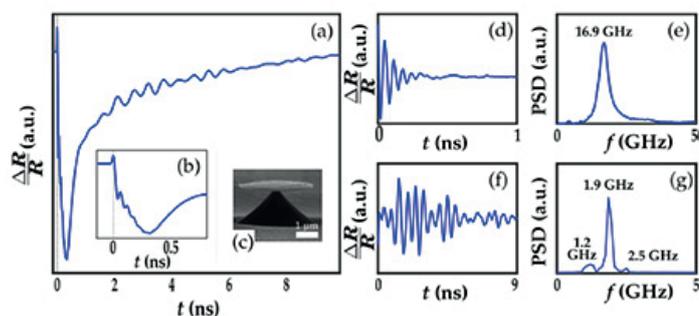


## Concevoir des sources acoustiques ajustées en fréquence et en taille

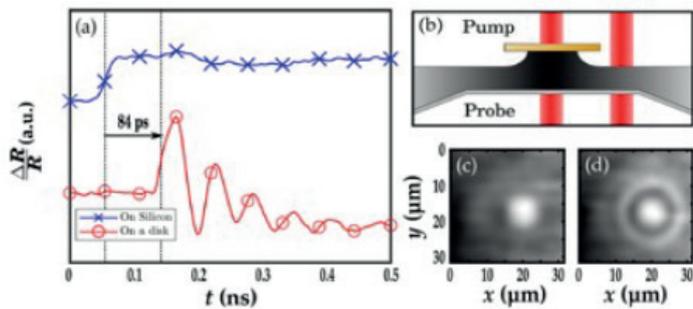
*Les nano-objets possèdent de nombreuses propriétés qui ont débouché ces dernières années sur des applications notamment dans le domaine de l'optique. Du point de vue de l'élasticité, ces systèmes, dont la taille peut aller jusqu'à quelques nanomètres, ont été envisagés dans un premier temps pour tester la limite de validité en taille de l'hypothèse de la mécanique des milieux continus. Puis très rapidement, la question du couplage de ces résonateurs avec l'environnement a émergé. Des stratégies ont été trouvées pour réduire ce couplage, dans l'espoir d'obtenir des résonateurs à très grand facteur de qualité, par exemple en travaillant sur des systèmes 1D auto-suspendus. Une autre voie, à l'inverse, consistait à mettre à profit ce couplage afin de créer de nouvelles sources acoustiques ajustables à grande fréquence (>100GHz). Dans ce contexte, les membres de l'équipe « Acoustique pour les nanosciences » de l'INSP ont développé une approche hybride intégrant ces deux aspects afin de créer des sources acoustiques ajustables aussi bien en fréquence, qu'en taille.*

La génération et la détection de vibrations confinées aux nano-objets sont obtenues dans une géométrie dite « pompe-sonde » permettant de remonter aux modes de résonances de ces entités. Le faisceau pompe permet la génération de vibrations par effet photo-thermique et la sonde en assure la détection grâce à l'effet photo-élastique. La forme, le matériau, la texture, la taille, sont autant de paramètres intrinsèques permettant de piloter la fréquence et la nature de ces modes. Pour fixer des ordres de grandeur, une particule d'or d'une centaine de nanomètres va résonner à des fréquences de l'ordre de plusieurs dizaines de GHz. D'autre part, le couplage de l'objet avec le substrat conduit lui à une fuite d'énergie, matérialisée par un amortissement rapide des modes de vibrations. En imposant une fréquence d'émission au travers de la taille de l'objet excité, on crée implicitement un lien entre la fréquence et la taille de la source acoustique, ce qui conduit habituellement à l'obtention d'une source émettant dans un large spectre angulaire. Dans ce contexte, l'équipe de l'INSP, en utilisant des approches de nano-structuration en salle blanche, a esquissé une nouvelle approche permettant l'obtention de sources acoustiques fonctionnant à très haute fréquence et dont une des dimensions est ajustable sans modifier la fréquence.



**Figure 1**  
*a) et b) Evolution temporelle du changement de réflectivité d'un disque d'or de 3.4μm de diamètre et 100nm d'épaisseur. c) Géométrie de la nanostructure partiellement auto-suspendue. d) et f) Extraction des comportements oscillants des deux contributions. e) Spectre des modes d'épaisseur. g) Spectre des modes radiaux.*

De l'excitation d'un micro-disque d'or (Figure 1c), par une impulsion laser femtoseconde, résulte un paysage vibrationnel composé de deux classes de mode, les uns étant corrélés au diamètre et les autres, à beaucoup plus haute fréquence, à son épaisseur (Figure 1). Les premiers étant fortement dépendants des conditions aux limites et donc de la zone d'adhésion avec le substrat, il s'ensuit une réduction des fréquences de résonances observées lors de la sous gravure. Cette tendance peut être mimée par une réduction de l'élasticité de part la relaxation des conditions aux limites devant libres. Quant aux modes d'épaisseur, peu sensibles à la taille de la zone de contact, ils vont être le vecteur de l'émission monochromatique dans le substrat. A l'aide d'une cartographie des champs de déplacement en temps et en espace, l'émission d'ondes acoustiques longitudinales résultant de l'excitation de ces derniers a pu être démontrée (Figure 2). La taille de la zone d'émission est quant à elle contrôlée indépendamment par le temps de gravure.



**Figure 2**

a) Variation de la réflectivité mesurée sur un disque.

b) Géométrie de la mesure.

c) et d) Cartographie des ondes émises avec un intervalle de temps de 60ps.

Si ce travail démontre sans équivoque la possibilité de créer des sources acoustiques pilotables aussi bien en fréquence, dans la gamme de plusieurs centaines de GHz, qu'en taille, dans une gamme largement submicronique, il reste encore à aborder la possibilité de contrôler à loisir la position de telles sources. En effet, dans l'optique de la réalisation de cartographies acoustiques résolues en profondeur et dans le plan, à l'échelle de la dizaine de nanomètres, ce point constitue un verrou qu'il convient encore de débloquer. Des pistes sont actuellement à l'étude en intégrant des sondes de microscopie en champ proche.

### Référence

"Substrate influence on the vibrational response of gold nanoresonators: Towards tunable acoustic nanosources"

R. Delalande, J. Bonhomme, E. Dandeu, L. Becerra, L. Belliard

*Phys. Rev. B* 105, 035422 (2022)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03551835/>

### Contact

laurent.belliard(at)sorbonne-universite.fr