



**Le Mans
Université**

Mesure d'impédance acoustique aux très basses fréquences

J.C. Le Roux, J.P. Dalmont

Les projets de ressourcement des compétences du CTTM sont réalisés avec le soutien financier de :

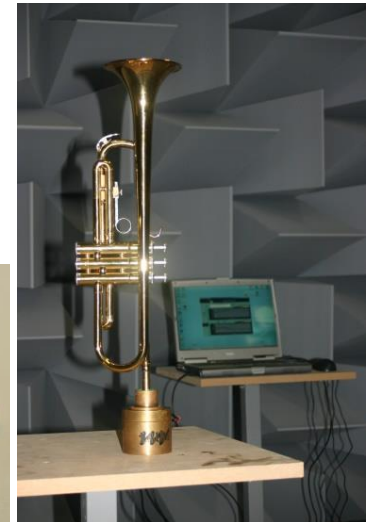


SYNDICAT MIXTE D'AMÉNAGEMENT
ET DE PROMOTION DE LA TECHNOPOLE DU MANS

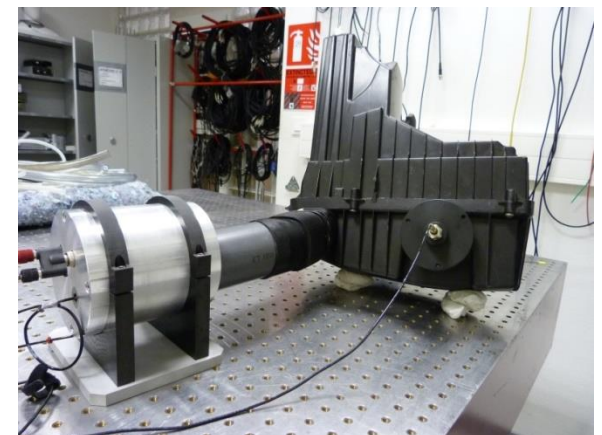
www.cttm-lemans.com

Historique (récent) du capteur

- 2006 : co-développement du capteur actuel avec le LAUM (Brevet)
- Support de 6 laboratoires (acquisition de capteur)
- Application acoustique musicale

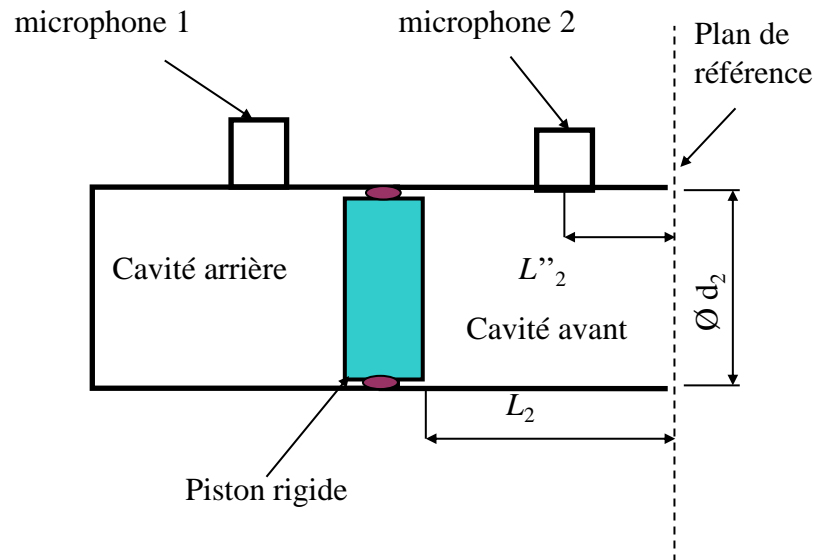


- Poursuite des développements au CTTM pour élargir les champs d'application
 - Matériaux poroélastiques
 - Electroacoustique
 - Mesure de TL de silencieux
 - Contrôle qualité
 - ...
- Commercialisation de produits



Principe

Le capteur utilise une source de débit contrôlée



Au premier ordre

$$\frac{p_2}{p_1} = -jC\omega Z_{sensor}$$

(C est la compliance de la cavité arrière)

Modèle complet

$$Z_{sensor} = \frac{H_{21} / K - \beta}{1 - \delta H_{21} / K}$$

$$\beta = jZ_{c2} \tan(kL_2'')$$

$$\delta = j \tan(kL_2) / Z_{c2}$$

$$K = f(s_2/s_1)$$

(s_2/s_1 rapport des sensibilité des microphones)

H_{21} fonction de transfert entre les deux signaux microphoniques

Mode opératoire usuel

- On utilise une procédure de calibration simple et rapide
 - L_2 et L_{22} sont connues
 - H_{12} est mesurée avec une charge infinie : H_{12}^{∞}

$$K = H_{12}^{\infty} / \delta$$

$$Z_{\text{capteur}} = \frac{[H_{12}/H_{12}^{\infty}]/\delta - \beta}{1 - [H_{12}/H_{12}^{\infty}]}$$

$$\beta = jZ_{c2} \tan(kL_2'') \quad \delta = j \tan(kL_2) / Z_{c2}$$



Facteur d'incertitude aux basses fréquences

- Aux basses fréquences
 - $\beta = j \tan(kL_{22}) \approx jkL_{22}$
 - $\delta = j \tan(kL_2) \approx jkL_2$

$$Z = \frac{H_{12}/H_{12}^{\infty} + k^2 L_2 L_{22}}{jkL_2(1 - H_{12}/H_{12}^{\infty})}$$

Si on mesure un conduit de longueur L , sans discontinuités

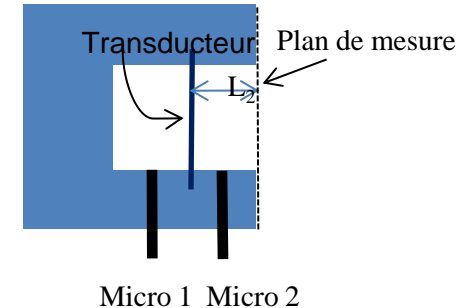
$$H_{12}/H_{12}^{\infty} \cong L_2/(L_2 + L)$$

L'incertitude sur la valeur de l'impédance est directement liée à l'incertitude sur la valeur de L_2

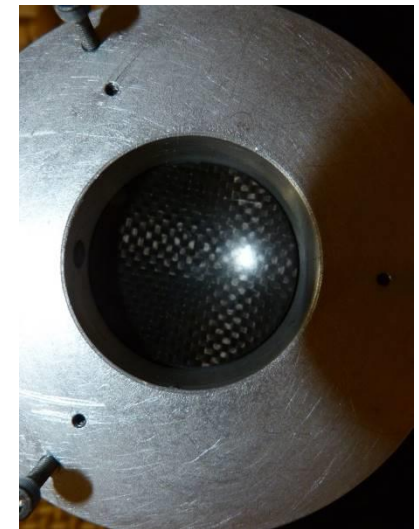
L'impact de l'incertitude sur L_{22} est plus faible

Problèmes technologiques

- Petit capteur ($\varnothing_{\text{conduit}} = 16\text{mm}$)
 - Pastille piezo encastrée
 - L_2 fixe et connue (mesure directe)
 - Manque de débit aux basses fréquences



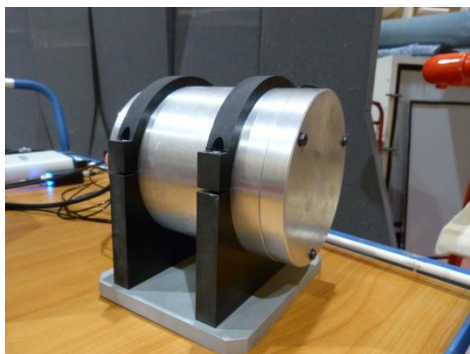
- « Gros » capteur ($\varnothing_{\text{conduit}} = 56\text{mm}$)
 - Haut-parleur électrodynamique : débit aux BF
 - Pas de suspension périphériques : joint ferro-fluide
 - L_2 inconnue (membrane concave)
 - Le paramètre L_2 est-il fixe?



- Une procédure d'étalonnage adaptée est impérative

Procédure d'étalonnage (i)

- Mesure avec 3 charges acoustiques différentes
- Charges « non résonantes » aux basses fréquences



Impédance infinie
 H_{12}^{∞}



Impédance de rayonnement du conduit de sortie
 H_{12}^R
 $H_R = H_{12}^R / H_{12}^{\infty}$
 $Z \text{ théorique} = Z_R$



Conduit fermé sans discontinuité
 H_{12}^T
 $HT = H_{12}^T / H_{12}^{\infty}$
 $Z \text{ théorique} = Z_T$

Procédure d'étalonnage (ii)

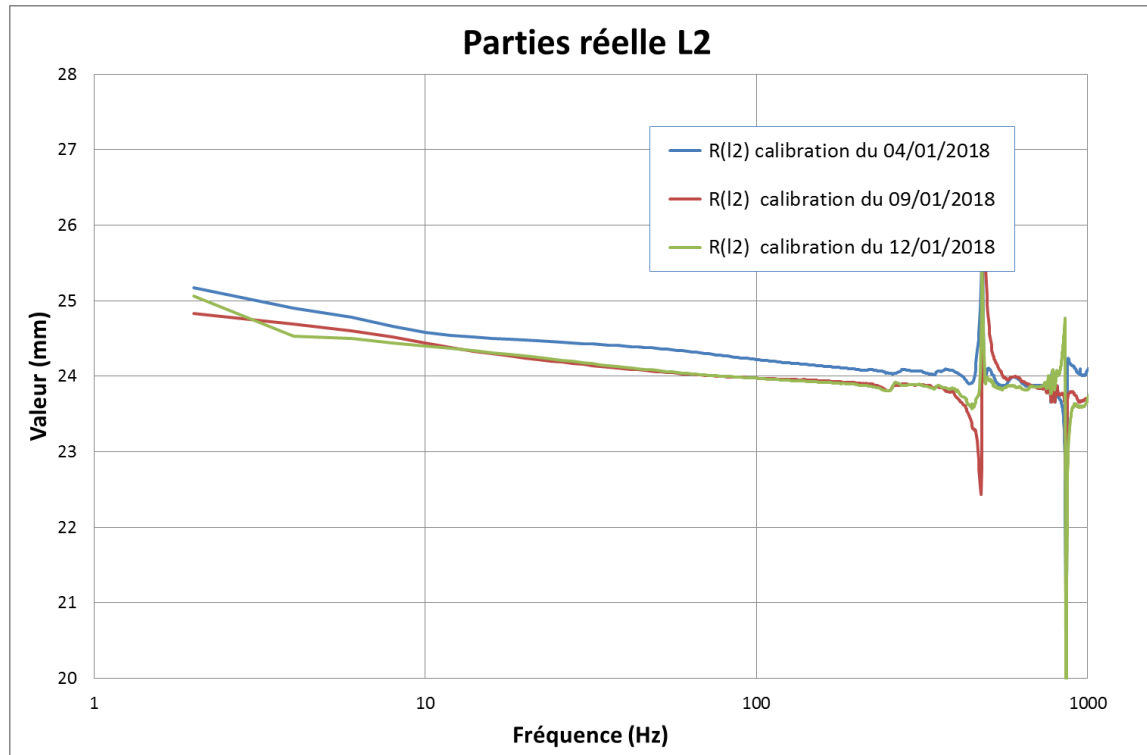
- L2 et L22 sont obtenues de façon analytique

$$\beta = j\tan(kL_{22}) = \frac{Z_T \times (1 - HT) \times HR - Z_R \times (1 - HR) \times HT}{HT - HR}$$

$$\delta = j\tan(kL_2) = \frac{HT}{\beta + Z_T(1 - HT)}$$

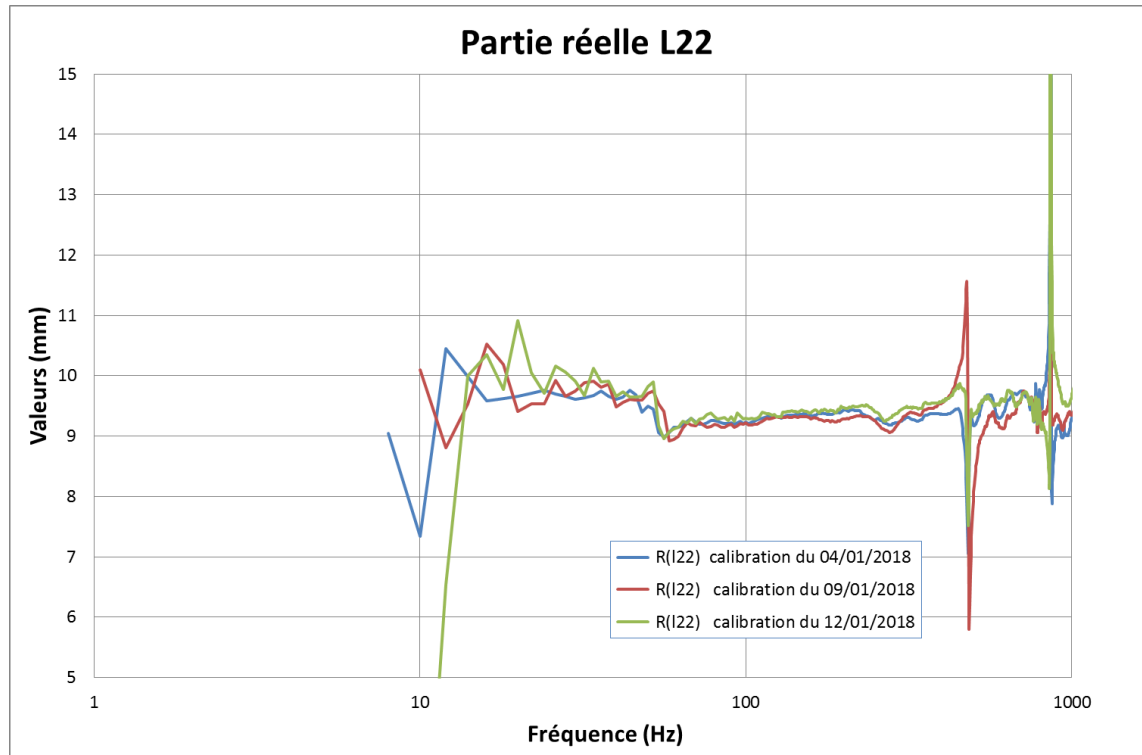
- La calibration du capteur est réalisée plusieurs journées consécutives pour évaluer la stabilité des résultats

Procédure d'étalonnage (iii)



- $L_2 \approx 24\text{mm}$ pour $f > 50\text{Hz}$
- Légère augmentation de L_2 aux très basses fréquences (raison non identifiée) : erreur prévisible sur l'impédance
- Répétabilité correcte

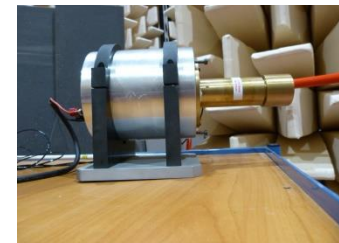
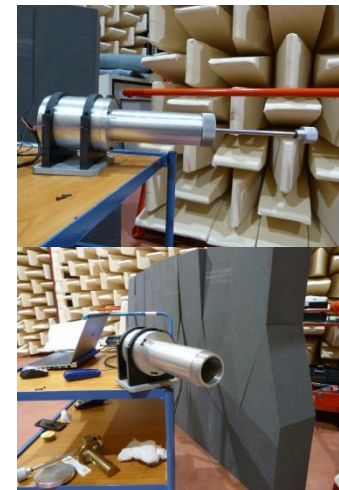
Procédure d'étalonnage (iv)



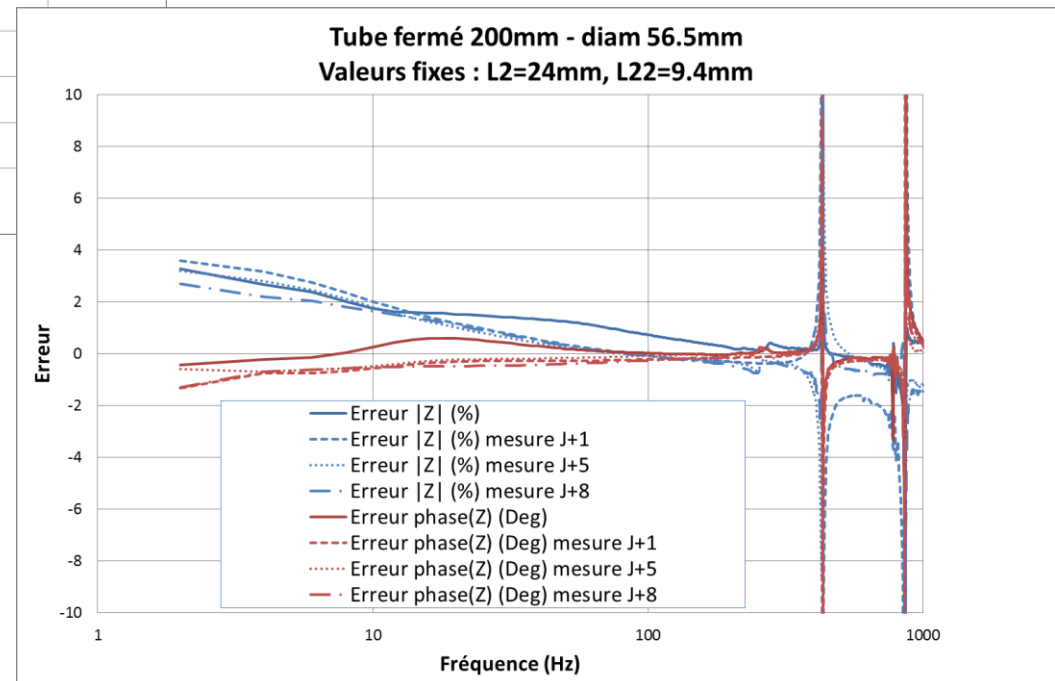
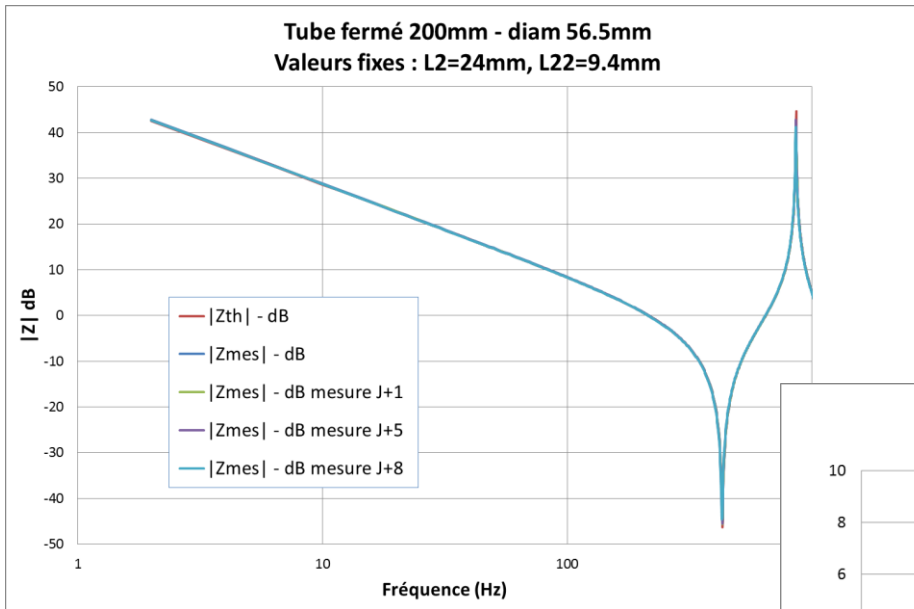
- $L_{22} \approx 9.4\text{mm}$ pour $f > 50\text{Hz}$
- Bruit de mesure aux très basses fréquences (rapport S/B, amplificateur avec filtre passe-haut à 20Hz)
- Répétabilité correcte

Validation pour différentes charges acoustiques

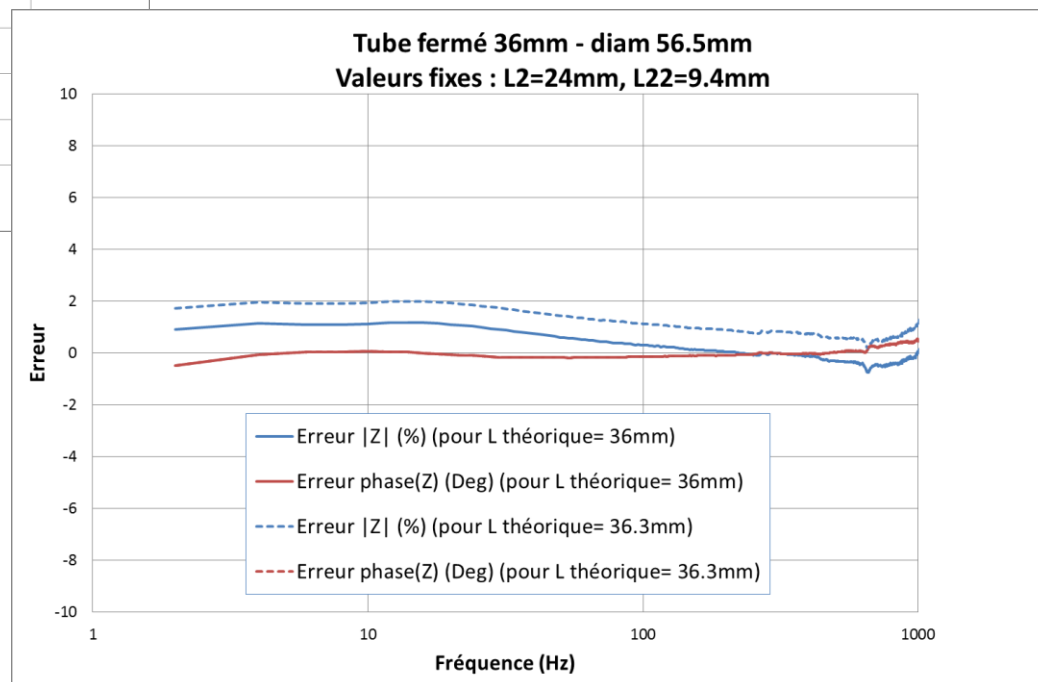
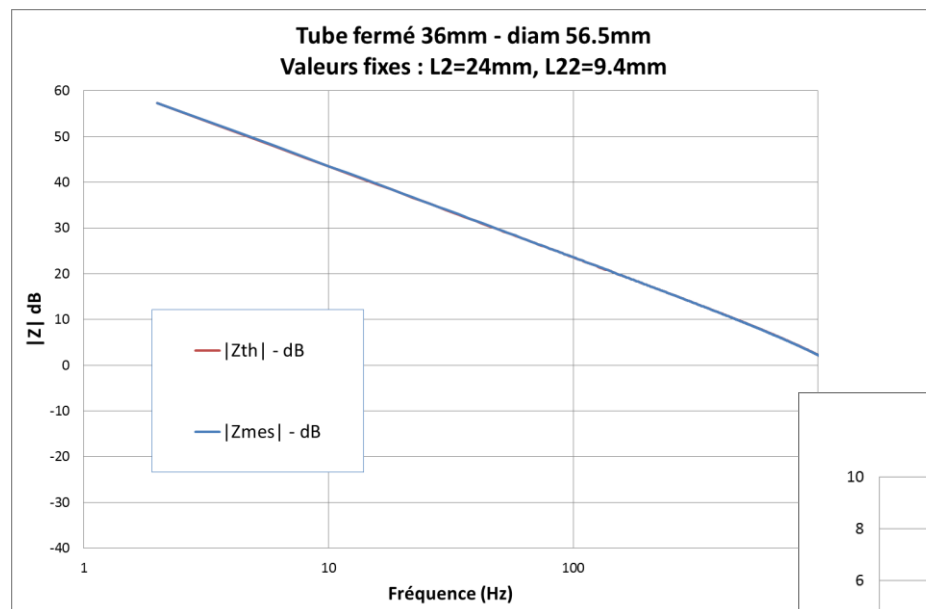
- Charges acoustiques modélisables : calcul de l'erreur entre l'impédance mesurée et la valeur théorique
- Impédance déterminée à partir de valeurs de L_2 et L_{22} constantes
- Charges acoustiques sans discontinuité
 - Tube fermé de 200mm de long
 - Tube fermé de 36mm de long (longueur comparable à l'épaisseur d'un matériau poroélastique)
 - Tube ouvert de 245mm de long
- Charges acoustiques avec discontinuité
 - Tube fermé de 124mm de long et de 29mm de diamètre



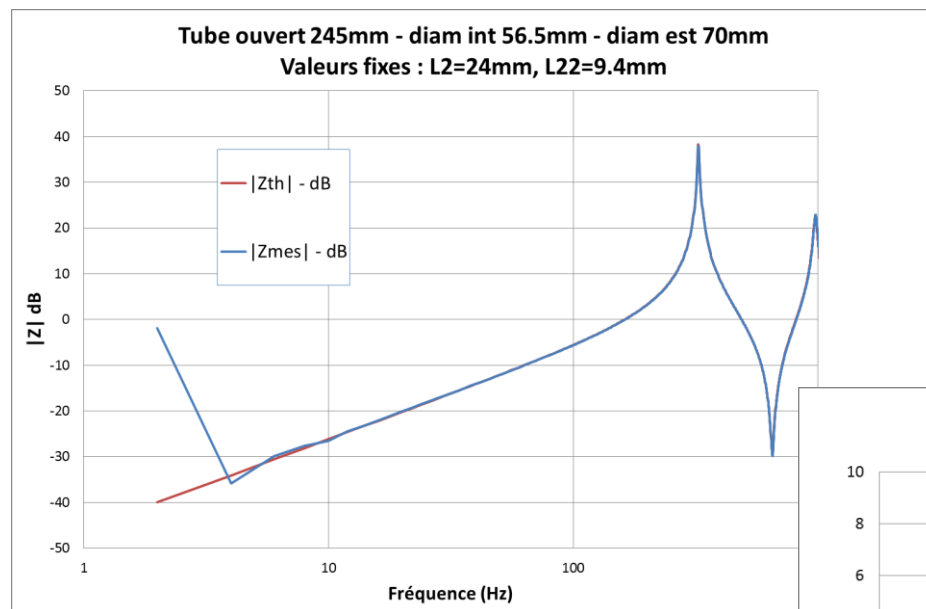
Tube fermé de 200mm



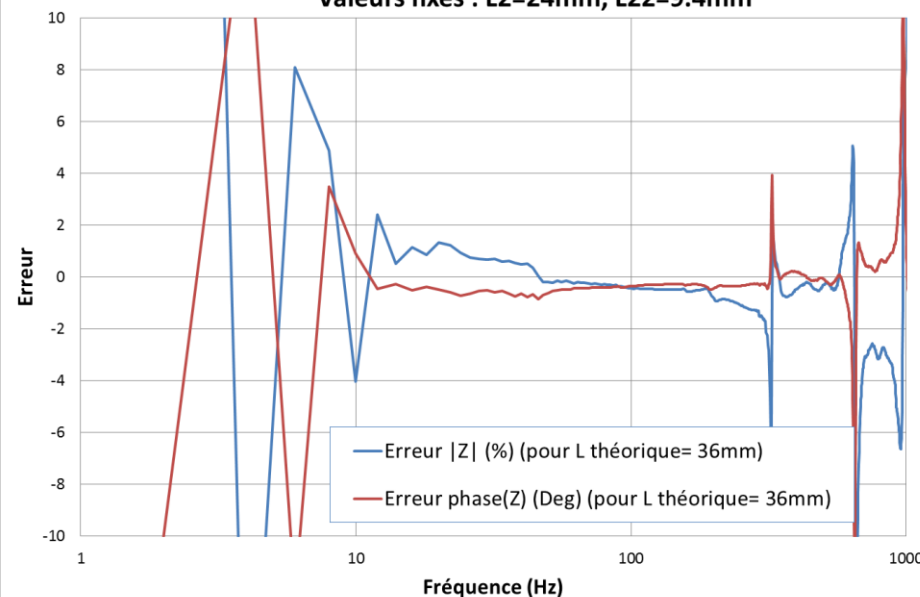
Tube fermé de 36mm



Tube ouvert de 245mm

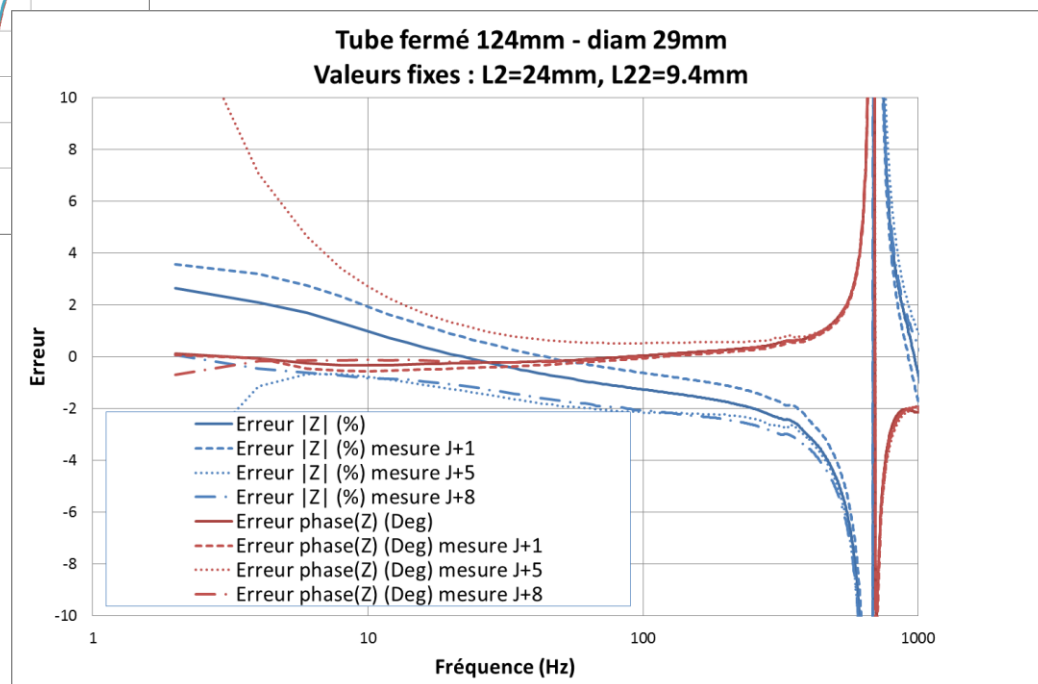
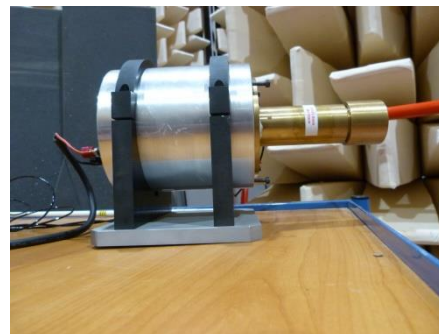
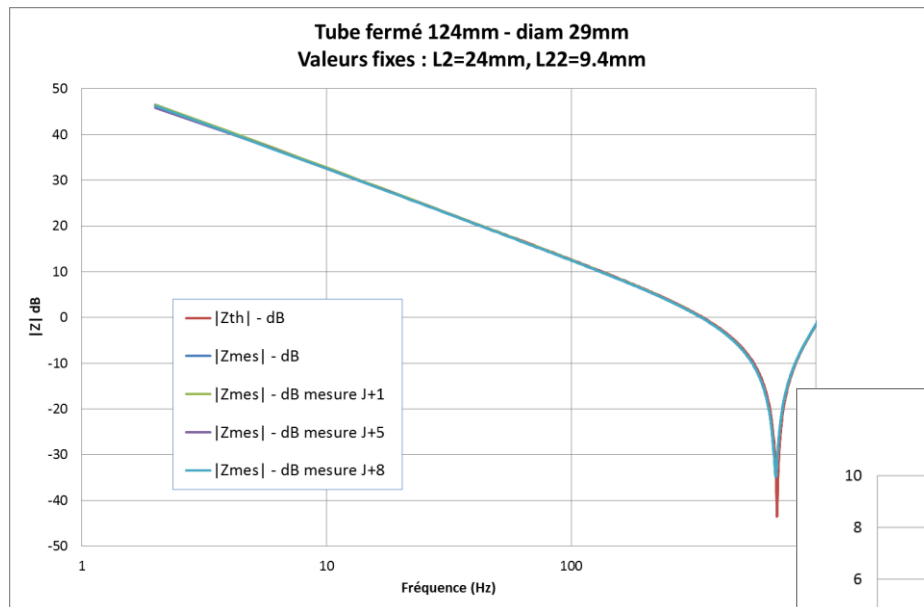


Tube ouvert 245mm - diam int 56.5mm - diam ext 70mm
Valeurs fixes : $L_2=24\text{mm}$, $L_{22}=9.4\text{mm}$



- En dessous 10Hz, rapport S/B trop faible

Tube fermé de 124mm ($\varnothing 29\text{mm}$)



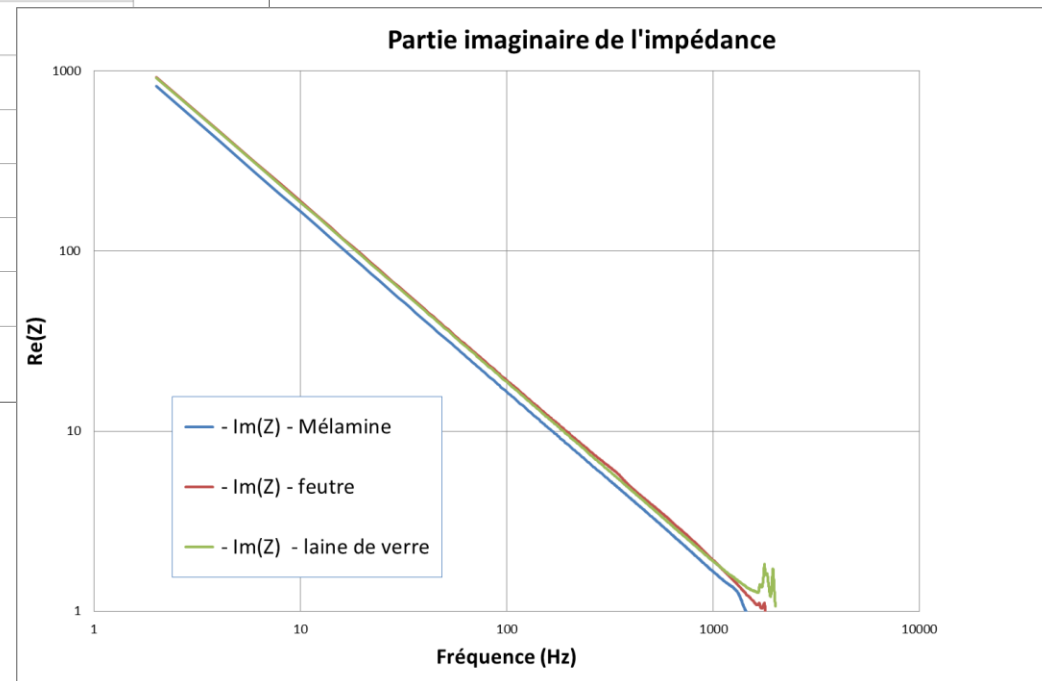
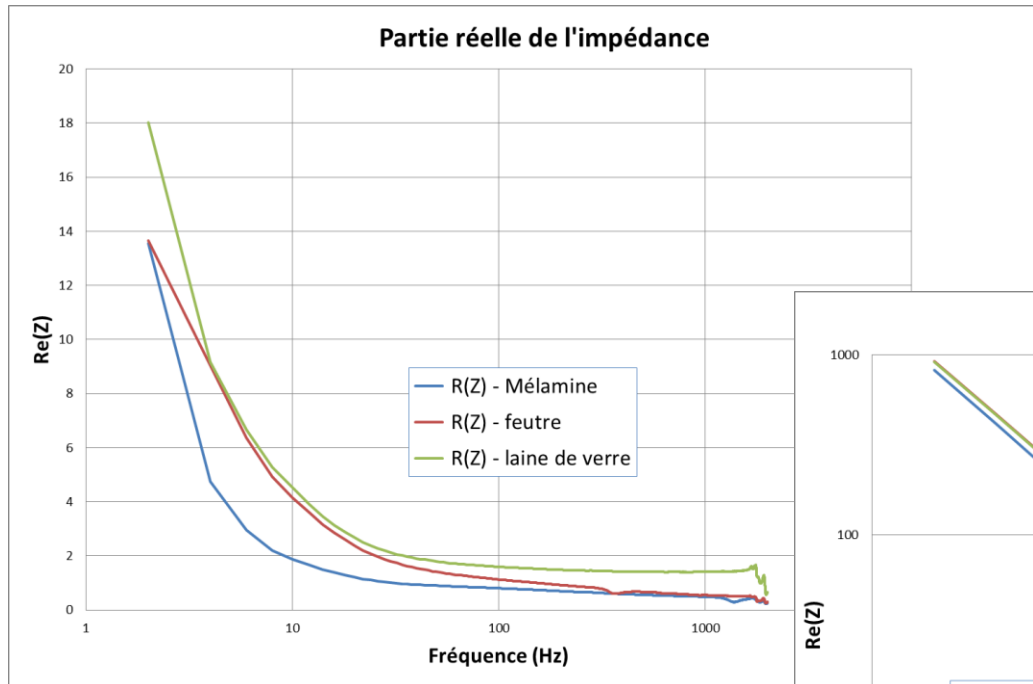
Analyse des résultats

- Pour des tubes fermés, sans discontinuité, l'erreur max est de l'ordre de 2% jusqu'à 2Hz
- Le remplacement de la valeur fixe de L_2 par une fonction $L_2(f)$ permettrait peut être de diminuer l'erreur
- Pour un tube ouvert sans discontinuité (impédance très différente des précédentes, l'erreur est du même ordre de grandeur sauf aux très basses fréquences ou un rapport signal/bruit trop faible est suspecté
- Pour un tube fermé avec une discontinuité moyenne, l'erreur est un peu plus grande, mais des problèmes de répétabilité de montage sont suspectés.

Application à la mesure des matériaux poroélastiques (i)

- Objectifs : utiliser les capacités très basses fréquences pour la mesure directe de paramètres intrinsèques difficilement accessibles autrement
- Mesures avec un conduit sans discontinuité
- Premiers essais sur trois matériaux différents :
 - Mousse de mélamine
 - Laine de verre
 - feutre

Application à la mesure des matériaux poroélastiques (ii)



Conclusions

- Résultats encourageant pour des diverses applications
- Premiers résultats pour la caractérisation des matériaux poroélastiques : à analyser
- Suites : résumé soumis au CFA avec un travail plus abouti sur les matériaux poroélastiques
- ...