

# Exposition des toitures de bâtiment au bruit de trafic routier ; conséquences sur la performance des fenêtres de toit sur site

**Michel Villot,**  
**Philippe Jean**  
**CSTB**  
*24, rue Joseph Fourier  
 38400 Saint Martin d'Hères  
 E-mail : michel.villot@cstb.fr*

## Résumé

Dans cet article, l'exposition au bruit de trafic routier des toitures de bâtiment est étudiée à la fois théoriquement et expérimentalement. D'abord, le champ sonore incident est estimé par une approche utilisant les éléments finis de frontière et prenant en compte la diffraction sur le bord de la toiture. Les résultats théoriques montrent des différences significatives d'exposition sonore entre toitures et façades verticales, en particulier dans le cas de bâtiments élevés ; ces différences sont ensuite confirmées par des mesures sur site. L'incidence rasante des champs sonores en toiture pose la question de la performance acoustique des fenêtres de toit en situation réelle, certainement différente de leur performance en laboratoire mesurée en champ diffus ; ce problème est traité ici expérimentalement par des mesures en laboratoire de vitrages sous différents angles d'incidence à l'aide d'un générateur d'onde plane.

## Abstract

In this paper, the exposure to road traffic noise of building roofs is studied both theoretically and experimentally. First, the incident field is estimated using a BEM approach, taking into account the sound diffraction on the roof edge. The theoretical results show significant differences in noise exposure between roofs and vertical facades, particularly with relatively tall buildings; these differences are then confirmed by field measurements. The grazing incidence of the sound fields on roofs raises the question of the acoustic performances of skylights in real situation, as opposed to their laboratory performances measured under diffuse sound field; this problem is experimentally investigated by laboratory measurements of glazing under different angles of incidence, using a big size plane wave generator.

**D**ans la réglementation acoustique des bâtiments d'habitation en France, aucune distinction n'est faite entre l'exposition des toitures au bruit de trafic routier et celle des façades verticales. Pourtant, pour des immeubles d'une certaine hauteur, et en particulier dans les régions du Sud où les toits sont peu pentus, toitures et fenêtres de toit sont certainement moins exposées que les façades verticales. Dans cet article, l'exposition des toitures aux bruits de trafic routier est étudiée à la fois théoriquement par des modèles de calcul et expérimentalement par des mesures sur site. Les modèles de calcul utilisés sont présentés et validés expérimentalement en section 2. Une étude paramétrique est ensuite effectuée à l'aide de ces modèles pour identifier les paramètres importants ; les résultats sont présentés section 3 et comparés aux résultats d'une deuxième campagne de mesures. L'incidence rasante des champs sonores en toiture pose la question de la performance acoustique des fenêtres de toit en situation réelle, certainement différente de leur performance en laboratoire mesurée en champ diffus ; ce problème est traité ici expérimentalement par des mesures en laboratoire de vitrages sous différents angles

d'incidence à l'aide d'un générateur d'onde plane ; les résultats sont présentés dans la quatrième et dernière section de l'article.

## Modèles de calcul

Deux modèles très différents ont été utilisés dans cette étude, tous deux dans une géométrie 2D ½ où rue et bâtiments sont infinis dans une direction (voir la figure 1 ci-après) mais où la source sonore est une ligne de sources incohérentes représentant une file de voitures :

- le logiciel RAYDIF, développé au CSTB est basé sur une méthode de rayon avec un module particulier utilisant la théorie géométrique de la diffraction (TGD) pour modéliser les effets de diffraction ;

- le logiciel MICADO [1], également développé au CSTB est basé sur la méthode des éléments finis de frontière (BEM) ; cette méthode prend implicitement en compte les effets de diffraction.

Tous les problèmes de convergence et d'absorption par l'air et par les façades (de manière à obtenir des temps de réverbération réalistes), ainsi que le problème de la propagation en zones d'ombre (effets de diffraction) ont été résolus avec attention. En particulier, les modèles ont été validés/calibrés à partir de temps de réverbération expérimentaux de rues en U trouvés dans la littérature.

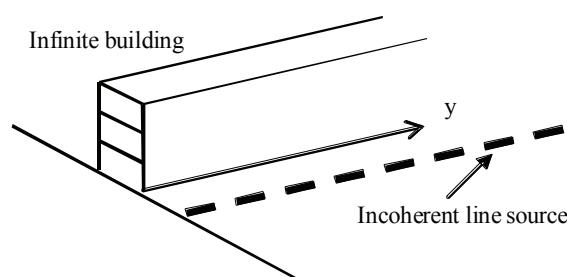


Fig. 1 : Géométrie 2D 1/2 modélisée  
2D 1/2 geometry modelled

Une première validation expérimentale a été effectuée dans le cas simple d'une maison individuelle exposée au bruit d'un haut-parleur placé devant la façade comme le montre la figure 2 ; la toiture n'était pas en vue directe de la source. Les résultats mesurés et calculés ont été exprimés en termes de différence en 1/3 d'octave entre le niveau sonore en façade et le niveau sonore en toiture. Ces deux niveaux sonores ont été mesurés à quelques centimètres des parois et moyennés sur une surface d'environ 2 m<sup>2</sup>. Les résultats présentés en figure 3 sont moyennés sur deux positions de source et sont soit mesurés, soit calculés avec les deux méthodes (logiciels MICADO et RAYDIF).

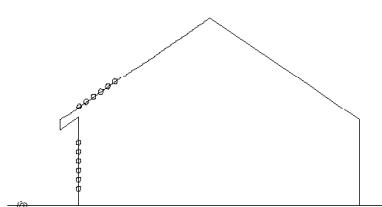


Fig. 2 : Coupe verticale de la maison montrant la position de la source et les surfaces de mesure  
Vertical section of the house, showing the source position and the measurement surfaces

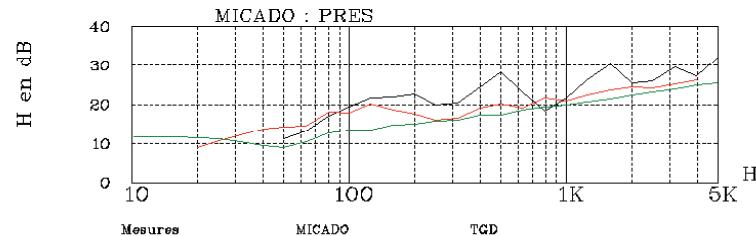


Fig. 3 : Comparaison entre les atténuations mesurées et calculées (résultats des logiciels MICADO et RAYDIF (TGD))  
Comparison between measured and calculated attenuations (results of MICADO and RAYDIF (TGD) software)

Les ordres de grandeurs sont bons, mais les résultats calculés minimisent les effets (atténuation réelle entre façade verticale et toiture supérieure à l'atténuation calculée). Notons que les résultats donnés par MICADO sont plus proches des mesures ; aussi, dans tous les résultats présentés dans cet article, les calculs d'exposition des toitures ont été effectués par MICADO alors que les calculs d'exposition des façades verticales (sans diffraction) ont été effectués par RAYDIF (plus rapide).

## Étude paramétrique

Le logiciel MICADO a été utilisé dans une configuration de base correspondant à un immeuble de 3 étages avec un toit pentu de 20° et un immeuble semblable de l'autre côté de la rue comme le montre la figure 4. Plusieurs autres cas correspondant à différentes pentes de toiture, différentes largeurs de rue, différentes hauteurs d'immeuble ainsi qu'un bâtiment isolé ont été aussi considérés.

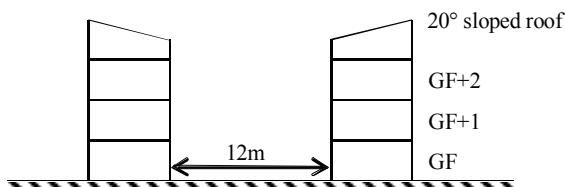


Fig. 4 : Configuration de base étudiée  
Basic configuration studied

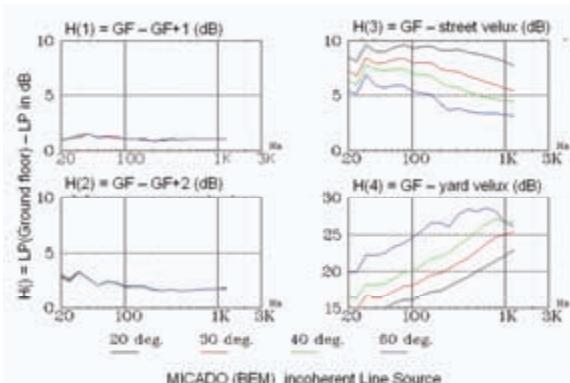


Fig. 5 : Différences de niveaux 1/3 octave d'exposition obtenues avec le logiciel MICADO  
Exposure differences obtained using the MICADO software

Les résultats 1/3 octave présentés en figure 5 correspondent à la configuration de base décrite ci-dessus et sont exprimés en termes de différence de niveaux d'exposition comparés au RdC de l'immeuble. Les niveaux sonores sont moyennés sur une surface de la taille d'une fenêtre. 4 endroits sont considérés : le premier étage (GF+1), le deuxième étage (GF+2), le troisième étage/toiture côté rue (street) et le troisième étage/toiture côté cour (yard). Seules des différences d'exposition à partir de 5 dB ont été considérées comme significatives, valeur

correspondant à la largeur des classes d'infrastructure routière de la réglementation française. Les résultats montrent que :

- seules les différences d'exposition des toitures sont significatives,
- même une toiture très pentue ( $60^\circ$ ) produit une atténuation de 5 dB,
- une atténuation voisine de 10 dB peut être obtenue avec des toits plats (pente de  $20^\circ$  ou moins) et,
- les atténuations côté cour sont beaucoup plus importantes, de 15 à 25 dB croissantes avec la fréquence pour une pente moyenne de  $30\text{--}40^\circ$ .

### Mesures sur site

Les mesures ont été faites sur un bâtiment R+4, avec une toiture pentue (angle de  $27^\circ$ ) symétrique côté rue et côté cour par rapport au faîte, situé dans une rue en U de 16 m de large, et avec une cour intérieure silencieuse, protégée par d'autres bâtiments. Les mesures ont été faites sur la façade du bâtiment (avec un microphone de référence au niveau du RdC) et sur le toit, successivement côté rue et côté cour.

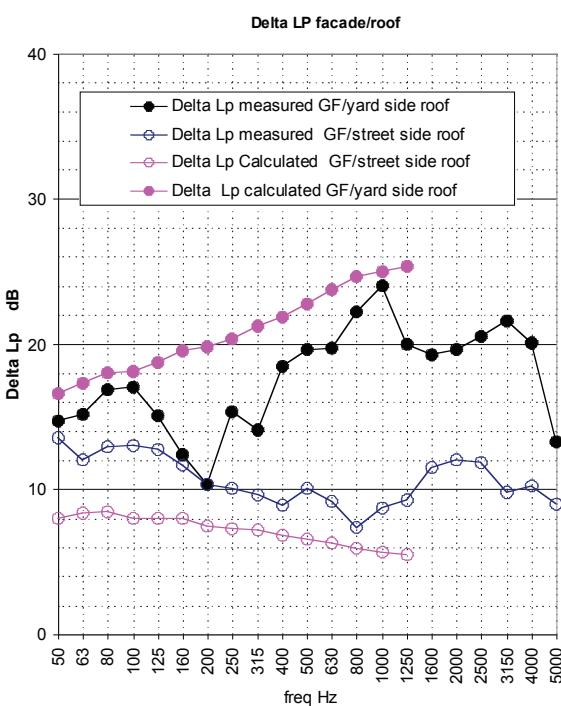


Fig. 6 : Atténuation entre le niveau sonore en façade au RDC et le niveau en toiture ; comparaison entre résultats mesurés et calculés  
Attenuation between sound level in the street (ground floor façade) and at the roof; comparison between measured and calculated results

Le bruit de trafic routier a servi de source sonore et les niveaux sonores ont été obtenus par moyenne linéaire sur 2-3 secondes. Aucune analyse du trafic n'a été faite et la direction du trafic ainsi que le type et le nombre de véhicules n'ont pas été identifiés. Les résultats présentés en figure 6 sont exprimés en termes de différence en 1/3 octave entre le niveau sonore en façade (microphone de référence) et les niveaux sonores en toiture, côté rue

et côté cour ; les niveaux sonores sont moyennés sur 6 évènements différents.

Les résultats montrent que pour une toiture de pente voisine de  $30^\circ$ , l'atténuation d'exposition de la toiture comparée à celle de la façade au RdC est voisine de 10 dB côté rue et entre 15 et 25 dB côté cour (croissante avec la fréquence). Les atténuations calculées ont le bon ordre de grandeur et les bonnes pentes fréquentielles.

### Isolement sonore des toitures et fenêtres de toit

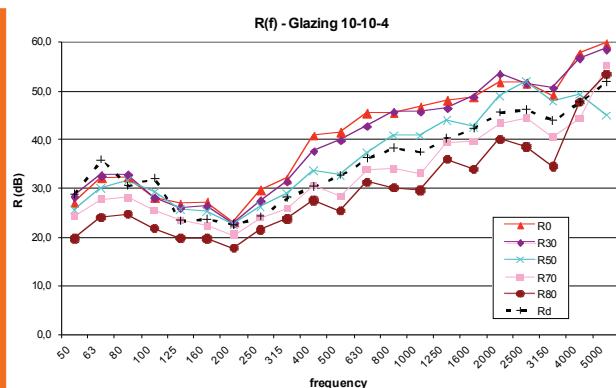
Du fait de la diffraction sonore sur le bord inférieur des toits, l'exposition sonore des toitures a la particularité d'être à incidence rasante, ce qui pose la question de la performance acoustique des fenêtres de toit en situation réelle, certainement différente de leur performance en laboratoire mesurée en champ diffus ; ce problème a été traité ici expérimentalement par des mesures en laboratoire de vitrages sous différents angles d'incidence à l'aide d'un générateur d'onde plane mis au point lors d'une thèse récente au CSTB [3].

Un double vitrage (10-10-4) a été installé dans une paroi-béton dans le laboratoire du CSTB, vitrage et face extérieure de la paroi étant coplanaires dans le but de simuler une configuration toiture/fenêtre de toit réaliste. D'abord, le vitrage a été mesuré dans des conditions normalisées avec excitation dans un local réverbérant (incidence diffuse) ; ensuite, le local émission a été déplacé et remplacé par un générateur d'onde plane (montré en figure 7) placé à différents angles d'incidence ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $70^\circ$  et  $80^\circ$ ), l'angle de  $80^\circ$  simulant l'incidence rasante. Les résultats exprimés en termes d'indice d'affaiblissement R sont donnés en figure 8.

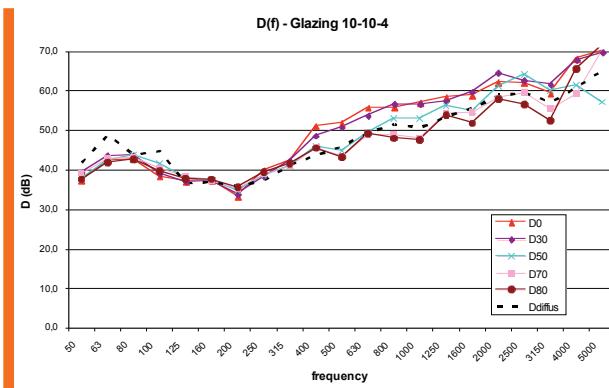


Fig. 7 : Vue sur le laboratoire et le générateur d'onde plane utilisé  
View of the laboratory configuration and the plane wave generator

La figure 8 montre des différences importantes sur l'indice R suivant le type d'excitation utilisé (champ diffus ou incidence singulière). Toutefois, la grandeur pertinente est l'isolement sonore montré en figure 9 où le faible indice R sous incidence rasante est en partie compensé par le faible flux d'énergie incidente dû à l'angle d'incidence élevé. Les différences sont alors plus faibles (mais tout de même de 3 à 5 dB) et principalement aux fréquences moyennes et aiguës. En termes d'indice unique  $D_{2m,nT,A,tr}$  (isolement



**Fig. 8 : Spectres de l'indice R du vitrage 10-10-4 mesurés en laboratoire sous incidence diffuse et sous incidence singulière**  
R index spectra of the 10-10-4 glazing tested in laboratory under diffuse field or single incidence



**Fig. 9 : Isolement standardisé  $D_{2m,nT}$  correspondant à l'indice R de la figure 8**  
Standardized sound level difference  $D_{2m,nT}$  corresponding to the R index in Figure 8.

pondéré A relatif au bruit de trafic), la différence entre champ diffus et incidence rasante est seulement de 0,4 dB(A), montrant que l'isolement de toiture est peu affecté par l'incidence rasante, du moins en termes d'indice unique.

## Remerciements

Les auteurs remercient VELUX France et l'Agence française de l'environnement (ADEME) pour le support financier de cette étude.

## Références bibliographiques

- [1] P.Jean, «A variational approach for the study of outdoor sound propagation and application to railway noise », Journal of Sound and Vibration, 1998, 212(2), 275-294
- [2] C. Bruitel-Vuilmet, «Prise en compte de l'angle d'incidence dans la caractérisation en laboratoire de la transmission acoustique par les éléments de façade», thèse CSTB/ADEME présentée à l'école doctorale MEGA de Lyon en novembre 2005