

Cette classification permet actuellement d'avoir une bonne appréciation de l'impact d'une couche de roulement sur l'environnement sonore. Cependant, la méthode employée est restrictive puisqu'elle ne concerne qu'un seul point de mesure par planche. Afin d'avoir une idée plus globale des caractéristiques sonores d'un tronçon routier au sens d'un étiquetage des équipements de la route, probablement préconisé par l'Europe dans les années futures, d'autres types de procédures de mesure doivent être mis en place. Une mesure en continu du bruit de roulement pourrait être une de ces procédures.

Vers une méthode de mesure du bruit de roulement en continu

Quand il s'est agi de quantifier l'impact d'une nouvelle couche de roulement au sens de son environnement sonore, il était nécessaire de mettre en place une méthode qui permette de considérer à la fois l'impact des véhicules légers ainsi que celui des poids lourds. C'est dans cette optique que les méthodes de mesure dites «au passage» pour lesquelles le microphone de mesure est positionné à 1,20 m au-dessus de la surface de chaussée et à 7,50 m de l'axe de la voie de circulation, ont été élaborées. Ces méthodes, qui plus tard ont fait l'objet de normes françaises [2, 3] et ISO [4] ont montré toutes leurs potentialités ainsi que leurs limites. Au titre des avantages, ces méthodes sont répétables ($r = 0,7$ dB (A)) et reproductibles ($R = 1,6$ dB (A)) [5]. De plus, elles permettent de recalculer un niveau sonore équivalent en façade à partir de la connaissance de la composition du trafic. En revanche, les limitations principales concernent tout particulièrement les conditions de site (méthode inutilisable en espace non totalement ouvert comme par exemple, le milieu urbain) et la représentativité d'un seul profil de mesure par rapport à l'intégralité du tronçon de voie.

Dans le but de palier un certain nombre de ces inconvénients, une méthode de mesure du bruit de roulement en continu a été envisagée tant en France qu'à l'étranger.

Divers développements en France

Après quelques tentatives infructueuses du LCPC dans les années 80-85, le Laboratoire régional de L'Est parisien, en collaboration avec les services techniques de la Ville de Paris, a poursuivi ses investigations. Ainsi, un véhicule a été instrumenté. Un unique microphone est positionné à 80 cm derrière la roue arrière située du côté opposé à l'échappement, et à 15 cm au-dessus de la chaussée, à l'intérieur du dièdre constitué de la zone comprise entre la surface du pneumatique et la surface de chaussée. Un unique pneu d'essai est utilisé.

Les vitesses des différents passages s'échelonnent autant que possible dans un domaine de l'ordre de ± 15 km/h autour de la vitesse de référence, fixée à 50 km/h pour un axe urbain et 90 km/h pour un axe interurbain ou une voie rapide. Le niveau sonore à la vitesse de référence est calculé par une régression en fonction du logarithme de la vitesse selon le même principe que les méthodes au passage [3]. La répétabilité de la mesure est de l'ordre de 0,5 dB (A). Étant donné le nombre réduit de ces véhicules, sa reproductibilité n'a pas encore été évaluée à ce jour.

Par cette méthode, une classification qualitative des couches de roulement quasi identique à celle des méthodes «au

passage» a été trouvée. Toutefois, il est à noter que, pour une même famille de revêtements, le niveau sonore mesuré par cette technique est supérieur d'environ 20 dB (A) à celui mesuré «au passage».

En vue de fiabiliser cette méthode, des travaux de recherches complémentaires sont actuellement en cours au sein du Réseau des ponts et chaussées et feront l'objet d'une attention particulière dans la suite de l'article.

Parallèlement à ces recherches, d'autres véhicules ont été instrumentés par des sociétés routières et autoroutières suivant des procédés relativement similaires. Ces trois systèmes expérimentaux ont fait l'objet d'essais comparatifs sur diverses planches de l'autoroute A71, entre Vierzon et Bourges. Un résumé des résultats sera donné au paragraphe suivant.

Une première tentative de normalisation internationale

Dans un même temps, d'autres équipes en Europe, au Japon, en Australie et aux USA ont poursuivi des recherches sur les mesures en continu du bruit de contact pneumatique/chaussée. Contrairement à la position française, elles ont principalement développé des systèmes à partir d'une remorque tractée. Seuls les Japonais ont pratiqué les deux approches (véhicule instrumenté et remorque).

À partir de ces travaux, un groupe de travail de l'ISO a été constitué. Il étudie actuellement la définition d'une mesure en continu du bruit de roulement (projet ISO 11819 - 2 [6]). Cette méthode serait applicable soit avec une remorque (dotée en général d'un capotage anéchoïque), soit avec un véhicule instrumenté.

Au stade actuel d'avancement des travaux, le projet de norme prévoit la mesure simultanée du bruit par deux microphones situés en avant et en arrière du pneumatique, à 45 degrés par rapport à l'axe de la roue, à 28 cm de la zone de contact pneumatique/chaussée et à 10 cm au-dessus de la chaussée. Le résultat d'une mesure est la moyenne des niveaux sonores enregistrés par les deux microphones. Les pneumatiques d'essai utilisés sont au nombre de 2 ou 4 selon l'option choisie par l'opérateur.

Le niveau sonore à la vitesse de référence (50, 80 ou 110 km/h) est calculé soit par application d'une correction de vitesse forfaitaire, soit par une régression en fonction du logarithme de la vitesse selon le même principe que les méthodes au passage. Le niveau sonore caractéristique de chaque pneumatique est fourni séparément. Un indice global peut également être exprimé par combinaison des résultats des différents pneumatiques. Enfin, l'écart-type des résultats de chaque tronçon, autour de la moyenne représentative de la section, peut être calculé. La répétabilité de la méthode serait de l'ordre de 0,5 dB (A). Sa reproductibilité n'est en revanche pas connue à ce jour.

Cette norme n'est encore qu'à l'état de projet, et son contenu est susceptible d'évoluer jusqu'à sa publication, qui n'interviendra pas, en tout état de cause, avant 2004.

Une première approche expérimentale [7]

Sous l'égide de l'IREX (Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en génie civil), une campagne de mesures comparatives a été réalisée en juin 2001, sur 4 planches de revêtements différents situés sur l'autoroute A71 : un

Béton Bitumineux Semi-Grenu 0/14 (BBSG 0/14), un Béton Bitumineux Très Mince 0/10 de type 1 (BBTM 0/10), un Béton Armé Continu (BAC) et un Béton Bitumineux Drainant 0/6 (BBDr 0/6). L'objectif de cette campagne d'essais croisés était de comparer d'une part, les résultats obtenus avec 4 équipements permettant d'effectuer une mesure en continu du bruit de roulement et d'autre part, de comparer les spectres sonores en champ proche du pneumatique avec ceux en champ proche de la voie routière (Méthode de mesure «au passage» [4]).

Parmi les matériels de mesure mis en œuvre, 3 correspondaient à des véhicules légers (VL) et 1 à un véhicule lourd (PL). Deux des véhicules légers (ceux du LREP et de la Ville de Paris) utilisaient un microphone placé à l'arrière du pneumatique comme mentionné au paragraphe précédent, tandis que le troisième (celui du groupe COLAS) utilisait une configuration proche des positions préconisées dans le projet de norme ISO (à 20 cm sur le côté du pneumatique). Concernant le véhicule lourd, il s'agissait du système SIRANO de la société SAMRA pour lequel deux antennes de 4 microphones sont situées autour de l'essieu arrière gauche, à 12 cm de la surface de chaussée. Parallèlement à ces essais, une mesure en bord de voie [4] sur les quatre sessions concernées a été réalisée par le LCPC.

De l'ensemble des résultats de cette expérimentation, exprimés en niveaux globaux pondérés A, il est possible de tirer les premières conclusions suivantes :

- Les revêtements choisis sont bien représentatifs de leur famille respective (les valeurs obtenues par la méthode au passage ne sont pas éloignées de plus de 1,5 dB (A) des valeurs moyennes de la base de données du LRPC, tant pour les véhicules légers que pour les poids lourds).
- La classification des revêtements est respectée, quelle que soit la technique de mesure mise en œuvre (deux revêtements extrêmes : le BBDr 0/6 le plus silencieux et le BAC le plus bruyant et deux revêtements proches : le BBSG 0/14 et le BBTM 0/10).
- Si l'on compare l'ensemble des résultats au revêtement de référence (BBSG 0/14), nous constatons que les différentes méthodes fournissent des écarts homogènes, à l'incertitude de mesure près, pour les revêtements fermés alors que les variations des écarts sont beaucoup plus importantes (> 4 dB(A)) pour le matériau poreux.

Afin d'expliquer ces différences, nous avons analysé en détail les spectres sonores, normalisés à 0 à la fréquence de 1 000 Hz, obtenus avec les véhicules légers (VL), pour un revêtement dense (par exemple BBSG 0/14), sur la Figure 2 et pour un revêtement poreux (BBDr 0/6), sur la Figure 3.

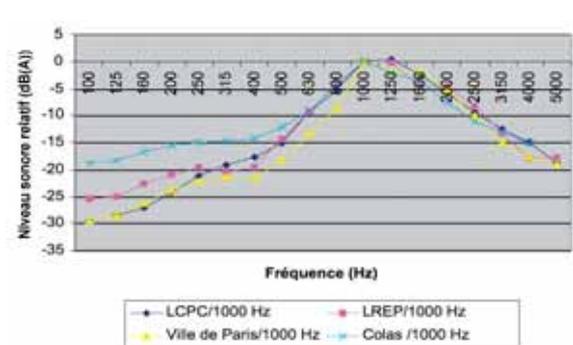


Fig. 2 : Spectres « VL » BBSG 0/14

Sur la figure 2, représentative d'un revêtement dense, nous observons une bonne correspondance sur l'ensemble du spectre, quelle que soit la méthode de mesure («au passage» ou «à proximité du pneumatique»), mis à part en basse fréquence pour le véhicule équipé de microphones positionnés sur le côté du pneumatique.

En revanche, pour le revêtement poreux, outre le phénomène «basse fréquence» identique à celui déjà mentionné ci-dessus, nous observons sur la figure 3 des différences significatives pour les 1/3 d'octave compris entre 1000 et 2500 Hz. Ces différences sont dues à l'effet d'absorption qui est très variable en fonction d'une part, de la distance entre la zone de contact et le microphone de mesure et d'autre part de l'angle d'incidence. Ce phénomène d'absorption très marqué lorsque le microphone est positionné dans le dièdre, a été modélisé par ailleurs [8].

Cette première analyse des résultats montre qu'en valeurs relatives, la position du ou des microphone(s) de mesure n'a qu'une faible importance lorsque la mesure est effectuée sur un revêtement dense. En revanche, cette dernière est primordiale lorsque la mesure est effectuée sur un revêtement poreux. Sachant que ces types de revêtement représentent la classe des revêtements peu bruyants mis en place pour améliorer l'environnement sonore des routes, il devient nécessaire d'avoir rapidement une méthode commune et fiable capable de qualifier la totalité des couches de roulement pour l'ensemble des situations tant périurbaines qu'urbaines. Ce travail, en cours au sein du réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées, est amplement développé au cours des paragraphes suivants.

L'approche du réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées

Le Laboratoire central des ponts et chaussées ainsi que 4 laboratoires régionaux (Clermont-Ferrand, Est parisien, Lille et Strasbourg) se sont unis afin de développer et fiabiliser une méthode de mesure du bruit de roulement en continu :

- applicable sans restriction de site, notamment en milieu urbain,
- permettant la localisation des hétérogénéités acoustiques,
- permettant une évaluation locale (à l'échelle d'une planche de quelques centaines de mètres) ou globale sur un linéaire de plusieurs kilomètres.

Cette méthode doit satisfaire en outre les qualités générales suivantes :

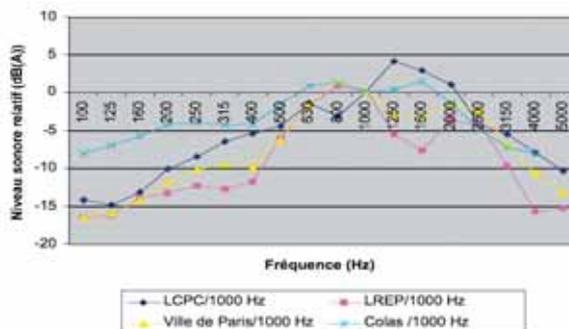


Fig. 3 : Spectres « VL » BBDr 0/6

- être fiable,
- être pertinente et cohérente avec la méthode au passage,
- être bon marché,
- être consensuelle en France et conforme aux éventuelles futures dispositions européennes.

Principes des développements

Le principe qui a été adopté est de retenir comme base de départ la configuration du véhicule du LREP, d'y apporter des améliorations nécessaires, et de déterminer la fiabilité et la pertinence de la méthode. Ceci implique de travailler sur un véhicule léger instrumenté, acceptant des pneumatiques de 195 mm de large (la taille des pneumatiques est un paramètre important dans la génération de bruit). Un microphone est monté au voisinage du pneumatique arrière, dans le dièdre arrière. Deux autres microphones sont introduits à proximité du flanc extérieur du pneumatique afin de tester les dispositions préconisées par le projet de norme ISO [6] (Fig. 4). Ces trois positions ne seront pas forcément définitives s'il s'avère que certaines sont superflues. Par ailleurs, le bruit de roulement étant fortement dépendant du type de pneumatique et de véhicule, les 5 laboratoires ont choisi de travailler dans un premier temps avec le même type de pneumatiques et si possible avec le même type de véhicule, afin de s'affranchir de ces paramètres dans un premier temps.

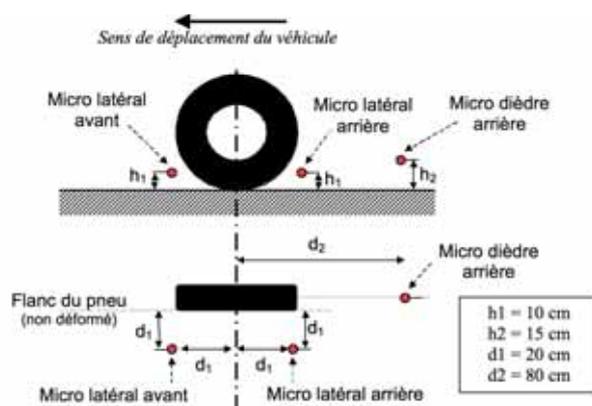


Fig. 4 : Positions des 3 microphones (micro arrière idem LREP, micros latéraux idem projet ISO)

Un diagnostic de l'actuelle méthode LREP a été réalisé en 2000. Une critique essentielle concernait l'échantillonnage

par pas de temps constants (2,56 s) de l'analyse. Ainsi pour chaque passage du véhicule sur une planche routière, on obtenait une série de couples (LAeq, V), où LAeq est le niveau de bruit équivalent pondéré A sur 2,56s, et V la vitesse moyenne sur ce même intervalle de temps. En fonction de la vitesse, ces couples correspondaient à des longueurs de revêtement différentes, dont la localisation n'était pas connue avec précision. Une estimation du niveau de bruit équivalent sur des pas de distance constants Δm . serait plus rationnelle, et permettrait la localisation spatiale des événements acoustiques. Elle serait d'ailleurs conforme au projet de norme ISO [6]. Par ailleurs, un certain nombre de fonctionnalités du système de mesure nécessitaient d'être automatisées et modernisées pour rendre la méthode moins lourde et donc moins coûteuse. La définition du nouveau système a donc intégré les principes suivants :

- permettre un positionnement spatial rigoureux des sections élémentaires de revêtements testées :
- échantillonnage par longueur élémentaire constante de revêtement;
- déclenchement de la mesure automatique,
- synchronisation des 3 voies microphoniques,
- suivi en temps réel sur site des signaux acoustiques,
- automatisation du repérage des signaux parasites, codage des événements extérieurs.

Matériel développé

Les capteurs et leur système de fixation

L'ensemble des capteurs est donc constitué de 3 microphones et d'une cellule infrarouge permettant de déclencher automatiquement l'acquisition. L'information tachymétrique permettant de connaître la distance parcourue et calculer la vitesse en temps réel, est prise directement au niveau du tableau de bord du véhicule. Le système de fixation des capteurs extérieurs est constitué de barres amovibles de type ailettes d'aérodynamisme sur lesquelles se fixent les microphones. Ces barres sont reliées au véhicule par une pièce fixée au véhicule, qui assure par ailleurs le réglage fin de la position des barres et des microphones (Fig. 5). L'ensemble du dispositif a été conçu pour assurer une stabilité suffisante des microphones (faibles vibrations), une transparence acoustique et aérodynamique maximale (minimisation des turbulences et réflexions acoustiques), et une grande souplesse d'utilisation lors du montage/démontage des capteurs.



Fig. 5 : Véhicule instrumenté et détails du montage des capteurs

Le système d'acquisition

Il comprend une carte d'acquisition et un logiciel de pilotage, analyse en temps réel des signaux et stockage des résultats. La particularité de ce système développé par la société 01 dB-Stell, est de mesurer sur les 3 voies acoustiques, un niveau de bruit et son spectre intégrés par pas de distance constants. Ces pas de distance sont fournis par l'indication tachymétrique et peuvent varier du demi-tour de roue (environ 1 m) pour une mesure fine, à plusieurs tours de roue pour une mesure à grand rendement. Les spectres par échantillons ainsi que la vitesse sont affichés en temps réel pour permettre lors de la mesure la détection d'éventuelles anomalies, et stockés dans un fichier. Une quatrième voie «commentaire» permet à l'opérateur de commenter la mesure et les éventuels événements. Un codage en temps réel des événements parasites peut être introduit. La mesure peut si nécessaire être déclenchée automatiquement à l'aide de la cellule infrarouge au passage au droit d'un réflecteur à microprismes.

Le logiciel de traitement

Développé par le LRPC de Clermont-Ferrand, cet outil permet de lire directement tous les résultats de mesure et les paramètres de configuration (sensibilités, calibration des capteurs...), de représenter graphiquement les valeurs mesurées, de coder automatiquement par seuil ou manuellement les événements parasites, de calculer des niveaux de bruit moyens par moyenne arithmétique (principe du projet ISO), ou par régressions logarithmiques complètes ou par plages de vitesses. Les données ainsi analysées peuvent ensuite être exprimées et représentées graphiquement sur un tableur.

Les premiers essais

Des premiers essais sur piste ont eu lieu début décembre 2002, afin de tester le matériel. Les analyses complètes sont en cours, mais les premières estimations montrent une cohérence acceptable des résultats. Ces premières estimations proviennent du test sur une planche d'un revêtement non poreux «classique» (Béton Bitumineux Semi Grenu 0/10), de 200 m de long environ. Chaque véhicule effectue 8 passages sur la planche à des vitesses réparties entre 70 et 110 km/h. A chaque tour de roue (Δm), soit tous les 2 mètres environ, un couple formé du niveau de bruit équivalent $Leq(\Delta m)$ et de la vitesse moyenne $V(\Delta m)$ est mesuré, et forme l'échantillon de base. Ainsi à chaque passage sur cette planche, avec cette résolution de mesure, on dispose d'une centaine d'échantillons de base. À noter que le $Leq(\Delta m)$

peut être exprimé soit en valeur globale (dB (A)) soit en valeur spectrale sur un tiers d'octave. Une analyse de l'ensemble de ces couples par régression logarithmique permet d'exprimer la variation du $Leq(\Delta m)$ en fonction du logarithme de la vitesse et de déterminer le niveau équivalent à 90 km/h.

On constate dans le tableau 1, que les valeurs globales obtenues par les 4 laboratoires qui ont pu participer à l'expérimentation sont cohérentes, malgré les quelques différences entre les différents appareillages : le laboratoire 4 notamment dispose d'un véhicule différent des 3 autres et de dispositifs anti-vent plus sophistiqués, et certains laboratoires ont ajouté des dispositifs de signalisation de sécurité dont l'effet sur la mesure n'a pas encore été testé. Le laboratoire 4 s'écarte légèrement des 3 autres qui diffèrent entre eux de moins d'un décibel.

Par ailleurs, cette cohérence est confirmée avec l'analyse spectrale comme le montrent les figures 6 et 7 ci-dessous correspondant respectivement au microphone latéral avant et au microphone dans le dièdre arrière. Ici encore, le laboratoire 4 présente des résultats sensiblement différents mais qui peuvent s'expliquer par une configuration de véhicule et de capteurs différente.

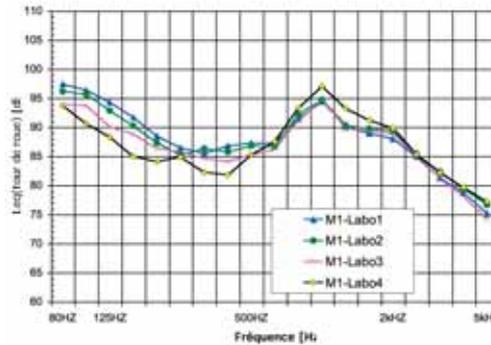


Fig. 6 : Comparaison des spectres obtenus lors des essais préliminaires : microphone latéral avant (configuration projet ISO)

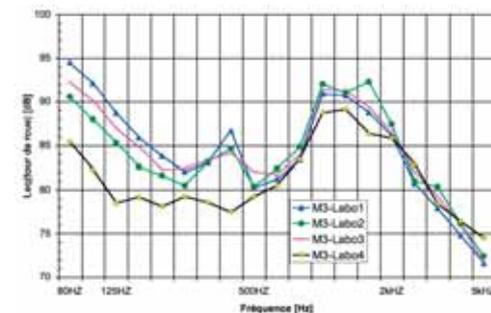


Fig. 7 : Comparaison des spectres obtenus lors des essais préliminaires : microphone dièdre arrière (configuration LREP)

| | Micro 1 Latéral avant (dB (A)) | Écart % moy. | Micro 2 Latéral arrière (dB (A)) | Écart % moy. | Micro 3 Dièdre arrière (dB (A)) | Écart % moy. |
|---------|--------------------------------------|-----------------|--|-----------------|---------------------------------------|-----------------|
| Labo 1 | 99,9 | - 0,6 | 99,9 | - 0,7 | 97,4 | - 0,1 |
| Labo 2 | 100,2 | - 0,3 | 101,2 | +0,6 | 98,7 | +1,2 |
| Labo 3 | 99,9 | - 0,6 | 100,2 | - 0,4 | 97,8 | +0,3 |
| Labo 4 | 101,8 | +1,3 | 101,1 | +0,5 | 95,9 | - 2,0 |
| Moyenne | 100,5 | | 100,6 | | 97,5 | |

Tabl. 1 : Premiers résultats des régressions à 90 km/h sur la planche BBSG0/10

Ces premiers essais nécessitent bien évidemment des approfondissements qui sont en cours de réalisation. Si la bonne adéquation est confirmée, les tests relatifs à la méthodologie pourront ensuite être répartis entre les 5 équipes.

Les difficultés de la méthode en continu

Le bruit aérodynamique

Parmi les points les plus délicats à résoudre lorsque l'on fixe des microphones sur un véhicule en roulement, le plus problématique est sans doute celui des perturbations aérodynamiques et de leur influence sur la mesure. Il s'agissait donc pour nous de mettre au point une méthodologie de mesure permettant de qualifier l'écoulement de l'air autour des microphones, puis d'essayer de quantifier la contribution sonore de la trainée¹ sur les niveaux acoustiques mesurés lors du déplacement. L'objectif final est d'optimiser le choix des protections anti-vent des microphones.

Pour ce faire, l'équipe du Laboratoire régional des ponts et chaussées d'Autun a d'abord travaillé en laboratoire en statique, avec des matériels de prise de son et des géométries aussi proches que possible des montages existants ou en cours d'élaboration. Puis, le déplacement du véhicule porteur a été simulé, par la génération d'un flux d'air variable (ventilateur) afin d'observer, mesurer et analyser, les phénomènes aérodynamiques induits (Fig. 8).

Les résultats en statique, ont ensuite été comparés à ceux obtenus lors d'essais in situ en dynamique, à partir d'un véhicule équipé. L'existence d'une forte corrélation entre les deux approches peut nous affranchir de la phase d'essais en dynamique, qui demeure lourde, et de multiplier, à moindre coût, les tests sur des matériels conventionnels ou à développer, susceptibles d'optimiser les conditions de mesure du bruit de roulement et la protection des microphones.



Fig. 8 : Essais statiques en laboratoire

En mécanique des fluides, si une sphère lisse de diamètre D est placée dans un flux d'air, une force de frottement, générée par le fluide sur le solide, s'exerce dans la direction de l'écoulement. Excepté aux faibles vitesses où l'écoulement est entièrement laminaire, le sillage immédiatement en aval de la sphère est instable et des vortex turbulents sont constamment créés. De ce fait, la pression en aval sera toujours inférieure à celle en amont, ce qui induit une trainée turbulente en aval de la boule (Fig. 9). La visualisation de cet écoulement par la technique des brins de laine ou filet de fumigène, à travers une séquence vidéo, confirme la théorie (Fig. 10).

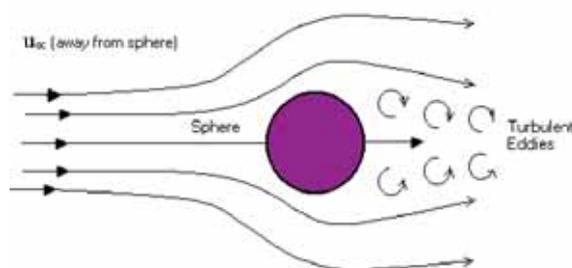


Fig. 9 : Écoulement d'air autour d'une sphère

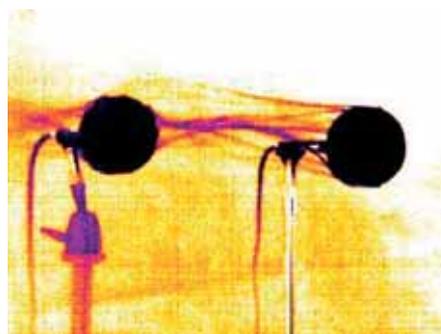


Fig. 10 : Visualisation par la technique des brins de laine

Par ailleurs, en raison des gradients de vitesse près de la sphère, une trainée visqueuse se crée. La somme de ces deux effets donne lieu à une force de frottement F (trainée). Il est possible de réduire cette force de frottement en modifiant la forme de l'objet vers l'arrière, réduisant ainsi la dispersion du flux et les turbulences engendrées (Fig. 11).

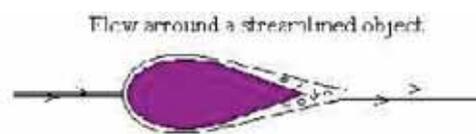


Fig. 11 : Écoulement autour d'un dispositif profilé

Le type d'écoulement autour d'une sphère (protection microphonique) de diamètre D introduite dans le flux à vitesse V , est défini selon 3 intervalles du nombre de Reynolds :

$$Re = VD/\nu \text{ avec,}$$

ν : viscosité cinématique du fluide ($1,463 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pour l'air)

- Pour $Re < 1$ écoulement laminaire
- Pour $1 < Re < 1\,000$ écoulement de transition
- Pour $1\,000 < Re < 2 \cdot 10^5$ écoulement turbulent

Compte tenu des vitesses praticables (50 à 110 km/h) par le véhicule mesureur inséré dans le trafic routier, des caractéristiques de l'air et du diamètre des protections phoniques, nous nous situons toujours en régime turbulent ($Re > 10\,000$).

Tous les essais en laboratoire, ont été réalisés avec des microphones B & K 4189 coiffés successivement d'une

1- Force aérodynamique qui s'oppose à l'avancement d'un mobile dans l'air

boule anti-vent UA 0237 puis d'une ogive UA 0386 ; membrane face au flux, puis retournée. Les résultats, dans le domaine temporel, montrent que ces protections abaissent les niveaux de bruit aérodynamique, de l'ordre de 20 à 30 dB (A) (Fig. 12). La boule anti-vent atteint des performances supérieures à celle de l'ogive, quel que soit le sens d'orientation. Notons que lorsque le microphone est dans le sens du flux, l'ogive est totalement inefficace et globalement peu adaptée à un flux d'air turbulent. L'analyse en tiers d'octaves (Fig. 13), laisse apparaître, pour la boule anti-vent, une réponse fréquentielle relativement homogène quelle que soit la vitesse de flux d'air.

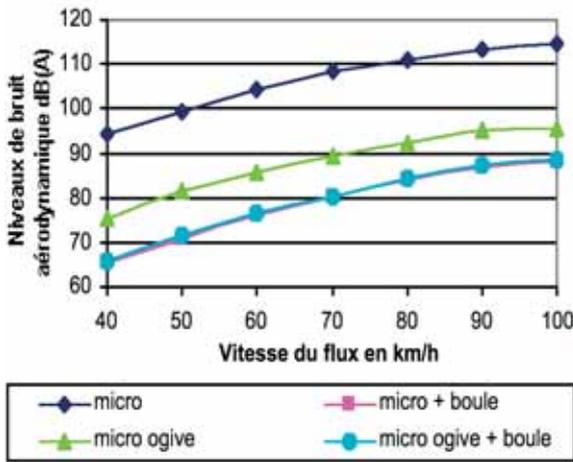


Fig. 12 : Efficacité de différents dispositifs anti-vent

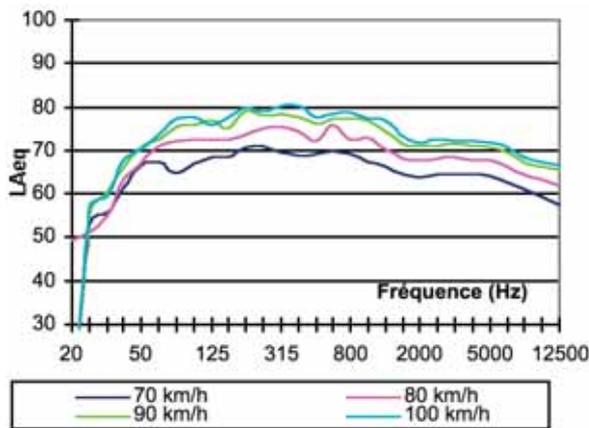


Fig. 13 : Spectre mesuré avec boule anti-vent

Par ailleurs, la conjugaison de bruits aérodynamiques et d'une source de référence (bruit rose) permet de calculer la dynamique entre bruit de référence et bruit de trainée en fonction du couple (vitesse du flux, bruit de référence), microphone face au flux. On obtient ici, des abaques d'utilisation des protections testées (Fig. 14).

Les essais en dynamique (Fig. 15) confirment les résultats obtenus en statique et indiquent des vitesses du flux d'air dans l'environnement des microphones parfois inférieures de 30 % à celles de déplacement du véhicule (effet de bord de la carrosserie), à niveau de bruit identique (Fig. 16). Cette constatation va dans le sens favorable à la mesure du bruit de roulement, avec une émergence plus significative de celui-ci.

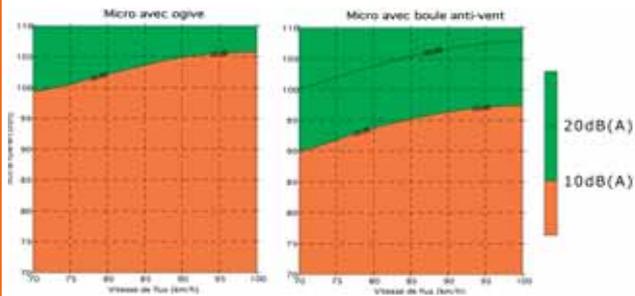


Fig. 14 : Exemple d'abaques d'utilisation de protection anti-vent

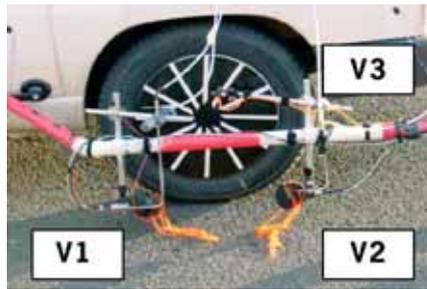


Fig. 15 : Essais en dynamique sur un ancien dispositif de montage

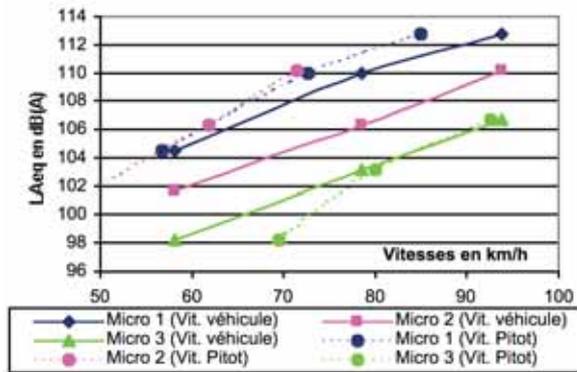


Fig. 16 : Correspondance entre vitesse de l'air et vitesse du véhicule pour un même niveau de bruit

Dans les prochains temps, ce travail sera complété par des essais en dynamique, sur le matériel définitif, et des tests en statique sur des systèmes de protection qui autorisent une mesure en continu sur toute la gamme des revêtements de chaussées, quelle que soit la vitesse, et assurent une durée de vie optimale des microphones.

Les vibrations des capteurs

Des mesures de vibrations et de déplacements sur le dispositif de montage ont été réalisées à l'emplacement des microphones. Elles ont permis d'orienter les choix concernant le système de montage : fixation sur châssis plutôt que sur carrosserie ou essieux, bras de fixation précontraint, suppression du haubanage... Elles ont également permis d'estimer les amplitudes des vibrations encaissées par les microphones. Celles-ci s'avèrent importantes à des

fréquences très basses (de 20 à 50 Hz), mais qui sont en dehors de la gamme de fréquences des signaux acoustiques que l'on cherche à caractériser (supérieure à 80 Hz) (Fig. 17). Aux fréquences supérieures à cette résonance des barres de montage, ces vibrations sont plus faibles (de 10 à 20 m/s² maximum à 130 km/h) et ne devraient générer au microphone que des bruits parasites inférieurs au bruit de roulement mesuré. Ces mesures permettent de justifier l'absence de dispositif anti-vibratile spécifique dans un premier temps, mais ceci sera probablement à reconsidérer si des revêtements particulièrement peu bruyants viennent à être mesurés.

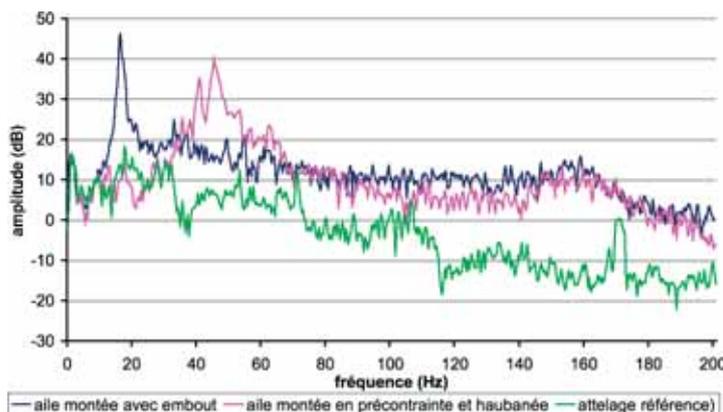


Fig. 17 : Comparaison des PSD des accélérations de l'aile latérale avant à 130 km/h

influence négligeable sur le bruit de roulement mesuré ; sinon, de proposer des solutions pour les maîtriser.

l'immunité aux bruits extérieurs : il est important de s'assurer que l'influence des perturbations dans l'environnement proche de la mesure (croisement ou dépassement d'autres véhicules, réflexions sur des véhicules en stationnement, des écrans, des glissières ou autres dispositifs de sécurité...) est négligeable, ou du moins que ces perturbations soient repérables suffisamment clairement pour être éliminées sans ambiguïté.

la fiabilité de la méthode : il importe de quantifier à partir d'essais croisés entre plusieurs équipes et des matériels différents, la répétabilité et la reproductibilité de la méthode.

la pertinence et cohérente avec la méthode au passage : on connaît les potentialités de la méthode au passage pour qualifier les performances acoustiques des revêtements de chaussée. La méthode en continu devra permettre cette qualification avec autant de précision et de discernement entre les différents produits. L'idéal serait à terme d'établir une corrélation simple entre les deux méthodes acoustiques afin de tirer pleinement profit des connaissances acquises en matière de bruit de roulement au cours des vingt dernières années.

Recherches complémentaires et perspectives

La phase d'acquisition et de tests du matériel étant achevée, les recherches vont se concentrer maintenant sur la méthodologie des mesures. Outre le complément nécessaire sur les bruits aérodynamiques sur le matériel définitif, et particulièrement sur des revêtements peu bruyants, un certain nombre d'autres difficultés seront à résoudre dans les temps qui viennent pour aboutir à une méthode faisant référence. Elles concernent principalement :

la position optimale des microphones : actuellement, les 3 positions de microphones ont été dictées par la pratique. À la lumière des recherches menées avec des systèmes plus sophistiqués, comme par exemple l'antenne utilisée par l'INRETS [9], il peut s'avérer que d'autres positions soient plus adéquates, ou qu'une seule soit suffisante.

l'influence du type de véhicule et du type de pneumatique : pour la mise au point de la méthodologie, il a été jugé préférable de s'affranchir des paramètres intrinsèques au véhicule. Mais le parc des véhicules et des pneumatiques qui les équipent étant amené à évoluer continuellement, il est nécessaire de rendre la méthode indépendante de ces paramètres ou tout au moins d'en maîtriser l'influence.

l'immunité aux autres bruits propres au véhicule : ce point qui est un corollaire du précédent vise à mettre au point une méthodologie permettant de s'assurer que les autres sources de bruit sur le véhicule (réflexions sur le châssis, autres pneumatiques, moteur, échappement...) ont une

Références bibliographiques

- [1] B. Dulau, S. Doisy et J.-P. Haettel, Mesures « au passage » du bruit de contact pneumatique – chaussée : méthodologie, application à l'évaluation des performances acoustiques des revêtements routiers, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 224, janvier-février 2000, pp. 73-86.
- [2] Norme S 31119, Acoustique : Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussées - Mesurages acoustiques au passage, octobre 1993.
- [3] Norme NFS 31119-2, Acoustique : Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussées - Mesurages acoustiques au passage - Procédure « Véhicules Maîtrisés », décembre 2000.
- [4] Norme NF/EN/ISO 11819-1, Acoustique : Mesurage de l'influence des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation - Partie I : Méthode statistique au passage, septembre 1997.
- [5] Note CFTR-info n° 4, Influence de la couche de roulement de la chaussée sur le bruit du trafic routier, juin 2001.
- [6] Projet de Norme ISO/CD 11819-2, Acoustics : Measurement of the influence of road surfaces on road traffic noise – Part 2 : the close-proximity method.
- [7] J.-L. Gautier, Comparaison entre mesures au passage et mesures en champ proche – Bilan d'une expérimentation, Journées d'étude « Bruit du Trafic Routier » du Comité Français AIPRC, Nantes, novembre 2001.
- [8] F. Anfossio-Lédée, Ph. Klein, A. Fadavi, D. Duhamel, Tyre/road noise horn effect : 2D modelling by analytical and numerical models, 7 th ICSV, Garmisch-Partenkirchen, Allemagne, juillet 2000.
- [9] J.-F. Hamet, J.-M. Clairet, P. Klein, Mesures relatives au bruit de roulement dans les projets « Texture & Bruit » et « SI.R.U.US », Journées d'étude « Bruit du Trafic Routier » du Comité Français AIPRC, Nantes, novembre 2001.