

Contribution à la caractérisation mécanique des matériaux poro-visco-élastiques en vibro-acoustique

Luc Jaouen

Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke (Qc, Canada)
Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (Le Mans, France)

18 Décembre 2003

Motivations et objectifs

Etat de l'art appliqué

Cas des poutres

Poutre d'Oberst

Poutre modifiée

Applications à la caractérisation élastique

Synthèse

Cas des plaques

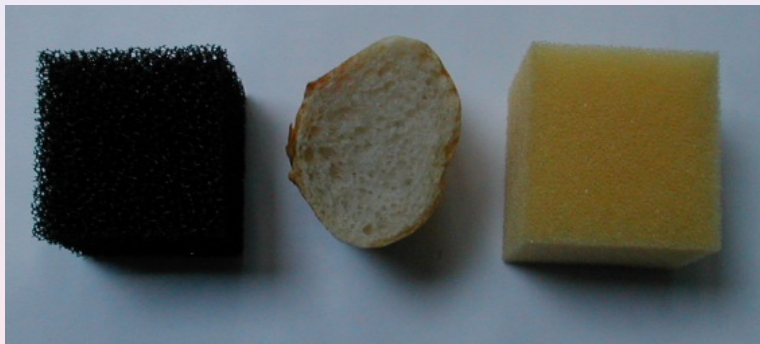
Dispositif expérimental

Modèle comportemental simplifié

Applications à la caractérisation élastique

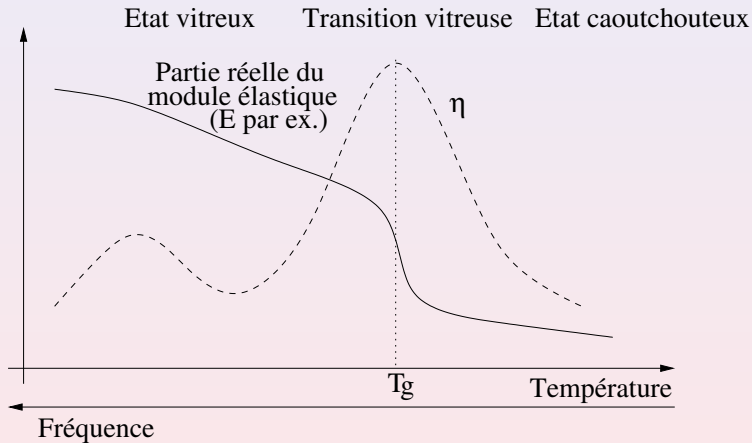
Synthèse

Conclusions et Perspectives



Quelques matériaux poro-visco-élastiques (ou poreux) constitués de deux phases (une phase solide et une phase fluide, l'air) : deux cubes de mousses polymères et un morceau de pain.

Evolution des paramètres élastiques d'un solide visco-élastique



T_g est de quelques degrés Celsius pour les polymères utilisés dans les mousses courantes.

Caractériser en fréquence et/ou en température les propriétés élastiques des poreux en vibro-acoustique :

$$E_i = E_i(\text{fréquence}, \text{température})$$

$$\eta_i = \eta_i(\text{fréquence}, \text{température})$$

ν_i sont supposés constants sur chaque intervalle de fréquence.

Motivations et objectifs

Etat de l'art appliqué

Cas des poutres

Poutre d'Oberst

Poutre modifiée

Applications à la caractérisation élastique

Synthèse

Cas des plaques

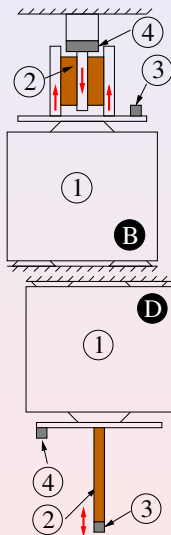
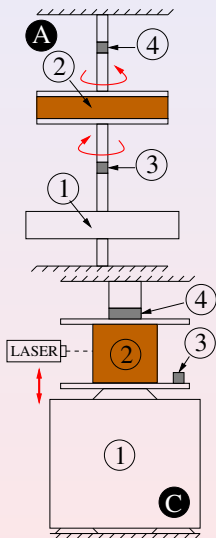
Dispositif expérimental

Modèle comportemental simplifié

Applications à la caractérisation élastique

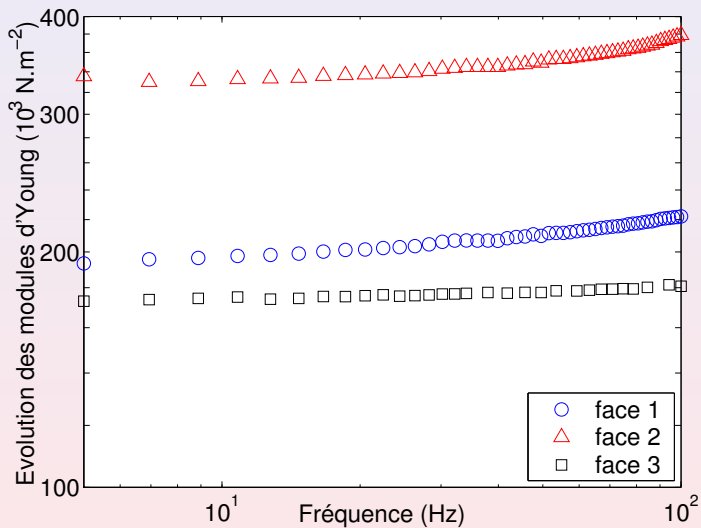
Synthèse

Conclusions et Perspectives

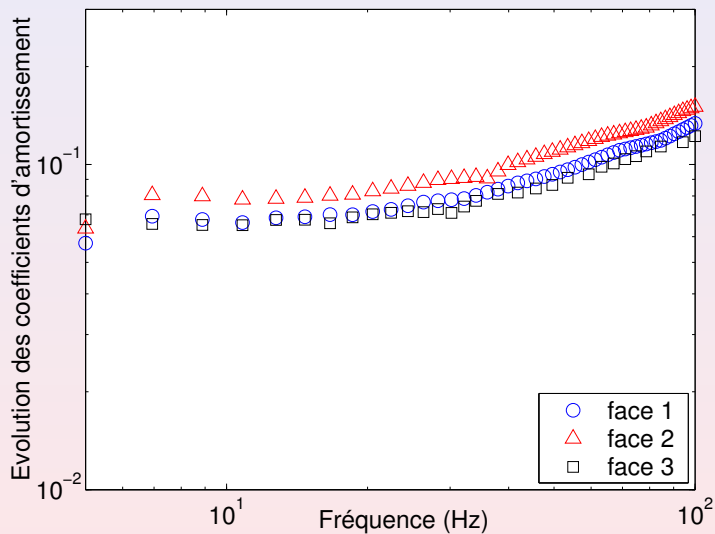


1 : pot vibrant ou moteur.
2 : échantillon de matériau.

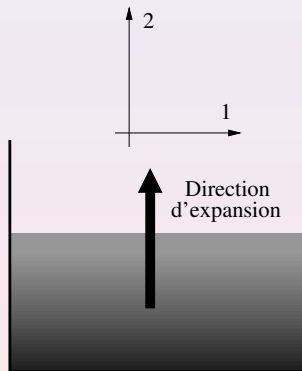
3 et 4 : accéléromètres ou capteurs de force.



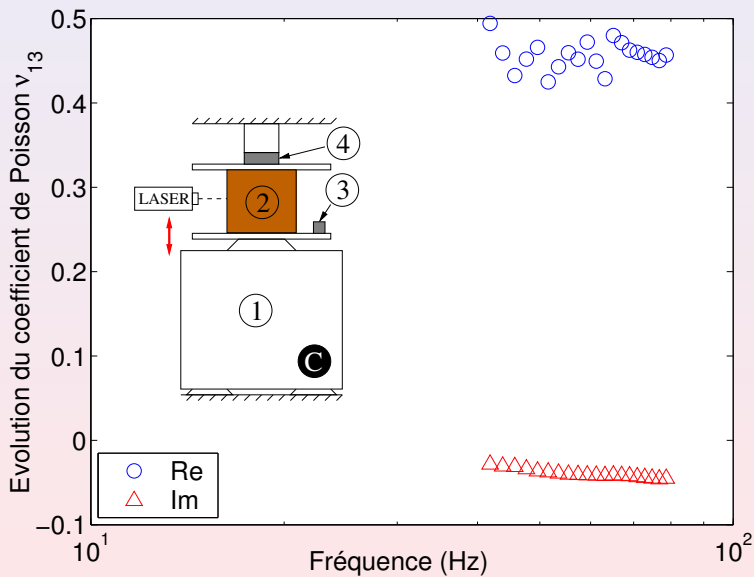
Mesures réalisées à 18°C .

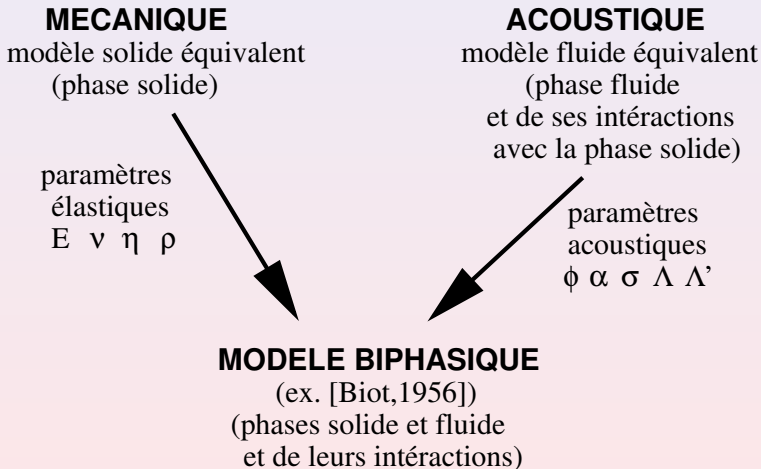


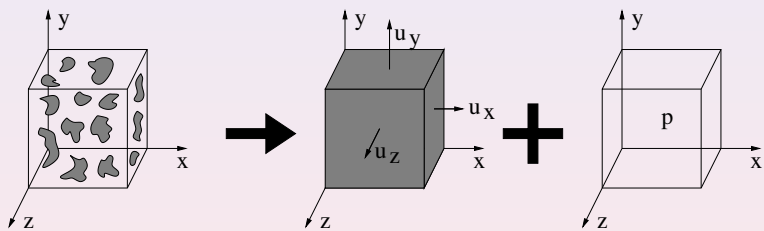
Mesures réalisées à 18°C.



Une orthotropie de révolution est souvent observée sur les mousses en raison de leur mode de fabrication.







Modélisation biphasique mixte [ATALLA et al.,1998].

4 degrés de liberté.

Cette formulation sera utilisée dans la suite.

Motivations et objectifs

Etat de l'art appliqué

Cas des poutres

Poutre d'Oberst

Poutre modifiée

Applications à la caractérisation élastique

Synthèse

Cas des plaques

Dispositif expérimental

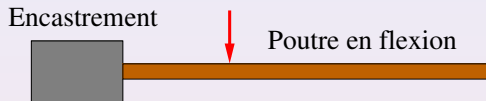
Modèle comportemental simplifié

Applications à la caractérisation élastique

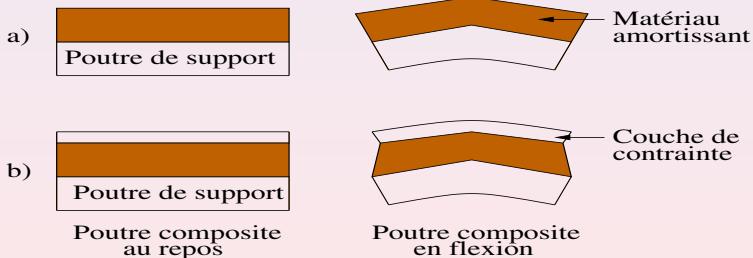
Synthèse

Conclusions et Perspectives

Concept expérimental de la poutre d'Oberst :

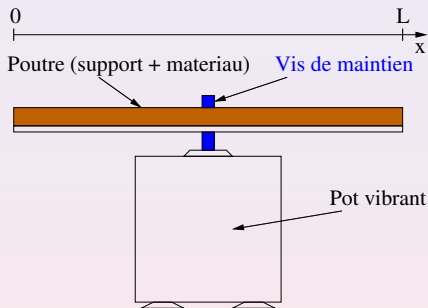


Configurations / Composition de la poutre :



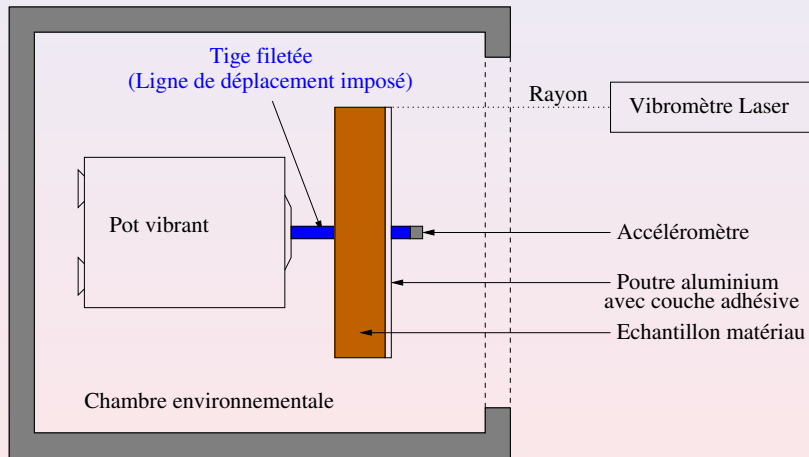
- a) configuration bicouche (caractérisation en flexion),
b) configuration tricouche (caractérisation en cisaillement).

Idée expérimentale de départ :

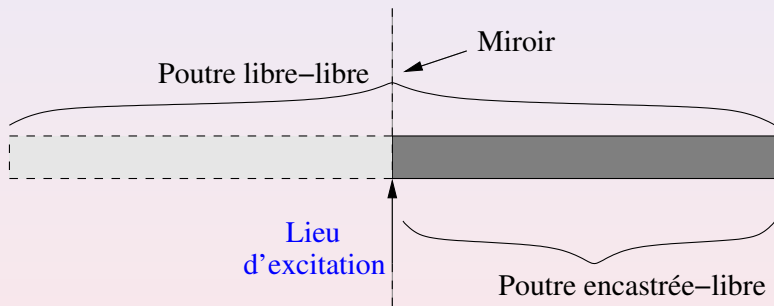


Avantages et inconvénients de ce dispositif :

- simplicité de montage dans le cas composite,
- pas d'utilisation de transducteurs électromagnétiques inductifs,
- **limitation de la gamme en température,**
- élégance de la méthode.



Remarque sur la modélisation du système :



Pour ce qui est de la flexion, la modélisation peut donc se réduire à celle d'une poutre encastrée-libre de demi-longueur.

Fonction de Réponse en Fréquence dans le cas de faible épaisseur du matériau

$$H(x = 0, \omega) = \frac{\cosh(\beta L/2) + \cos(\beta L/2)}{1 + \cosh(\beta L/2) \cos(\beta L/2)} \quad (1)$$

avec

$$\beta^4(\omega) = \frac{\rho A \omega^2}{EI} \quad (2)$$

$$EI = f(E_{\text{support}}, E_{\text{matériau}}, \eta_{\text{support}}, \eta_{\text{matériau}}) \quad (3)$$

Dans le cas de grande épaisseur du matériau, ou d'un matériau poro-visco-élastique, une modélisation par Eléments Finis est indispensable pour réduire les incertitudes des estimations.

Fonction de Réponse en Fréquence dans le cas de faible épaisseur du matériau

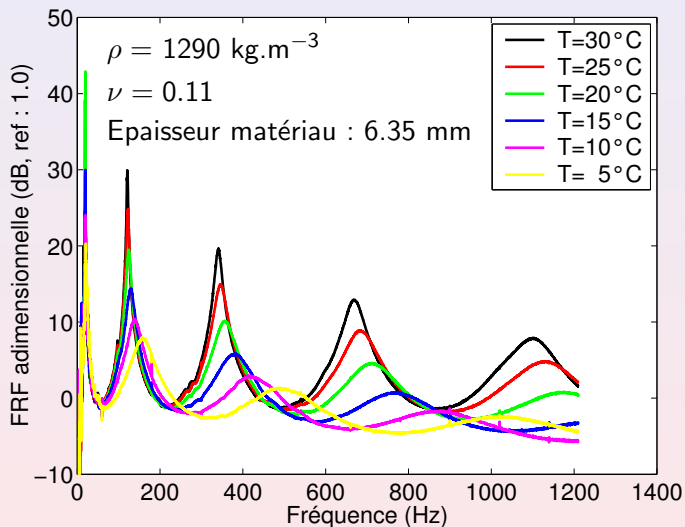
$$H(x = 0, \omega) = \frac{\cosh(\beta L/2) + \cos(\beta L/2)}{1 + \cosh(\beta L/2) \cos(\beta L/2)} \quad (1)$$

avec

$$\beta^4(\omega) = \frac{\rho A \omega^2}{EI} \quad (2)$$

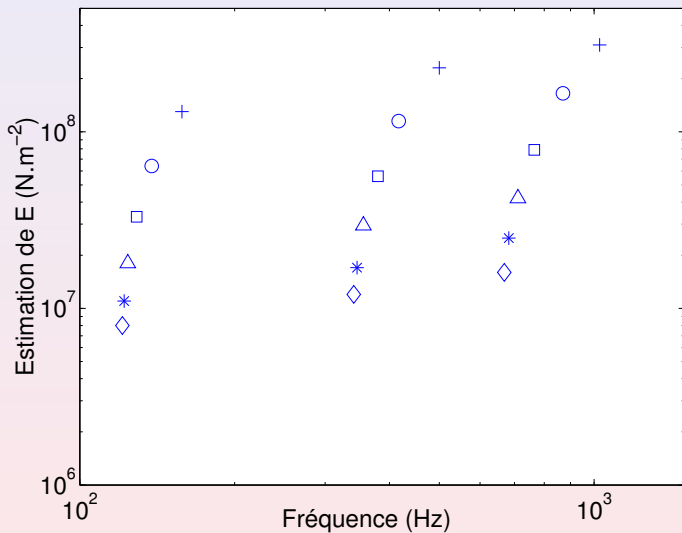
$$EI = f(E_{\text{support}}, E_{\text{matériau}}, \eta_{\text{support}}, \eta_{\text{matériau}}) \quad (3)$$

Dans le cas de grande épaisseur du matériau, ou d'un matériau poro-visco-élastique, une modélisation par Eléments Finis est indispensable pour réduire les incertitudes des estimations.



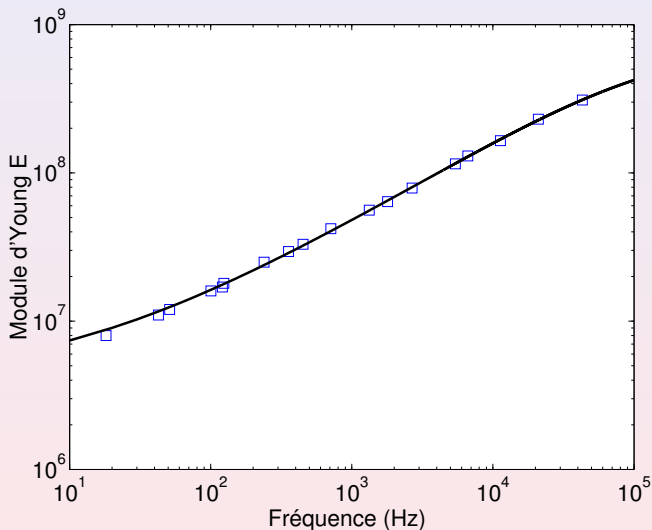
Configuration bicouche.

Matériau visco-élastique à base de poly(chlorure de vinyle).

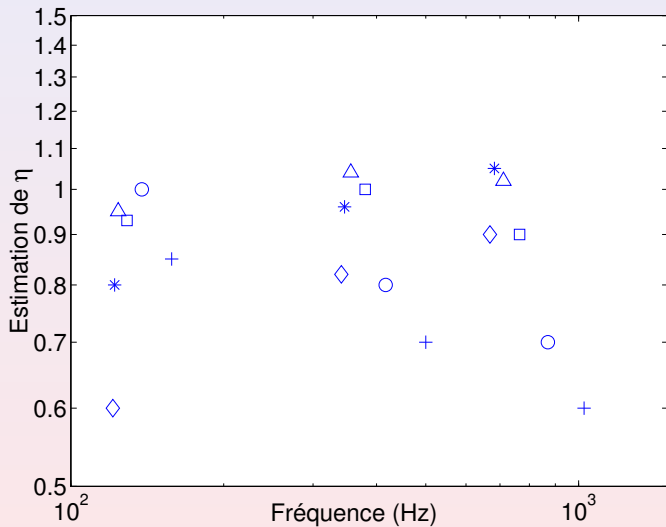


Estimations du module d'Young E (direction 1).

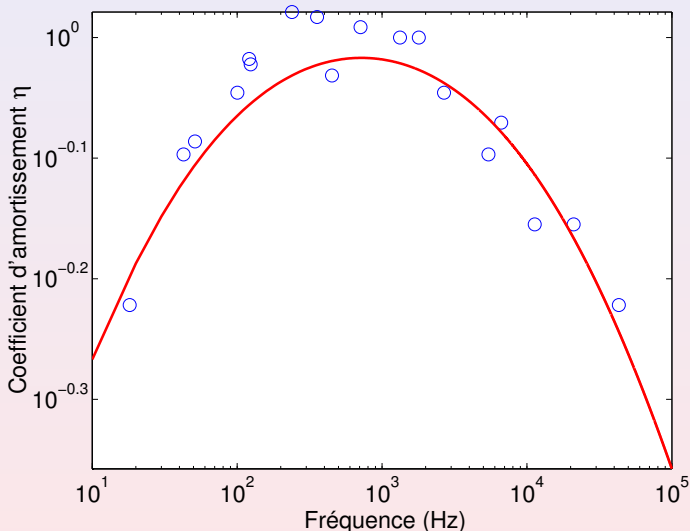
+ : 5°C , o : 10°C , □ : 15°C , △ : 20°C , * : 25°C , ◇ : 30°C .



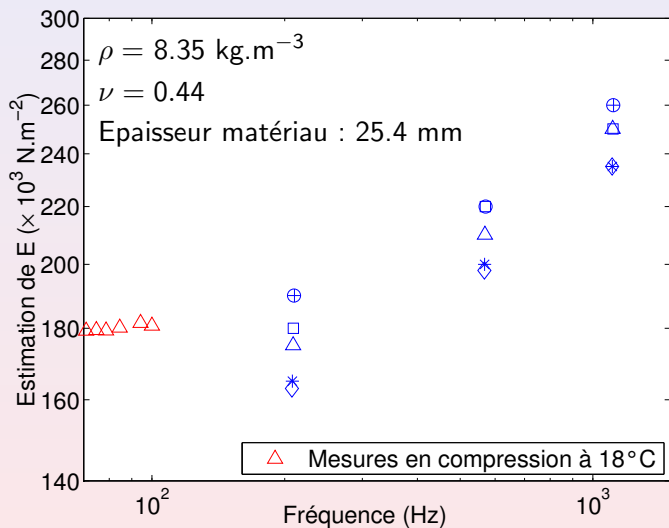
Mesures et ajustement d'un modèle comportemental visco-élastique à 4 paramètres [PRITZ,1999] (20°C).



Estimations du coefficient d'amortissement η (direction 1).
+ : 5°C, o : 10°C, □ : 15°C, △ : 20°C, * : 25°C, ◇ : 30°C.

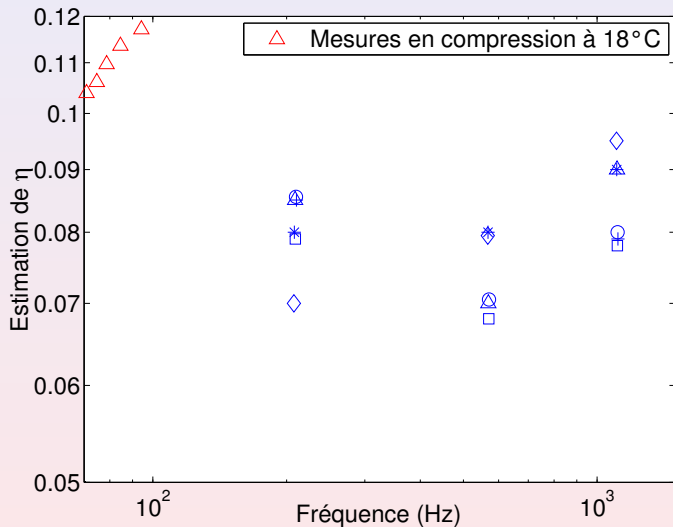


Mesures et déduction de η par utilisation des relations locales de Kramers-Kronig sur les résultats précédents (20°C).



Configuration tricouche.

+ : 5°C, o : 10°C, □ : 15°C, △ : 20°C, ☆ : 25°C, ◇ : 30°C.



Configuration tricouche.

+ : 5°C, o : 10°C, □ : 15°C, △ : 20°C, ☆ : 25°C, ◇ : 30°C.

- Dispositif expérimental simple, adapté aux poreux.
- Equivalence avec la méthode de la poutre d'Oberst.
- Les applications de caractérisation sont convaincantes.
- La lourdeur des calculs numériques est la principale limitation.

Motivations et objectifs

Etat de l'art appliqué

Cas des poutres

Poutre d'Oberst

Poutre modifiée

Applications à la caractérisation élastique

Synthèse

Cas des plaques

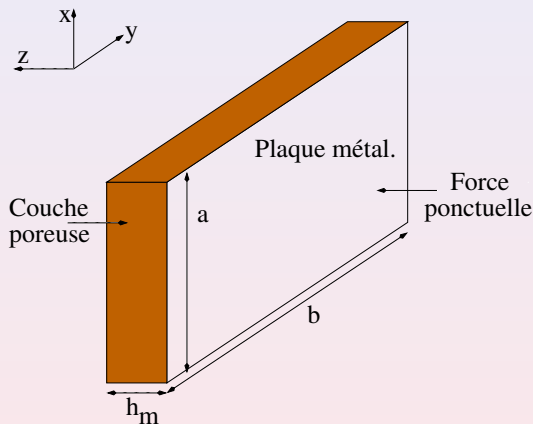
Dispositif expérimental

Modèle comportemental simplifié

Applications à la caractérisation élastique

Synthèse

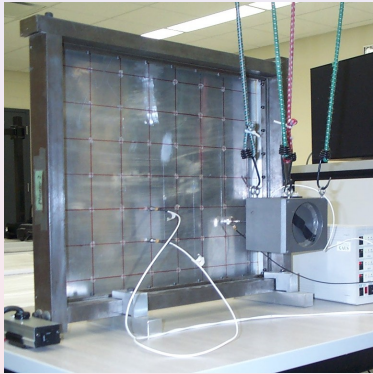
Conclusions et Perspectives



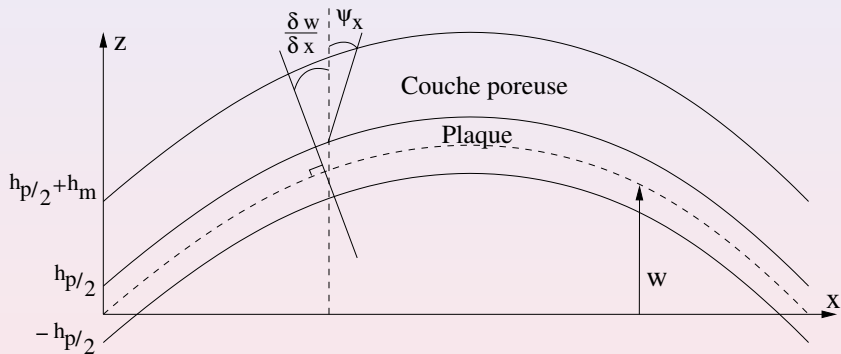
Mise en flexion d'une plaque composite.

Configuration plus répandue en pratique.

Moyennage spatial sur les hétérogénéités des matériaux.



Plaque aluminium (3.175 mm) en simple support,
traitée par 25.4 mm de la mousse de mélamine M.



Plaque métallique et phase solide du poreux modélisés comme une plaque visco-élastique équivalente. Le cisaillement est considéré dans la couche poreuse par les angles ψ_x et ψ_y .

Résolution des équations variationnelles par la méthode de discrétisation de Rayleigh-Ritz :

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} q w_{mn}(t) \alpha_m(x) \alpha_n(y) \quad (4)$$

$$\psi_x(x, y, t) = \sum_{m=1}^{M_x} \sum_{n=1}^{N_x} q x_{mn}(t) \frac{d\alpha_m}{dx}(x) \alpha_n(y) \quad (5)$$

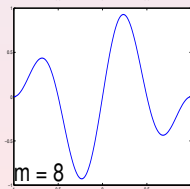
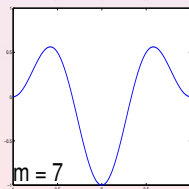
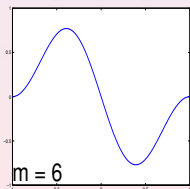
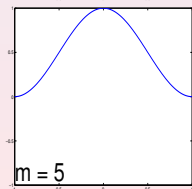
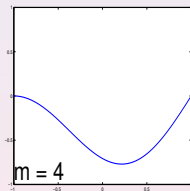
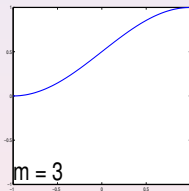
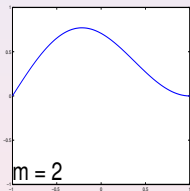
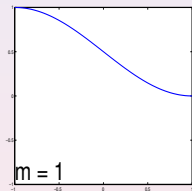
$$\psi_y(x, y, t) = \sum_{m=1}^{M_y} \sum_{n=1}^{N_y} q y_{mn}(t) \alpha_m(x) \frac{d\alpha_n}{dy}(y) \quad (6)$$

avec :

$$\alpha_{m(n)}(x) = \sin(a_m x + b_m) \sin(c_m x + d_m) \quad (7)$$

(fonctions trigonométriques [BESLIN et al.,1997])

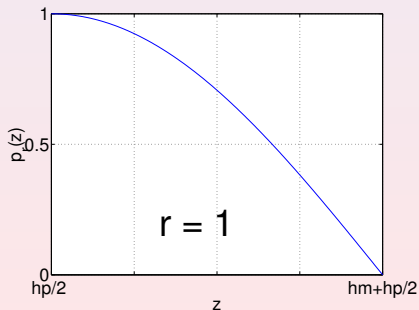
$\alpha_m(x) = \sin(a_mx + b_m)\sin(c_mx + d_m)$ for $m \in [1 \ 8]$:

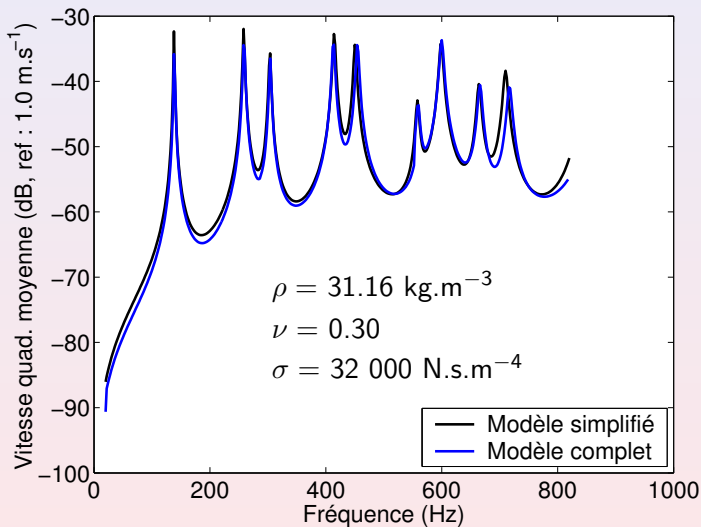


Forme admissible pour la surpression p dans le milieu poreux :

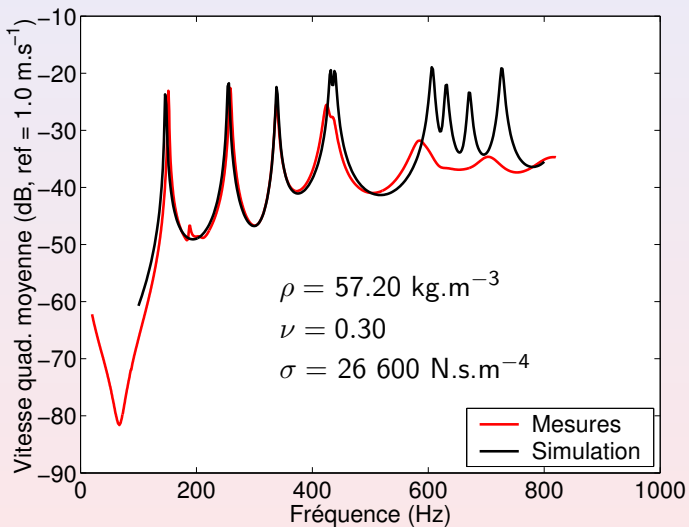
$$p(x, y, z, t) = \sum_{m=1}^{M_w} \sum_{n=1}^{N_w} \sum_{r=1}^{R_p} q p_{mnr}(t) \alpha_m(x) \alpha_n(y) p_r(z) \quad (8)$$

$$p_r(z) = \sum_{r=1}^{R_p} \cos \frac{r\pi(z - h_p/2)}{2h_m}, \quad r \text{ impair} \quad (9)$$

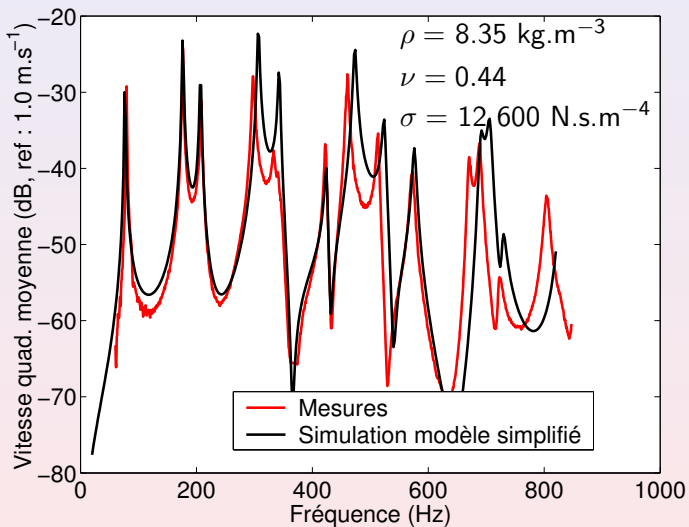




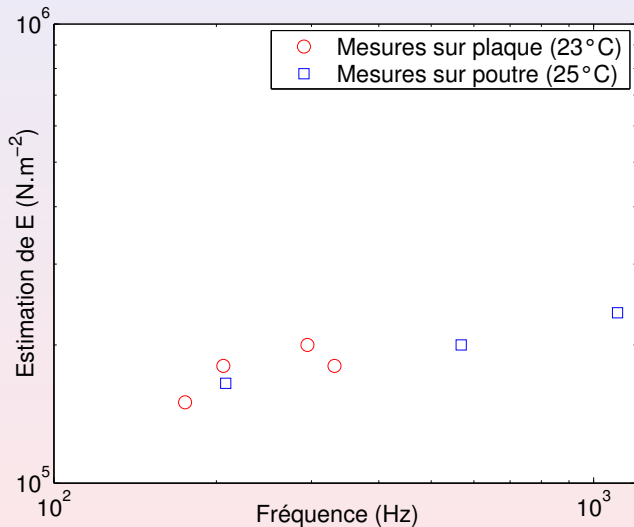
Plaque aluminium (3.175 mm) encastrée,
traitée par 20 mm de mousse B.



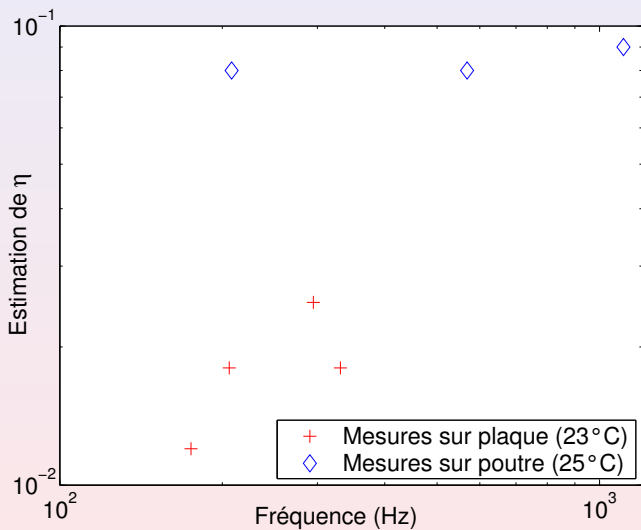
Plaque aluminium (1.2 mm) encastrée,
traitée par 20 mm de mousse J.



Plaque aluminium (3.175 mm) en simple support,
traitée par 25.4 mm de la mousse de mélamine M.



Très bon accord des résultats d'estimation du module d'Young entre les montages de poutre et de plaque.



Coefficient d'amortissement plus sensible aux inversions.
Accord sur l'ordre de grandeur.

- Validation du modèle simplifié pour différents types de matériaux.
- La première résonance en $\lambda/4$ du squelette est la limite haute fréquence de ce modèle.
- Gain en temps et en ressources informatiques important comparé aux modèles 3-D complets.
- Les résultats de caractérisations sont en accord avec la méthode “poutre” et les méthodes quasi-statiques.
- **Etendre cette méthode à des matériaux orthotropes.**

Conclusions :

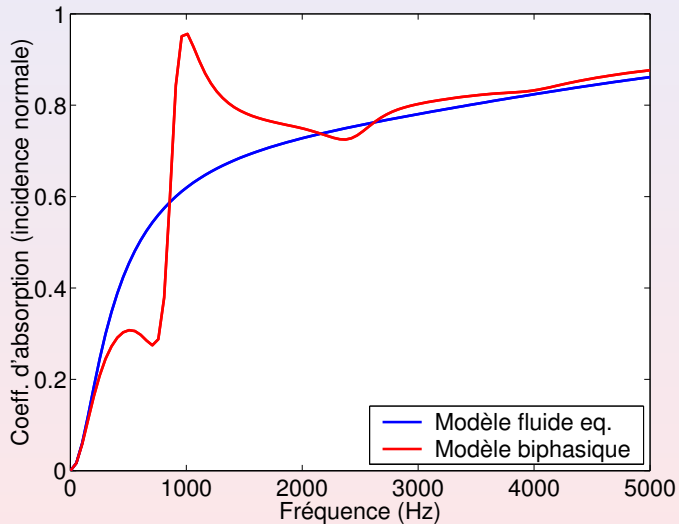
- 2 méthodes de caractérisation élastique, dynamiques, résonantes, ont été mises au point.
- Ces méthodes sont applicables à une large gamme de matériaux.
- Les résultats de caractérisation sont cohérents avec les méthodes quasi-statiques pour tous les matériaux étudiés.
- Une modélisation numérique simplifiée a été mise en place pour les systèmes bicouches.

Perspectives :

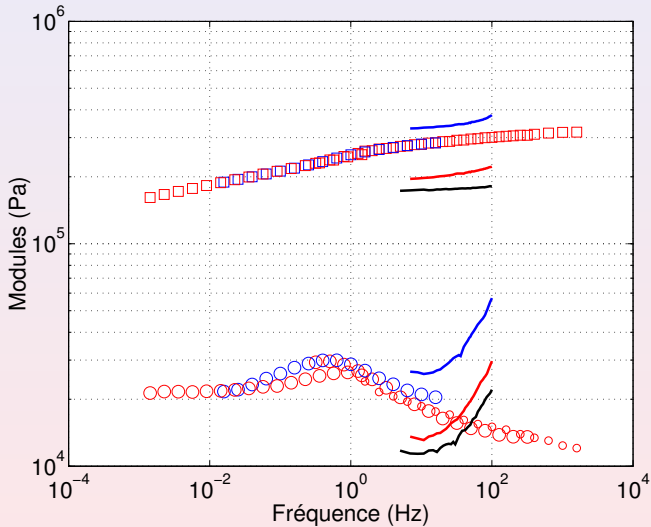
- Etendre la méthode de plaque à des matériaux orthotropes.
- Prendre en compte les variations des coeff. de Poisson ν .
- Prendre en compte une meilleure condition d'interface poreux-air (actuellement : pas de charge fluide).

Une version électronique du document de thèse ainsi que cette présentation sont disponibles à l'adresse internet :

[http ://www.univ-lemans.fr/~r940020/](http://www.univ-lemans.fr/~r940020/)



Influence des paramètres élastiques sur l'efficacité des matériaux.



Comparaison des mesures quasi-statiques (torsion et compression).