



**Holographie acoustique
compacte en champ proche :**
Une nouvelle application
à la méthode HELS
(Helmholtz Equation Least
Squares)



Edito



Par Henri CAMPAGNA, pdg de dB Vib Groupe.

Cette méthode précise, qui présente des avantages incontestables, nécessite de mesurer la pression acoustique proche de l'objet testé avec un grand nombre de voies d'acquisition. Pour cela, l'antenne doit être chaque fois modelée à la forme de l'objet et la position des microphones doit être repérée dans l'espace par un pointeur (optique, ultrasonore ou mécanique) ; ces étapes sont longues et fastidieuses. L'objet de cet article est de présenter une nouvelle antenne avec 3 microphones, montée sur un bras articulé permettant en temps réel de positionner les microphones, de connaître leurs coordonnées et d'acquérir les signaux correspondants. Cette évolution permet, pour des sources de bruit stationnaire, de faciliter l'acquisition des mesures et de réduire le coût du système d'holographie, tout en gardant la précision de la méthode.

NOTRE GROUPE



Expert du bruit, des vibrations, de la maintenance conditionnelle et du traitement de l'air



Objectif

Le but de l'étude présentée ci-après est de visualiser les sources de bruit sur la surface d'un moulin à café en fonctionnement en utilisant un digitaliseur MicroScribe pour des mesures avec maillages multiples.

Méthodologie

Cette étude montre l'identification des sources sonores d'un moulin à café en condition stable de fonctionnement. Nous avons utilisé la méthode des équations d'Helmholtz avec la méthode des moindres carrés (HELS) basée sur l'imagerie acoustique en champ proche, qui permet la reconstruction d'un champ acoustique complet sur les surfaces 3D d'un objet, à partir des mesures de pression acoustique prises sur une surface conforme à l'objet testé, à une distance très proche de la surface. Cette méthode permet de prendre des mesures sur une surface limitée en utilisant un réseau de microphones. Pour des conditions de fonctionnement stable, les mesures avec maillages multiples peuvent être utilisées et traitées simultanément pour couvrir de larges zones de la surface de l'objet.

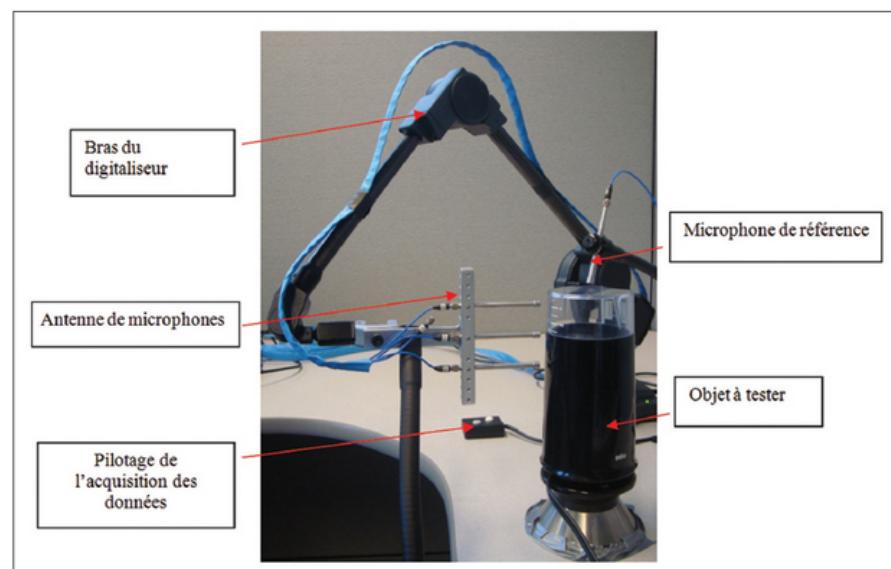


Figure 1 : composants de SenCAH.

Pour réduire le temps de mise en place et de mesure de l'holographie acoustique et des calculs, nous avons utilisé SenCAH pour gérer ce test. SenCAH réduit considérablement la complexité de la mise en place et les temps de mesure en n'utilisant que 4 voies de mesures sur le frontal d'acquisition de données. Il reconstruit de façon précise les champs acoustiques "stationnaires" sur des grandes surfaces en utilisant des maillages de mesure réduits (3 microphones par maillage).

Il reproduit un champ acoustique 3D moyenné dans le temps, incluant la pression, la vitesse et l'intensité, dans le domaine temporel.

Configuration

Une cartographie acoustique complète de la surface du moulin à café a été créée en utilisant les mesures multimaillages et avec l'aide du digitaliseur MicroScribe pendant que le moulin à café fonctionnait à une vitesse constante. Les signaux de pression acoustique ont été acquis sur la surface du moulin grâce à une sonde personnalisée qui se relie à l'embout du digitaliseur. Une sonde composée de 3 microphones forme l'antenne pour ce test.

Cette antenne avec une configuration de 1 colonne x 3 lignes a été utilisée pour digitaliser la surface totale du moulin à café en prenant simultanément les signaux de pression acoustique et les positions spatiales des microphones. Au total 21 maillages comprenant 63 points de mesurage ont été acquis pour couvrir la surface entière du moulin à café.

Si l'antenne se déplace au-dessus de certaines limites admissibles, alors le logiciel délivre une alarme et demande à l'utilisateur s'il veut réacquérir les données et les coordonnées.

Cette antenne peut être maintenue manuellement ou supportée par un pied et un bras flexible (comme montré sur la figure 1). SenCAH calcule les mouvements de l'antenne pendant la mesure et moyenne les coordonnées prises pendant le temps de l'acquisition. Cette fonctionnalité est très utile dans les cas où il est très difficile de garder l'antenne stable tout en la maintenant manuellement. Dans de tels cas, si l'antenne se déplace au-dessus de certaines limites admissibles, alors le logiciel délivre une alarme et demande à l'utilisateur s'il veut réacquérir les données et les coordonnées.

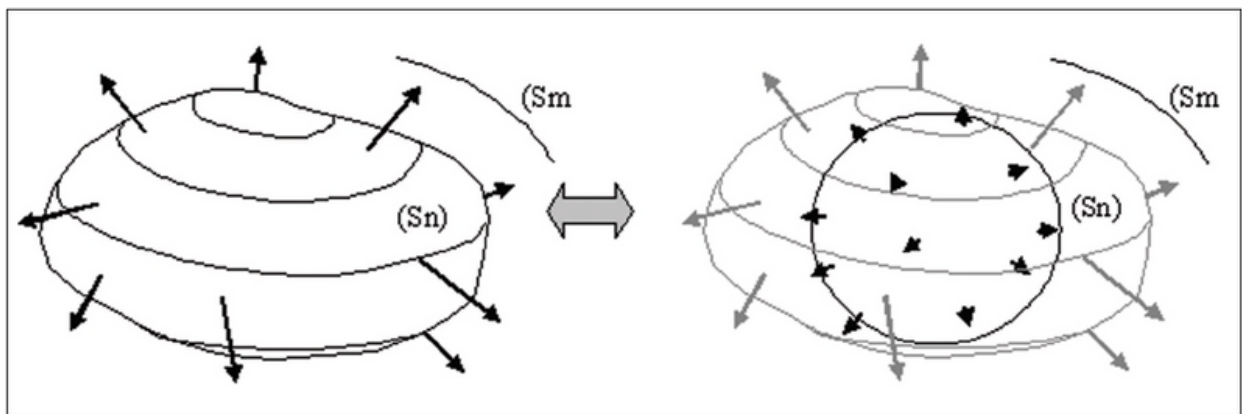


Figure 2 : diagramme de directivité de la source.

Rappel théorique de la méthode HELS

Principe

La méthode HELS est basée sur la représentation du champ acoustique par une combinaison de fonctions sphériques. À partir de la pression mesurée en champ proche de la source, on peut reconstruire la pression, l'intensité et la vitesse vibratoire sur la surface d'un objet 3D quelconque ainsi que les visualiser et projeter le son dans l'espace à partir de cette surface. Ce qui nous donne accès au diagramme de directivité de la source (figure 2).

Formulation

➤ Calcul de la pression sur la surface à partir de la pression mesurée :

$$\hat{\mathbf{p}}(\vec{x}_n; \omega) = \mathbf{G}_p(\vec{x}_m | \vec{x}_n; \omega) \hat{\mathbf{p}}(\vec{x}_m; \omega)$$

↑
Pression sur la surface

↑
Pression mesurée

où la fonction de transfert peut être écrite de la manière suivante :

$$\mathbf{G}_p(\vec{x}_m | \vec{x}_n; \omega) = \Psi(\vec{x}_m; \omega) \Psi(\vec{x}_n; \omega)^\dagger$$

où les éléments ψ . sont donnés par :

$$\Psi_{nl}(r, \theta, \phi; \omega) = h_n^{(1)}(kr) Y_n^l(\theta, \phi)$$

pour un problème extérieur

$$\Psi_{nl}(r, \theta, \phi; \omega) = j_n^{(1)}(kr) Y_n^l(\theta, \phi)$$

pour un problème intérieur

où $h_n^{(1)}(kr)$, $j_n^{(1)}(kr)$, et $\psi_n^{(l)}(\theta, \phi)$ sont les fonctions sphériques de Hankel, les fonctions sphériques de Bessel et les harmoniques respectives.

➤ Calcul de la pression rayonnée à partir de la pression pariétale sur la surface :

$$\hat{\mathbf{p}}(\vec{x}; \omega) = \sum_{j=1}^J C_j(\omega) \Psi_j(\vec{x}; \omega)$$

où les éléments ψ_j . sont donnés par :

$$\Psi_j(\vec{x}; \omega) \equiv \Psi_{nl}(r, \theta, \phi; \omega)$$

Les coefficients C_j sont déterminés en résolvant un système d'équations obtenu en faisant correspondre la solution théorique aux pressions acoustiques mesurées.

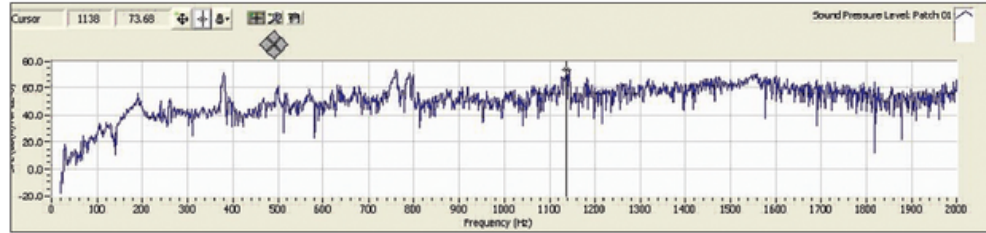


Figure 3 : spectre du niveau de pression acoustique pondéré A.

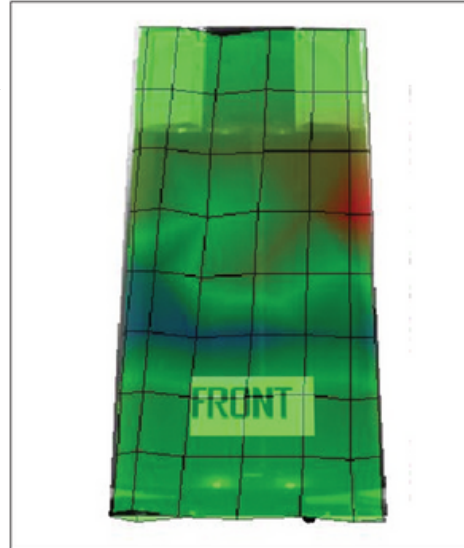


Figure 4 : répartition de l'intensité sur la surface du moulin à café à 190 Hz.



Figure 5 : répartition de l'intensité sur la surface du moulin à café à 379 Hz.

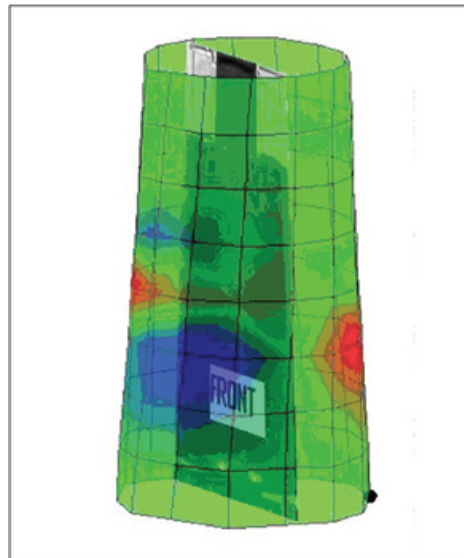


Figure 6 : répartition de l'intensité sur la surface du moulin à café à 761 Hz.

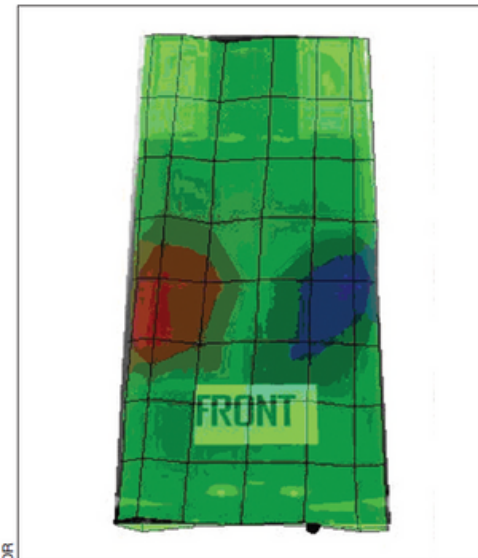


Figure 7 : répartition de l'intensité sur la surface du moulin à café à 1138 Hz.

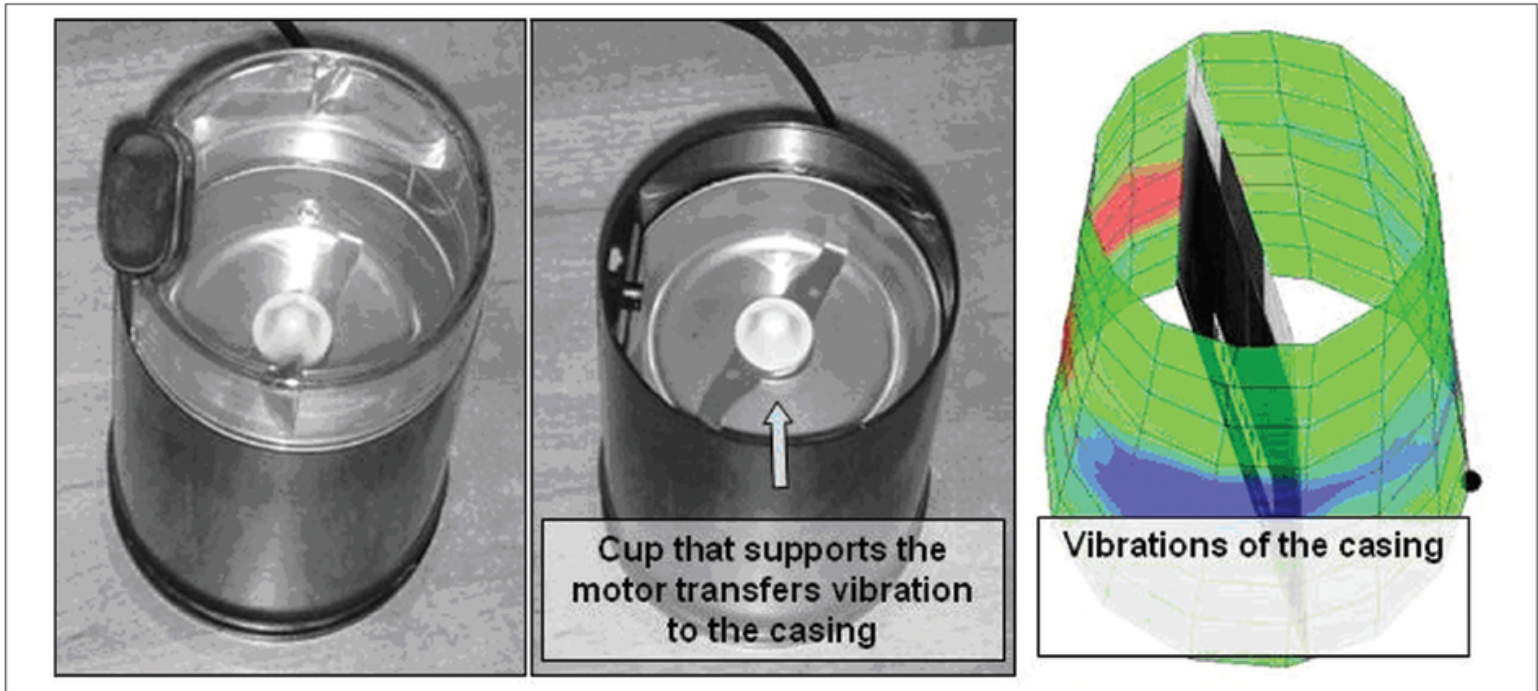


Figure 8 : vibrations du moulin à café.

Résultats

Basés sur la pression acoustique mesurée, tous les indicateurs acoustiques comprenant la pression acoustique, la vitesse normale de surface et l'intensité acoustique ont été reconstruits sur la surface du moulin à café (figure 3).

La méthode HELS basée sur l'imagerie acoustique aide les ingénieurs à "voir" le bruit et à identifier les sources sonores de façon plus précise.

Les pics significatifs sont observés dans le spectre du niveau de pression acoustique pondéré A- (SPL) à 190 Hz, 379 Hz, 500 Hz, 761 Hz, 1 138 Hz, etc. Les figures 4 à 7 montrent la répartition de l'intensité acoustique normale à la surface du moulin à café pour certaines fréquences.

La répartition de l'intensité pour ces fréquences indique clairement un flux d'énergie acoustique entre les 2 côtés opposés du moulin à café. Il y a un mouvement de type "corps solide" sur la partie centrale du moulin à café car ce dernier vibre dans un mouvement de va et-vient normal à la surface.

Conclusions

La cuve en métal qui supporte le moteur transfère les vibrations provoquées par le balourd au boîtier plastique qui émet le bruit.

La méthode HELS basée sur l'imagerie acoustique aide les ingénieurs à "voir" le bruit et à identifier les sources sonores de façon plus précise. Cela leur permet de focaliser leurs efforts sur les sources réelles, ce qui rend les études de réduction du bruit plus efficaces.

SenCAH utilise une antenne de microphones reliée à un bras à digitaliser pour mesurer simultanément l'emplacement des microphones et les signaux de pression acoustique.

L'utilisateur peut ainsi visualiser l'acquisition en temps réel, les niveaux de pression acoustique et les coordonnées du microphone pendant les mesures.

SenCAH est une alternative économique très efficace et précise pour réaliser l'holographie acoustique pour des sources stables.