



*Ph. Herzog, R. Guillermin*



**Le Mans  
Université**

*M. Melon*

# Identification de sources par mesures en champ proche



*M. Sanlatii, N. Poulain, J.C. Le Roux*

# Identification de sources par mesures en champ proche

- 1 Contexte : contrôle du bruit
- 2 Méthode de mesure proposée
- 3 Simulations d'après un modèle
- 4 Mesures dans un hall
- 5 Simulations d'un "line array"
- 6 Discussion

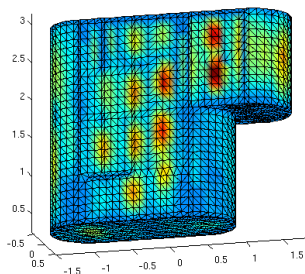


## Contexte : bruit de transformateurs de distribution



- Niveau SPL peu élevé mais continu
- Raies émergentes (100Hz, 200Hz, etc)
- Directivité prononcée, zone urbaine

## Calcul BEM à partir de mesures d'accélération



- Déformée vibratoire complexe  $\Rightarrow$  mesure fastidieuse
- Décrit essentiellement le champ évanescant

Champ propagé  $\sim$  indépendant des courtes échelles spatiales

# Méthode de mesure proposée

## Mesures aussi simples que possible

- Mesures de pression et "simple couche"
- Distance "faible" : proche mais **hors champ évanescent**
- Positions respectant les contraintes *in situ* - **mais connues**

## Apport d'information via une décomposition **adaptée**

- Série définie d'après la géométrie de la source
- Termes ne décrivant que le champ propagatif
- Sélection de termes au rayonnement efficace

Décomposition sur les "modes de rayonnement" (RM)

## Modes de rayonnement : calcul *a priori*

### 1 - Impédance de rayonnement $[\mathbf{Z}]$ de la source

$$\vec{p}_s = [\mathbf{Z}] \vec{q}_s \quad (1)$$

Calcul (numérique) préalable de  $[\mathbf{Z}]$  : BEM, ESM, ...

### 2 - Décomposition de la **partie réelle** de $[\mathbf{Z}]$

$$\Re([\mathbf{Z}]) = [\mathbf{U}] [\sigma] [\mathbf{V}]^H \quad (2)$$

Décomposition SVD : efficacités  $\sigma$  décroissantes

RM = série adaptée / rayonnement en "champ lointain"

## Décomposition et propagation du champ

### Calcul préalable d'un "petit" nombre de termes

- Premières colonnes de  $[\mathbf{V}]$  : "sources virtuelles" (RM)
- Transfert  $[\mathbf{H}_m]$  entre RM's et les positions de mesure
- Transfert  $[\mathbf{H}_f]$  entre RM's et les positions souhaitées

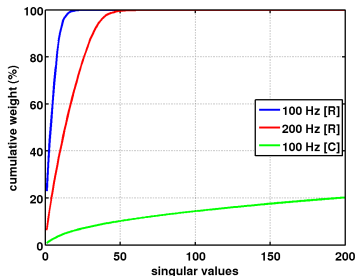
### Mesures et post-traitement

- Mesures de pression  $\vec{p}_m$  (identification)
- Inversion :  $\vec{d} = [\mathbf{H}_m]^+ \vec{p}_m$

### Estimation de la pression propagée $\vec{p}_f$

- $\vec{p}_f = [\mathbf{H}_f] \vec{d}$

# Simulations d'après un modèle (BEM)

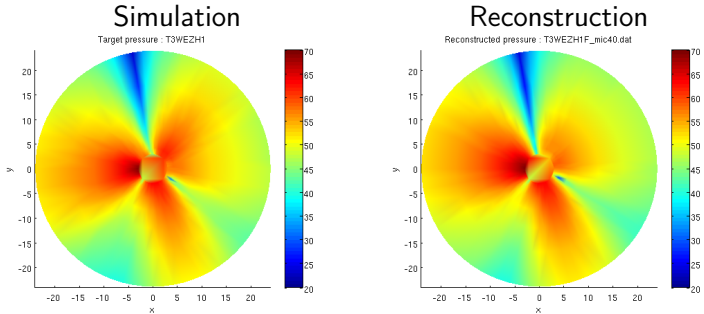


Calcul à partir des mesures vibratoires [  $3m \times 3m \times 1m$  ]

- Modèle BEM extérieur (Sysnoise ©)
- Calcul des RMs via le code FELIN (LMA)
- Nombre de RMs choisi d'après le cumul de  $[\sigma]$



## Cartographie jusqu'à 24m d'après des "mesures" à 3m



- A 100 Hz : 26 RM's obtenus via 32 pressions
- Erreur RMS résultante : environ  $-13dB$

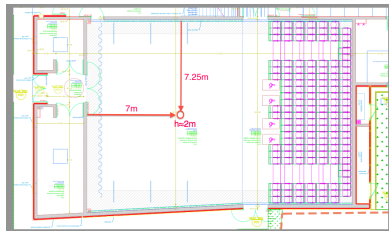
# Mesures anéchoïques et dans un hall

## Mesures de référence :

- Salle anéchoïque (LAUM) :  $4.9 \text{ m} \times 3.9 \text{ m} \times 3.6 \text{ m}$
- Fréquence de coupure :  $\simeq 100 \text{ Hz}$ .

## Mesures in situ :

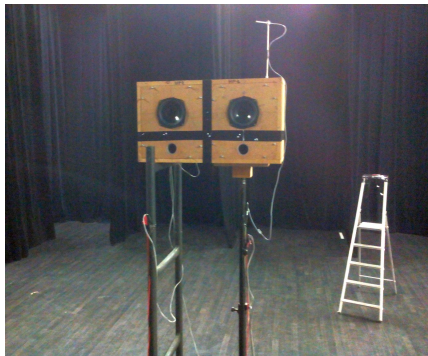
- Salle polyvalente :  
 $9 \text{ m} \times 20.5 \text{ m} \times 14 \text{ m}$
- TR élevé :  
2.3 s à 125 Hz  
0.9 s à 4000 Hz.



## Source mesurée : enceinte subwoofer "Dual Reflex"

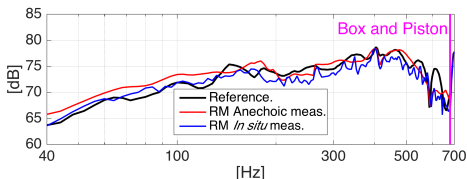
### 4 surfaces rayonnantes

- BDR (Bi-directive) :  
HP's hors phase
- CDR (Cardioïde) :  
Filtrage actif



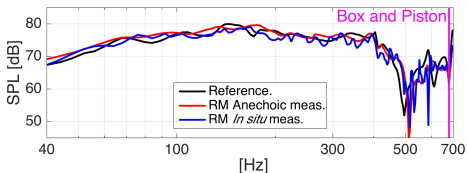
2 enceintes "bass reflex" ( $39.4\text{ cm} \times 44.4\text{ cm} \times 34.4\text{ cm}$ )  
comportant chacune un HP's Visaton WS-17E-4 et un évent,  
assemblées "côte à côte" ( $\Rightarrow 79.2\text{ cm}$ )

## Réponse dans l'axe à 1m



### Bi-directive

- Petit écart / niveau
- Allures similaires

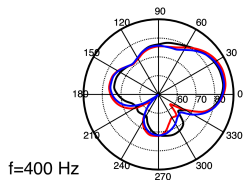
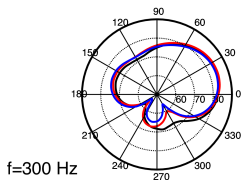
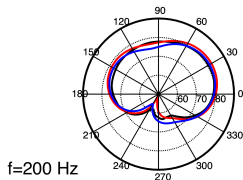
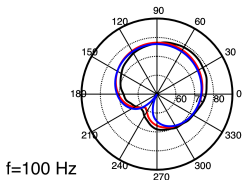


### Cardioïde

- Bruit / zéro
- Niveaux proches

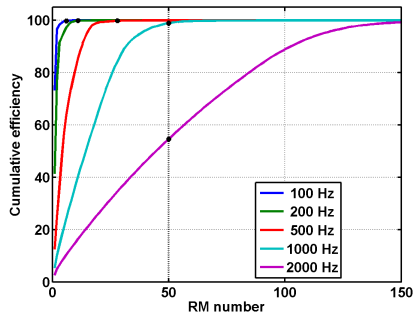
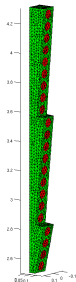
[noir] Mesure de référence à 1m (anéchoïque)  
Estim. RM / 58 mesures proches : **anéchoïques** et *in situ*

## Directivité [Dual-Reflex / cardioïde] à 1m



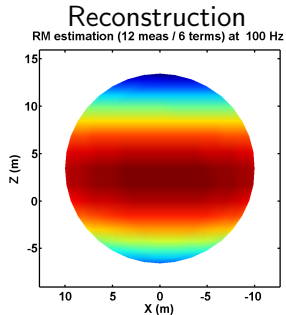
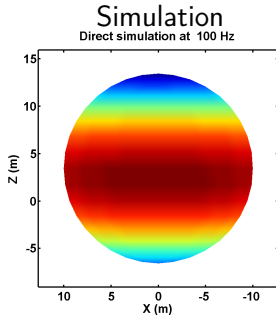
L'approche proposée permet d'estimer la directivité à plus grande distance qu'une mesure anéchoïque

# Simulation d'un "line array"



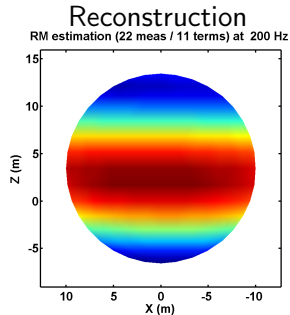
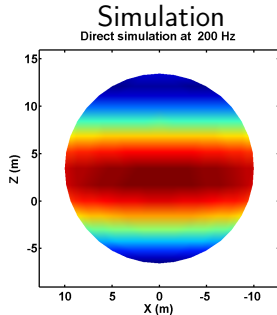
$ka$	100 Hz	200 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
X,Y	0.3	0.6	1.5	3.0	6.0
Z	3.3	6.6	16.6	33.3	66.6

## Cartographie à 10 m d'après des "mesures" à 10 cm



- A 100 Hz : 6 RM's obtenus via 12 pressions
- Erreur RMS résultante : environ  $-28dB$

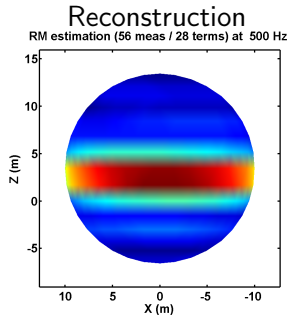
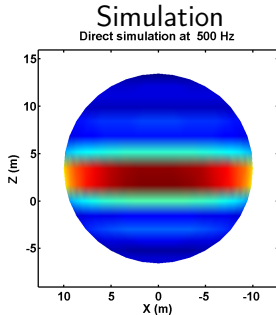
## Cartographie à 10 m d'après des "mesures" à 10 cm



- A 200 Hz : 11 RM's obtenus via 22 pressions
- Erreur RMS résultante : environ  $-30dB$

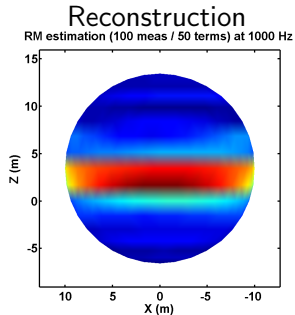
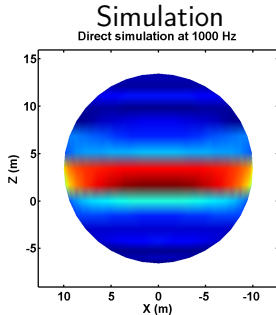


## Cartographie à 10 m d'après des "mesures" à 10 cm



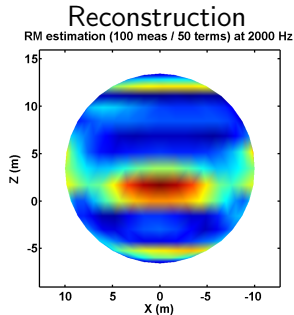
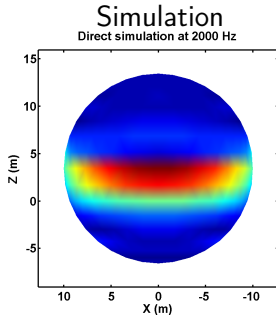
- A 500 Hz : 28 RM's obtenus via 56 pressions
- Erreur RMS résultante : environ  $-22dB$

## Cartographie à 10 m d'après des "mesures" à 10 cm



- A 1000 Hz : 50 RM's obtenus via 100 pressions
- Erreur RMS résultante : environ  $-27dB$

## Cartographie à 10 m d'après des "mesures" à 10 cm



- A 2000 Hz : 50 RM's obtenus via 100 pressions
- Erreur RMS résultante : environ  $+0.5dB$ !!!

## Discussion : Combinaison de résultats connus

### Atouts

- Décomposition de  $\Re([Z])$  : série "optimale"
- Géométrie approximative, maillage peu dense
- Coût de calcul accessible (40' pour line array / 5 freq)
- Mesures proches : peu d'influence du local

Cartographie BF étendue et 3D avec peu de mesures

### Limitations

- Paramétrage encore délicat (positions, Nb RM)
- Prise en compte d'obstacles très proches
- Validation difficile (mesures  $\sim$  impossibles!)



*Ph. Herzog, R. Guillermin*

*M. Sanlatii*

*M. Melon L. Vindrola, C. Vasseur*

## Questions ?

*N. Poulain, J.-C. Le Roux*

*P. Lorin*

*E. Van Lancker, V. Chritin*

