

DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES FLUIDE EQUIVALENT D'UN MATÉRIAUX À PARTIR DE LA MESURE DE DEUX IMPÉDANCES EN CONDUIT EXTENSION AU MODÈLE DE PRIDE



CTTM

CENTRE DE TRANSFERT
DE TECHNOLOGIE DU MANS

LAUM

Laboratoire d'Acoustique
Le Mans Université • CNRS - UMR 6613

JC LE ROUX, N POULAIN (Centre de Transfert de Technologies du Mans, Le Mans, France)
JP DALMONT (LAUM, UMR CNRS 6613, Le Mans Université, Le Mans, France)

DESCRIPTION DES POROÉLASTIQUES PAR LE MODÈLE JCAL : 6 PARAMÈTRES

ρ_{eq} densité équivalente

$$\rho_{eq} = \frac{\rho_0 \alpha_\infty}{\phi} \left[1 + \frac{\omega_0}{j\omega} \sqrt{1 + \frac{j\omega}{\omega_\infty}} \right]$$

$$\omega_0 = \frac{\sigma \phi}{\rho_0 \alpha_\infty}$$

$$\omega_\infty = \frac{\sigma^2 \phi^2 \Lambda^2}{4\mu \rho_0 \alpha_\infty^2}$$

K_{eq} module d'incompressibilité équivalent

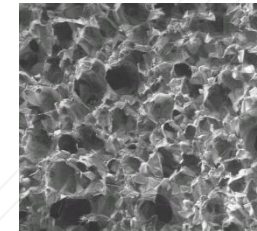
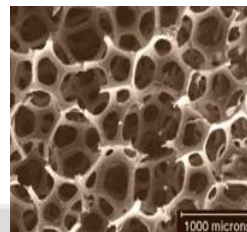
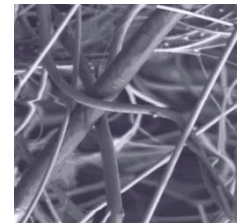
$$K_{eq} = \frac{\gamma P_0}{\phi} \left[\gamma - \frac{\gamma - 1}{1 + \frac{\omega'_0}{2j\omega} \sqrt{1 + \frac{j\omega \omega'_\infty}{\omega'^2_0}}} \right]^{-1}$$

$$\omega'_0 = \frac{2\phi v'}{k'_0}$$

$$\omega'_\infty = \frac{16v'}{\Lambda'^2}$$

$$v' = \mu / (\rho_0 Pr)$$

- σ : résistivité au passage de l'air
- ϕ : porosité ouverte
- α_∞ : tortuosité
- Λ : longueur caractéristique visqueuse
- Λ' : longueur caractéristique thermique
- k'_0 : perméabilité thermique



DE NOMBREUSES MÉTHODES EXISTENT

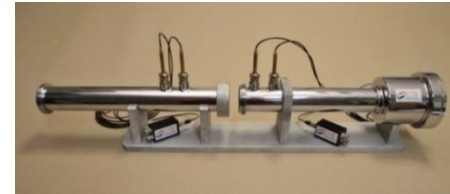
- Acoustiques / Non acoustiques
- Basses fréquences / Hautes fréquences
- Basses fréquences : analytiques / inverses



- **Principal inconvénient : plusieurs équipements sont nécessaires**
 - ⇒ **Coût financier**
 - ⇒ **Encombrement**
 - ⇒ **Essais sur échantillons différents (incertitude plus élevée sur les résultats)**

MÉTHODES BASSES FRÉQUENCES USUELLES (ANALYTIQUES ET INVERSES)

- Les paramètres sont obtenus à partir d'une estimation de la densité et du module d'incompressibilité équivalents *
- Méthodes de mesure en conduit de type « doublet microphonique »
- Avantages : méthodes, équipements et procédure maîtrisés
- Inconvénients : une mesure préalable de la résistivité au passage de l'air (σ) et de la porosité (ϕ) est souvent requise



ALTERNATIVE

- Estimation de σ et de ϕ à partir des asymptotes BF de ρ_{eq} de K_{eq}

$$\sigma = -\omega \times \lim_{\omega \rightarrow 0} (Im(\rho_{eq})) \quad \phi = P_0 / \lim_{\omega \rightarrow 0} (Re(K_{eq}))$$

« P_0 » : pression atmosphérique

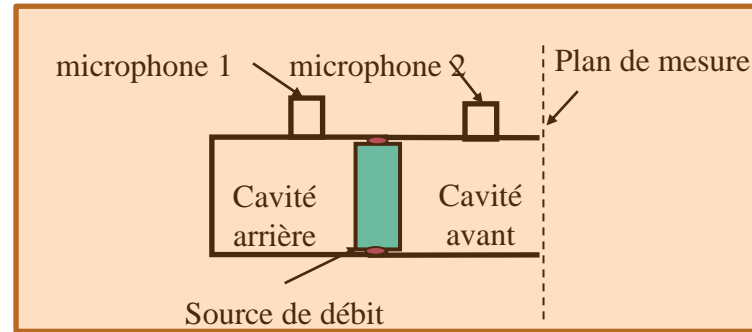
⇒ Difficile à exploiter avec les méthodes de mesure usuelles

*R. Panneton and X. Olny, "Acoustical determination of the parameters governing viscous dissipation in porous media", JASA (2006)

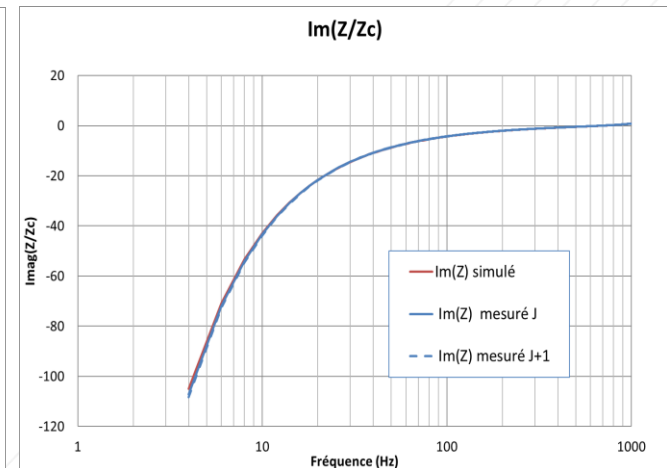
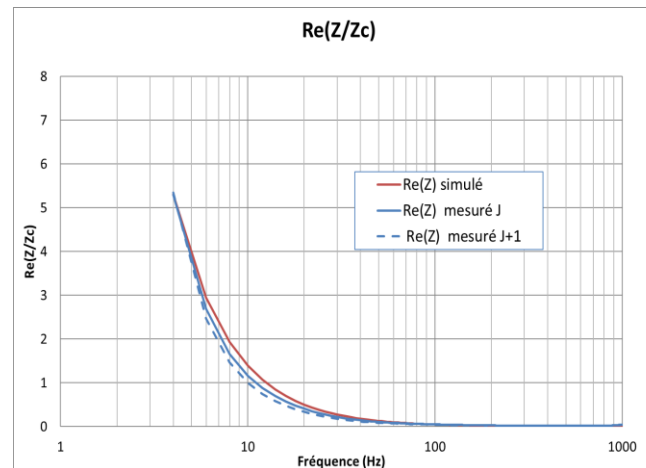
*X. Olny and R. Panneton, "Acoustical determination of the parameters governing thermal dissipation in porous media", JASA (2008),

*M. Niskanen, J.-P. Groby, A. Duclos, O. Dazel, J. C. Le Roux, N. Poulain, T. Huttunen, and T. Lahivaara, "Deterministic and statistical characterization of rigid frame porous materials from impedance tube measurements", JASA (2017).

S'APPUYER SUR LES PERFORMANCES BASSES FRÉQUENCES D'UN CAPTEUR D'IMPÉDANCE ACOUSTIQUE



Comparaison mesure / simulation Conduit fermé (longueur 124mm / diamètre 29mm)

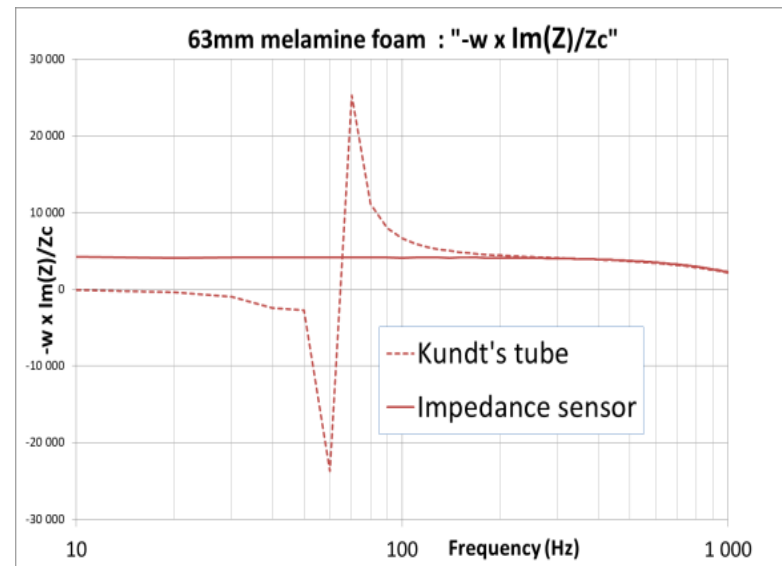
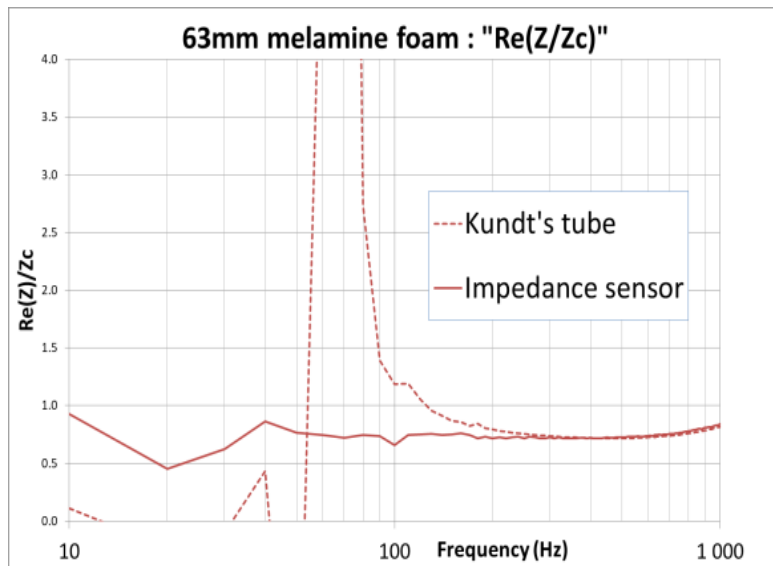


ESTIMATION DE ρ_{eq} ET DE K_{eq} SUR UNE LARGE PLAGE DE FRÉQUENCE

Objectif visé : 20Hz – 6kHz

⇒ Estimation de σ et de ϕ à partir des asymptotes BF de ρ_{eq} de K_{eq}

⇒ Estimation des autres paramètres avec les relations analytiques usuelles*

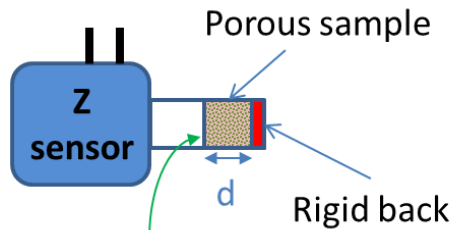


*R. Panneton and X. Olny, "Acoustical determination of the parameters governing viscous dissipation in porous media", JASA (2006)

*X. Olny and R. Panneton, "Acoustical determination of the parameters governing thermal dissipation in porous media", JASA (2008),

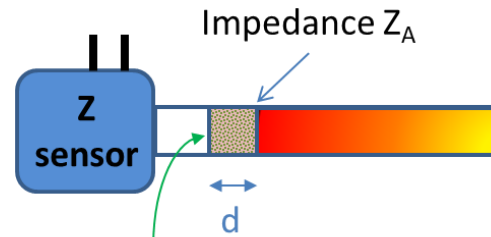
MÉTHODE À DEUX IMPÉDANCES

Sample loaded by a rigid back
($Z_{\text{end}} = \infty$)



Measured impedance : Z_S^∞

Sample loaded by an impedance Z_A
($Z_{\text{end}} = Z_A$)



Measured impedance : Z_S^A

« d » = épaisseur
de l'échantillon

$$Z_{eq}^2 = Z_S^A (Z_A + Z_S^\infty) - Z_A Z_S^\infty$$

$$k_{eq} = \arctan(-jZ_{eq}/Z_S^\infty)/d$$

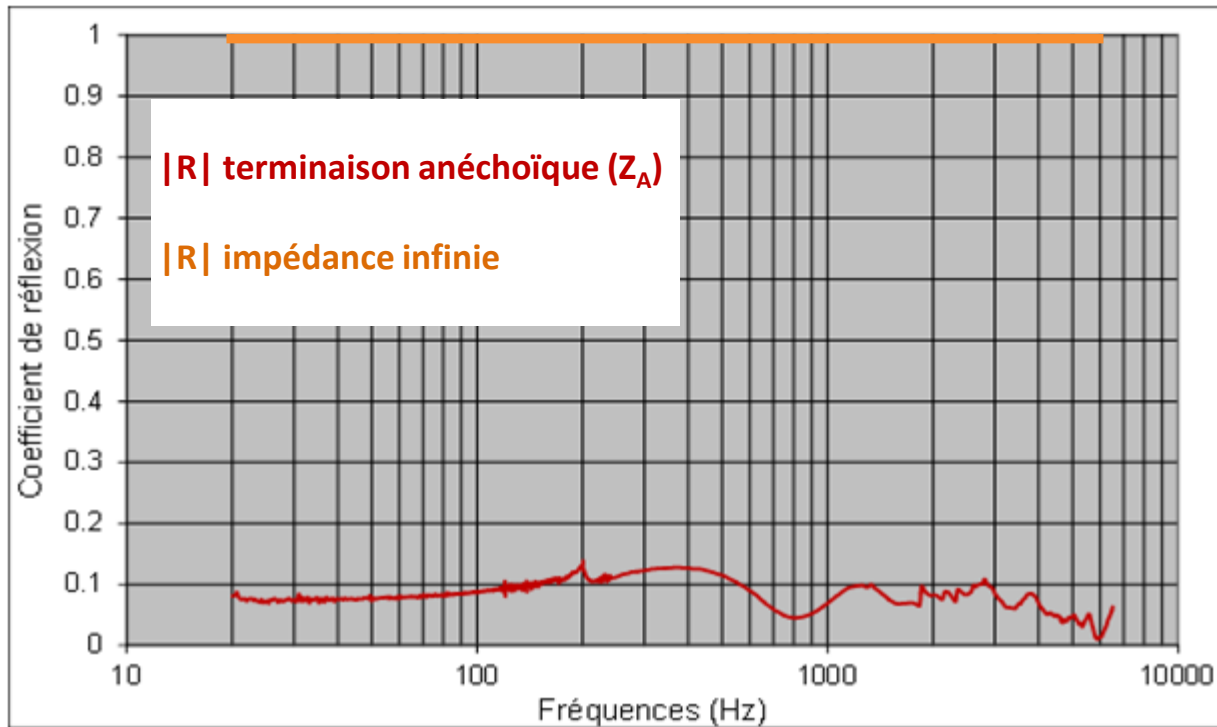
$$\rho_{eq} = Z_{eq} k_{eq} / \omega$$

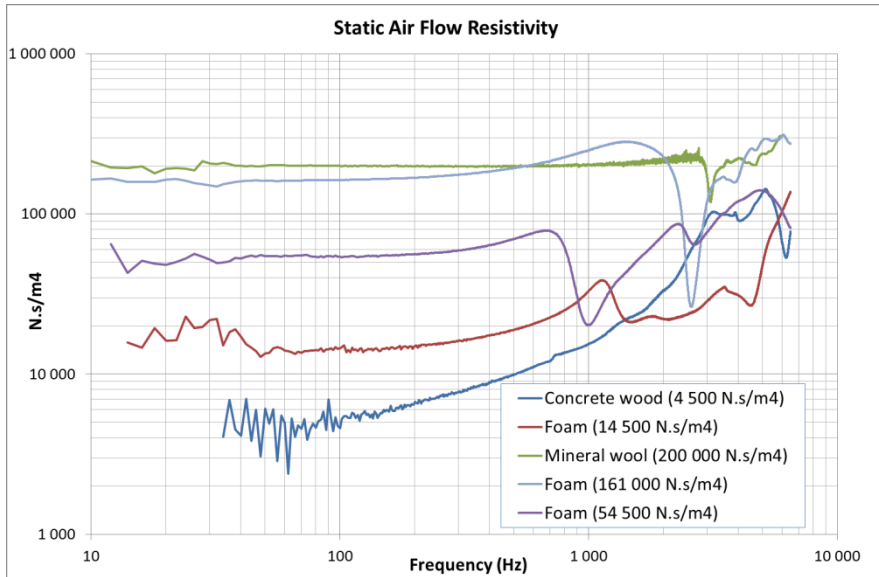
$$K_{eq} = \omega Z_{eq} / k_{eq}$$

Z_{eq} impédance caractéristique du milieu poreux
 k_{eq} nombre d'onde dans le milieu poreux

UTILISATION DE CHARGES ACOUSTIQUES NON RÉSONANTES

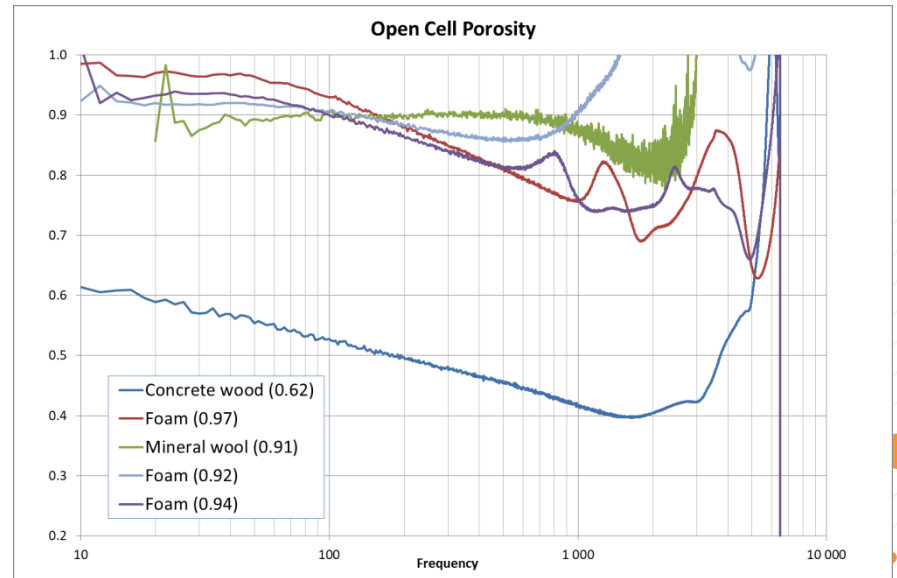
- Impédance infinie : $|R| = 1$
- Z_A : Terminaison anéchoïque compacte $|R| < 0.12$





Estimation de la résistivité : requiert une mesure précise à partir de 100Hz

Le dispositif permet des mesures sur une large gamme de résistivité



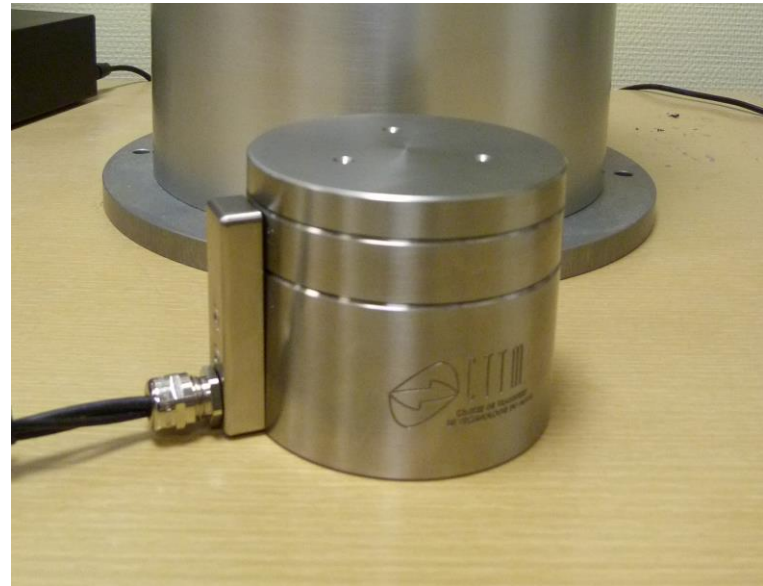
Estimation de la porosité : requiert en général une mesure précise à partir de 40Hz.

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'effectuer des mesures à plus basses fréquences

ETAPE 1 : ETALONNAGE DU CAPTEUR AVEC UNE IMPÉDANCE INFINIE



Capteur



Etalonnage du capteur

ETAPE 2 : ETALONNAGE DE L'IMPÉDANCE ANÉCHOÏQUE



Terminaison anéchoïque encapsulée (Z_A)



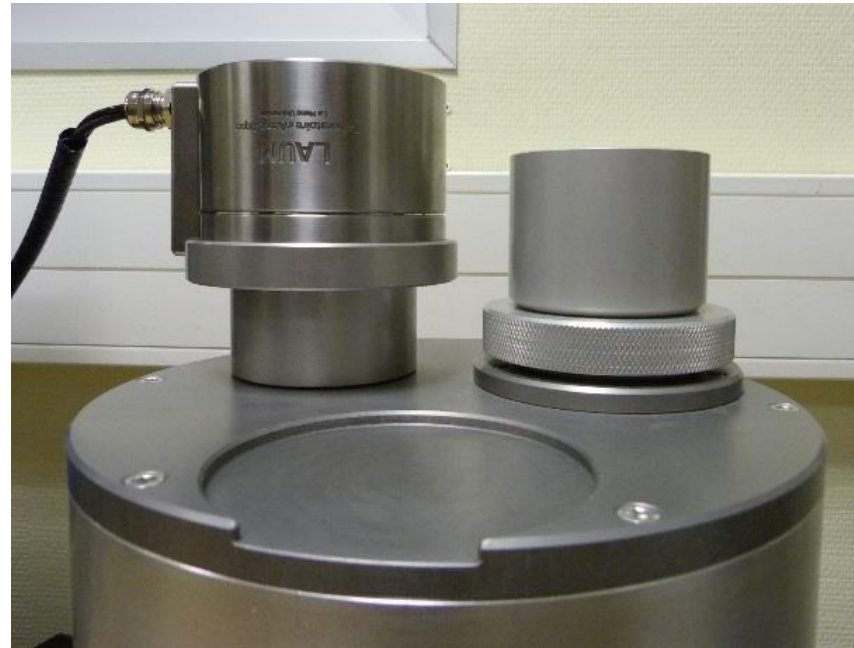
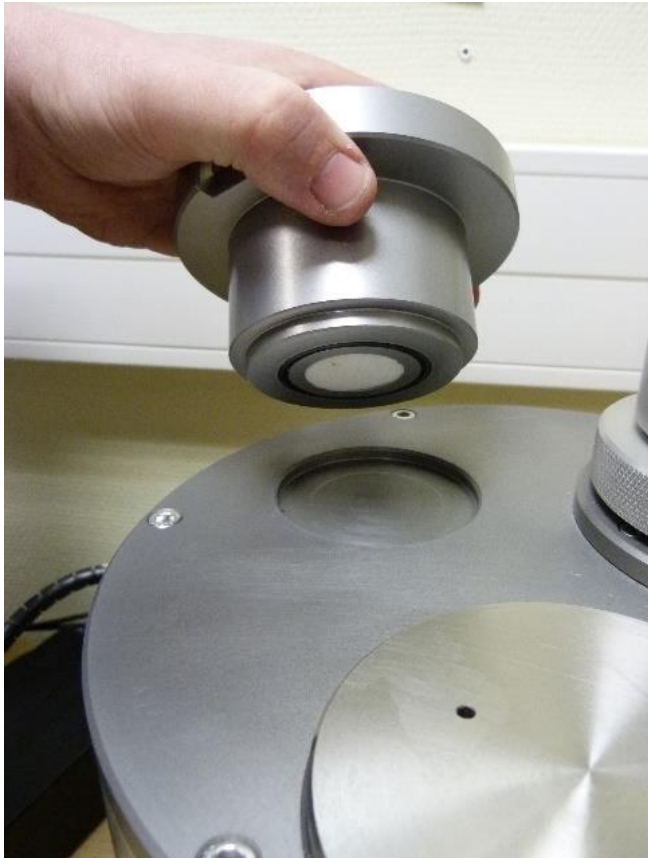
Etalonnage de l'impédance Z_A

ETAPE 3 : MISE EN ŒUVRE DE L'ÉCHANTILLON



Mise en place de l'échantillon

ETAPE 4 : MESURE DE L'IMPÉDANCE DU MATÉRIAU SUR FOND RIGIDE

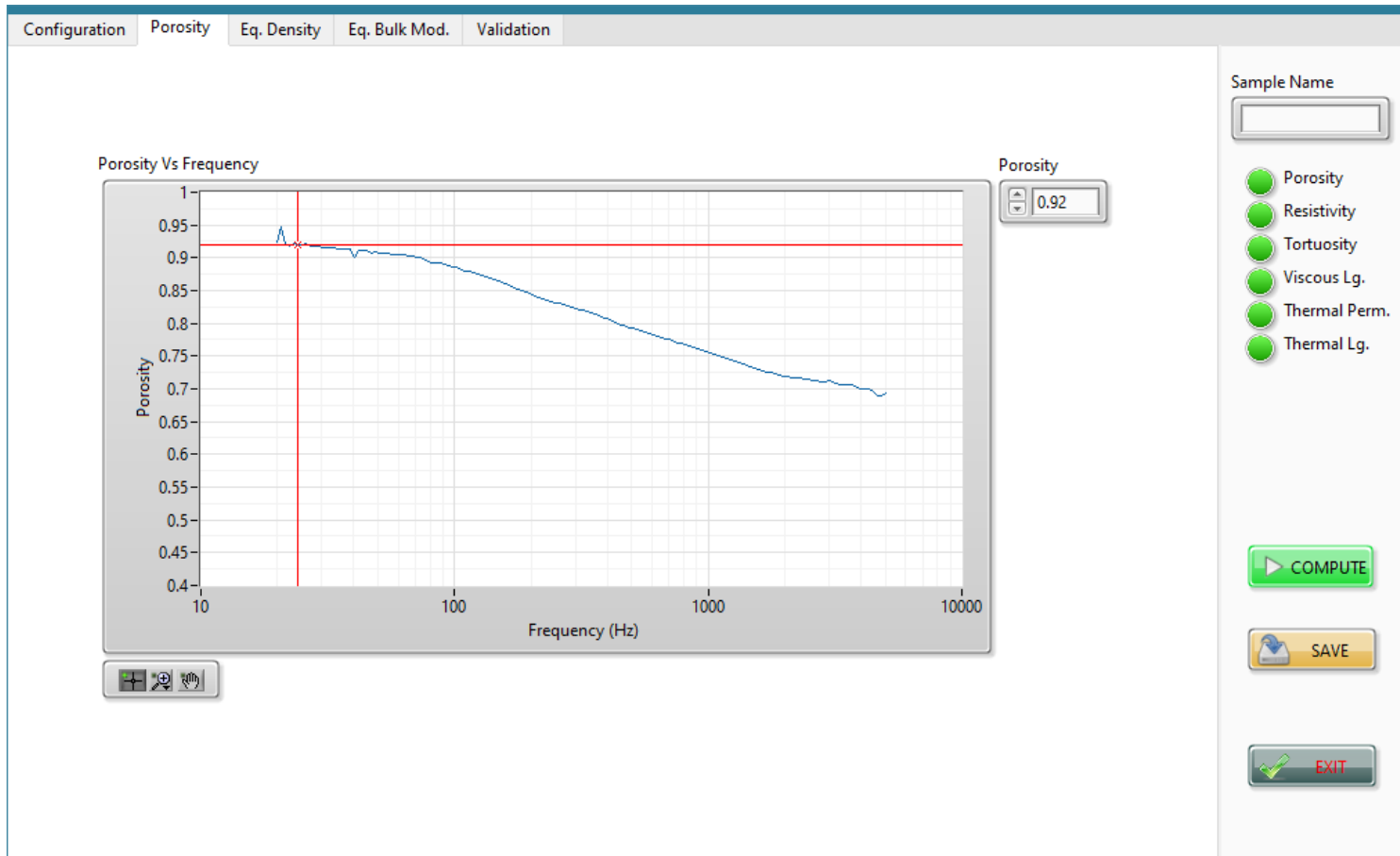


Mesure de l'impédance Z_S^∞ sur fond rigide

ETAPE 5 : MESURE DE L'IMPÉDANCE DU MATÉRIAU AVEC CHARGE ANÉCHOÏQUE

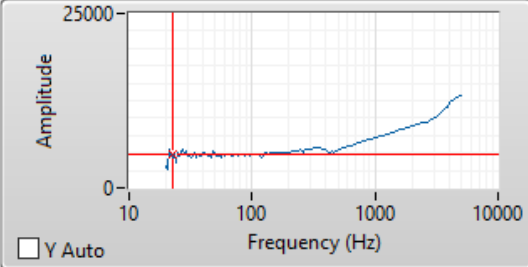


Mesure de l'impédance Z_S^A avec charge anéchoïque
(sans manipulation de l'échantillon)



Configuration
Porosity
Eq. Density
Eq. Bulk Mod.
Validation

Air Flow Resistivity

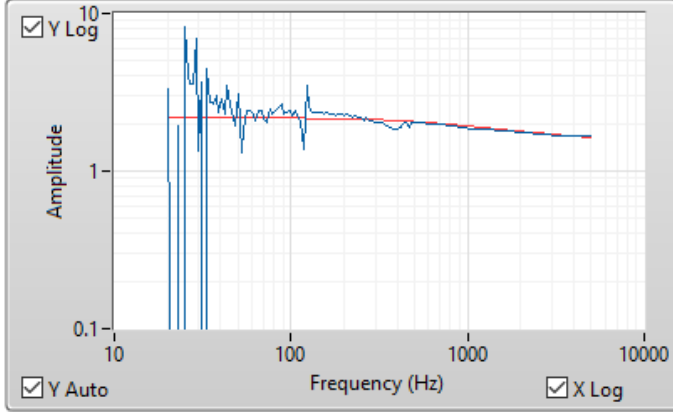


Resistivity:

Cursor/Y scale:
 Snap
 Free

Y Auto



Equivalent Density Real (Normalised)



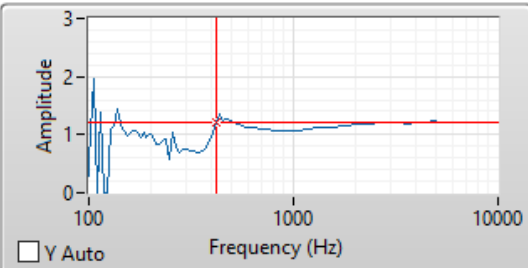
Y Log

Y Auto

X Log

Measured 
 JCAL 

Tortuosity

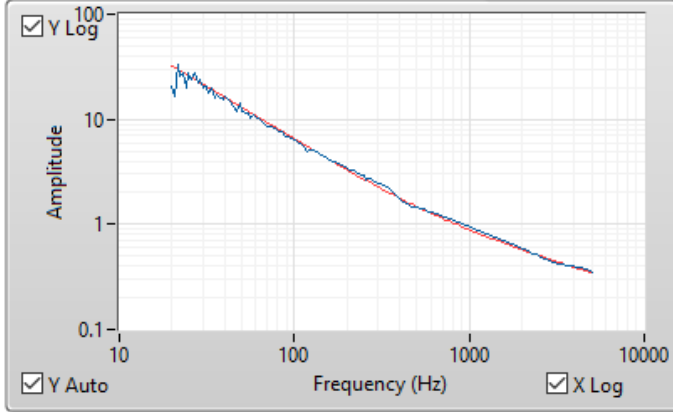


Tortuosity:

Cursor/Y scale:
 Snap
 Free

Y Auto

Equivalent Density Imag (Normalised)

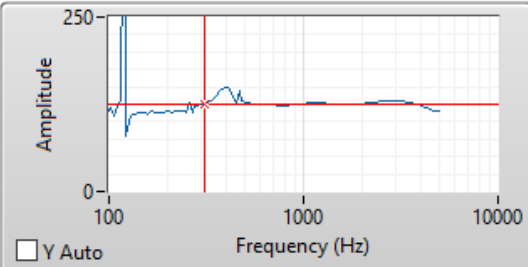


Y Log

Y Auto

X Log

Viscous Characteristic Length (µm)



Viscous Length:

Cursor/Y scale:
 Snap
 Free

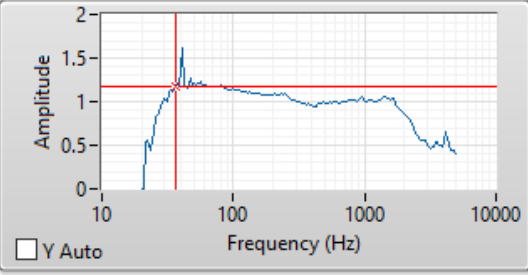
Y Auto

Sample Name:

- Porosity
- Resistivity
- Tortuosity
- Viscous Lg.
- Thermal Perm.
- Thermal Lg.

Configuration
Porosity
Eq. Density
Eq. Bulk Mod.
Validation

Thermal Permeability (x1e8)



Y Auto

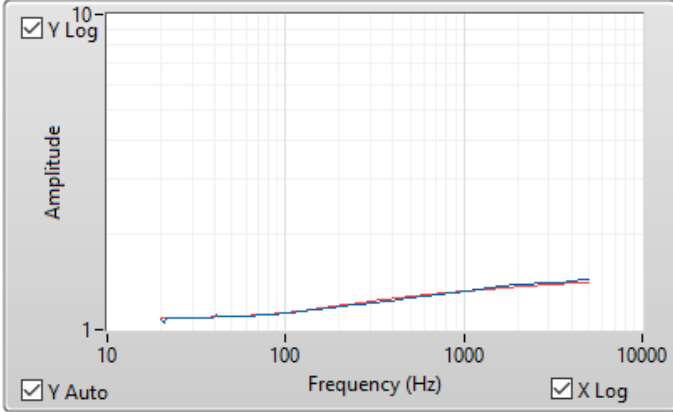
Therm. Perm.

Cursor/Y scale

Snap

Free

Equivalent Bulk Modulus Real (Normalised)



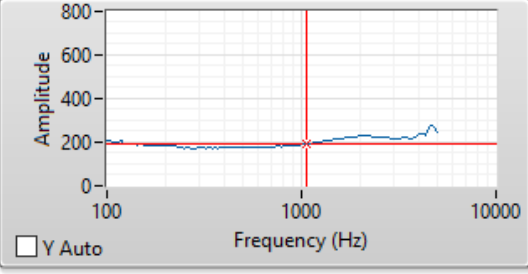
Y Log

X Log

Sample Name

- Porosity
- Resistivity
- Tortuosity
- Viscous Lg.
- Thermal Perm.
- Thermal Lg.

Thermal Characteristic Length (µm)



Y Auto

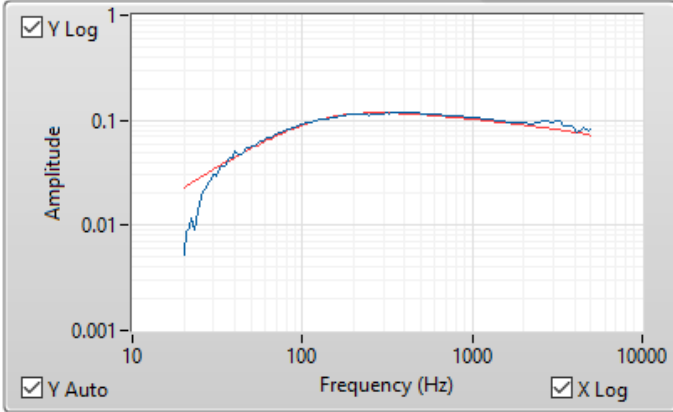
Thermal Length

Cursor/Y scale

Snap

Free

Equivalent Bulk Modulus Imag (Normalised)



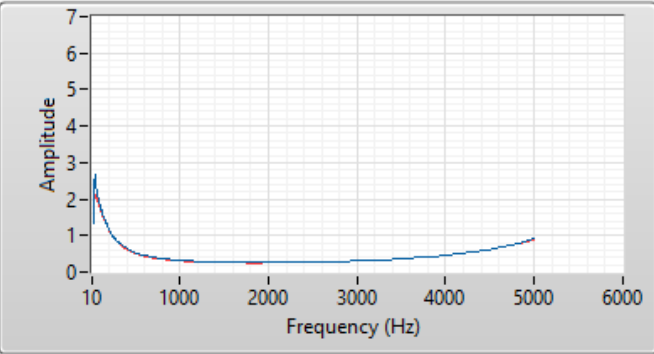
Y Log

X Log

Measured
JCAL

Configuration
Porosity
Eq. Density
Eq. Bulk Mod.
Validation

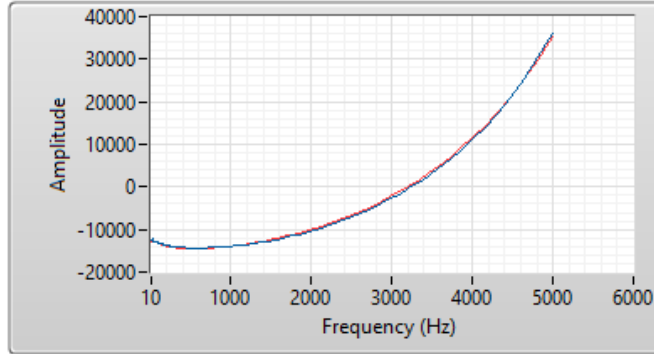
Impedance (Real Part)



Amplitude

Frequency (Hz)

Impedance (-w * Imaginary Part)



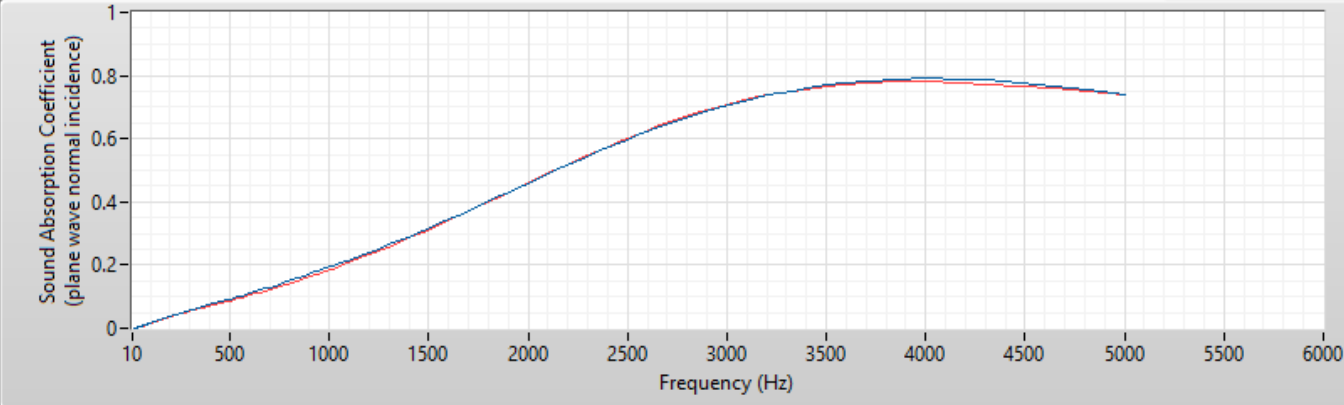
Amplitude

Frequency (Hz)

Sample Name

- Porosity
- Resistivity
- Tortuosity
- Viscous Lg.
- Thermal Perm.
- Thermal Lg.

Sound absorption coefficient



Sound Absorption Coefficient
(plane wave normal incidence)

Frequency (Hz)

Measured

JCAL

X representation Log Lin

▶ COMPUTE

📁 SAVE

✔ EXIT

DESCRIPTION PLUS FINE DE LA DENSITÉ ÉQUIVALENTE AUX BF

$$\rho_{eq} = \frac{\rho_0 \alpha_\infty}{\phi} \left[1 + \frac{\omega_0}{j\omega} \left(1 - p + p \sqrt{1 + \frac{j\omega}{\omega_\infty p^2}} \right) \right]$$

$$\omega_0 = \frac{\sigma \phi}{\rho_0 \alpha_\infty} \quad \omega_\infty = \frac{\sigma^2 \phi^2 \Lambda^2}{4\mu \rho_0 \alpha_\infty^2} \quad p = \frac{\omega_0}{2 \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_\infty} - 1 \right) \omega_\infty}$$

- σ : résistivité au passage de l'air
- ϕ : porosité ouverte
- α_∞ : tortuosité
- Λ : longueur caractéristique visqueuse
- α_0 : tortuosité statique

⇒ Si « p »=1 : on retrouve les modèles JCA/JCAL

ESTIMATION DE LA VALEUR DE α_0 ?

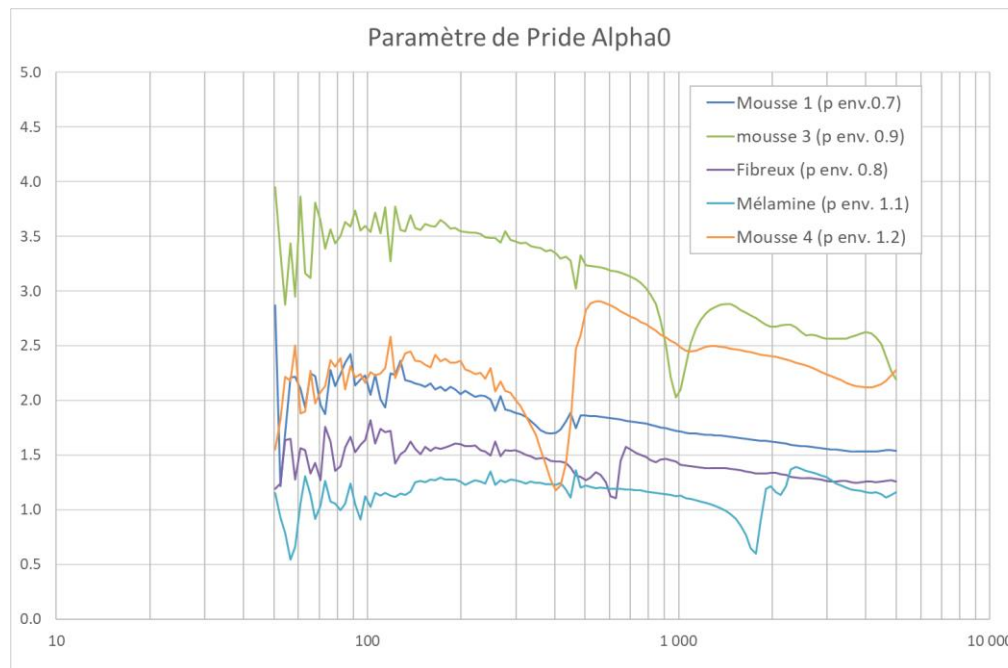
⇒ à partir de la mesure de ρ_{eq} aux BF

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \left(\text{Real}(\rho_{eq}) \right) = \frac{\rho_0 \alpha_0}{\phi}$$

RÉSULTATS

⇒ Asymptote $Real(\rho_{eq})$: en dessous de 100Hz

⇒ Principe de mesure validé : valeurs relevées de l'ordre de 1 à 4



⇒ Pas possible d'obtenir des relations analytiques pour α_∞ et Λ : processus itératif

⇒ Intérêt ??

NOUVELLE MÉTHODE DE CARACTÉRISATION DES POROÉLASTIQUES

PRINCIPAUX AVANTAGES:

- L'ensemble des paramètres est obtenu à partir d'un équipement unique
- Gain en précision (un seul échantillon, pas de manipulation d'échantillon)
- Gain en temps, en coût et en encombrement
- Produit commercial disponible

LIMITATIONS

- Les mêmes qu'avec les méthodes BF existantes (mise en œuvre de l'échantillon)

EXTENSION AU MODÈLE DE PRIDE

- Estimation de la valeur de α_0 possible. Intérêt pour des matériaux particulier ?
- Démarche généralisable à d'autres modèles

MERCI POUR VOTRE ATTENTION!



CTTM

CENTRE DE TRANSFERT
DE TECHNOLOGIE DU MANS

LAUM

Laboratoire d'Acoustique
Le Mans Université • CNRS - UMR 6613



CE PROJET EST COFINANCÉ PAR
LE FONDUS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL.



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION NATIONALE,
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR,
ET DE LA RECHERCHE