



Comportement vibratoire des plaques microperforées finies

Lucie Gallerand¹, Mathias Legrand², Thomas Dupont¹, Philippe Leclaire³

¹École de technologie supérieure, Montréal, Canada

²Université McGill, Montréal, Canada

³Université de Bourgogne, France

14 avril 2022



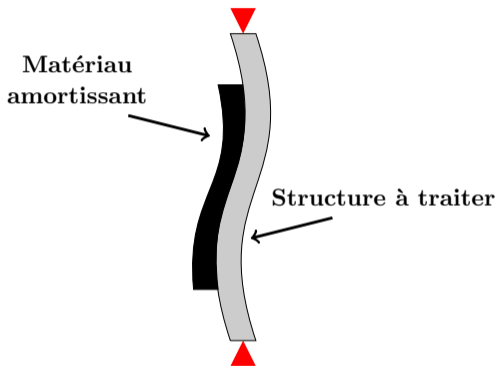
Solutions passives en amortissement

Enjeux

- ▶ Réduction des vibrations en basses fréquences
- ▶ Faible ajout de masse
- ▶ Large bande
- ▶ Propriétés mécaniques

Solution actuelle : matériaux visco-élastiques

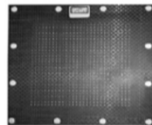
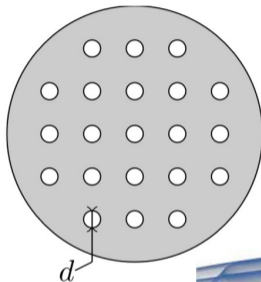
- ▶ Peu efficace en basses fréquences
- ▶ Ajout de masse important



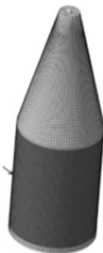
Solution légère pour amortir les basses fréquences ?

Plaques microperforées (MPP) ¹

MPPs comme absorbeurs acoustiques



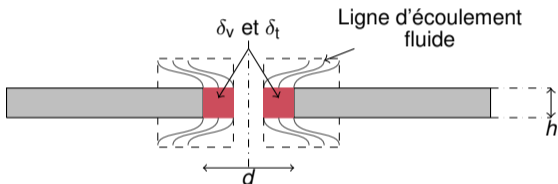
[1]



1. PARK. "A design method of micro-perforated panel absorber at high sound pressure environment in launcher fairings". *Journal of Sound and Vibration* (2013).

Absorption et amortissement

- ▶ Absorption acoustique \Rightarrow Effets visco-thermiques



- ▶ Amortissement vibratoire \Rightarrow Effets visco-thermiques et interactions fluide-solide
- ▶ Amortissement ajouté observé mais non quantifié²

Objectif : Étude de l'influence des perforations sur l'amortissement ajouté

2. LEE, LEE et NG. "Sound absorption of a finite flexible micro-perforated panel backed by an air cavity". *Journal of Sound and Vibration* (2005).

Organisation de la présentation

- 1 Introduction
- 2 Modèle analytique
- 3 Analyse de l'amortissement ajouté
- 4 Validations expérimentales

Modélisation

MPP \Leftrightarrow Poreux³

Propriétés mécaniques équivalentes⁴

Modèle dynamique plaque poreuse finie⁵ \Rightarrow MPP

Analyse modale sur MPP finie

3. ATALLA et SGARD. "Modeling of perforated plates and screens using rigid frame porous models". *Journal of Sound and Vibration* (2007)

4. BOCCACCINI et FAN. "A new approach for the Young's modulus-porosity correlation of ceramic materials". *Ceramics International* (1997)

5. LECLAIRE, HOROSHENKOV et CUMMINGS. "Transverse vibrations of a thin rectangular porous plate saturated by a fluid". *Journal of Sound and Vibration* (2001)

Paramètres macroscopiques : MPP \Leftrightarrow Poreux

- ▶ Paramètres macroscopiques des poreux adaptés aux MPPs⁶
- ▶ Paramètres fonctions du diamètre et du taux de perforation

Taux de perforation ϕ	Résistivité σ	Tortuosité α_∞
MPP : $\phi < 0,16$ $\phi = V_{\text{air}}/V_{\text{solide}}$	$\sigma = \frac{32\mu_f}{d^2\phi}$	Perforations droites Interactions entre les perforations ⁶

6. ATALLA et SGARD. "Modeling of perforated plates and screens using rigid frame porous models". *Journal of Sound and Vibration* (2007).

Paramètres mécaniques équivalents

E et ρ_s adaptés aux perforations

- ▶ Masse volumique équivalente

$$\rho_s^{\text{eq}}(\phi) = \rho_s(1 - \phi) \quad (1)$$

- ▶ Module d'Young équivalent⁷

$$E^{\text{eq}}(\phi) = \frac{E(1 - \phi)^2}{1 + (2 - 3\nu_0)\phi} \quad (2)$$

$$E = 190 \text{ GPa}$$
$$\rho_s = 7870 \text{ kg m}^{-3}$$



Équations (1) et (2)

$$\phi = 0,1$$
$$\rho_s^{\text{eq}} = 7083 \text{ kg m}^{-3}$$
$$E^{\text{eq}}(0,1) = 140 \text{ GPa}$$

7. BOCCACCINI et FAN. "A new approach for the Young's modulus-porosity correlation of ceramic materials". *Ceramics International* (1997)

Systeme d'equations

Plaque finie en reponse libre

$$D^* \nabla^4 w_s(x, y, t) + h \rho \ddot{w}_s(x, y, t) = 0 \quad (3)$$

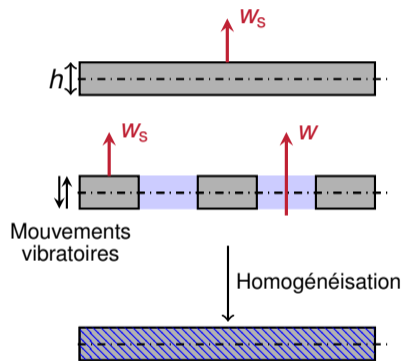
MPP finie en reponse libre

- ▶ Approche par homogenisation⁸
- ▶ Parametres geometriques adaptes aux MPPs

$$\left(D^* + \frac{\alpha^2 M h^3}{12} \right) \nabla^4 w_s + h(\rho \ddot{w}_s + \rho_f \ddot{w}) = 0 \quad (4a)$$

$$\alpha M \nabla^2 w_s - \left(\rho_f \ddot{w}_s + \frac{\rho_f \alpha_\infty}{\phi} \ddot{w} \right) - \sigma(\phi, d) \dot{w} = 0 \quad (4b)$$

Taux de perforation ϕ , Resistivite σ , Tortuosite α_∞ , Masse volumique effective ρ



8. LECLAIRE, HOROSHENKOV et CUMMINGS. "Transverse vibrations of a thin rectangular porous plate saturated by a fluid". *Journal of Sound and Vibration* (2001)

Analyse modale

Problème aux valeurs propres

- ▶ Superposition modale

$$w_s(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} w_{mn}^s(t) \Psi_{mn}(x, y) \quad (5)$$

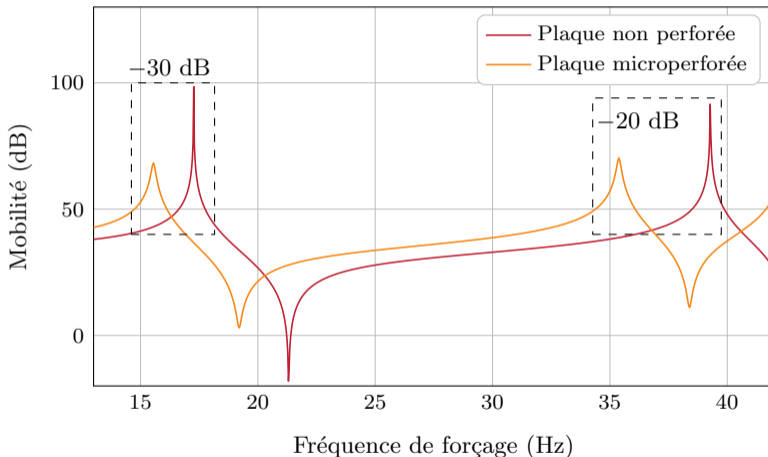
- ▶ Projection sur modes propres de la plaque non perforée

Résolution

Valeurs propres $\lambda_i = -\zeta_i \omega_i \pm j \omega_i \sqrt{1 - \zeta_i^2}$

- ▶ ω_i : fréquence naturelle du mode i
- ▶ ζ_i : facteur d'amortissement modal

Réponse forcée d'une MPP à une excitation ponctuelle



MPP 490 mm × 570 mm × 1 mm, $d = 1.4$ mm, $\phi = 0,1$, simplement appuyée sur les bords

Fréquence caractéristique

Plaque poreuse

- ▶ Fréquence caractéristique⁹

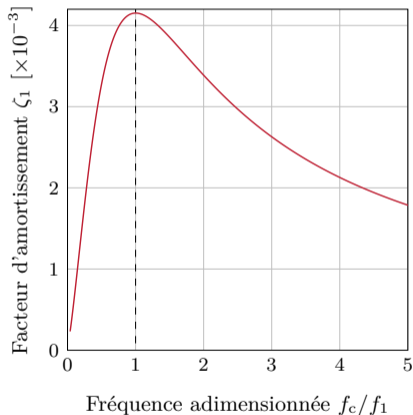
$$f_c(\sigma) = \frac{\sigma\phi}{2\pi\rho_f} \times \frac{1}{\alpha_\infty} \quad \text{où} \quad f_{\text{Biot}} \equiv \frac{\sigma\phi}{2\pi\rho_f} \quad (6)$$

Plaque microperforée

- ▶ Fréquence caractéristique adaptée aux MPPs

$$f_c(d) = \frac{32\mu_f}{2\pi\rho_f\alpha_\infty d^2} \quad (7)$$

- ▶ MPP finie \Rightarrow maximum d'amortissement pour $f_c \approx f_i$



9. LECLAIRE, HOROSHENKOV et CUMMINGS. "Transverse vibrations of a thin rectangular porous plate saturated by a fluid". *Journal of Sound and Vibration* (2001)

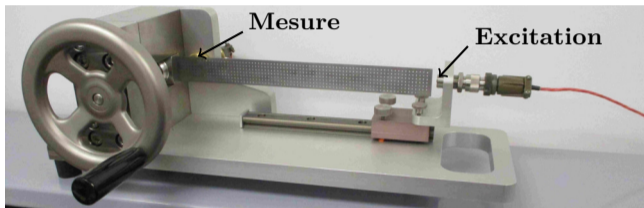
Validations expérimentales : Potence d'Oberst

Principe

- ▶ Banc d'essai normé
- ▶ Poutre encastrée-libre
- ▶ Excitation sinusoïdale

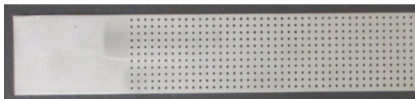
Grandeurs mesurées

- ▶ Facteur d'amortissement
- ▶ Module d'Young équivalent



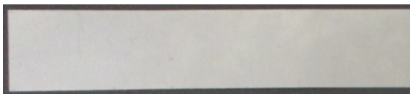
Échantillons testés

Poutre microperforée

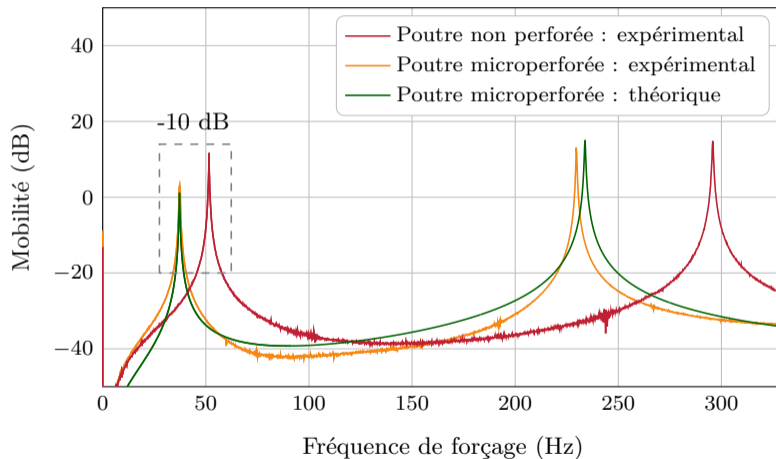


- ▶ dimensions : 130 mm × 30 mm × 1 mm
- ▶ acier
- ▶ $\phi = 0,1$ et $d = 1$ mm
- ▶ $f_c \approx f_1$
- ▶ Étude statistique sur plusieurs échantillons

Poutre de référence



Réponse forcée expérimentale à une excitation ponctuelle



Conclusions

- ▶ Amortissement ajouté dans les basses fréquences
- ▶ Fréquence caractéristique f_c liée à la fréquence de Biot
- ▶ Amortissement effectif sur une plage de fréquences autour de f_c
- ▶ Bonne solution candidate pour atténuer les amplitudes les vibrations en basses fréquences