



## **Etude numérique de l'impact du filtrage optique sur les propriétés régénératives d'un convertisseur de longueur d'onde interférométrique en configuration différentielle**

Minh Nguyet Ngo, Quang Trung Le, Vincent Roncin, Mathilde Gay, Laurent Bramerie, Jean-Claude Simon

### **► To cite this version:**

Minh Nguyet Ngo, Quang Trung Le, Vincent Roncin, Mathilde Gay, Laurent Bramerie, et al.. Etude numérique de l'impact du filtrage optique sur les propriétés régénératives d'un convertisseur de longueur d'onde interférométrique en configuration différentielle. SFO. 28èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2009), Jul 2009, Lille, France. SFO, pp.348-350, 2009, <http://optiquelille2009.univ-lille1.fr/>. <hal-00490843>

**HAL Id: hal-00490843**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00490843>**

Submitted on 10 Jun 2010

**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.

# ETUDE NUMERIQUE DE L'IMPACT DU FILTRAGE OPTIQUE SUR LES PROPRIETES REGENERATIVES D'UN CONVERTISSEUR DE LONGUEUR D'ONDE INTERFEROMETRIQUE EN CONFIGURATION DIFFERENTIELLE

Minh Nguyet Ngo, Quang Trung Le, Vincent Roncin, Mathilde Gay, Laurent Bramerie et Jean-Claude Simon

Laboratoire FOTON, UMR 6082, Université de Rennes 1, ENSSAT, 6 rue de Kerampont, BP 80518, 22305 Lannion Cedex

ngo@enssat.fr

## RESUME

Dans cet article, nous présentons l'étude numérique des propriétés régénératives d'un convertisseur de longueur d'onde interférométrique à base d'amplificateurs optiques à semiconducteurs, en configuration différentielle. Nous avons démontré qu'en optimisant le filtrage optique, nous pouvons améliorer la qualité du signal en sortie du convertisseur en réduisant notamment l'effet de « patterning » lié à la réponse lente de l'amplificateur optique à semiconducteurs.

**MOTS-CLEFS :** *Convertisseurs en longueur d'onde ; amplificateurs optiques à semiconducteurs ; interféromètres différentiels ; filtrage décalé.*

## 1. INTRODUCTION

Récemment, une conversion de longueur d'onde à 100 Gbit/s a été réalisée en associant un amplificateur optique à semiconducteurs (SOA pour *Semiconductor Optical Amplifier* en anglais) et un interféromètre différentiel (DI pour *Delayed Interferometer*) [1]. Cette technique a été aussi utilisée pour régénérer le signal [2]. Par contre, ces performances sont fortement dépendantes du temps de réponse des SOA, limitant ainsi son utilisation à très haut débit. Il a été montré expérimentalement qu'en associant cette technique à un filtrage optique décalé vers le bleu, il est possible de travailler à des débits supérieurs à 100 Gbit/s [3]. Dans ce papier, nous étudions numériquement un convertisseur de longueur d'onde associant un SOA et un DI. Nous regarderons plus particulièrement les propriétés régénératives. Nous démontrons que l'optimisation du filtrage optique entre le SOA et le DI, permet d'améliorer l'efficacité de ce dispositif pour la régénération.

## 2. MODELES UTILISES POUR L'ETUDE NUMERIQUE

Le dispositif de conversion de longueur d'onde étudié dans ce papier est schématisé par la figure 1. Le signal de contrôle portant les données est un signal RZ de type OOK codé à 40Gbit/s avec une séquence PRBS de  $2^7-1$  bits. La longueur d'onde de ce signal est de 1556 nm ( $\lambda_1$ ) et celle de la sonde continue est de 1547 nm ( $\lambda_2$ ). A la réception, nous détectons le signal avec une photodiode possédant une bande passante de 50 GHz en supposant que le bruit thermique et le bruit grenaille sont négligeables devant le bruit optique en excès. La qualité du signal après conversion est analysée sur le diagramme de l'œil avec les critères de facteur de qualité sur l'amplitude et la gigue temporelle des impulsions.

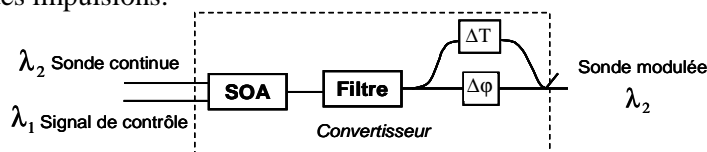


Fig. 1 : Structure du convertisseur de longueur d'onde étudié.

Le modèle du SOA utilisé est celui présenté dans la référence [4]. Les paramètres physiques du SOA sont choisis de telle manière que les réponses statique et dynamique du gain en fonction de

la puissance du signal s'accordent avec celles mesurées expérimentalement sur un des SOA à notre disposition. Le SOA présente un gain petit-signal de 27,5 dB, une énergie de saturation de 0,5 pJ, un pic de gain à 1550 nm, une largeur à mi-hauteur du spectre de gain de 14 nm, un temps de récupération du gain (de 10% à 90% de sa compression) de 30 ps et un facteur de couplage phase-amplitude de 5. En sortie du SOA, nous obtenons la sonde modulée par la modulation croisée de gain dans le SOA. Ce signal présente une polarité inversée par rapport au signal de contrôle en entrée du SOA. Un filtre optique est placé en sortie du SOA et devant le DI pour rejeter le signal de contrôle et sélectionner le signal de la sonde modulée. Ce filtre est de type gaussien d'ordre 2 et possède une largeur à mi-hauteur de 3 nm. Sa longueur d'onde centrale ainsi que sa largeur sont variables ce qui permettront d'étudier l'impact du filtrage optique sur la qualité du signal converti. En traversant le DI, la sonde modulée en sortie du convertisseur est inversée pour retrouver la même polarité que le signal de contrôle initial. Le modèle utilisé pour le DI est présenté dans [1]. Pour cette étude, nous considérons des coupleurs parfaitement équilibrés dans la structure de DI. Le retard différentiel  $\Delta T$  est choisi inférieur au temps bit pour conserver le codage RZ OOK du signal. Le choix du déphasage  $\Delta\phi$  introduit entre deux bras de l'interféromètre est détaillé dans la partie 3.

### 3. CONVERTISSEUR DE LONGUEUR D'ONDE PRESENTANT DES PROPRIETES REGENERATIVES

Le point de fonctionnement du convertisseur de longueur d'onde est réglé de la manière suivante : les puissances du signal de contrôle et de la sonde continue en entrée du SOA doivent être ajustées pour obtenir un déphasage de  $\pi$  entre les symboles « 0 » et les symboles « 1 » sur le signal de sonde en sortie du SOA. Cette modulation de phase est obtenue grâce au couplage phase-amplitude dans le SOA. Le déphasage entre les 2 bras de DI est choisi pour obtenir une interférence destructive si le symbole est « 0 ». Un symbole « 1 » arrivant du bras court de l'interféromètre rend la porte passante et le symbole « 1 » arrivant du bras long rend la porte bloquante. En sortie, le signal converti est à la nouvelle longueur d'onde et de même polarité que le signal de contrôle initial.

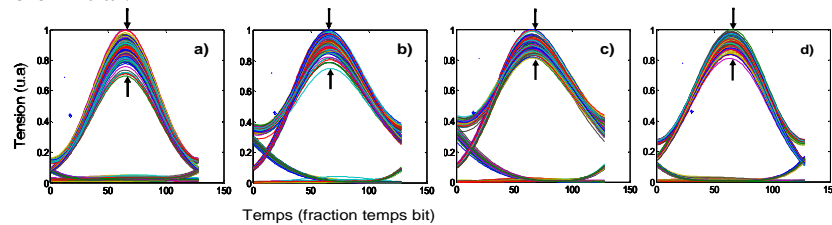


Fig. 2 : Diagrammes de l'œil a) du signal de contrôle en entrée du convertisseur, b) du signal de sonde en sortie du convertisseur avec le filtre centré sur la sonde à 1547 nm, c) en sortie avec le filtre décalé à 1546 nm et d) en sortie avec le filtre décalé à 1546 nm et un temps de réponse du SOA de 5 ps .

Dans un premier temps, le filtre optique est centré sur la sonde à 1547 nm et de largeur 3 nm. Les diagrammes de l'œil du signal de contrôle en entrée du convertisseur et du signal de sonde en sortie sont présentés sur les figures 2 a) et 2 b). Le signal de contrôle en entrée du convertisseur est dégradé par ajout de l'émission spontanée amplifiée et il présente des fluctuations d'intensité sur les symboles « 1 ». Nous observons une légère compression du bruit d'intensité sur le niveau « 1 ». Le taux d'extinction mesuré sur le signal initial est de 15,3 dB et sur le signal en sortie du convertisseur de 18,7 dB. Les facteurs de qualité en amplitude correspondants sont de 12,5 ( $Q_a^2$  correspondant 22 dB) et de 15,8 ( $Q_a^2$  correspondant 24 dB) respectivement. Notons ici que ceci est un facteur de qualité global en amplitude car il prend en compte non seulement du bruit mais aussi de l'effet de séquence. La compression de bruit sur le niveau « 1 » est possible grâce à la saturation du gain du SOA et à la fonction de transfert interférométrique non-linéaire. L'amélioration du taux d'extinction est aussi obtenue grâce à l'interféromètre DI. Cependant le convertisseur de longueur d'onde souffre d'un effet de séquences lié à la réponse lente du SOA car le temps de récupération 10%-90% du gain du SOA est plus long que le temps bit au débit de 40 Gbit/s (30 ps par rapport à 25 ps). Si nous décalons le filtre de 1 nm vers le bleu (centré sur 1546 nm), nous obtenons cette fois-ci le diagramme de l'œil montré sur la figure 2 c). Nous observons une meilleure compression

du bruit sur le niveau «1 ». Dans ce cas, le taux d'extinction est de 18,4 dB et le facteur de qualité en amplitude est nettement amélioré : il est de 22,3 ( $Q_a^2$  correspondant 27 dB).

#### 4. FILTRAGE OPTIQUE OPTIMAL POUR AMELIORER LA QUALITE DU SIGNAL

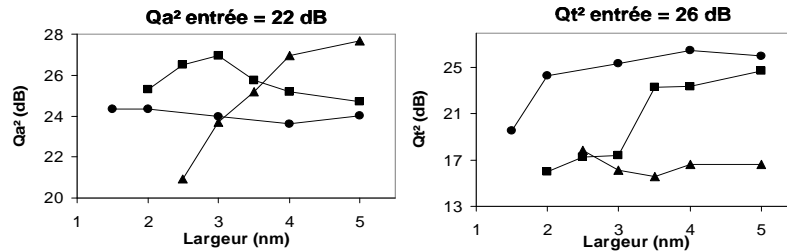


Fig. 3: Facteurs de qualité en fonction de largeur de filtre pour un filtrage centré sur la sonde (cercles), pour un filtrage décalé 1 nm vers le bleu (carrées), pour un filtrage décalé 2 nm vers le bleu (triangles)

La largeur du filtre ainsi que sa position sont ensuite ajustées. Les évolutions des facteurs de qualité  $Q_a^2$  et  $Q_t^2$  sont données sur la figure 4. Les résultats montrent clairement que le filtrage décalé vers les basses longueurs d'onde permet d'améliorer la qualité du signal en termes de bruit d'intensité. Avec un  $Q_a^2$  de 22 dB en entrée du convertisseur, il est possible d'obtenir un  $Q_a^2$  de 27 dB sur le signal en sortie. Néanmoins, comme nous avons pu observer sur les diagrammes de l'œil, le filtrage décalé entraîne aussi une dégradation de la qualité temporelle du signal. Le filtre décalé de 2 nm peut donner un bon facteur de qualité en amplitude ( $Q_a^2$  proche de 28 dB dans le cas d'un filtre de largeur 5 nm) sur le signal en sortie mais en contre partie, une qualité temporelle du signal fortement dégradée ( $Q_t^2$  environ 16 dB par rapport à 26 dB du signal d'entrée). Cette fermeture temporelle du diagramme de l'œil est due d'une part au transfert du bruit d'amplitude en pseudo gigue temporelle à travers un dispositif dont la fonction de transmission est non-linéaire ; et d'autre part au temps de recouvrement lent du gain. Si le temps de réponse du SOA était de 5 ps, le diagramme de l'œil pourrait être beaucoup plus ouvert temporellement comme montré sur la figure 2 d). Dans notre cas, le filtre de largeur 3,5 nm et décalé de 1 nm vers le bleu apparaît comme la solution ayant le meilleur compromis entre l'amélioration de  $Q_a^2$  et la dégradation de  $Q_t^2$ . Avec ce filtre, nous obtenons une amélioration de 4 dB pour la valeur de  $Q_a^2$  et 3 dB de dégradation de  $Q_t^2$ . Notons aussi que les valeurs optimales pour la largeur du filtre ainsi que pour le décalage par rapport à la sonde dépendront de la non-linéarité du gain et du facteur de couplage phase-amplitude du SOA utilisé.

#### CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons montré théoriquement qu'un convertisseur de longueur d'onde de type SOA-DI avec filtrage décalé vers le bleu peut régénérer le signal, notamment en atténuant les fluctuations d'intensité. En jouant sur le décalage du filtre optique ainsi que sa largeur, nous pouvons obtenir un filtrage optimal.

#### REFERENCES

- [1] J. Leuthold, B. Mikkelsen, G. Raybon, C. H. Joyner, J. L. Pleumeekers, B. I. Miller, K. Dreyer and R. Behringer, "All-optical wavelength conversion between 10 and 100 Gb/s with SOA delayed-interference configuration," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 33, pp. 939-952, 2001.
- [2] A. Marculescu, S. Sygletos, J. Li, D. Karki, D. Hillerkub, S. Ben-Ezra, S. Tsadka, W. Freude, and J. Leuthold, "RZ to CSRZ Format and Wavelength Conversion with Regenerative Properties," *OFC 2009*, paper OThS1, 2009.
- [3] Y. Liu, E. Tangdionga, Z. Li, S. Zhang, H. de Warrdt, G. D. Khoe and H. J. S. Dorren, "Error-Free All-Optical Wavelength conversion at 160 Gb/s Using a Semiconductor Optical Amplifier and an Optical Bandpass Filter," *J. Ligh. Technol.*, vol. 24, no. 1, pp. 230-236, 2006.
- [4] G. P. Agrawal, N. A. Olsson, "Self-Phase Modulation and Spectral Broadening of Optical Pulses in Semiconductor Laser Amplifiers," *J. Quan. Elec.*, vol. 25, no. 11, pp. 2297-2306, 1989.