

Méthodes de mesure de la performance acoustique de dispositifs antibruit urbains de faible hauteur : principes et expérimentations

Alexandre Jolibois

Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

84, avenue Jean Jaurès

Champs sur Marne

77447 Marne la Vallée CEDEX 2

E-mail : alexandre.jolibois@cstb.fr

Résumé

À la suite d'une série de travaux démontrant l'intérêt des dispositifs antibruit urbains (ou « écrans bas ») pour améliorer la qualité sonore en ville, le groupe de travail CNEA-U a été créé avec l'objectif d'accompagner le développement de nouveaux produits ainsi que des installations expérimentales en milieu urbain. Dans le cadre des travaux de ce groupe, une nouvelle méthodologie pour la mesure - en qualification et en réception - de la performance acoustique des écrans bas a été développée. L'objectif de cette méthode est de fournir des indicateurs in situ de la performance acoustique des produits, en limitant au maximum l'influence de l'environnement. Pour ce faire, plusieurs paramètres ont d'abord été étudiés et optimisés. Puis les premiers essais ont été effectués sur une série de trois prototypes industriels, installés en environnement contrôlé. Dans cet article, le principe de la méthode est exposé, et les premiers résultats sont présentés et analysés.

Abstract

Following a set of works regarding urban noise reducing devices (also referred to as low-height noise barriers) in which the interest of such solutions to improve the sound quality in urban areas has been shown, the technical group CNEA-U was created to accompany the development of new products as well as experimental implementations in urban areas. As part the technical group activities, a new method for measuring the in-situ noise abatement performance of urban devices adapted to the urban context has been developed. The purpose of the method is to provide an in-situ indicator of the noise reduction effect of a product with as little dependence as possible on environmental effects. To reach this purpose, the parameters of the method have first been studied and optimized. Then the method has been tested experimentally with several prototypes in a controlled environment. In this paper, the framework of the method is presented, and results of first experimental tests are presented and discussed.

Introduction et contexte

Il est maintenant bien documenté que l'exposition chronique au bruit peut induire plusieurs effets sanitaires notables, notamment la baisse de la qualité du sommeil et la perte de capacités cognitives [1,2]. Ce constat est d'autant plus important dans les villes où coexistent plusieurs sources de bruit, puisque plus de la moitié de la population mondiale s'y concentre.

De plus, les réglementations acoustiques en vigueur en lien avec le bruit des transports ont pour objectif de limiter l'exposition moyenne au bruit dû aux infrastructures dans les bâtiments, alors que l'OMS recommande un niveau maximum d'exposition en extérieur pendant la journée $L_{Aeq, jour}$ de 55 dB(A) [3]. Une possibilité pour atteindre cet objectif, notamment mise en avant dans la directive européenne 2002/49/CE, est de s'assurer que le plus grand nombre de résidents urbains ont accès à une zone calme (zone où en particulier ce seuil de 55 dB(A) est respecté).

Une manière de créer de telles zones est de protéger des espaces de vie urbains (parcs, places, terrains de jeux, etc.) des nuisances sonores en implémentant des dispositifs antibruit compacts qui doivent présenter des caractéristiques particulières, puisqu'ils doivent à la fois servir de protection acoustique tout en s'intégrant facilement dans l'environnement urbain, ce qui intrinsèquement impose une limite à leur hauteur. Ces dispositifs – appelés écrans acoustiques urbains, écrans bas ou encore écrans de faible hauteur – ont fait l'objet d'une attention toute particulière depuis une quinzaine d'années [4–14], en particulier depuis 2013, à la suite du projet européen Hosanna [10], dans lequel un prototype d'écran végétalisé a été installé à Lyon et a montré une amélioration significative de l'ambiance sonore derrière le dispositif, tant subjective qu'objective (voir Figure 1, page suivante). Une expérimentation menée à Saint Martin d'Hères (38) à proximité d'un tramway a également montré une réduction du niveau sonore très significative (voir Figure 2, page suivante).



Fig. 1 : Vue de l'écran végétalisé installé sur le quai Fulchiron à Lyon dans le cadre du projet Hosanna [10].
View of the vegetalized noise barrier built along the quay Fulchiron in Lyon (France) as part of the Hosanna project [10].



Fig. 2 : Vue du dispositif installé près de la ligne B du tramway de Grenoble [14].
View of the device set up close to the B line of the Grenoble tramway system [14].

Pour donner suite à ces résultats encourageants, le groupe de travail (GT) CNEA-U a été créé - regroupant fabricants industriels, bureaux d'études, associations, collectivités et acteurs publics - en lien étroit avec la CNEA (Commission de normalisation des écrans acoustiques) et l'APREA (Association professionnelle des réalisateurs d'écrans antibruit). L'objectif de ce groupe de travail est de promouvoir ces solutions, d'expérimenter des installations en milieu urbain et de travailler sur des nouvelles méthodes de qualification de ces dispositifs.

En effet, à l'heure actuelle, les indicateurs de performance acoustique d'écrans antibruit utilisés dans les normes françaises et européennes (normes NF EN 1793 pour les écrans routiers et NF EN 16272 pour les écrans ferroviaires) font appel à des notions indépendantes de pertes par diffraction, transmission et réflexion, ce qui n'est valide que pour des écrans d'une dimension minimale (typiquement 4m de hauteur et 4m de largeur). Ces méthodologies ne sont donc pas applicables aux écrans de faible hauteur pour lesquelles les différentes composantes (réflexion, transmission et diffraction) ne peuvent pas être séparées et traitées indépendamment. C'est pourquoi le GT CNEA-U a confié la mission au CSTB de proposer une nouvelle méthodologie et des indicateurs adaptés à ces nouveaux dispositifs, utilisables pour

la qualification et la comparaison des produits, mais aussi pour la réception *in situ*.

Cette étude présente les principes de la méthodologie proposée ainsi que les résultats préliminaires des mesures effectuées sur trois prototypes d'écrans bas de conception différente.

Pour un descriptif plus détaillé des mesures effectuées, on pourra également se référer au rapport ADEME sur le sujet [15].

Principes des méthodes de mesurage

Les méthodes présentées ici reposent en partie sur des approches similaires aux méthodes dites « Quiesst » (les normes NF EN 1793-5 et -6). D'autres méthodes avaient été initialement considérées, mais les deux retenues semblent les plus robustes et les plus simples à mettre en œuvre (le matériel de mesurage nécessaire étant en partie similaire à celui des méthodes Quiesst). On a cependant retenu deux approches différentes, dites méthodes a et b, la première étant plus appropriée pour caractériser la performance dans le cas d'une implantation près d'une voie routière, la seconde plus représentative d'une implantation près d'un transport guidé ferroviaire comme le tramway.

Remarques générales sur les méthodes

Définitions géométriques

Pour garantir la reproductibilité des mesures en s'assurant une certaine indépendance vis-à-vis des détails de variation topographique spécifiques à chaque site, il est nécessaire de définir un système de référence géométrique qui soit le plus indépendant possible de l'environnement et notamment du sol de part et d'autre du dispositif. En suivant la philosophie des normes de mesure de performance acoustique NF EN 1793-4,5 et 6, nous proposons donc de définir un ensemble de plans de référence qui se base uniquement sur l'implémentation du dispositif. Le placement de sources et des récepteurs se fera à partir de ce système de référence.

Voici la définition des différents plans :

- **Plan équivalent « avant »** : plan vertical tangent au point de la section du dispositif le plus près des microphones. Ce plan définit là où commence le dispositif en termes de positionnement horizontal et doit être déclaré par le fabriquant.
- **Plan équivalent « haut »** : plan horizontal tangent au point le plus éloigné du sol de la section du dispositif. Ce plan définit la limite haute du dispositif et doit être déclaré par le fabriquant.
- **Plan équivalent « sol »** : plan horizontal coupant le dispositif au niveau de l'ancrage avec le sol, supposé plan dans un voisinage de la zone d'ancrage
- **Plan de « coupe »** : plan vertical perpendiculaire à la longueur du dispositif et coupant le dispositif en deux parties égales dans sa longueur
- **Origine du système de coordonnées de référence** : O, défini comme l'intersection des trois plans : plan équivalent sol, plan équivalent avant, plan vertical de coupe.

La localisation de ces plans est indiquée dans la figure 3, page suivante.

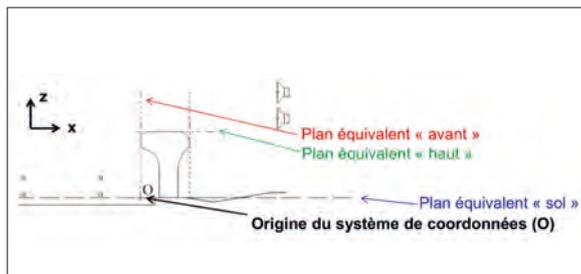


Fig. 3 : Schéma de définition du système de coordonnées de références et des plans équivalents associés
Definition of the reference coordinate system and of associated equivalent plane

À partir de ces trois plans et du point d'origine, on peut ensuite définir un système de coordonnées correspondant, dit **système de coordonnées de référence**. Dans ce système, un point de l'espace est représenté par les trois coordonnées suivantes :

- **x** : coordonnée algébrique horizontale de la projection du point dans le plan de coupe, puis dans le plan équivalent sol, mesurée par rapport au point O
- **y** : coordonnée algébrique horizontale de la projection du point dans le plan équivalent sol, puis dans le plan équivalent avant, mesurée par rapport au point O
- **z** : coordonnée algébrique verticale mesurée par rapport au plan équivalent sol.

La différence entre la coordonnée verticale du plan équivalent sol et du plan équivalent haut définit **la hauteur effective du dispositif notée h**. Cette hauteur doit être mesurée et reportée.

Définition des situations de mesurage

On considère deux situations de mesurage :

- La **situation évaluée**, « avec dispositif »
- La **situation de référence** ou « sans dispositif »

La situation de référence peut être obtenue de deux façons :

- en gardant les sources de mesure (haut-parleurs) et microphones dans des positions similaires (avec une tolérance de quelques centimètres pour le placement des micros et haut-parleurs) à la configuration avec dispositif, avant son montage ou après démontage, ainsi que des conditions environnementales similaires (température, vent, etc.).
- en trouvant un autre endroit avec une configuration géométrique et physique du sol la plus similaire possible avec la situation évaluée (avec une tolérance de quelques centimètres sur l'allure du sol).

Les contraintes géométriques et physiques détaillées dans le protocole descriptif de chaque méthode devront être respectées dans les deux situations. Dans le cas de la situation de référence, l'origine du repère O est choisie pour reproduire le plus exactement possible la situation évaluée.

Principes méthodologiques retenus

Plusieurs principes méthodologiques ont été retenus dans la construction des méthodes. Certains de ces principes ont fait l'objet d'investigations préliminaires (par simulation numérique).

Tout d'abord, il semble judicieux d'utiliser le **principe de réciprocité** entre source et récepteur, ceci afin de pouvoir positionner précisément la source sonore de mesurage et les microphones. Contrairement à la situation « naturelle » (source sonore près des chaussées et récepteur à hauteur d'oreille humaine de l'autre côté), les méthodes préconisent un positionnement des microphones près du sol (à la place des sources de bruit réelles) et le haut-parleur à hauteur d'oreille. Cela suppose notamment que les effets de réfraction et de turbulence sont négligeables.

De plus, pour représenter un cas d'implantation à proximité d'un tramway ou d'un train, une des méthodes demande l'ajout d'un **réflecteur vertical** suffisamment dense et lisse permettant de simuler l'effet caisse-écran. Des simulations préliminaires ont suggéré une dimension minimale de 3 m par 2 m, mais ce point nécessite encore une investigation.

Enfin, pour mesurer une performance du dispositif à tester, qui ne dépend pas de sa longueur, il est nécessaire d'assurer une **longueur minimale** à celui-ci. Elle doit être choisie pour limiter au maximum la contribution de la diffraction latérale (contribution qui décroît avec la longueur du dispositif) tout en restant raisonnable pour que des prototypes industriels puissent être testés sans avoir à fabriquer une trop grande quantité. Une étude numérique préalable a montré qu'une longueur de 10 m semble suffisante (c'est la longueur minimale retenue dans le descriptif des méthodes).

Contraintes géométriques et physiques

Pour garantir l'indépendance de la mesure vis-à-vis de l'environnement, plusieurs contraintes sur le site de mesurage doivent être respectées.

Tout d'abord, en dehors d'un voisinage de la zone d'ancrage du dispositif, le sol peut être non plan mais ne doit pas présenter de variations trop importantes (on autorise une variation de 20 cm en-dessous du plan équivalent sol côté microphone). Il doit de plus se rapprocher le plus possible d'un matériau acoustiquement rigide dans la gamme de fréquences d'intérêt (de 100 à 5 000 Hz).

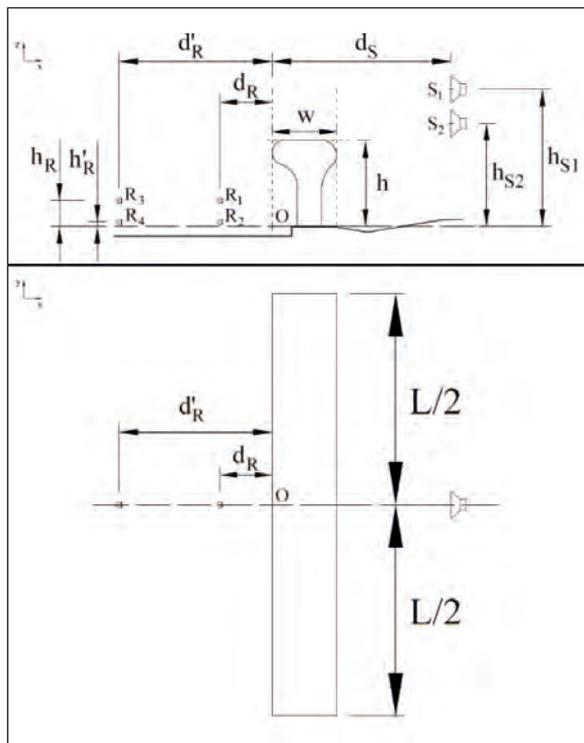
De plus, outre le réflecteur, on impose qu'il n'y ait pas d'obstacles significatifs dans un voisinage de la zone de mesure (les obstacles type barrière Saint-Georges ou potelets ne sont pas considérés comme significatifs).

Enfin, comme pour les mesures NF EN 1793-5 et -6, on demande que la température de l'air ambiant se situe entre 0 et 40 degrés Celsius au moment des mesures, et la vitesse du vent inférieure à 5 m/s.

Protocole descriptif de la méthode a

Positionnement de l'instrumentation

Le positionnement des haut-parleurs (HP) et du microphone est décrit dans la figure 4, page suivante. S1 et S2 indiquent les deux positions du haut-parleur et R1, R2, R3 et R4 les quatre positions du microphone de mesure. L'objet en forme de « champignon » dans la coupe verticale représente l'écran antibruit urbain générique sous test.

**Définition des distances**

$dS = 3 \text{ m}$
 $hS1 = 1.6 \text{ m}$
 $hS2 = 1.2 \text{ m}$

$dR = 0.5 \text{ m}$
 $dR' = 3.5 \text{ m}$
 $hR = 0.3 \text{ m}$
 $hR' = 0.005 \text{ m}$

w : largeur du dispositif, $0 < w < 1.5 \text{ m}$
 h : hauteur du dispositif, $0 < h < 2 \text{ m}$
 L : longueur du dispositif, $L > 10 \text{ m}$

Fig. 4 : Schéma descriptif du protocole de mesure selon la méthode a. Vue en coupe (en haut à gauche), vue du dessus (en bas à gauche) et table de définition des distances (droite). Schematic describing the measurement protocol for method a. Transversal view (top left), view from above (bottom left) and table of distances (right).

Protocole de mesure

On mesure la réponse impulsionnelle entre chaque haut-parleur S1 et S2 et chaque récepteur R1, R2, R3 et R4 dans les deux situations. Ces réponses sont fenêtrées par une fenêtre Adrienne de durée totale 7,9 ms placée pour détecter les composantes principales des signaux (c'est-à-dire présentant le maximum d'énergie). On appelle ces réponses fenêtrées h_{SiRk} (entre source S_i et récepteur R_k , en situation évaluée) et $h_{SiRk,ref}$ (entre source S_i et récepteur R_k , en situation de référence).

À titre d'exemple, la mesure des réponses impulsionnelles peut par exemple se faire en suivant les recommandations des normes NF EN 1793-5 et -6 (génération de séquences MLS et calcul de la corrélation des signaux reçus aux microphones avec le signal de sortie du HP).

Il est important que les réglages du système de mesures (conversion Volt/Pascal des micros, niveaux en Volt du signal source et réponse des haut-parleurs) soient les mêmes entre les deux situations et entre tous les couples haut-parleurs/micro. Le cas échéant, il convient d'appliquer un terme correctif aux réponses impulsionnelles mesurées.

De plus, le bruit de fond dans les deux situations doit être évalué. Le rapport signal sur bruit devra être au moins égal à 10 dB dans toutes les bandes de tiers d'octave considérées (entre 100 et 5000 Hz) pour tous les couples source/récepteur et dans les deux situations.

Calcul des indicateurs

Les quantités de base sont des pseudo-pressions au carré par tiers d'octave calculées pour chaque couple source-récepteur, notée $P_{j,SiRk}$ dans la situation évaluée et $P_{j,SiRk,ref}$ dans celle de référence. Elles se calculent ainsi :

$$P_{j,SiRk} = \int_{\Delta f_j} |F[h_{SiRk}(t)]|^2 df \quad \text{et}$$

$$P_{j,SiRk,ref} = \int_{\Delta f_j} |F[h_{SiRk,ref}(t)]|^2 df$$

(F est la transformée de Fourier, j l'indice de la bande de tiers d'octave considérée (entre 100 et 5 000 Hz) et Δf_j est la largeur de la j -ème bande de tiers d'octave).

De ces quantités, on calcule une somme sur tous les couples sources-récepteurs, pour les deux situations :

$$P_{j,avg} = \sum_{i,k} P_{j,SiRk} \quad \text{et} \quad P_{j,avg,ref} = \sum_{i,k} P_{j,SiRk,ref}$$

La performance en atténuation sous forme d'indice unique est ensuite obtenue à partir des quantités calculées et des niveaux L_j définis dans la norme NF EN 1793-3 (en arrondissant au dB le plus proche) :

$$IL_{avg} = -10 \log \frac{\sum_j 10^{0,1 L_j} P_{j,avg}}{\sum_j 10^{0,1 L_j} P_{j,avg,ref}}$$

Protocole descriptif de la méthode b (avec réflecteur)**Positionnement de l'instrumentation**

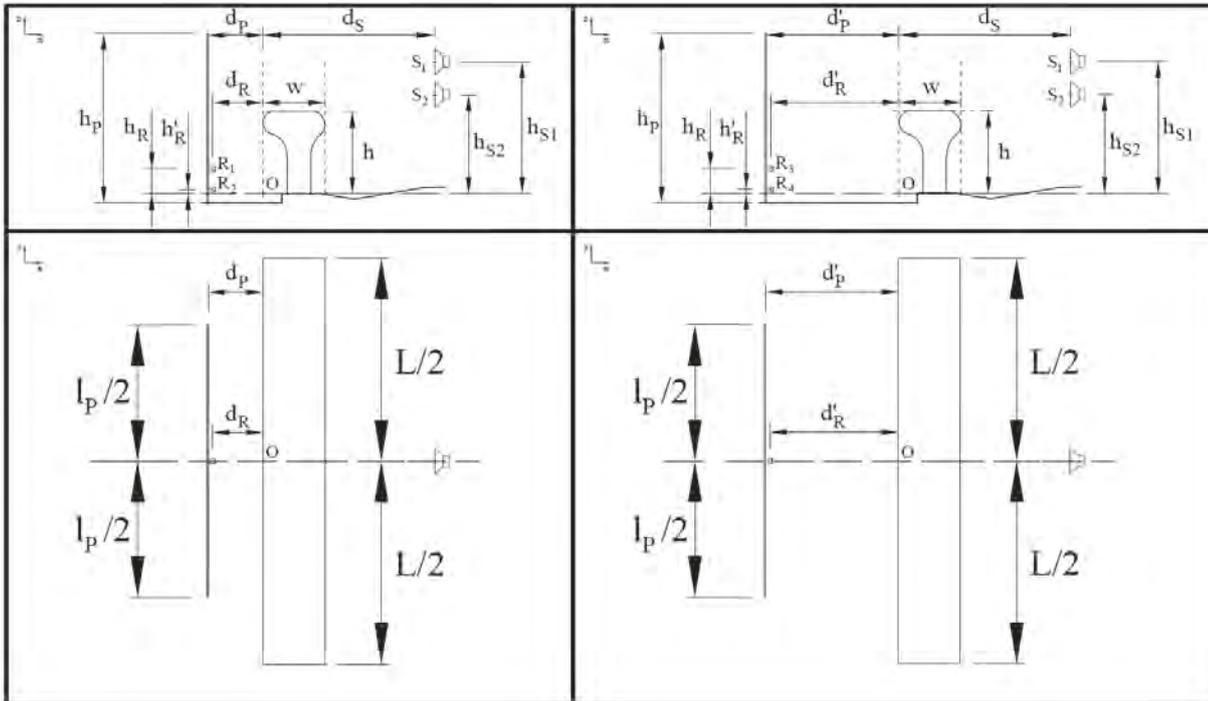
Le positionnement des haut-parleurs (HP) et microphone est décrit dans la figure 5, page suivante.

Protocole de mesure

Le protocole est essentiellement le même que dans la méthode a si ce n'est que le réflecteur doit être ajouté et qu'il n'est pas positionné de la même manière pour les positions R1 et R2 d'une part (microphones proches) et R3 et R4 d'autre part (microphones lointains). De plus, pour prendre en compte l'influence des multi-réflexions, la fenêtre temporelle est étendue à 20 ms.

Calcul des indicateurs

Le calcul est similaire à la méthode a.



Définition des distances

$d_S = 3 \text{ m}$	$d_R = 0.5 \text{ m}$	$h_R = 0.3 \text{ m}$	$0 < w < 1.5 \text{ m}$	$d_p = 0.70 \text{ m}$
$h_{S1} = 1.6 \text{ m}$	$d'_R = 3.5 \text{ m}$	$h'_R = 0.05 \text{ m}$	$0 < h < 2 \text{ m}$	$d'_p = 3.70 \text{ m}$
$h_{S2} = 1.2 \text{ m}$			$L > 10 \text{ m}$	$l_p = 3 \text{ m}$
				$h_p = 2 \text{ m}$

Fig. 5 : Schéma descriptif du protocole de mesure selon la méthode b. Vue en coupe et vue du dessus pour les positions de microphones R1 et R2 (gauche) et pour les positions R3 et R4 (droite)
 Schematic describing the measurement protocol for method b. Transversal view and view from above for microphone positions R1 and R2 (left) and for positions R3 and R4 (right)

Résultats des mesures sur trois prototypes industriels

Site de mesure et prototypes

Les méthodes explicitées ci-dessus ont été appliquées dans des conditions contrôlées, sur le site de production de l'entreprise PBM à Heyrieux, qui présente un faible bruit de fond tout en étant en extérieur. Plusieurs entités ont participé à ces essais dans l'objectif de tester la robustesse des méthodes et d'évaluer les premiers écarts-types de reproductibilité inter-laboratoires : le CSTB, le bureau d'études Acouphen, le CERIB, le CEREMA de Strasbourg (Direction Territoriale Centre Est) et le bureau d'études Acoustb. Les développements des prototypes et les essais sur site ont été rendus possibles notamment grâce au soutien de l'ADEME.

Trois prototypes d'écrans bas ont été installés sur le site retenu (installation sur une dalle béton à l'arrière de l'usine). Un bref descriptif de chaque produit est fourni ci-après :

- **Prototype Mice** : caisson métallique perforé légèrement incurvé, contenant un matériau absorbant (laine de roche) protégé par un voile.
- **Prototype PBM** : ensemble d'éléments autoportants en béton et béton de bois crénelé (absorbant).
- **Prototype Idetec** : de conception assez nouvelle puisqu'il est constitué de deux parties distinctes : une partie solide courbe et transparente en PMMA, et un absorbant (ici de la laine de verre) posée au sol. La performance a été évaluée avec et sans présence d'absorbant au sol.

Des vues de chaque prototype sont présentées dans la figure 6, page suivante.



Fig. 6 : Prises de vue des trois prototypes installés sur le site d'Heyrieux. Haut : prototype Mice (écran métallique et laine minérale) – milieu : écran PBM en béton et béton de bois – bas : écran Idetec en PMMA et absorbant au sol. Views of the three prototypes set up in the Heyrieux site (France). Top: Mice prototype (metal screen with mineral wool) - middle: PBM prototype (concrete and wood concrete) – bottom: Idetec prototype (PMMA and absorbing material on ground).

Analyse des résultats

Les résultats obtenus par les différents mesureurs ont été rassemblés et analysés, par tiers d'octave et en moyenne. Les performances moyennes obtenues par tiers d'octave sous forme de courbes sont affichées Figures 7 et 8 (la valeur correspondante de l'indicateur unique de performance IL_{avg} est affichée en légende).

Pour les trois prototypes, les performances d'atténuation mesurées par tiers d'octave varient entre quelques dB pour atteindre 20 dB en hautes fréquences, ce qui est cohérent avec les travaux précédents basés sur des simulations numériques [10-14] ou des mesures *in situ* dans le cas d'une installation près d'un tramway [14].

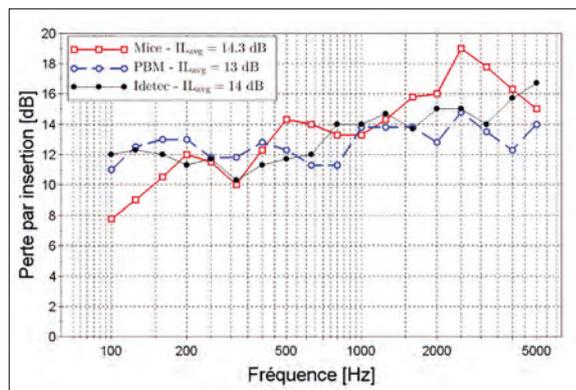


Fig. 7 : Performances moyennes mesurées par tiers d'octaves pour chacun des prototypes, selon la méthode a (sans réflecteur). Average measured attenuation performances per third-octave for each prototype, following method a (without reflector)

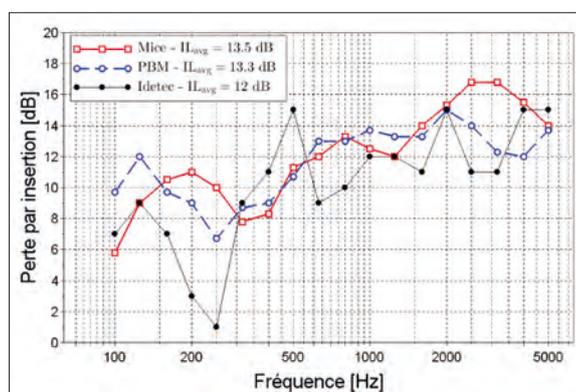


Fig. 8 : Performances moyennes mesurées par tiers d'octaves pour chacun des prototypes, selon la méthode b (avec réflecteur). Average measured attenuation performances per third-octave for each prototype, following method b (with reflector)

L'indicateur unique (c'est-à-dire moyenné en fréquence) proposé, IL_{avg} , présente des valeurs importantes, entre 10 et 15 dB(A), ce qui est cohérent avec l'atténuation *in situ* mesurée à proximité d'un tramway dans une configuration géométrique similaire [14]. Cet indicateur semble donc être une mesure représentative de l'atténuation que l'on pourrait obtenir dans le cas d'une implémentation « idéale », c'est-à-dire pour un écran proche de la source de bruit, elle-même située près du sol, et pour un récepteur situé juste derrière l'écran.

On constate cependant que l'indicateur n'est pas très discriminant entre les trois produits (plage de variation de 0,7 dB en méthode a et 1,3 dB en méthode b). Dans un objectif de comparaison et de valorisation des produits, il conviendrait donc de travailler sur d'autres indicateurs calculés à partir des mêmes quantités mesurées. De plus, on a pu constater que les premiers écarts-type de reproductibilité (écarts de performance mesurées entre les différents mesureurs, sur les mêmes produits) estimés lors de cette campagne sont relativement faibles, entre 1 et 2 dB(A), malgré des écarts parfois importants par tiers d'octave. Etant donné le faible nombre de produits et de mesureurs, il est clair que les informations obtenues sur la robustesse de la méthode ne sont que partielles, et donc qu'il est nécessaire de poursuivre les investigations pour obtenir plus de données et renforcer l'analyse statistique.

Retour d'expérience et critiques

Cette campagne d'essais croisés a permis de mettre à l'épreuve les deux méthodes de mesures proposées ici. Des difficultés pratiques de mise en œuvre ont été rencontrées, ce qui a amené une mise à jour des protocoles pendant les mesures.

Au vu des résultats, les méthodes de mesure proposées semblent cependant pertinentes dans leur principe, bien que l'on pourrait retravailler les indicateurs retenus pour décrire les performances des produits.

L'une des principales difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des méthodes de mesure est la grande difficulté de manipulation du réflecteur. Il reste donc à évaluer si ce réflecteur peut être rendu plus léger et plus facilement maniable, tout en s'assurant qu'il se comporte comme un réflecteur acoustique presque idéal.

Un autre aspect qui a été soulevé est la difficulté relative de positionner précisément les sources et récepteurs par rapport au dispositif. Il paraît donc utile de recommander l'utilisation d'un niveau laser ainsi que des supports spécifiques pour les microphones adaptés aux hauteurs attendues. De plus, pour ne pas doubler le nombre de mesures de réponses impulsionnelles à faire, on pourrait étudier le fait de n'utiliser qu'une seule position de source (par exemple uniquement le point S1).

Enfin, il serait certainement pertinent d'utiliser deux indicateurs au lieu d'un pour mettre en avant la différence de performance des produits, notamment en séparant :
- la performance globale d'atténuation du dispositif (fortement contrôlée par sa hauteur et la capacité d'isolement)
- la performance d'absorption (qui joue un rôle important dans le cas d'une installation engendrant un effet caisse-écran).

Conclusion

Pour accompagner le développement des dispositifs antibruit urbains, et à la suite d'une demande du GT CNEA-U, de nouvelles méthodes de mesure de la performance acoustique adaptées à ces dispositifs ont été développées et testées par plusieurs mesureurs sur trois prototypes industriels distincts.

Les méthodes proposées sont pour partie basées sur les normes NF EN 1793-5 et -6 (mesure de réponses impulsionnelles), mais sont adaptées pour prendre en compte les spécificités des écrans antibruit urbains (en particulier la non-séparabilité entre composantes diffractée, réfléchie et transmise).

Une série de mesures a été effectuée sur plusieurs prototypes industriels de conception différente (caisson métallique absorbant, béton/béton de bois et PPMA transparent), et ce par plusieurs mesureurs qui sont intervenus de manière indépendante. Les résultats montrent que les dispositifs testés ont des performances importantes en termes d'atténuation, puisque l'indicateur unique d'atténuation acoustique proposé LL_{avg} varie entre 12 et 15 dB(A) pour les prototypes testés.

Ces travaux ont également permis de déterminer des écarts-types de reproductibilité inter-laboratoires encourageants (de l'ordre de 1 à 2 dB) et d'établir un premier retour d'expérience sur ces méthodes. En particulier, une meilleure conception du réflecteur et le choix d'autres indicateurs uniques de performance sont des pistes de travail à court terme.

Il reste cependant à étudier la faisabilité opérationnelle de ces méthodes dans des conditions réelles d'implantation urbaine. C'est d'ailleurs dans cette optique que le GT CNEA-U s'est rapproché de la Métropole de Nice, avec laquelle une installation expérimentale des mêmes dispositifs devrait avoir lieu en 2019.

Remerciements

L'auteur remercie le MTES (en particulier la DGPR) et le CEREMA pour avoir financé les travaux présentés ici, ainsi que l'ADEME qui soutient le GT CNEA-U dans ses actions. L'auteur remercie également les membres du GT qui ont participé aux mesures à Heyrieux, en particulier Bernard Barthou du CERIB, Pascal Guittat d'Acouphen, Patrick Demizieux du CEREMA et Robin Walther d'Acoustb-Egis.

Références bibliographiques

- [1] D. Ouis, Annoyance from road traffic noise: a review, *J. Environ. Psychol.* 21 (2001) 101–120.
- [2] Burden of disease from environmental noise, Tech. rep., World Health Organization (Regional office for Europe) and the Joint Research Centre (European Commission) (2011).
- [3] Guidelines for community noise, Tech. rep., World Health Organization (Regional office for Europe) (1999).
- [4] M. Baulac, Optimisation des protections anti-bruit routières de forme complexe (optimization of complex traffic noise barriers), Ph.D. thesis, Université du Maine (Le Mans, France) (2006).
- [5] M. Baulac, J. Defrance, P. Jean, F. Minard, Efficiency of noise protections in urban areas: prediction and scale model measurements, *Acta Acust. united Ac.* 92 (2006) 530–539.
- [6] P. J. Thorsson, Optimisation of low-height noise barriers using the equivalent sources method, *Acta Acust.* 86 (2000) 811–820.
- [7] F. Koussa, J. Defrance, P. Jean, P. Blanc-Benon, Acoustic performance of gabions noise barriers: numerical and experimental approaches, *Appl. Acoust.* (2013) 189–197.
- [8] F. Koussa, Evaluation de la performance acoustique des protections antibruit innovantes utilisant des moyens naturels : application aux transports terrestres (evaluation of the acoustic efficiency of innovative noise barriers using natural means: application to ground transportation systems), Ph.D. thesis, Ecole Centrale de Lyon (Lyon, France) (2012).
- [9] M. Rådsten-Ekman, B. Vincent, C. Anselme, A. Mandon, R. Rohr, J. Defrance, D. van Maercke, D. Botteldooren, M. E. Nilsson, Case-study evaluation of a low and vegetated noise barrier in an urban public space, in : *Proc. Internoise 2011*, Osaka, Japan, 2011.
- [10] J. Defrance, P. Jean, F. Koussa, K. Horoshenkov, A. Khan, H. Benkreira, T. Van Renterghem, J. Kang, J. Smyrnova, J. Forssén, Innovative barriers exploiting natural materials: application to innovations, Deliverable 2.3, Collaborative Project HOSANNA (FP7/2007-2013 grant agreement No. 234306) (2013).
- [11] A. Jolibois, D. Duhamel, V. W. Sparrow, J. Defrance, P. Jean, Scattering by a cylinder covered with an arbitrary distribution of impedance and application to the optimization of a tramway noise abatement system, *J. Sound Vib.* 331 (2012) 5597–5622.
- [12] A. Jolibois, A sensitivity-based approach to optimize the surface treatment of a low-height tramway noise barrier, Ph.D. thesis, The Pennsylvania State University (University Park, PA, USA) (2013).
- [13] A. Jolibois, A study on the acoustic performance of tramway low height noise barriers: gradient-based numerical optimization and experimental approaches, Ph.D. thesis, Université Paris-Est (Marne-la-Vallée, France) (2013).
- [14] A. Jolibois, J. Defrance, H. Koreneff, P. Jean, D. Duhamel, V. W. Sparrow, In situ measurement of the acoustic performance of a full-scale tramway low height noise barrier prototype, *Appl. Acoust.* 94 (2015) 57–68
- [15] Etude de l'intégration des écrans bas en milieu urbain, ADEME, (2018). URL : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport-mur-bas-antibruit-milieu-urbain-2018.pdf>