# CONVERSION DE FRÉQUENCE ET AMPLIFICATION SENSIBLE À LA PHASE DANS DES GUIDES LUMIÈRE LENTE

**Aude Martin**[1,2]**, Sylvain Combrié**[2] **et Alfredo de Rossi** [2]

[1] [1] *Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS-UPR20, Marcoussis, France*
[2] *Thales Research and Technology, Palaiseau, France*

aude.martin@lpn.cnrs.fr

**RÉSUMÉ**

Nous avons étudié le mélange à quatre ondes et la conversion de fréquence entre un signal de pompe impulsionnel à 10 GHz et un signal de sonde continu dans un guide à cristaux photonique en Gallium Indium Phosphide (GaInP). Nous avons également démontré les propriétés d'amplification sensible à la phase dans ces guides.

**MOTS-CLEFS :** *Mélange à quatre ondes; amplification sensible à la phase; cristaux photonique*

## 1. INTRODUCTION

Les guides cristaux photoniques à ligne de défaut (W1) sont des outils extrêmement performants pour réaliser des applications non linéaires telles que la compression d'impulsions [1], le stockage tout optique [2] ou encore la commutation tout optique [3]. En travaillant sur les paramètres du guide, il est possible de ralentir la lumière pour augmenter les interactions lumière-matière et de contrôler la dispersion pour réaliser la condition de phase qui permet le mélange à quatre ondes. Le mélange à quatre ondes a été démontré dans des guides en silicium [4],[5] et en GaInP [6]. On présente les efficacités de conversion pour des guides W1 en GaInP avec une transmission améliorée et une zone plate large qui permettent une grande accordabilité du phénomène.

## 2. CARACTÉRISATION LINÉAIRE DU GUIDE LUMIÈRE LENTE

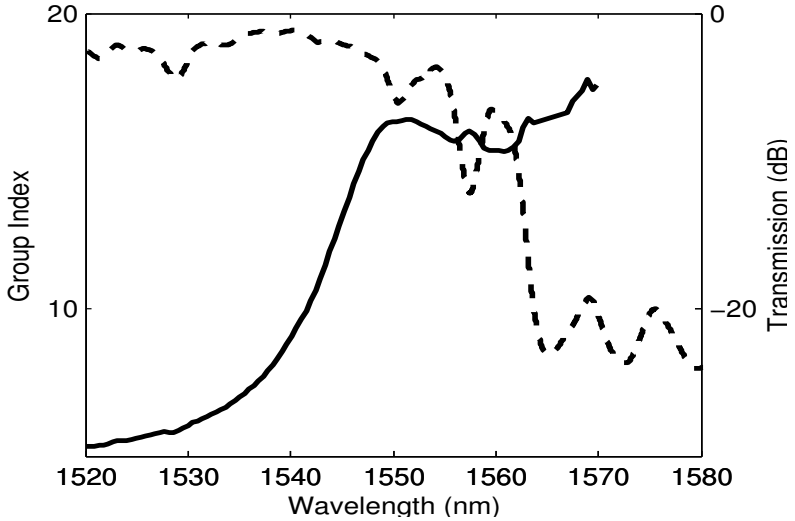


FIGURE 1 : Dispersion (solide) et transmission (pointillés) du guide d'ondes.

L'échantillon caractérisé long de 1.5 mm est une membrane de 170 nm d'épaisseur dont le dessin a été optimisé [7] afin d'obtenir une dispersion plate du mode TE et une forte augmentation de la densité

locale du champ proportionelle à l'inverse de la vitesse de groupe. La Figure 1 présente la caractérisation linéaire de l'échantillon avec la méthode d'interférométrie optique faible cohérence.

## 3. AMPLIFICATION PARAMÉTRIQUE POMPE DÉGÉNÉRÉE

L'amplification paramétrique est un processsus non linéaire du troisième ordre dans lequel une onde de faible puissance appelée sonde interagit avec une onde plus puissante appelée pompe pour générer, par effet Kerr, une troisième onde appelée idler de fréquence symétrique au signal par rapport à la pompe. Cette amplification a lieu sans conservation de l'énergie dans le milieu Kerr. L''efficacité de conversion de cette amplification est défini comme le rapport de la puissance de sortie de l'idler sur la puissance incidente de signal [8] :

$$\eta_{FWM} = \frac{\bar{P}_{idler}(out)}{\bar{P}_{probe}(in)} = \left(\frac{\gamma \bar{P}_{pump}}{g} sinh(gL)\right)^2 e^{-\alpha L} \tag{1}$$

avec le gain paramétrique, $g = \sqrt{(\gamma P_0 r)^2 - (\kappa/2)^2}$, le désaccord de phase, $\kappa$, la longueur de l'échantillon, $L$, le paramètre non linéaire, $\gamma$ et le coefficient d'absorption, $\alpha$. Le signal impulsionnel de pompe (6.5 ps) généré par un laser fibré à verrouillage de modes est modulé à 10 GHz et le signal est continu et accordable.

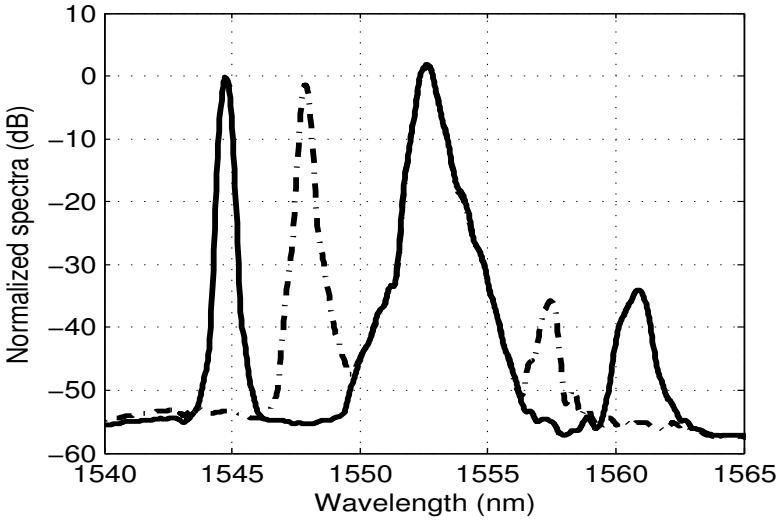


FIGURE 2 : Spectres en sortie d'échantillon pour $\lambda_{pump} = 1552.72$nm. Les deux courbes représentées (solide et pointillés) correspondent à deux longueurs d'onde en entrée. Le spectre continu correspond à un désaccord spectral de 8 nm.

En Figure 2 , on présente les spectres obtenus sur l'analyseur de spectre optique en sortie d'échantillon pour $\lambda_{pump} = 1552.72$ nm et pour deux longueurs d'ondes de sonde. Les efficacités de conversion présentées en Figure 3 tiennent compte du recouvrement spectral du signal impulsionnel par rapport au signal continu.

Les résultats de cette expérience menée pour deux fréquences de pompes différentes et différents écarts spectral pompe-sonde est représenté en Figure 3. On observe que pour $\lambda_{pump} = 1552.72$ nm, le spectre de gain est plus large que pour $\lambda_{pump} = 1551.64$ nm mais que dans cette dernière configuration, il est possible d'atteindre une efficacité de conversion de -7 dB.

## 4. VERS L'AMPLIFICATION SENSIBLE À LA PHASE

Dans le cas de l'amplification sensible à la phase, le signal et l'idler sont tous les deux présents en entrée de l'amplificateur et sont bloqués en phase. Les interférences alternativement constructives

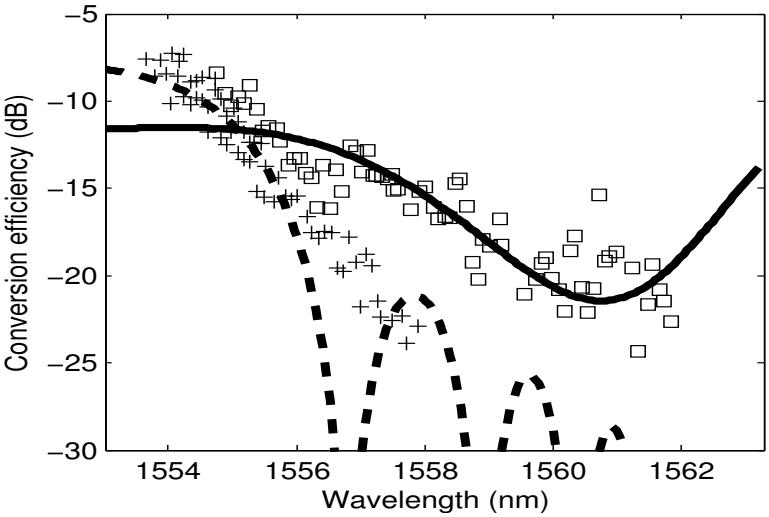


FIGURE 3 : Spectres d'efficacité de conversion pour $\lambda_{pump} = 1551.64$ nm (étoile) et $\lambda_{pump} = 1552.72$nm (carré) en fonction de la longueur d'onde du signal. Les résultats théoriques attendus sont représentés par les lignes continue et pointillée.

et destructives selon la phase relative entre le signal généré par mélange à quatre onde et le signal en entrée amplifient ou atténuent le signal. L'efficacité de ces guides pour cette application a également été démontrée.

## CONCLUSION

Nous avons démontré des niveaux d'efficacité de conversion élevés (plus de 7 dB) sur un large spectre (plus de 8 nm de désaccord) pour un guide lumière lente en GaInP. L'utilisation de ce type de guide pour des applications d'amplification sensible à la phase seront également présentées.

## RÉFÉRENCES


[1] P. Colman, C. Husko, S. Combrié, I. Sagnes, C. W. Wong, and A. De Rossi, *Nat. Phot.*, vol. 4, n°12, pp.862-868, 2010.

[2] J. T. Mok, and B. J. Eggleton, *Nature*, vol. 433, n°7028, pp.811-812, 2005.

[3] K. Nozaki, T. Tanabe, A. Shinya, S. Matsuo , T. Sato, H .Taniyama, and M. Notomi, *Nat. Phot.*, vol. 4, n°7, pp.477-483 ,2010.

[4] J.F. Mcmillan, M. Yu, D.L Kwong, and C.W. Wong,"Observation of four-wave mixing in slow-light silicon photonic crystal waveguides," *Opt. Express*, vol. 18 , n°15, pp.15484-15497, 2010.

[5] C. Monat, B. Corcoran, M. Ebnali−Heidari, C. Grillet, J. Eggleton, T.P. White, L. O′Faolain, and T.F. Krauss,"Slow light enhancement of nonlinear effects in silicon engineered photonic crystal waveguides,"*Opt. Express*,vol. 17, n°4, pp. 2944, 2009.

[6] V. Eckhouse, I. Cestier, G. Eisenstein, S. Combrié, A. De Rossi, M. Santagiustina, C.G. Someda, and G.Vadalà, " Highly efficient four wave mixing in GaInP photonic crystal waveguides," *Opt. Letters*, vol. 35, n°9, pp.1440-1442, 2010.

[7] P. Colman, S. Combrié, G. Lehoucq, and A. De Rossi,"Control of dispersion in photonic crystal waveguides using group symmetry theory," *Opt. express*, vol. 20, n°12, pp.13108-13114, 2012.

[8] G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Elsevier, 2006.