide qui présente comment le bruit peut être pris en considération aux différents stades d'un projet routier, depuis la planification jusqu'à l'évaluation d'impact environnemental, en passant par les procédures de maintenance [33]. En particulier, le guide propose d'intégrer un critère sur le bruit dans les systèmes de gestion de l'entretien des routes.

Le projet QUESTIM a proposé une méthodologie pour intégrer le critère bruit dans les systèmes de gestion de l'entretien ainsi que des suggestions sur la production des données nécessaires [34]. La méthodologie aborde la question des conséquences des différents choix de revêtements peu bruyants disponibles sur un programme d'entretien routier.

La CEDR constate aussi l'inexistence de procédures ou règlementations conjointes en Europe pour intégrer la problématique du bruit dans la planification et la gestion des routes [35]. Elle propose quatre approches pour intégrer la réduction du bruit dans les marchés de couches de roulement et en discute les avantages et inconvénients (Tableau 17).

- 1. Spécification du type de revêtement sans mesure de contrôle après travaux ;
- 2. Application d'un système national de caractérisation (« labellisation ») des revêtements sans mesure de contrôle après travaux. Un tel système s'applique au Danemark : l'entreprise déclare une performance de son revêtement qu'elle a fait labelliser au préalable sur deux autres chantiers (au moins 100 m de long) par une mesure CPX calibrée. Les marchés exigent une réduction de 4 dB (revêtement « peu bruyant ») à 7 dB (revêtement « spécialement peu bruyant ») par rapport à un revêtement de référence (SMA 11). Un système similaire est utilisé aux Pays Bas depuis plusieurs années, mais basé sur une évaluation d'un revêtement sur 5 sites différents et à l'aide d'une mesure au passage (SPB);
- 3. Spécification d'une exigence acoustique (réduction sonore par rapport à l'existant) à l'état initial. Des mesures de contrôle doivent être effectuées après travaux. Une expérience au Danemark est relatée ;
- 4. Spécification d'exigences acoustiques à l'état initial et sur le long terme. Des mesures de contrôle après travaux et de suivi annuel doivent être organisées. Cette approche a déjà été pratiquée en Suède. Un niveau sonore maximum à ne dépasser à aucun moment était fixé dans le marché et contrôlé par des mesures CPX tous les ans. Si le niveau était dépassé, l'entreprise devait procéder à la mise en place d'un nouveau revêtement.

Tableau 17 : Avantages et inconvénients des quatre approches recensées par la CEDR pour intégrer le bruit dans les marchés de revêtements selon les 3 piliers du développement durable (traduction du tableau 6.1 de [33])

APPROCHE	ASPECTS SOCIAUX	ASPECTS ECONOMIQUES	ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX
1. Spécification du type de revêtement – Pas de mesure de contrôle	Incertitude sur le respect des niveaux sonores règlementaires	En principe, pas de surcoût	Le niveau de réduction du bruit est incertain
2. Système national de « labellisation » des revêtements – Pas de mesure de contrôle	Certitude moyenne que les niveaux sonores règlementaires seront respectés	En principe, pas de surcoût	Certitude moyenne que la réduction sonore initiale sera atteinte
3. Critère de performance bruit (à l'état initial) – Mesures de contrôle	Certitude élevée que les niveaux sonores règlementaires seront respectés	Si un système de pénalités est appliqué, les entreprises augmenteront le prix afin de couvrir les risques	Certitude élevée que la réduction sonore initiale sera atteinte. Devrait inciter les entreprises à développer des produits plus performants
4. Critère de performance bruit à l'état initial et à long terme – Mesures initiales et de suivi annuel	Assurance du respect des niveaux sonores règlementaires car si ce n'est pas le cas, le revêtement sera replacé	Si un système de pénalités est appliqué notamment sur le long terme, les entreprises augmenteront fortement le prix afin de couvrir les risques, notamment celui de refaire la couche de roulement	Assurance que la réduction sonore sera atteinte à long terme. Les entreprises devront investir significativement pour développer et améliorer leurs produits peu bruyants

### b. European Green Public Procurement (GPP)

En 2016, la Commission Européenne a révisé son guide pour l'introduction de critères environnementaux dans les marchés pour la conception, la construction et l'entretien des routes (GPP) [36]. Cette révision a été l'occasion d'introduire des spécifications concernant les revêtements peu bruyants. Deux niveaux de critères de conception et de performances sont proposés selon l'ambition visée :

- Les critères essentiels : pour une application aisée, visant à réduire au maximum les coûts administratifs pour les entreprises ;
- Les critères complets : pour des niveaux de performance environnementale plus élevés, à l'usage des pouvoirs publics qui souhaitent aller plus loin dans la réalisation d'objectifs sur le plan environnemental et de l'innovation.

Le guide préconise de spécifier les niveaux de bruit de roulement CPX :

- De 90 dB (A) à 50 km /h, et/ou 95 dB (A) à 70 km /h et/ou 98 dB (A) à 90 km /h pour les critères essentiels, selon la vitesse maximale autorisée sur le tronçon de route;
- De 87 dB (A) à 50 km /h, et/ou 92 dB (A) à 70 km /h, et/ou 95 dB (A) à 90 km /h pour les critères complets.

Aucune partie de tronçon d'essais ne devra dépasser la valeur requise de plus de 2 dB(A).

Le guide recommande ensuite de vérifier ces performances entre 4 et 12 semaines après l'ouverture au trafic, par une mesure CPX selon la norme EN/ISO 11819-2 (CPX). Il conseille d'indiquer dans le marché les pénalités (sanctions ou mesures correctives) appliquées là où les critères ne sont pas respectés. A noter qu'il propose aussi un système de bonification dans le cas où les performances sont meilleures que les critères proposés.

Le guide propose enfin d'introduire des spécifications sur les performances pendant une période de 5 ans après l'essai de vérification de conformité initiale :

- De 93 dB (A) à 50 km /h, et/ou 98 dB (A) à 70 km /h, et/ou 101 dB (A) à 90 km /h pour les critères essentiels;
- De 90 dB (A) à 50 km /h, et/ou 95 dB (A) à 70 km /h, et/ou 98 dB (A) à 90 km /h pour les critères complets.

Les mesures CPX de vérification seront réalisées au moins une fois tous les 30 mois après la mise en service de la route.

Les détails du système proposé sont fournis en Annexe 4.

### c. Perspectives d'évolution du cadre normatif

Dans la pratique, il n'existe pas de consensus sur la façon de fixer une exigence acoustique pour un revêtement de chaussée ou d'en exprimer sa performance intrinsèque. Cela s'explique en grande partie par l'existence d'indicateurs multiples et de deux méthodes de mesures (VI et CPX) non corrélées (voir chapitre IV.4). Or il est prévisible que la méthode CPX récemment publiée va se généraliser dans les années à venir, en raison de sa souplesse d'utilisation et son aptitude à mesurer rapidement des linéaires importants.

Le CEN étudie actuellement la possibilité de normaliser une méthodologie de caractérisation des performances acoustiques des revêtements de chaussée. Le principe est de décrire comment utiliser les méthodes de mesure existantes (VI ou CPX) pour répondre à l'un des quatre objectifs suivants :

- La labellisation acoustique des revêtements : elle permettrait aux entreprises de qualifier leurs produits et faciliterait l'approche « produit » pour les prescripteurs ;
- La vérification de conformité : pour permettre de vérifier des exigences performancielles après travaux;
- L'auscultation acoustique : elle permettrait un suivi dans le temps des revêtements pour alimenter des systèmes de gestion de l'entretien routier;
- La cartographie de réseaux : pour déterminer les coefficients décrivant la qualité acoustique des revêtements de chaussée et qui sont introduits dans le calcul des cartes de bruit stratégiques au sens de la Directive 2002/49/CE.

La méthodologie définit le type de mesure à considérer, le nombre de planches routières nécessaires pour labelliser un produit, les vitesses de référence à considérer, le nombre et la fréquence de passages nécessaires, etc. Les travaux du CEN s'appuient sur les productions du projet européen ROSANNE [37] qui reposent sur l'utilisation de la méthode de mesure CPX.

L'utilisation quasi exclusive de la mesure en continu qui semble inévitable va nécessiter d'accroitre les données et d'améliorer le niveau de maîtrise pour ce type d'essai en France dans les prochaines années.

# RÉFÉRENCES

### Références bibliographiques

- [1] ANSES (2013), Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental
- [2] World Health Organization (WHO) (2011), Burden of disease from environmental noise
- [3] European Environment Agency (EEA) (2014), Noise in Europe, Report No 10/2014
- [4] Assemblée Nationale (2011), Rapport d'information n°3592 sur les nuisances sonores
- [5] Enquête TNS Sofres (2010), Les Français et les nuisances sonores, mai 2010
- [6] Sondage IFOP pour le MEDDE (2014), Les Français et les nuisances sonores, sept 2014
- [7] EY (2016), Le coût social des pollutions sonores Analyse bibliographique des travaux français et européens, Etude pour le CNB et l'ADEME, mai 2016
- [8] C. Avezard, S. Leblanc, M. Rostagnat, Réflexion prospective sur une politique de réduction des nuisances sonores, rapport du CGEDD n°011057-01, octobre 2017
- [9] Enquête sur le critère bruit de roulement dans les marchées d'entretien ou de construction de chaussées, Rapport du sous-groupe « bruit » du GNCDS, IDRRIM (octobre 2014)
- [10] Sandberg U, Ejsmont JA. Tyre/road noise reference book. INFORMEX; 2002
- [10a] Hamet, J. F., and Bérengier, M., Acoustical characteristics of porous pavements: A new phenomenological model, Proceedings of Internoise'93, Leuven, Belgium, 1993.
- [11] CERTU (2003), Isolation acoustique des façades (http://www.certu-catalogue.fr/isolation-acoustique-des-facades.html)
- [12] Directive (UE) 2015/996 de la Commission du 19 mai 2015 établissant des méthodes communes d'évaluation du bruit conformément à la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil, JOUE L 168 du 1er juillet 2015
- [13] SETRA, Nouveau guide d'émission du bruit 2008, «Prévision du bruit routier, Partie 1 : Calcul des émissions sonores dues au trafic routier», F. Besnard, J.F. Hamet, J. Lelong, N. Fürst, S. Doisy, E. Le Duc, V. Guizard, SETRA, juin 2009.
- [14] SETRA, Prévision du bruit routier, Partie 2 : Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008) «, F. Besnard (ed.), G. Dutilleux (ed.), M. Bérengier, J. Defrance, D. Ecotière, F. Junker, D. Van Maercke, et al., SETRA, juin 2009.
- [15] W.H. Lee, B. Soldano, G. Dutilleux, Adaptation de la directive 2015/996/CE (CNOSSOS-EU) au modèle français de prévision de bruit : revêtements routiers, Cerema/DTer Est/PCI AV, avril 2016, 48p, ref LRS 2015 76 055.
- [16] Méthode d'essai des LPC n°63 (version 2.0, 2008) : Mesure en continu du bruit de contact pneumatique/chaussée.
- [17] M. Bueno, U. Viñuela, F. Teran, S.E. Paje, J. Luong, A first step toward a close proximity noise map. J. Acoust. Soc. Am. 2008, 123, 3686.
- [18] F. Anfosso Lédée, G. Dutilleux, M. Conter, Compatibility of the ROSANNE noise characterization procedure for road surfaces with CNOSSOS-EU model. In Proceedings of the Inter-Noise Congress, Hamburg, Germany, 21–24 August 2016.
- [19] L. Toussaint, Estimation des incertitudes de mesures de la norme XP S31-145 -1 (bruit de roulement en continu). Résultats des essais croisés interlaboratoires, Rapport du LRPC Strasbourg

- 2010-76-016, mars 2011
- [20] L. Toussaint, Mesure de bruit de roulement en continu Identification des écarts suite aux essais croisés de mai 2010, rapport du LRPC Strasbourg 2011-76-083 / 2012-76-013, Décembre 2012
- [21] J. Lelong J. F. Anfosso Lédée, B. Soldano, A Round Robin Test of CPX devices for the characterization of road surface noise properties, International Congress INTER. NOISE 2017, Hong Kong, 2017
- [22] J. Kragh et al., Report on the analysis and comparison of existing noise measurement methods for noise properties of road surfaces, ROSANNE Deliverable D2.3, version 3, 2015-04-30
- [23] Setra, Aide au choix des techniques d'entretien des couches de surface des chaussées, Guide Technique SETRA, juillet 2003
- [24] L. Goubert, U. Sandberg, Construction and performance of poroelastic road surfaces offering 10 dB of noise reduction, Final Technical Report (Deliverable D8.7), EU FP7 project PERSUADE, January 2016 (http://persuade.fehrl.org).
- [25] ODSurf : Modélisation et réalisation d'une couche de roulement de chaussée optimisée, dense et peu bruyante, 204 pages, étude réalisée par l'Université Gustave Eiffel, l'ENPC, Colas S.A et EUROVIA, rapport final, décembre 2015
- [26] Dossier technique et pédagogique « État des lieux des performances acoustiques des revêtements de chaussées », Bruitparif, Décembre 2011.
- [27] Mesure du bruit Bd Périphérique Pte de Vincennes Bilan à trois mois de l'effet acoustique de la mise en œuvre de nouveaux revêtement de chaussée Rapport Bruitparif, octobre 2012
- [28] C. Ribeiro, J. Lefebvre, K. Ibtaten, F. Mietlicki et M. Sineau, Suivi des performances acoustiques de revêtements de chaussées peu bruyants, 14ème Congrès Français d'Acoustique (CFA'18), Le Havre, avril 2018
- [29] Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces, EU FP5 project SILVIA (Sustainable road surfaces for traffic noise control), FEHRL report 2006/02 (2006)
- [30] Acoustic ageing of pavement DVS-DRD Joint Research Programme "Super Silent", Vejdirektoratet Rapport 460, 2013 (www.vd.dk)
- [31] C. Vuye, A. Bergiers, B. Vanhooreweder, The acoustical durability of thin noise reducing asphalt layers, Coatings, 6,21;doi:10.3390/coatings6020021 (2016)
- [32] IDRRIM, Guide uni longitudinal, état de l'art et recommandations, septembre 2014
- [33] CEDR, Guidance Book on the Integration of Noise in Road Planning, ON-AIR (Optimised Noise Assessment and Management Guidance for National Roads) project Deliverable D.4.1, CEDR October 2015.
- [34] QUESTIM QUietness and Economics STimulate Infrastructure Management, Summary of project results. CEDR Transnational Road Research Programme Call 2012, 2015.
- [35] CEDR; State of the art in managing road traffic noise : noise reducing pavements, Technical Report 2017-01, Conférence Européenne des Directeurs des Routes, 2017.
- [36] E. Garbarino, R. Rodriguez Quintero, S. Donatello and O. Wolf, Revision of Green Public Procurement Criteria for design, construction and maintenance of roads, JRC Science and Policy Report, (May 2016). http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu\_gpp\_criteria\_en.htm
- [37] Report on the development of the procedure for characterisation of noise properties of road surfaces including the updated draft standard, Deliverable 2-6, ROSANNE project FP7 n°605368, 2016

### **Références Normatives**

Norme NF EN ISO 11 819-1 – Acoustique – Mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation - Partie 1 : Méthode statistique au passage, mars 2002

Norme expérimentale XP S 31 145-1, Acoustique – Caractérisation in situ des performances acoustiques des revêtements de chaussées – Mesure de bruit de contact pneumatique/chaussée en continu – Partie 1 : mesure d'expertise, 2007 (caduque à ce jour).

Norme NF EN ISO 11 819-2 – Acoustique – Méthode de mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation – Partie 2 : méthode de proximité immédiate, 2017

Norme expérimentale XP ISO/TS 11819-3 – Acoustique – Méthode de mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation – Partie 3 : pneumatiques de référence, 2017

Norme ASTM F2493, Standard Specification for P225/60R16 97S Radial Standard Reference Test Tire, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org

Norme NF S 31085 (2002) - Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier - Spécifications générales de mesurage, novembre 2002

Norme ISO 10534-2 – Acoustique. Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance des tubes d'impédance Partie 2 : méthode de la fonction de transfert – AFNOR, janvier 2003

Norme NF S 31-133- Acoustique - Bruit dans l'environnement - Calcul de niveaux sonores – AFNOR 2011

Norme NF EN 13108-1 - Mélanges bitumineux — Spécifications des matériaux — Partie 1 : Enrobés bitumineux — AFNOR, février 2007

Norme NF EN 13108-2 - Mélanges bitumineux - Spécifications des matériaux - Partie 2 : Bétons bitumineux très minces - AFNOR, décembre 2006

Norme NF EN 13108-5 - Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 5 : Stone mastic asphalt – AFNOR, décembre 2006

Norme NF EN 13108-7 : - Mélanges bitumineux — Spécifications des matériaux — Partie 7 : Bétons bitumineux drainants — AFNOR. décembre 2006

Norme NF EN 13108-9 - Mélanges bitumineux — Spécifications des matériaux — Partie 9 : Bétons bitumineux pour couches ultra-minces (BBUM) — AFNOR, octobre 2016

Norme NF EN 13108-20 - Mélanges bitumineux — Spécifications pour le matériau — Partie 20 : Epreuve de formulation — AFNOR, mai 2017

Norme NF P18-545 - Granulats - Éléments de définition, conformité et codification – AFNOR Septembre 2011

Norme NF P 98-150-1 – Enrobés hydrocarbonés – Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement – Partie 1 : Enrobés hydrocarbonés à chaud – Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôle sur chantier – AFNOR, juin 2010

Norme NF EN 12697-31 – Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 31 : Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire – AFNOR, août 2007

Norme NF EN 933-1 - Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1 : Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage – AFNOR, mai 2012

Norme NF P 98-254-2 – Essais relatifs aux chaussées – Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés – Partie 2 : Détermination du pourcentage de vides communicants des matériaux liés – AFNOR, avril 1993

### Liste des documents IDRRIM abrogés par le présent guide :

- Note d'info CFTR n°4 (2001) « Influence de la couche de roulement de la chaussée sur le bruit du trafic routier ».
- Note d'information CFTR n°20 (2010) «Performances acoustiques in situ des revêtements de chaussées Méthode expérimentale de caractérisation, de vérification et de suivi ».
- Note de sensibilisation n°5 (2011) « Diffusion de la base de données bruit de roulement ».
- Note GNCDS n°3 (2009) « Méthodes de mesure des principales caractéristiques de surface des revêtements de chaussée ».

### Les autres guides nationaux sur la thématique du bruit dans l'environnement

- CERTU (2006), Guide Références Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération ? Mettre en œuvre la directive 2002/49/CE (http://www.bruit.fr/images/stories/pdf/ guide certu cartes bruit.pdf)
- CERTU (2007), Les écrans acoustiques Guide de conception et de réalisation
- SETRA (2007), Guide méthodologique Production des cartes de bruit stratégiques des grands axes routiers et ferroviaires
- SETRA (2009), Guide méthodologique Prévision du bruit routier Tome 1 : Calcul des émissions sonores dues au trafic routier (idem [13])
- SETRA (2009), Guide méthodologique Prévision du bruit routier Tome 2 : Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008) (idem [14])
- CEREMA (2017), Du calme en ville : aménager en faveur du bien-être, Collection l'Essentiel
- CEREMA (2017), Conception et calcul du génie civil des écrans anti-bruit, Collection Références

### **GLOSSAIRE**

AC: Asphalt Concrete. Dénomination internationale du Béton Bitumineux

**AFNOR**: Agence Française de Normalisation

**ASTM**: American Society for Testing and Materials.

BBDr: Béton Bitumineux Drainant

**BBM**: Béton Bitumineux Mince

**BBME**: Béton Bitumineux à Module Elevé

BBSG: Béton Bitumineux Semi Grenu

**BBTM**: Béton Bitumineux Très Mince

**BBUM**: Béton Bitumineux Ultra Mince

BC: Béton de Ciment

BP; BPI; BPE: Boulevard Périphérique (Parisien); Intérieur; Extérieur

CBS: Carte de Bruit Stratégique (exigée par la directive 2002/49/CE)

**CCTP**: Cahier des Clauses Techniques Particulières

CEDR : Conférence Européenne des Directeurs des Routes

**CEN** : Comité Européen de Normalisation

Cerema: Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

CETE: Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (devenu Cerema en 2014)

CNOSSOS-EU: Common NOise aSSessment methOds in Europe. Méthode règlementaire Européenne pour la prévision du bruit dans l'environnement

CPX: Close ProXimity method. Méthode de mesure du bruit de roulement en continu

**CSTB**: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

D et Dmax: voir encadré page 14 (chapitre I.3)

**DAC**: Dense Asphalt Concrete

dB: Décibel

dB(A): Décibel pondéré A

ECF: Enrobé Coulé à Froid

END: Environmental Noise Directive. Désigne la directive 2002/49/CE

**EPCI**: Etablissement Public de Coopération Inter-communale

ES ou ESU: Enduit Superficiel d'Usure

**GNCDS**: Groupe National Caractéristiques de Surface des chaussées.

IDRRIM: Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité

Ifsttar : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (devenu Université Gustave Eiffel en 2020)

INRETS: Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité (devenu Ifstar en 2011 puis Université Gustave Eiffel en 2020)

ISO: International Standardisation Organisation

LA : Niveau sonore énergétique équivalent pondéré A

LA<sub>max</sub>: Niveau sonore maximum au passage de véhicule

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (devenu Ifstar en 2011 puis Université Gustave Eiffel en 2020)

L<sub>den</sub> : Niveau sonore jour-soirée-nuit (day-evening-night). Indicateur européen utilisé pour l'application de la directive 2002/49/CE

La: Niveau sonore de nuit. Indicateur européen utilisé pour l'application de la directive 2002/49/CE

MBCF: Matériau Bitumineux Coulé à Froid

MTES: Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

NMPB : Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit. Méthode règlementaire Française de prévision du bruit dans l'environnement

PAC: Porous Asphalt Concrete. Dénomination internationale du BBDr

PL : Poids-Lourd(s)

PMT: Profondeur Moyenne de Texture

PPBE: Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement

PTAC: Poids Total Autorisé en Charge

R1, R2, R3: Catégories de revêtements de chaussées définies dans NMPB 2008 (chapitre III.2)

RRN: Réseau Routier National

**Sétra** : Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (devenu Cerema en 2014)

**SMA**: Stone Mastic Asphalt

SPB : Statistical Pass-By. Dénomination internationale de la méthode de mesure VI

SPBI: Indice statistique au passage défini dans la norme NF EN ISO 11819-1

TR: Train Routier (poids-lourd à plus de 3 essieux)

UTLAC: Ultra Thin Asphalt Concrete. Dénomination internationale du BBTM

V (resp.  $V_{\rm ref}$ ) : Désigne en général la vitesse (resp. vitesse de référence) du trafic ou d'un véhicule

VI : Méthode de mesure du bruit de roulement au passage « Véhicules Isolés » (chapitre IV.2)

VL : Véhicule(s) Léger(s)

VM : Méthode de mesure du bruit de roulement au passage « Véhicules Maîtrisés »

# **ANNEXES**

# ANNEXE 1 - ORGANISMES PRATIQUANT LES MESURES DE BRUIT DE ROULEMENT EN FRANCE

Les organismes qui réalisent la mesure VI et la mesure en continu CPX sont donnés à titre d'information dans le tableau suivant. A noter qu'à ce jour, seul le Cerema Est – Laboratoire de Strasbourg dispose d'une remorque permettant d'appliquer la mesure CPX selon la norme NF EN ISO 11819-2, c'est-à-dire avec le pneumatique d'essai P1 (SRTT).

MESURES	NOM DE L'ORGANISME	ADRESSE	TELEPHONE
	Cerema Est - Laboratoire de Strasbourg	11, rue Jean Mentelin - BP 9 - 67035 Strasbourg Cedex 2	03 88 77 46 00
Mesures VI	Cerema Nord Picardie	42 bis, rue Marais Sequedin - BP 99 59482 Haubourdin Cedex	03 20 48 49 49
	Cerema Normandie-Centre	11 rue Laplace - CS 2912 41029 Blois	
	Cerema Sud-Ouest - Laboratoire de Bordeaux	24 rue Caron - BP 58 – 33019 Bordeaux Cedex	05 56 70 63 19
	Cerema Centre-Est - Laboratoire de Clermont- Ferrand	8-10, rue Bernard Palissy - 63017 Clermont-Ferrand Cedex 2	04 73 42 10 58
	Cerema Est - Laboratoire de Strasbourg	11, rue Jean Mentelin - BP 9 - 67035 Strasbourg Cedex 2	03 88 77 46 00
	Cerema Nord Picardie	42 bis, rue Marais Sequedin - BP 99 59482 Haubourdin Cedex	03 20 48 49 49
	Cerema Ile-de-France	Cerema/DTer IdF - 120 rue de Paris 77171 Sourdun	01 60 52 31 31
Mesures CPX	IFSTTAR Nantes	Centre de Nantes - Route de Bouaye - CS4 - 44344 Bouguenais cedex	02 40 84 58 00
	COLAS	CST 4 rue Jean Mermoz - 78114 Magny-les- Hameaux	01 39 30 94 02
	Eurovia Management :		
	Centre de Recherche de Mérignac	22 Rue Thierry Sabine – BP 20067 – 33703 Mérignac Cédex	05 57 92 07 50
	Laboratoire d'essais des Matériaux de la Ville de Paris (LEMVP)	15 rue Jean Baptiste Berlier - 75013 Paris	01 44 08 97 00

# ANNEXE2-PERFORMANCES DES REVÊTEMENTS DE CHAUSSÉE: DONNÉES STATISTIQUES COMPLÈTES

### Véhicules Légers (VL)

### Revêtements de tous âges

Le tableau ci-dessous recense les indicateurs statistiques de l'ensemble des résultats des mesures VI/VL (mesures au passage pour les véhicules légers) enregistrés dans la base de données nationale du Cerema. Les résultats sont classés par type de revêtement et granulométrie, tous âges confondus (entre 0 et 15 ans). Seuls apparaissent les revêtements pour lesquels au moins 5 planches ont été mesurées (sauf pour les techniques nouvelles). Le nombre de planches mesurées apparaît en 2ème colonne.

Les valeurs statistiques sont exprimées en dB(A) dans les colonnes suivantes, à partir des niveaux sonores mesurés et ramenés à une vitesse de référence de 90 km /h et à une température de référence de 20°C. Ces données correspondent à la Figure 31.

Tableau A2-1: Base de données bruit de roulement: 565 mesures VI/VL au 30/06/2018 - Revêtements de 0 à 15 ans.

TYPE DE DEVETEMENT	VI (VL) 90 km /h en dB(A) 20°C					
TYPE DE REVETEMENT	nombre	1er décile	1er quartile	médiane	3 <sup>ème</sup> quartile	9 <sup>ème</sup> décile
BBTM 0/4	6	67.9	68.1	69.2	70.0	71.7
BBDr 0/6	15	69.1	71.2	72.5	73.9	76.2
BBM 0/6	4	72.9	72.9	73.2	73.4	73.9
BBTM 0/6 classe 2	141	71.6	72.3	73.6	75.5	77.5
BBUM 0/6	16	72.8	73.2	73.8	74.6	76.1
BBDr 0/10	69	72.3	73.1	73.9	74.8	76.8
BBTM 0/6 classe 1	45	72.8	73.6	74.5	76.3	77.5
BBTM 0/10 classe 2	36	73.4	74.9	75.7	76.5	78.0
BBTM 0/8 classe 1	6	73.5	73.7	75.8	76.6	79.4
BBM 0/10	22	76.4	76.9	77.7	78.4	79.5
BBUM 0/10	13	76.7	77.0	77.8	78.5	79.1
BBSG 0/10	34	75.4	76.5	77.9	79.2	79.6
BBTM 0/10 classe 1	35	75.8	76.8	78.2	79.2	79.9
MBCF	23	75.7	77.0	78.5	79.6	80.4
BBSG 0/14	8	77.7	77.8	78.8	80.5	81.0
ESU 4/6	7	77.4	77.8	79.0	79.3	80.2
ESU 6/8	6	78.3	79.0	79.4	80.3	80.8
BBTM 0/14	10	78.5	79.1	79.7	81.7	82.5
ESU 6/10	33	79.4	79.9	80.6	81.2	82.3
BC	8	77.1	78.6	80.8	82.4	83.0
ESU 10/14	28	79.5	80.9	82.2	83.3	84.3

À noter, la présence de revêtements en bétons de ciment (BC) qui correspondent à des technologies assez anciennes, variées et non différenciées dans la base de données. L'absence de représentant de l'industrie du béton dans le groupe de travail ayant rédigé ce guide n'a pas permis d'actualiser ces données.

### Revêtements de 0 à 3 ans

Le tableau ci-dessous recense les mêmes indicateurs statistiques que le tableau précédent mais uniquement pour les revêtements « jeunes », de 0 à 3 ans. Ces données correspondent à la Figure 32.

Tableau A2-2 : Base de données bruit de roulement : 375 mesures VI/VL au 30/06/2018 - Revêtements de 0 à 3 ans.

TYPE DE DEVETEMENT	VI (VL) 90 km /h en dB(A) 20°C					
TYPE DE REVETEMENT	nombre	1er décile	1 <sup>er</sup> quartile	médiane	3 <sup>ème</sup> quartile	9 <sup>ème</sup> décile
BBTM 0/4	4	67.9	67.9	68.3	68.6	70.0
BBDr 0/6	10	68.7	69.6	72.0	73.5	73.9
BBTM 0/6 classe 2	99	71.4	72.0	72.9	74.0	75.2
BBDr 0/10	52	72.3	73.0	73.6	74.5	75.1
BBTM 0/8 classe 1	3	73.5	73.5	73.7	76.6	76.6
BBUM 0/6	14	72.8	73.2	73.7	74.6	75.5
BBTM 0/6 classe 1	37	72.7	73.5	74.2	75.4	76.5
BBTM 0/10 classe 2	30	73.4	74.6	75.5	76.2	77.0
BBSG 0/10	10	74.4	75.0	76.2	77.6	78.1
BBM 0/10	13	76.2	76.8	77.1	77.4	78.4
BBUM 0/10	10	74.5	77.0	77.7	78.5	78.8
BBTM 0/10 classe 1	21	75.7	76.2	77.8	78.4	79.8
MBCF	21	75.7	77.0	78.0	79.2	79.9
BBSG 0/14	3	77.8	77.8	78.6	78.9	78.9
BC	4	77.1	77.1	78.7	78.8	80.2
ESU 4/6	5	77.8	79.0	79.1	79.3	80.2
ESU 6/10	21	79.4	79.9	80.6	81.5	82.2
ESU 10/14	18	78.9	81.0	82.0	83.8	84.5

### Poids-Lourds (PL)

### Revêtements de tous âges

Le tableau ci-dessous recense les indicateurs statistiques de l'ensemble des résultats des mesures VI/PL (mesures au passage pour les poids-lourds) enregistrés dans la base de données nationale du Cerema. Les résultats sont classés par type de revêtement et granulométrie, tous âges confondus (entre 0 et 15 ans). Seuls apparaissent les revêtements pour lesquels au moins 5 planches ont été mesurées (sauf pour les techniques nouvelles). Le nombre de planches mesurées apparaît en 2ème colonne.

Les valeurs statistiques sont exprimées en dB(A) dans les colonnes suivantes, à partir des niveaux sonores mesurés et ramenés à une vitesse de référence de 90 km /h et à une température de référence de 20°C. Ces données correspondent à la Figure 33.

Tableau A2-3 : Base de données bruit de roulement : 204 mesures VI/TR au 30/06/2018 - Revêtements de 0 à 15 ans.

TYPE DE DEVETEMENT	VI (TR) 80 km /h EN DB(A) 20°C					
TYPE DE REVETEMENT	nombre	1er décile	1 <sup>er</sup> quartile	médiane	3 <sup>ème</sup> quartile	9 <sup>ème</sup> décile
BBDr 0/6	11	80.5	80.6	81.5	82.2	82.3
BBDr 0/10	20	80.4	81.3	82.3	84.0	84.1
BBTM 0/6 classe 2	40	81.0	82.3	83.2	84.1	85.4
BBTM 0/10 classe 2	4	82.5	82.5	83.3	83.6	84.8
BBTM 0/6 classe 1	11	82.1	82.3	83.4	85.6	86.7
BBTM 0/8 classe 1	6	81.3	82.6	84.2	85.7	85.9
BBUM 0/10	6	81.9	83.6	84.4	85.5	88.0
BBM 0/10	8	83.6	83.7	85.2	85.6	86.0
MBCF	6	83.0	84.3	85.3	86.6	86.6
BBSG 0/10	23	84.5	84.9	85.8	87.2	87.3
BBTM 0/10 classe 1	24	84.0	84.5	86.0	86.4	87.3
BBSG 0/14	9	85.9	86.4	86.6	87.7	88.1
BBTM 0/14	10	83.2	86.1	86.7	88.3	88.9
ESU 10/14	14	85.3	85.9	86.7	87.8	88.1
ESU 6/10	6	83.9	86.5	86.9	87.4	88.0
BC	6	86.2	87.0	87.7	88.0	88.1

À noter, la présence de revêtements en bétons de ciment (BC) qui correspondent à des technologies assez anciennes, variées et non différenciées dans la base de données. L'absence de représentant de l'industrie du béton dans le groupe de travail ayant rédigé ce guide n'a pas permis d'actualiser ces données.

### De 0 à 3 ans

Le tableau ci-dessous recense les mêmes indicateurs statistiques que le tableau précédent mais uniquement pour les revêtements « jeunes », de 0 à 3 ans. Ces données correspondent à la Figure 34.

Tableau A2-4: Base de données bruit de roulement: 76 mesures VI/TR au 30/06/2018 - Revêtements de 0 à 3 ans.

TYPE DE REVETEMENT		VI (TR) 80 km /h EN DB(A) 20°C				
TIPE DE REVETEMENT	nombre	1 <sup>er</sup> décile	1er quartile	médiane	3 <sup>ème</sup> quartile	9 <sup>ème</sup> décile
BBDr 0/6	9	79.1	80.6	81.6	82.2	82.3
BBTM 0/6 classe 1	4	81.6	81.6	82.7	83.0	85.5
BBTM 0/8 classe 1	3	81.3	81.3	82.7	85.6	85.6
BBTM 0/6 classe 2	18	80.5	81.6	82.8	83.7	85.4
BBDr 0/10	5	80.6	81.3	83.2	83.3	84.1
BBSG 0/10	6	83.8	84.7	84.8	85.9	86.4
BBM 0/10	3	83.6	83.6	84.9	85.6	85.6
MBCF	6	83.0	84.3	85.3	86.6	86.6
BBTM 0/10 classe 1	7	80.5	84.0	85.8	86.1	86.6
ESU 10/14	8	84.4	85.7	86.3	86.8	87.8
BBTM 0/14	3	86.6	86.6	86.8	87.0	87.0
ESU 6/10	4	83.9	83.9	86.8	87.2	88.0

# ANNEXE 3 - IMPACT DES REVÊTEMENTS DE CHAUSSÉE EN FAÇADE D'HABITATIONS

Le bruit en façade des habitations dépend de plusieurs facteurs. En premier lieu, on distingue deux facteurs principaux :

- L'émission acoustique du flot de véhicules, c'est-à-dire la puissance acoustique générée par la source de bruit associée au trafic routier ;
- Les conditions de propagation du bruit liées à la structure urbanistique et architecturale du site, aux effets des caractéristiques du milieu de propagation, de la météorologie, et de la présence d'obstacles ou de bâtiments.

Ainsi, en fonction des typologies de sites, les mesures de bruit en façade d'habitations peuvent différer de façon plus ou moins importante des mesures réalisées à proximité de l'infrastructure routière. En outre, le mesurage du bruit en façade d'habitations présente des spécificités particulières.

### **Emission**

Les conditions de trafic routier associées aux performances acoustique du revêtement de chaussée vont déterminer la puissance acoustique linéique d'émission du flot de véhicules.

- Une division du trafic et de la vitesse par deux correspondent respectivement à une diminution de la puissance acoustique d'environ 3 et 6 dB(A);
- Le taux de poids lourds joue un rôle significatif. Ainsi, on peut considérer que l'émission acoustique d'un poids lourd correspond environ à celle de 10 véhicules légers;
- L'allure du flot de véhicules (stabilisée, accélération ou décélération) ainsi que la déclivité de la route sont également des facteurs influents ;
- Des gains significatifs sur l'émission associée au bruit de roulement peuvent être obtenus en privilégiant des revêtements de chaussée « silencieux ».

### **Propagation**

Les conditions de propagation du bruit peuvent contribuer de façon de significative à l'environnement sonore en façade des habitations.

- La distance à l'axe routier est un paramètre particulièrement influant. Une source linéique est caractérisée par une atténuation due à la divergence géométrique de 3 dB par doublement de distance. En outre, plus la distance est élevée et plus les effets météorologiques¹0 (absorption atmosphérique, effets de vent, température, hygrométrie) vont influer sur la propagation du bruit. En fonction des conditions de vent, des différences significatives de l'ordre de 6 dB(A) peuvent être observées en façade d'habitations situées à proximité de grandes infrastructures routières.
- D'autres facteurs liés à l'environnement physique du site sont également à prendre en compte : effet de sol, diffraction, réflexion sur les obstacles environnants. Ces facteurs interagissent avec les conditions météorologiques<sup>11</sup>. En milieu urbain, l'environnement immédiat de l'infrastructure routière joue un rôle primordial sur l'environnement sonore en façade des habitations.

<sup>«</sup> La propagation d'une onde acoustique est également sensiblement affectée par les caractéristiques du milieu : les conditions atmosphériques (vent, température, hygrométrie). Considérant les échelles spatio-temporelles mises en jeu dans le domaine de l'acoustique environnementale (i.e. en milieu extérieur), il convient d'appréhender ces phénomènes physiques à travers les théories de la micrométéorologie plutôt que celle de la météorologie à l'échelle régionale. On se place ainsi dans le cadre des lois thermiques (transfert de chaleur) et aérodynamiques (profils de vent) telles qu'elles se décrivent à très basse altitude (moins de 100 m). Les phénomènes qui apparaissent à cette altitude présentent donc une interaction très forte avec le sol (topographie, température de surface et de sous-sol, hygrométrie, cultures, forêt, obstacles, bâtis, etc.). De plus, ils évoluent rapidement dans le temps et dans l'espace, ce qui rend leur description analytique et leur modélisation numérique complexe. »

<sup>11 «</sup> L'atténuation due à l'effet de sol est principalement le résultat de l'interférence entre le son réfléchi et le son qui se propage directement de la source vers le récepteur. Elle est physiquement liée à l'absorption acoustique des terrains au-dessus desquels le son se propage. Mais elle est également très dépendante des conditions atmosphériques lors de la propagation, puisque la courbure des rayons modifie la hauteur du trajet au-dessus du sol et donne plus ou moins d'importance aux effets de sol et aux terrains situés près de la source. »

### Structure urbanistique et architecturale

La ville est un espace sonore au sens où son organisation, sa structure urbanistique et son architecture déterminent la propagation du bruit routier. La géométrie d'une ville peut présenter plus ou moins d' « ouvertures » qui permettent la propagation du bruit. On parle de la perméabilité acoustique du milieu urbain. Selon leur perméabilité, on distingue les espaces ouverts ou fermés d'un point de vue acoustique (cf. tableau A3-1). Ce chapitre s'appuie sur différents extraits du fascicule 10 « L'étude acoustique dans l'urbanisme et l'architecture » publié par l'IBGE en 2002 [38].

Tableau A3-1 : Espaces acoustiquement ouverts et fermés

### **ESPACE ACOUSTIQUEMENT OUVERT**

Dans un espace acoustiquement ouvert, plus perméable au bruit, le son émis par une source s'éloigne et se disperse dans l'atmosphère, sans revenir. Il en va ainsi par exemple pour une rue où les bâtiments sont éloignés les uns des autres, créant des espaces très perméables au bruit ou d'une route bordée d'espaces verts.

Dans un espace acoustiquement ouvert, on dit que la propagation du bruit se fait en champ libre. En champ libre, le bruit ne rencontre aucun obstacle. Le niveau sonore du bruit émis par la source diminue quand on s'éloigne de celle-ci.

### **ESPACE ACOUSTIQUEMENT FERMÉ**

Dans un espace acoustiquement fermé, le son émis par une source est successivement réfléchi ou absorbé par les obstacles (habitations, etc.) contenus dans cet espace. Il en va ainsi par exemple : d'une « rue en U », d'une cour intérieure, cernée par des bâtiments ou murs.

Dans un espace acoustiquement fermé, la propagation du bruit se fait en champ diffus. Dans ce cas-ci, le son rencontre des obstacles et se réfléchit partiellement ou totalement et est absorbé partiellement ou totalement par ceux-ci. Le niveau sonore d'un bruit dans un champ diffus dépend alors essentiellement de la puissance de la source et du coefficient d'absorption du milieu. Il ne dépend plus de la distance à la source. En effet, dans un champ diffus les réflexions très nombreuses font que le niveau sonore est pratiquement le même en tous points.

Le type de rue conditionne l'ambiance sonore. Par exemple, le classement sonore des infrastructures routières prend en compte ce facteur en introduisant les notions de « tissu ouvert » ou de « rue en U » pour lesquelles les secteurs affectés par le bruit sont de largeurs différentes.

- Tissu ouvert : routes en zones non bâties ou en zones pavillonnaires non continues.
- Rue en U : voies urbaines bordées de bâtiments disposés de part et d'autre de façon quasi continue et d'une certaine hauteur.
- Rue en L : voie urbaine bordée de façades exclusivement d'un côté, laissant l'autre côté perméable au bruit.

Ainsi, pour une même voie de circulation à trafic identique, à distance égale par rapport à la source, le niveau sonore dans une « rue en U » sera supérieur à celui enregistré dans une « rue en L ».

En outre, les éléments constitutifs d'un milieu urbain (bâtiments, murs, revêtements de sol, mobiliers urbains, etc.) possèdent des qualités acoustiques plus ou moins réfléchissantes ou absorbantes selon les matériaux utilisés. La présence de matériaux absorbants en grande quantité permet de se rapprocher des conditions de champ libre et même si le lieu est confiné, ce dernier devient un espace acoustiquement ouvert.

### Spécificité des mesures en façade d'habitations

Les mesures acoustiques en façade d'habitations sont représentatives de l'ensemble des sources de bruit présentes in situ. Il est donc important de considérer systématiquement leur contribution respective sur le niveau sonore mesuré. Ainsi, si l'on souhaite étudier le bruit d'une infrastructure routière particulière, il faut s'assurer au préalable que la contribution des autres sources de bruit en présence est négligeable.

La réglementation tient compte de la spécificité des mesures et des méthodes de mesurage du bruit routier en façade d'habitations. Par exemple, l'arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement y fait spécifiquement référence.

- « Article 1 : L'évaluation des niveaux de bruit en façade des bâtiments est effectuée à 2 mètres en avant de la façade, sans tenir compte de la dernière réflexion du son sur la façade du bâtiment concerné. Cela correspond à une correction de - 3 dB(A) par rapport au niveau de pression acoustique défini dans la norme NF S 31 110...
- Article 2 IV : Les méthodes de mesures sont conformes aux méthodes suivantes :... NF S 31 085
   « Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier ». »

Une correction de 3 dB(A) est effectuée afin de ne pas tenir compte de la dernière réflexion du son sur la façade du bâtiment.

La norme NF S 31-085 prévoit une évaluation des conditions météorologiques et des conditions du trafic routier pendant la période de mesurage. Ces informations complémentaires permettent de corriger les niveaux sonores mesurés en façade des habitations afin de fournir une estimation du niveau sonore de « long terme » correspondant aux moyennes annuelles associées :

- · Aux conditions météorologiques ;
- Aux conditions de trafic routier (TMJA<sup>12</sup>).

### Références

[38] Vade-mecum du bruit routier urbain, Volume I, fascicule 5 « La prise en compte du bruit routier dans les outils de planification en Région de Bruxelles-Capitale » et fascicule 10 « L'étude acoustique dans l'urbanisme et l'architecture », IBGE, 2002.

### Références normative

Norme « NF S 31-085 - Acoustique : Caractérisation et mesurage dû au trafic routier - Spécifications générales de mesurage », AFNOR, Novembre 2002

<sup>12</sup> TMJA: Trafic Moyen Journalier Annuel (trafic annuel divisé par 365 jours)

# ANNEXE 4 - CRITÈRES DE L'UE EN MATIÈRE DE MARCHÉS PUBLICS ÉCOLOGIQUES POUR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES – CHAUSSÉES NON BRUYANTES

Extraits de [36]

### B. CONCEPTION DÉTAILLÉE ET EXIGENCES EN MATIÈRE DE PERFORMANCES

Critères essentiels

**Critères complets** 

### SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

# B7. Exigence minimale en matière de conception de chaussée non bruyante

Lorsque la législation locale ou nationale l'exige, ou que les faibles niveaux de bruits émis par cette route sont considérés comme une priorité.

L'équipe chargée de la conception ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception et construction » ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type «conception, construction et exploitation» déclareront que la chaussée non bruyante proposée présente les niveaux d'émission de bruit à proximité immédiate suivants, conformément à la norme ISO/DIS 11819-2, en fonction de la vitesse maximale autorisée sur le tronçon de route:

- 90 dB (A) à 50 km /h, et/ou
- 95 dB (A) à 70 km /h, et/ou
- 98 dB (A) à 90 km/h.

Il convient que les données d'essai utilisées pour appuyer le projet de conception et toutes les hypothèses justifient l'utilisation de véhicules et/ou de remorques d'essai prévus pour la méthode de proximité immédiate et utilisant des pneus radiaux ceinturés d'acier portant le code de dimension P225/60 R16 conformément à ASTM F2493-14, avec une bande de roulement minimale de 5 mm.

# B7. Exigence minimale en matière de conception de chaussée non bruyante

Lorsque la législation locale ou nationale l'exige, ou que les faibles niveaux de bruits émis par cette route sont considérés comme une priorité.

L'équipe chargée de la conception ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception et construction » ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception, construction et exploitation » déclareront que la chaussée non bruyante proposée présente les niveaux d'émission de bruit à proximité immédiate suivants, conformément à la norme ISO/DIS 11819-2, en fonction de la vitesse maximale autorisée sur le tronçon de route:

- 87 dB (A) à 50 km /h, et/ou
- 92 dB (A) à 70 km /h, et/ou
- 95 dB (A) à 90 km/h.

Il convient que les données d'essai utilisées pour appuyer le projet de conception et toutes les hypothèses justifient l'utilisation de véhicules et/ou de remorques d'essai prévus pour la méthode de proximité immédiate et utilisant des pneus radiaux ceinturés d'acier portant le code de dimension P225/60 R16 conformément à ASTM F2493-14, avec une bande de roulement minimale de 5 mm.

Les données d'essai seront corrigées pour une température ambiante de 20 °C. L'analyse des incertitudes des données d'essai sera évaluée conformément au guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (guide ISO/IEC 98-3:2008), et les essais devront démontrer que les résultats, y compris leur incertitude, ne dépassent pas de plus de 1 dB (A) les valeurs mentionnées ci- avant ou celles énoncées avec la conception (si elles sont inférieures).

### Vérification:

L'équipe chargée de la conception ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception et construction » ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception, construction et exploitation » décriront la nature de la chaussée non bruyante proposée, en précisant notamment la granulométrie, la taille maximale du granulat, le liant utilisé, le volume des vides, et l'émission sonore prévue à proximité immédiate par les véhicules d'essai à la ou aux vitesses appropriées pour la route.

Les performances prévues en matière de réduction du bruit pour les valeurs de la nouvelle chaussée s'appuieront sur des mesures en laboratoire et/ou sur site réalisées sur des tronçons de routes d'essai et pourront être comparées aux performances d'autres surfaces de référence non bruyantes connues. Les données et informations peuvent être recueillies par les soumissionnaires eux-mêmes à partir de littérature revue par les pairs et publiée ou à partir de déclarations signées par les autorités compétentes dans le domaine du mesurage du bruit provenant des surfaces de chaussée.

Après l'inauguration, un rapport d'essai signé par une autorité compétente sera fourni et devra démontrer la conformité de la chaussée avec les limites d'émission de bruit pertinentes.

La variance spatiale du tronçon de route testé doit démontrer qu'aucune partie du tronçon d'essai ne dépasse ces valeurs globales de plus de 2 dB (A).

Les données d'essai seront corrigées pour une température ambiante de 20 °C. L'analyse des incertitudes des données d'essai sera évaluée conformément au guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (guide ISO/IEC 98-3:2008), et les essais devront démontrer que les résultats, y compris leur incertitude, ne dépassent pas de plus de 1 dB (A) les valeurs mentionnées ci- avant ou celles énoncées avec la conception (si elles sont inférieures).

### Vérification:

L'équipe chargée de la conception ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception et construction » ou le soumissionnaire dans le cadre d'un contrat de type « conception, construction et exploitation » décriront la nature de la chaussée non bruyante proposée, en précisant notamment la granulométrie, la taille maximale du granulat, le liant utilisé, le volume des vides, et l'émission sonore prévue à proximité immédiate par les véhicules d'essai à la ou aux vitesses appropriées pour la route.

Les performances prévues en matière de réduction du bruit pour les valeurs de la nouvelle chaussée s'appuieront sur des mesures en laboratoire et/ou sur site réalisées sur des tronçons de routes d'essai et pourront être comparées aux performances d'autres surfaces de référence non bruyantes connues. Les données et informations peuvent être recueillies par les soumissionnaires eux-mêmes à partir de littérature revue par les pairs et publiée ou à partir de déclarations signées par les autorités compétentes dans le domaine du mesurage du bruit.

### **CRITÈRES D'ATTRIBUTION**

# B20. Déclaration de performances en matière de conception de chaussées routières non bruyantes

(Exigences identiques pour les critères essentiels et les critères complets)

Des points seront attribués si le projet de chaussée déclare parvenir à des émissions sonores à proximité immédiate qui sont inférieures de plus de 1 dB (A) aux exigences techniques minimales (voir B7). Des points seront attribués proportionnellement à la réduction du nombre de décibels [dB (A)] que les performances évaluées permettent par rapport aux exigences techniques minimales.

### Vérification:

Identique à la vérification du critère B7.

### **C. CONSTRUCTION OU EXTENSIONS IMPORTANTES**

Critères essentiels

**Critères complets** 

### CLAUSE D'EXÉCUTION DU CONTRAT

### C13. Essai de conformité de la production de chaussées non bruyantes

(Exigences identiques pour les critères essentiels et les critères complets)

Après la fin des travaux, et entre 4 et 12 semaines après l'inauguration de la route, le contractant principal chargé de la construction ou le contractant chargé de la conception et de la construction ou le contractant chargé de la conception, de la construction et de l'exploitation feront réaliser par des tiers indépendants et compétents un essai de conformité de la production selon la méthode de proximité immédiate pour vérifier la conformité de cette production avec les déclarations contenues dans le projet concernant le bruit émis par le revêtement de la route.

Les essais seront réalisés avec un véhicule adapté, conformément à la norme ISO/DIS 11819-2. Les pneus de référence à utiliser lors de ces essais doivent être les pneus radiaux de référence d'essai standard P225/60R16 définis dans la norme ASTM F2493-14 et cette information doit être clairement communiquée dans l'invitation à soumissionner.

Les essais seront exclusivement réalisés par temps sec sur des revêtements poreux au moins 2 jours après la dernière chute de pluie.

Si les données obtenues par la méthode de proximité immédiate ne satisfont pas aux déclarations spécifiées dans le projet, le contractant chargé de la conception et de la construction ou le contractant chargé de la conception, de la construction et de l'exploitation se verront infliger des sanctions financières et/ou seront contraints de mettre en œuvre des mesures de correction, sans que cela n'engendre de coût supplémentaire pour le pouvoir adjudicateur.

Si l'analyse spatiale révèle que seule une petite partie du tronçon de route ne satisfait pas aux limites d'émission de bruit, les mesures de correction ne s'appliqueront qu'à la zone concernée.

Le cadre des sanctions ou des mesures de correction applicables sera clairement défini dans l'invitation à soumissionner.

D. UTILISATION DE LA ROUTE				
Critères essentiels	Critères complets			
SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES				

# D1. Durabilité des performances des chaussées non bruyantes

Lorsque la législation locale ou nationale l'exige, ou que les faibles niveaux de bruits émis par cette route sont considérés comme une priorité.

Les émissions de bruit provenant d'un revêtement de route non bruyant, telles que mesurées par la méthode de proximité immédiate définie dans la norme ISO/DIS 11819-2, n'excéderont pas les limites suivantes, en fonction de la vitesse maximale autorisée sur la route, pendant une période de 5 ans après l'essai de conformité de la production.

- 93 dB (A) à 50 km/h, et/ou
- 98 dB (A) à 70 km/h, et/ou
- 101 dB (A) à 90 km/h.

L'essai sera réalisé au moins une fois tous les 30 mois après l'inauguration de la route.

Les véhicules d'essai utilisés pour la méthode de proximité immédiate utiliseront des pneus radiaux ceinturés d'acier présentant le code de dimension P225/60 R16 conformément à ASTM F2493-14, avec une bande de roulement minimale de 5 mm.

Les données d'essai seront corrigées pour une température ambiante de 20 °C. L'analyse des incertitudes des données d'essai sera évaluée conformément au guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (guide ISO/IEC 98-3:2008), et les essais devront démontrer que les résultats, y compris leur incertitude, n'excèdent pas de plus de 1 dB (A) les valeurs mentionnées ci- avant ou des valeurs plus ambitieuses déclarées dans le projet de conception.

La variance spatiale du tronçon de route testé doit démontrer qu'aucune partie du tronçon d'essai ne dépasse ces valeurs globales de plus de 2 dB (A).

# D1. Durabilité des performances des chaussées non bruyantes

Lorsque la législation locale ou nationale l'exige, ou que les faibles niveaux de bruits émis par cette route sont considérés comme une priorité.

Les émissions de bruit provenant d'un revêtement de route non bruyant, telles que mesurées par la méthode de proximité immédiate définie dans la norme ISO/DIS 11819-2, n'excéderont pas les limites suivantes, en fonction de la vitesse maximale autorisée sur la route, pendant une période de 5 ans après l'essai de conformité de la production.

- 90 dB (A) à 50 km/h, et/ou
- 95 dB (A) à 70 km/h, et/ou
- 98 dB (A) à 90 km/h.

L'essai sera réalisé au moins une fois tous les 30 mois après l'inauguration de la route.

Les véhicules d'essai utilisés pour la méthode de proximité immédiate utiliseront des pneus radiaux ceinturés d'acier présentant le code de dimension P225/60 R16 conformément à ASTM F2493-14, avec une bande de roulement minimale de 5 mm.

Les données d'essai seront corrigées pour une température ambiante de 20 °C. L'analyse des incertitudes des données d'essai sera évaluée conformément au guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (guide ISO/IEC 98-3:2008), et les essais devront démontrer que les résultats, y compris leur incertitude, n'excèdent pas de plus de 1 dB (A) les valeurs mentionnées ci- avant ou des valeurs plus ambitieuses déclarées dans le projet de conception.

La variance spatiale du tronçon de route testé doit démontrer qu'aucune partie du tronçon d'essai ne dépasse ces valeurs globales de plus de 2 dB (A).

### Vérification:

Les rapports des essais réalisés conformément à la méthode de proximité immédiate par des autorités indépendantes et compétentes et conformément à ISO/DIS 11819-2 seront présentés au pouvoir adjudicateur et seront conformes aux limites mentionnées précédemment, le cas échéant.

### Vérification:

Les rapports des essais réalisés conformément à la méthode de proximité immédiate par des autorités indépendantes et compétentes et conformément à ISO/DIS 11819-2 seront présentés au pouvoir adjudicateur et seront conformes aux limites mentionnées précédemment, le cas échéant.

### CLAUSE D'EXÉCUTION DU CONTRAT

### D2. Durabilité des performances des chaussées non bruyantes

(Exigences identiques pour les critères essentiels et les critères complets)

Pendant une période de 5 ans suivant l'essai de conformité de la production, le contractant principal chargé de la construction ou le contractant chargé de la conception et de la construction ou le contractant chargé de la conception, de la construction et de l'exploitation feront réaliser par des tiers indépendants et compétents un essai des émissions sonores provenant de la surface de chaussée selon la méthode de proximité immédiate définie dans les spécifications techniques D1. Les essais seront exclusivement réalisés par temps sec sur des revêtements poreux au moins 2 jours après la dernière chute de pluie.

Si les données obtenues par la méthode de proximité immédiate ne sont pas dans les limites adéquates pour la durabilité du critère de performance, le contractant chargé de la conception et de la construction ou le contractant chargé de la conception, de la construction et de l'exploitation se verront infliger des sanctions financières et/ou seront contraints de mettre en oeuvre des mesures de correction, sans que cela n'engendre de coût supplémentaire pour le pouvoir adjudicateur.

Le cadre des sanctions ou des mesures de correction applicables sera clairement défini dans l'invitation à soumissionner.

### Logigrammes pour la prise en compte du bruit dans les opérations routières

### 1. En travaux neufs ou aménagements significatifs

Actions conseillées non obligatoires

### MESURE ET PRESCRIPTIONS - TRAVAUX NEUFS / AMÉNAGEMENTS SIGNIFICATIFS\*

### **I TEXTES DE REFERENCE**

### Réglementations :

- Arrêté du 5 mai 1995
- Arrêté du 30 mai 1996
- Arrêté du 3 septembre 2013
- Arrêté du 25 avril 2003
- Code environnement article n°571-50

### Normes :

- NF S 31-085
- NF S 31-133
- NF EN 1793-1 à NF EN 1793-6
- NF EN ISO 11819-1 et NF EN ISO 11819-2 (bruit de roulement

#### Guides:

- · Manuel du chef de projet, Sétra
- Réalisation et conception des écrans, Certu
- Guide technique « Bruit de roulement : état de l'art et recommandations ».

### **II ETUDE D'IMPACT**

- Modélisations acoustiques à partir des variantes du projet routier
- · Identidiaction de l'ambiance sonore par mesures du bruit
- Calage du modèle par mesures de bruit en façade

### **III SENSIBILITE ACOUSTIQUE**

+++	++	+	Ø
PNB, dépassement de seuils, établissen	Ambiance sonore préexistante	modérée	

#### IV PRESCRIPTIONS GRADUEES

Protection à la source et/ou Protection en façade**	Pas de protection

### Avant travaux

Dimensionnement des protections		
Performances des écrans	Isolement requis	Ī

### Pendant les travaux

Dépôt du dossier « bruit de chantier »

### Après travaux

### Mesures de bruit de roulement (obligatoire si prescriptions au CCTP)

Mesures de bruit en façade par echantilonage			
Réception des écrans	Mesure d'isolement de façade		

Objectif communication Consitution base de données

Mesure de bruit de roulement comparaison avant/après travaux (cas des aménagements significatifs)

### Logigrammes pour la prise en compte du bruit dans les opérations routières

### 2. En entretien

données

Actions conseillées non obligatoires **MESURE ET PRESCRIPTIONS - TRAVAUX D'ENTRETIEN\* I TEXTES DE REFERENCE** Réglementations : Guides: Normes: Arrêté du 30 mai 1996 • NF S 31-085 Manuel du chef de projet, Sétra • NF S 31-133 • Fiche « Comment prendre en compte la • NF EN ISO 11819-1 et 2 multi-exposition sonore? », Certu · Guide technique « Bruit de roulement : état de l'art et recommandations ». II REPERAGE DES ZONES SENSIBLES Approcche macro • Exploitation de données existantes : cartes de bruit stratégiques, observatoire du bruit des transports terrestres, plaintes Géolocalisation macro des zones sensibles Approche fine • Exploitation de données existantes : cartes de bruit stratégiques , observatoire du bruit de transports terrestres, plaintes • Prise en compte de l'environnement du site : topologie, allure, vitesse, densité du bâti, proximité avant la voie • Prise en compte du revêtement existant : type, granulométrie, âge · Cartographie des zones sensibles **III SENSIBILITE ACOUSTIQUE** +++ ++ Ø PNB, dépassement de seuils, établissement sensibles, zones calmes Ambiance sonore modérée IV PRESCRIPTIONS GRADUEES Avant travaux Nature du revêtement adaptées Prescription de déploiement Pendant les travaux Respect des prescription particulières Mesures de bruit de roulement (obligatoire si prescriptions au CCTP) Après travaux Mesure de bruit de roulement comparaison avant/après travaux Objectif communication Consitution base de



L'IDRRIM (Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité) fédère l'ensemble des acteurs publics et privés agissant dans le domaine des infrastructures de mobilité et espaces urbains.

Créé en 2010, l'Institut propose un cadre de réflexion et d'actions pour co produire et partager un référentiel commun constitué de normes, de bonnes pratiques et règles de l'art, d'outils méthodologiques.

Lieu de convergences et d'échanges, l'Institut a pour objectif de répondre de manière homogène à des problématiques techniques ou stratégiques et de faire évoluer les patrimoines d'infrastructures et d'espaces publics vers une conception et une gestion durables ainsi qu'une plus grande optimisation de leur utilisation.

### L'IDRRIM a pour mission de :

- Fédérer et mobiliser les acteurs de la profession
- Produire des documents de référence
- Contribuer à l'amélioration des compétences
- Promouvoir l'innovation et faire rayonner l'excellence française

Ce guide, validé par le comité Gestion de Patrimoine d'Infrastructures de l'IDRRIM, a été rédigé dans le cadre du sous-groupe de travail bruit du GNCDS composé de :

- ANFOSSO LEDEE Fabienne, Université Gustave Eiffel (ex IFSTTAR) co-pilote du groupe de travail
- BOUVERET Benoît, Routes de France (Colas)
- CHIAPPINI Fabien, Cerema
- FEESER Arnaud, Cerema
- GAL Jean-François, Routes de France (Colas) co-pilote du groupe de travail
- LEFEBVRE Jéröme, Ville de Paris
- MARIOT Pascal, MTES/DIR Massif Central
- PLATELLE Simon, Routes de France (Eiffage)
- POUTEAU Bertrand, Routes de France (Eurovia)
- RIBEIRO Carlos, Bruitparif
- STEFFGENN Barbara, CEREMA
- VASSEUR Benoit, ASFA (SANEF)
- VERMOREL Jean-Marie, Syntec-Ingénierie (EGIS Route)

### Remerciements

Les auteurs adressent un remerciement particulier à Guillaume DUTILLEUX, actuellement professeur à l'Université de Trondheim (Norvège) et à Sandra BENELLI du CEREMA Centre Est (Clermont-Ferrand) pour leur précieuse contribution.





9, rue de Berri - 75008 Paris - Tél : +33 1 44 13 32 99 www.idrrim.com - idrrim@idrrim.com

Association loi 1901

