

Modèle Éléments Finis pour l'étude d'une structure multicouche micro-perforée

J. D. Bainamndi^{1*}, G. E. Ntamack¹, E. Siryabe², P. Maréchal³, R. Venegas⁴, Charif D'Ouazzane. Saad⁵

¹Département de Physique, Groupe de Mécanique, des Matériaux et Acoustique (GMMA), Université de Ngaoundéré, Ngaoundéré, Cameroun.

²Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), UMR 5295 CNRS, Université de Bordeaux, Bordeaux, France.

³Laboratoire Ondes et Milieux Complexe (LOMC) UMR 6294 CNRS, Université du Havre, Le Havre, France.

⁴Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat UMR CNRS 5513, Université de Lyon, Lyon, France.

⁵Laboratoire de Mécanique, Thermique et Matériaux (LMTM), Ecole Nationale de l'Industrie Minérale (ENIM), Rabat, Maroc.

*e-mail : bainamndidaliwa@gmail.com

Résumé

Ce travail porte sur l'étude des structures multicouches micro-perforées (MPP) via une méthode des éléments finis (EF), sur une gamme de fréquence de 10 à 4000 Hz. On s'intéresse au coefficient d'absorption de la structure. Le modèle éléments finis développé à l'aide du logiciel *Comsol Multiphysics* permet de prédire l'absorption acoustique de la MPP. La MPP étant constituée de plaques perforées supposées rigides, d'espaces aériens et ou de matériau poreux. On suppose une continuité de vitesse des particules aux interfaces entre les plaques perforées, les espaces aériens et/ou le matériau poreux. Pour valider le modèle développé, les résultats sont premièrement comparés à ceux de la littérature. Ensuite, l'effet du taux de porosités, de l'épaisseur et du diamètre de cavités d'air est analysé. Si les plaques perforées possèdent des taux de porosités différents, leur arrangement lors de la conception d'une structure multicouche joue un rôle capital sur l'absorption de la MPP. En effet, la porosité augmente, l'amplitude du coefficient d'absorption diminue avec un décalage des pics vers les hautes fréquences. Par contre, lorsque l'épaisseur de la MPP augmente, l'amplitude des coefficients d'absorption augmente. Lorsqu'on augmente cette fois le diamètre de la cavité d'air, on observe un décalage des pics d'absorption vers les fréquences basses et une diminution de l'amplitude du coefficient d'absorption.

1. Introduction

Les structures micro-perforées suscitent un très grand intérêt dans les industries de transport tels que l'aéronautique ou l'automobile du fait de leur application dans le contrôle du bruit [1,2]. Toutefois, la capacité d'absorption de ces structures dépend étroitement des caractéristiques de ses différents constituants. Le but du travail présenté dans ce papier est donc d'étudier l'effet de certains paramètres critiques tels que l'épaisseur, la porosité, la cavité d'air

et l'arrangement des plaques micro-perforées (constituées de micropores de même nature et ou différente, périodique ou non) au sein d'une multicouche, sur l'absorption ultrasonore. L'objectif étant de distinguer le facteur qui influence le plus l'absorption acoustique. Dans ce contexte, des études ont été menées dans la littérature. Par exemple, Davern [3] a présenté une étude expérimentale pour une structure multicouche constituée d'une plaque perforée, d'un espace aérien et d'un matériau poreux. Il montre que la porosité de la plaque perforée et la densité du matériau poreux influencent considérablement l'impédance acoustique et le coefficient d'absorption de la structure. De même, Jinkyo et al [4] a étudié une structure constituée de deux plaques perforées soutenues par des espaces aériens, en utilisant la méthode EECA (*Equivalent Electrical Circuit Approach*). Ils ont montré que l'absorption acoustique est meilleure pour une structure constituée de deux plaques perforées, contrairement à une structure composée d'une seule plaque perforée. Dans le cas de la présente étude, les structures sont constituées d'une, deux ou trois plaques perforées supposées rigides. Le domaine de fréquence est compris entre 10 et 4000 Hz. Un modèle éléments finis est développé via le logiciel *Comsol Multiphysics*[®] pour prédire l'absorption de la structure et les résultats sont comparés à ceux obtenus grâce à la méthode ATA et EECA développée par Lee et Chen [5].

2. Bases théoriques

2.1 Méthode EECA

La vitesse des particules étant supposée continue, l'impédance de surface équivalente peut être obtenue comme résistance équivalente (en série) de la première couche de plaque perforée et de la première cavité d'air (soutenues par un mur rigide) :

$$\Gamma_{e1} = \Gamma_{p1} + \Gamma_{a1} \quad (1)$$

Où Γ_{p1} et Γ_{a1} sont respectivement les impédances de surface de la première plaque perforée et de la première cavité d'air (soutenue par un mur rigide) dont les expressions sont données par Lee et al [5].

En considérant maintenant le fait qu'il y a discontinuité de la pression, l'impédance de surface Γ_{e1} est considérée en parallèle avec l'impédance de surface Γ_{a2} de la seconde cavité d'air. Ainsi, l'impédance acoustique équivalente Γ_{u1} induite par la première couche de la plaque perforée, la première et seconde cavité d'air est donné par :

$$\Gamma_{u1} = \frac{\Gamma_{a2} \Gamma_{e1}}{\Gamma_{a2} + \Gamma_{e1}} \quad (2)$$

En procédant de cette manière, l'impédance acoustique de surface totale Γ_r de la MPP peut être évaluée et le coefficient d'absorption calculé.

2.2 La méthode ATA

Cette technique a été développée pour des structures beaucoup plus complexes et pratiques regroupant une combinaison variée de plaques perforées, d'espaces aériens et ou de matériaux poreux [5].

Ici, l'impédance acoustique Γ_{j1} , de la première cavité d'air ou du premier matériau poreux est donnée par [3] :

$$\Gamma_{j1} = Z_{j1} \frac{Z_r \cosh(\gamma_{j1} t_{j1}) + Z_{j1} \sinh(\gamma_{j1} t_{j1})}{Z_r \sinh(\gamma_{j1} t_{j1}) + Z_{j1} \cosh(\gamma_{j1} t_{j1})} \quad (3)$$

Où Z_r est l'impédance acoustique de surface arrière de la première cavité d'air ou du premier matériau poreux soutenu par une paroi rigide. De manière similaire, l'impédance acoustique de surface de la cavité d'air ou du matériau poreux suivant est évaluée, à la seule différence que l'impédance acoustique de surface Z_r est remplacée par l'impédance acoustique de surface Γ_{j1} ($j = a$ ou m) : ce qui permet de prendre en compte l'effet de la combinaison variée des différentes couches constituant la MPP.

Ainsi l'impédance acoustique de surface Γ_{c1} du premier compartiment peut être calculée à partir de l'impédance de la première couche de la structure perforée Γ_{p1} et de la $(k-1)$ ème couche de cavité d'air ou de matériau poreux $\Gamma_{j(k-1)}$ donnée par l'expression suivante :

$$\Gamma_{c1} = \Gamma_{p1} + \Gamma_{j(k-1)} \quad (4)$$

Le coefficient d'absorption s'obtient par :

$$\alpha = \frac{\frac{4R_r}{\rho a c a}}{\left(\frac{R_r}{\rho a c a} + 1\right)^2 + \left(\frac{X_r}{\rho a c a}\right)^2} \quad (5)$$

Avec R_r et X_r les parties réelles et imaginaires de l'impédance acoustique respectivement

2.3 Modèle Éléments finis développé

La géométrie du modèle est présentée sur la figure ci-dessous avec : D1 (tube) : $\rho=1.21 \text{ kg/m}^3$ et $c=343 \text{ m/s}$, D2 (pour le trou) et D3 (domaine d'air) : $\rho=1.21 \text{ kg/m}^3$ et $c=343 \text{ m/s}$.

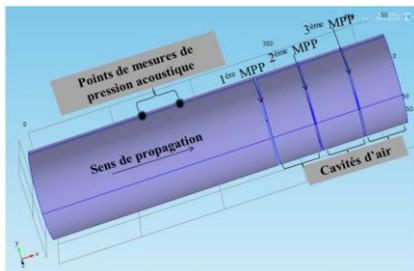


Figure 1 : Tube à impédance modélisé sous Comsol

Les conditions aux limites sont : S (source) : condition de radiation ($p=1 \text{ Pa}$). Autour du mur rigide, la vitesse de la particule est nulle au niveau des frontières. La pression sonore est déterminée pour deux positions et le coefficient d'absorption est calculé grâce à la méthode des fonctions de transferts [6].

3. Résultats

Dans cette section, le coefficient d'absorption est calculé en fonction de la fréquence en étudiant l'influence de quelques paramètres. Les caractéristiques des plaques perforées utilisées sont données dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Caractéristiques des matériaux utilisés

	Rayon (mm)	Cavité (mm)	Épaisseur (mm)	Porosité (%)
MPP1	0.5	39	1	2.2
MPP2	0.75	39	1	4.9
MPP3	1	39	1	8.7

Dans un premier temps, les résultats du modèle EF sont comparés à ceux de la littérature (**Figure 2**). On observe que le modèle EF est en très bon accord avec les mesures et le modèle ATA développé par Lee et al [53]. Ce modèle EF est donc validé dans le domaine fréquentiel de l'étude.

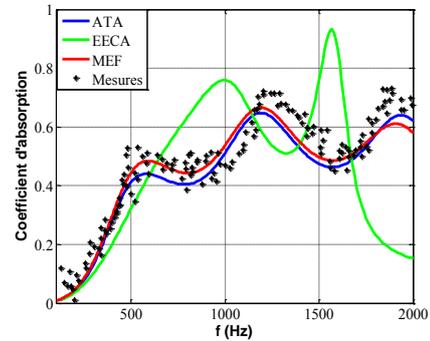


Figure 2 : Coefficients d'absorption pour une structure constituée de trois MPP soutenues par une paroi rigide : arrangement MPP3-MPP2-MPP1 (insonation directe, de la gauche vers la droite).

Le modèle EF est ensuite utilisé pour étudier l'influence de la porosité sur l'absorption d'une structure constituée d'une cavité d'air et de la MPP1, MPP2 ou MPP3. Les résultats sont présentés à la **Figure 3**. On observe une diminution de l'amplitude du coefficient d'absorption lorsque la porosité augmente, avec un décalage des pics vers les hautes fréquences. Notons que le taux de porosité, le diamètre de perforation et le nombre de pores sont étroitement liés. Une augmentation du diamètre des perforations ou du nombre de pores entraînerait une augmentation de la porosité et par conséquent une diminution de l'absorption.

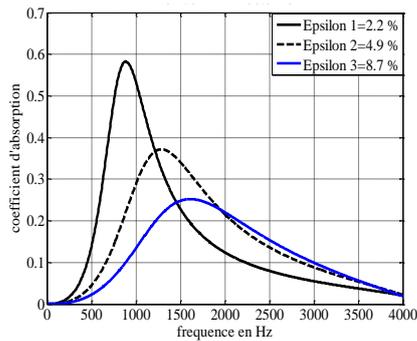


Figure 3 : Effet de la porosité sur l'absorption d'une MPP.

A la **Figure 4**, par contre, c'est l'épaisseur de la MPP qui varie. On observe que, lorsque l'épaisseur de la MPP augmente, l'amplitude des coefficients d'absorption augmente également. De plus, on observe un décalage des pics d'absorption vers les fréquences basses. Les performances de la structure en qualité d'absorbant peuvent donc aussi être optimisées en jouant sur l'épaisseur de la MPP.

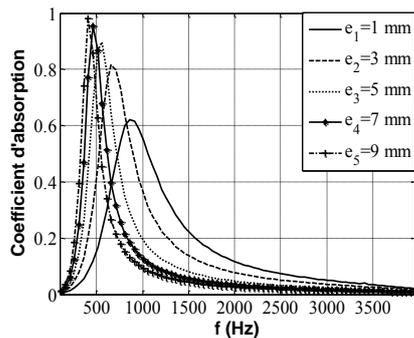


Figure 4 : Effet de l'épaisseur sur l'absorption d'une MPP.

En ce qui concerne l'effet de la variation de la cavité d'air, sur **Figure 5**, on observe que l'amplitude des pics d'absorption croît avec la fréquence lorsqu'on va de la plus grande cavité d'air vers la plus petite. De plus, cette augmentation se fait avec un décalage des pics d'absorption vers les hautes fréquences. En comparant le coefficient d'absorption obtenu à celui obtenu lorsque le diamètre de la cavité d'air est constant, on observe que les allures des courbes sont très différentes. La cavité d'air joue également un rôle important sur le coefficient d'absorption d'une MPP.

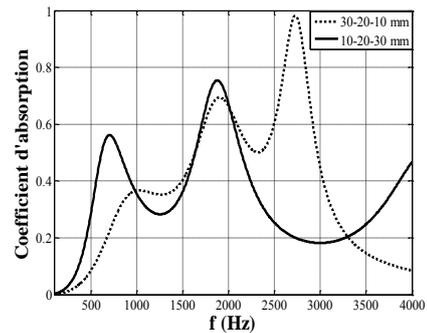


Figure 5 : Effet de la cavité d'air sur les coefficients d'absorption d'une MPP : MPP3-MPP2-MPP1 avec des cavités d'air de diamètres différents.

4. Conclusion

Dans cette étude, l'influence de la variation de la porosité, de l'épaisseur et de la cavité d'air a été examinée sur le coefficient d'absorption d'une MPP. On montre que l'arrangement des plaques perforées est d'une importance capitale pour l'obtention d'une meilleure absorption. De plus, la porosité, l'épaisseur de la MPP ont également des effets assez importants sur l'absorption de la MPP. Cette étude préliminaire met donc en évidence une influence des paramètres constituant la MPP sur son absorption. Des études plus approfondies permettront d'apporter plus d'information quant au paramètre le plus critique ou même étudier l'effet de l'interaction entre les perforations sur l'absorption d'une MPP.

Références

- [1] - M. Oudich, *Contribution à l'étude des cristaux phononiques à résonance locale dans les régimes sonique et hypersonique : approches théorique et expérimentale*, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, p.221, 2011.
- [2] - S.A. Bourras, *Les nuisances sonores tuées*, Organisation Mondiale de la Santé, 2007.
- [3] - W. A. DAVERN, Perforated facings backed with porous materials as sound absorbers-an experimental study, *Applied Acoustics* **10**, 85-112, 1977.
- [4] - L. Jinkyoo, W. George and J. Swenson, *Compact sound absorbers for low frequencies*, *Noise Control Engineering Journal*, p.109-117, 1992.
- [5] - F.C. Lee Andw. H. Chen, *Acoustic transmission analysis of multilayer absorbers*, *Journal of Sound and Vibration*, p.621-634, 2001.
- [6] - ISO 10354-2:1996, *Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method*.