

# Localisation de sources acoustiques en milieu réverbérant par déréverbération semi-aveugle

Thibault Nowakowski, Julien de Rosny, Laurent Daudet

Institut Langevin, 1 rue Jussieu, 75005 Paris  
prénom.nom@espci.fr

## Résumé étendu :

La localisation de sources à bande étroite dans les milieux réverbérants est un problème difficile à cause multiples réflexions du signal direct sur les murs. Récemment, nous avons développé une méthode pour localiser des sources monochromatiques au sein d'une antenne constituée de quelques dizaines de microphones [1,2]. Cette approche est fondée sur la décomposition du champ en deux composantes : le champ direct  $\mathbf{p}_s$  issu de la source et celui réverbéré  $\mathbf{p}_0$ . La composante  $\mathbf{p}_s$  peut être approchée par une combinaison linéaire d'atomes d'un dictionnaire de sources  $\mathbf{S}$  constitué des fonctions de Green libres (c-à-d avec des conditions de Sommerfeld). La réverbération est modélisée comme une combinaison linéaire d'atomes d'un dictionnaire  $\mathbf{W}$  d'ondes planes permettant de décomposer les modes propres [3]. Le champ  $\mathbf{p}$  mesuré s'écrit alors :

$$\mathbf{p} = \mathbf{S}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{W}\boldsymbol{\alpha} \quad (1)$$

L'étape de déréverbération est effectuée par la projection des mesures sur l'espace  $\Pi$  orthogonal à l'espace engendré par la famille d'ondes planes  $\mathbf{W}$

$$\Pi = \mathbf{W}\mathbf{W}^\dagger \quad (2)$$

$$\mathbf{p}_s \approx (\mathbf{1} - \Pi)\mathbf{p} \quad (3)$$

où  $\cdot^\dagger$  est la pseudo-inverse de Moore-Penrose. La localisation s'effectue finalement sur le résidu de la projection, à l'aide d'algorithmes type *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP) [4] tirant profit de la parcimonie des signaux (peu de sources actives dans le milieu) [5].

Un des désavantages de cette méthode est de nécessiter un nombre élevé de mesures pour correctement estimer la composante diffuse. Les sources se trouvant à l'extérieur de l'enveloppe convexe  $\Omega$  de l'antenne sont considérées par le dictionnaire comme une simple superposition d'ondes planes et sont donc supprimées des mesures en même temps que le champ réverbéré. Cette méthode est donc également efficace pour localiser des sources en présence de sources parasites extérieures au réseau.

La base d'onde plane  $\mathbf{W}$  n'est valable en théorie que dans des milieux homogènes. Dans [2], nous avons proposé de remplacer cette base d'ondes planes par une base de réponses impulsionnelles du milieu apprises expérimentalement et émises en des positions quelconques de la salle, qui se trouvent à l'extérieur du volume du réseau. Ainsi, le projecteur  $\Pi$  engendré par cette base expérimentale en intercorrélant les réponses impulsionnelles acquises permet de prendre implicitement en compte les propriétés physiques de l'environnement. En réinterprétant la construction du projecteur selon la théorie de l'extraction des fonctions de Green par corrélations de bruit [6, 7], on montre que l'espace

généralisé par la base  $\mathbf{W}$  expérimentale tend vers la fonction de Green du milieu entre les différents capteurs. Grâce à cet apprentissage expérimental, l'étape de déréverbération est améliorée et le nombre de mesures peut être diminué.

De plus, dans le cas de milieux faiblement hétérogènes, cette étape de calibration semi-aveugle permet également de supprimer une partie de la contribution des hétérogénéités et de localiser les sources, contrairement aux approches classiques de localisation telles que la formation de voie [8].

La méthode est étudiée numériquement puis validée expérimentalement dans une grande salle de dimensions  $3,8 \times 8,15 \times 3,35 \text{ m}^3$ . Le temps de réverbération dans cette salle vaut  $T_{60} = 0,7 \text{ s}$ . Une antenne constituée de 120 microphones est répartie sur une structure cubique  $\Omega$  de 2 m de côté. Le dispositif expérimental est représenté sur la figure 1.

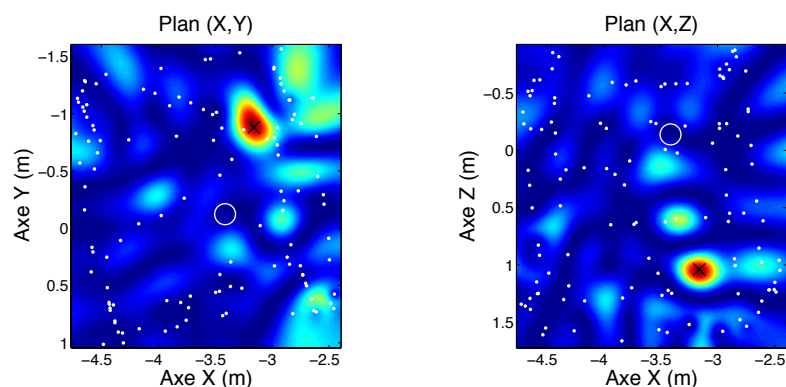


Figure 1 : Photographie du dispositif expérimental.

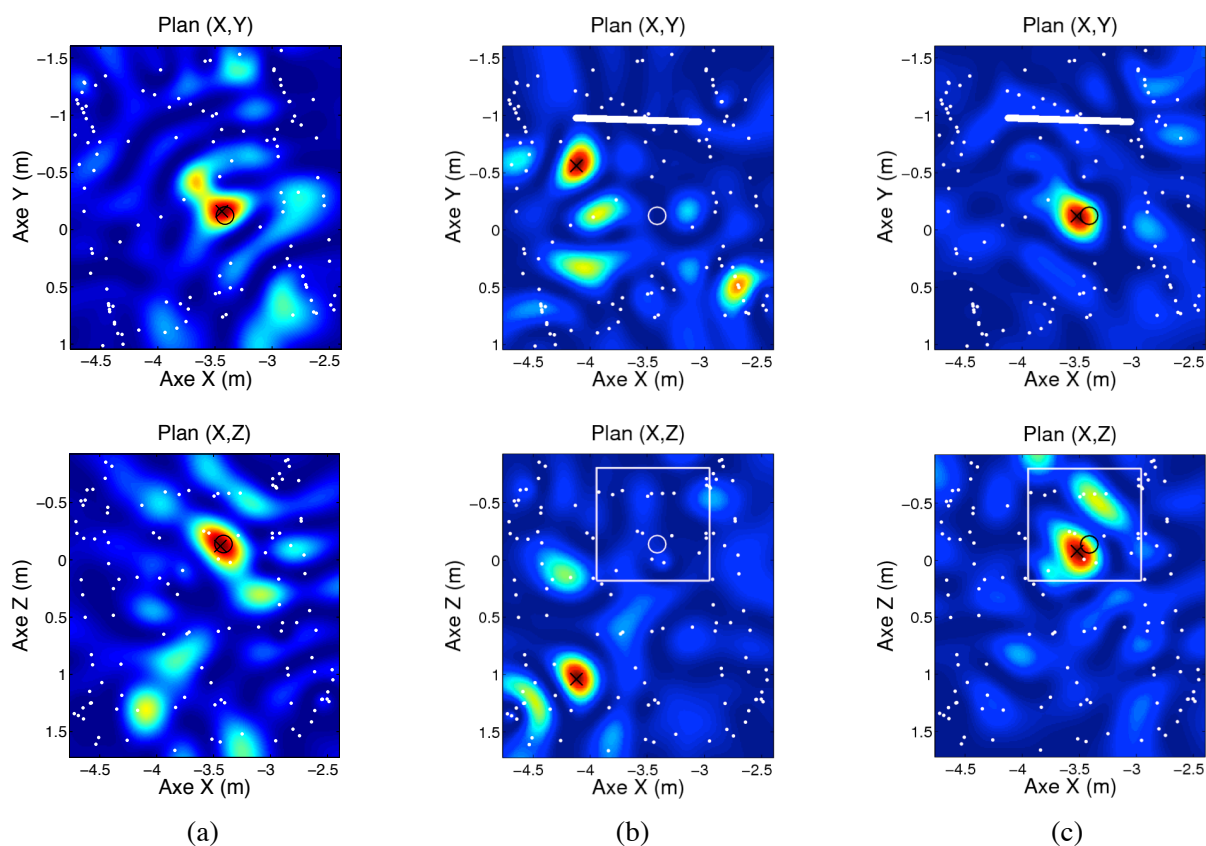
Trois expériences sont réalisées. Dans un premier temps, une source est placée à l'intérieur de  $\Omega$  et sa position est mesurée afin de servir de référence pour la méthode testée. Le milieu peut être considéré comme homogène. La source émet un signal à 500 Hz, échantillonné par le système d'acquisition à 31250 Hz. Le signal direct de la source est perturbé par la réverbération et également par du bruit provenant de sources extérieures au volume décrit par l'antenne. Appliquer une méthode de localisation classique telle que la formation de voie ne permet pas de localiser la source, car l'énergie du champ extérieur (réverbération et bruit) est trop importante et masque le signal direct. (cf. figure 2). L'application de notre méthode de décomposition du champ à l'aide d'un dictionnaire  $\mathbf{W}$  constitué d'ondes planes permet cette fois de supprimer les composantes masquant les sources et de localiser celle-ci (figure 3-a).

Les deux expériences suivantes sont réalisées en milieu hétérogène. Pour cela, une épaisse planche en bois (medium) d'environ 1,5 m de côté  $y$  est introduite. Celle-ci est positionnée près de la source et masque les signaux directs reçus par certains microphones. La déréverbération des mesures à l'aide d'un projecteur calculé à partir d'un dictionnaire  $\mathbf{W}$  en ondes planes ne permet plus de localiser la source, car l'espace généré ne prend pas en compte les hétérogénéités du milieu (figure 3-b). Le dictionnaire  $\mathbf{W}$  expérimental est ensuite calibré. Pour cela, plusieurs impulsions sont émises en différentes positions (non connues) de la salle de mesure. Une quarantaine de réponses impulsionnelles sont obtenues. Cet apprentissage expérimental permet cette fois de supprimer

suffisamment de contributions provenant de la réflexion sur la planche dans la partie réverbérée du champ pour localiser à nouveau la source (figure 3-c).



**Figure 2 :** Résultats expérimentaux pour  $f = 500$  Hz. Méthode de *formation de voies* sans déréverbération préalable du champ mesuré. Plans de coupe à la position estimée. Cercle : position réelle de la source. Croix : position estimée. Points : microphones.



**Figure 3 :** Résultats expérimentaux pour  $f = 500$  Hz. (a) Milieu homogène (sans planche),  $\mathbf{W}$  constitué d'ondes planes. (b) Milieu hétérogène (avec planche),  $\mathbf{W}$  constitué d'ondes planes. (c) Milieu hétérogène (avec planche),  $\mathbf{W}$  constitué de réponses impulsionnelles expérimentales. Les cartes sont obtenues via la méthode OMP et ne sont représentés que les plans de coupe au point de localisation. Cercle : position réelle de la source. Croix : position estimée. Points : microphones. La position de la plaque sur chaque plan est indiquée approximativement par un segment et un rectangle blancs.

En conclusion, la méthode de déréverbération du champ acoustique que nous avons développée dans [1] et étendu au cas de milieux faiblement hétérogènes dans [2] a été présentée et testée expérimentalement. Les ondes planes constituant le dictionnaire  $\mathbf{W}$  ont été remplacées par quelques réponses impulsionnelles apprises expérimentalement. Nous avons montré par la comparaison de plusieurs expériences que cette méthode permet de localiser une source en milieu réverbérant et bruité, lorsque plusieurs hétérogénéités (telles qu'une planche) sont présentes, alors que des méthodes classiques telles que la formation de voies échouent à estimer la position de la source.

## Références

- [1] G. Chardon, T. Nowakowski, J. de Rosny, L. Daudet, *A blind dereverberation method for narrowband source localization*, accepted in Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2015.
- [2] T. Nowakowski, L. Daudet, J. de Rosny, *Méthode parcimonieuse pour la localisation de sources en milieu réverbérants hétérogènes*, proceedings du CFA 2014.
- [3] A. Moiola, R. Hiptmair, I. Perugia, *Plane Wave Approximation of Homogeneous Helmholtz Solutions*, Z. Angew. Math. Phys., No 62, Issue 5, pp. 809-837, 2011.
- [4] J. A. Tropp, A. C. Gilbert, *Signal Recovery from Random Measurements via Orthogonal Matching Pursuit*, IEEE Trans. On Information Theory, Vol. 53, No 12, pp. 4655-4666, 2007.
- [5] D. Malioutov, M. Cetin, A. S. Willsky, *A Sparse Signal Reconstruction Perspective for Source Localization with Sensor Arrays*, IEEE Trans. Sig. Proc., Vol. 53, No 8, 2005.
- [6] O. I. Lobkis, R. L. Weaver, *On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 110, Issue 6, pp. 3011-3017, 2001.
- [7] A. Derode et al., *Recovering the Green's Function from Field-Field Correlations in an Open Scattering Medium*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 113, No 6, pp. 2973-2976, 2003.
- [8] B. D. Van Veen, L. M. Buckley, *Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering*, IEEE ASSP Magazine, Vol.5, Issue 2, pp. 4-24, 1988.