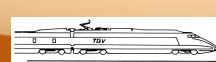


Un capteur d'impédance pour applications électroacoustiques



J.C. Le Roux

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

20, rue Thalès de Milet - Technopole université - 72000 Le Mans - France - Tél. 33 (0)2 43 39 46 46 - Fax. 33 (0)2 43 39 46 47

CTTM

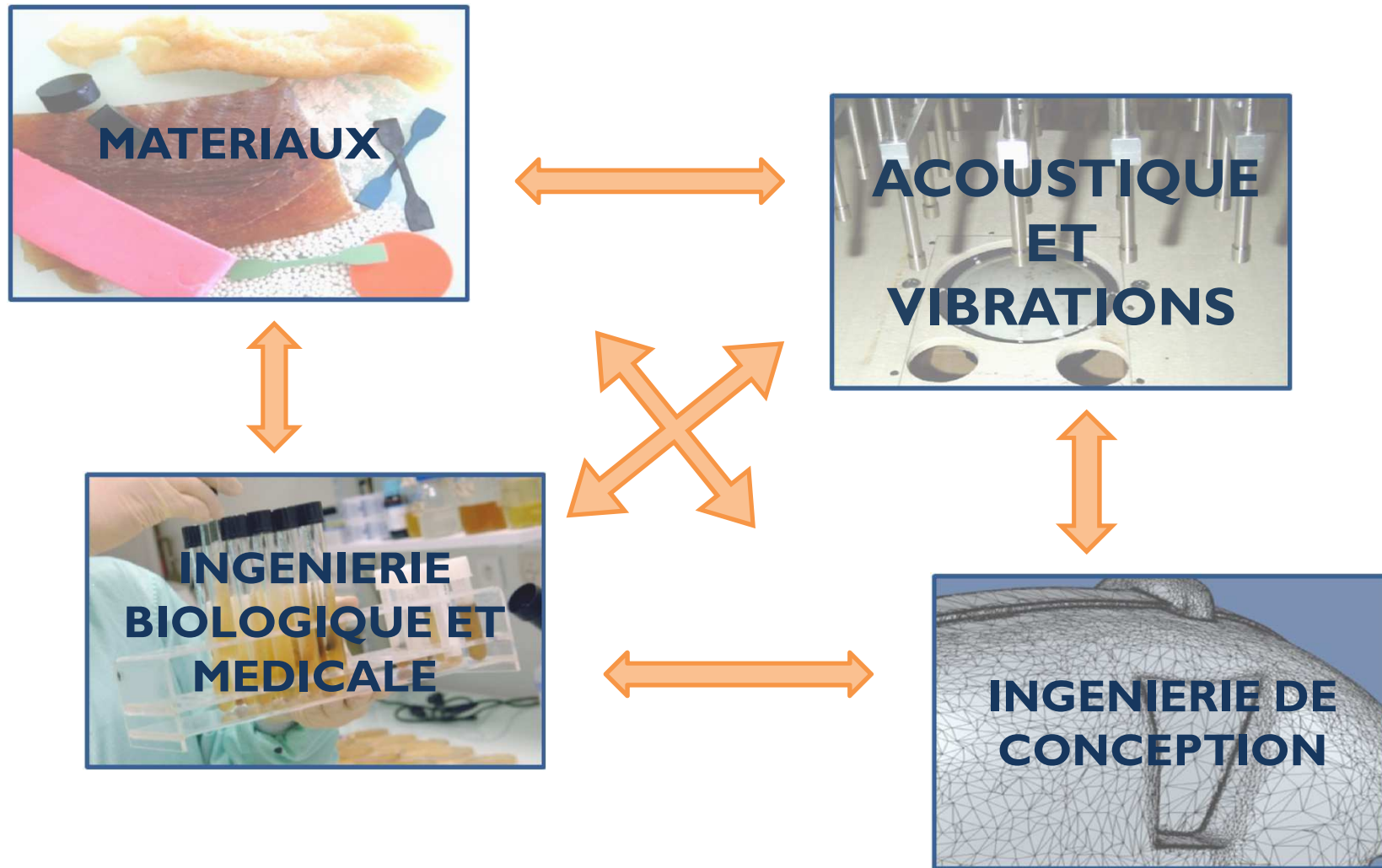


- Association loi 1901, créée en 1992
- Statut : CRT (Centre de Ressources Technologiques)
- Ressources : 45 salariés (docteurs, techniciens, ingénieurs, administratifs)
- Moyens :
 - 1500 m² de laboratoires de recherche, salles d'essais, ...
 - un bureau d'études : conception, calcul, prototypage...
- Activité :
 - Prestataire de service,
 - Transfert de technologie (Laboratoires ⇒ Industrie)



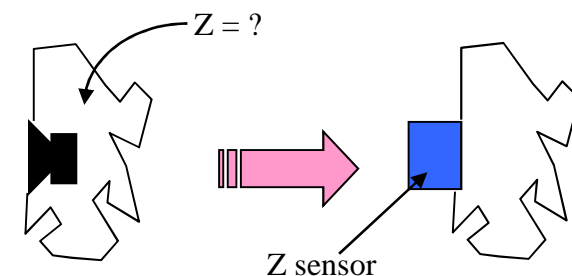
**Technopôle Universitaire
72000 LE MANS**

CTTM



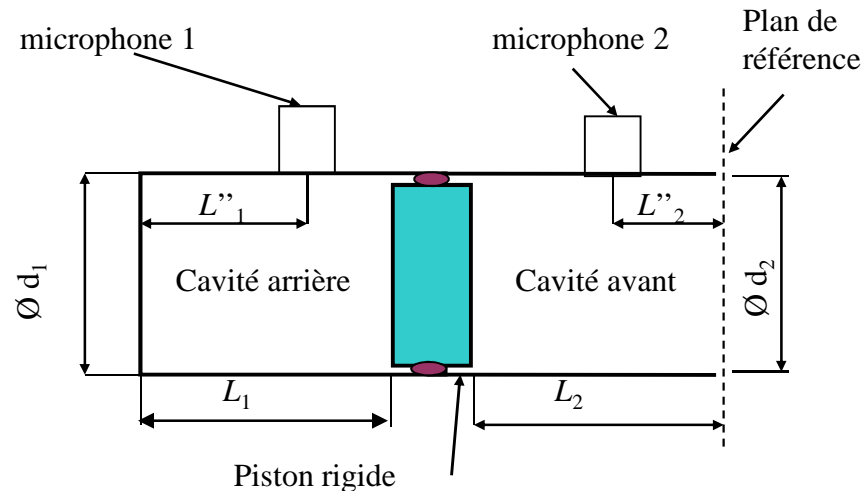
Capteur d'impédance ?

- Impédance acoustique :
 - Pression / débit
- Applications :
 - Impédances d'entrée de guides d'ondes (acoustique musicale, pavillons...)
 - Charges acoustiques d'un transducteur (enceinte, ...)
 - Contrôle dimensionnel (reconstruction de perce, détection de fuite, ...),
 - ...



Principe

Utilisation d'une source de débit contrôlée



Au premier ordre (BF)

$$p_1 = -Q / (j\omega C) \quad \text{et} \quad p_2 = QZ_{sensor}$$

$$Z_{sensor} = - \left[\frac{p_2}{p_1} \right] \times \frac{1}{j\omega C}$$

Modèle complet

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

$$K = -j \frac{1}{Z_{c1}} \frac{s_2}{s_1} \frac{\sin(kL_1)}{\cos(kL_1'')} \frac{\cos(kL_2'')}{\cos(kL_2)}$$

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

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

(s_2 / s_1 est le rapport des sensibilités des microphones)

H21 est la fonction de transfert des deux signaux microphoniques

Rappel historique

- Premiers modèles (1990-2000)
 - Emploi d'un haut-parleur électrodynamique « conventionnel » ou d'un large transducteur piézoélectrique comme source de débit
 - ⇒ Problèmes dus aux modes de membrane et aux fuites
- 2008 – 2012 : nouveaux designs
 - Choix de transducteurs optimisé :
 - Membrane fonctionnant en piston rigide sur la gamme de fréquence choisie (absence de modes vibratoires),
 - Absence de fuite entre les cavités avant et arrière
 - Nouvelle procédure de calibration basée sur l'utilisation de trois charges acoustiques non résonantes
- Collaboration LAUM / CTTM

Capteurs existants

Capteur « fort débit »

Source de débit : haut-parleur électrodynamique innovant

Caractéristiques :

- Débit élevé
- Adapté à la mesure d'objets de grandes dimensions
- Basses fréquences (10Hz – 3kHz)

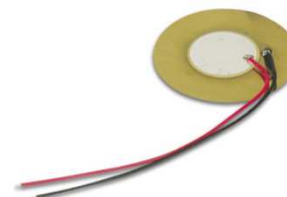


Capteur « laboratoire »

Source de débit : petit bender piézo-électrique

Caractéristiques :

- Débit faible
- Adapté à la mesure d'objets de petites dimensions
- Large bande (50Hz – 6kHz)



Calibration

Calibration usine :

- 3 mesures avec trois charges non résonantes
- fixe/contrôle les paramètres géométriques du capteur



$$Z_1 = \frac{\rho^* c}{s_1}$$



$$Z_2 = Z_r$$



$$Z_3 = \infty$$

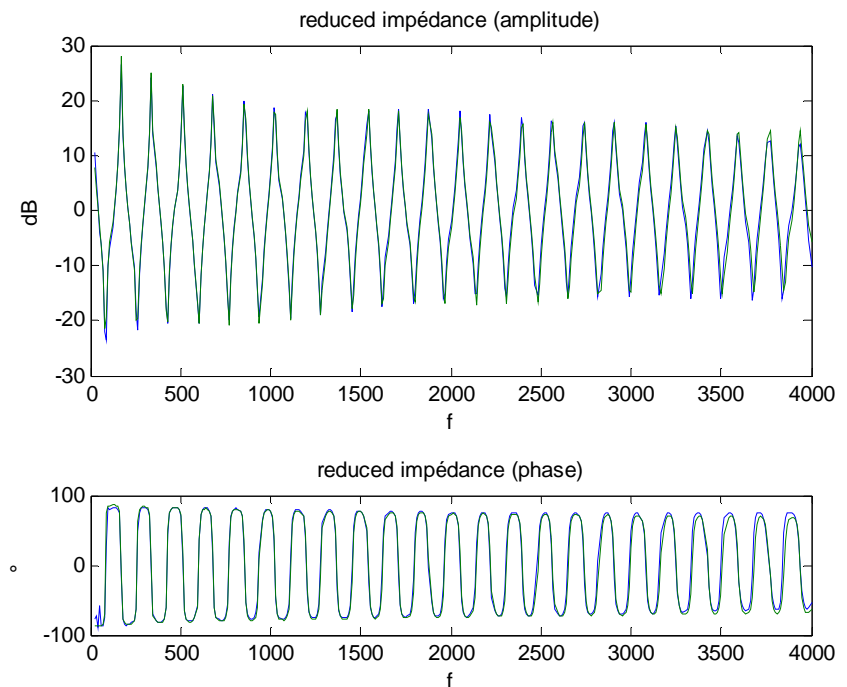
Usage courant :

- 1 mesure avec cavité fermée (Z_3)
- rapport des sensibilités de chaînes microphoniques

Acoustique musicale

Mesure de l'impédance d'entrée d'un instrument

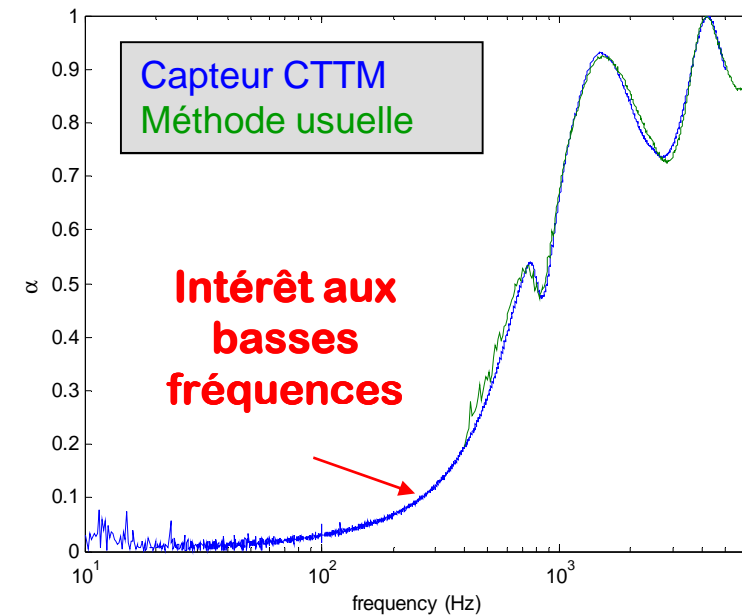
- Contrôle de la justesse,
- Caractérisation d'instruments anciens (fabrication de copie),
- Recherche



Matériaux acoustiques

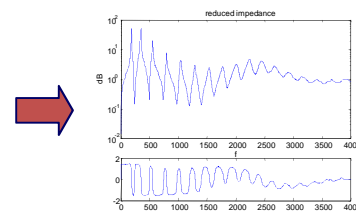
Mesure du coefficient d'absorption

- Procédure de calibration simplifiée par rapport aux techniques usuelles
- Intérêt basses fréquences (précision, compacité du capteur)

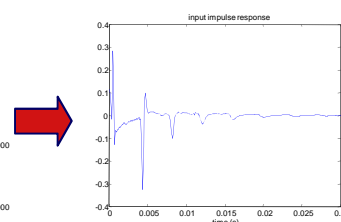


Reconstruction de perce

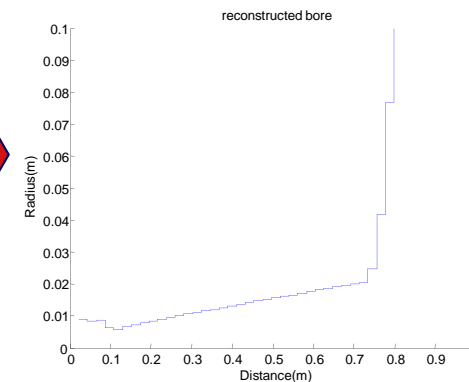
- Estimation du profil d'un conduit à partir de la mesure de l'impédance d'entrée
- Contrôle dimensionnel, détection de fuite, ...



Impédance
réduite



Réponse
impulsionnelle



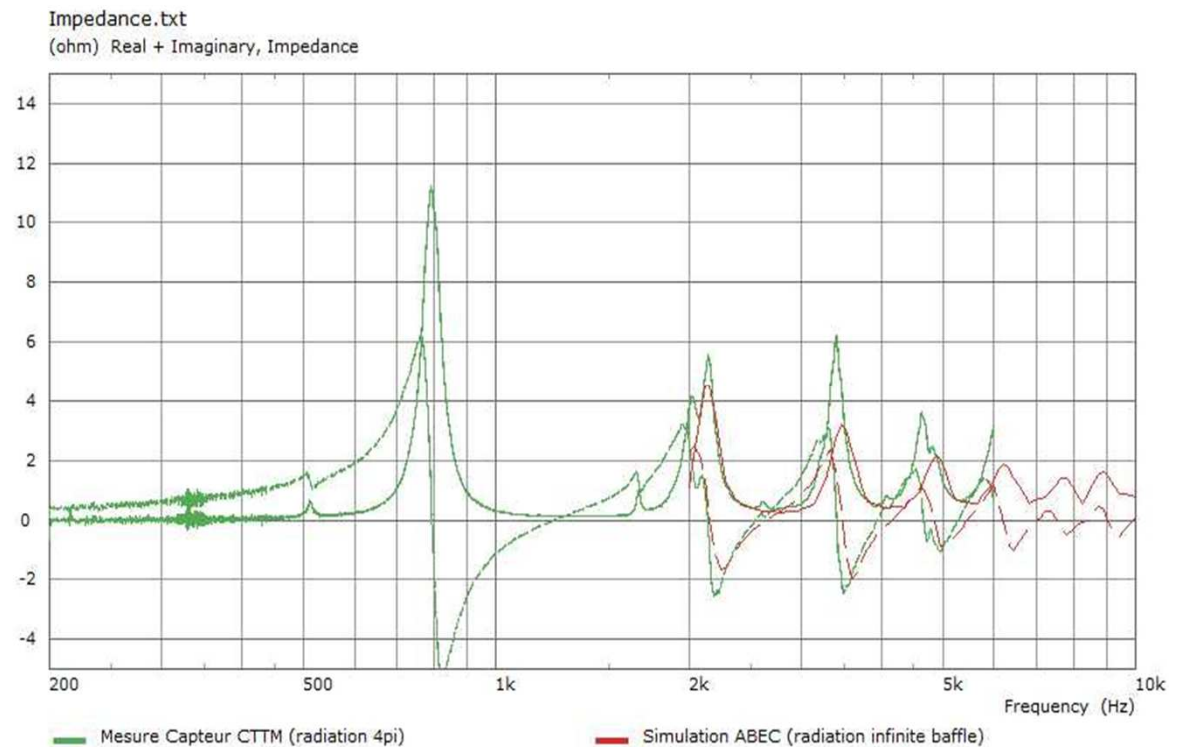
Reconstruction de la perce
(profil du conduit)

**Contrôle dimensionnel
non invasif**

Guides d'ondes

Impédance d'entrée de pavillon

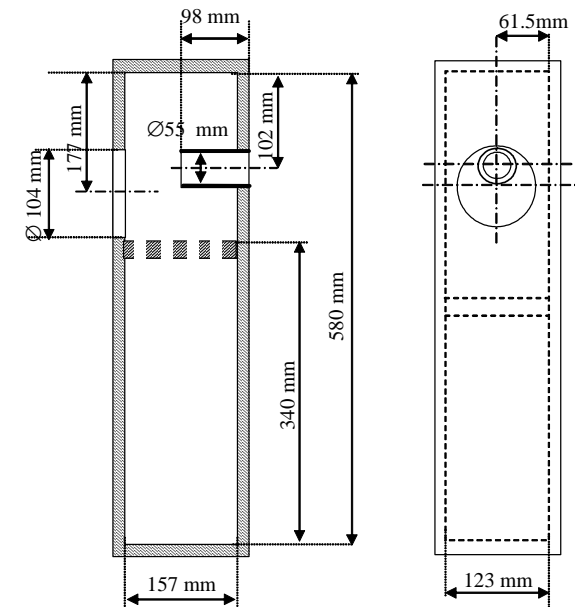
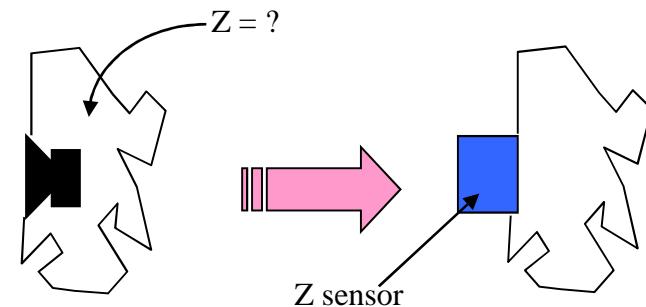
- Recalage de modèles numériques
- Contrôle de prototypes



Impédance de charge d'un haut-parleur (i)

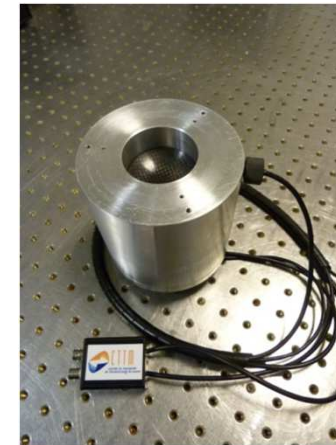
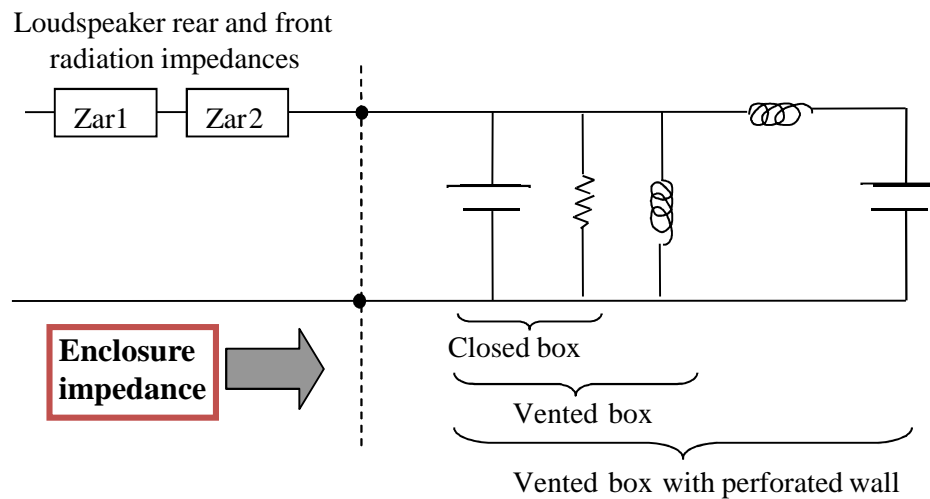
Exemple d'application : cas d'une enceinte colonne

- Configuration close et bass-reflex
- Existence de résonances longitudinales aux moyennes fréquences :
 - mise en œuvre de solutions correctives
 - utilisation de la mesure d'impédance pour valider les modèles électro-acoustiques
- Travaux présentés au CFA 2012, repris dans Acoustique et Techniques



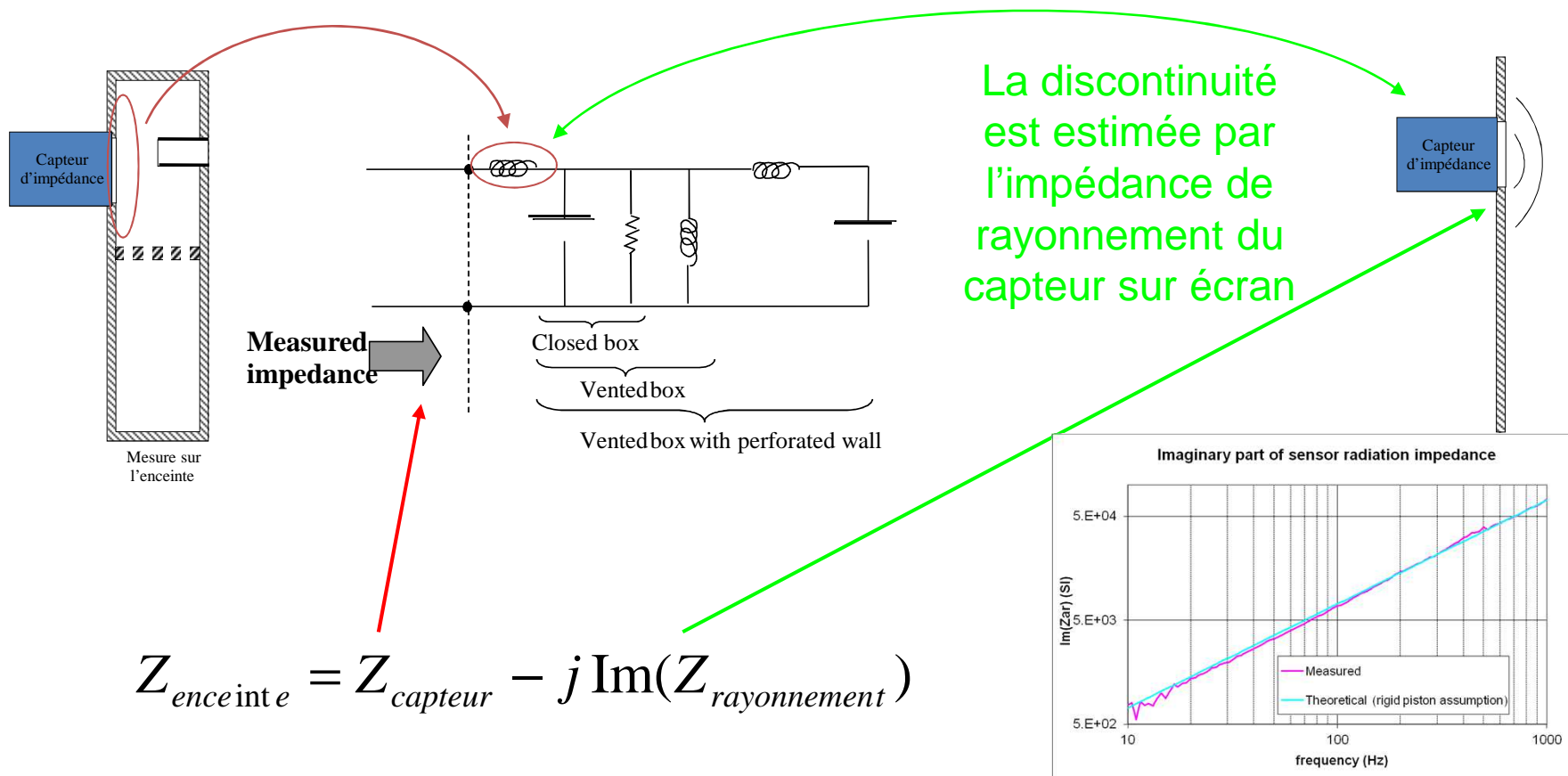
Impédance de charge d'un haut-parleur (ii)

Impédance recherchée



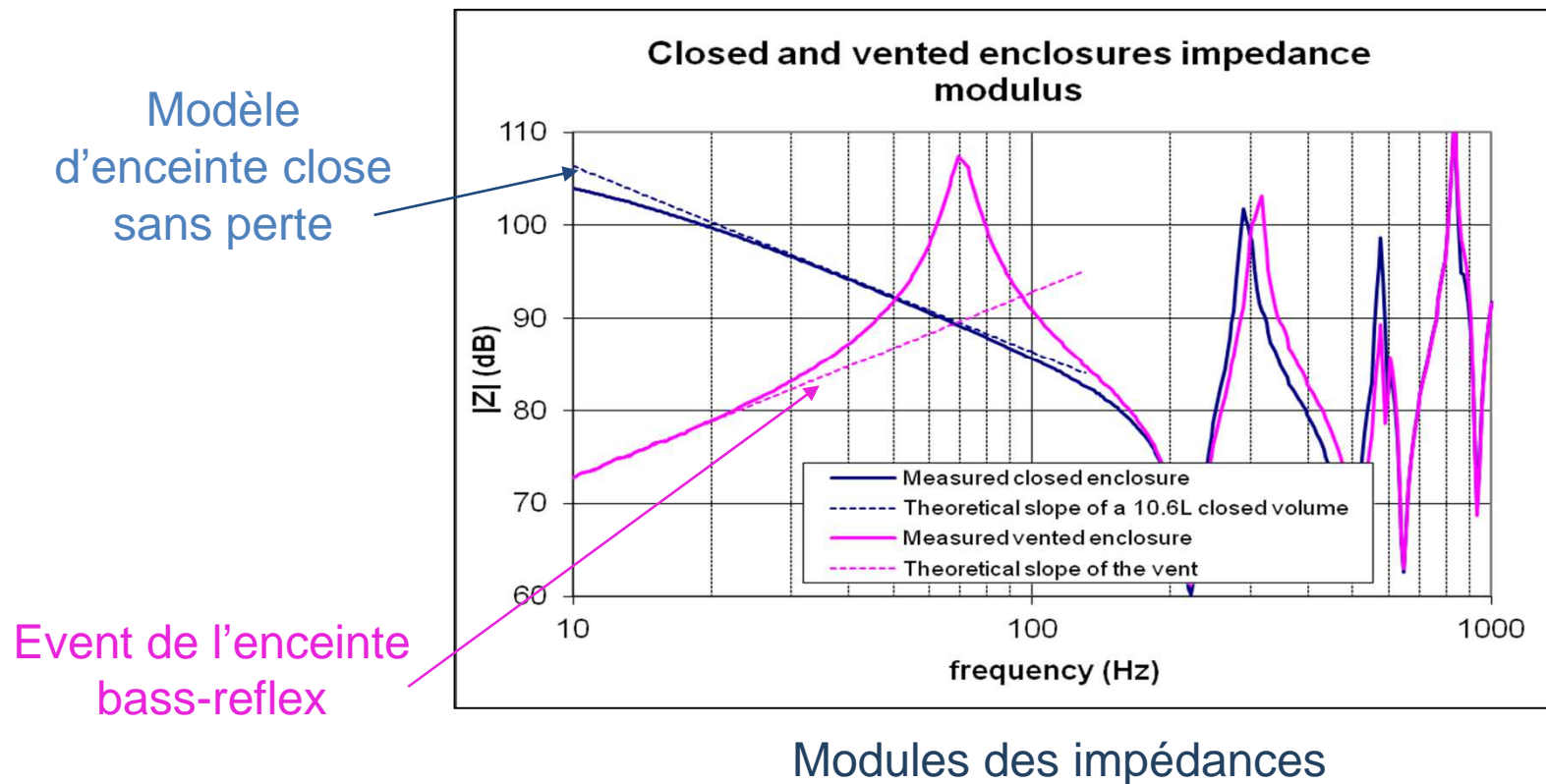
Impédance de charge d'un haut-parleur (iii)

Compensation de l'impédance de discontinuité



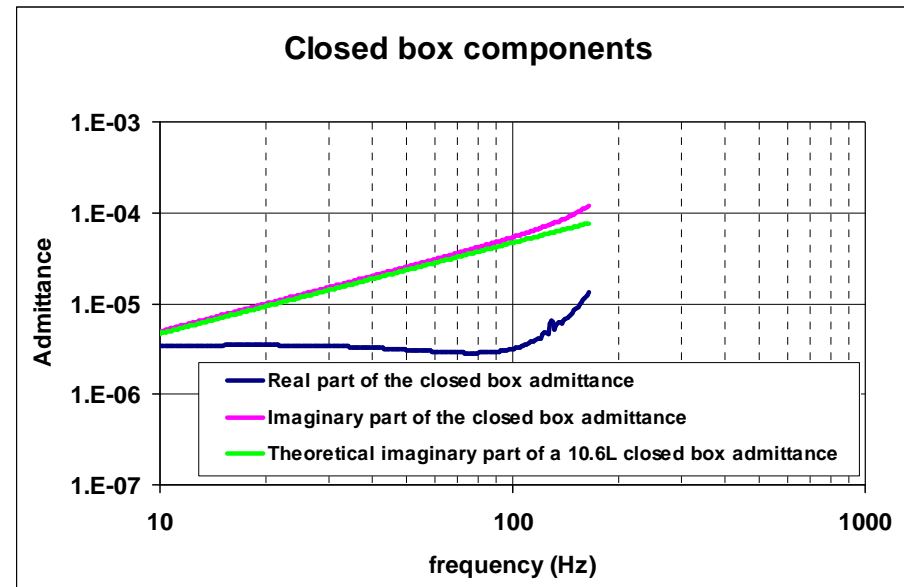
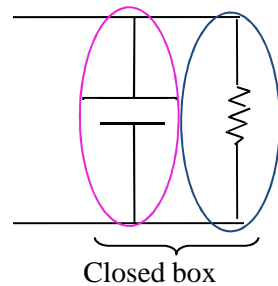
Impédance de charge d'un haut-parleur (iv)

Résultats expérimentaux : enceinte close et bass-reflex



Impédance de charge d'un haut-parleur (v)

Enceinte close avec pertes

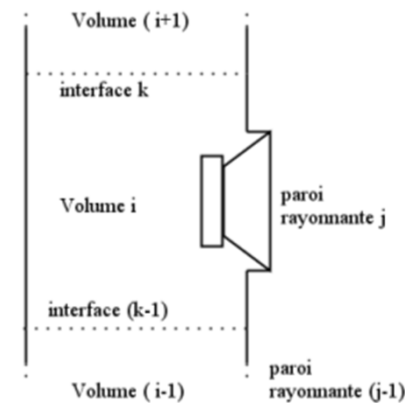
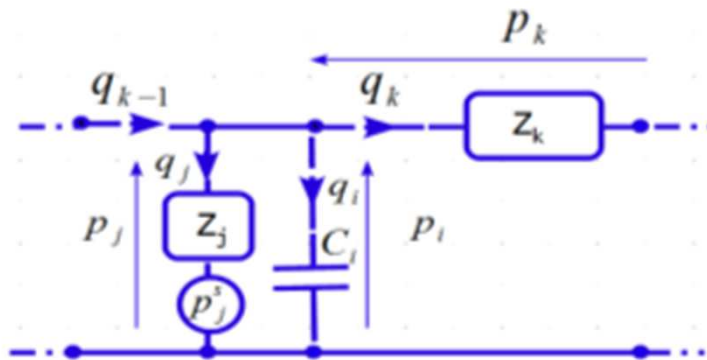


La mesure de l'impédance permet de retrouver les pertes de l'enceinte

Parties réelle et imaginaire de l'admittance de l'enceinte close

Impédance de charge d'un haut-parleur (vi)

Modélisation de l'enceinte

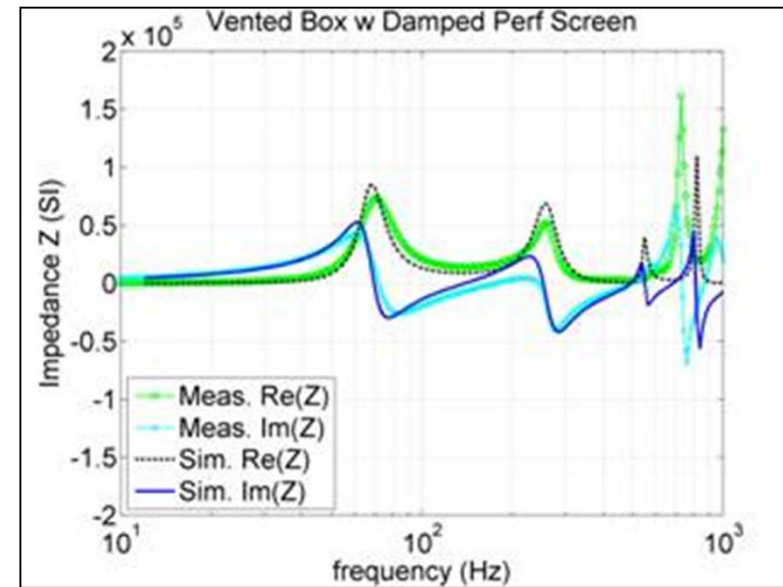
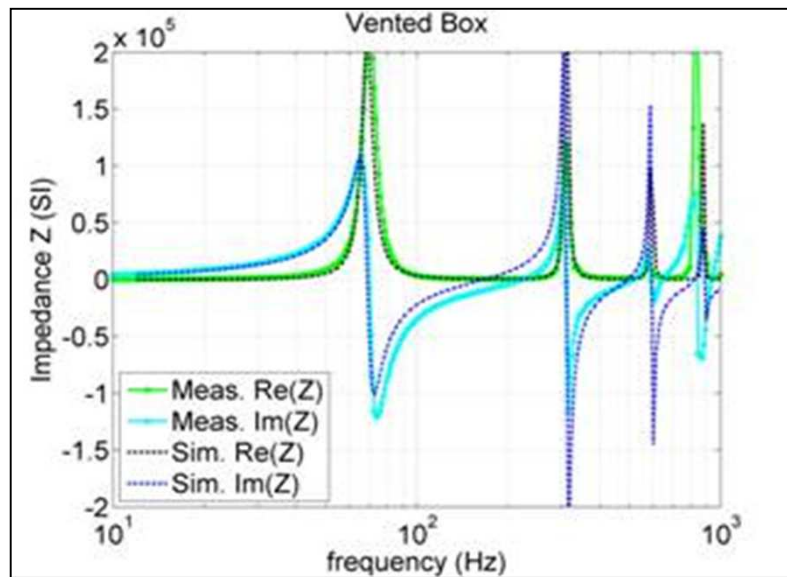


Modélisation de l'enceinte par des cellules élémentaires
(discrétisation suivant la dimension verticale)

Code de calcul CNRS-LMA (Marseille)

Impédance de charge d'un haut-parleur (vii)

Comparaisons avec la modélisation



L'impédance mesurée a permis de valider le logiciel et de recalibrer les paramètres décrivant l'écran perforé

Conclusions

Deux modèles de capteur d'impédance

Applications variées

Perspectives (mesure, essais, contrôle)

Produit commercial CTTM

