

# Interaction phonon-plasmon dans une cavité photonique

S. El-jallal<sup>1</sup>, A. Mrabti<sup>1</sup>, G. Leveque<sup>1</sup>, A. Akjouj<sup>1</sup>, Y. Pennec<sup>1</sup>, B.Djafari-Rouhani<sup>1</sup>

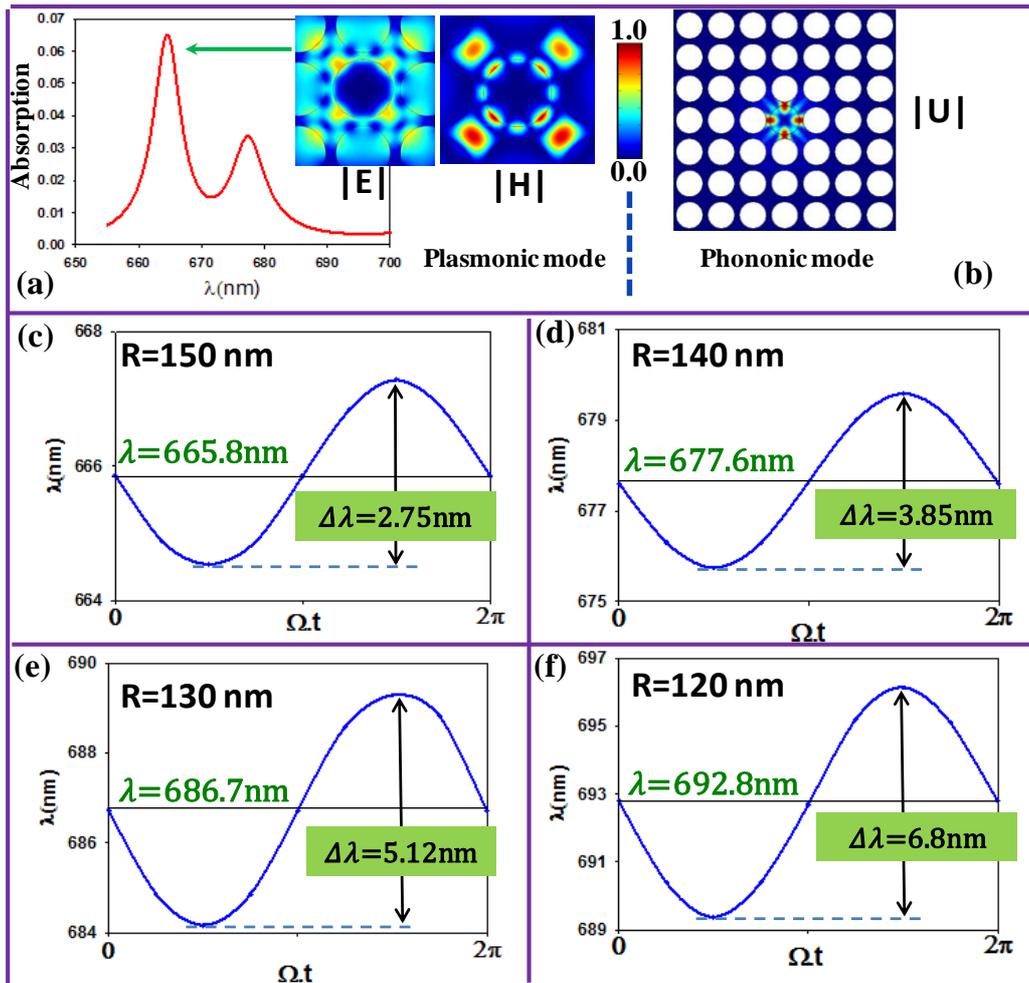
<sup>1</sup> IEMN, UMR CNRS 8520, UFR de physique, Université de Lille1, Villeneuve d'Ascq, France  
[Bahram.djafari-rouhani@univ-lille1.fr](mailto:Bahram.djafari-rouhani@univ-lille1.fr)

Les cristaux phoxoniques sont des structures présentant simultanément des bandes interdites photoniques et phononiques. Ils permettent de confiner des phonons et photons dans une même cavité et par conséquent d'exalter leur interaction pour des applications en optomécanique. Dans ce travail, nous présentons une extension de nos travaux théoriques sur les cavités phoxoniques [1,2] au domaine plasmonique en introduisant une particule métallique dans la cavité. Après avoir étudié les modes couplés plasmon-photon de la cavité, nous nous intéressons plus particulièrement à l'interaction de ces modes avec les phonons de la cavité. Cette interaction sera basée sur le mécanisme de la déformation des interfaces due à la présence de l'onde acoustique. Ainsi, le spectre d'absorption plasmonique sera modulé à la fréquence de la vibration acoustique.

Nous considérons le cas d'une cavité  $L_1$  dans un cristal photonique 2D constitué d'un réseau carré de trous dans une matrice de  $\text{TiO}_2$ . Le paramètre de maille est  $a=320\text{nm}$  et le rayon des trous  $r=0.42a$ . Une particule (nanofil) d'or de rayon  $R$  variable ( $R=10$  à  $150\text{nm}$ ) est introduite dans la cavité et peut être positionnée soit au centre de la cavité, soit décalée par rapport au centre.

A titre d'exemple, la figure 1(a) présente les modes plasmon-photon de la cavité situés dans la bande interdite du cristal photonique pour une particule d'or de rayon  $R=150\text{nm}$  placée au centre de la cavité. Il est intéressant de noter que la cavité photonique a l'effet de réduire fortement les largeurs des pics dans le spectre par rapport au cas où la particule métallique serait placée dans un substrat homogène de  $\text{TiO}_2$ . La figure présente également la distribution des champs électrique et magnétique du mode de plus petite longueur d'onde. De même, la figure 1(b) présente le champ de déplacement d'un mode phononique de la cavité. Il est à noter que pour des raisons de symétrie, seuls les modes phononiques qui sont symétriques par rapport aux axes  $x$  et  $y$  de la cavité peuvent se coupler aux modes électromagnétiques. La figure 1c présente la modulation sinusoïdale du pic d'absorption pendant une période de l'onde acoustique. L'ordre de grandeur de la modulation est similaire à celle obtenue avec les cavités purement photoniques. Les figures 1(d), (e) et (f) montrent que cette modulation peut croître lorsqu'on diminue légèrement la taille de la particule d'or. Cet accroissement s'explique qualitativement par un meilleur recouvrement des champs élastiques et électromagnétiques qui évoluent simultanément avec la taille de la particule.

D'autres exemples ont été étudiés où la particule est déplacée à partir du centre de la cavité vers un des coins. Du fait de la réduction de symétrie, les couplages sont privilégiés pour certains couples de phonon et plasmon tandis que d'autres couples ne présentent plus un bon recouvrement. En résumé, ce travail préliminaire dans une géométrie simplifiée montre la possibilité de la modulation des modes plasmon-photon d'une cavité par une vibration acoustique. Cette modulation présente une forte dépendance avec la taille de la particule métallique et sa position dans la cavité.



**Figure 1:** (a) Spectre d'absorption de la particule d'or dans le domaine de fréquence de la bande interdite du cristal photonique pour un rayon  $R=150\text{nm}$  de la particule. Deux résonances plasmonique-phononique sont visibles. Les champs électrique et magnétique sont présentés pour le mode de plus petite longueur d'onde. (b) Champ de déplacement d'un mode phononique de la cavité. (c) Modulation du mode plasmonique durant une période  $T=2\pi/\Omega$  de la vibration acoustique due au mécanisme de déformation des interfaces. (d), (e) and (f) Même chose qu'en (c) pour d'autres valeurs  $R$  du rayon de la particule d'or à savoir (d)  $R=140\text{nm}$ , (e)  $R=130\text{nm}$  et (f)  $R=120\text{nm}$ .

[1] S. El-Jallal, Mourad Oudich, Yan Pennec, Bahram Djafari-Rouhani, V. Laude, J-C Beugnot, A. Martinez, J. M. Escalante et A Makhoute. *Analysis of optomechanical coupling in two-dimensional square lattice phoxonic crystal slab cavities*. Phys. Rev. B 88, 205410 (2013).

[2] S. El-Jallal, M Oudich, Y Pennec, B DjafariRouhani, A Makhoute, Q. Rolland, S. Dupont et J. Gazalet *Optomechanical interactions in two-dimensional Si and GaAs phoXonic cavities*. J. Phys. : Condensed Matter 26, 015005 (2014).