

SIMULATION ET MESURE DE L'IMPÉDANCE ACOUSTIQUE D'INSTRUMENTS DE MUSIQUE À VENT

PRINCIPE, AVANTAGES ET LIMITES DU CAPTEUR D'IMPÉDANCE DU CTTM



CTTM

CENTRE DE TRANSFERT
DE TECHNOLOGIE DU MANS

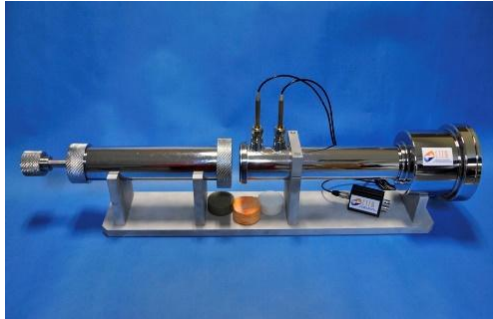
LAUM

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

JC LE ROUX (Centre de Transfert de Technologies du Mans, Le Mans, France)

JP DALMONT (LAUM, UMR CNRS 6613, Le Mans Université, Le Mans, France)

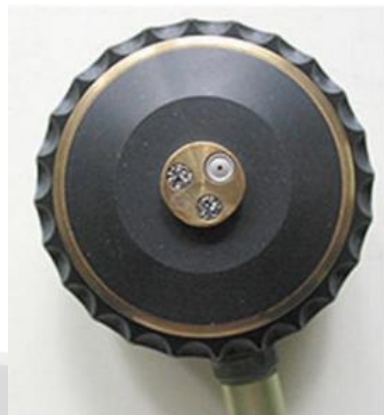
DISPOSITIFS DE MESURE D'IMPÉDANCE



*Tubes de Kundt
(méthode Chung et Blaser ou TMTC)*

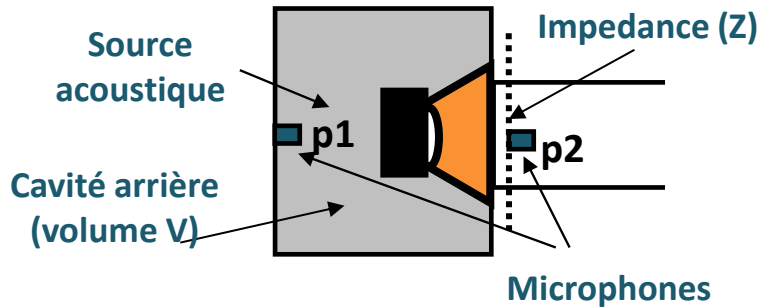


*Capteur à source
de débit contrôlée (CTTM)*



Capteur à capillaire (BIAS)

CAPTEUR D'IMPÉDANCE AVEC SOURCE DE DÉBIT CONTRÔLÉE

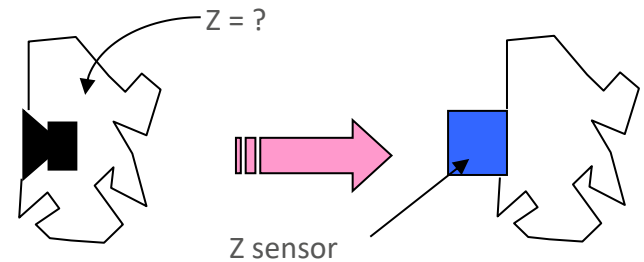


Au 1er ordre

$$Z = -\frac{1}{j\omega C} \frac{p_1}{p_2} \quad C = \frac{V}{\rho c^2}$$

HISTORIQUE - NON EXHAUSTIF :

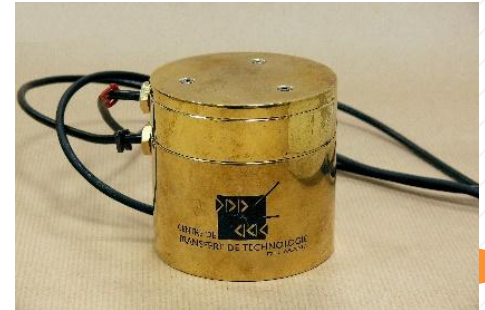
- \cong 1990- 1997 : capteur avec haut-parleur électrodynamique
- *Impédance acoustique de salles*
- *Estimation de volume de réservoir*
- *Mesure de l'impédance acoustique d'une portière de voiture*
- Applications essentiellement basses fréquences
- Précision non maîtrisée



CAPTEUR D'IMPÉDANCE AVEC SOURCE DE DÉBIT CONTRÔLÉE

HISTORIQUE :

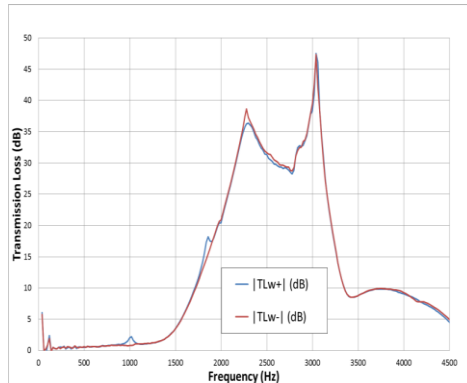
- \cong 2000: capteur avec haut-parleur piezo : n'a pas fonctionné
- 2006 : projet initié par JP Dalmont
 - *Actionneur piezo, dimensionnement optimisé, nouvelle formulation analytique, nouveau process d'étalonnage, ...*
 - *Application visée : acoustique musicale*
 - *Brevet LAUM/CTTM*
 - *Conception mécanique et post-traitements perfectibles*
- 2009 – 2020 : plusieurs améliorations du concept
 - *Robustesse, ergonomie, précision, option avec micros à polarisation externe, ...*



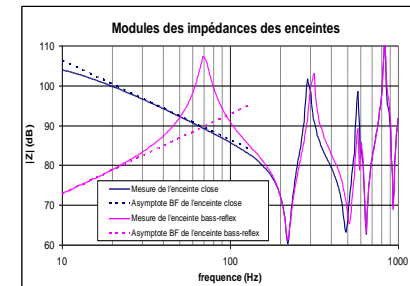
CAPTEUR D'IMPÉDANCE AVEC SOURCE DE DÉBIT CONTRÔLÉE

HISTORIQUE :

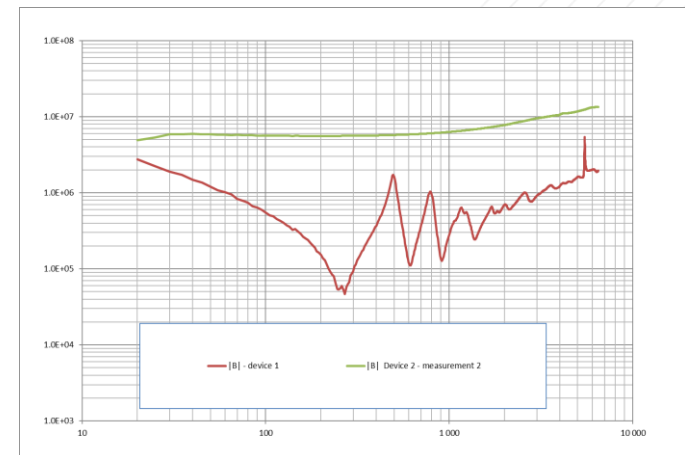
- Depuis 2012 : applications élargies à d'autres domaines



Matrice de transfert de conduits
(silencieux)



Impédance d'enceinte



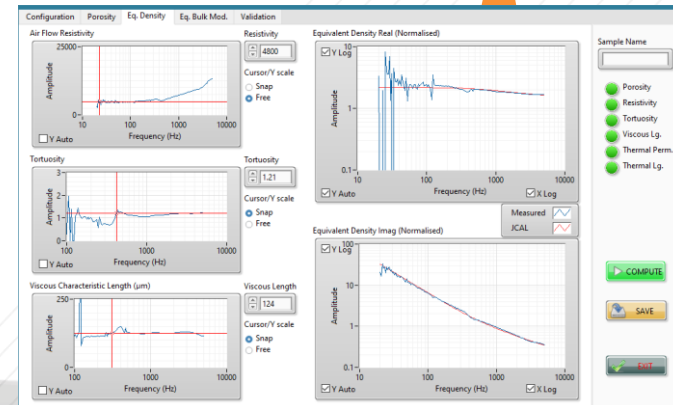
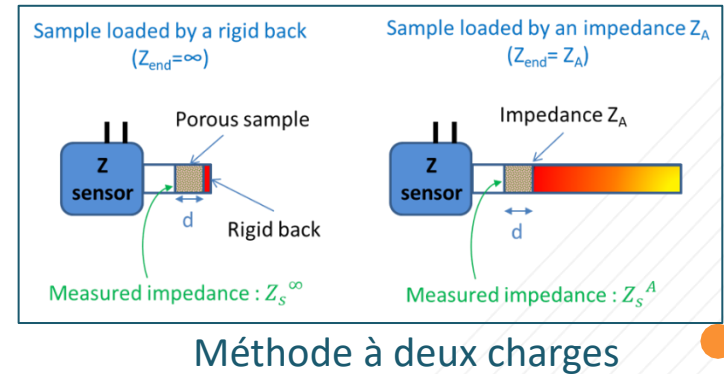
Matrice de transfert de membrane, films résistifs

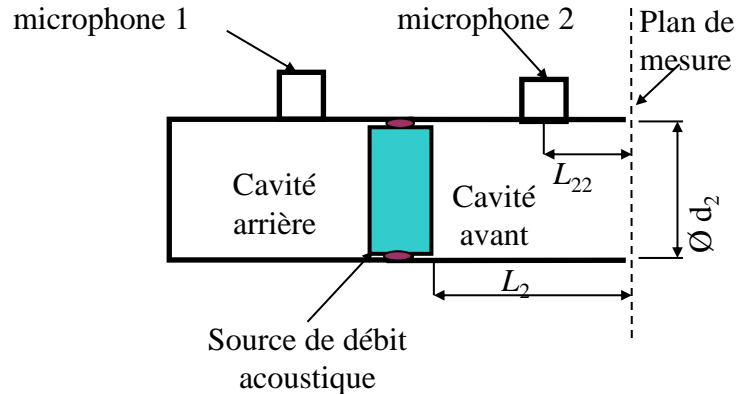
HISTORIQUE :

- Depuis 2020 : application à la caractérisation des matériaux poroélastiques



Obtention des six paramètres du modèle JCAL à partir d'un seul équipement





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

$$\beta = jZ_{c2} \tan(kL_{22})$$

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

$$K = fct(S_1/S_2)$$

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

S_1, S_2 : sensibilités des
microphones

K, β, δ : paramètres
dépendant de la fréquence

RÈGLES DE CONCEPTION CRUCIALES

- Non respectées sur les premiers capteurs
- Pas de fuites acoustiques
 - Cavités -> extérieur
 - Cavité avant <-> cavité arrière
- Pas de mode de membrane de l'actionneur
(sur la bande de fréquence cible)
- Dimensions des cavités faibles devant λ

3 GRANDEURS INCONNUES

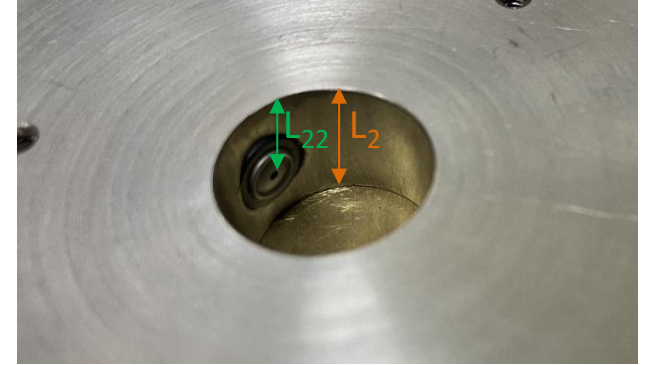
- Longueurs L_2 et L_{22}
- Rapport des sensibilité (inclus dans K)

ETALONNAGE « USINE » : VALEURS FIXES

- L_2 cote d'usinage
- L_{22} cote d'usinage + ajustement (position exacte du point de mesure de pression)

ETALONNAGE EN UTILISATION COURANTE

- Microphone à électret : fluctuation des sensibilités avec la température et l'humidité
- Etalonnage du capteur avant chaque série de mesures : mesure d'une impédance infinie
- Protocole simple



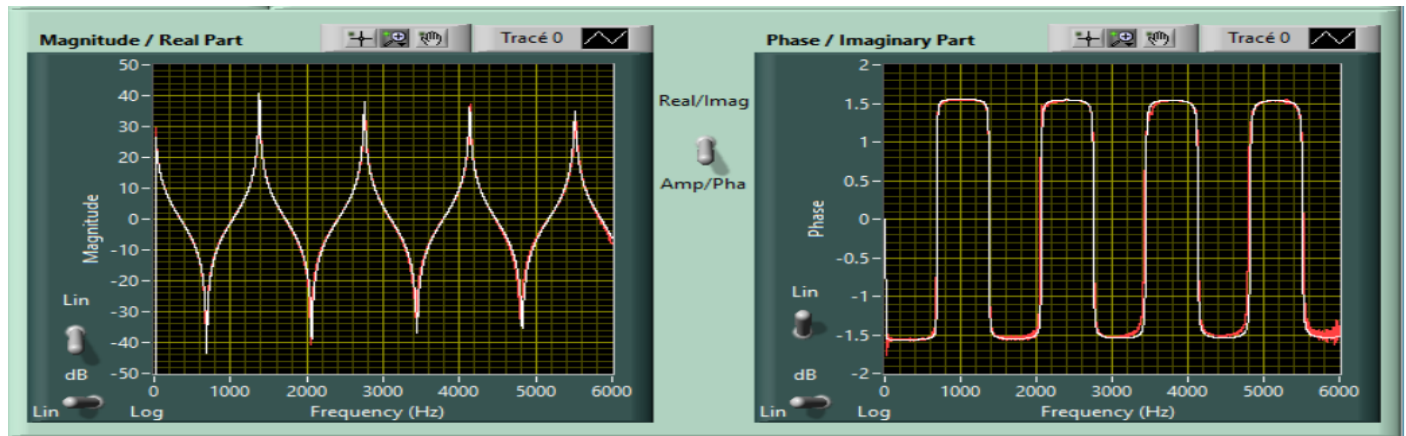
$$K = \delta H_{21}^{\infty}$$

$$Z_{sensor} = \frac{[H_{21}/H_{21}^{\infty}]/\delta - \beta}{1 - [H_{21}/H_{21}^{\infty}]}$$

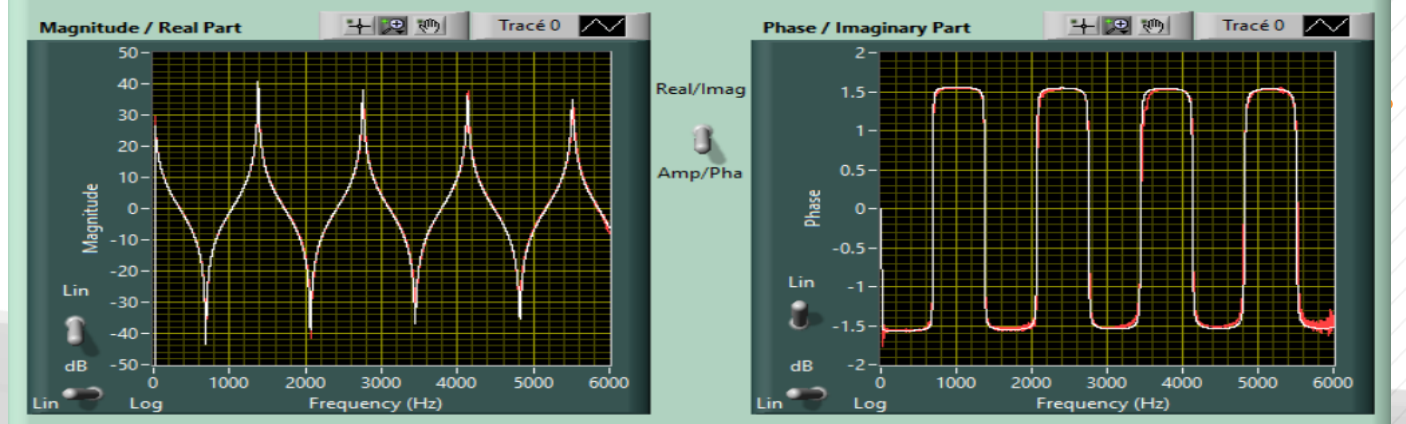
AJUSTEMENT DE LA VALEUR DE L_{22}

- Mesure de l'impédance d'entrée d'un conduit ($L = 123\text{mm}$ et $\varnothing = 29\text{mm}$) et comparaison avec une courbe théorique
- Impact aux antirésonances, et aux hautes fréquences

Valeur nominale
 $L_{22} = 6.5\text{mm}$



Valeur ajustée
 $L_{22} = 6.9\text{mm}$

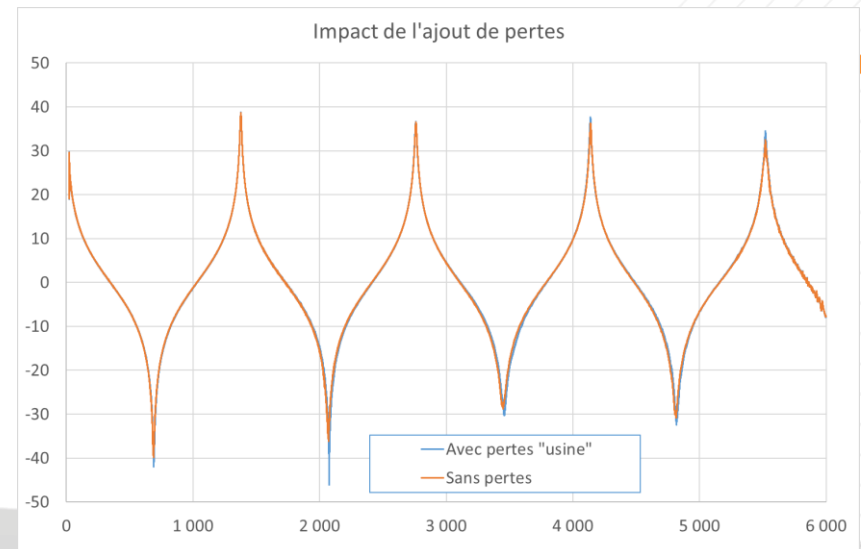
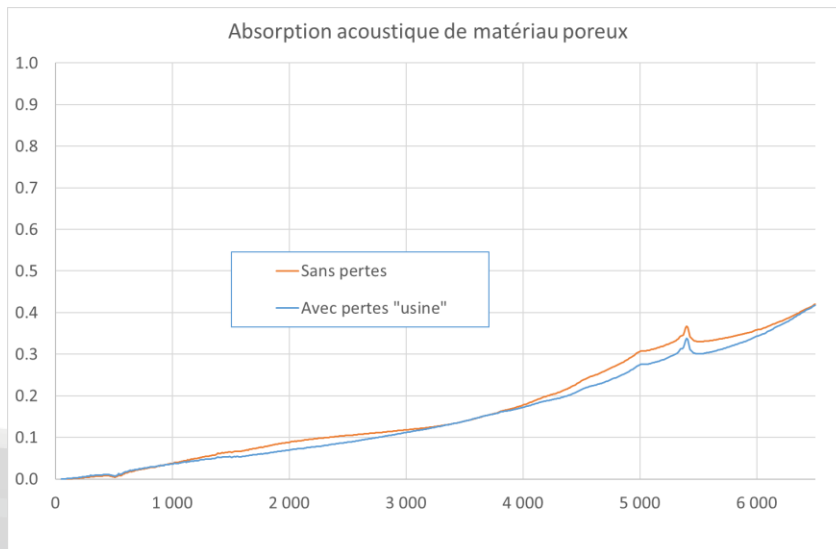
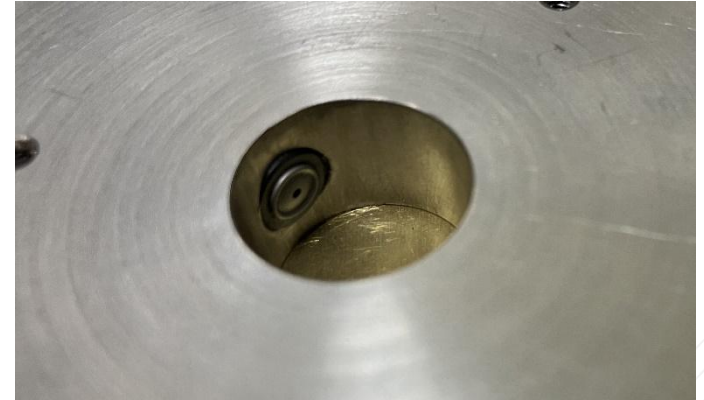


PRISE EN COMPTE DE PERTES ADDITIONNELLE DANS LE CONDUIT AVANT

- Présence du microphone en paroi (?)
- Modélisation par des longueurs « complexes »

$$L_{2/22} \Rightarrow L_{2/22} \times (1 - j\varepsilon)$$

- Impact plus important aux antirésonances
- Valeur établie lors de l'étalonnage initial
- Valeur constante pour une gamme de capteur



PRINCIPAUX AVANTAGES (PAR RAPPORT AU DOUBLET)

MEILLEURES PERFORMANCES AUX BASSES FRÉQUENCES

- Pas de déplacement des capteurs durant la phase d'étalonnage
- Principe de mesure différent (pas de limite à $\approx \lambda/20$)

MOINS DE SENSIBILITÉ AUX FLUCTUATIONS DE TEMPÉRATURE

- Principe différent, distances inter-microphoniques plus courtes

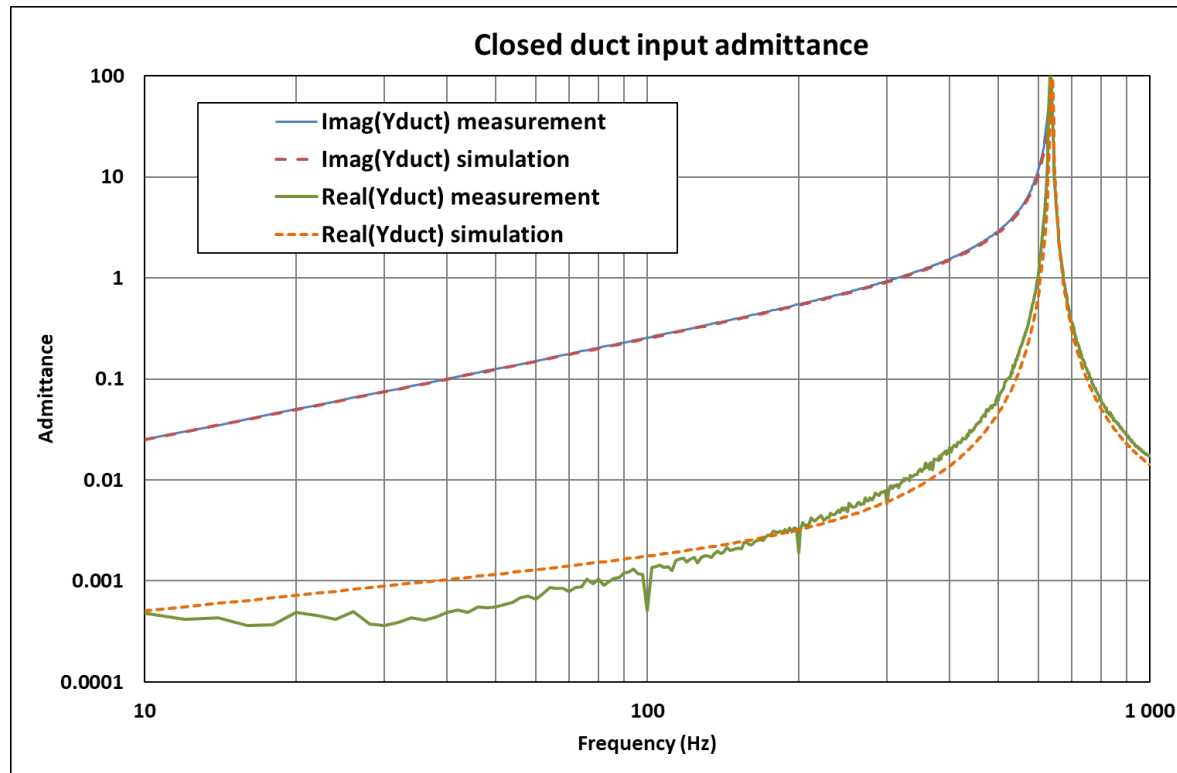
PROTOCOLE D'ÉTALONNAGE SIMPLIFIÉ

COMPACITÉ



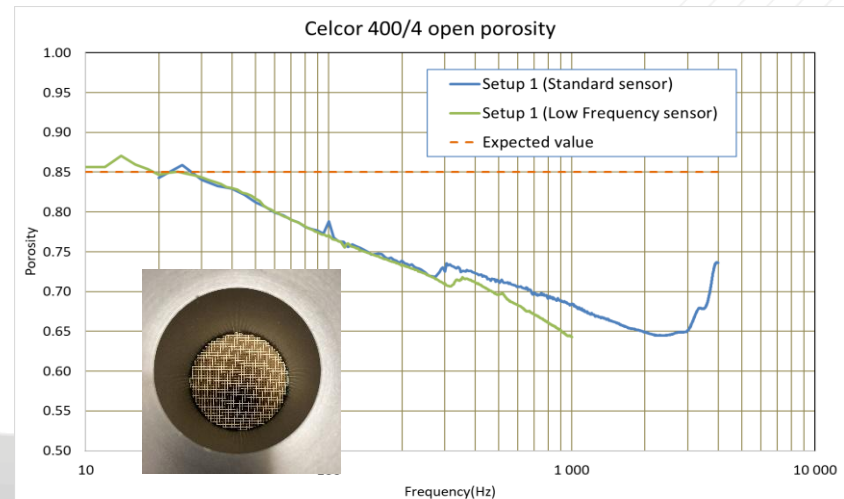
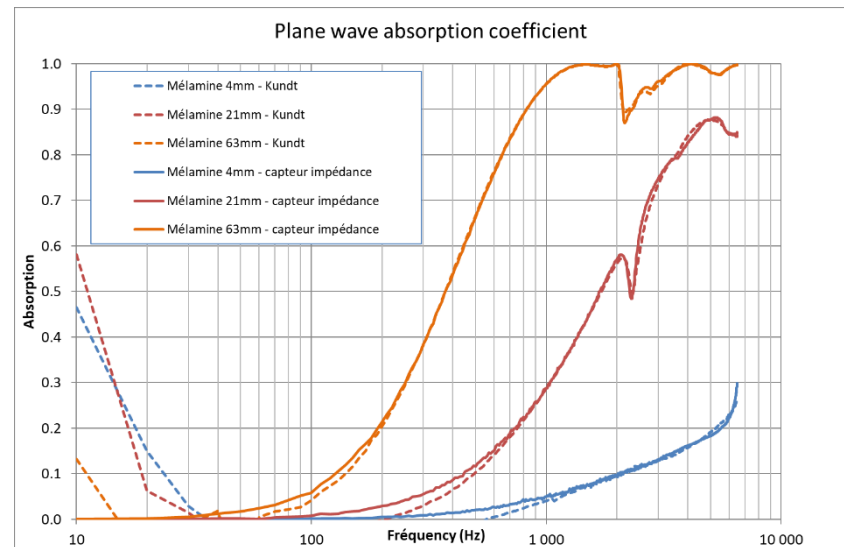
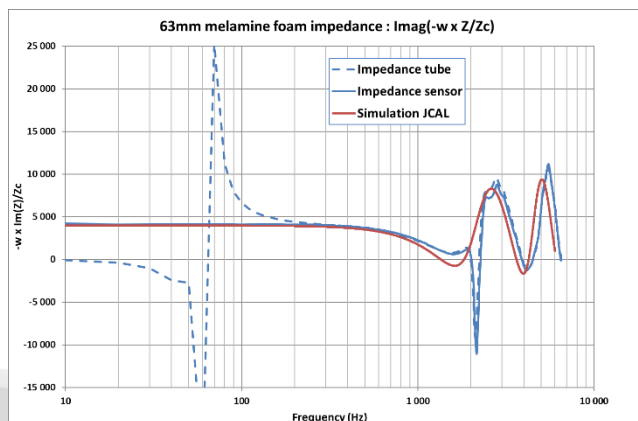
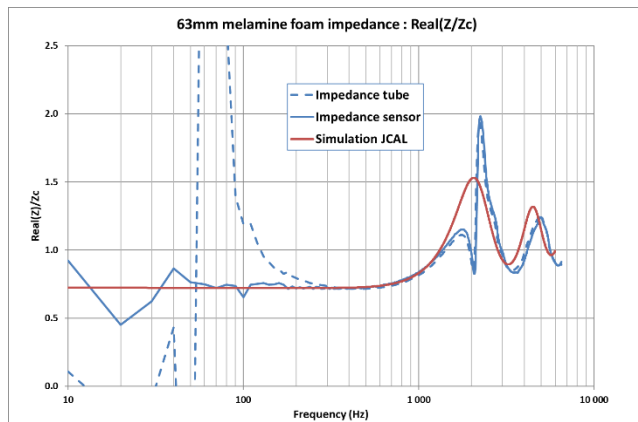
MESURE DE L'IMPÉDANCE D'UN CONDUIT FERMÉ

Longueur 135mm
Diamètre 30mm



MESURE DE L'IMPÉDANCE D'UN MATÉRIAU POROÉLASTIQUE

Mélangine épaisseur 63mm



PRÉCISION SUR LA MESURE DES FRÉQUENCES DE RÉSONANCE

MESURE DE LA TROMPETTE DROITE DE MACALUSO

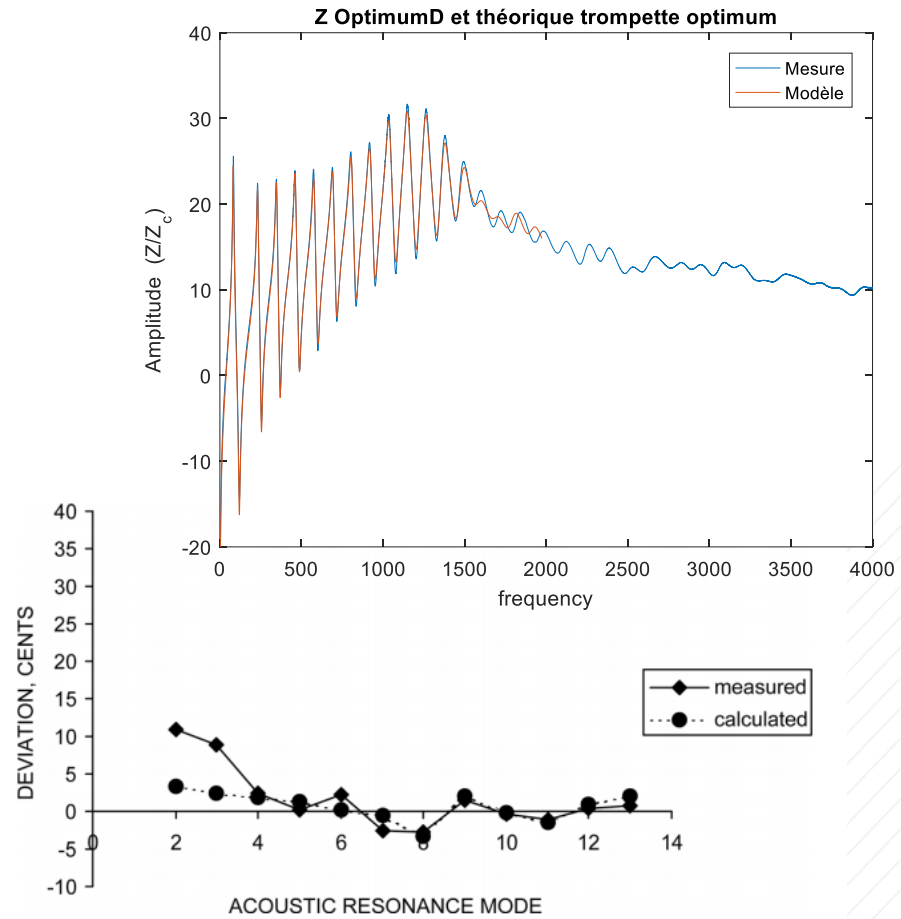
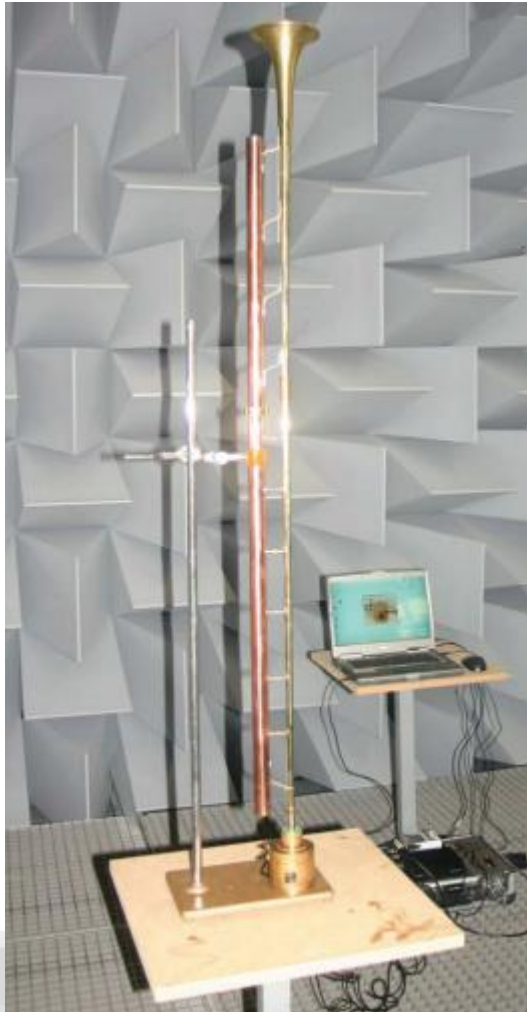


FIG. 10. Measured and calculated harmonicity deviations for Macaluso trumpet.

DÉRIVE DES CARACTÉRISTIQUES DES MICROPHONES

- Usage général : un étalonnage régulier toutes les heures (?), fonction de la fluctuation des conditions climatiques
- Dépend du niveau de précision requis
- Des solutions correctives existent (plus onéreuses)



DÉBIT ACOUSTIQUE RÉDUIT

- Modèle « standard » adapté à la mesure large bande (20Hz – 6.5kHz) de « petits » volumes
- Solutions correctives simples : mesure en mode sinus pas à pas, travailler dans une pièce avec bruit de fond peu élevé
- Autre possibilité : concevoir un capteur avec une source de débit plus puissante
- ***Problème : trouver le bon transducteur (étanche et sans modes vibratoires dans la plage de fréquence désirée), ou réduire la plage de fréquences***

⇒ Concevoir un capteur différent en fonction du dispositif à mesurer

DÉRIVE DES CARACTÉRISTIQUES DES MICROPHONES

- Impacte essentiellement l'amplitude
- Des solutions correctives existent (plus onéreuses)



DÉBIT ACOUSTIQUE RÉDUIT

- Capteur actuel adapté à la mesure large bande (20Hz – 6.5kHz) d'instrument ni trop gros ni trop petits (mesures du tuba au hautbois)
- Incertitudes typiques (+/-5 cents et +/- 1dB) plus élevées en BF, sur les gros instruments (tuba) et les petits (surtout sur l'amplitude, cf. hautbois)
- Pour les gros instruments, mesures en chambre sourde obligatoire

● CAPTEUR EXISTANT :

- Outil compact, robuste et précis
- Mode d'étalonnage simple
- Peu de sensibilité aux variations de températures
- Très bonne précision aux basses fréquences
- Bien adapté à l'acoustique musicale et aux « petits volumes » (mesure des matériaux poro-élastiques)
- Beaucoup de recul sur le capteur



● TECHNOLOGIE ÉVOLUTIVE

- Les limites sont identifiées et peuvent être corrigées au cas par cas
- Pour autres applications : des adaptations peuvent être envisagées sur la base du principe existant

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 FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL



LE MANS
Métropole
COMMUNAUTÉ URBAINE



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