



**HAL**  
open science

## Sondes optomécaniques : vers l'AFM aux fréquences GHz

Suyambulingham Subramanian, Clément Le Fur, Lucien Schwab, Ilan Shlesinger, Pierre Allain, Chérif Bélacel, Marc Gély, Nicolas Mauran, Laurent Mazonq, Felix Rico, et al.

► **To cite this version:**

Suyambulingham Subramanian, Clément Le Fur, Lucien Schwab, Ilan Shlesinger, Pierre Allain, et al..  
Sondes optomécaniques : vers l'AFM aux fréquences GHz. Forum de microscopie à sondes locales,  
Apr 2024, Lyon, France. hal-04562805

**HAL Id: hal-04562805**

**<https://laas.hal.science/hal-04562805>**

Submitted on 29 Apr 2024

**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.

# Sondes optomécaniques : vers l'AFM aux fréquences GHz

Suyambulingham Subramanian<sup>1</sup>, Clément Le Fur<sup>2</sup>, Lucien Schwab<sup>1</sup>, Ilan Shlesinger<sup>2</sup>, Pierre Allain<sup>2</sup>, Chérif Bélaçel<sup>2</sup>, Marc Gély<sup>3</sup>, Nicolas Mauran<sup>1</sup>, Laurent Mazon<sup>1</sup>, Felix Rico<sup>4</sup>, Ignacio Casuso<sup>4</sup>, Sébastien Hentz<sup>3</sup>, Guillaume Jourdan<sup>3</sup>, Ivan Favero<sup>2</sup>, **Bernard Legrand<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>LAAS, CNRS, Université de Toulouse, <sup>2</sup>MPQ, CNRS, Université Paris Diderot, <sup>3</sup>CEA-LETI, Université Grenoble-Alpes, <sup>4</sup>DyNaMo, INSERM, Université Aix-Marseille

La microscopie à force atomique (AFM) en mode oscillant a évolué depuis les années 1990 sur la base de la technologie dominante des cantilevers à actionnement et détection optique externes. Il existe des alternatives comme les sondes à base de résonateurs quartz ou MEMS [1] dotées d'un actionnement et d'une détection électriques intégrés. Les sondes AFM possèdent des fréquences de résonance maximales de l'ordre du MHz pour les cantilevers voire de la dizaine de MHz pour les dispositifs issus des technologies MEMS (Fig. 1). Depuis une quinzaine d'années, la compréhension fine des interactions optomécaniques combinée aux avancées en micro- et nano-fabrication ont permis la réalisation de dispositifs miniatures combinant des cavités optiques et des résonateurs mécaniques de très hauts facteurs de qualité. Dans ces systèmes, un couplage optomécanique intense permet la détection de déplacements sub-femtométriques aux très hautes fréquences. Un tel niveau de performance peut avoir un impact pour la détection mécanique et pour la technologie des sondes AFM en particulier, ouvrant la voie à des sondes plus rapides et à des bandes passantes de mesure étendues [2]. Les applications concernent l'imagerie à très haute vitesse et également la spectroscopie de force hautement résolue en temps, à l'échelle de la dizaine de nanosecondes, pour sonder des mécanismes de biophysique moléculaire : dépliement/repliement des protéines et interactions récepteurs ligands, par exemple.

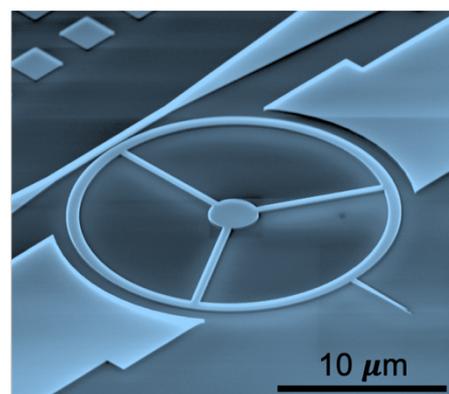
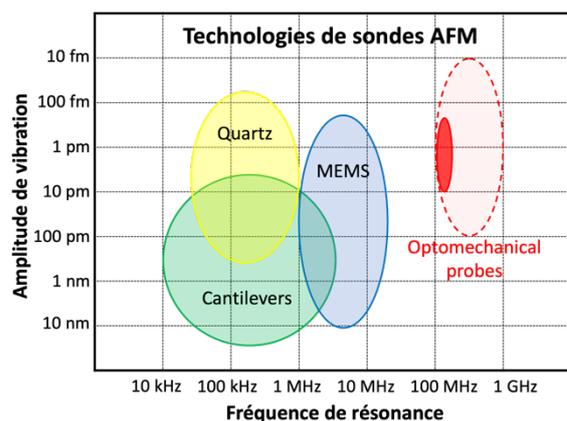


Figure 1 : à gauche, les technologies existantes de sondes AFM pour le mode dynamique. Les ellipses représentent les gammes d'amplitude de vibration et de fréquence de résonance atteintes par chaque technologie. A droite, une image en microscopie électronique à balayage d'une sonde AFM optomécanique fonctionnant à la fréquence de 130 MHz. Figure adaptée de [2].

Dans le cadre du projet ANR HERMES, nous développons des sondes AFM optomécaniques avec l'objectif d'atteindre des fréquences de travail au GHz. La structure de la sonde consiste en un anneau jouant à la fois le rôle de cavité optique et celui de résonateur mécanique. Il porte la pointe destinée à l'interaction avec l'échantillon au niveau d'un ventre de vibration (Fig. 1). Le couplage optomécanique permet de réaliser à la fois l'actionnement et la détection du mouvement de la sonde. Actuellement, les dispositifs de 20 µm de diamètre atteignent la fréquence de 130 MHz [2]. Le mouvement Brownien de la sonde, de l'ordre du fm/√Hz est clairement résolu grâce à la sensibilité de la détection optomécanique, la résonance mécanique présentant un facteur de qualité de 9 000 sous vide et de 900 à l'air. Les premières expériences permettant de conduire au fonctionnement AFM ont été réalisées. Il s'agit de la mise en oscillation forcée de la sonde avec une amplitude de vibration picométrique, de la détection de l'interaction de champ proche dans une configuration de courbe de force approche-retrait, et de la mise en asservissement de la sonde par rapport à un échantillon dans la configuration d'un AFM.

## Références

- [1] Legrand, B.; Salvétat, J.P.; Walter, B.; Faucher, M.; Théron, D.; Aimé, J.P., Multi-MHz micro-electro-mechanical sensors for atomic force microscopy *Ultramicroscopy* **2017**, 175, 46 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultramic.2017.01.005>
- [2] Allain, P.E.; Schwab, L.; Mismar, C.; Gély, M.; Mairiaux, E.; Hermouet, M.; Walter, B.; Leo, G.; Hentz, S.; Faucher, M.; Jourdan, G.; Legrand, B.; Favero, I., Optomechanical resonating probe for very high frequency sensing of atomic forces *Nanoscale* **2020**, 29, 2264 <https://doi.org/10.1039/C9NR09690F>
- [3] Schwab, L.; Allain, P.E.; Mauran, N.; Dollat, X.; Mazon, L.; Lagrange, D.; Gély, M.; Hentz, S.; Jourdan, G.; Favero, I.; Legrand, B., Very high frequency probes for atomic force microscopy with silicon optomechanics *Nature Microsystems and Nanoengineering* **2022**, 8, 32 <https://doi.org/10.1038/s41378-022-00364-4>