



**HAL**  
open science

## MOUVEMENTS DE VIBRATIONS ETUDIÉS PAR HOLOGRAPHIE HÉTÉRODYNE

F. Joud, F. Verpillat, P.-A. Taillard, Michael Atlan, N. Verrier, M. Gross

► **To cite this version:**

F. Joud, F. Verpillat, P.-A. Taillard, Michael Atlan, N. Verrier, et al.. MOUVEMENTS DE VIBRATIONS ETUDIÉS PAR HOLOGRAPHIE HÉTÉRODYNE. 3<sup>ème</sup> rencontre francophone d'holographie numérique appliquée à la métrologie des fluides, Nov 2014, Ecully, France. hal-01112589

**HAL Id: hal-01112589**

**<https://hal.science/hal-01112589>**

Submitted on 3 Feb 2015

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

## MOUVEMENTS DE VIBRATIONS ETUDIÉS PAR HOLOGRAPHIE HÉTÉRODYNE

F. Joud<sup>1</sup>, F. Verpillat<sup>1</sup>, P.A. Taillard<sup>2</sup>, M. Atlan<sup>3</sup>, N. Verrier<sup>4</sup> and M. Gross<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Kastler Brossel UMR-8552 CNRS-ENS-UMPC 24 rue Lhomond 75231 Paris cedex 05

<sup>2</sup>University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland Academy of Music

<sup>3</sup>Institut Langevin. UMR 7587 CNRS-INSERM-ESPCI-UPMC-Univ. Paris 7 75005 Paris. France

<sup>4</sup>Laboratoire Hubert Curien - UMR 5516-CNRS-Université Jean Monnet 18 Rue du Professeur Benoit Lauras 42000 Saint-Etienne, France

<sup>5</sup>Laboratoire Charles Coulomb - UMR 5221 CNRS-UM2 Université Montpellier II place Eugène Bataillon 34095 Montpellier France

michel.gross@univ-montp2.fr

### RESUME

En jouant avec l'amplitude, la phase et la fréquence des deux bras référence et signal, l'holographie hétérodyne est bien adaptée à l'analyse des vibrations. Les bandes latérales de vibrations peuvent être visualisées et des mesures stroboscopiques, sensibles à la phase mécanique peuvent être faites.

### I. INTRODUCTION

Il existe une forte demande pour des mesures vibrations, qui soient complètes et réalisables sur le terrain, en particulier dans l'industrie. Différentes techniques holographiques ont été utilisées pour analyser les vibrations, la plus simple et la plus commune étant la "Time Averaged Holography" [1]. L'holographie hétérodyne [2] est une variante de l'holographie de phase shifting [3] dont l'avantage est de pouvoir contrôler la phase du bras de référence et du bras signal avec des modulateurs acousto optiques. Nous verrons que cette technique peut être utilisée pour analyser des vibration de façon très efficace

### II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

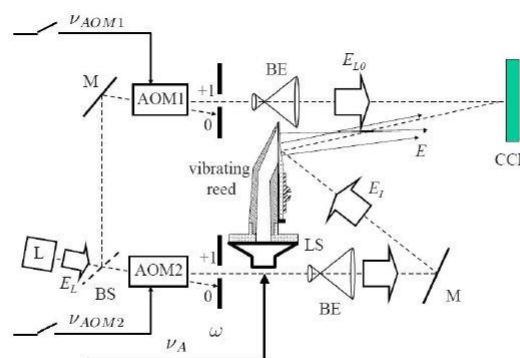


Figure 1 – Dispositif d'holographie hétérodyne typique. L : laser ; AOM1, AOM2 : modulateurs acousto-optiques ; M : miroir ; BS : cube séparateur de faisceau ; BE : beam expander ; CCD : caméra ; LS : haut-parleur excitant l'anche de clarinette à la fréquence  $f_A$ .

La figure 1 montre un dispositif typique d'holographie hétérodyne appliqué à l'analyse des vibrations. Les modulateurs acousto optiques (AOM1 et AOM2) permettent de contrôler électroniquement l'amplitude, la phase et la fréquence des deux bras de l'hologramme: référence (de champ  $E_{LO}$ ) et signal (de champ  $E_I$  et  $E$ ). En raison du mouvement de vibration à la fréquence  $f_A$ , le champ de signal  $E$  peut être développé en une somme de composantes  $E_n$  comprenant une porteuse  $n = 0$  et des bandes latérales  $n \neq 0$  dont la fréquence est  $f_n = f_0 + nf_A$  où  $f_0$  est la fréquence optique du champ d'illumination  $E_I$ .

$$E = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} E_n e^{if_A t} \propto i^n J_n(A)$$

où  $A$  est l'amplitude de modulation et  $i^2 = -1$ . Par un choix approprié des fréquences  $f_{AOM1}$  et  $f_{AOM2} \approx 80MHz$  des modulateurs acousto optiques AOM1 et AOM2, il est alors possible de détecter sélectivement chaque bande latérale  $n$ . Par exemple, pour effectuer la détection en 4 phases de la bande latérale  $n$ , il faut faire :

$$f_{AOM1} - f_{AOM2} = f_A + f_{CCD}/4$$

où  $f_{CCD}$  la fréquence frame de la camera.

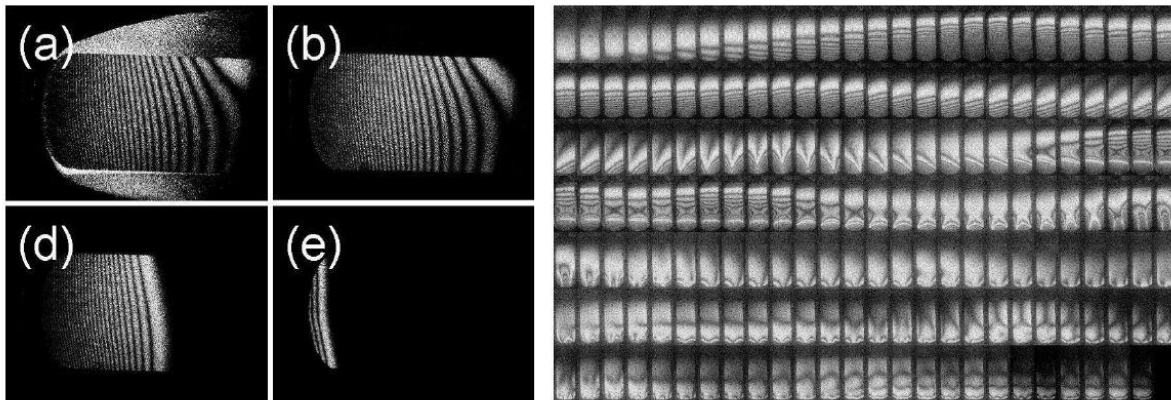


Figure 2 – (Images de gauche) : Reconstruction de l'image holographique d'une anche de clarinette vibrant à la fréquence  $f_A = 2\,143$  Hz : (a) image de la composante porteuse avec  $n = 0$ , et (b, c, d) images des composantes de bande latérale  $n = 1$  (b),  $n = 20$  (c) et  $n = 100$  (d). (Images de droite) : Images holographiques de la bande latérale  $n = 1$  obtenue en faisant varier  $f_A$  de 1.4 à 20 kHz en augmentant la fréquence d'un facteur de 1.25 à chaque pas (181 images ordonnées de gauche à droite puis de haut en bas).

### III. SIGNAUX TYPIQUES

La figure 2 (gauche) montre des images de vibrations typiques qui ont été obtenus à fréquence fixe  $f_A = 2.143$  Hz pour la bande latérale rang  $n$  variant de  $n = 0$  à  $n = 100$  [4]. La moyenne dans le temps des franges obtenues sont décalées vers la pointe de l'anche lorsque l'on augmente le rang  $n$ . Comme les signaux de fréquences ( $f_{AOM1;2}$  et  $f_A$ ) sont pilotés par des synthétiseur numérique, on peut balayer la fréquence de vibration et effectuer une acquisition automatique de la carte du champ de vibration, comme cela est indiqué sur la figure 2 (droite) [5].

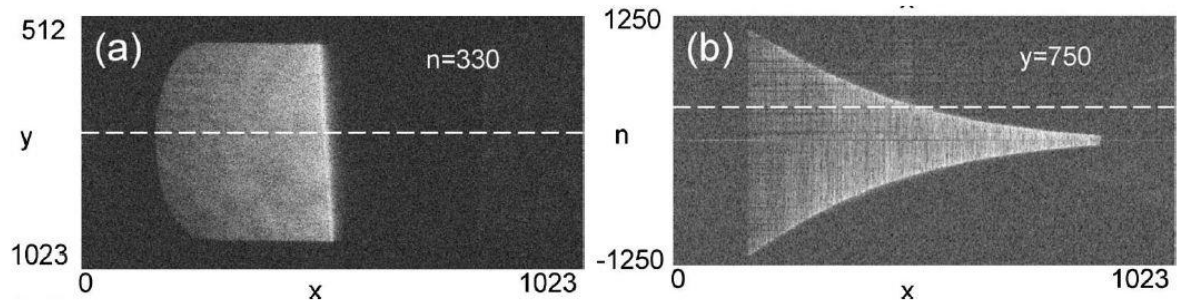


Figure 3 – (a)  $x; y$  image reconstruite sur la bande latérale  $n = 330$  avec une grande amplitude de vibration. (b)  $x; n$  images correspondant aux coupes des données 3D ( $x, y$  et  $n$ ) le long de la ligne pointillée de l'image (a).

En enregistrant un cube de données de coordonnées  $x; y$  et  $n$ , et en effectuant une coupe le long de l'axe  $x$ , il est également possible des vibrations de grande amplitude, qu'il ne serait pas possible d'étudier par "time average holography", car les franges obtenues alors seraient trop serrées. La figure 3 montre un exemple d'image de anche de la clarinette dont l'amplitude de vibration est de  $\pm 60 \mu\text{m}$  à la pointe de l'anche [6].

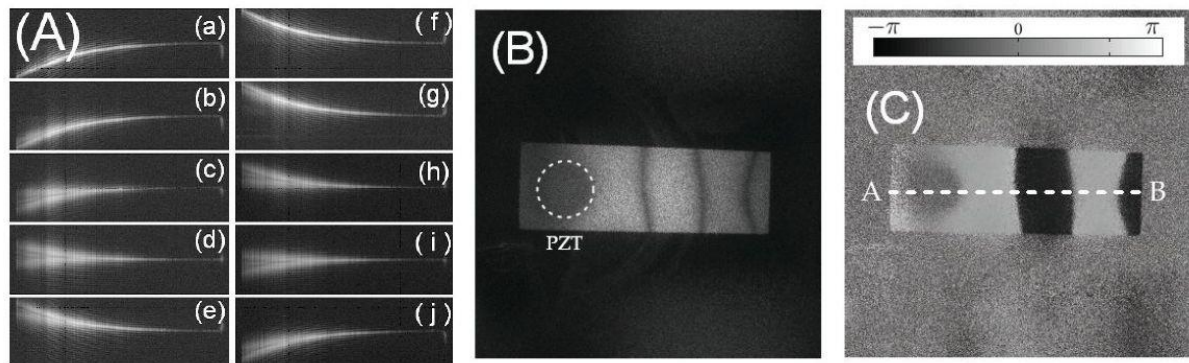


Figure 4 – (A)  $x; n$  coupe des données 3D (analogue à la coupe de la Fig.3(b) ) faite à différents instants de l'illumination/détection stroboscopique. (B,C) images en amplitude (B) (noir : noeuds, blanc : ventres) et phase (C) d'une feuille de papier vibrante avec balayage de la phase de l'illumination/détection stroboscopique et double démodulation.

Il est également possible d'utiliser les modulateurs acousto optiques pour allumer et éteindre les bras référence et signal à la fréquence de vibration. On peut ainsi effectuer une holographie stroboscopique. Dans le cas d'une grande amplitude de vibration, on peut obtenir une carte des vitesses de vibration, comme indiqué sur la Fig.4 (à gauche) [7]. Pour de faibles amplitudes, on peut obtenir une image du mouvement de vibration en faisant dériver lentement la phase de l'éclairage stroboscopique et en effectuant une double démodulation sur les données comme indiqué sur la Fig.4 (à droite) [8].

## REFERENCES

- [1] P. Picart, J. Leval, D. Mounier, and S. Gougeon. Time-averaged digital holography. *Optics letters*, 28(20) : p1900-1902, 2003.
- [2] F. Le Clerc, L. Collot, and M. Gross. Numerical heterodyne holography with two-dimensional photodetector arrays. *Optics letters*, 25(10) : p716- 718, 2000.

- [3] I. Yamaguchi. Phase-shifting digital holography. *Digital Holography and Three-Dimensional Display*, p145-171, 2006.
- [4] F. Joud, F. Laloë, M. Atlan, J. Hare, and M. Gross. Imaging a vibrating object by sideband digital holography. *Optics Express*, 17(4) : p2774-2779, 2009.
- [5] Pierre-André Taillard, Franck Laloe, Michel Gross, Jean-Pierre Dalmont, and Jean Kergomard. Statistical estimation of mechanical parameters of clarinet reeds using experimental and numerical approaches. *Acta Acustica united with Acustica*, 100(3) : p555-573, 2014.
- [6] F. Joud, F. Verpillat, F. Laloe, M. Atlan, J. Hare, and M. Gross. Fringe-free holographic measurements of large-amplitude vibrations. *Optics letters*, 34(23) : p3698-3700, 2009.
- [7] F. Verpillat, F. Joud, M. Atlan, and M. Gross. Imaging velocities of a vibrating object by stroboscopic sideband holography. *Optics Express*, 20(20) : p22860-22871, 2012.
- [8] N. Verrier, M. Gross, and M. Atlan. Phase-resolved heterodyne holographic vibrometry with a strobe local oscillator. *Optics letters*, 38(3), p. 377-379. 2013,