

# Conversion Paramétrique efficace dans une cavité à cristaux photoniques bichromatique en InGaP

Gabriel Marty<sup>1,2</sup>, Sylvain Combrié<sup>2</sup>, Fabrice Raineri<sup>1,3</sup>, Alfredo De Rossi<sup>2</sup>

1. Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Université Paris Saclay, C2N, 91120 Palaiseau, France

2. Thales Research and Technology, Campus Polytechnique, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau, France

3. Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, 75205 Paris, France

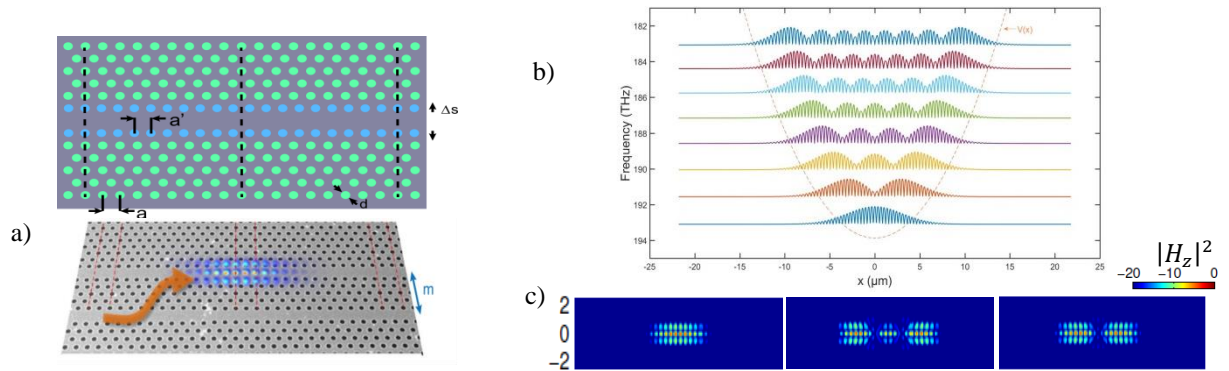
**Résumé:** Nous démontrons une nouvelle technique d'ajustement de la dispersion d'une cavité à cristaux photoniques bichromatique. Cette technique nous permet d'atteindre une efficacité de conversion non linéaire de fréquence record, jusqu'à -6 dB, avec une puissance couplée de 100  $\mu$ W dans la bande télécom.

## 1. Introduction

Le mélange à quatre ondes résonant (FWM: Four Wave Mixing) en microcavité constitue une piste prometteuse pour la réalisation de fonctions non linéaires intégrées comme la conversion de fréquence [1] et la génération de paires de photons [2]. Cet effet est généralement étudié dans des cavités à mode de galerie ou des micro-anneaux car il est relativement aisé de contrôler la dispersion dans ces cavités (un point clé pour l'accord de phase) tout en gardant des facteurs de qualité élevés. L'enjeu pour l'intégration sur puce est d'obtenir la plus grande efficacité de fonctionnement possible. Comme cette efficacité est proportionnelle au rapport  $Q/V$  où  $Q$  est le facteur de qualité et  $V$  le volume du mode, deux approches sont possibles. Premièrement, augmenter le facteur  $Q$ . Lorsque les limites de croissance des matériaux et de procédés de fabrication sont atteintes, il reste la possibilité de diminuer le volume modal. Dans les géométries circulaires citées précédemment, la borne inférieure du volume atteignable est posée par les pertes de courbures.

Les cavités à cristaux photoniques (PhC) apparaissent être une plateforme non linéaire idéale grâce à leurs  $Q$  élevés et leurs volumes modaux très petits, mais contrôler la dispersion de ces cavités pour plusieurs modes reste difficile. En conséquence, aucune conversion de fréquence efficace n'a été observée dans une cavité PhC.

Nous avons récemment adapté le design bichromatique pour contrôler la dispersion d'une cavité PhC [3]. A présent, nous montrons comment employer ce design de cavité PhC multimodes à fort facteur  $Q$  afin de démontrer la plus grande efficacité de conversion de fréquence non linéaire dans une cavité PhC à notre connaissance. De plus, nous montrons un mécanisme de contrôle dynamique pour atteindre systématiquement l'optimum de conversion possible pour une cavité donnée.

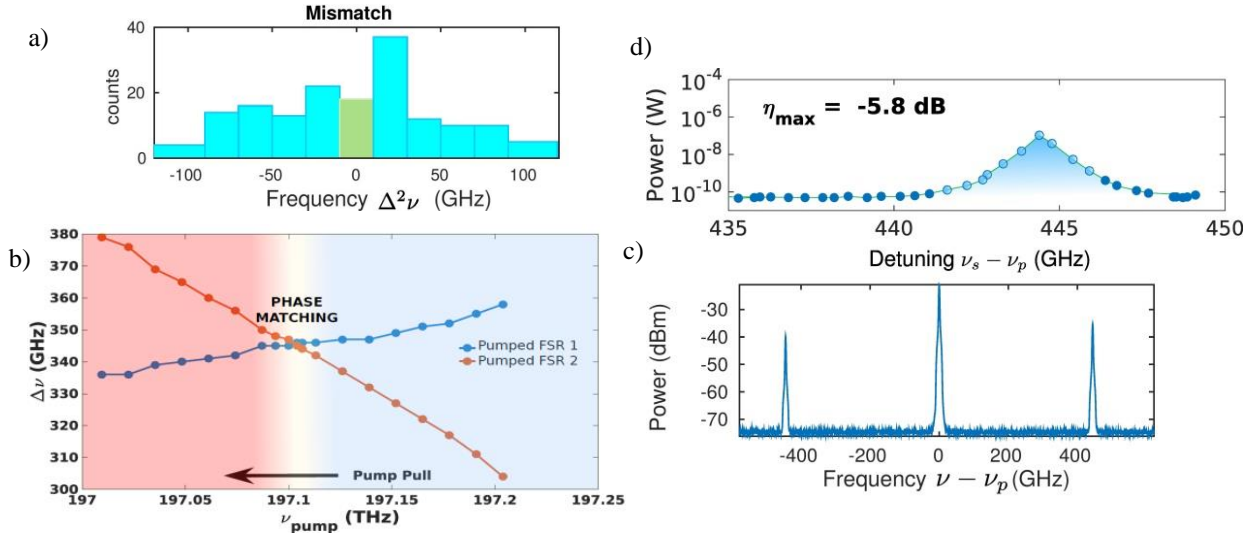


**Figure 1:**(a) Schéma et photo MEB d'une cavité bichromatique (b)Simulation du profil longitudinal des premiers modes d'une cavité bichromatique présentant un potentiel effectif parabolique (c) Simulation des trois premiers modes de la cavité montrant la répartition non homogène de l'énergie

## 2. Contrôle dynamique de la dispersion d'une cavité PhC

Le design de la cavité bichromatique s'appuie sur la réalisation d'un potentiel parabolique effectif pour les photons, par analogie avec l'oscillateur harmonique quantique, en superposant deux réseaux de différentes périodicités le long d'une guide PhC [4]. Il en résulte une cavité dont les modes possèdent non seulement des facteurs  $Q$  élevés ( $>10^5$ ) et des volumes modaux proche de la limite de diffraction mais sont équispacés en fréquence, condition nécessaire pour satisfaire les conditions d'accord de phase des procédés non linéaires.

Ces cavités sont fabriquées en InGaP qui est un matériel prometteur pour l'optique non linéaire grâce à ses coefficients Kerr élevés et sa grande bandgap qui empêche l'absorption non linéaire à deux photons.



**Figure 2:**(a) Désalignement des ISL de 64 cavités à cause du désordre issu de la fabrication (b) Observation expérimentale de l'ajustement de la dispersion de la cavité jusqu'à l'accord de phase (c) Conversion de fréquence non linéaire en fonction de la fréquence de la pompe (d) Spectre correspondant à l'efficacité de conversion de  $-6 \text{ dB}$  pour une puissance de pompe continue couplée au guide estimée à  $100 \mu\text{W}$

En pratique, les performances des PhC sont toujours très sensibles aux imperfections de fabrication. Le désordre structurel cause des fluctuations dans la position des résonances et modifie la dispersion : deux ISL consécutifs ne sont plus strictement identiques. Il en résulte une baisse significative de l'efficacité non linéaire. Nous montrons malgré cela qu'il est possible d'ajuster la dispersion après fabrication en exploitant la non homogénéité de la répartition spatiale des modes optiques. En effet, les modes d'un oscillateur harmonique sont décrits par des fonctions de Hermite Gauss, qui ne se superposent pas parfaitement. Pomper un mode particulier revient à créer un gradient de température localisé dans la cavité. Les modes adjacents ne sont pas soumis à la même augmentation de température et donc à la même modification de l'indice optique effectif par effet thermo-optique. Cette technique d'ajustement dynamique permet donc de compenser un mauvais alignement initial des résonances, comme sur la figure 2b où une différence initiale de  $53 \text{ GHz}$  est compensée pour atteindre le point d'accord de phase. La dispersion de la cavité pompée est mesurée directement au moyen d'une technique d'OCT à source à balayage. Nous montrons qu'il est possible de compenser un désalignement de  $80 \text{ GHz}$  avec des résonances d'une largeur de  $1 \text{ GHz}$  ( $Q > 100\,000$ ).

## 3. Conversion de Fréquence Non Linéaire

Cette technique est utilisée pour démontrer expérimentalement qu'il est possible d'atteindre systématiquement l'accord de phase pour une cavité donnée. Un signal de pompe et une sonde continus sont injectés au moyen d'un guide d'accès couplé à la cavité. Nous n'avons eu recours à aucun étage d'amplification de manière à ce que la puissance dans le guide est restée inférieure à  $1 \text{ mW}$  pour la

pompe et 10  $\mu\text{W}$  pour le signal. Nous avons observé une conversion de fréquence avec une efficacité maximale de -6 dB en régime stimulé avec une pompe continue de 100  $\mu\text{W}$ . Ce résultat constitue un record d'efficacité dans les PhC qui était auparavant de -24 dB [5]. Il constitue une avancée importante vers un oscillateur paramétrique PhC intégré avec un seuil de moins de 100  $\mu\text{W}$ , ou lorsqu'utilisé sous le seuil, d'une source ultra-efficace et ultra-brillante de paires de photons.

## References

- [1] A. C. Turner, M. A. Foster, A L. Gaeta, M. Lipson, "Ultra-low power parametric frequency conversion in a silicon microring resonator," *Opt. Express* 16, 4881-4887 (2008)
- [2] C. Reimer, M. Kues, P. Roztock, B. Wetzel, F. Grazioso, B. E. Little, S. T. Chu, T. Johnston, Y. Bromberg, L. Caspani, D. J. Moss, R. Morandotti, Generation of multiphoton entangled quantum states by means of integrated frequency combs *Science* 351,1176-1180, (2016)
- [3] S. Combrié, G. Lehoucq, G. Moille, A. Martin, A. De Rossi," Comb of high-Q Resonances in a Compact Photonic Cavity" ,*Laser & Photonics Reviews*, **11**, 1700099. (2017)
- [4] F. Alpeggiani, L. C. Andreani, D. Gerace, "Effective bichromatic potential for ultra-high Q-factor photonic crystal slab cavities" ,*Applied Physics Letters*, **107**, 261110 (2015)
- [5] A. Martin, G. Moille, S. Combrié, G. Lehoucq, T. Debuisschert, J. Lian, S. Sokolov, A. P. Mosk, A. de Rossi, "Triply-resonant Continuous Wave Parametric Source with a Microwatt Pump" ,**ArXiv:1602.04833**