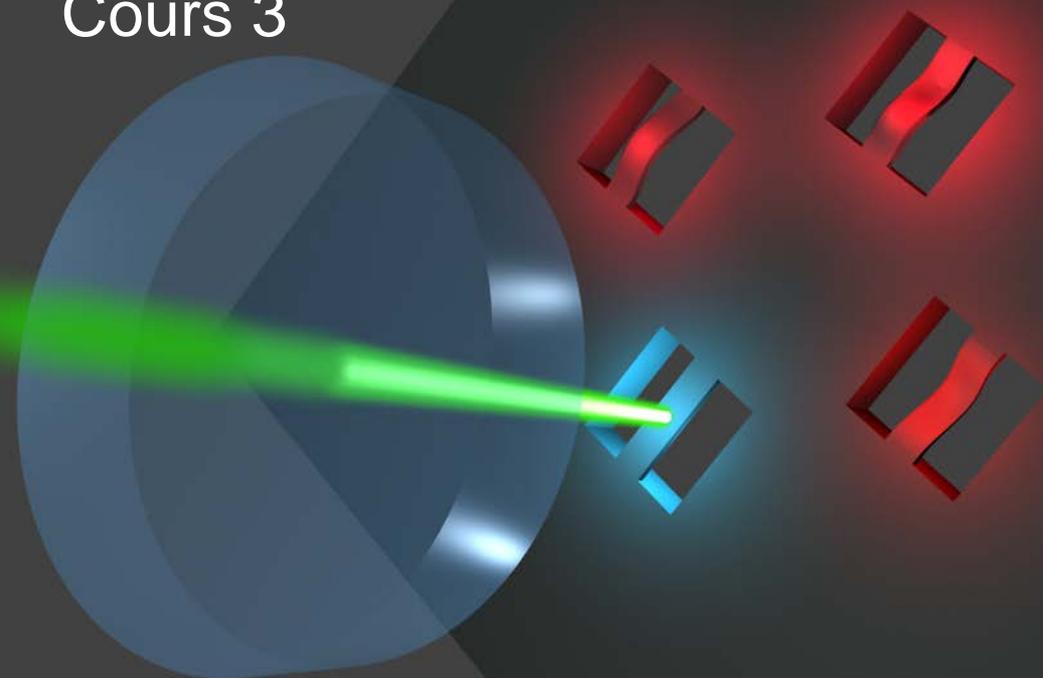


*Remettre un peu de mécanique
dans la mécanique quantique :
refroidissement et contrôle
de l'état quantique
de résonateurs macroscopiques*

Cours 3



*Avec A. Heidmann, S. Deléglise
et T. Briant (et bcp d'autres)*

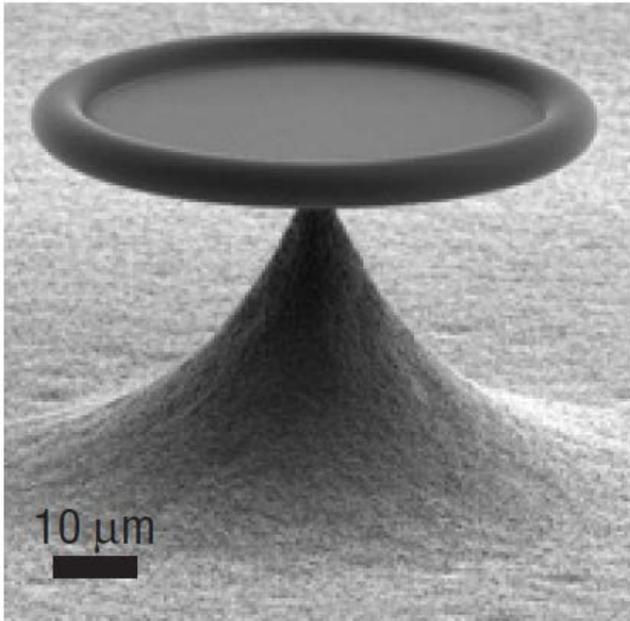
Pierre-François Cohadon



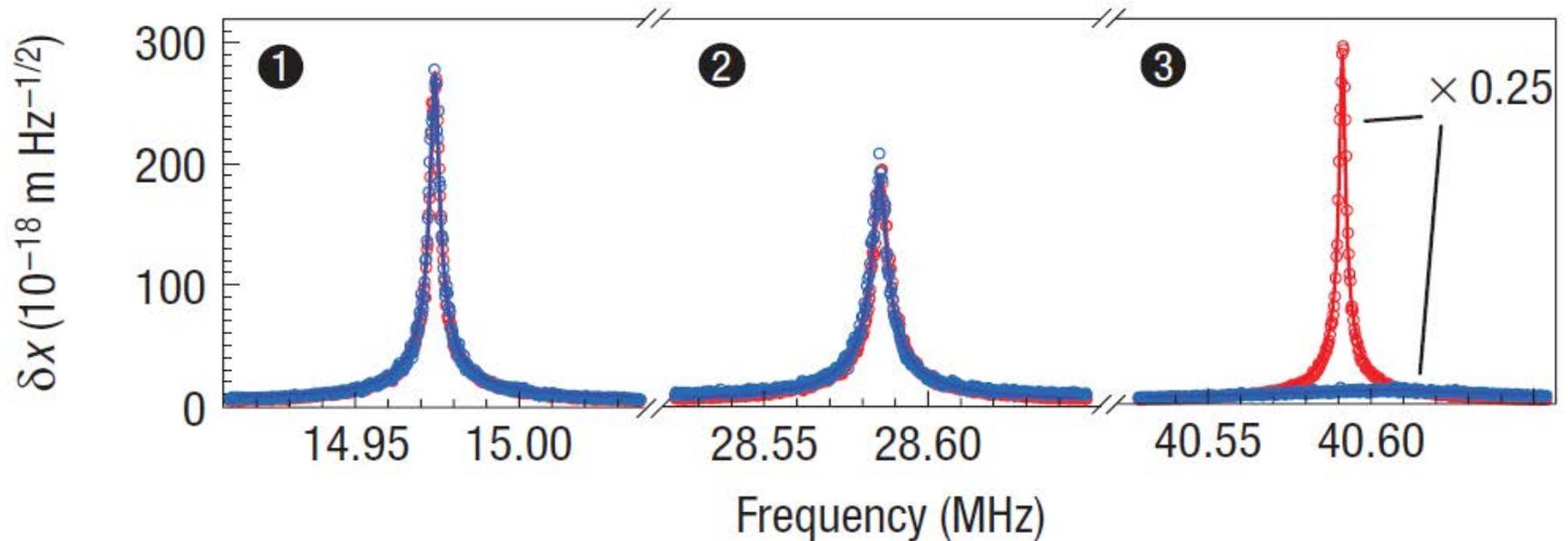
Laboratoire Kastler Brossel
Physique quantique et applications



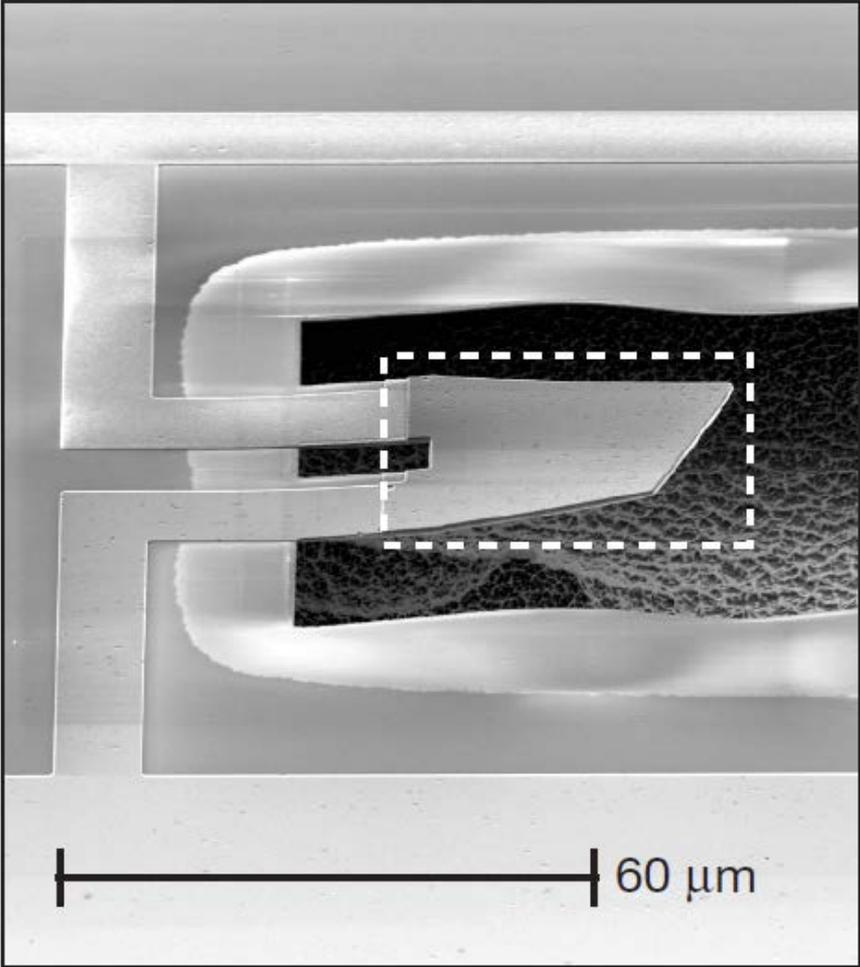
Où on en était en 2008



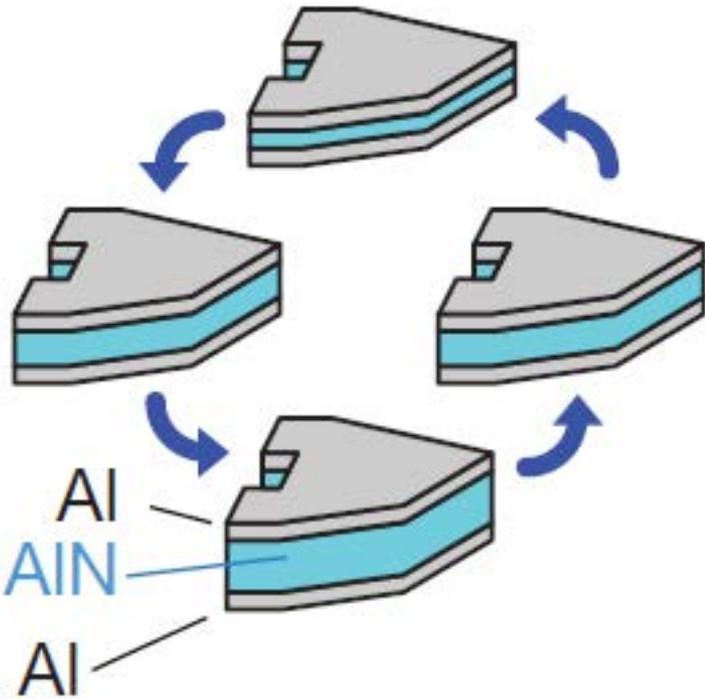
Microtore à T ambiante
Puissance lumineuse limitée
 $\langle n \rangle = 5900$



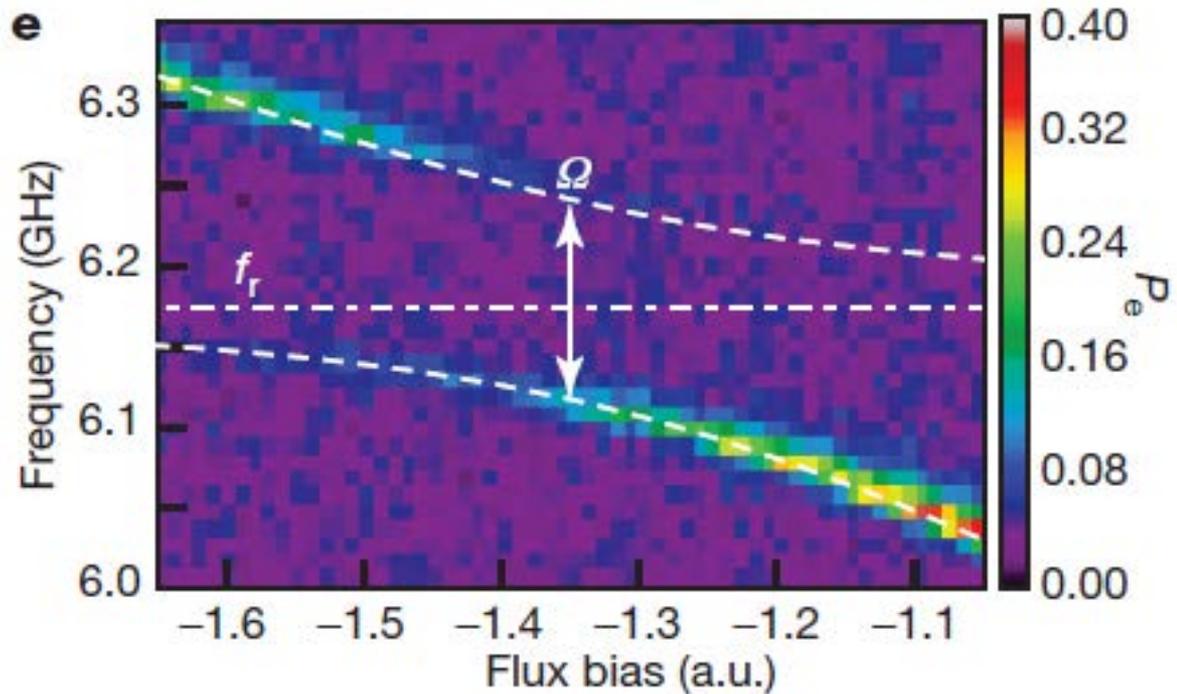
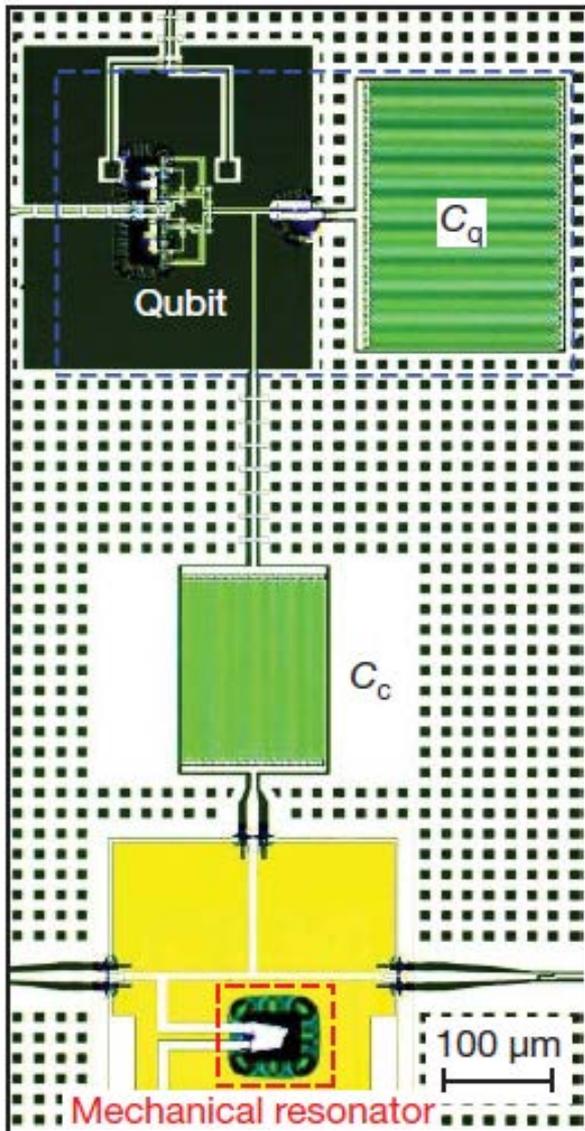
La surprise de 2010



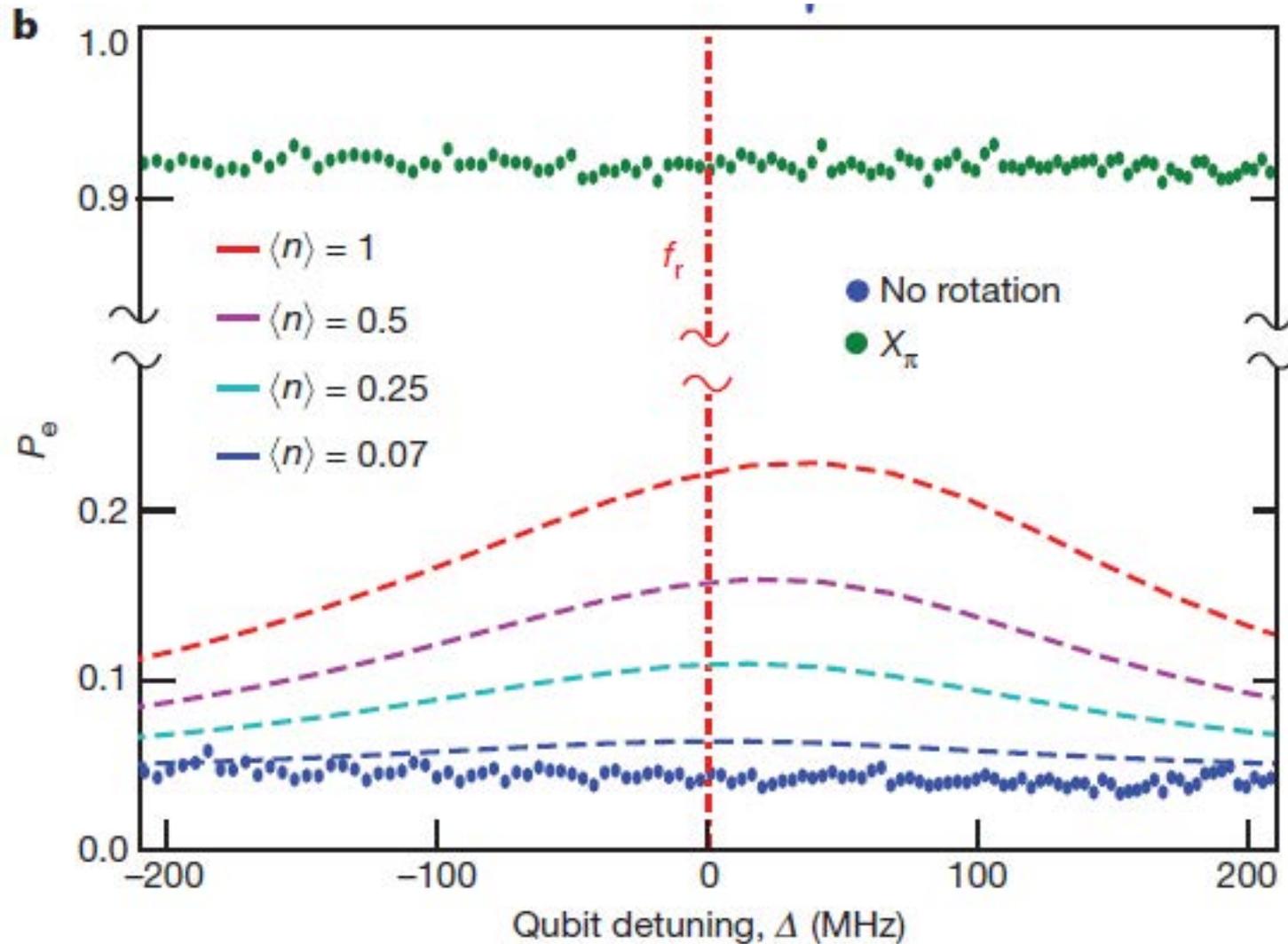
Groupe de Cleland et Martinis
Oscillateur piézo à 6,2 GHz



Couplage fort avec un qubit supraconducteur



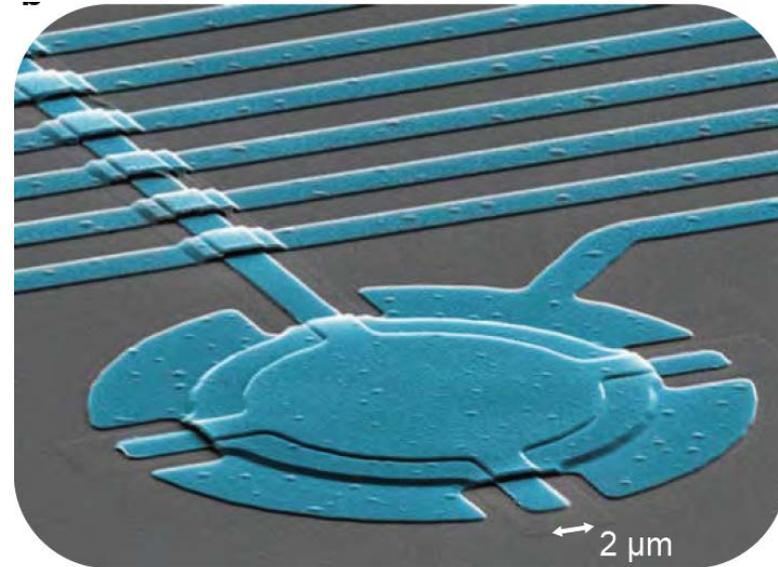
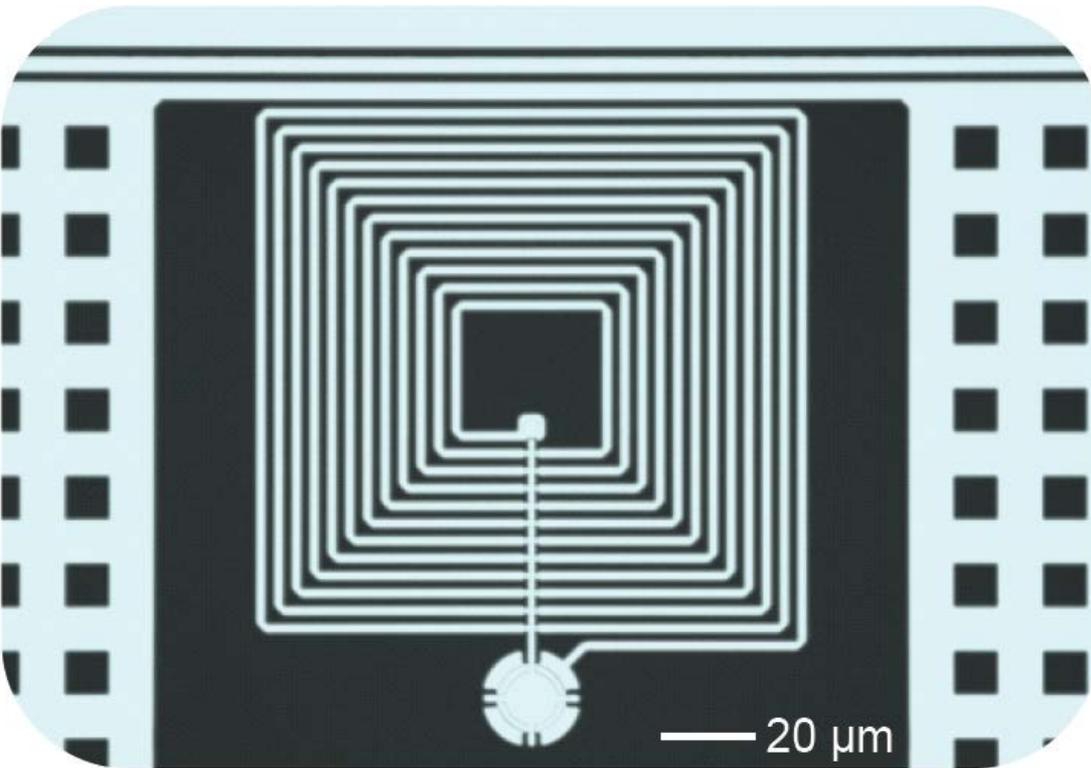
Mise en évidence de l'état quantique fondamental



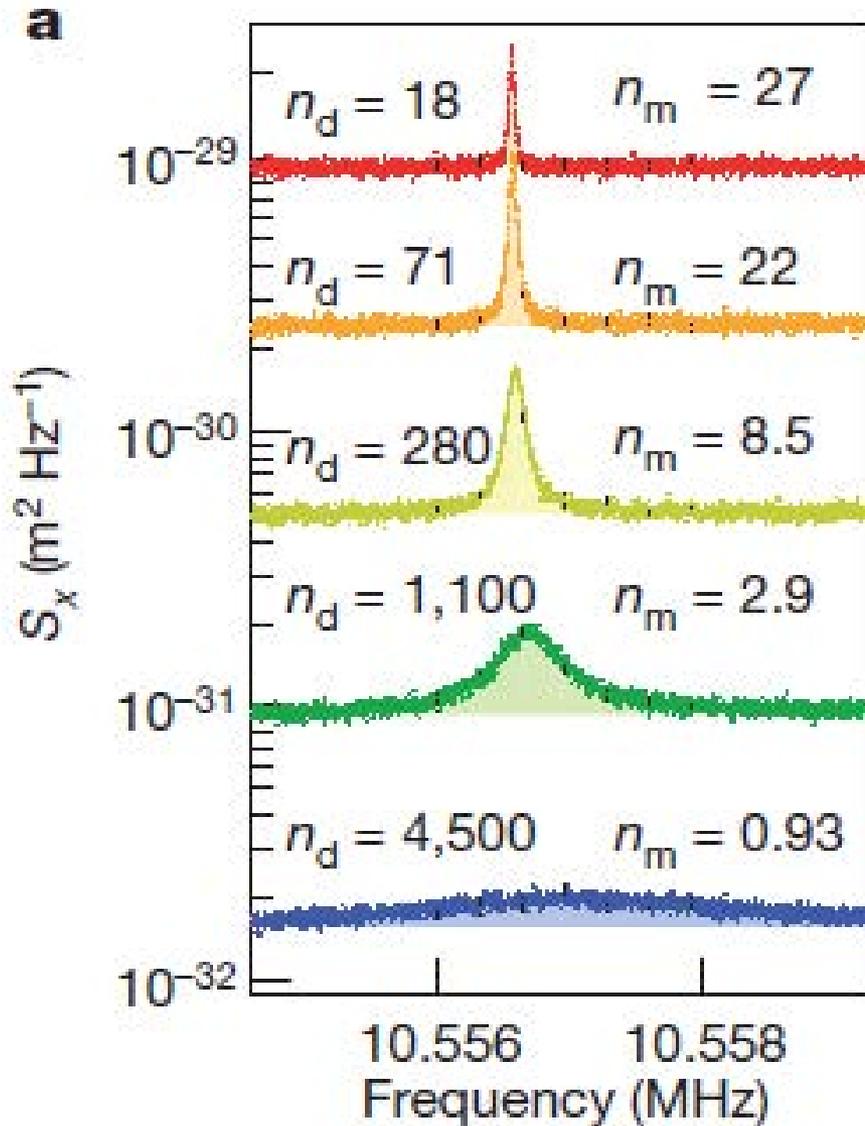
A. D. O'Connell *et al.*,
Nature **464**, 697 (2010)

Première mise en évidence du QGS par refr. optique

Nouveau design de résonateur micro-ondes
10 MHz, 48 pg, $Q \simeq 3 \times 10^5$

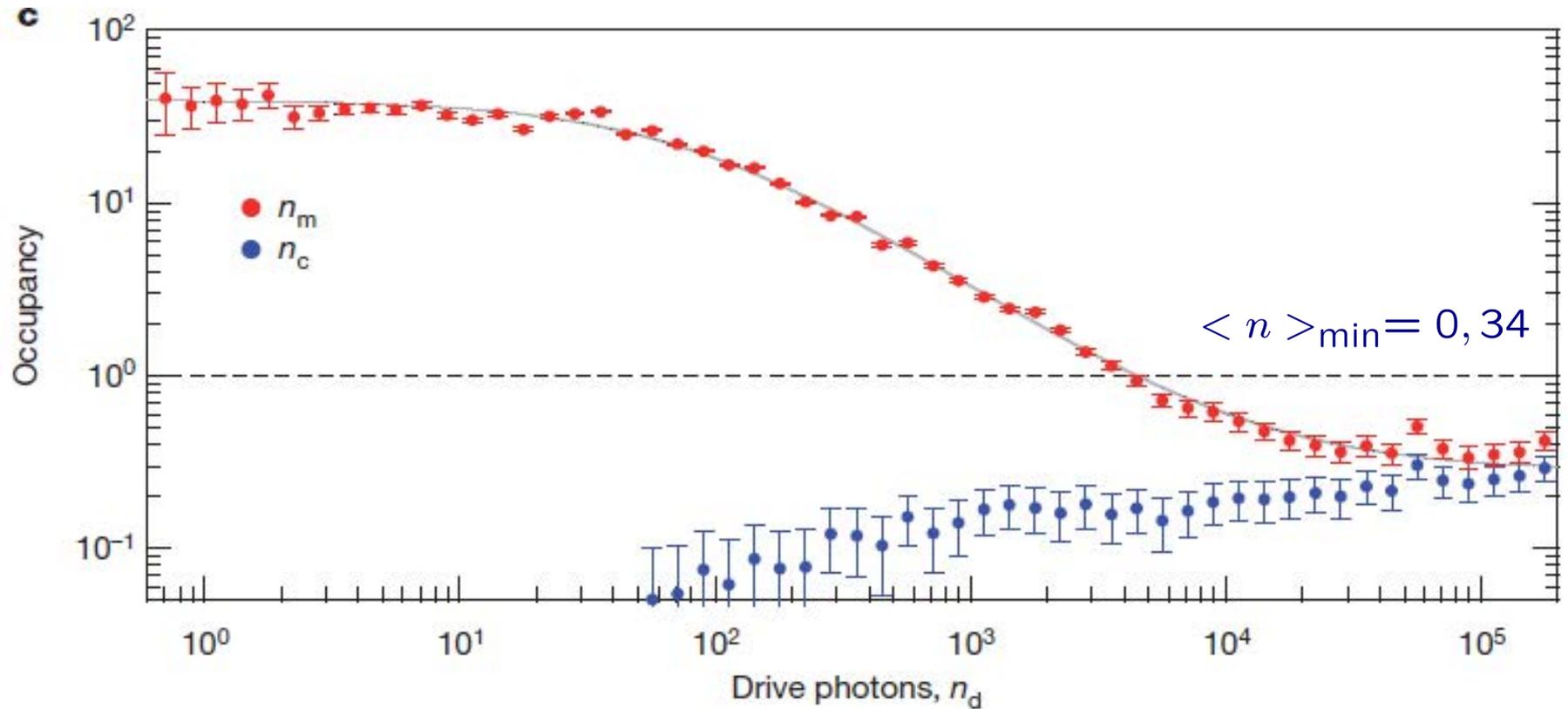


Spectre de bruit thermique



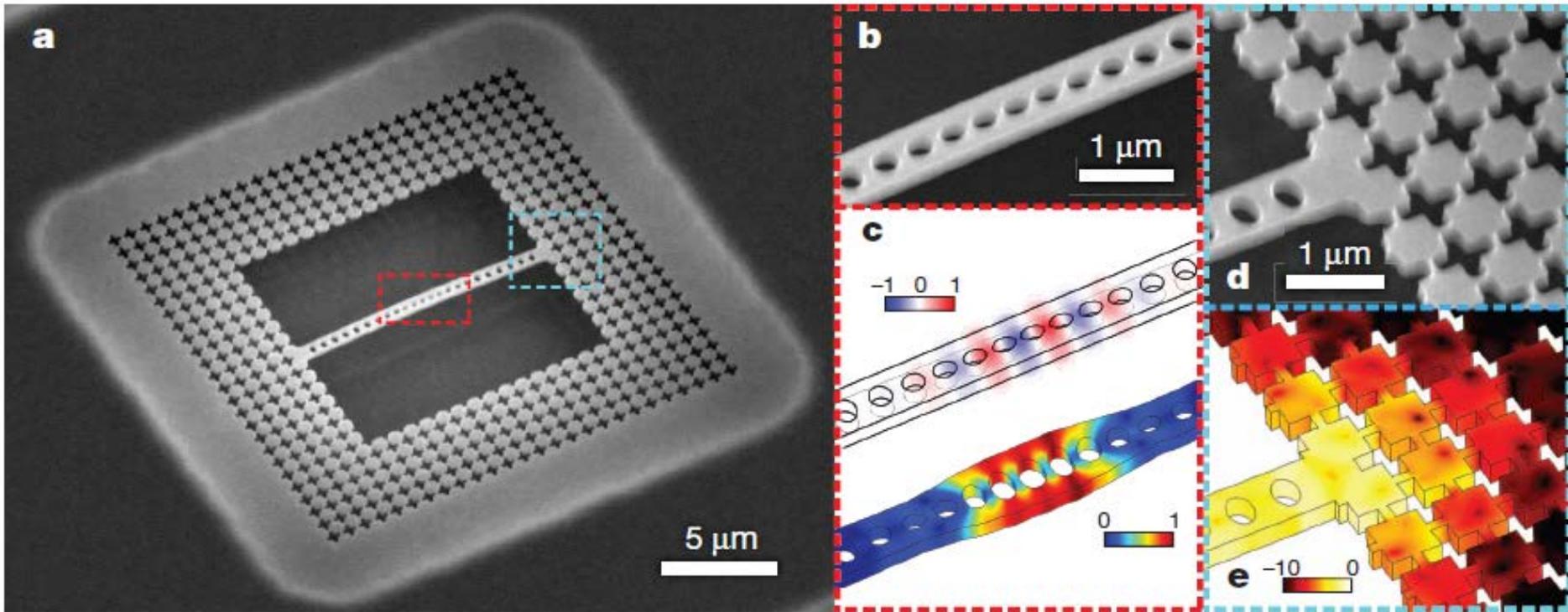
← noter le rapport signal-à-bruit !

Evolution de $\langle n \rangle$ en fonction de la puissance lumineuse



Teufel *et al.*,
Nature **475**, 359 (2011)

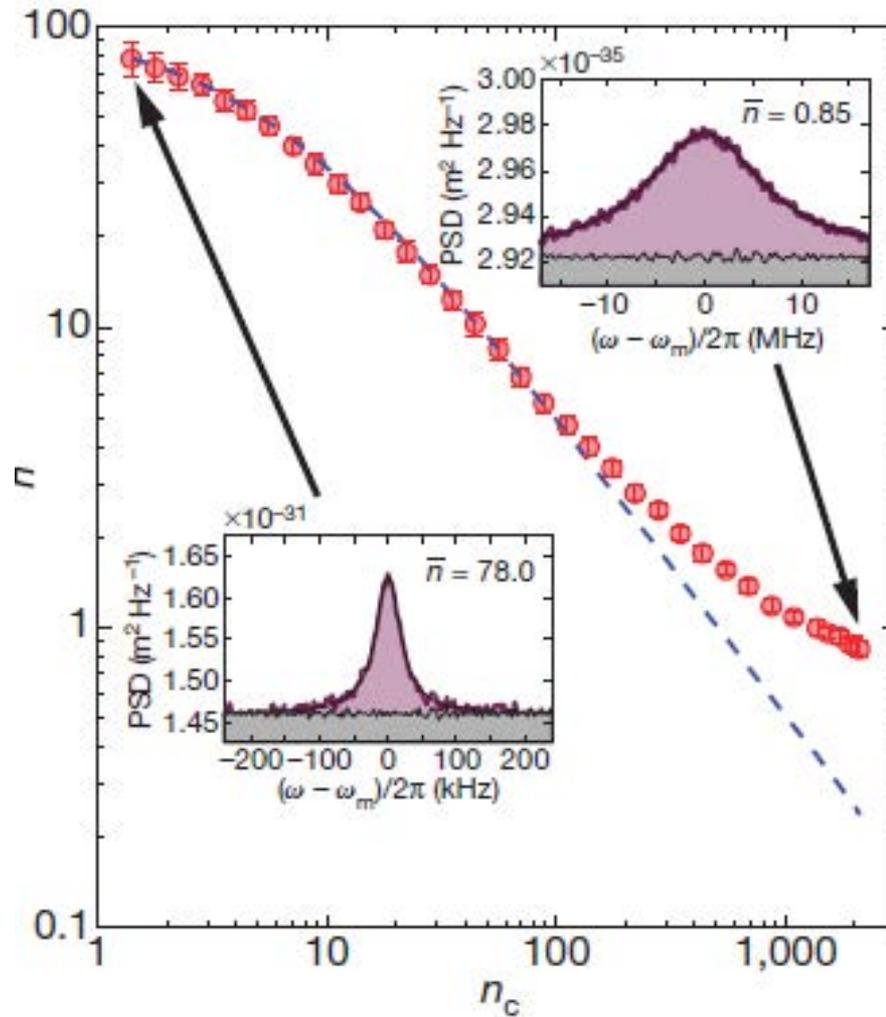
Première expérience dans le domaine optique



Innovations :

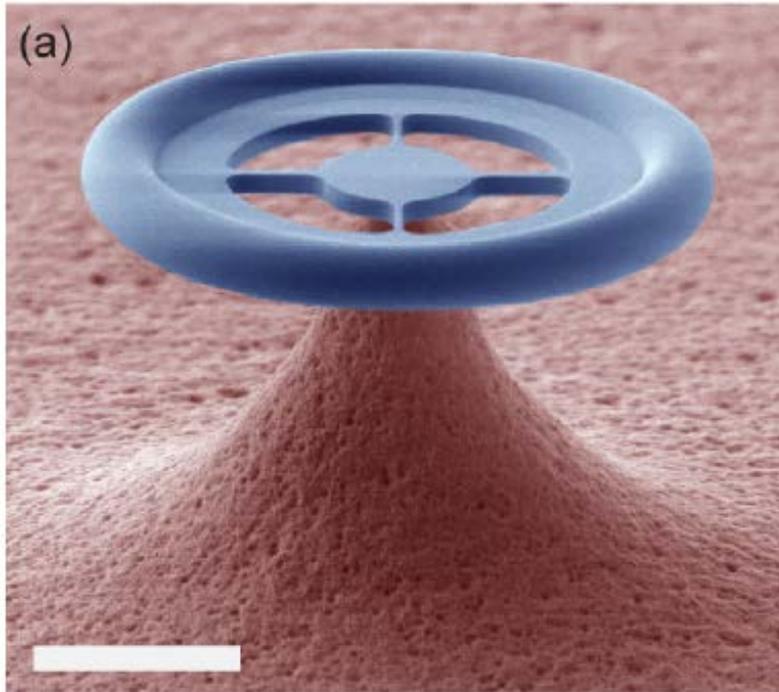
- cavité à cristal photonique
 - cristal *phononique* pour optimiser le Q
- 3,68 GHz, 311 fg, $Q \simeq 10^5$ à 20 K

Evolution du spectre de bruit

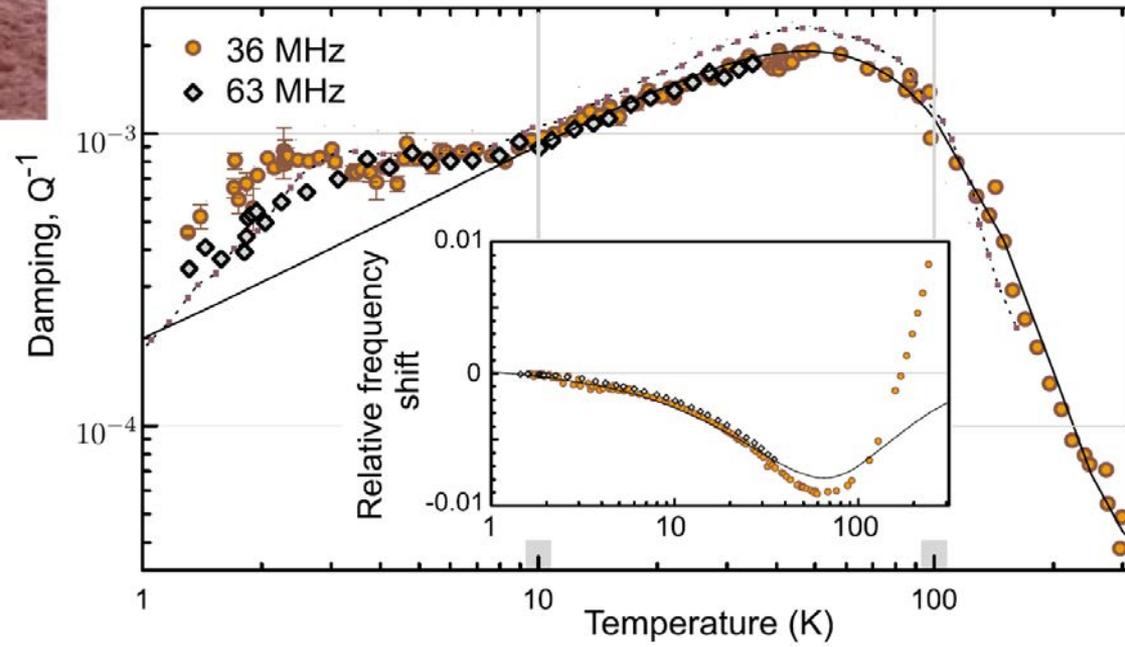


← noter le rapport signal-à-bruit !

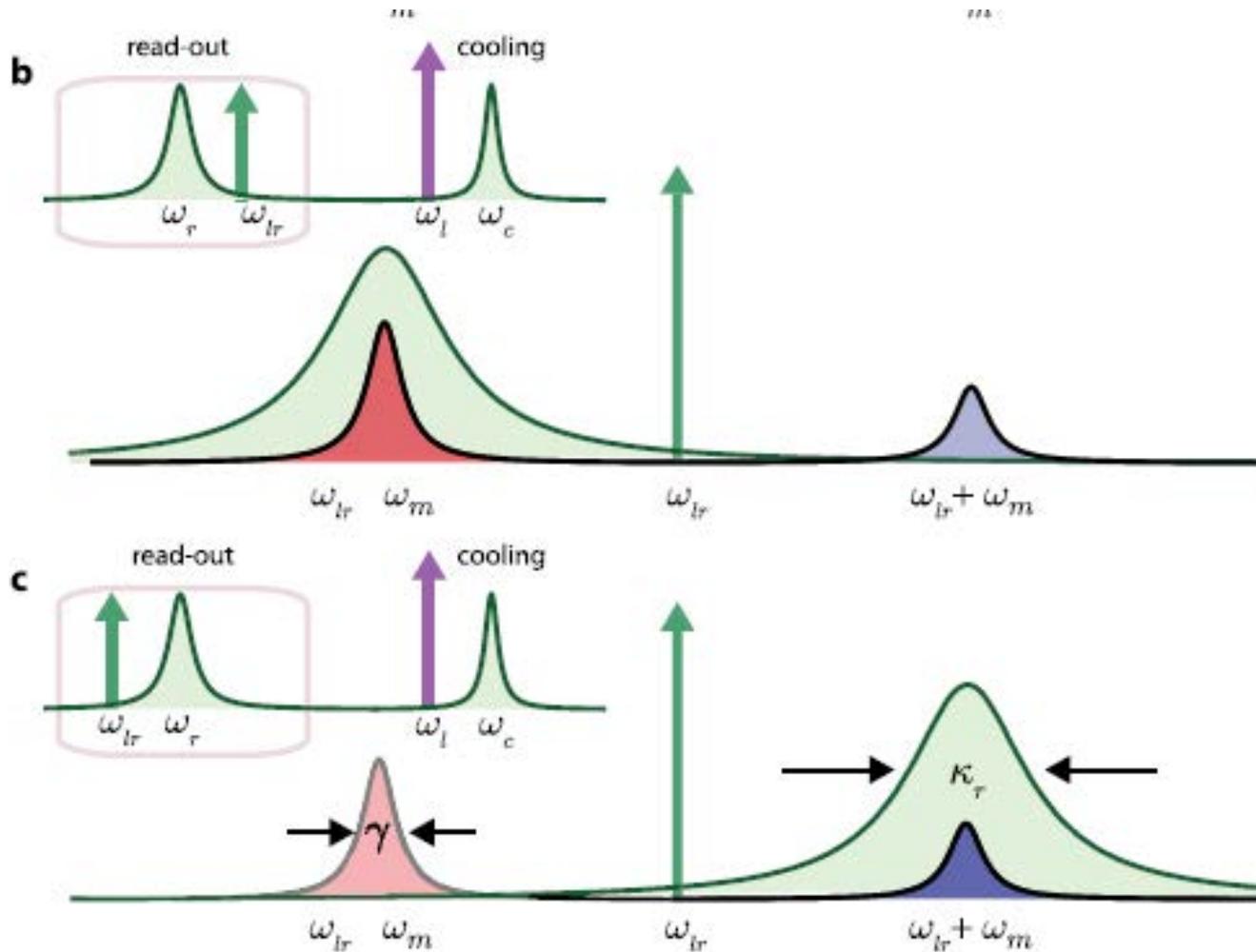
Expérience avec des microtores de dernière génération



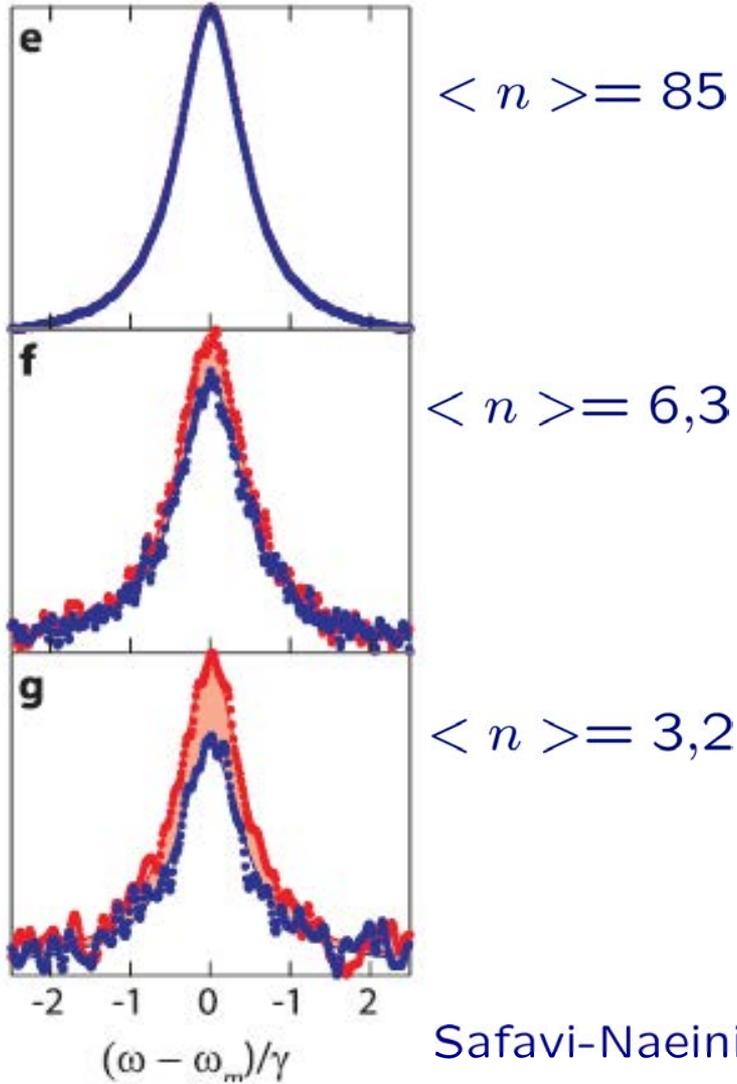
Design pour optimiser le Q
Problèmes à basse température



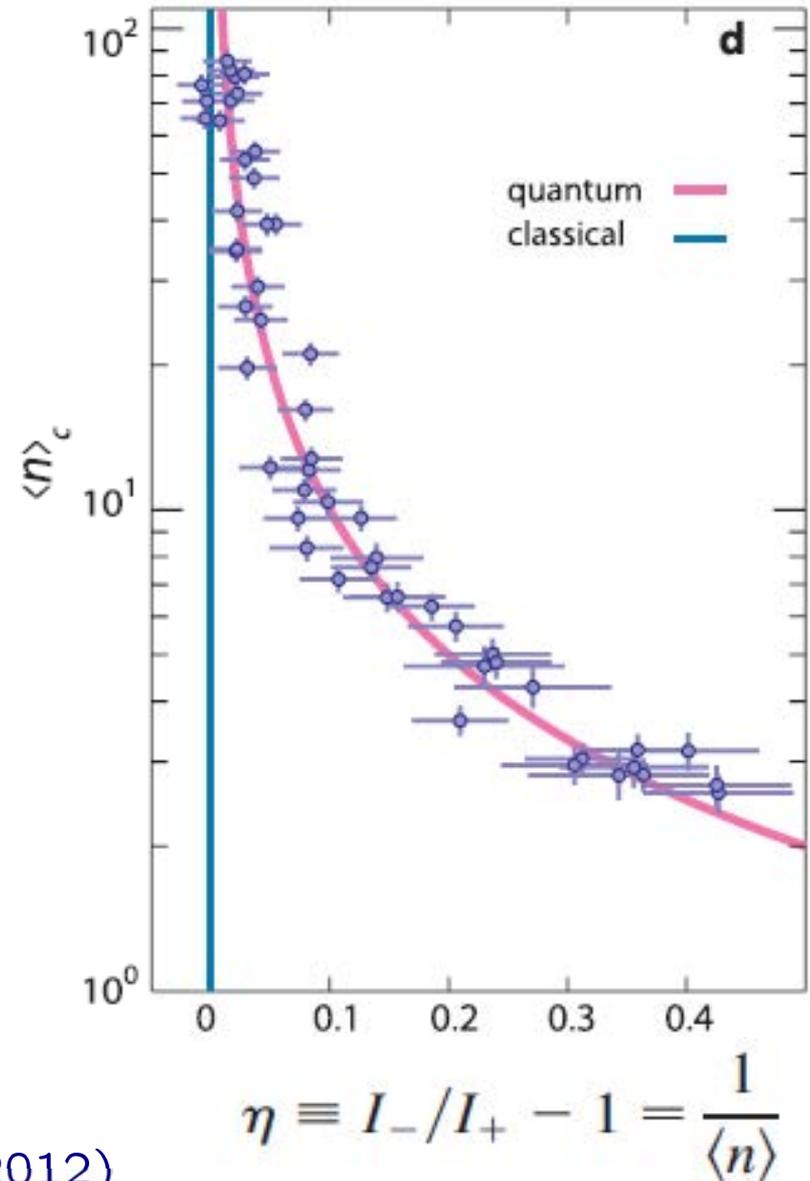
Mise en évidence de l'asymétrie des bandes latérales



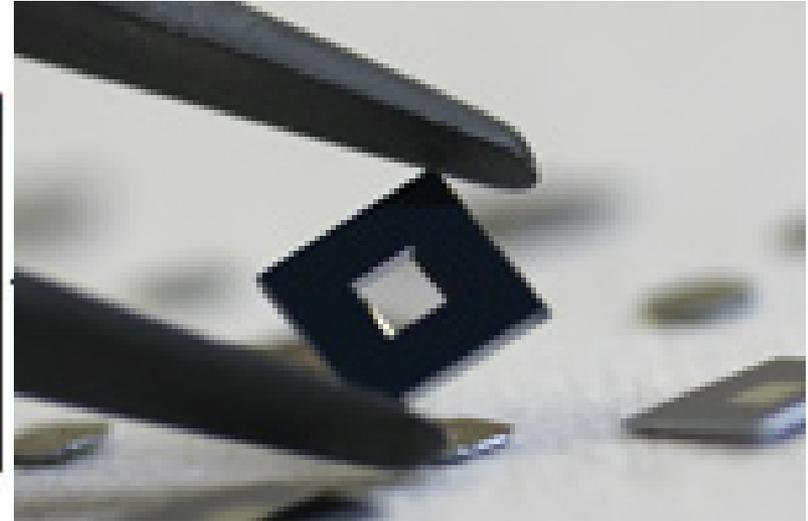
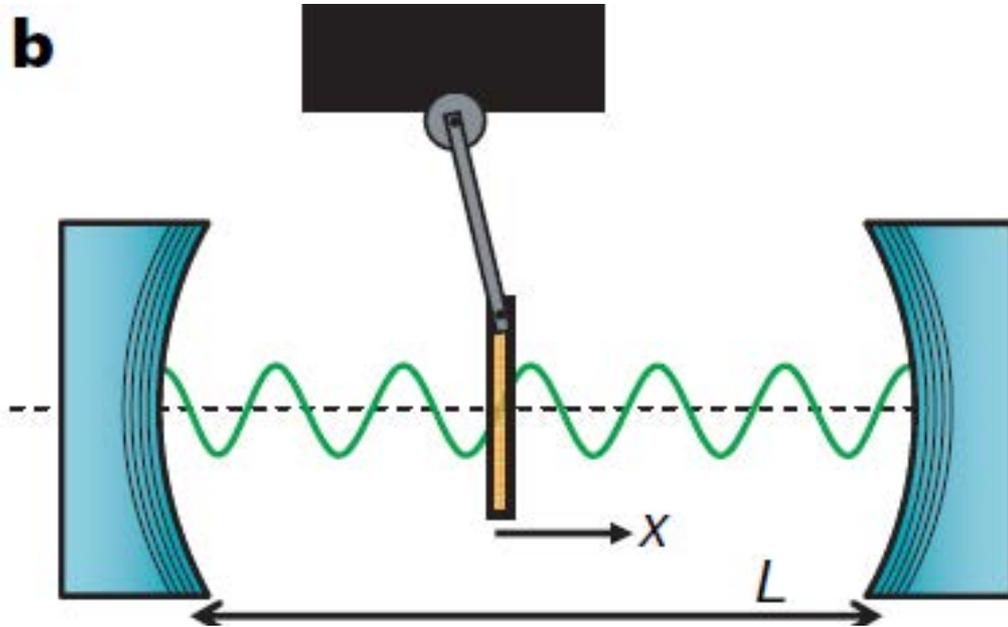
Evolution avec la puissance injectée



Safavi-Naeini *et al.*,
PRL **108**, 033602 (2012)

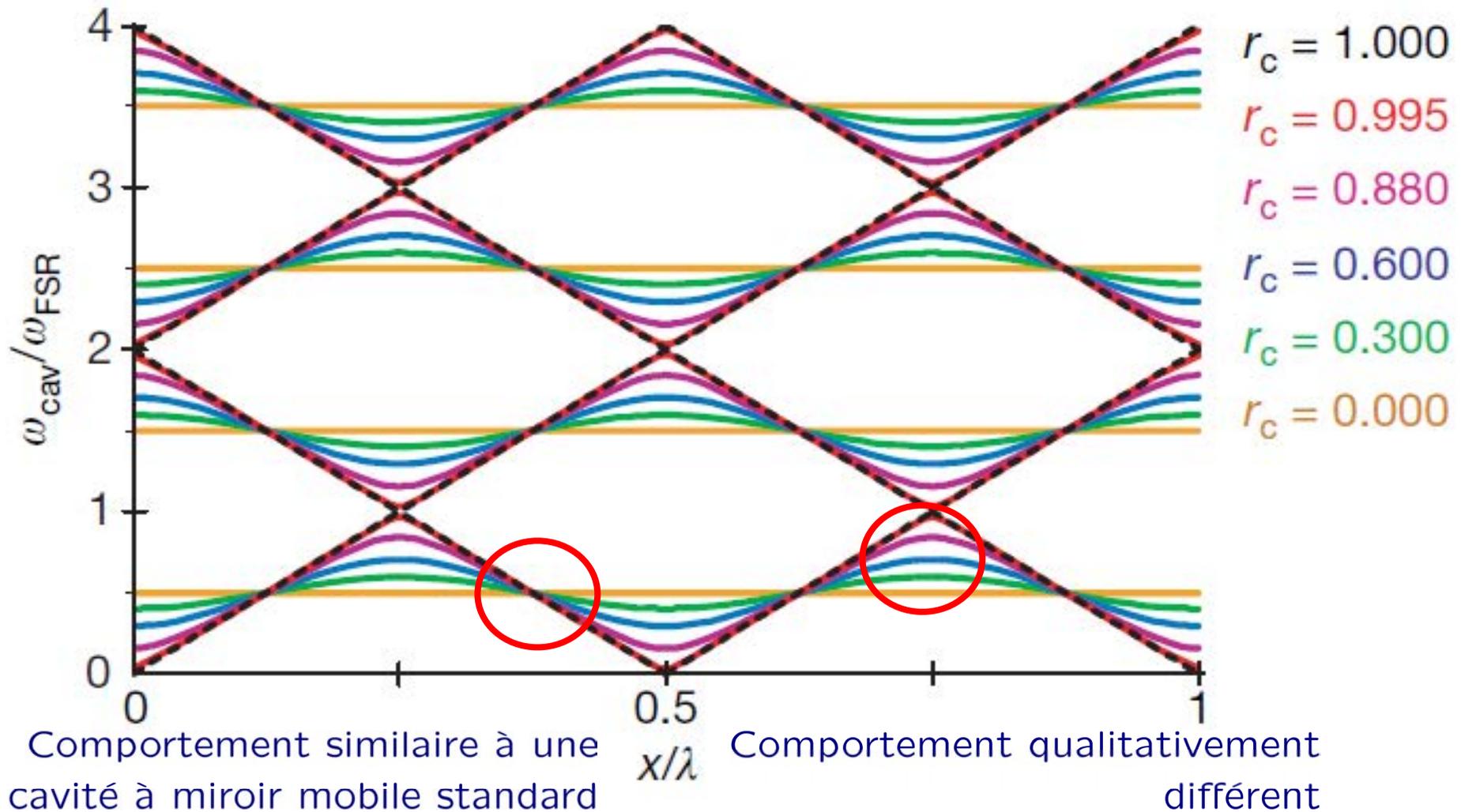


Le montage 'membrane in the middle'

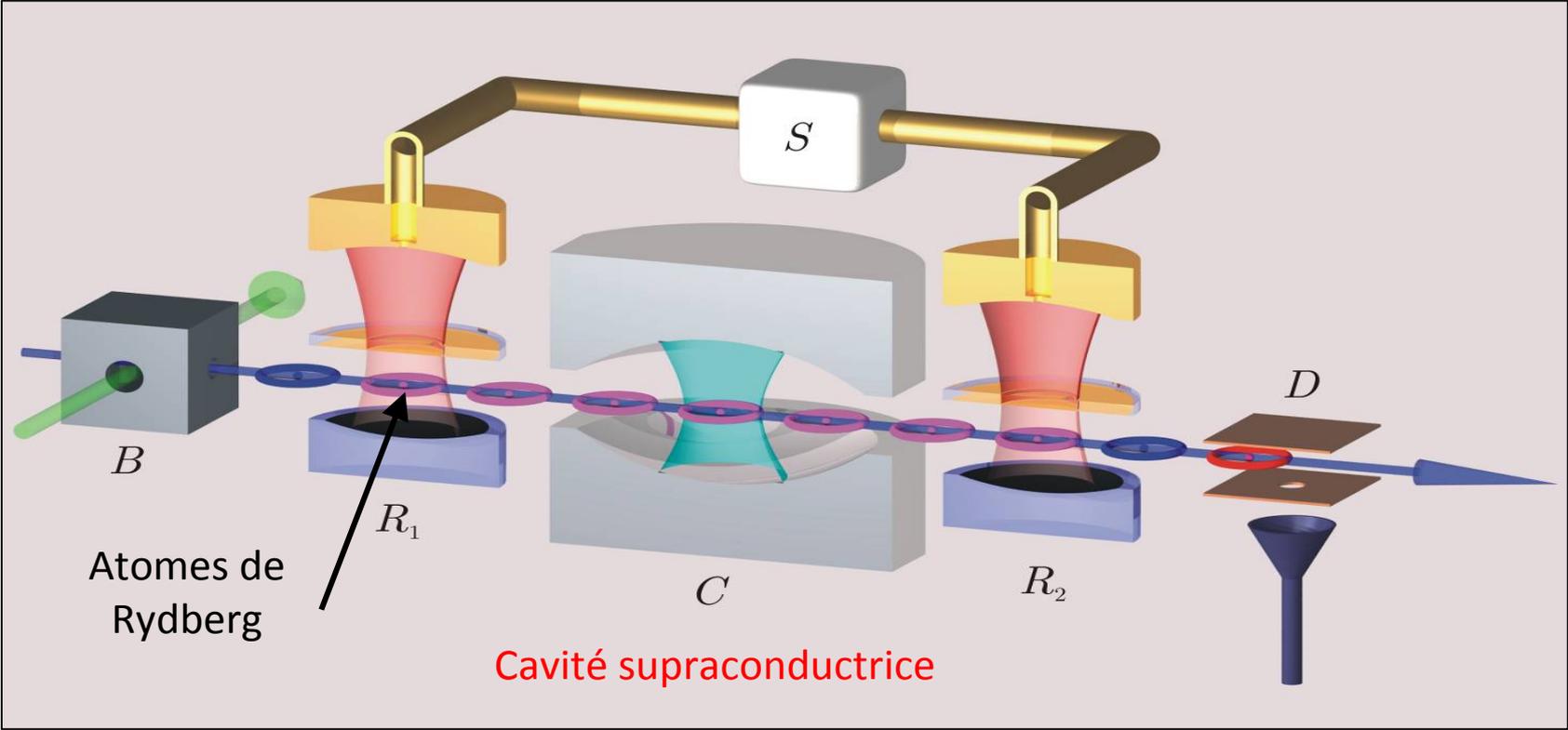


L'utilisation d'une membrane insérée dans une cavité permet de séparer (en partie) les problèmes

Deux cavités couplées



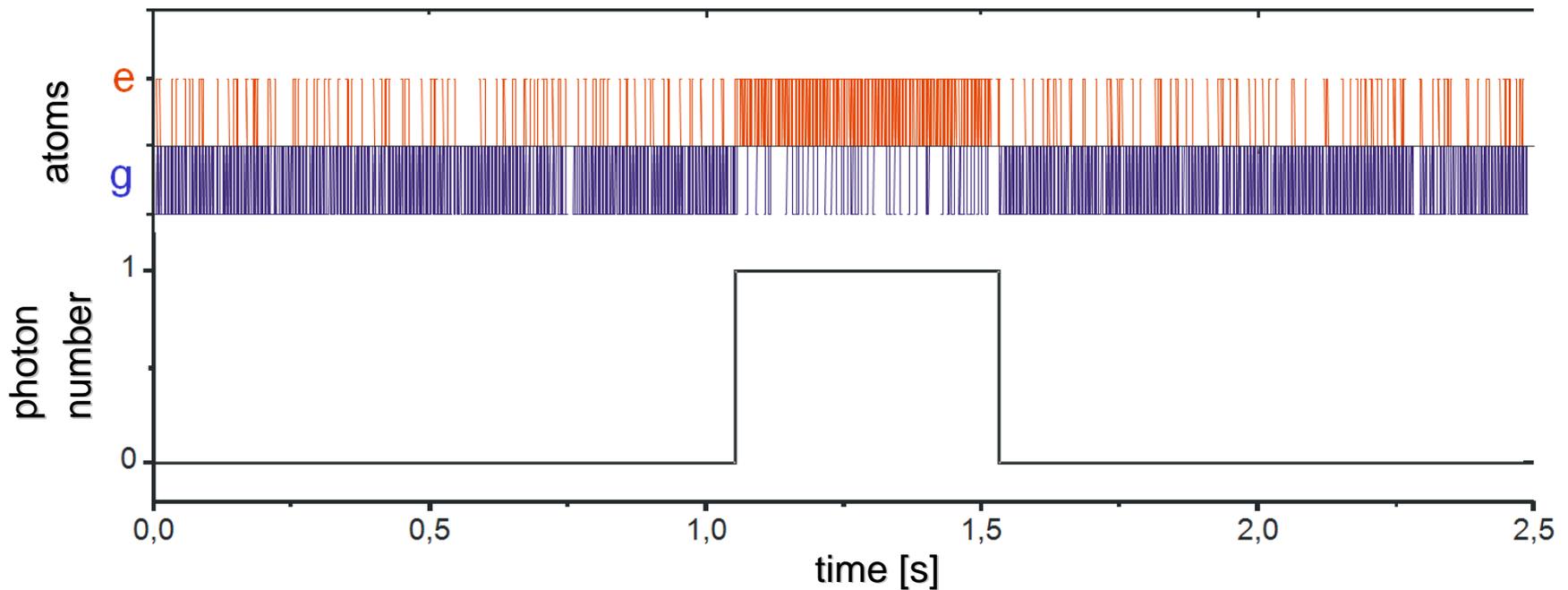
Une expérience modèle



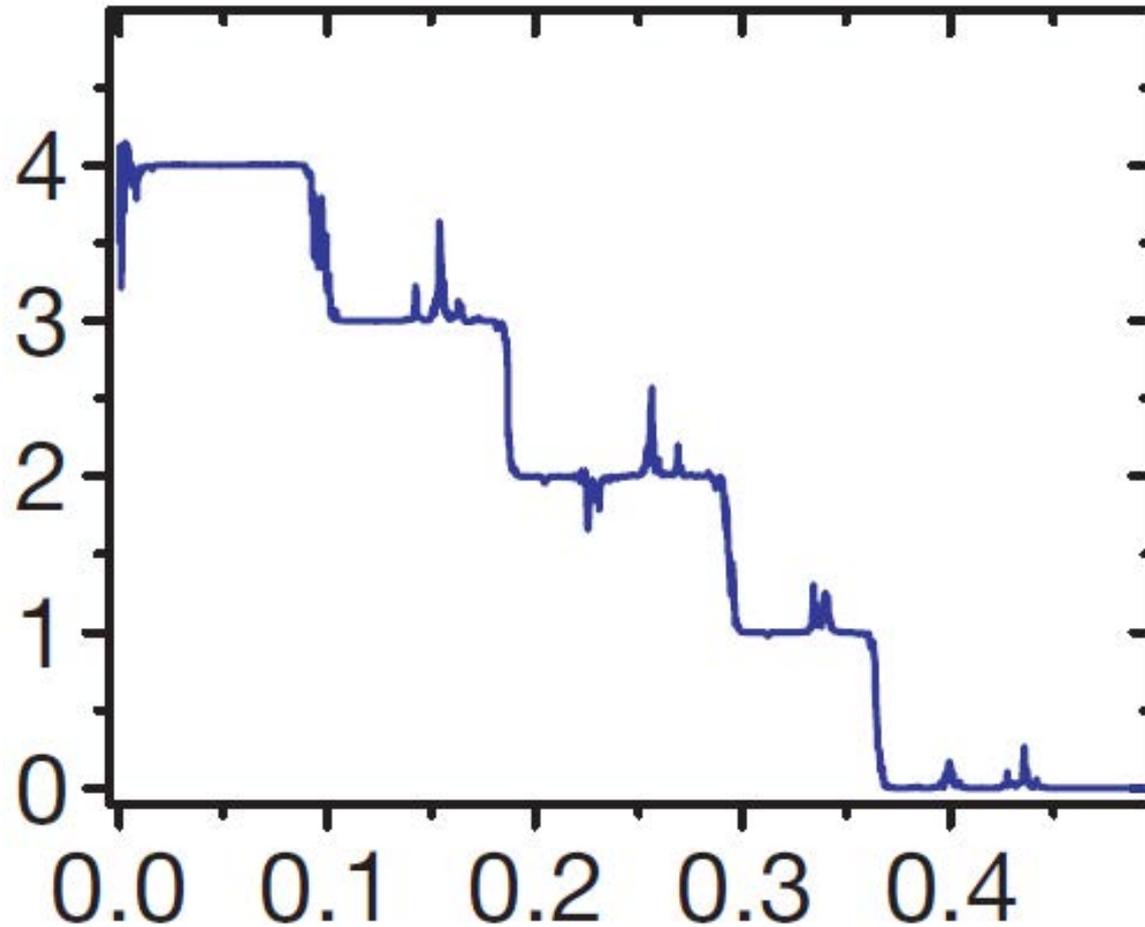
Naissance, vie et mort d'un photon

Rayonnement du corps noir dans la cavité

$T = 0.8 \text{ K} \Rightarrow \bar{n} = 0.05 \text{ photons}$ (un photon 5% du temps, 0 photon le reste du temps)

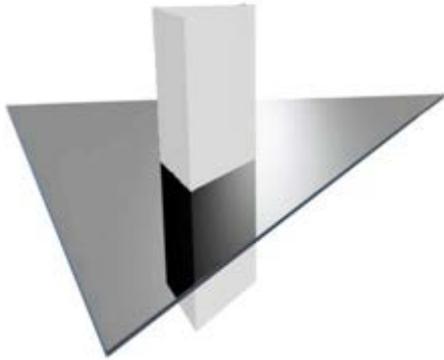


Voir les sauts quantiques de la lumière



C. Guerlin *et al.*,
Nature **448**, 889 (2007)

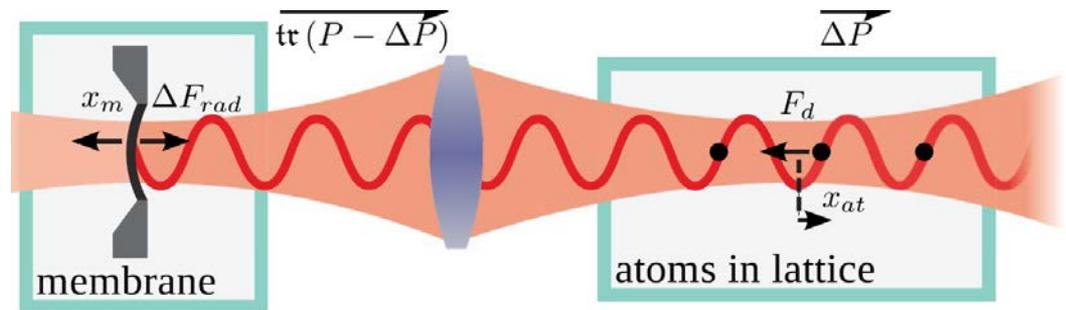
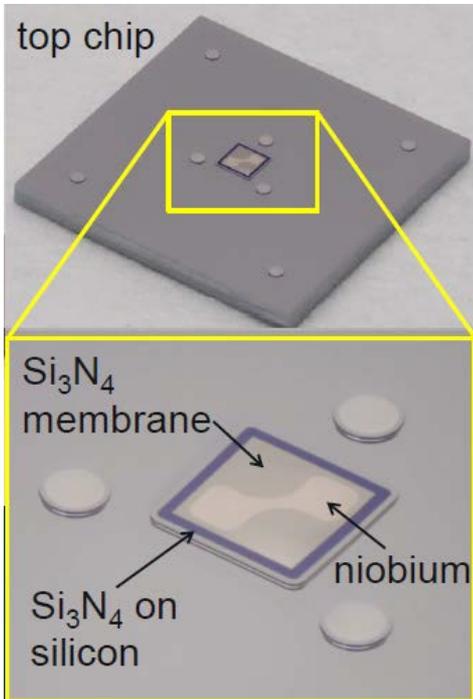
Perspectives à long terme



Hybrid systems:
can be coupled to

- micro-wave field
- atoms

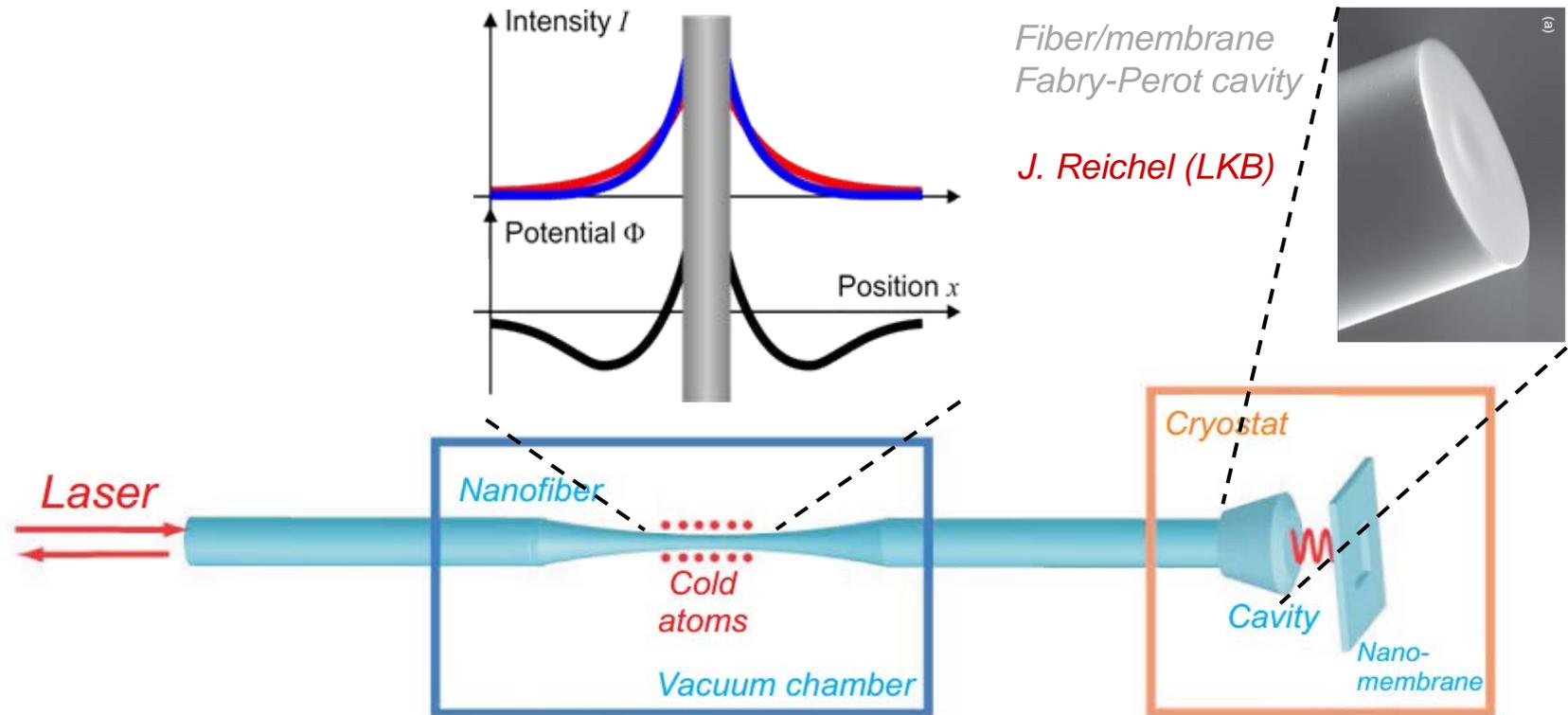
...



K. Lehnert, C. Regal

P. Treutlein, Basel

Expérience avec des atomes froids



Use light and radiation pressure to couple the nanomembrane to a cloud of cold atoms :

- Long atomic coherence times
- Comprehensive atomic physics « toolbox » to control the quantum properties of cold atoms

Un autre point de vue sur les expériences de refroidissement

Environnement

$$\bar{n}_p \sim 0$$

κ

$$H_{int} = \hbar\Omega_c/2(\hat{a}^\dagger\hat{b} + \hat{b}^\dagger\hat{a})$$

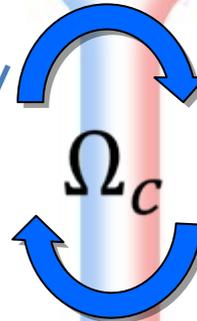
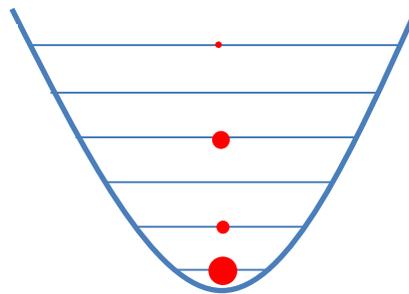
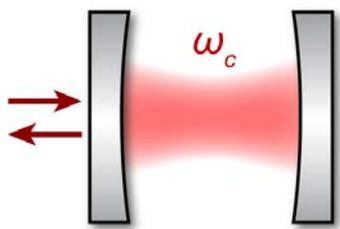
$$\Omega_c/2 = GX_{ZPF}\bar{a}$$

Environnement

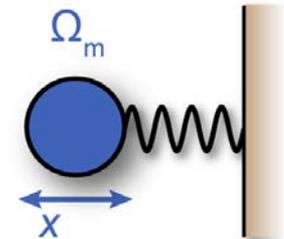
$$\bar{n}_m \gg 1$$

Γ_m

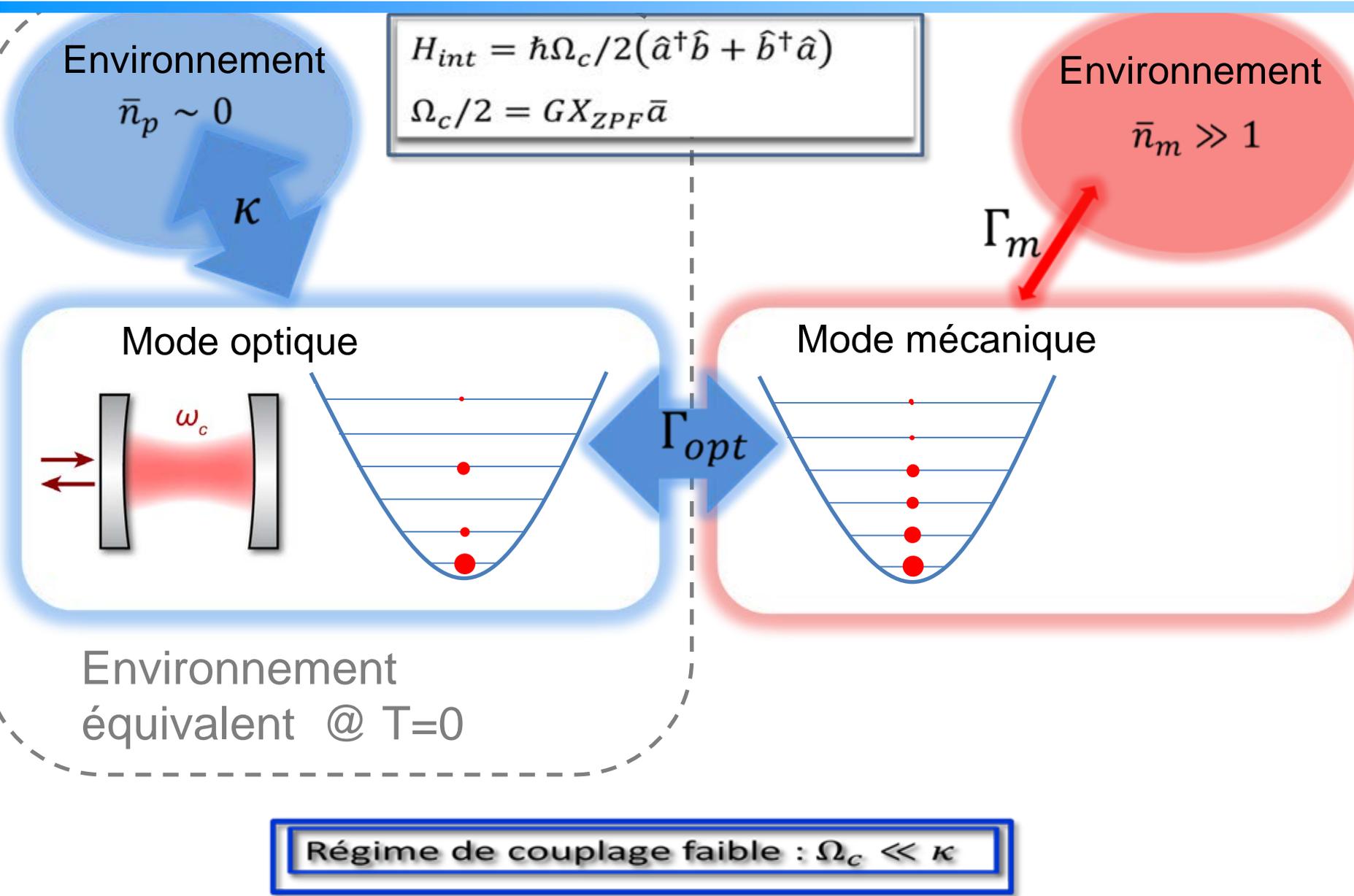
Mode optique



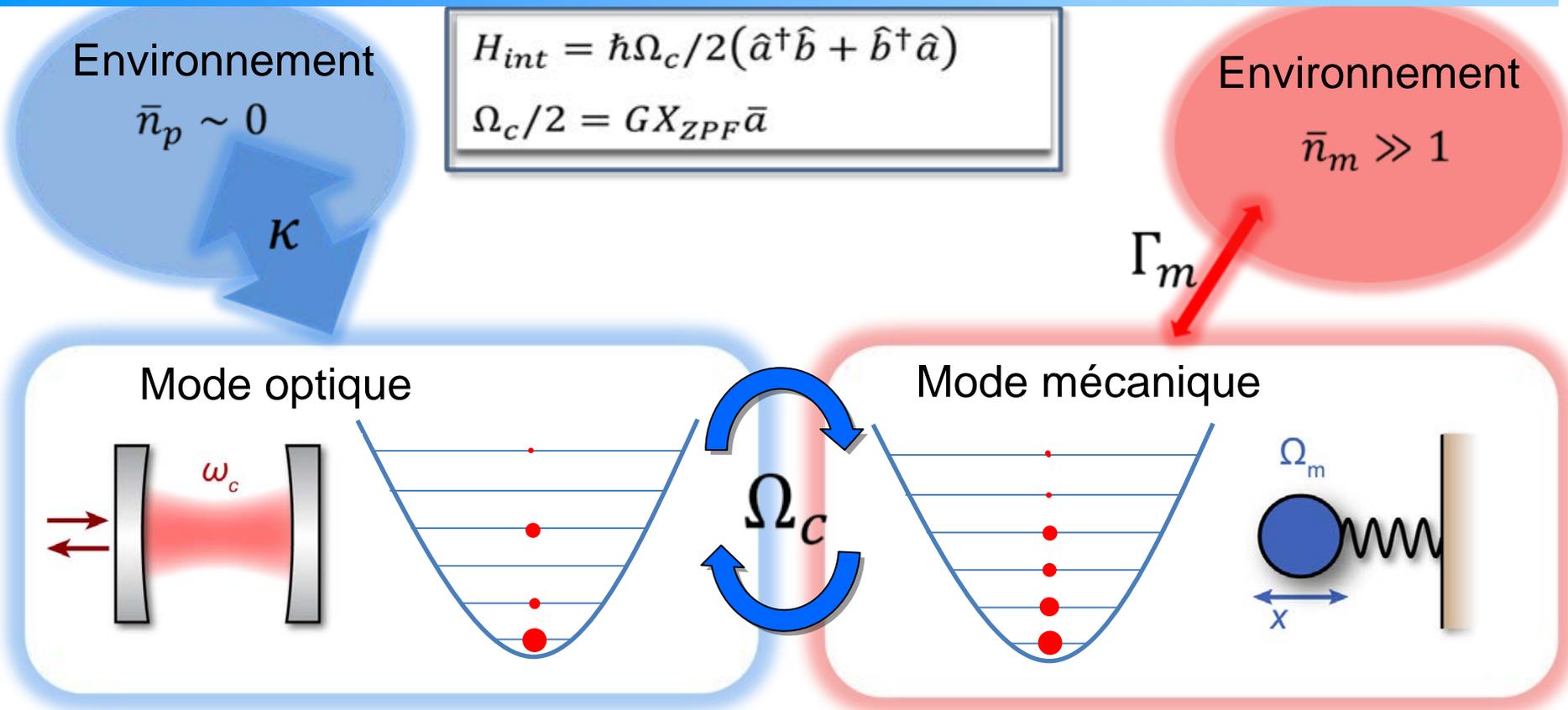
Mode mécanique



Un autre point de vue sur les expériences de refroidissement

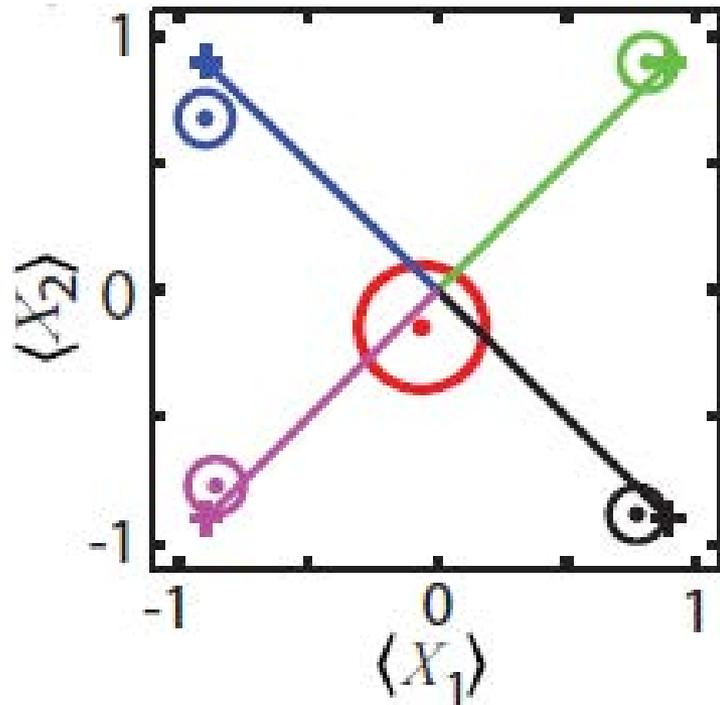
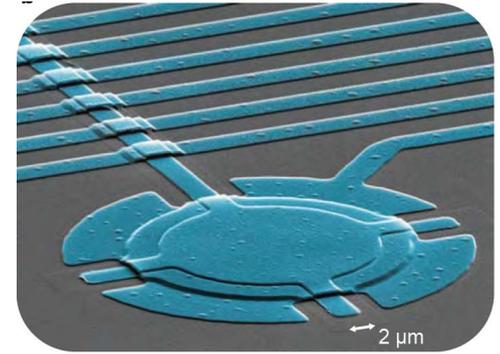
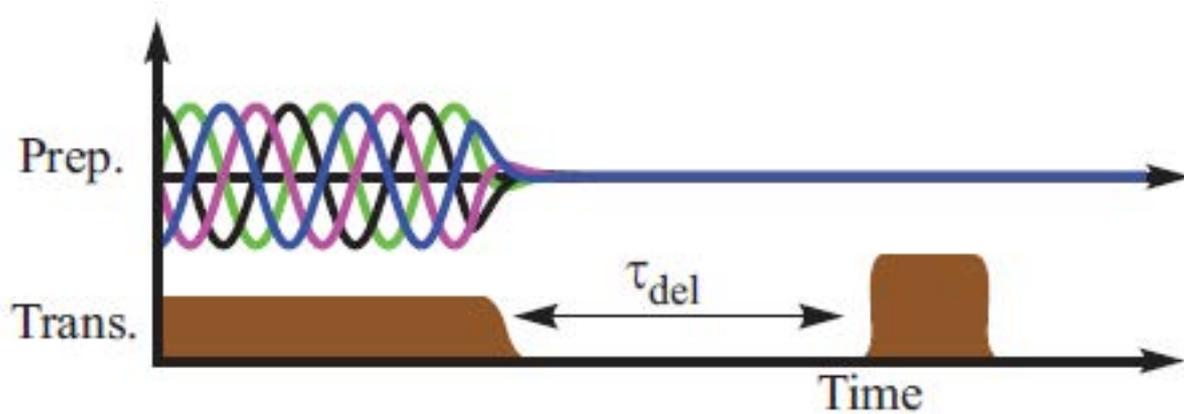


Un autre point de vue sur les expériences de refroidissement



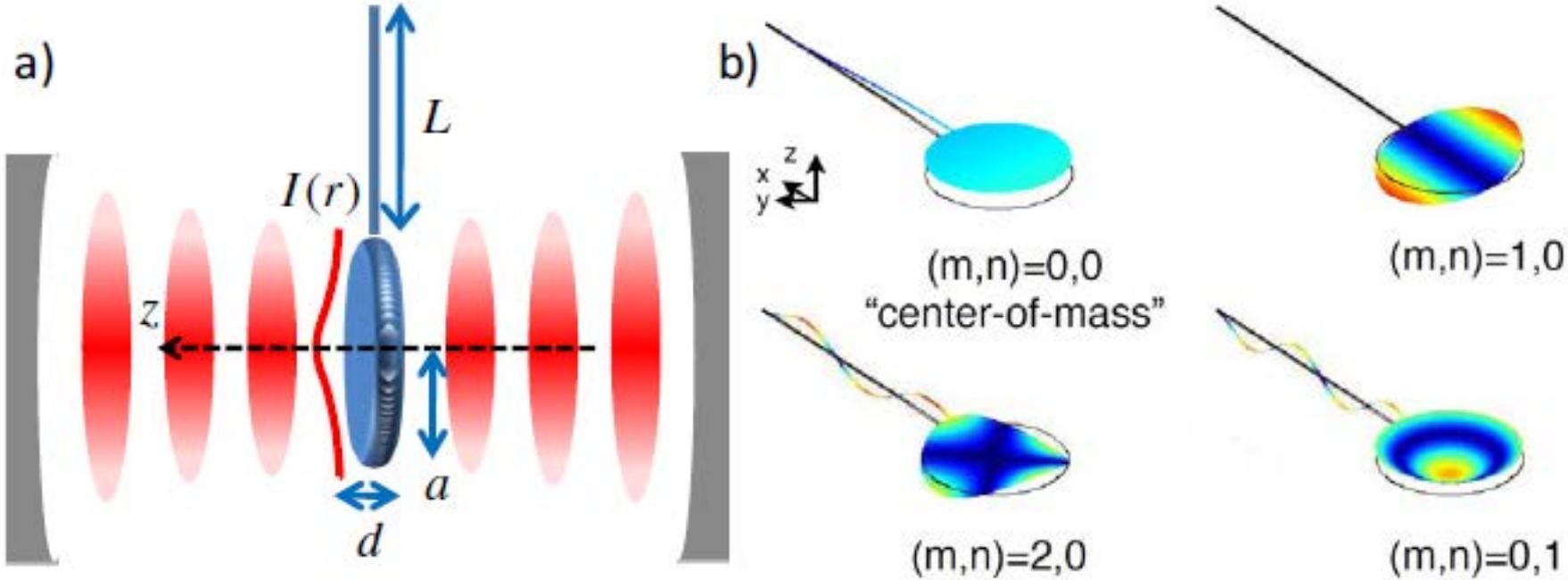
Lorsque le couplage optomécanique est plus rapide que les décohérences optique et mécanique, les deux systèmes échangent leur état quantique périodiquement

Stocker de l'information ds un résonateur mécanique

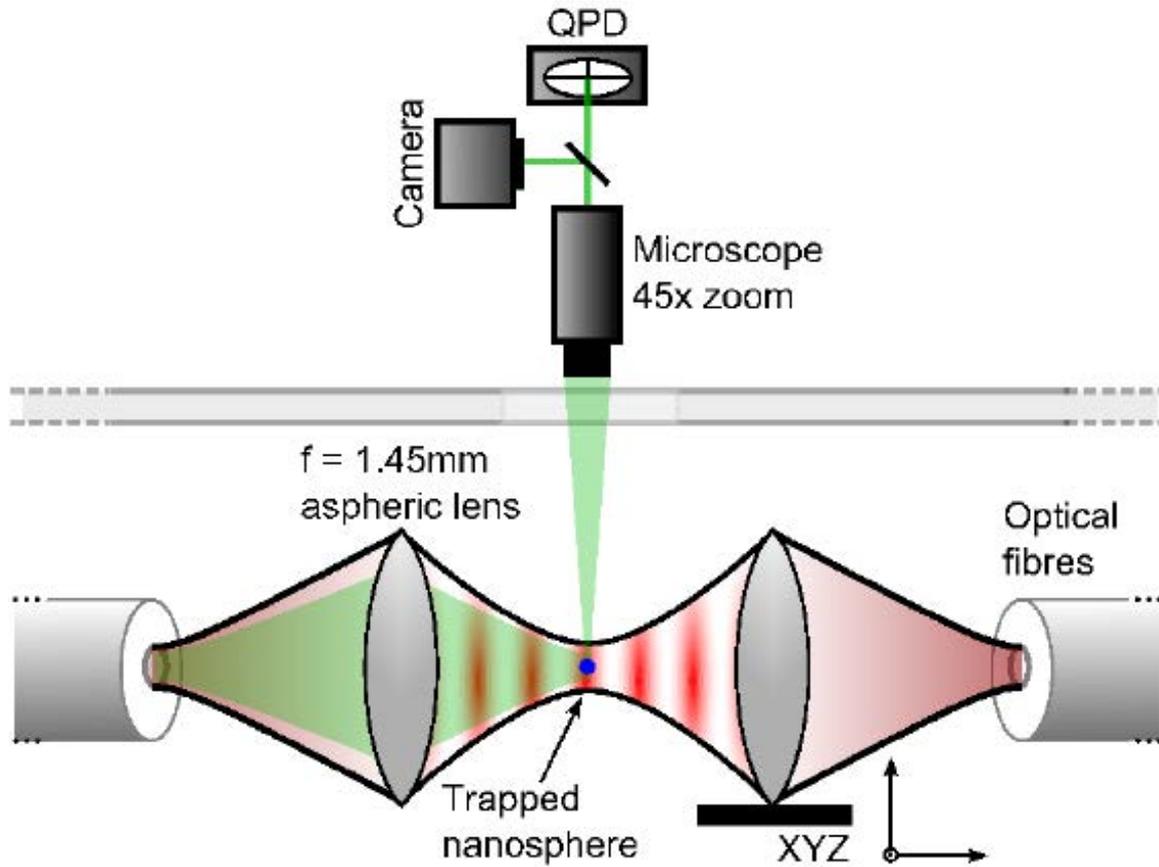


Excitation classique ($\simeq 1$ phonon)
stockée et récupérée

Optimiser le Q en piégeant une pastille diélectrique



Piéger et refroidir des nanosphères



P. F. Barker,
Univ. College London

