

Application des métamatériaux acoustiques à la réduction du bruit routier

JTAV 2026

Robin MAFFEÏS

22 juin 2026

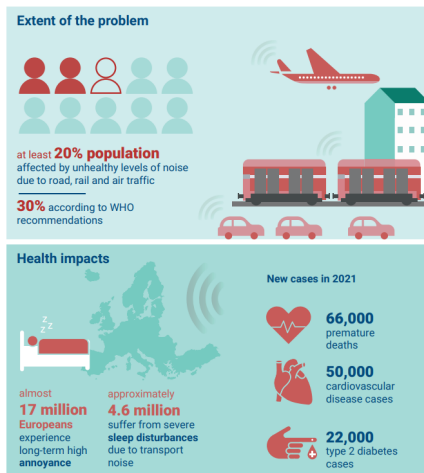


Figure – Points clés du bruit environnementale en Europe [1]

Effet d'absorption des matériaux poreux autour de $h \approx \frac{\lambda}{8}$:

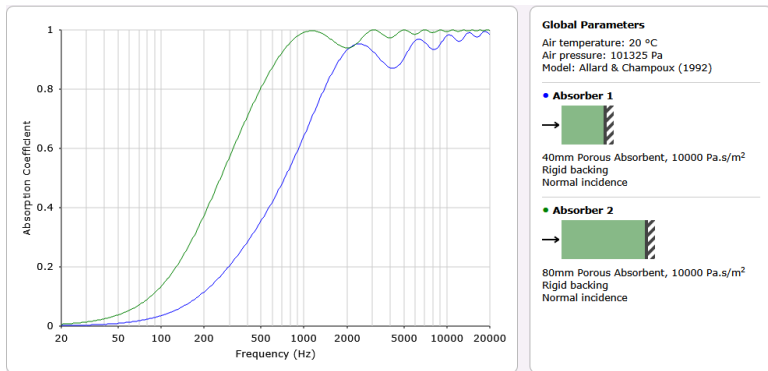


Figure – Comparaison courbe de coefficient d'absorption pour le même poreux d'épaisseur différente

Largement employée comme moyen de réduire le bruit des infrastructures routières, les barrières acoustiques disposent de limitations :

- ▶ Effet de diffraction au sommet de la barrière qui limite leur performance [4];
- ▶ Performance en basse-fréquence moins importante [8, 6];
- ▶ Obstrue la vue, réduit la lumière et crée une séparation dans les écosystèmes [2].

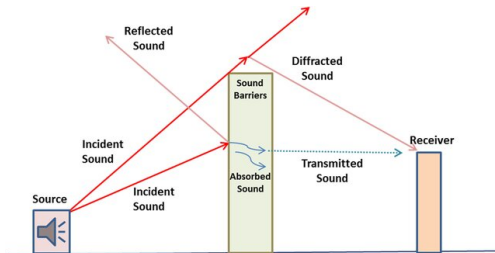


Figure – Mécanismes de fonctionnement d'une barrière acoustique [5].

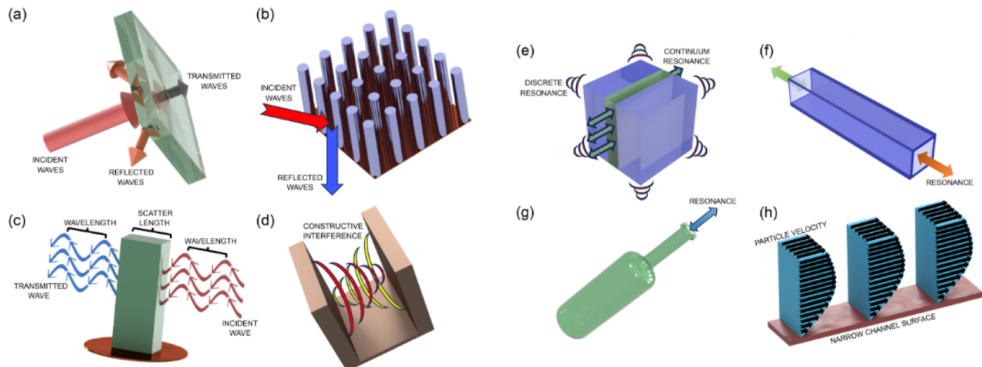
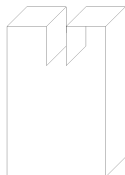
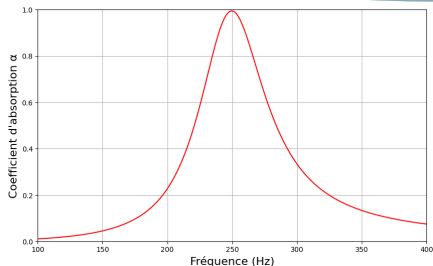


Figure – Représentation des mécanismes physiques ayant lieu dans les métamatériaux [3].



(a)
Résonateur
d'Helmholtz



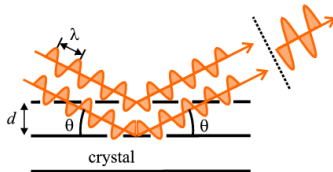
(b) Coefficient d'absorption du résonateur

Figure – Résonateur d'Helmholtz en fente et coefficient d'absorption.

- ▶ Effet d'impedance matching entre le résonateur et l'air à la fréquence de résonance ;
- ▶ Absorption parfaite sub-longueur d'onde ($f = 250$ Hz $\Rightarrow \lambda = 1.37$ m, $h = 7.7$ cm)



(a) Cristaux soniques



(b) Schéma de la loi de Bragg

Figure – Fonctionnement physique d'un cristal sonique.

La bande interdite d'un cristal se calcule selon :

$$f_{BG} = \frac{c}{2a \sin(\theta)}, \quad (1)$$

avec c , a et θ étant respectivement la célérité du son, la périodicité du cristal et l'angle d'incidence de l'onde sur le cristal.

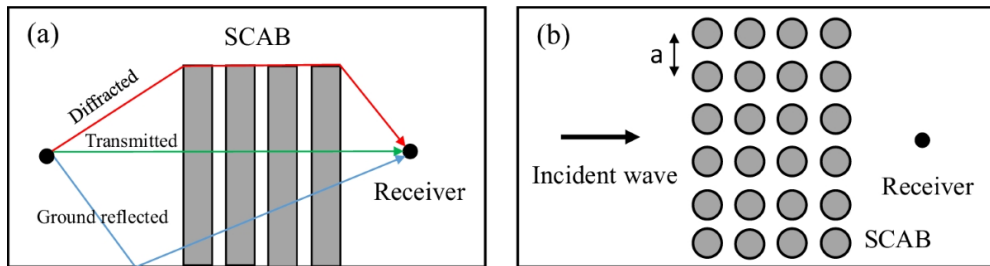


Figure – Concept d'un mur acoustique à base de cristaux soniques [7].

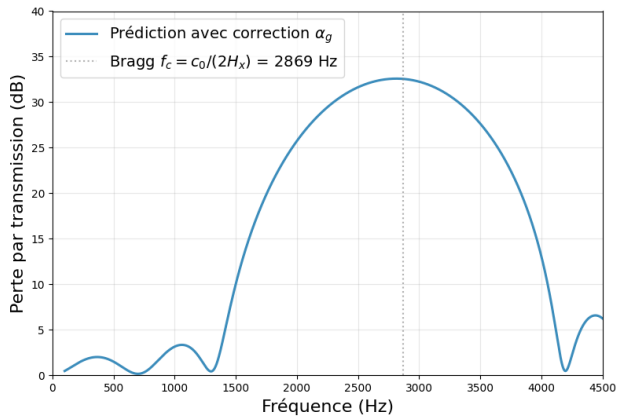


Figure – Courbe de référence de la perte par insertion d'un SCNB - $a = 6$ cm et $D = 3.15$ cm

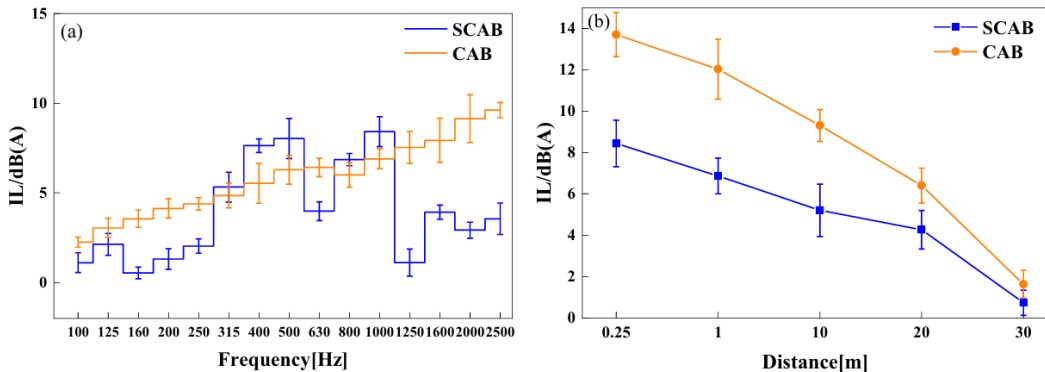


Figure – Comparaison de la perte par insertion d’une barrière conventionnelle et SCNB [7]

Le domaine des métamatériaux présente les avantages suivants :

- ▶ Une littérature énorme sur le domaine des métamatériaux;
- ▶ Des méthodes éprouvées pour maximiser les performances des métamatériaux acoustique (coefficient d'absorption, perte par insertion, etc...);

Mais leur application est bloqué par les points suivants :

- ▶ Pas de considération des métamatériaux dans leur environnement;
- ▶ Les cas d'application en acoustique environnementale sont rares (Problème large bande en fréquence et de modélisation).

Utiliser les propriétés des métamatériaux acoustique afin de :

- Proposer des solutions innovantes pour réduire le bruit
- Proposer des solutions pour des sources spécifiques
- Réduire le bruit de la source à la réception en passant par la propagation.

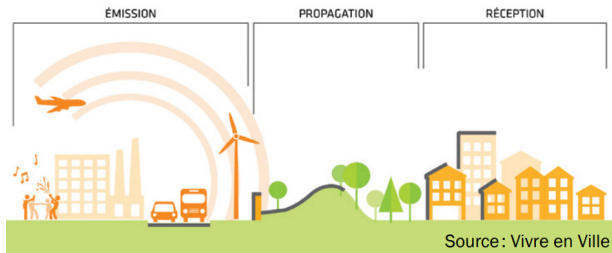


Figure – Schéma de propagation du bruit

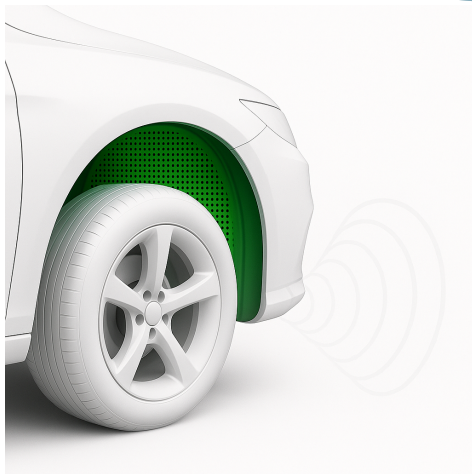
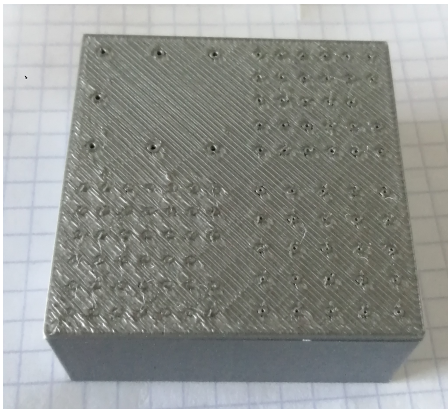
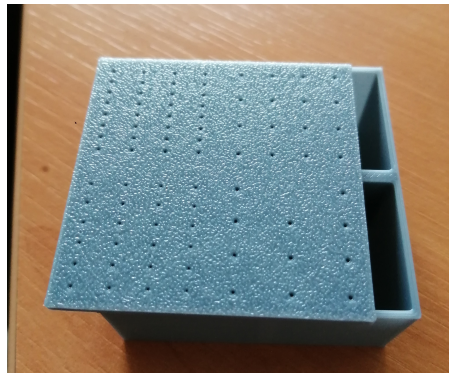


Figure – Schéma du principe de plaque microperforée dans le passage de roue



(a) Première impression 3D



(b) Module final

Figure – Impression 3D du métamatériau à base de plaques microperforées.

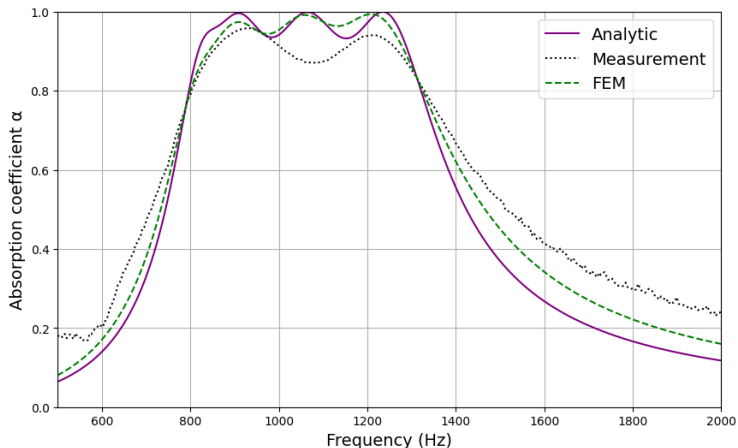


Figure – Comparaison du coefficient d'absorption du métamatériau composé de plaque microperforée en parallèle : analytique, FEM et mesure.

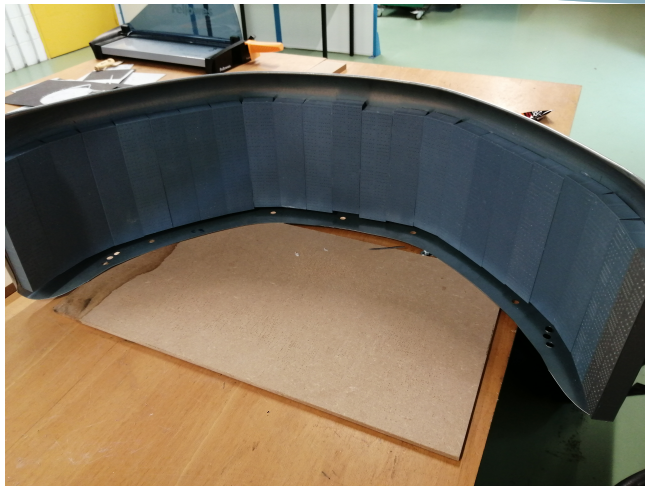


Figure – Passage de roue modifié avec des plaques microperforées.

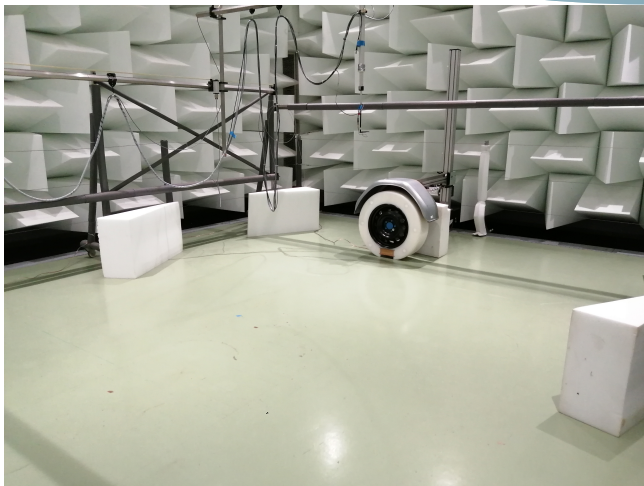


Figure – Mesure en SSA de l'effet du traitement du passage de roue.

Comment maximiser la perte par insertion à un point récepteur en designant une métasurface acoustique dans le sol ?

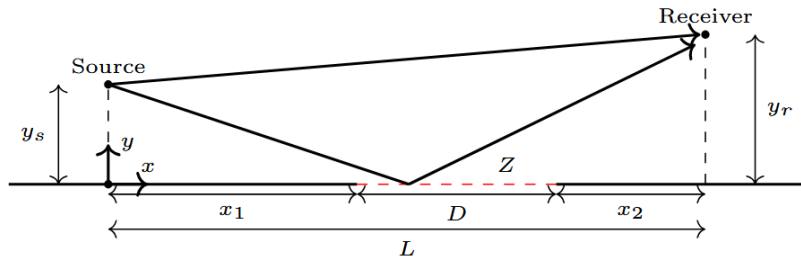


Figure – Géométrie de propagation semi-ouverte comprenant une source ponctuelle située à une distance y_s , un récepteur situé à une distance y_r , et un segment de métasurface de longueur D intégré à la surface du sol sur une distance horizontale L .

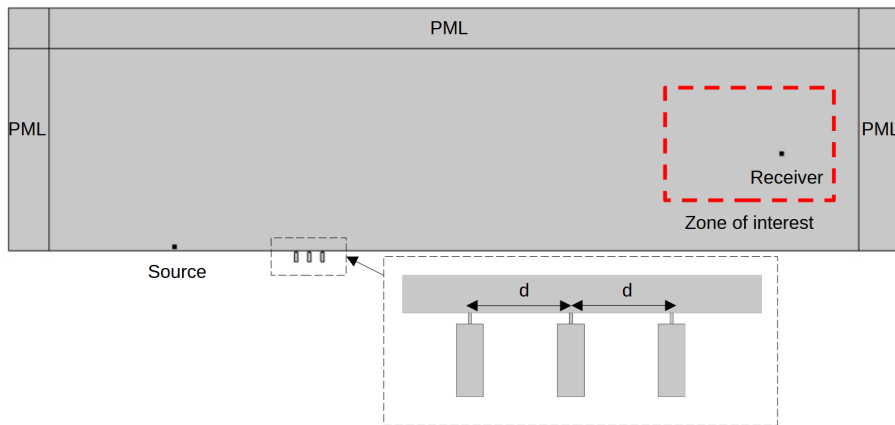


Figure – Modèle par éléments finis 2D utilisé pour évaluer le IL à l'emplacement du récepteur dans un domaine de propagation semi-ouvert

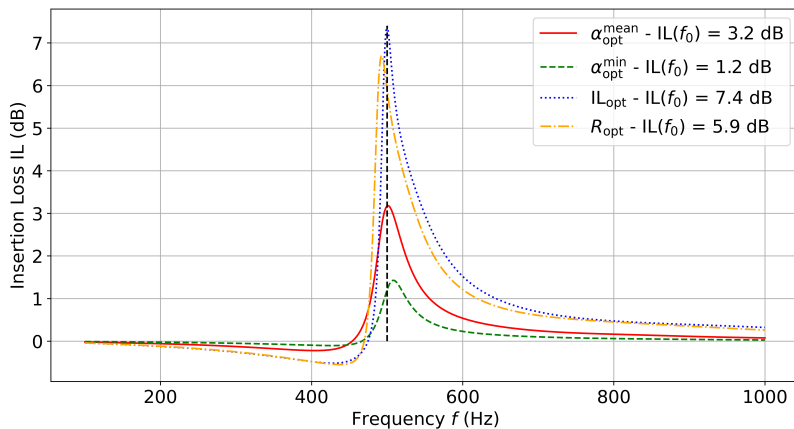


Figure – Comparaison de la perte d'insertion obtenue pour les deux configurations optimisées : IL_{opt} , $\alpha_{\text{opt}}^{\text{mean}}$, $\alpha_{\text{opt}}^{\text{min}}$ and R_{opt} .

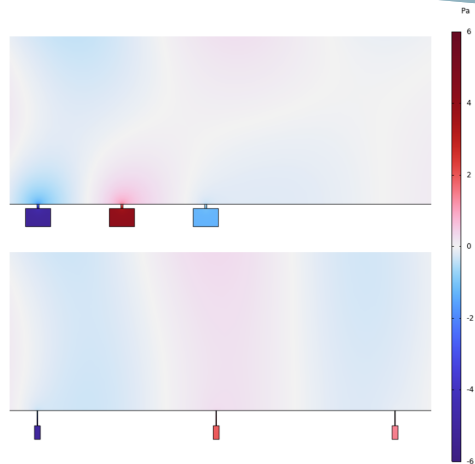


Figure – Comparaison du champ de pression $\text{Re}\{p\}$ à $f = f_0$ dans le modèle de propagation semi-ouvert pour les configurations : IL_{opt} (en haut) et $\alpha_{\text{opt}}^{\text{min}}$ (en bas).

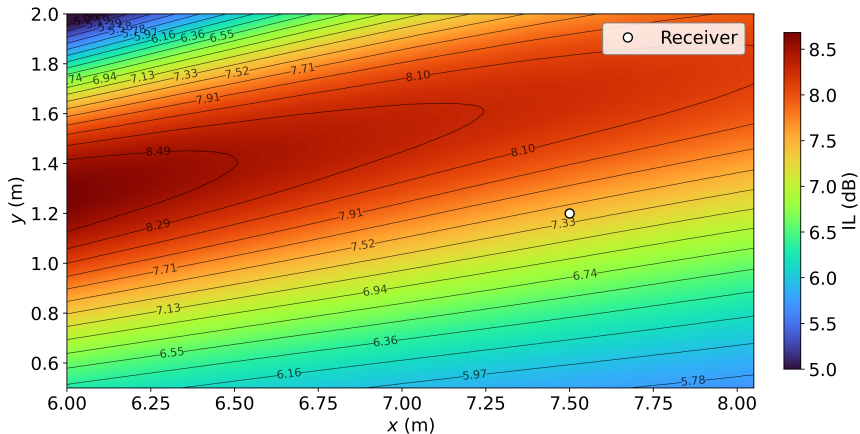


Figure – Perte d'insertion à f_0 en fonction de la position du récepteur dans la zone d'intérêt.

Danke Schön!