

Mesures « au passage » du bruit de contact pneumatique-chaussée : méthodologie, application à l'évaluation des performances acoustiques des revêtements routiers

Benoît DULAU

Ingénieur des Travaux publics de l'État
Chef du groupe Acoustique

Sonia DOISY

Ingénieur des Travaux publics de l'État
Responsable d'études

Jean-Paul HAETTEL

Technicien supérieur
Chargé d'études

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg

RÉSUMÉ

Le bruit de roulement, source prépondérante de l'émission sonore des véhicules circulant à plus de 60 km/h, est actuellement mesuré selon la norme française S 31-119, par une méthode au passage. Cette norme décrit deux procédures de mesures *in situ* du niveau sonore en champ proche, les procédures VI (véhicules isolés) et VM (véhicules maîtrisés). Elles ont pour objectif de calculer le niveau de bruit d'un trafic donné, de qualifier les chaussées ou d'établir une hiérarchie entre différentes techniques routières. Afin de vérifier la validité de ces deux procédures en termes de reproductibilité et de répétabilité, des essais croisés entre différents laboratoires ont été réalisés. Toutes les mesures effectuées selon la norme S 31-119 par les laboratoires des Ponts et Chaussées sont archivées dans une base de données, ce qui permet de produire des analyses statistiques, d'étudier l'évolution du niveau sonore en fonction de l'âge du revêtement ou d'évaluer acoustiquement les revêtements.

MOTS CLÉS : 15-23 - Vitesse - Véhicule - Bruit - Essai - Mesure - Norme - Contact (pneu-route) - Banque de données - Revêtement (chaussée) - In situ - Niveau sonore - Route secondaire - Analyse comparative interlaboratoires - Analyse (math.) - Statistique - Autoroute - Route nationale.

Introduction

La nécessité de réduire le bruit dû au contact pneumatique/chaussée a été le nouvel enjeu de la problématique liée aux nuisances sonores occasionnées par la circulation routière. Le bruit mécanique des véhicules a diminué sensiblement et les vitesses moyennes de circulation ont augmenté, le bruit de roulement est donc devenu la source prépondérante de l'émission sonore des véhicules. Une procédure réaliste et pratique de mesures *in situ*, la méthode dite « Franco-Allemande », étudiée dans le cadre d'une coopération entre les deux pays, a été largement utilisée depuis 1986 et a conduit à l'élaboration de la norme AFNOR, S 31-119 d'octobre 1993 (directive allemande, GEstro 92 [1]). C'est une méthode « au passage » qui consiste à mesurer le niveau de bruit pendant le passage d'un véhicule, dans des conditions où la prédominance du contact pneumatique/chaussée est avérée (vitesse supérieure à 60 km/h). Elle permet également de comparer des niveaux de bruit avant et après modification du revêtement.

La norme française S 31-119

Principe de la mesure

Cette méthode environnementale est basée sur la mesure du bruit généré par le contact pneumatique/chaussée à proximité de la route (à 7,5 m de l'axe de la voie, et à 1,2 m de hauteur). Elle consiste à mesurer le bruit et la vitesse des véhicules passant au droit du microphone (fig. 1).

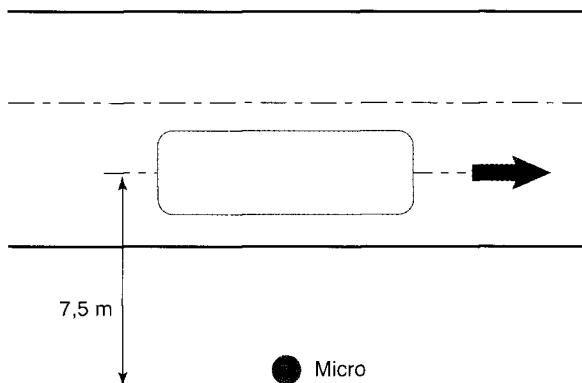


Fig. 1 - Géométrie de la mesure.

La signature acoustique (niveau de bruit en fonction du temps) d'un véhicule est typiquement telle que le montre la figure 2.

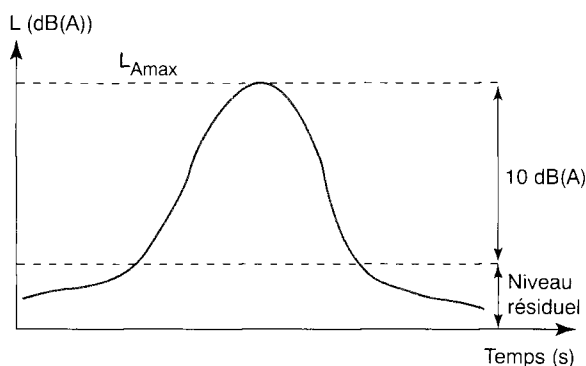


Fig. 2 - Exemple typique de signature acoustique d'un véhicule.

Le niveau acoustique maximum, atteint lorsque le véhicule passe devant le microphone, est noté L_{Amax} . On considère que l'on ne mesure que le bruit issu du véhicule passant devant le microphone si le niveau de bruit résiduel est inférieur à $L_{Amax} - 10$ dB(A). À la fin de la mesure, on obtient un certain nombre de couples (L_{Amax} , vitesse), à partir desquels on procède à une analyse de régression linéaire (niveau sonore maximal pondéré A L_{Amax} en fonction du logarithme décimal de la vitesse). La qualité de cette

régression est définie par l'intervalle de confiance, et la valeur du coefficient de corrélation (R^2).

On calcule ainsi le niveau de référence L_{ref} pour une vitesse de référence donnée. On en déduit ensuite le niveau de bruit L , qui s'exprime selon la formule de l'équation 1.

$$L = L_{ref} + a \lg (V/V_{ref}) \quad (1)$$

où :

V est la vitesse en kilomètres par heure,

V_{ref} est la vitesse de référence en kilomètres par heure,

L_{ref} est le niveau de bruit résultant de la régression linéaire des moindres carrés, pour la vitesse V_{ref} , en décibels,

a est la pente de la régression linéaire, en décibels.

Le même calcul par régression linéaire est effectué pour les niveaux par bande de tiers d'octave de fréquence centrale comprise entre 100 et 5 000 Hz inclus.

Le niveau de bruit au passage pouvant être influencé par les conditions météorologiques, les mesures ne peuvent pas être effectuées :

- pour des températures de l'air sous abri à $1,2 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ de hauteur, inférieures à $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ ou supérieures à $+30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- pour un vent de vitesse supérieure à 5 m/s.

Par ailleurs, la chaussée doit être sèche lors des mesures (l'expérience montre, pour les revêtements poreux particulièrement, que l'on peut raisonnablement effectuer des mesures 48 h après les dernières précipitations).

Conditions de site

Le revêtement de chaussée doit être homogène et exempt d'éléments particuliers (joints de dilatation d'ouvrages d'art, réparations localisées, bandes rugueuses, etc.) sur une longueur minimale de 100 m. Sur cette longueur, la rampe du profil en long de la chaussée doit être inférieure à 2 % et le tracé en plan doit être rectiligne.

Il ne doit pas y avoir d'obstacle réfléchissant de faible hauteur (glissière, etc.) dans un rayon de 10 m autour du véhicule lorsqu'il est au droit du microphone, ni d'obstacle de grande dimension (bâtiment, etc.) dans un rayon minimum de dix fois la plus petite dimension de l'obstacle et au maximum de 50 m.

Cependant, les conditions de site décrites dans la norme sont rarement représentatives d'un site

réel. Des essais et calculs ont montré qu'il était possible de remplacer certaines conditions strictes de la norme par de nouvelles conditions de site pour lesquelles les résultats de mesure pouvaient être considérés comme acceptables :

- la présence de petits obstacles (glissières de sécurité, etc.) situés à une distance minimale de 2 m derrière le microphone est tolérée. Par contre toute mesure avec un obstacle, réfléchissant ou non, situé entre la route et le microphone est à exclure ;
- dans le cas d'une route à deux fois deux voies, la présence d'une glissière en béton armé en terre-plein central est tolérée à condition que le véhicule mesuré circule sur la voie la plus éloignée de la glissière en béton armé (voie lente).

La norme spécifie deux procédures, avec des modes opératoires différents, visant des objectifs plus ciblés.

Procédure VM (véhicules maîtrisés)

L'objectif est de qualifier les chaussées et d'établir une hiérarchie entre différents revêtements.

On utilise quatre configurations véhicule/pneumatique sélectionnées actuellement par des essais inter-laboratoires. Le terme « maîtrisé » indique que l'on utilise des véhicules et des pneumatiques limités en kilométrage. Les deux véhicules doivent être de catégorie et de marque différentes, les pneumatiques de type commercial et de marque différents également. La vitesse de référence étant 90 km/h, les vitesses de passage doivent donc être réparties le plus uniformément possible entre 70 km/h et 110 km/h.

On définit le niveau $L_{\text{revêtement}}$ (ou L_{rev}) en ramenant le niveau de référence L_{ref} à une température de référence $T_{\text{ref}} = 20^\circ\text{C}$ selon la relation de l'équation 2.

$$L_{\text{revêtement}} = L_{\text{ref}} + 0,1 (T - T_{\text{ref}}) \quad (2)$$

où T est la température en degrés Celsius, mesurée à $1,20 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ au-dessus du sol, sous abri et L_{ref} est le niveau de bruit pour la vitesse V_{ref} , en décibels.

Cette procédure a les avantages suivants :

- elle permet la réception de chaussées neuves, d'effectuer des mesures sur des chaussées expérimentales non circulées ou des axes routiers trop circulés pour isoler les véhicules,
- la distance véhicule/capteur est connue de façon précise,

- véhicules, pneumatiques, vitesse et allure sont maîtrisés.

Mais ses inconvénients sont :

- le choix des véhicules et des pneumatiques est limité, d'où un problème de représentativité par rapport à un trafic réel,
- la procédure est basée sur l'utilisation de véhicules légers, et ne fournit donc pas de résultat pour les autres catégories de véhicules, telles que les poids lourds.

Procédure VI (véhicules isolés)

L'objectif est d'évaluer l'impact du revêtement sur le bruit dû à une voie routière dans son environnement.

Pour une exploitation statistique, on sélectionne un nombre suffisant de véhicules isolés du flot de circulation réel sur une voie ouverte. On distingue quatre catégories de véhicules (VL : véhicules légers, UT : utilitaires légers, PL : poids lourds à deux ou trois essieux, TR : trains routiers à quatre ou cinq essieux). Quatre-vingt véhicules de chacune d'elles doivent être mesurés mais, dans la pratique, seuls les VL et les TR sont pris en compte. La vitesse de référence dépend du type de voie et de la catégorie de véhicule considérée. On calcule donc un niveau de référence, associé à un trafic de référence dont la composition dépend du type de voie (voie lente ou autres).

On définit le niveau $L_{\text{revêtement}}$ (ou L_{rev}) pour un trafic de référence, en ramenant le niveau de référence L_{ref} à une température de référence $T_{\text{ref}} = 20^\circ\text{C}$ selon la relation de l'équation 3.

$$L_{\text{revêtement}} = 10 \lg \left[\sum_{j=1}^{j=4} Q_j 10^{L_{\text{ref}}(j)/10} \right] + 0,1 (T - T_{\text{ref}}) \quad (3)$$

où

j est l'indice de la classe de véhicules considérée ;

Q_j est le pourcentage des différentes classes de véhicules ;

T est la température en degrés Celsius, mesurée à $1,20 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ au-dessus du sol, sous abri ;

L_{ref} est le niveau de bruit pour la vitesse V_{ref} , en décibels.

Avantages :

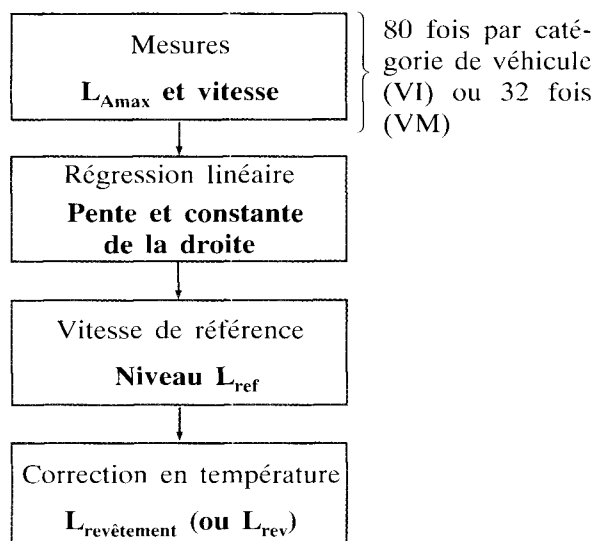
- les véhicules du trafic local sont utilisés,
- plusieurs catégories de véhicule sont prises en compte.

Inconvénients :

- la distance véhicule/microphone n'est pas maîtrisée,
- la vitesse de référence est liée au site,
- il peut être difficile d'isoler un véhicule dans un trafic important,
- les résultats dépendent de la nature du parc de véhicules rencontrés,
- il est nécessaire d'effectuer un important échantillonnage de véhicules pour réaliser une exploitation statistique.

Résumé

Le schéma suivant résume les étapes de la méthode de la norme S 31-119 ainsi que les valeurs mesurées ou calculées :



Essais croisés inter-laboratoires

Des essais comparatifs ont été programmés afin de qualifier et de vérifier la validité, en termes de répétabilité (r) et de reproductibilité (R), des deux procédures VM (véhicules maîtrisés) et VI (véhicules isolés) émanant de la norme S 31-119. L'estimation de ces valeurs est réalisée conformément à la norme ISO 5725, parties 1 et 2 « Exactitude des résultats et méthodes de mesure » [2].

Définitions

Les valeurs de r et R sont estimées à partir des essais croisés inter-laboratoires dans des conditions de répétabilité et de reproductibilité définis dans la norme ISO 5725 de la manière suivante :

Conditions de répétabilité

Conditions où les résultats d'essais indépendants sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essai identiques dans le même laboratoire, par le même opérateur, utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps.

Conditions de reproductibilité

Conditions où les résultats d'essais indépendants sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essai identiques dans différents laboratoires, avec différents opérateurs et utilisant des équipements différents.

À partir des limites de répétabilité et de reproductibilité (r et R) d'une méthode d'essai, il est possible de calculer une différence critique de fidélité pour un niveau de probabilité de 95 %, noté CrD_{95} . Cette différence critique dépend du nombre (p) de laboratoires opérant et du nombre (n) de mesures qu'ils effectuent :

p laboratoires effectuent un nombre n_i de déterminations et obtiennent les moyennes m_i (pour $i = 1, 2, \dots, p$). La moyenne de ces moyennes est $m = \sum m_i / p$ à comparer avec une valeur de référence m_0 . La différence critique de fidélité pour un niveau de probabilité de 95 % se calcule selon la formule de l'équation 4.

$$CrD_{95} (|m - m_0|) = \frac{1}{\sqrt{2} p} \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{p} \sum \frac{1}{n_i}\right)} \quad (4)$$

Citons en exemple la comparaison avec un niveau de référence dans le cas d'un seul laboratoire.

Si n déterminations, effectuées par un même laboratoire dans des conditions de répétabilité, conduisent à une valeur moyenne m à comparer avec une valeur de référence m_0 , alors CrD_{95} se calcule selon l'équation 5.

$$CrD_{95} (|m - m_0|) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)} \quad (5)$$

Les essais

Une première campagne de mesures réalisée en 1994 en Alsace a conduit à des valeurs de R trop élevées, montrant ainsi la nécessité de revoir l'approche. Elle a été suivie en 1995 par une campagne de mesure à Nantes sur la piste de référence du Laboratoire central des Ponts et Chaussées, dans le but d'analyser les causes de la variabilité de la méthode de mesurage. Ces divers essais ont montré que pour assurer une reproductibilité suffisante, il est indispensable de prendre certaines précautions au niveau de la

prise d'information (enregistrement des signaux) et du dépouillement. Ces spécifications d'exécution sont répertoriées dans la « Méthode de caractérisation acoustique des revêtements de chaussée ».

En 1996, une nouvelle campagne a été organisée par le LCPC, faisant intervenir huit laboratoires. Pour chaque procédure (VI et VM), les deux niveaux (revêtements) choisis sont les revêtements BBSG et BBDr. Chaque laboratoire, numéroté de 1 à 8, réalise deux mesures sur chaque niveau. Le schéma est donc de la forme du tableau I.

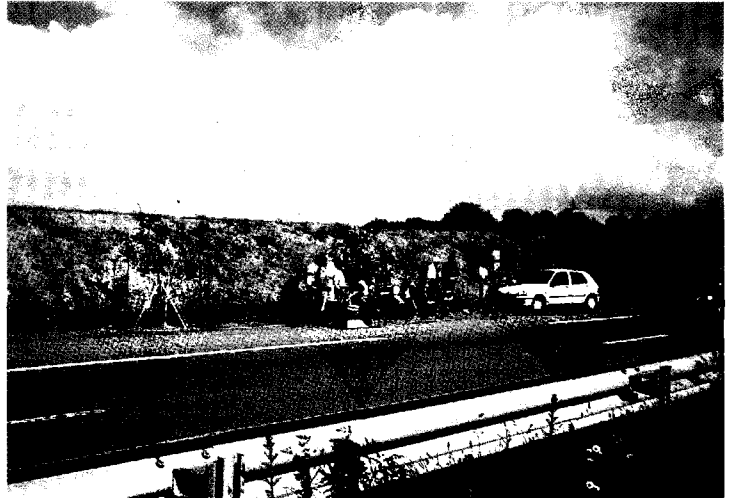
TABLEAU I
Formulaire A - essais interlaboratoires

Formulaire A		
Laboratoire	Niveau	
	BBSG	BBDr
1	2 mesures	2 mesures
2	2 mesures	2 mesures
3	2 mesures	2 mesures
4	2 mesures	2 mesures
5	2 mesures	2 mesures
6	2 mesures	2 mesures
7	2 mesures	2 mesures
8	2 mesures	2 mesures

Chaque groupe de deux mesures faisant partie d'un niveau doit être effectué sous des conditions de répétabilité.

Résultats

L'analyse statistique, effectuée conformément à la norme et faisant intervenir les tests de Cochran et Grubbs [2], n'a fait ressortir aucune valeur aberrante.



Essais croisés 1995. RN 137 - BBSG 0/10 Nantes - Rennes. VI + VM insérés dans le flot. Huit laboratoires.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- Procédure VI/VL + VI/TR :
RÉPÉTABILITÉ : 1 dB(A)
REPRODUCTIBILITÉ : 1,5 dB(A)
- Procédure VM :
RÉPÉTABILITÉ : 0,7 dB(A)
REPRODUCTIBILITÉ : 1,6 dB(A)

Les valeurs de limites de répétabilité (r) et de reproductibilité (R) sont meilleures en 1996 qu'en 1994 (tableau II) particulièrement en ce qui concerne R. Ceci s'explique par une sensibilisation auprès des mesureurs et par un affinage du mode opératoire.

Présentation et exploitation de la base de données

Introduction

La base de données « bruit de roulement » gérée par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg pour le compte du réseau des LPC, du SETRA et du CERTU, répertorie les données des procès verbaux de mesure,

TABLEAU II
Comparaison des essais croisés de 1994 et de 1996

	Procédure VI/VL		Procédure VI/TR		Procédure VM	
	BBSG	BBDr	BBSG	BBDr	BBSG	BBDr
r en dB(A) 1994	0,9	1	1	1,2	0,8	1,1
r en dB(A) 1996	0,8	0,8	1,3	1,2	0,3	1
R en dB(A) 1994	2,5	5,1	3,8	4,7	2,8	4,6
R en dB(A) 1996	0,9	1,3	1,6	2	1,2	2

réalisés d'après la norme S 31-119, selon les procédures VI et VM. Cette base, développée avec le système de gestion de base de données Access, est alimentée par tous les Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées effectuant des mesures de bruit de roulement. Elle contient des informations sur :

- le revêtement (type, formule, épaisseur, procédé, date de mise en œuvre, etc.),
- la localisation (nom de la voie, type de voie, localisation exacte, trafic si possible, etc.),
- les conditions de mesure (conditions météorologiques, date, etc.).

Les résultats des mesures réalisées selon la procédure VI stockés dans la base sont les suivants :

- Pour chaque catégorie de véhicule mesurée (VL, UT, PL, TR) : vitesse moyenne, niveau de bruit, pente de la régression linéaire (niveau en fonction du logarithme de la vitesse), indices statistiques, spectres à la vitesse de référence en bande de tiers d'octaves entre 100 et 5 000 Hz, etc.

Les résultats des mesures réalisées selon la procédure VM stockés dans la base sont les suivants :

- description des véhicules et pneumatiques utilisés,
- pour chaque couple véhicule/pneumatique et pour toutes les configurations confondues : vitesse moyenne, niveau de bruit, pente de la régression linéaire, indices statistiques, spectres à 90 km/h en bande de tiers d'octaves entre 100 et 5 000 Hz, etc.

Une telle base de données permet un archivage

des mesures de bruit de roulement réalisées, et donne un accès rapide aux informations. Elle permet de produire des analyses statistiques, des tris pouvant être aisément réalisés selon certains critères, tels que le type de revêtement, l'âge des revêtements au moment de la mesure, etc. Il est également possible de suivre l'évolution du niveau sonore de certaines planches en fonction du temps, puisqu'elle contient des mesures effectuées au même endroit, à des âges différents.

Contenu de la base

En août 1998, la base de données contenait 464 enregistrements répartis de la façon suivante : 158 mesures réalisées selon la procédure VI sur seize familles de revêtement, et 306 mesures réalisées selon la procédure VM sur dix-neuf familles de revêtement.

• Contenu de la base VI

Les figures 3 et 4 présentent les mesures VI/VL et VI/TR contenues dans la base par type de revêtement.

Les statistiques sur les valeurs de L_{rcv} (90 km/h) VI/VL par type de revêtement font l'objet du tableau III.

• Contenu de la base VM

La figure 5 présente les mesures VM contenues dans la base par type de revêtement.

Les statistiques sur les valeurs de L_{rcv} (90 km/h) VM par type de revêtement font l'objet du tableau IV.

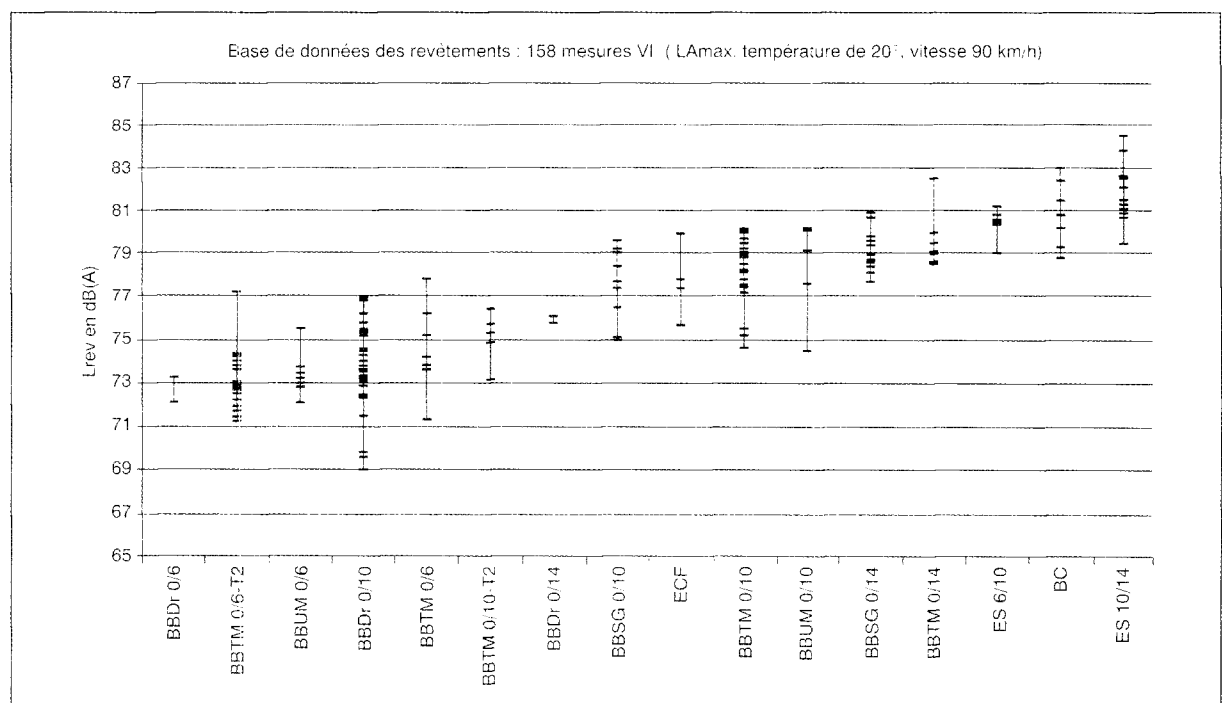


Fig. 3 - Mesures de la base VI/VL.

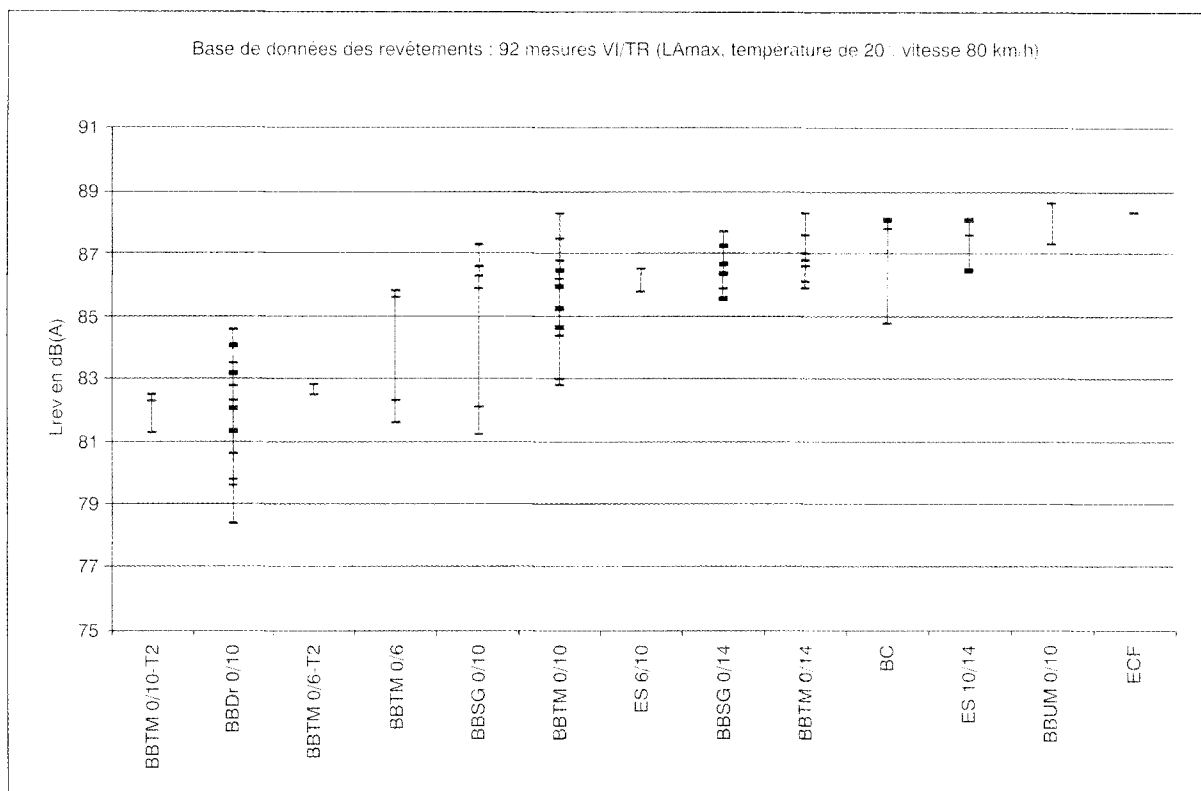


Fig. 4 - Mesures de la base VI/TR.

TABLEAU III
Statistiques L_{rev} (90 km/h), VI/VL

Revêtement	Nombre de mesures	Minimum en dB(A)	Maximum en dB(A)	Moyenne en dB(A)	Écart type en dB(A)
BBDr 0/6	2	72,1	73,2	72,6	0,8
BBTM 0/6-T2	17	71,2	77,2	73,0	1,5
BBUM 0/6	7	72,1	75,5	73,4	1,1
BBDr 0/10	29	69	76,9	73,5	1,9
BBTM 0/6	8	71,3	77,8	74,5	1,9
BBTM 0/10-T2	5	73,14	76,4	75,1	1,2
BBDr 0/14	2	75,8	76,1	76,0	0,2
BBSG 0/10	10	75	79,6	77,4	1,6
ECF	4	75,7	79,9	77,7	1,7
BBTM 0/10	22	74,6	80,1	78,1	1,5
BBUM 0/10	5	74,5	80,2	78,3	2,4
BBSG 0/14	14	77,7	80,9	79,2	1,1
BBTM 0/14	7	78,5	82,5	79,6	1,4
ES 6/10	7	79	81,2	80,5	0,7
BC	7	78,8	83	80,9	1,6
ES 10/14	12	79,5	84,5	81,9	1,4

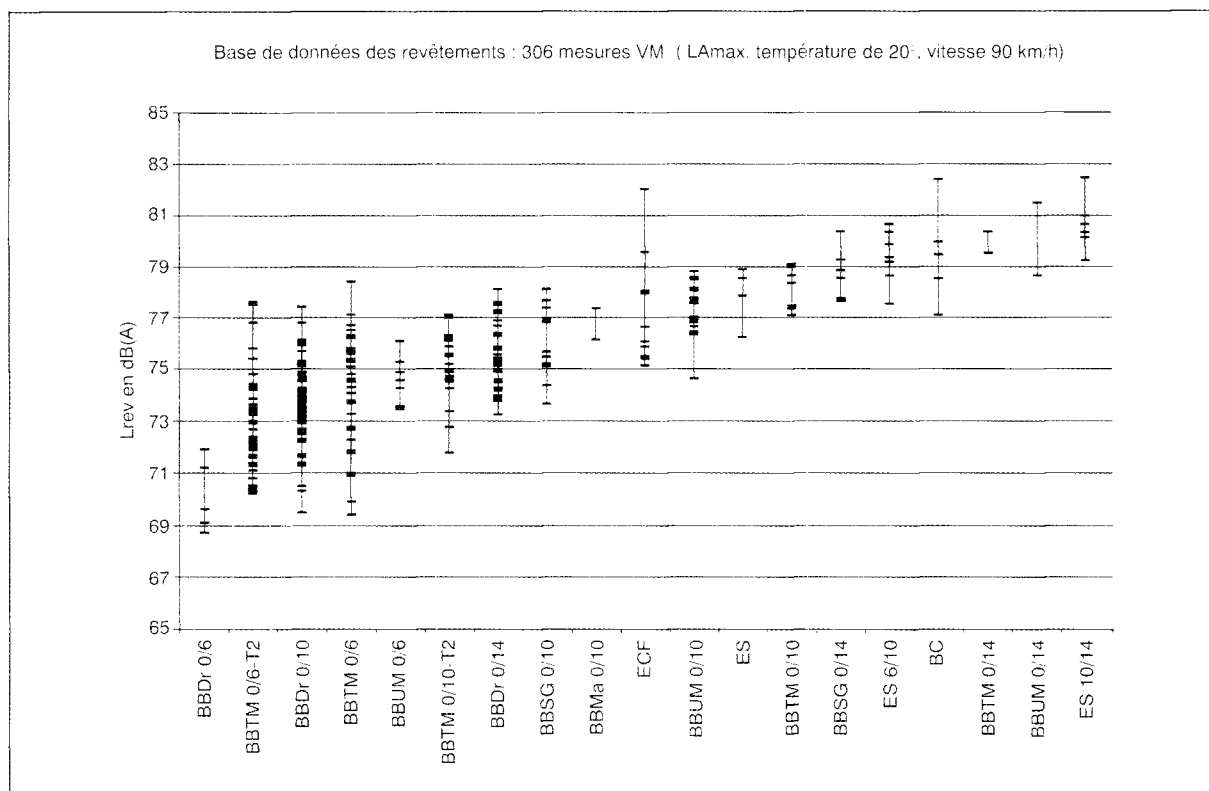


Fig. 5 - Mesures la base VM.

TABLEAU IV
Statistiques L_{rev} (90 km/h), VM

Revêtement	Nombre de mesures	Minimum en dB(A)	Maximum en dB(A)	Moyenne en dB(A)	Écart type en dB(A)
BBDr 0/6	2	72,1	73,2	72,6	0,8
BBTM 0/6-T2	17	71,2	77,2	73,0	1,5
BBUM 0/6	7	72,1	75,5	73,4	1,1
BBDr 0/10	29	69	76,9	73,5	1,9
BBTM 0/6	8	71,3	77,8	74,5	1,9
BBTM 0/10-T2	5	73,14	76,4	75,1	1,2
BBDr 0/14	2	75,8	76,1	76,0	0,2
BBSG 0/10	10	75	79,6	77,4	1,6
ECF	4	75,7	79,9	77,7	1,7
BBTM 0/10	22	74,6	80,1	78,1	1,5
BBUM 0/10	5	74,5	80,2	78,3	2,4
BBSG 0/14	14	77,7	80,9	79,2	1,1
BBTM 0/14	7	78,5	82,5	79,6	1,4
ES 6/10	7	79	81,2	80,5	0,7
BC	7	78,8	83	80,9	1,6
ES 10/14	12	79,5	84,5	81,9	1,4

Analyse du contenu de la base

À la lecture de ces tableaux, on observe que le niveau sonore est d'autant plus élevé que la granulométrie d'un revêtement est forte. Par exemple, L_{rev} moyen de BBTM 0/6 est inférieur à L_{rev} moyen de BBTM 0/10, lui-même inférieur à L_{rev} moyen de BBTM 0/14.

On constate par ailleurs que, pour un revêtement donné, l'étendue des valeurs de L_{rev} à 90 km/h peut être importante (par exemple, les niveaux sonores mesurés selon la procédure VM sur un revêtement BBTM 0/6 sont compris entre 69,4 et 78,4 dB(A)).

On pourrait croire que la disparité des valeurs de L_{rev} est due à d'anciennes valeurs, mesurées au début de l'application de la norme. En fait il n'en est rien. Bien que la base de données contienne des mesures effectuées depuis 1988, une étude comparant les données récentes (réalisées après 1994) avec toutes les données contenues dans la base, a montré que les données les plus anciennes étaient cohérentes avec les mesures les plus récentes (la hiérarchie des revêtements, en terme d'émission, est conservée, les écarts des

moyennes des niveaux sonores par revêtement sont faibles, les valeurs plus anciennes ne sont pas forcément les maximums ou les minimums des valeurs de L_{rev}).

L'importance de l'étendue des valeurs de L_{rev} à 90 km/h peut s'expliquer de plusieurs manières. On peut invoquer par exemple, l'hétérogénéité du revêtement, ou son usure. Cette étendue peut s'expliquer par le fait que les revêtements ont été mesurés à des âges différents, ou encore par une différence de mise en œuvre et de composition du mélange.

Âge des revêtements

Base de données

D'après la figure 6, on constate que les mesures de la base de données réalisées selon les procédures VI et VM ont été effectuées plus souvent sur des revêtements jeunes (moins de deux ans après la mise en œuvre). Cependant, l'âge des revêtements a une influence sur le niveau sonore mesuré.

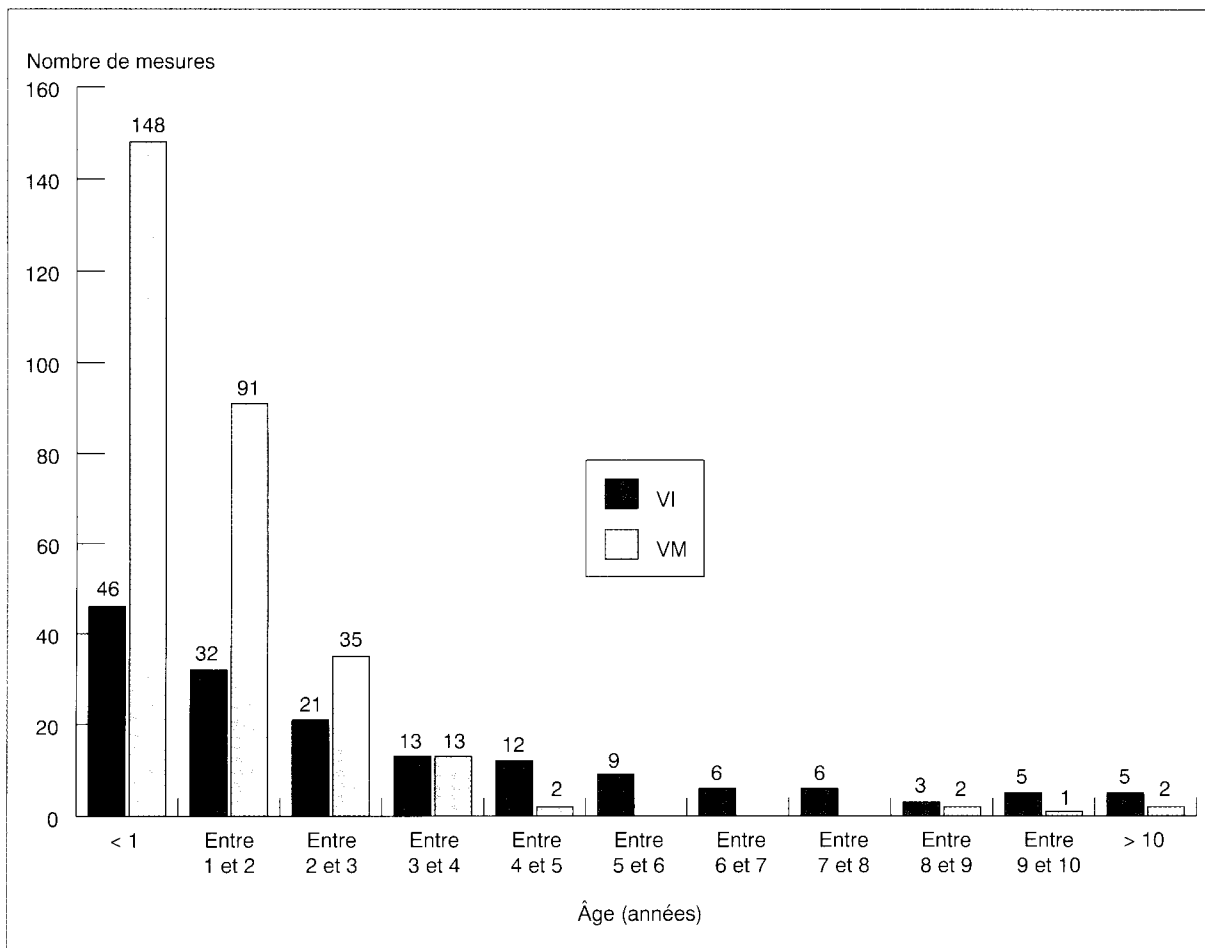


Fig. 6 - Nombre de mesures VI/VM et VM disponibles dans la base, en fonction de l'âge de revêtement.

Étude de l'influence de l'âge sur le niveau sonore

Des études complémentaires sont actuellement en cours au Laboratoire de Strasbourg concernant les revêtements anciens (âgés de plus de trois ans). Elles permettront de fournir des valeurs d'émission adaptées qui pourront être introduites dans les modèles de prévision répondant au contexte réglementaire actuel (niveau sonore à ne pas dépasser à un horizon éloigné). Une étude consiste à réaliser des mesures selon la procédure VI sur des revêtements anciens, et de les comparer aux mesures sur revêtement de moins de trois ans. Elle se déroule sur deux ans, afin qu'un maximum de revêtements puisse être mesuré. Au cours de la première partie de l'étude, quatre techniques routières (ES, BBSG 0/14, BBTM 0/10-de type 1, BBDr 0/10) ont été étudiées. Il semble que les niveaux sonores obtenus sur revêtements anciens soient, en moyenne, semblables aux revêtements de moins de trois ans. Les étendues sont également du même ordre de grandeur et on ne remarque pas d'évolution en fonction de l'âge du revêtement, que ce soit pour les VL ou les TR.

Pérennité des performances acoustiques des revêtements

La base de données « bruit de roulement » permet de suivre l'évolution temporelle du niveau L_{rev} (90 km/h) des planches qui ont été mesurées à plusieurs reprises. En effet, une étude a consisté à exploiter les niveaux sonores de ces planches, généralement mesurées juste après leur mise en œuvre, puis quelques années plus tard. Dans cette analyse, ont été séparées les mesures effectuées sur routes à fort trafic (autoroutes et routes nationales à quatre voies), et les routes à plus faible trafic (routes nationales à deux voies et routes départementales).

Autoroutes et routes nationales à quatre voies

Dans le cadre des mesures de suivi selon la procédure VI, pour un BBDr répandu sur voie autoroutière, on constate que le niveau sonore a tendance à augmenter avec le temps, quels que soient le type de véhicule et la procédure de mesure. À titre d'exemple, le graphe de la figure 7 présente l'évolution de la valeur du L_{rev} (90 km/h) des mesures réalisées sur des revêtements BBDr 0/10 selon la procédure VI/VL.

Remarque : Afin de faciliter la compréhension de la représentation graphique, les points mesurés sur une même planche sont reliés par un trait, mais on ne suppose pas que l'évolution soit linéaire. On observe que les écarts entre la mesure à l'état initial et la mesure à un âge plus avancé peuvent atteindre des valeurs très élevées (4 à 5 dB(A)).

Dans le cadre des mesures de suivi selon la procédure VM, sept mesures parmi les dix dont on dispose pour les revêtements drainants présentent une augmentation du L_{rev} . On note toutefois que pour deux d'entre elles, l'augmentation n'a lieu qu'après une légère baisse à 1,5 ans (fig. 8). L'évolution en termes de niveau sonore montre que les trois mesures de suivi pour lesquels le niveau diminue avec le temps correspondent à des revêtements pour lesquels la mesure initiale était forte : supérieure à 76 dB(A), alors que la moyenne des BBDr 0/10 dans la base de données VM est de 73,5 dB(A). On remarque de même que les augmentations dans le temps les plus fortes se retrouvent toujours pour des revêtements dont le niveau L_{rev} initial était relativement faible par rapport à la valeur moyenne du revêtement considéré dans la base de données. Il résulte de ceci que l'étendue des résultats diminue au cours du temps.

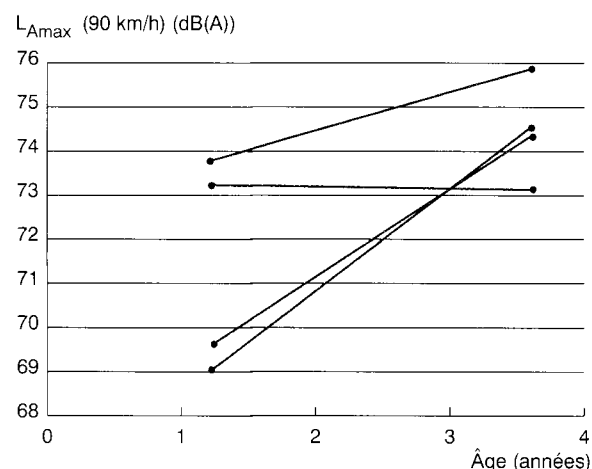


Fig. 7 - Suivi du vieillissement du BBDr 0/10 sur autoroute (VI/VL).

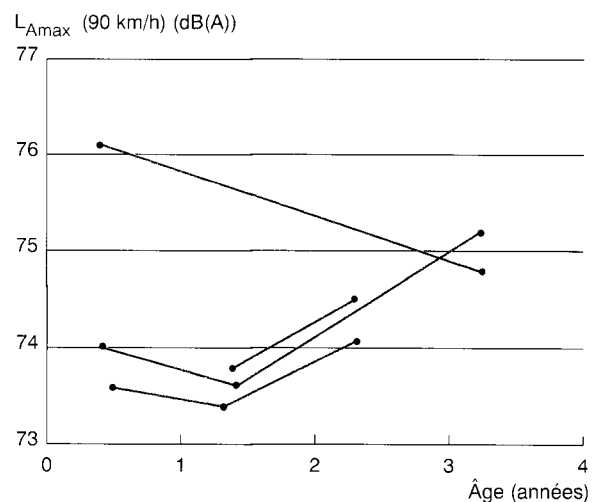


Fig. 8 - Exemples de suivi du vieillissement du BBDr 0/10 sur autoroute (VM).

Une étude de l'évolution des spectres a consisté à représenter, par bande de fréquence, l'écart entre le premier spectre mesuré et le spectre mesuré à un âge plus avancé. Elle montre que les moyennes fréquences (correspondant au maximum d'énergie du L_{rev}) sont principalement responsables de l'augmentation du niveau sonore global. On observe également une augmentation dans les hautes fréquences pour les mesures réalisées selon la procédure VM (fig. 9).

Les cycles de compression/détente de l'air qui se manifestent à l'interface du pneumatique et de la chaussée, dits « phénomène de compression/détente » (air pumping), peuvent être décrits comme la mise en vibration de l'air proche de la surface du pneumatique, ce qui se traduit par une émission acoustique en moyennes et hautes fréquences (annexe 1). L'effet dièdre (surface de la chaussée et du pneumatique) amplifie le phénomène de compression-détente puisqu'il favorise la propagation des sons. Comme, en principe, les revêtements poreux absorbent les bruits, on peut supposer que l'augmentation de niveau sonore est en partie due au colmatage du revêtement BBDr.

Quelquefois, le niveau global diminue avec le temps. Ceci s'explique par le fait que l'augmentation de l'énergie des moyennes fréquences est compensée par une diminution aux basses fréquences. Ces phénomènes correspondent principalement aux bruits de chocs. On peut conclure à une diminution des irrégularités de la chaussée, donc à une mise à plat des granulats sur la bande de roulement.

En ce qui concerne les revêtements non drainants, dix mesures réalisées selon la procédure

VM sur les revêtements BBTM 0/6 et BBTM 0/10 montrent en général une diminution de la valeur du L_{rev} avec le temps. Bien qu'il soit difficile de conclure d'après l'évolution des spectres, il semblerait que la diminution du niveau global soit due, comme pour le cas précédent, à la modification des phénomènes à basses fréquences (bruits de chocs, voir annexe 1), et moyennes fréquences.

Routes nationales à deux voies et routes départementales

La base de données ne contient pas de données pour les Poids Lourds pour ce type de voie.

Le faible nombre de valeurs VI disponibles pour les véhicules de catégorie VL ne permet pas de dégager de tendance (parmi quatre mesures sur BBTM 0/6, deux évolutions montrent une augmentation, deux autres montrent une diminution du L_{rev} au cours du temps). Toutefois, des tendances semblables à celles trouvées pour les voies autoroutières ont été remarquées (diminution de l'étendue des niveaux sonores au cours du temps).

Quatre types de revêtement ont fait l'objet de suivi de vieillissement sur ce type de route, suivant la procédure de mesure VM : BBDr 0/10, BBTM 0/10, BBUM 0/6 et 0/10. Sur les neuf mesures de suivi recensées dans la base, on observe une seule diminution du niveau sonore dans le temps (très faible), les huit autres montrant une augmentation, ou une stabilisation du niveau sonore. On peut noter que l'évolution dans le temps peut être très forte : 4 à 5 dB(A).

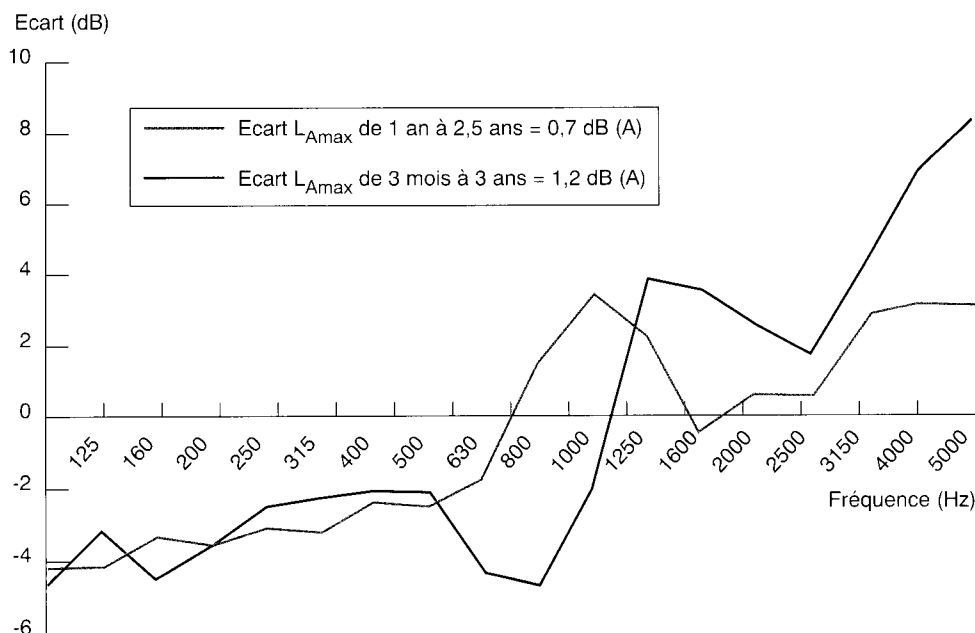


Fig. 9 - Évolution de spectres (mesures VM, BBDr 0/10, route nationale à 4 voies).

La figure 10 montre l'évolution spectrale des suivis présentant les deux plus fortes augmentations de niveau global.

L'augmentation de niveau est principalement due aux moyennes fréquences (fréquences les plus contributantes au L_{rev}). Mais elle est également due aux hautes fréquences (phénomène de compression/détente et effet de dièdre, voir annexe 1), particulièrement dans le cas du revêtement drainant, ce qui correspondrait à son colmatage.

Conclusion

D'une manière générale, le niveau sonore sur revêtement BBDr 0/10 tend à augmenter avec le temps (sur quatre ou cinq ans), quel que soit le trafic (mais les mesures concernent essentiellement les autoroutes). Cette augmentation peut s'expliquer par le colmatage du revêtement. Les mesures VM semblent montrer que le niveau sonore des autres revêtements (type BBTM ou BBUM) augmente avec le temps sur les routes à faible trafic, et diminue sur autoroutes et routes nationales à quatre voies.

Les fortes variations dans le temps n'ont pas pu être expliquées par le simple fait que la correction en température pouvait être imprécise. En effet, la plupart des différentes mesures ont été réalisées dans des conditions de température proches.

Par contre, ces fortes variations correspondent souvent à une valeur initiale élevée par rapport à la valeur moyenne de la base de données dans le cas d'une diminution du niveau sonore, et à une valeur initiale faible par rapport à la base de données dans le cas d'une augmentation du niveau sonore.

On remarque que les niveaux d'émission évoluent dans le temps et tendent à converger, c'est-à-dire que l'étendue des mesures par type de revêtement est plus faible à deux ou trois ans qu'à six mois.

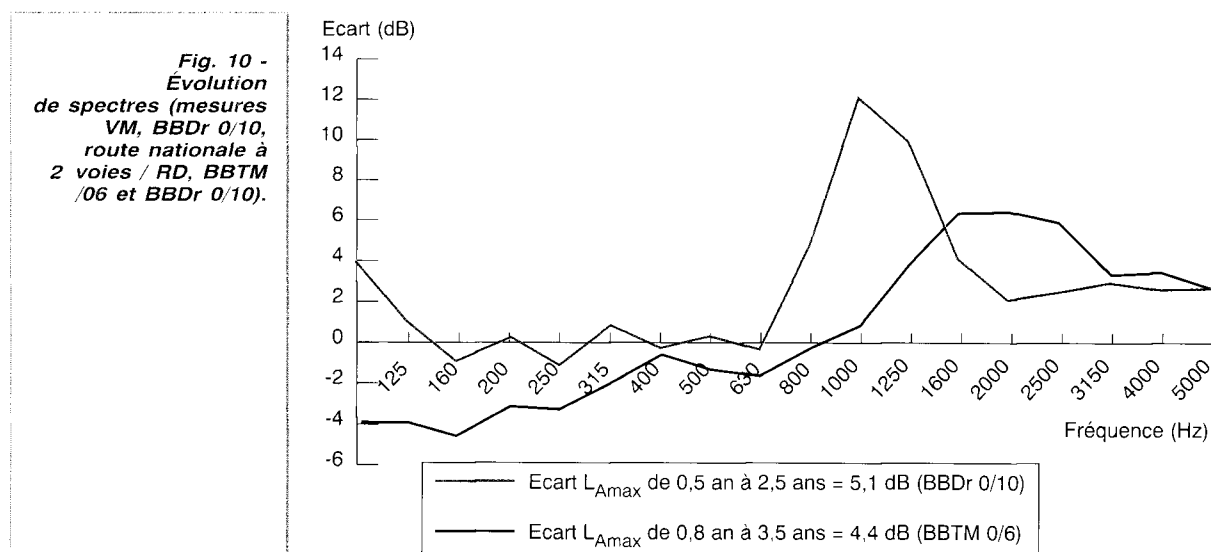
Évaluation acoustique des revêtements

Une autre application possible de la base de données du Laboratoire de Strasbourg est l'évaluation acoustique des revêtements. Elle consiste à comparer des résultats de mesures effectuées sur un même revêtement, le même jour, en des endroits différents. La comparaison est effectuée sur la valeur du L_{Amax} (90 km/h) à 20 °C, sur des mesures VI et des mesures VM. Dans la base de données, nous disposons de quatre couples de mesures VI réalisées dans ces conditions (sur revêtement BBDr 0/10), et de vingt couples de mesures VM (sur revêtement BBDr 0/10 et BBTM 0/6).

L'étude de ces comparaisons montre que les écarts entre les deux mesures restent faibles : environ 1 dB(A) en moyenne, sans excéder 3 dB(A). Cette moyenne est supérieure ou égale aux valeurs de répétabilité des procédures VM ($r = 0,7$ dB(A)) et VI ($r = 1$ dB(A)). Ce résultat est obtenu quelle que soit la procédure de mesure (VI ou VM). Cependant, pour chaque revêtement testé, les différentes comparaisons ont été réalisées sur une même voie, ce qui peut nuire à la représentativité des échantillons de mesure.

L'étude portant sur l'évaluation acoustique des revêtements a montré qu'il serait souhaitable d'effectuer plus de deux mesures pour évaluer un revêtement.

L'écart entre les mesures effectuées sur un même revêtement, le même jour, en des endroits différents, peut expliquer en partie l'étendue des niveaux sonores que l'on observe pour un revêtement donné. Il montre en effet que la mise en œuvre et l'hétérogénéité de la composition peuvent influencer sur le niveau sonore.



ANNEXE 1

Mécanismes de la génération du bruit de contact pneumatique/chaussée

Les phénomènes mis en jeu se manifestent à l'interface du pneumatique et de la chaussée, lors du roulement [3] :

- **Les bruits de chocs**

Ils sont produits par les éléments du pneu qui viennent heurter la chaussée. Ce facteur de bruit est d'autant plus important que la route est irrégulière. Ce phénomène génère du bruit dans les basses et moyennes fréquences (125 à 1 000 Hz).

- **La compression-détente**

Les cycles compression/détente de l'air qui se manifestent à l'interface du pneumatique et de la chaussée, dits phénomènes d'air pumping, peuvent être décrits comme la mise en vibration de l'air proche de la surface du pneumatique sous l'action de contraintes dues aux déformations du pneumatique, lorsque celui-ci s'approche de la zone de contact avec la chaussée ou lorsqu'il la quitte. Ces vibrations de l'air se traduisent par une émission acoustique dans les domaines de moyennes et hautes fréquences (1 000 à 3 000 Hz).

La surface de la chaussée et celle du pneumatique, à l'avant et à l'arrière de la zone de contact, constituent des dièdres acoustiques favorables à la propagation des sons (fig. 11).

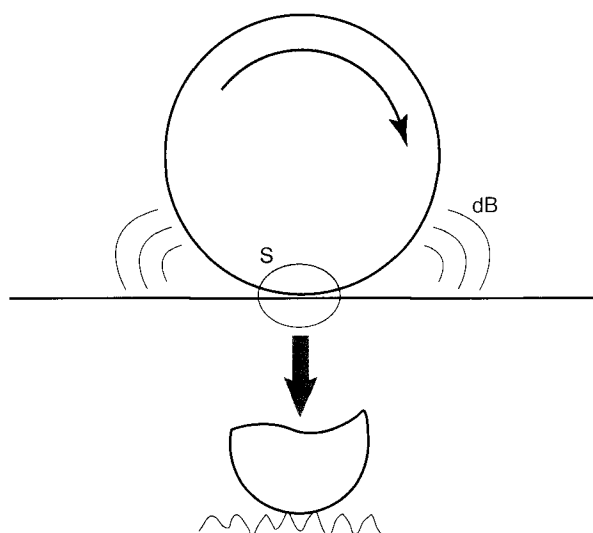


Fig. 11 - Contact pneumatique/chaussée.

- **Le phénomène « adhérence-rupture d'adhérence » (« slip and stick »)**

Le pneumatique se déforme au contact de la chaussée, et une adhésion se forme entre la gomme et les gravillons. La sortie de cette zone de contact se fait de façon irrégulière, avec une succession de cycles « adhérence-rupture d'adhérence ». Ce phénomène génère des bruits dans le domaine des basses et moyennes fréquences.

La combinaison de tous ces phénomènes (aspect vibratoire et résonance de l'air) explique l'émission du bruit de contact pneumatique/chaussée.

Note : En ce qui concerne les revêtements poreux, l'absorption due aux cavités entraîne une diminution de l'effet dièdre, les phénomènes de « mise à plat » des granulats dus à l'usure impliquent une réduction des bruits de chocs.

Conclusion

La base de données « bruit de roulement » du Laboratoire de Strasbourg continue à être alimentée, pour être utilisée dans de nombreuses applications et ainsi améliorer la connaissance du bruit pneumatique/chaussée. Elle est notamment utilisée dans le cadre de la révision des abaques d'émission sonore du « Guide du Bruit », qui présentent le niveau sonore en fonction de la vitesse. Ce guide propose des abaques d'émission de véhicules (VL et PL) selon :

- la nature de l'écoulement (fluide continu, pulsé différencié, pulsé accéléré, pulsé décéléré),
- le profil en long (horizontal, montée, descente).

Les abaques proposés à partir des valeurs extraites de la base seront établis pour une route en palier, à une allure stabilisée, pour les véhicules de catégorie VL et TR. L'exploitation de la base de données « bruit de roulement » permettra d'actualiser ces abaques d'émission en fonction du type de revêtement. Ceux-ci seront préalablement classés en trois catégories, en suivant une méthode statistique.

Par ailleurs, la mesure du bruit de roulement au passage fait l'objet de la norme ISO 11819 partie 1, qui propose une méthode voisine de la procédure VI de la norme S 31-119 et qui deviendra à terme européenne. En complément, un groupe de normalisation international prépare

la partie 2, permettant des mesures de grand rendement du bruit de roulement à proximité d'une roue de véhicule à l'aide d'une instrumentation embarquée.

Ces méthodes décrivent des mesures à proximité de la route. Il est cependant intéressant de connaître les niveaux sonores à plus grande distance, au niveau des façades des riverains. Des recherches sont actuellement en cours afin d'estimer le bruit produit par le trafic en champ lointain, à partir du bruit émis par les véhicules.

Quelques sigles utiles

BBDr	Béton bitumineux drainant
BBSG	Béton bitumineux semi-grenu
BBTM	Béton bitumineux très mince
BBUM	Béton bitumineux ultra mince
ES	Enduit superficiel
ECF	Enrobé coulé à froid
BC	Béton de ciment

_____ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES _____

- [1] Der Bundesminister für Verkehr (1992), *Verfahren zur Messung der Geräuschemission von Strassenoberflächen (GEStrO - 92)*.
- [2] NF ISO 5725 parties 1 et 2 (1994), *Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure*, décembre.
- [3] BAR P., DELANNE Y. (1993), *Réduire le bruit pneumatiques/chaussées*, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 268 pages.

ABSTRACT

« Pass-by » measurements of tyre - road contact noise : methodology and application to the evaluation of the acoustic performance of road surfacings

B. DULAU - S. DOISY - J.-P. HAETTEL

Rolling noise, which is the principle source of noise for vehicles travelling at over 60 km/h, is currently measured using the pass-by method described in the French standard S 31-119. This standard lays down procedures for in-situ near field noise measurements in the case of isolated vehicles and four specified vehicle and tyre configurations. The aim of these procedures is to compute the noise level for a given level of traffic, characterize pavements or rate different highway construction technologies. In order to validate the reproducibility and repeatability of these two procedures, parallel studies have been conducted in different laboratories. All the measurements made according to the standard S 31-119 by the Laboratoires des Ponts et Chaussées were then stored in a data base to permit statistical analyses, investigate change in noise levels with the age of the surfacing, or appraise different surfacings from the acoustic point of view.