

# Contrôle actif décentralisé de transparence acoustique

Manuel Melon<sup>1,2</sup>, Eric Bavu<sup>2</sup>, Sarah Poirée<sup>2</sup>, Pierre-Olivier Mattéi<sup>3</sup>, and Philippe Herzog<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LAUM, <sup>2</sup> CNAM, <sup>3</sup> LMA

Workshop TEOBF, 17-19 janvier 2018

# Introduction

## Projet PARABAS

- **Projet ANR PARABAS** : avait pour but d'étudier la faisabilité de cellules hybrides à **contrôle local** permettant d'obtenir **simultanément** de bonnes performances en **absorption** et en **isolement**.
- **Applications** :
  - Renforcement de l'isolement de salles de spectacles en tissu urbain.
  - Constructions légères (ossature bois)
  - Chambre sourde active

# Introduction

## Projet PARABAS

- **Partenaires** LMA (porteur), CNAM, ECL et CSTB.
- **Cette présentation** : étude système actif pour l'isolement.
- **But** : obtenir des formules analytiques (calcul rapide) pour dégager les grandes tendances conduisant à la conception de prototypes

# Introduction

## Contexte

- **But** : Améliorer l'isolement des parois aux basses fréquences sans trop augmenter la masse surfacique.
- **Solution possible** : contrôle actif (efficacité optimale en BF).
- **Contrôle centralisé**  $\Rightarrow$  compliqué et cher.
- **Solution alternative**  $\Rightarrow$  Utiliser quelques cellules indépendantes pour chaque plaque de plâtre"
- Les cellules sont placées **à proximité du mur** (le contrôle est réalisé en champ proche).



# Introduction

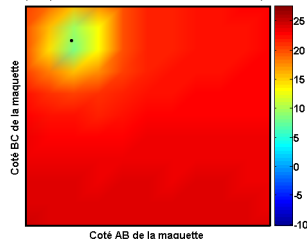
## Conséquence du contrôle en champ proche

- Le champ proche décroît **très fortement** avec la distance :
  - **Intérêt** : les interactions entre cellules sont réduites permettant un contrôle décentralisé.
  - **Inconvénient** : L'action des cellules est trop localisée.

- 15 dB  
d'atténuation sur  
quelques cm<sup>2</sup>  
pour cette  
configuration.



Champ de pression contrôle ON à 100.00 Hz - dB SPL pour 1V



# Introduction

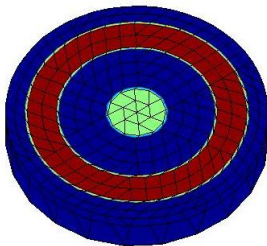
## Solution proposée

- Des simulations<sup>1</sup> ont montré qu'un meilleur isolement est obtenu lorsqu'une pression homogène est rayonnée sur l'ensemble de la paroi par la source de contrôle.
- Ce résultat est plus facilement obtenu avec une source **annulaire** au lieu d'un **piston plan**.
- Dans cette partie, seront présentés :
  - Un **modèle électroacoustique** pour prédire le rayonnement d'une telle source placée en face d'un mur rigide.
  - Des comparaisons seront effectuées avec :
    - Un modèle **BEM**
    - **Des résultats de mesure** obtenus à l'aide d'un prototype.

<sup>1</sup>P.O. Mattei, M. Melon, Ch. Langrenne, Ph. Herzog, "Optimisation de la transparence acoustique de cloison par contrôle actif du champ incident". 10<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, Paper 099, Lyon (France), 2010.

# Géométries utilisées

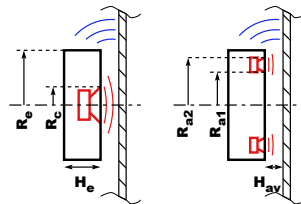
Modèle numérique



Prototype



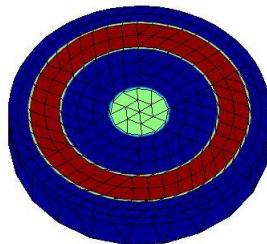
Positionnement de la  
cellule



Anneau formé par 12  
haut-parleurs 2".

# Simulations BEM : résultats

- Un modèle BEM (Sysnoise) est utilisé pour calculer des cartes de pression **relatives** devant les deux sources testées :
  - Un piston circulaire (vert)
  - Une source annulaire (rouge)
- Les sources sont placées à 6.7 cm du mur rigide.

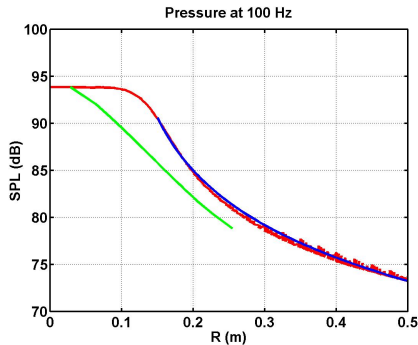


# Simulations BEM : résultats

- Dépendance radiale de la pression :
  - Vert : piston circulaire
  - Rouge : source annulaire
  - Bleue : loi champ lointain (ajustement)

$$P_F(R) \propto \frac{1}{|R - R_F|},$$

où  $R_F \approx$  rayon intérieur de l'anneau.

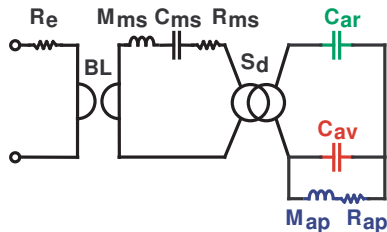


# Simulations BEM : résultats

- Le rayonnement par un disque conduit à une **forte décroissance** avec la distance.
- Les résultats BEM pour la source annulaire permettent de distinguer deux zones :
  - Une zone où la pression est **constante**
  - Une zone où la pression décroît selon une **loi champ lointain**.
- Le modèle BEM ne permet pas de calculer le niveau absolu de la pression rayonnée par ce type de sources.
- Solution  $\Rightarrow$  utiliser un modèle **électroacoustique** pour calculer les débits des différentes sources.

# Modèle électroacoustique

- Modèle à constantes localisées pour le haut-parleur, avec :
  - Une souplesse  $C_{ar}$  pour la charge arrière (enceinte close).
- Charge avant déduite des résultats BEM :
  - Une souplesse  $C_{av}$  pour la zone de pression constante.
  - Une impédance de rayonnement  $Z_{ap}$  pour la loi champ lointain.



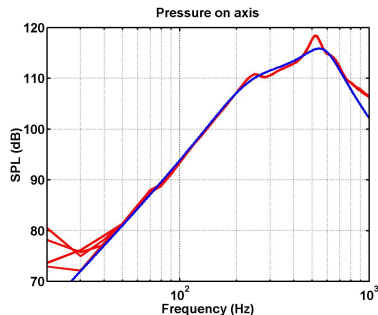
# Impédance de rayonnement

- L'impédance de rayonnement  $Z_{ap}$  n'est pas facile à estimer précisément.
- Deux impédances de rayonnement réduites sont connues analytiquement pour des **géométries proches** :
  - Un cylindre fini vibrant dans un cylindre infini (D.H. Robey)  $\Rightarrow Z_c$ .
  - Un piston rectangulaire dans un plan rigide infini (R. Stepanishen)  $\Rightarrow Z_r$ .
- Aux basses fréquences, les deux impédances possèdent des formes proches :  $Z_c \simeq \frac{Z_r}{2}$ .
- Approximation par  $Z_{ap} = A \frac{\rho c}{S_p} Z_r$ , où  $A$  est une constante de pondération permettant d'ajuster la théorie aux mesures.



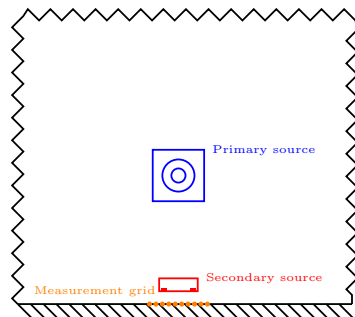
# Résultats

- **Rouge** : Pression mesurée sur quatre points à proximité du centre de la source.
- **Bleu** : Pression calculée pour  $A = \frac{4}{7}$  (les paramètres des haut-parleurs ont été obtenus à partir des mesures de leur impédance électrique).
- **Bon accord** entre théorie et mesure.
- L'accord reste correct aux fréquences moyennes.



# Dispositif de mesure pour les simulations de contrôle

- Chambre semi-anechoïque.
- Le prototype est placé à 6,7 cm du sol.
- Le champ primaire est rayonné par un caisson de basse équipé d'un HP Peerless 269 SWR 51 XLS.
- Le centre du caisson de basse est placé à 90 cm au dessus du sol.
- Deux incidences par rapport à la normale au sol ont été testées :  $0^\circ$  and  $45^\circ$ .



# Simulations du contrôle

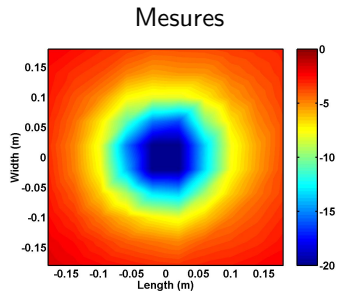
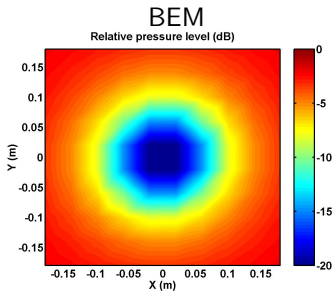
- Les champs de pression sur le sol ont été mesurés sur une grille de  $10 \times 10$  avec un espacement de 4 cm :
  - Fonctions de transfert de la source primaire vers les positions des microphones  $\Rightarrow \mathbf{H}_{\text{pri}}$
  - Fonctions de transfert de la source secondaire vers les positions des microphones  $\Rightarrow \mathbf{H}_{\text{ctl}}$
- Le contrôle est simulé à partir de l'équation suivante :

$$\mathbf{H}_{\text{res}} = \mathbf{H}_{\text{pri}} - \frac{H_{\text{pri}}(k)}{H_{\text{ctl}}(k)} \mathbf{H}_{\text{ctl}}$$

où  $k$  correspond à la position du microphone d'erreur.

# Résultats pour le haut-parleur central

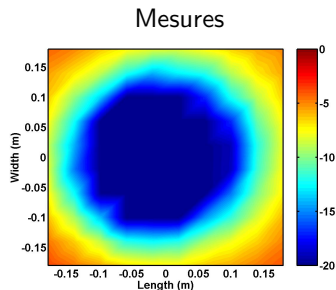
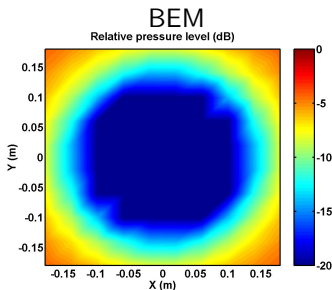
- Incidence normale à 100 Hz :



- Bon accord entre simulation et mesure.
- Zone de contrôle de petite taille.

# Résultats pour la source annulaire

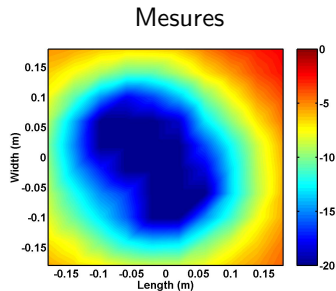
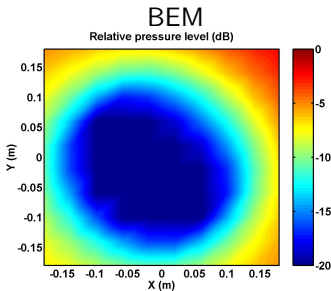
- Incidence normale à 100 Hz :



- Bon accord entre simulation et mesure malgré les différences (anneau de haut-parleurs vs anneau continu).
- Zone de contrôle plus étendue.

# Résultats pour la source annulaire

- Résultats pour une incidence de  $45^\circ$  à 100 Hz :



- Ici encore, bon accord entre simulation et mesure.
- Zone de contrôle légèrement réduite.

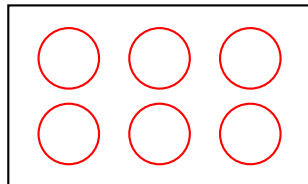
# Test sur une paroi simple

- Mesures réalisées au Cnam
- Paroi constituée de deux épaisseurs de plaques de plâtre (BA13) collées ( $145 \text{ cm} \times 226 \text{ cm}$ )
- La paroi sépare deux salles réverbérantes dans lesquelles de l'absorbant a été placé afin d'obtenir des  $T_R \simeq 1 \text{ s}$



# Mesures

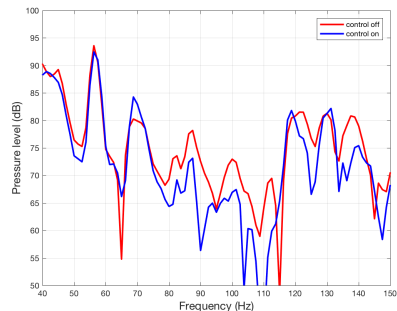
- 6 positions de sources de contrôles
- Mesures réalisées de façon séquentielle
- Calcul du contrôle réalisé numériquement.





# Résultats

- Atténuation satisfaisante entre 80 et 115 Hz.
- Résultats décevants en dessous de 70 Hz.
- Pistes d'explications : transmissions latérales, fuites.



# Conclusion

- Zone de contrôle plus large pour la source annulaire : résultat confirmé par les mesures et les simulations BEM.
- Modèle électroacoustique donne de bons résultats pour la configuration testée.
- Résultats sur une paroi simple en demi-teinte.

# Conclusion

## ■ Perspectives :

- Le modèle semi-analytique (ajustement BEM) sera utilisé pour optimiser la cellule de contrôle (explication de la valeur du facteur  $A$ ).
- Construire une source à rayonnement latéral utilisant moins de haut-parleurs (idéalement un seul).
- Recommencer les mesures en situation plus contrôlée (nouvelles salles du LMA) et en temps réel (contrôleur développé au LMA).

# Conclusion

## Salles d'essais



# Conclusion

## Arceau de microphones



## Contrôleur

