

Damien Brissinger\*, Benoit Cluzel\*, Colette Dumas\*, Aurélien Coillet<sup>o</sup>, Philippe Grellu<sup>o</sup>, Frédérique de Fornel\*,

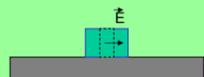
\*Groupe d'Optique de Champ Proche, <sup>o</sup>Équipe Solitons, Lasers et Communications Optiques, Institut Carnot de Bourgogne (ICB), UMR CNRS 5209, Université de Bourgogne, 9, avenue A. Savary, BP 47870, 21078 DIJON

damien.brissinger@u-bourgogne.fr

Les micro- et nano-cavités permettent aujourd'hui un fort confinement du champ électromagnétique dans de très petits volumes<sup>i</sup>. Ce confinement ouvre de nombreuses perspectives pour les expériences d'électrodynamique quantique<sup>ii</sup>, de guidage et de stockage du champ électromagnétique<sup>iii</sup>. L'augmentation de champ qui résulte de la mise en cavité favorise également les effets non linéaires dus à l'interaction entre la lumière et la matière<sup>iv</sup> qui peuvent se caractériser par des comportements bistables<sup>v</sup>. L'observation et la caractérisation de ces phénomènes dans des cavités en silicium ont fait l'objet de diverses publications<sup>vi</sup>. Nous allons montrer qu'il est possible de contrôler l'état de stabilité de la cavité (mono- ou bi-stabilité) avec une sonde champ proche.

## Les cavités,

✓ Guide Si sur SiO<sub>2</sub> monomode à 1,55 μm



✓ Miroirs de Bragg 'photoniques'.



✓ Cavité FP, grand Q (~9000 → 25000)

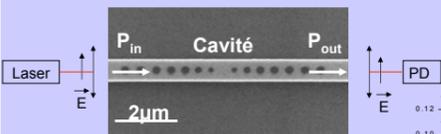
Très petit volume (V ~ 0.6(λ/n)<sup>3</sup> ~ 0.1 μm<sup>3</sup>)



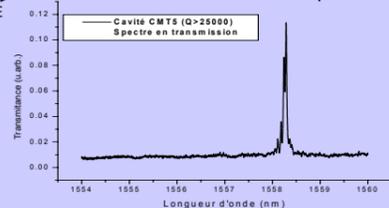
[Vehla et al, APL(89), 2006]

## Transmission en régime linéaire,

✓ Banc de transmission,



✓ Spectre en transmission,



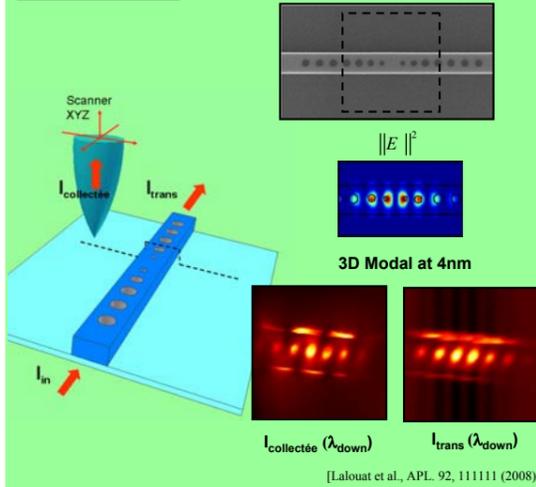
✓ Modèle Fabry-Perot associé

$$P_{out} = \frac{T^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(\phi)} \times P_{in}$$

Avec  $\phi = 2\pi \cdot n \cdot L_c / \lambda$ ,  $L_c$  fixée à 550 nm.

λ<sub>r</sub>, R, T, n<sub>0</sub>

## Le SNOM,



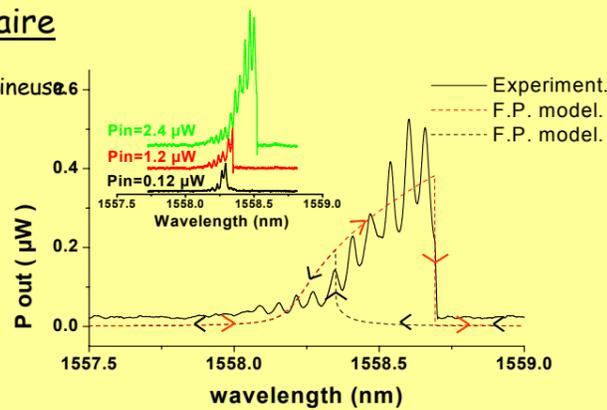
[Lalouat et al., APL, 92, 111111 (2008)]

## Transmission en régime non-linéaire

✓ L'indice du silicium dépend de l'intensité lumineuse  
n(I) = n(0) + Δ<sup>1</sup>n × P + Δ<sup>2</sup>n × P<sup>2</sup> ...

✓ Le banc de transmission,  
▪ On ajoute un ampli Er.  
▪ On calibre sur un guide sans cavité:  
V<sub>lue</sub> = P<sub>out</sub> × η<sub>détecteur</sub> × γ<sub>amplificateur</sub>

✓ Faible puissance dans la cavité, mais grand Q & faible volume



✓ Le seuil de bistabilité est dépassé  
✓ Validation du modèle par simulation

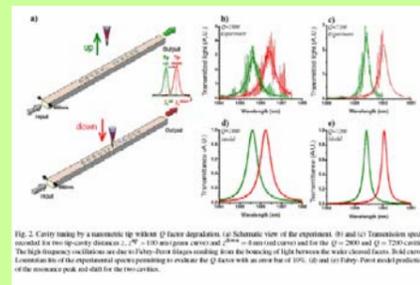
✓ Dans le modèle FP,  $\phi \rightarrow 2\pi \cdot n(I) \cdot L_c / \lambda$

## Interaction sonde-cavité,

✓ La sonde agit comme un modulateur de phase...

- A.F. Koenderink et al, Phys. Rev. Lett. 95, 153904 (2005).
- Cluzel et al., Opt. Express 16, 279(2007), Lalouat et al., PRB 76, 041102 (2007).

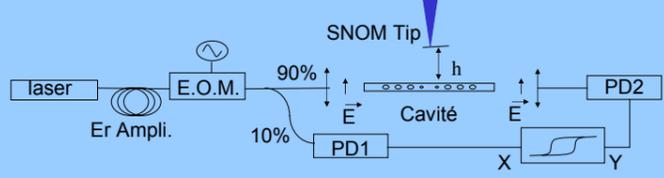
✓ Faible détérioration du Q



✓ Dans le modèle FP,  $\phi \rightarrow 2\pi \cdot n \cdot L_c / \lambda + \phi_0 \exp(-h/a)$

φ<sub>0</sub>, a

## Montage expérimental utilisé pour enregistrer les fonctions de transfert de la cavité

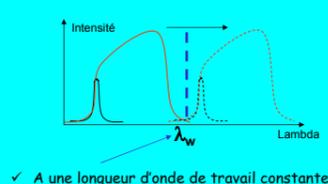


## Fonctions de transfert de la cavité

avec sonde (h < 200 nm)

$$P_{out} = \frac{T^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(\phi)} \times P_{in}$$

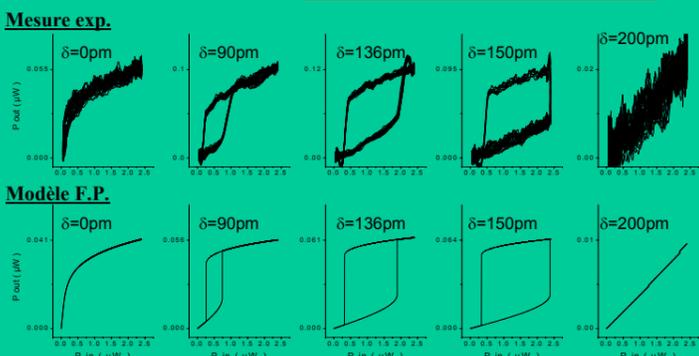
$$\phi = 2\pi \cdot (n + \Delta n \times P_{in}^2) \cdot L_c / \lambda + \phi_0 \exp(-h/a)$$



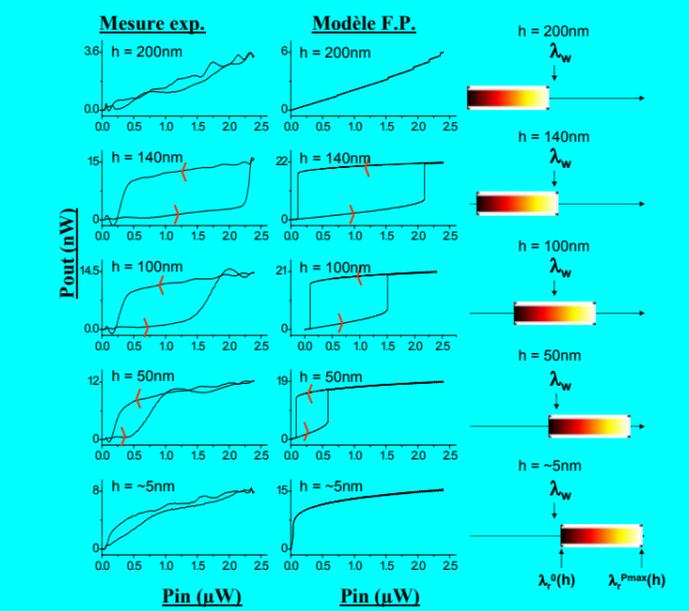
✓ A une longueur d'onde de travail constante,

## Fonctions de transfert de la cavité

sans sonde (h > 200 nm)

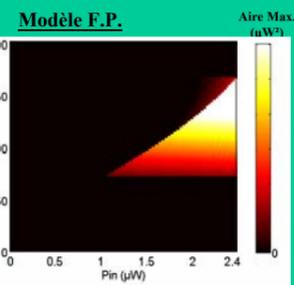
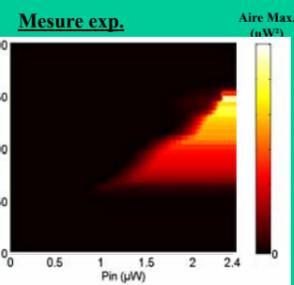


Les simulations montrent que Δ<sup>1</sup>n ≪ Δ<sup>2</sup>n et Δ<sup>1</sup>n ≪ Δ<sup>2</sup>n  
Phénomène d'absorption à 2 photons puis thermalisation



## Synthèse

✓ But: définir pour chaque longueur d'onde l'état de stabilité de la cavité en fonction des paramètres contrôlés:  
✓ Puissance injectée  
✓ Distance sonde-cavité



## Conclusion,

Nous avons réalisé l'étude de la bistabilité d'une nanocavité à grand Q et faible V. En utilisant une sonde champ proche, nous avons montré qu'il est possible de contrôler l'état de stabilité de la cavité (mono- ou bi-stabilité). La modélisation complète du phénomène à partir des données expérimentales permet l'analyse globale du fonctionnement du système. Globalement, cette étude démontre la possibilité de moduler opto-mécaniquement la bistabilité d'une nanocavité en modifiant son environnement proche.

## Références

- [1] K.J. Vahala Nature 424, 839-846 (2003), Y. Akahane et al, Opt. Exp. 13, 1202-1214, (2005).
- [2] K. Hennessy et al, Nature 445, 896(2007), T. Yoshie et al, Nature 432, 200 (2004).
- [3] T. Tanabe et al, Nature Photonics 1, 49 (2007).
- [4] M. Soljačić et al, Phys. Rev. E 66, 055601(2002), G. Vienne et al, Opt. Lett. 33, 1500-1502 (2008).
- [5] H.M. Gibbs, Optical bistability, Academic Press, Orlando (1985), M. Soljačić et al, Phys. Rev. E 66, 055601(2002).
- [6] P.E. Barclay et al, Opt. Exp. 13, 801-820(2005), M. Notomi et al, Opt. Exp. 13, 2678-2687(2005), T. Uesugi et al, Opt. Exp. 14, 377-386(2006).

Travaux publiés sous la référence: Brissinger et al, Phys. Rev. B 80, 033103 (2009).

'Near-field control of optical bistability in a nanocavity.'