



**HAL**  
open science

## Identification de sources acoustiques par réfracto-vibrométrie et problème inverse.

Pierre Lecomte, Quentin Leclere, Sébastien Ollivier, Thomas Lechat

► **To cite this version:**

Pierre Lecomte, Quentin Leclere, Sébastien Ollivier, Thomas Lechat. Identification de sources acoustiques par réfracto-vibrométrie et problème inverse.. Congrès Français d'Acoustique, Apr 2018, Le Havre, France. 123, pp.3786 - 3793, 2018. hal-03014071

**HAL Id: hal-03014071**

**<https://hal.science/hal-03014071>**

Submitted on 19 Nov 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Identification de sources acoustiques par réfracto-vibrométrie et problème inverse.

## Objectifs

- Caractérisation de sources acoustiques à l'aide de méthodes optiques moins intrusives
- Exploitation de l'effet opto-acoustique.
- Caractérisation optique du champ acoustique rayonné par réfracto-vibrométrie.
- Modélisation du rayonnement de sources acoustiques complexes par des sources équivalentes simples.
- Résolution d'un problème inverse avec une fonction de Green opto-acoustique

## Effet Opto-Acoustique

- Au passage d'une onde acoustique, l'indice de réfraction optique de l'air varie localement avec la pression [1, 2]:

$$n \simeq n_0 + \frac{n_0 - 1}{\gamma p_0} p$$

- Un laser traverse le champ acoustique, sa phase est proportionnelle à l'intégrale de la pression [3]:

$$\phi = k_0 \int_{-\infty}^{+\infty} n dl$$

## Réfracto-Vibrométrie

- Un laser traverse un champ acoustique et se réfléchit sur une surface :

$$\frac{1}{k_0 n_0} \frac{d\phi}{dt} = \frac{dL_0}{dt} + \frac{(n_0 - 1)}{\gamma n_0 p_0} \frac{d}{dt} \int_L p(l, t) dl$$

- En l'absence de vibrations de la surface, l'effet opto-acoustique est prédominant [1] :

$$\frac{1}{k_0 n_0} \frac{d\phi}{dt} = \frac{n_0 - 1}{\gamma p_0 n_0} \frac{d}{dt} \int_L p(l, t) dl,$$

## Cas d'un monopole

- Pression en  $\mathbf{x}$  émise par un monopole situé en  $\mathbf{x}_s$  :

$$p(\mathbf{x}, t) = \frac{q(t) * \delta\left(t - \frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_s\|}{c}\right)}{4\pi \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_s\|},$$

- Mesure vibromètre laser, domaine temporel :

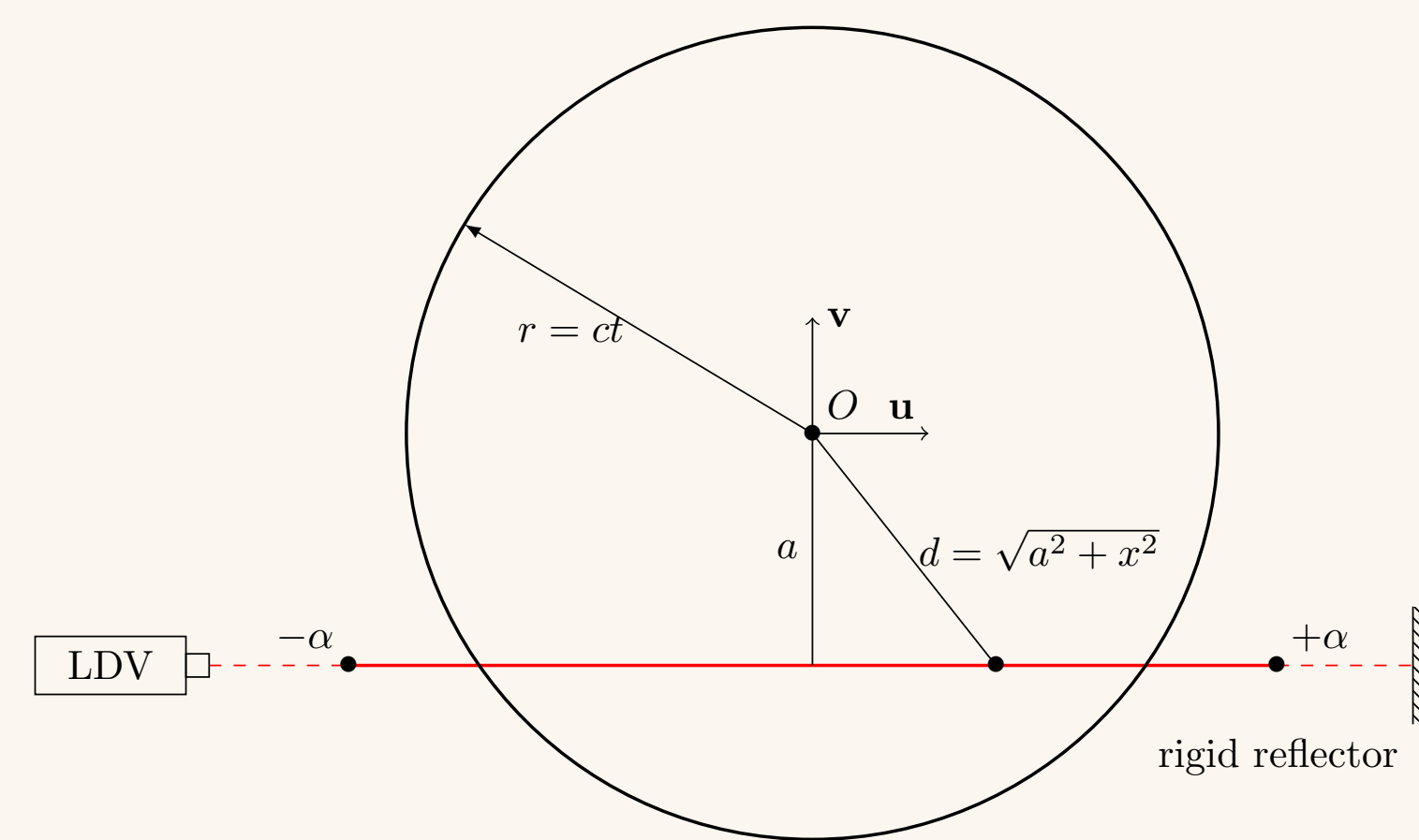
$$\frac{1}{k_0 n_0} \frac{d\phi}{dt} = \frac{q(t) * (n_0 - 1)}{4\pi \gamma p_0 n_0} \frac{d}{dt} \int_L \frac{\delta\left(t - \frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_s\|}{c}\right)}{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_s\|} dl$$

- Après calculs, vitesse apparente, domaine fréquentiel:

$$v(\omega, a) \simeq \frac{i\omega(n_0 - 1)q(\omega)}{4\pi \gamma p_0 n_0} K_0(i\omega/c a).$$

- $K_0$  : Fonction de Bessel modifiée du second ordre et degré 0 [4]

- Situation dans le plan contenant le laser et la source :



## Problème Inverse : Sources Équivalentes

- La source à caractériser est scannée au vibromètre laser en  $M$  points ( $M$  distance  $a$ ) :  $\mathbf{v}^{M \times 1}$

- La vitesse apparente obtenue pour  $N$  monopoles  $\hat{\mathbf{v}}^{M \times 1}$ :

$$\hat{\mathbf{v}} = \mathbf{G}\mathbf{q}$$

- Fonction de Green opto-acoustique :

$$G(\mathbf{x}_m, \mathbf{x}_n) = \frac{i\omega(n_0 - 1)}{4\pi \gamma p_0 n_0} K_0\left(i\frac{\omega}{c} a(\mathbf{x}_m, \mathbf{x}_n)\right)$$

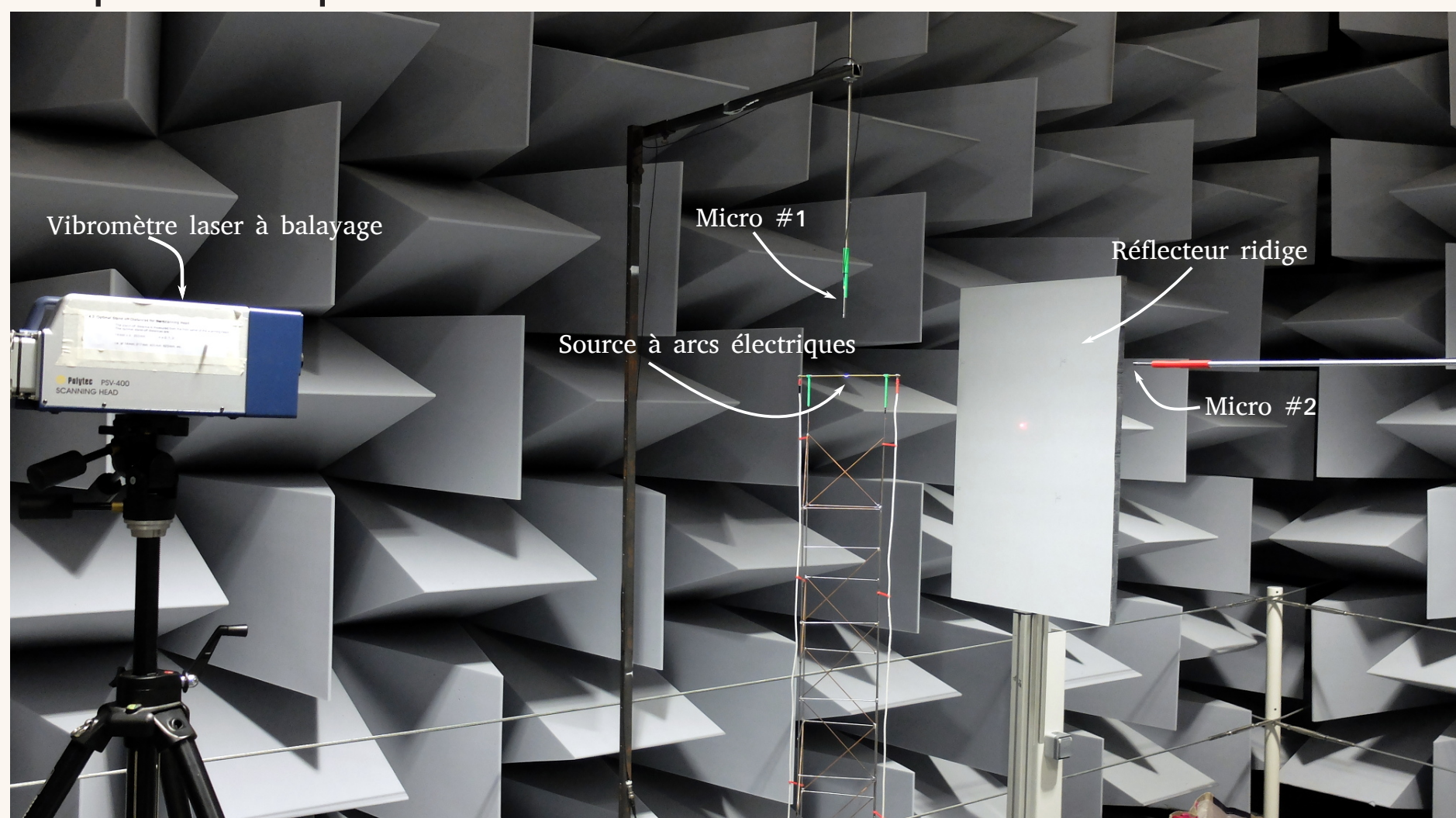
- Trouver  $\mathbf{q}$  qui minimise la fonction coût  $J$  :

$$J = \|\mathbf{G}\mathbf{q} - \hat{\mathbf{v}}\|^2 + \lambda^2 \|\mathbf{q}\|^2$$

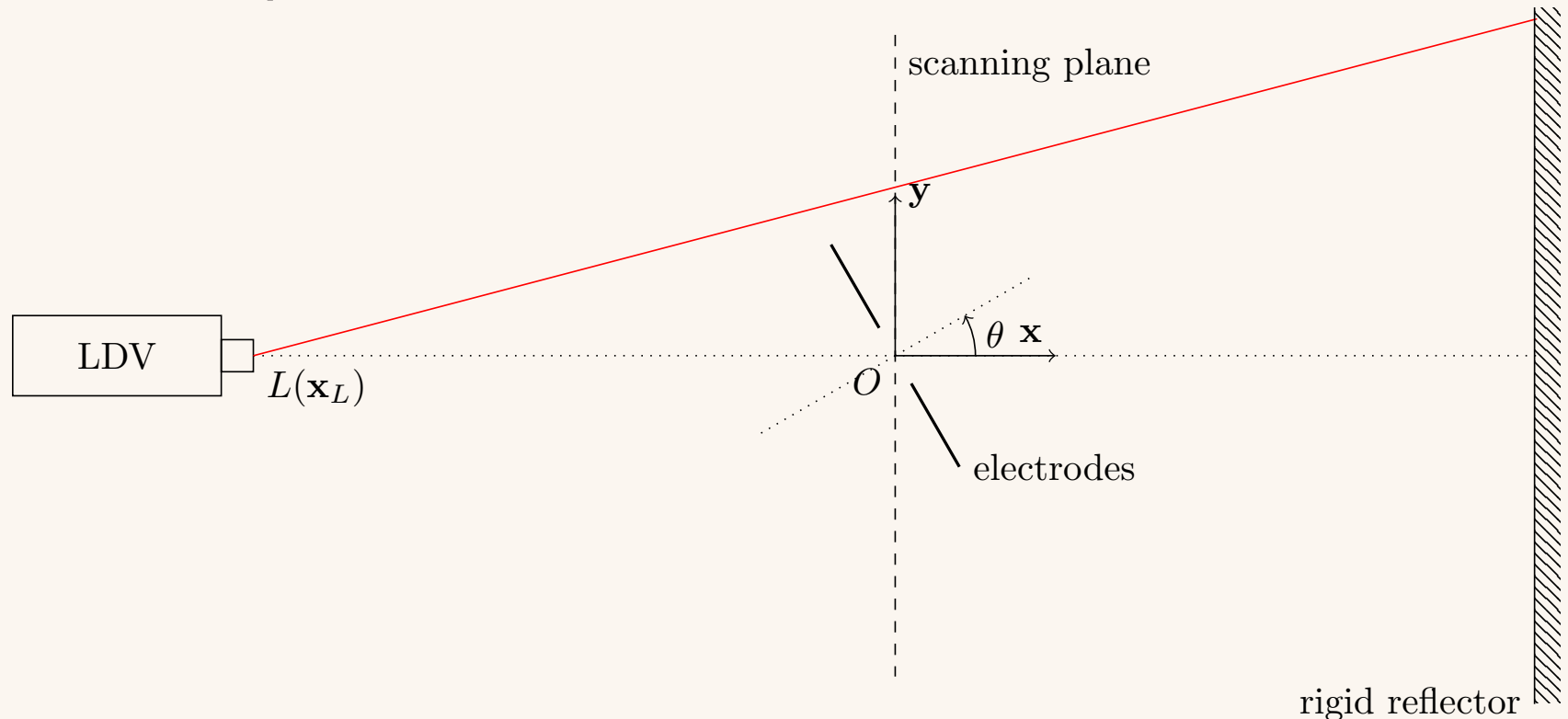
- Le paramètre  $\lambda$  est trouvé dans par approche Bayésienne [5]

## Validation Expérimentale pour une source à arcs électriques

- Dispositif expérimental :



- Mesure pour différentes orientations de la source  $\theta$  :

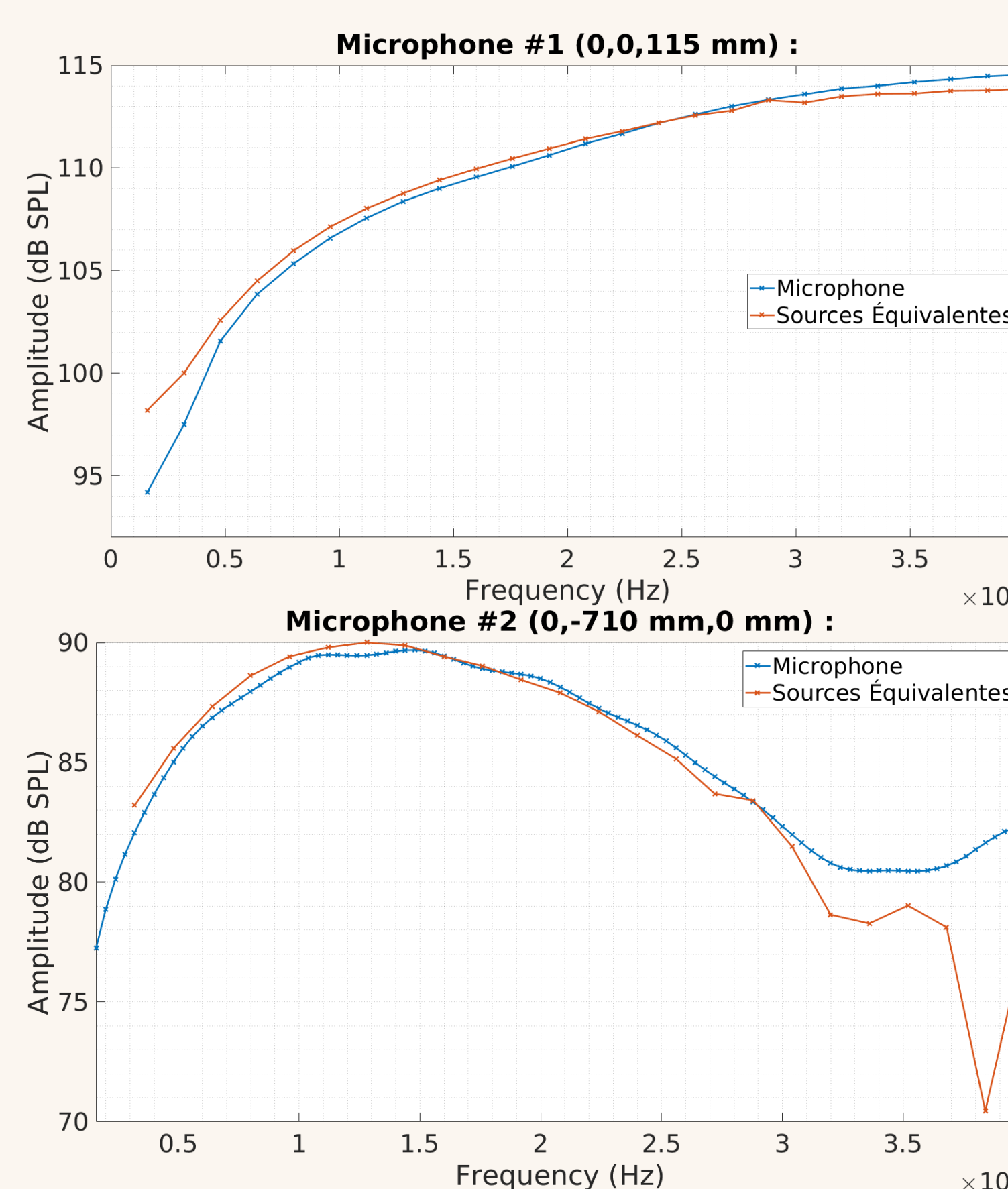


- $M = 1286$  points de mesures  $\times 10$  orientations,  $\theta$  de 0 à 90°

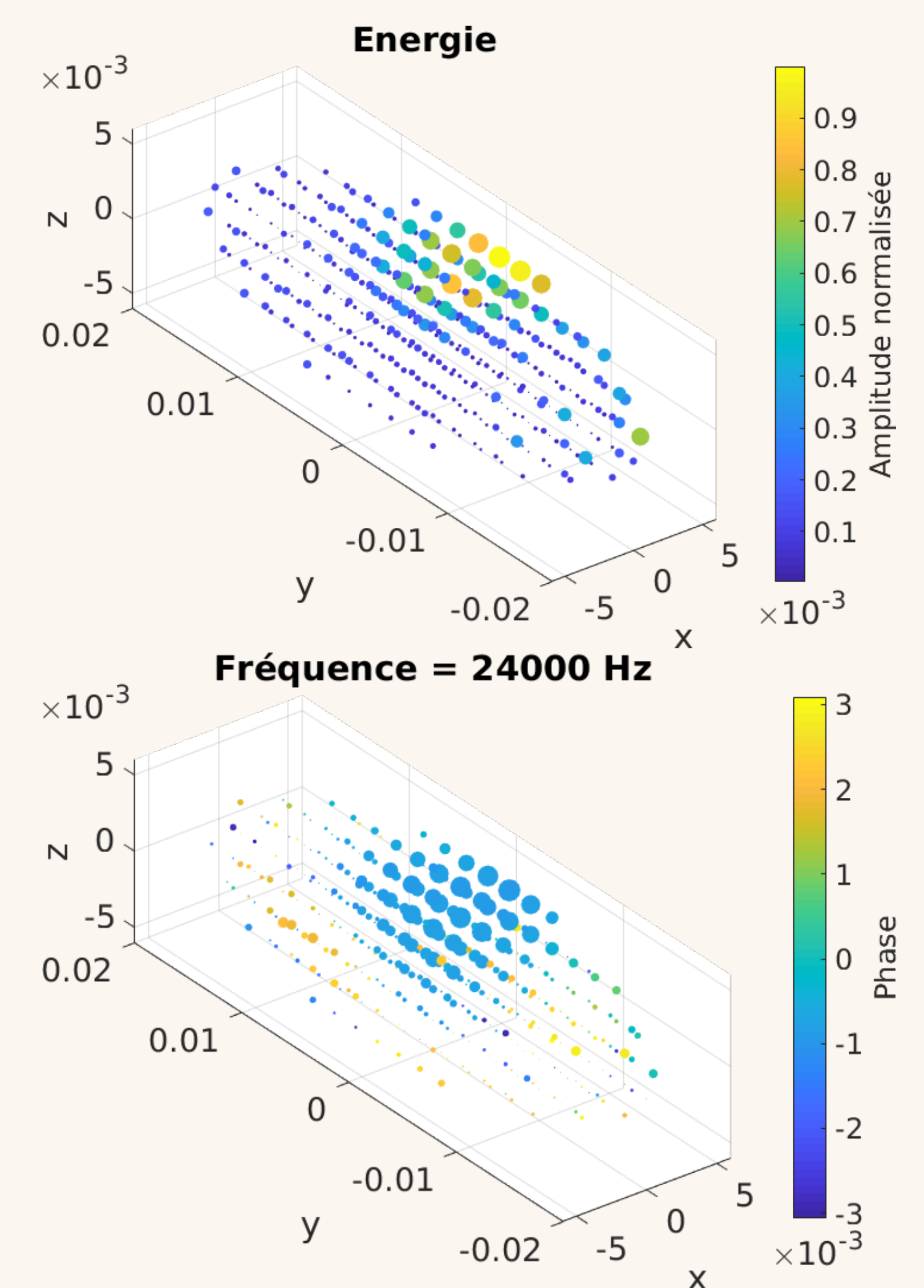
- Sélection des points de mesures par critères de cohérence ( $> 0.9$ ) et distance minimum à la source ( $r > 50$  mm)

- $N = 361$  répartis suivant une ellipsoïde autour de la position des électrodes

- Pression reconstruite :



- Source équivalentes :



## Conclusion et Perspectives

### Conclusions :

- Modèle de sources équivalentes par mesure opto-acoustique
- Utilisation d'une fonction de Green opto-acoustique pour les monopoles
- Erreur de l'ordre du dB aux microphones de contrôle
- Faisceau laser focalisé: limitation haute-fréquences [6]
- Limitations sources à arcs électriques : rayonnement basses fréquences ( $f > 2000$  Hz). Propagation non-linéaire (reconstruction hautes-fréquences)

### Perspectives :

- Sources à arcs électriques non-linéaire: établir les limites du modèle équivalent linéaire
- Reconstruction en champ lointain: établir les limites du modèle
- Optimisation du nombre et de la position des sources équivalentes
- Application à des interféromètres plus sensibles [7, 8] pour d'autres sources acoustiques

## Références

- [1] L. Zipser and H. H. Franke, "Refracto-vibrometry-a novel method for visualizing sound waves in transparent media," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 123, no. 5, p. 3314, 2008.
- [2] A. Torras-Rosell, S. Barrera-Figueroa, and F. Jacobsen, "An acousto-optic beamformer," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 132, no. 1, pp. 144-149, 2012.
- [3] A. Torras-Rosell, S. Barrera-Figueroa, and F. Jacobsen, "Sound field reconstruction using acousto-optic tomography," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, no. 5, pp. 3786-3793, 2012.
- [4] M. Abramowitz and I. A. Stegun, *Handbook of mathematical functions*. Dover Publications, 10 ed., 1972.
- [5] J. Antoni, "A bayesian approach to sound source reconstruction: Optimal basis, regularization, and focusing," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, no. 4, pp. 2873-2890, 2012.
- [6] A. Torras-Rosell, F. Jacobsen, F. T. Agerkvist, and S. Barrera Figueroa, *New measurements techniques: Optical methods for characterizing sound fields*. PhD thesis, Technical University of Denmark, 2014.
- [7] K. Bertling, J. Perchoux, T. Taimre, R. Malkin, D. Robert, A. D. Rakić, and T. Bosch, "Imaging of acoustic fields using optical feedback interferometry," *Optics express*, vol. 22, no. 24, pp. 30346-30356, 2014.
- [8] F. Urgiles, J. Perchoux, and T. Bosch, "Characterization of Acoustic Sources by Optical Feedback Interferometry," in *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, vol. 1, p. 348, 2017.