



**HAL**  
open science

# Amélioration du mélange a quatre ondes dans des guides à cristaux photoniques en gain dans un régime de lumière lente et évaluation des transmissions a 40 Gbit/s

Kevin Lenglé, Laurent Bramerie, Mathilde Gay, Jean-Claude Simon, Sylvain Combrié, Pierre Colman, Alfredo de Rossi

## ► To cite this version:

Kevin Lenglé, Laurent Bramerie, Mathilde Gay, Jean-Claude Simon, Sylvain Combrié, et al.. Amélioration du mélange a quatre ondes dans des guides à cristaux photoniques en gain dans un régime de lumière lente et évaluation des transmissions a 40 Gbit/s. Optique Marseille 2011 - 30è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2011), Jul 2011, Marseille, France. pp.87-89. hal-00720546

**HAL Id: hal-00720546**

**<https://hal.science/hal-00720546v1>**

Submitted on 24 Jul 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# AMELIORATION DU MELANGE A QUATRE ONDES DANS DES GUIDES A CRISTAUX PHOTONIQUES EN GaInP DANS UN REGIME DE LUMIERE LENTE ET EVALUATION DES TRANSMISSIONS A 40 GBIT/S

Kévin Lenglé<sup>1,2</sup>, Laurent Bramerie<sup>1,2</sup>, Mathilde Gay<sup>1,2</sup>, Jean-Claude Simon<sup>1,2</sup>, Sylvain Combricé<sup>3</sup>, Pierre Colman<sup>3</sup>, Alfredo de Rossi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université européenne de Bretagne, 5 Boulevard Laënnec, 35000 Rennes, France

<sup>2</sup> CNRS Foton (UMR 6082), BP 80518, 22305 Lannion cedex, France

<sup>3</sup>Thales Research and Technology, 1 Avenue A.Fresnel, 91767 Palaiseau, France

lengle@enssat.fr

## RÉSUMÉ

Dans ce papier nous comparons les efficacités de mélange à quatre ondes dans des guides à cristaux photoniques en régime de transmission standard et de lumière lente. Nous évaluons également la possibilité de transmettre un signal télécom à 40 Gbit/s dans ces deux régimes de transmission.

**MOTS-CLEFS :** *guides à cristaux photoniques III-V, mélange quatre ondes, lumière lente*

## 1. INTRODUCTION

Les guides à cristaux photoniques (CPh) basés sur les matériaux III-V sont très prometteurs pour l'intégration de circuits optiques. Ils suscitent un grand intérêt depuis plusieurs années. L'empreinte du composant et le budget de puissance requis sont un ordre de grandeur meilleur que les autres technologies en raison des effets combinés du fort confinement et de la vitesse de groupe réduite du mode guidé. Dans [1] nous démontrions une conversion de fréquence provenant de l'effet Kerr dans ce type de guide sans effet relatif à la dynamique des porteurs ou aux effets thermiques, malgré le taux de répétition élevé (de 1 à 10 GHz). Dans cet article nous étudions le mélange à quatre ondes (FWM) dans des guides à cristaux photoniques en matériaux III-V en relation avec la dispersion et, en particulier, dans le régime de lumière lente. Nous obtenons ainsi une comparaison en termes d'efficacité et de bande passante de la conversion de fréquence non linéaire. Enfin, nous démontrons la transmission de signaux à 40 Gbit/s dans ces deux régimes de transmission.

## 2. LE COMPOSANT ETUDIE

Les échantillons utilisés pour les expérimentations sont fabriqués par Thalès TRT et consistent en des membranes de GaInP d'environ 1,5 mm de long. Le matériau a été choisi pour sa bande interdite ( $E_g \sim 1.9\text{eV}$ ) qui permet de limiter l'absorption à deux photons aux longueurs d'ondes télécoms. Plus de détails sur cette structure peuvent être trouvés dans la référence [2]. L'un des problèmes à résoudre concerne le couplage optique dans ces très petits guides à CPh ; une structure adaptative de mode a donc été développée [2].

L'un des composants étudiés présente des caractéristiques de lumière lente dont l'origine, dans les CPh, provient du mode de confinement spécifique aux CPh, à savoir les réflexions cohérentes de Bragg. Il s'en suit une dispersion très différente de celle des guides à confinement par réflexion totale interne. En particulier, des points à vitesse de groupe nulle sont communément obtenus dans ces guides. De plus, il est possible de modifier la dispersion en agissant sur le dessin de la structure et d'obtenir une dispersion ultra plate du mode TE, et une forte augmentation de la densité locale du champ proportionnelle à l'inverse de la vitesse de groupe. Cela entraîne une diminution du seuil des effets non linéaires dépendants de l'intensité tels que les effets Kerr [3].

### 3. CONFIGURATION EXPERIMENTALE

La Fig.1 montre le dispositif expérimental de la caractérisation du FWM dans les guides à CPh. Le signal de pompe est un signal impulsionnel de 100 ps à un taux de répétition de 500 MHz obtenu par la modulation d'un signal continu à travers un modulateur Mach Zehnder. Ce signal est couplé avec un laser continu accordable qui joue le rôle de la sonde. L'efficacité du FWM étant dépendante de la polarisation entre la pompe et la sonde, chaque signal est préalablement contrôlé en polarisation. Les signaux sont ensuite injectés dans le guide par le biais d'une fibre optique microlentillée (diamètre de mode à  $1/e^2$  de 2  $\mu\text{m}$ ). La lumière transmise est ensuite collectée en utilisant une seconde fibre microlentillée identique à la première et mesurée à l'aide d'un analyseur de spectre optique. Les pertes totales de couplage sont de 15 dB, correspondant à une transmission de 3.2 %. Pour chaque longueur d'onde de pompe, nous mesurons l'efficacité du FWM en fonction du désaccord spectral, défini comme  $\Delta\lambda = \lambda_{\text{sonde}} - \lambda_{\text{pompe}}$ , de manière à obtenir une carte d'efficacité.

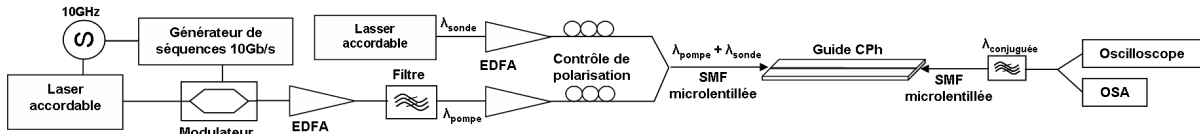


Fig. 1 : Dispositif expérimental de la caractérisation du FWM dans les guides à CPh.

### 4. CARACTERISATION DU MELANGE A QUATRE ONDES

Nous considérons ici le FWM dégénéré, cas dans lequel deux photons pompe interagissent avec un photon sonde via la susceptibilité d'ordre 3 du matériau afin de créer un quatrième photon à une longueur d'onde fixée par le désaccord spectral, à  $\lambda_{\text{généérée}} = \lambda_{\text{pompe}} - \Delta\lambda$ .

Les Fig. 2 a) et 2 c) présentent la dispersion de vitesse de groupe (GVD) ainsi que l'évolution de l'indice de groupe en fonction de la longueur d'onde mesurée par une mesure de décalage de phase pour les deux types de guides considérés dans ce papier [4]. Nous constatons bien un régime de transmission standard, avec un  $n_g$  qui évolue entre 5 et 8 sur la gamme spectrale de travail, et un régime de transmission en lumière lente, avec un  $n_g$  d'environ 17, entre 1535 nm et 1538 nm.

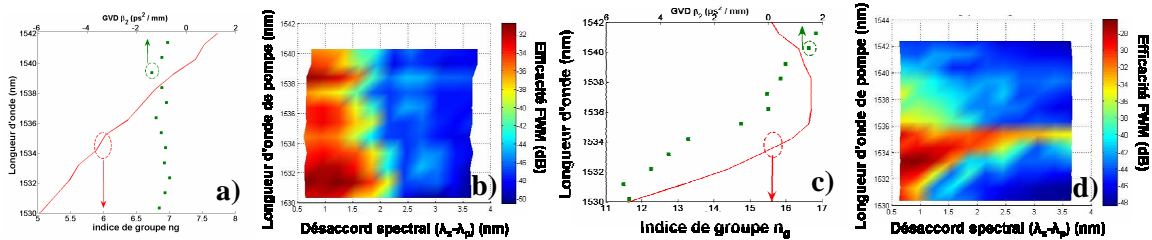


Fig. 2 : Profils d'indice de groupe et de dispersion de vitesse de groupe des guides à cristaux photoniques étudiés et leur carte de mélange à quatre ondes associée.

Les Fig. 2 b) et 2 d) présentent les cartes d'efficacité de FWM obtenues dans ces guides en fonction de la longueur d'onde de pompe et du désaccord spectral. Nous définissons l'efficacité de conversion de fréquence par le rapport de la puissance moyenne de FWM en sortie sur la puissance moyenne de sonde en entrée de guide.

Les résultats montrent une efficacité maximum de FWM de -31 dB pour un régime de transmission standard. Il faut noter que cette valeur prend en compte les pertes fibre à fibre. Dans le composant présentant un régime de transmission en lumière lente, l'efficacité maximale mesurée est de -27 dB, cette mesure confirme que l'augmentation de l'indice de groupe exacerbe le FWM. On constate également que pour un régime standard, la bande passante maximale de conversion à 6 dB est de 2 nm tandis que pour le régime de lumière lente elle est de 3.5 nm. Cependant le régime de lumière lente paraît moins tolérant à la position de la longueur d'onde de pompe. En effet, on n'observe pas de conversion de fréquence dans le régime de lumière lente pour une longueur d'onde de pompe supérieure à 1536 nm. Ceci peut s'expliquer par la dispersion d'ordre 2 qui est normale ( $\beta_2 > 0$ ) et augmente le désaccord de phase pour des longueurs d'onde de pompe supérieures à 1536 nm. En effet, le FWM dégénéré est un processus non linéaire paramétrique gouverné par la

condition d'accord de phase qui dépend dans ce cas des ordres pairs des paramètres de dispersion évalués à la longueur d'onde pompe, notamment à cause du caractère symétrique du processus de FWM. Lamont et al. [5] ont constaté que pour avoir du FWM, il est préférable d'avoir une dispersion d'ordre 2 faible et anormale ( $\beta_2 < 0$ ), ce que notre étude semble confirmer. On constate en effet, dans le régime de lumière lente, que pour une longueur d'onde de pompe ayant un  $\beta_2$  proche de zéro, nous obtenons une efficacité et une bande passante à 6 dB de conversion maximales. Par ailleurs, on observe de la conversion quelque soit la longueur d'onde de pompe dans le régime de transmission standard car la dispersion d'ordre 2 est très légèrement négative sur toute la plage.

## 5. EVALUATION DES PERFORMANCES DE TRANSMISSION DE SIGNAUX RZ A 40 GBIT/S

Nous avons également analysé la possibilité de transmettre un signal RZ à 40 Gbit/s dans un guide à CPh. Dans le même guide, nous avons évalué les performances dans le régime de transmission standard ainsi que dans le régime de lumière lente.

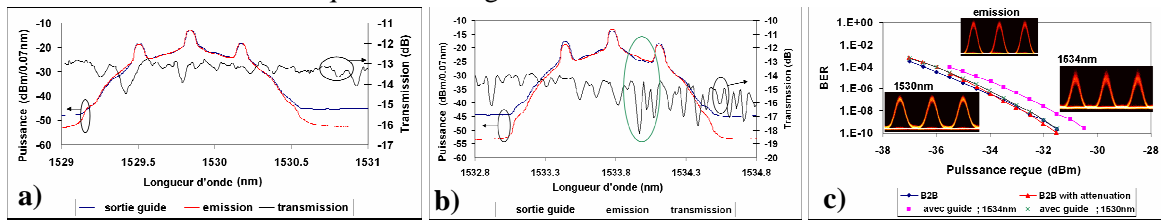


Fig. 3 : Spectres en sortie de guide à cristaux photoniques et mesures de BER à ~1530 nm et à ~1534 nm.

Les Fig. 3 a) et 3 b) montrent les spectres (rés. 0.07 nm) d'émission et de réception de signal RZ à 40 Gbit/s ainsi que la transmission fibre à fibre (rés. 0.01 nm). Le spectre a) est réalisé pour une longueur d'onde de pompe de 1529.8 nm, dans un régime de transmission standard et le spectre b) à 1533.8 nm, dans un régime de lumière lente. La Fig. 3 c) montre l'évaluation du taux d'erreur binaire avec les diagrammes de l'œil associés dans les deux régimes de transmission. Nous ne mesurons pas de pénalité dans le régime de transmission standard, tandis qu'il y a 1 dB de pénalité (à un taux d'erreur de  $10^{-9}$ ) dans le régime de lumière lente. Nous attribuons cette pénalité aux perturbations de la transmission montrées sur les spectres b) en régime de transmission lente. Ces fluctuations de transmission sont expliquées par une plus grande sensibilité en lumière lente aux pertes de diffusion induites par les défauts du réseau liés à la résolution de la photo-inscription [6].

## CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons démontré l'amélioration de l'efficacité du FWM ainsi que sa bande passante de conversion dans un guide à CPh en régime de lumière lente. Ceci montre que maîtriser la dispersion dans les guides CPh est crucial pour réaliser de la conversion de fréquence à haute cadence. Nous avons également montré la possibilité de transmettre un signal RZ à 40 Gbit/s sans pénalité en régime standard et avec seulement 1dB de pénalité à  $10^{-9}$  dans le régime de lumière lente. Ces travaux ont partiellement été financés par le projet européen Copernicus (249012).

## RÉFÉRENCES

- [1] K.Lengle, L.Bramerie, S.Combrié, A. Akrouf, A. de Rossi, J.C. Simon, „Conversion de longueur d'onde à haut taux de répétition par mélange quatre ondes dans un guide à cristaux photoniques“, JNOG 2010
- [2] Q.V Tran, S.Combrié, P.Colman, A. de Rossi, „Photonic crystal membrane waveguides with low insertion losses“, App. Phys. Lett., 95, 061105 (2009)
- [3] T. Baba, “Slow light in photonic crystals”, Nature Photonics, 2, 465 (2008).
- [4] S.Combrié, A. de Rossi, L. Morvan, S. Tonda, S. Cassette, D. Dolfi, A. Talneau, „Time-delay measurement in singlemode, low-loss photonic crystal waveguides“, Electron. Lett. 42, 86 (2006)
- [5] M. Lamont, B. Kuhlmeier, C. Martijn de Sterke, „Multi order dispersion engineering for optimal four wave mixing“, Opt. Exp., vol 16, no 10 (2008)
- [6] J.McMillan, M.Yu, D.Kwong, C.Wong, „Observations of four wave mixing in slow light silicon photonic crystal waveguides“, Opt. Exp., vol 18, issue 15 (2010)