

Impact sonore des viaducs routiers en fonction de leur géométrie

Noise impact of road viaducts depending of their geometries

**Jérôme Defrance, Matthieu Beyret,
Marine Baulac et Philippe Jean**
CSTB
24, rue Joseph Fourier
38400 Saint Martin d'Hères
Tél : 04 76 76 25 25
Fax : 04 76 44 20 46
E-mail : jerome.defrance@cstb.fr

Résumé

Les zones montagneuses européennes, comme les Alpes, représentent des territoires de très grande envergure où de nombreux viaducs ont été construits, principalement pour le transport routier. Le fait que les ondes sonores issues des automobiles rasant la couche de bitume avant d'être diffractées par le bord de viaduc, dont la forme peut être complexe, pour se propager vers les habitations, rend le mécanisme acoustique complexe. Les méthodes normalisées ont été mises au point pour des situations de plaine et sont donc bien adaptées pour de tels cas ; mais elles ne sont pas adaptées à de telles géométries complexes. Dans cet article, on donne les tendances de l'impact sonore de viaducs routiers en fonction de leur géométrie et de la position du récepteur. Pour ce faire, on utilise une version 2D de la méthode des éléments de frontière (Boundary Element Method, BEM) en prenant comme hypothèse que les effets météorologiques peuvent être négligés pour des propagations de l'ordre de quelques dizaines de mètres à 200 mètres. Cette approximation est tout à fait justifiée puisque le viaduc, considéré comme source sonore, est suffisamment haut (20 m) ce qui fait que les effets de sol sont très peu affectés par la réfraction atmosphérique. Un ensemble de configurations est testé et analysée, ceci afin de mettre en évidence un certain nombre d'effets comme : la hauteur de la plateforme, l'ajout de protections de faible hauteur en bordure, la présence d'une fente horizontale à mi-hauteur d'un écran antibruit ou la présence d'un vide en partie centrale de viaduc. Ce travail a été mené dans le cadre du projet ALPNAP du Programme Interreg III B Espace Alpin.

Abstract

Mountainous zones in Europe, such as the Alps, represent huge areas where many viaducts are built, most of them for motorways. The way the sound grazes the asphalt surface from the low and high traffic equivalent sources up to the road edges, and how it then diffracts towards dwellings is a complex mechanism. The standard approaches are suited to plain situations but fail in predicting finely sound propagation behaviour for such geometries. In this paper, one gives the main trends of received noise levels from viaducts as a function of both their geometry and the receiver location. A 2D Boundary Element Method is used for predictions since meteorological effects can be neglected for the short propagation (a few hundreds meters). This assumption makes sense since the viaduct considered in this work is sufficiently high (20 m) and the ground effect is weakly affected by refraction. Different configurations are then simulated in order to address and discuss several geometrical effects, such as: platform elevation, low height barriers addition, complex shape barriers and presence of a central gap in the platform.

Le but de cette recherche est d'effectuer une étude paramétrique de l'impact acoustique d'un viaduc type de viaducs routiers en faisant varier la géométrie de l'infrastructure et la position du récepteur potentiel situé en façade d'un bâtiment. Un certain nombre d'effets sont étudiés ici : la hauteur de la plateforme, l'ajout de protections de faible hauteur en bordure, la présence d'une fente horizontale à mi-hauteur d'un écran antibruit, la complexification de la forme d'un écran ou la présence d'une ouverture en partie centrale de viaduc.

Ce travail a été mené dans le cadre du projet ALPNAP (Contrôle et Minimisation de la Pollution Atmosphérique et des Nuisances Sonores Engendrées par le Trafic Routier et Ferroviaire le Long des Principaux Axes de Transport dans les Alpes, www.alpnap.org) [1] présenté dans le programme Interreg III B Espace Alpin (www.alpinespace.org).

Nous ne présentons ici que quelques résultats significatifs issus de l'ensemble des simulations menées.

Méthodologie

Le code d'éléments finis de frontière MICADO

MICADO (Méthode intégrale du calcul acoustique de la diffraction par des obstacles) est un code d'éléments de frontière (BEM) en atmosphère homogène développé au CSTB par Philippe Jean et déjà présenté dans de nombreux travaux de recherche [2, 3]. Il est utilisé ici en prenant comme hypothèse que les effets météorologiques peuvent être négligés pour des longueurs de propagation de 200 m maximum. Cette approximation est tout à fait justifiée puisque le viaduc, considéré comme source



sonore, est suffisamment haut (20 m) ce qui fait que les effets de sol sont très peu affectés par la réfraction atmosphérique.

Les calculs sont menés sur la plage de fréquences 100-5 000 Hz avec 20 fréquences par bande de 1/3 d'octave.

Définition de la perte par insertion

Le but est de déterminer l'efficacité acoustique de protections antibruit positionnées sur le viaduc, ou de mettre en évidence la dégradation acoustique correspondant à une certaine géométrie d'infrastructure, en calculant la perte par insertion (Insertion Loss, IL) du cas étudié par rapport à un cas de référence. Pour une bande de 1/3 d'octave Δf fixée, la perte par insertion $IL(\Delta f)$ s'écrit :

$$IL(\Delta f) = 10 \log_{10} \left| \frac{p_{config}(\Delta f)}{p_{ref}(\Delta f)} \right|^2 \quad (1)$$

où $p_{config}(\Delta f)$ et $p_{ref}(\Delta f)$ sont les pressions acoustiques moyennées sur Δf pour la configuration étudiée et pour le cas de référence, respectivement.

La perte par insertion globale IL_A calculée en dB(A) est donnée par l'équation suivante :

$$IL_A = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{f \in \Delta f} 10^{\frac{LwA(\Delta f) + EA_{config}(\Delta f)}{10}}}{\sum_{f \in \Delta f} 10^{\frac{LwA(\Delta f) + EA_{ref}(\Delta f)}{10}}} \right) \quad (2)$$

où $EA_{config}(\Delta f)$ et $EA_{ref}(\Delta f)$ sont les atténuations excédentaires moyennes sur Δf pour la configuration étudiée et pour le cas de référence, respectivement, et est le niveau de puissance acoustique sur Δf en appliquant la forme spectrale de la norme EN 1793-3 [4].

Cas de référence

Deux cas de référence sont considérés : avec écran antibruit de faible hauteur (1 m) en bordure (cas 2), ou sans écran (cas 1) (Fig. 1). Les dimensions de l'écran de faible hauteur sont également données en figure 1. Cet élément est couvert d'une couche de 10 cm de laine minérale caractérisée par sa résistivité au flux d'air de $\sigma = 30 \text{ kPa.s/m}^2$, et en utilisant le modèle de Delany et Bazley pour le calcul de l'impédance acoustique. Pour le bitume, nous considérons que la résistivité est égale à 20 000 kPa.s/m².

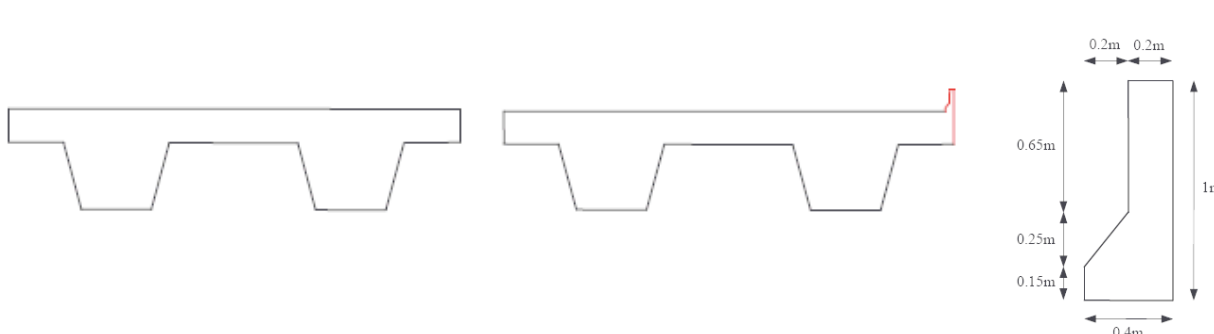


Fig. 1 : Géométries du cas de référence n°1 (à gauche) et cas de référence n°2 (milieu).
Dimensions de l'écran de faible hauteur (à droite)

Positions des sources et des récepteurs

Les sources équivalentes doivent être représentatives d'un flux autoroutier 2 x 2 voies. Pour chacune des voies, on considère au niveau de son axe central 3 sources équivalentes dont les hauteurs au-dessus du bitume sont 0,05 m (S1 à S4, sources basses), 0,3 m (S5 à S8, sources intermédiaires) et 0,75 m (S9 à S12, sources hautes) (voir figure 2).
On applique alors la méthode d'ingénierie Harmonoise pour le modèle source [5, 6], modèle dans lequel le bruit des véhicules légers est émis par les sources basse, intermédiaire et haute avec une pondération de 75%, 25% et 0%, respectivement.

niveau du terrain naturel (cas de la plaine) et une plateforme sur un viaduc de grande hauteur ? Si le récepteur, à hauteur d'oreilles humaines (1,50 m), se trouve sur terrain plat à 100 m de l'autoroute, le bruit reçu sera maximum dans le cas d'une infrastructure sur talus de 5 m de hauteur, et minimum dans la situation du viaduc de grande hauteur (gain de 5 à 10 dB(A)).

Dans le cas d'un récepteur situé à 1,50 m au-dessus du niveau de la plateforme (c'est-à-dire un récepteur sur un terrain pentu pour le cas du viaduc) et à 100 m de l'autoroute, le niveau sonore maximum est obtenu pour le viaduc élevé alors que le minimum apparaît pour le cas de la plaine (3 à 10 dB(A) de gain en fonction des conditions météorologiques).

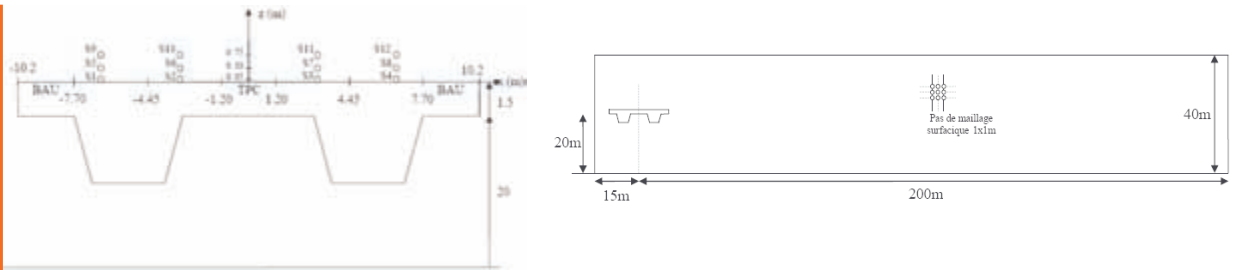


Fig. 2 : Position des 12 sources équivalentes (à gauche) et zone de réception pour les calculs (à droite)

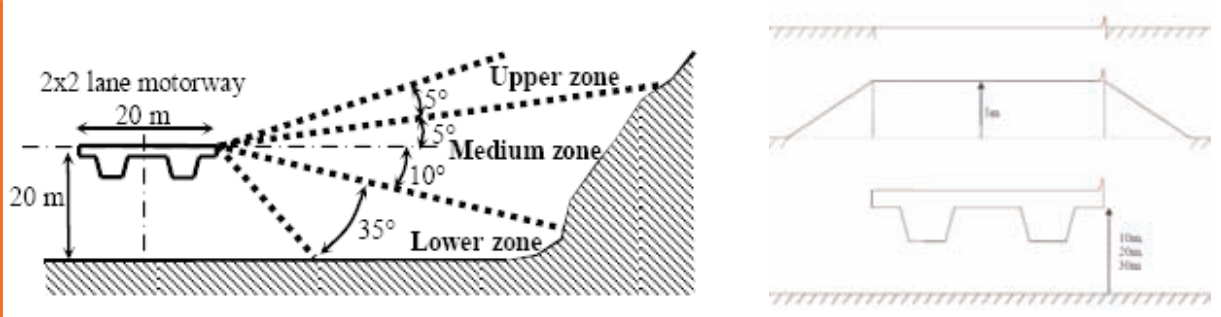


Fig. 3 : Définition des 3 zones de réception (à gauche). Configurations de type plaine (élévation nulle), talus (élévation de 5 m) et viaduc (à droite)

Pour les poids lourds, la pondération est 50%, 0% et 50%, respectivement. On considère un trafic composé de 20% de poids lourds. Les récepteurs sont répartis sur une grille verticale de 200 m de long par 40 m de haut (Fig. 2).

Effet de l'ajout d'une protection de 1 m en bordure

La Figure 4 montre les résultats de l'atténuation sonore due à l'ajout d'un écran absorbant de faible hauteur (1 m) en bordure de plateforme (on utilise ici le cas

Analyse des simulations numériques

On donne ci-après les tendances de l'émission sonore de viaducs en fonction de leur géométrie et de l'emplacement du récepteur. Afin de synthétiser les tendances majeures qui apparaissent à la lecture des résultats de simulations, on considère trois grandes zones de réception : basse (lower), médiane (medium) et haute (upper). Ces zones sont définies à partir du bord droit de la plateforme (Figure 3).

Effet de la hauteur de plateforme

La question posée ici est : quelle est la différence, en termes de niveau sonore reçu, entre une plateforme au

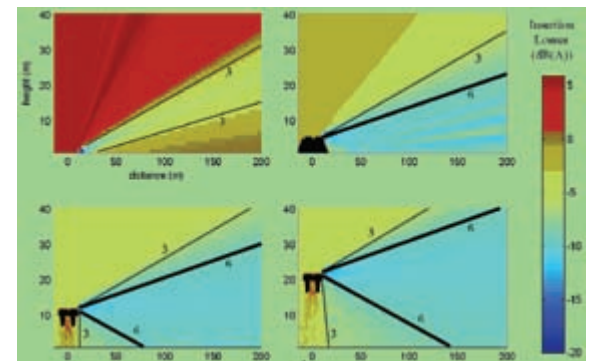


Fig. 4 : Cartes verticales de l'ILA dû à l'ajout d'un écran absorbant de faible hauteur (1 m) construit en bord droit de l'infrastructure, et calculé en fonction de l'élévation de celle-ci. Du haut à gauche au bas à droite : 0 m (plaine), 5 m (talus), 10 m et 20 m (viaducs)

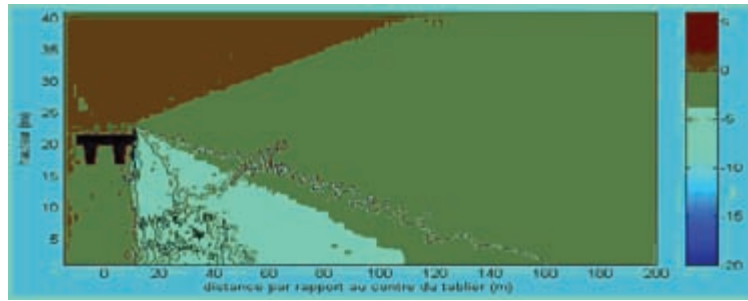
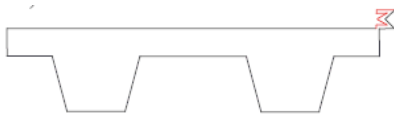


Fig. 5 : Géométrie simulée avec parties absorbantes en rouge (à gauche) et ILA correspondant (à droite) avec, comme référence, le cas N°2



Fig. 6 : Autoroute Turin-Frejus à hauteur de Venaus, dans la vallée de Suse (Italie). Vue du viaduc d'une hauteur d'environ 20 m depuis Venaus (à gauche), vue de la plateforme routière (milieu) et vue de Venaus depuis la plateforme (à droite) avec vision claire de la fente horizontale

de référence n°1). Pour la situation de la plaine, l'effet d'ajout d'un écran de faible hauteur est minime, voire nul. Ce résultat est connu de l'ingénierie acoustique dans le cas de la GBA. Dans le cas du viaduc, l'effet d'ajout d'un écran de faible hauteur en bordure est sensible, avec un maximum d'atténuation dans la zone médiane (jusqu'à 9 dB(A) d'amélioration). Cependant, les effets restent limités dans la zone basse.

(cas 2), montrent un gain de 3 à 6 dB(A) dans la zone basse. La complexification de forme d'écran mis en bordure de viaduc peut donc permettre d'étendre la zone spatiale de son efficacité acoustique.

Effet d'une fente à mi-hauteur d'un écran antibruit en bordure

Dans l'espace alpin, on rencontre souvent, le long des autoroutes sur viaduc de grande hauteur, des systèmes de protections contre les vents forts (voir l'exemple de l'autoroute Turin-Frejus à hauteur de Susa-Venaus, en Figure 6). Ces protections font généralement apparaître une fente horizontale d'environ 20 cm à mi-hauteur.

Ceci est dû au fait que l'ensemble est composé de deux éléments distincts : la partie basse en béton (hauteur environ 1 m) sert de barrière de sécurité alors que la partie haute, généralement en plexiglass (1 à 2 m de hauteur), sert d'écran aérodynamique. Cependant, l'ensemble permet aussi de protéger contre le bruit.

Effet de complexification de la forme de l'écran de 1 m

Dans le but d'améliorer, notamment dans la zone basse d'un viaduc de 20 m, l'efficacité acoustique de l'écran de 1 m étudié précédemment, on effectue une optimisation (non systématique) de sa forme. On présente ici le cas de l'écran de faible hauteur en forme de «sigma», recouvert pour ses surfaces hautes et en regard des voies de circulation, d'un absorbant identique à celui du cas de référence n°2 (Figure 5). Les résultats d'atténuation excédentaire (Figure 5), calculés par rapport à l'écran droit de faible hauteur

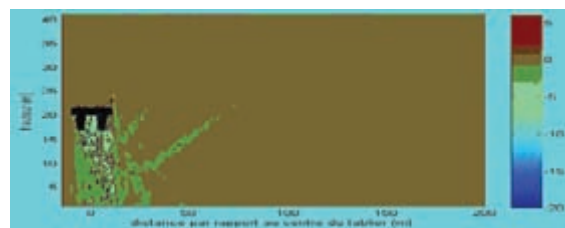
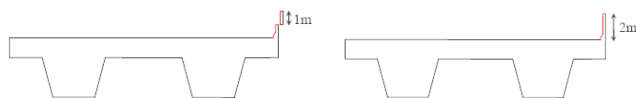


Fig. 7 : Géométries simulées avec parties absorbantes en rouge (à gauche) et ILA correspondant (à droite) avec, comme référence, le cas de l'écran de 2 m sans fente

On étudie donc ici l'effet de la présence d'une fente horizontale de 20 cm, positionnée à mi-hauteur d'un écran absorbant de 2 m en bordure de viaduc, par rapport au cas sans fente. Les calculs MICADO (résultats en Figure 7) montrent que, dans les 3 zones de réception, la présence de la fente ne dégrade pas l'efficacité globale de l'écran.

Effet d'un vide en partie centrale de plateforme



Fig. 8 : Viaduc avec vide central

Le viaduc voit parfois sa plateforme se diviser en deux plateformes parallèles séparées d'un vide de plusieurs mètres (Figure 8).

Nous nous intéressons ici au cas d'un vide de 2 m de large, comparé au cas sans vide (référence n°2). Les résultats de simulations affichés en Figure 9 montrent que la présence de cette ouverture entraîne une augmentation importante du niveau sonore (6 à 15 dB(A)) dans la partie située juste au dessous du viaduc.

Dans les zones basse, médiane et haute, l'impact de l'ouverture centrale reste de l'ordre de 1 à 3 dB(A).

Cette dégradation, importante en dessous du viaduc, peut être supprimée par l'addition de systèmes absorbants en bordures intérieures des plateformes. Un exemple, présenté en figure 10, est simulé. Les résultats de perte par insertion par rapport au cas de la figure 9 montrent que des traitements appropriés en bordure, tel que celui simulé ici, permettent de palier la dégradation acoustique due au vide central.

A la recherche de solutions optimisées

En combinant différents résultats issus de cette étude paramétrique, on peut proposer des solutions *a priori*

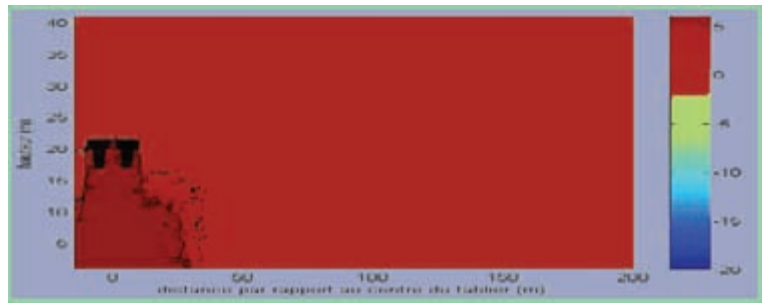


Fig. 9 : Géométrie simulée avec parties absorbantes en rouge (à gauche) et ILA correspondant (à droite) avec, comme référence, le cas n°2

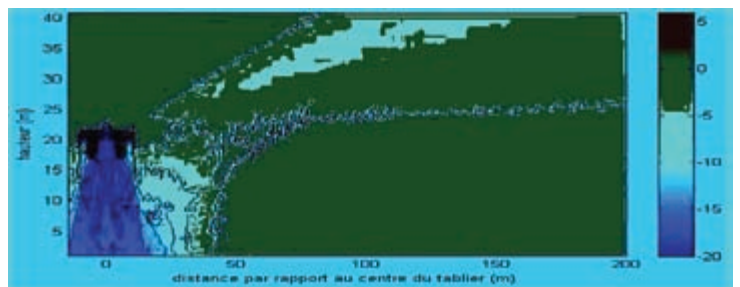
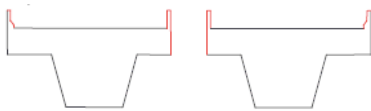


Fig. 10 : Géométrie simulée avec parties absorbantes en rouge (à gauche) et ILA correspondant (à droite) avec, comme référence, le cas de la figure 9

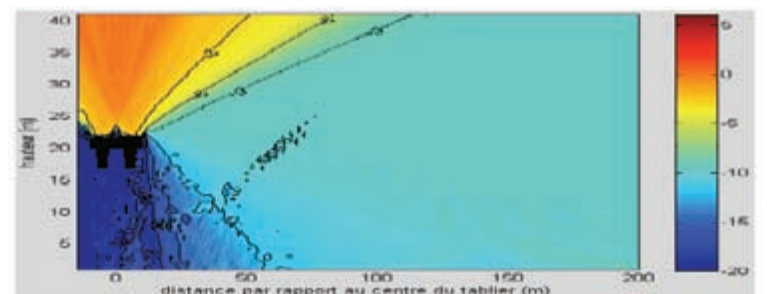
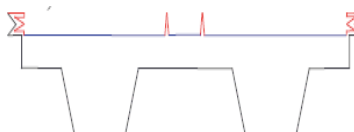


Fig. 11 : Géométrie simulée avec parties absorbantes en rouge (à gauche) et ILA correspondant (à droite) avec, comme référence, le cas n°1

optimisées en termes de réduction de l'impact sonore du viaduc pour les populations environnantes. Un exemple de solution optimisée est présenté en Figure 11. Il s'agit de la mise en place d'écran absorbant de type «sigma» en bordure et de deux dièdres absorbants en partie centrale. Les résultats de simulations montrent que l'on peut obtenir des diminutions très significatives du niveau sonore en réception, par rapport au cas de référence n°1. Dans la zone médiane, le gain est d'environ 10 dB(A). Dans la zone basse, l'amélioration peut atteindre les 15 dB(A).

Conclusions

Cette étude paramétrique nous a permis de tirer certaines tendances importantes de l'effet de la géométrie d'un viaduc sur son impact sonore environnemental :

- L'ajout en bordure d'un écran absorbant de 1 m de hauteur entraîne une diminution du bruit en zones médiane et haute de 4 à 9 dB(A) ; alors que dans le cas d'une autoroute au niveau du terrain naturel (plaine), l'effet est quasiment nul.
- L'optimisation de ces écrans permet d'étendre la zone des 8-10 dB(A) d'atténuation vers la zone basse ;
- La dégradation acoustique due à la présence d'un vide en partie centrale de plateforme peut être annulée par la mise en place d'écrans centraux de faible hauteur ainsi que des traitements absorbants de surfaces au niveau du vide ;
- La présence d'une fente horizontale de 20 cm de large en partie centrale d'un écran de 2 m de hauteur n'entraîne pas de dégradation acoustique sensible.

Ces résultats pourraient en outre être intégrés aux méthodes d'acoustique géométrique afin de prendre en

compte les spécificités des viaducs dans les prévisions de leur impact. Cette intégration pourraient s'effectuer par la détermination de formulations empiriques ou par l'utilisation d'une base de données de résultats de pertes par insertion par bande d'octave.

Remerciements

Ce travail a été mené dans le cadre du programme INTERREG-III B « Espace Alpin » et a ainsi bénéficié d'un cofinancement du Fonds Européen de Développement Economique et Régional (FEDER). Les auteurs sont en outre reconnaissants à Jérôme Larivé et à la Mission Bruit du MEEDDAT pour son soutien financier.

Références bibliographiques

- [1] ALPNAP Interreg III B comprehensive report: Air Pollution, Traffic Noise and Related Health Effects in the Alpine Space – A Guide for Authorities and Consultants. Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento, Italy, 335 p.
- [2] P. Jean, «A variational approach for the study of outdoor sound propagation and application to railway noise» *Journal of Sound and Vibration* 212(2):275-294 (1998)
- [3] P. Jean, J. Defrance, Y. Gabillet. «The importance of source type on the assessment of noise barriers» *Journal of Sound and Vibration* 226(2):201-16 (1999)
- [4] European Standard EN 1793-3:1997. Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalized traffic noise spectrum
- [5] J. Defrance et al «Outdoor sound propagation reference model developed in the European Harmonoise project», *Acta Acustica united with Acustica* 93(2), 213-227 (2007)
- [6] D. Van Maercke, J. Defrance «Development of an analytical model for outdoor sound propagation within the Harmonoise project», *Acta Acustica united with Acustica* 93(2), 201-212 (2007)