



**HAL**  
open science

## Double régénération tout-optique du profil temporel et de l'état de polarisation d'un signal telecom à 40 GBit/s

Philippe Morin, Julien Fatome, Christophe Finot, Stéphane Pitois,  
Charles-Henri Hage, Vincent Tissot, Régis Claveau, Guy Millot

### ► To cite this version:

Philippe Morin, Julien Fatome, Christophe Finot, Stéphane Pitois, Charles-Henri Hage, et al.. Double régénération tout-optique du profil temporel et de l'état de polarisation d'un signal telecom à 40 GBit/s. 30ièmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2011, Marseille, France. pp.52-54. hal-00607457

**HAL Id: hal-00607457**

**<https://hal.science/hal-00607457>**

Submitted on 8 Jul 2011

**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.

# DOUBLE REGENERATION TOUT-OPTIQUE DU PROFIL TEMPOREL ET DE L'ETAT DE POLARISATION D'UN SIGNAL TELECOM A 40 GBIT/S

Philippe Morin<sup>1</sup>, Julien Fatome<sup>1</sup>, Christophe Finot<sup>1</sup>, Stéphane Pitois<sup>1</sup>, Charles-Henri Hage<sup>1</sup>, Vincent Tissot<sup>1</sup>, Régis Claveau<sup>2</sup> et Guy Millot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 21000 Dijon, France.

<sup>2</sup>Photline Technologies, 25000 Besançon, France.

[jfatome@u-bourgogne.fr](mailto:jfatome@u-bourgogne.fr)

## RÉSUMÉ

Grâce à un dispositif original entièrement fibré, nous démontrons dans cette étude la possibilité de régénérer simultanément et de manière tout-optique, au sein d'une même fibre, l'état de polarisation mais aussi le profil temporel d'un signal télécom RZ (retour-à-zéro) cadencé à 40 Gbit/s.

**MOTS-CLEFS :** *Polarisation ; Fibre Optique ; Régénération ; optique non-linéaire.*

## 1. INTRODUCTION

Avec le développement de systèmes de télécommunication par fibre optique à très hauts débits, diverses dégradations altèrent la propagation des signaux lumineux. Une première catégorie de dégradations trouve son origine dans les fluctuations de l'état de polarisation (SOP). Cette variable est bien souvent aléatoire et s'avère difficilement contrôlable, pénalisant alors sévèrement les performances des systèmes à travers notamment la dispersion modale de polarisation (PMD), les pertes dépendantes de la polarisation ou tout simplement par la dépendance en polarisation de certains composants. Nul doute que ce paramètre encore mal maîtrisé sera l'une des clefs pour le déploiement des futurs réseaux transparents et notamment pour l'implantation de circuits ou puces tout optiques sur guide silicium, aujourd'hui fortement dépendants de la polarisation. D'autre part, les effets linéaires et non-linéaires représentent également des sources d'altérations du signal lumineux. Si la dispersion chromatique peut être théoriquement compensée, les interactions entre les effets linéaires et non-linéaires peuvent conduire à des dégradations irréversibles du profil temporel du signal comme une déformation des impulsions, une accumulation de gigue d'amplitude et de gigue temporelle, la dépolarisation du signal ou encore la génération d'impulsions fantômes.

Dans ce travail, nous présentons un dispositif tout-optique, entièrement fibré et basé sur l'effet non-linéaire Kerr répondant simultanément à ces deux problématiques. Ce système combine dans un unique segment de fibre un attracteur de polarisation et un régénérateur d'intensité de type Mamyshev [1-2]. L'efficacité de ce nouveau dispositif 3R pour « Repolarisation, Réamplification et Remise en forme » est testée grâce à la régénération d'un signal retour-à-zéro cadencé à 40 Gbit/s.

## 2. PRINCIPE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le schéma de principe de notre double régénérateur SOP/intensité est illustré par la Fig. 1. Le système de contrôle de la polarisation est basé sur l'interaction non-linéaire par mélange à quatre ondes de deux ondes contra-propagatives au sein d'une fibre optique. En effet, des travaux récents ont montré, théoriquement [3] et expérimentalement, qu'un faisceau laser pompe polarisé se propageant dans une fibre optique standard agissait comme un attracteur de polarisation pour une onde signal contra-propagative. Autrement dit, lorsque le signal à régénérer, initialement aléatoirement polarisé, est injecté dans la fibre optique en présence de la pompe contra-propagative, son état de polarisation se voit attiré vers un point unique en sortie du dispositif et ce, indépendamment de son état initial et sans perte dépendante de la polarisation. De plus, le régime de propagation étant intrinsèquement fortement non linéaire, l'idée originale développée dans ce travail est de profiter de cette forte non linéarité pour combiner l'attracteur de polarisation avec une autre fonction optique, celle proposée par P. Mamyshev en 1998 pour la régénération du profil

d'intensité [2]. Cette technique exploite l'auto-modulation de la phase (SPM) subie par les impulsions évoluant dans la fibre optique. En effet, la phase non linéaire accumulée par les impulsions au cours de leur propagation dans l'attracteur de polarisation associée à un régime de dispersion normale conduit à un l'élargissement spectral fortement dépendant de l'intensité crête initiale. Par conséquent, en insérant un filtre optique passe-bande en sortie de fibre judicieusement décalé par rapport à la longueur d'onde centrale du signal, seule l'information portée par les bits de type « un » et possédant la plus grande puissance crête, atteindra l'élargissement spectral nécessaire à la traversée du filtre. Toute autre information parasite, notamment celle accumulée au niveau des bits de type « zéro », se verra annihilée. D'autre part, pour une combinaison particulière de la longueur de fibre et du décalage spectral, une saturation de la puissance crête de sortie peut être obtenue conduisant à une réduction des fluctuations d'intensité et donc à une régénération des bits de type « un » [4]. Ainsi, si les paramètres du système sont correctement choisis (dispersion, longueur, décalage, forme et largeur spectrale du filtre), le phénomène d'attraction de polarisation peut donc se combiner avec une excellente remise en forme du signal de sortie, donnant lieu à un nouveau type de régénérateur tout optique.

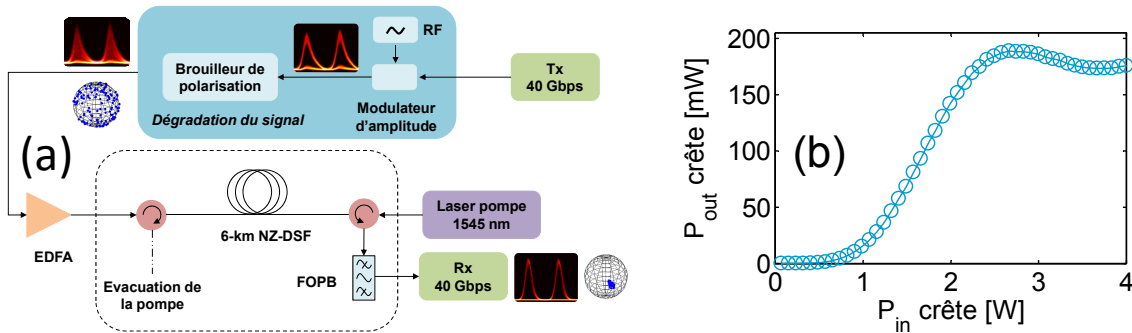


Fig. 1 : (a) Montage expérimental du processus de double régénération. (b) Fonction de transfert expérimentale de notre système : puissance crête après filtrage spectral en fonction de la puissance crête d'entrée.

La fibre optique utilisée dans ce dispositif de double régénération SOP/profil d'intensité est une fibre à dispersion décalée (NZ-DSF) de 6.2 km ayant une PMD de  $0.05 \text{ ps/km}^{1/2}$ , une dispersion chromatique de  $-1.5 \text{ ps/km.nm}$  et un coefficient non linéaire de  $1.7 \text{ W}^{-1}.\text{km}^{-1}$ . Un train d'impulsions de 7 ps, issu d'un laser fibré à verrouillage de modes cadencé à 10 GHz, est tout d'abord modulé en intensité grâce à un modulateur  $\text{LiNbO}_3$  alimenté par une séquence pseudo-aléatoire  $2^{31}-1$  à 10 Gbit/s. Un multiplexeur temporel optique est ensuite utilisé pour générer le signal RZ 40 Gbit/s. Ce signal est volontairement dégradé en intensité par l'adjonction d'impulsions dites « fantômes » au niveau des bits de type « zéro » et par une sur-modulation occasionnant des fluctuations d'intensité au niveau des bits de type « un ». Un brouilleur de polarisation permet finalement d'introduire des fluctuations de polarisation aléatoires. L'onde pompe est un signal partiellement incohérent polarisé, émis à une longueur d'onde de 1545 nm, et ayant une largeur spectrale de 100 GHz. Les puissances optiques du signal (26.5 dBm) et de la pompe (30 dBm) sont ajustées à l'aide d'amplificateurs à fibre dopée Erbium (EDFA). Ces deux ondes sont injectées à chaque extrémité de la fibre par l'intermédiaire de deux circulateurs optiques. En sortie du dispositif, la polarisation du signal est analysée à l'aide d'un polarimètre tandis qu'un oscilloscope à échantillonnage optique permet d'observer le profil temporel du signal. Le taux d'erreur binaire (TEB) est également mesuré sur les 4 trames cadencées à 10 Gbit/s et issues, par démultiplexage, du signal à 40 Gbit/s.

### 3. OBSERVATIONS EXPERIMENTALES

La Figure 1b montre la fonction de transfert expérimentale de notre système. Elle représente la puissance crête en sortie du dispositif en fonction de la puissance incidente. On remarque tout d'abord que pour des faibles puissances d'entrée, il y a une réjection significative du signal, ce qui permet une régénération efficace des bits de type « zéros ». De plus, la présence d'un plateau autour de 2.7 W (26.5 dBm de puissance moyenne à 40 Gbit/s) permet de diminuer les fluctuations

d'intensité au niveau des bits de type « un ». En entrée du dispositif, le signal initial à 40 Gbit/s présente une quantité importante de dégradations (Fig. 2a). On note un profil temporel asymétrique, une quantité non négligeable d'énergie dans les bits de type « zéro » ainsi que des fluctuations importantes de la puissance crête. Les fluctuations de polarisation induites par le brouilleur se manifestent quant à elles par une distribution uniforme des points sur la sphère de Poincaré (Fig. 2b). En conséquence, en présence d'un élément sensible à la polarisation, ici simulé par un polariseur, toutes les fluctuations de polarisation du signal se voient converties en fluctuations d'intensité, d'où une fermeture totale du diagramme de l'œil (cf. Fig. 2b).

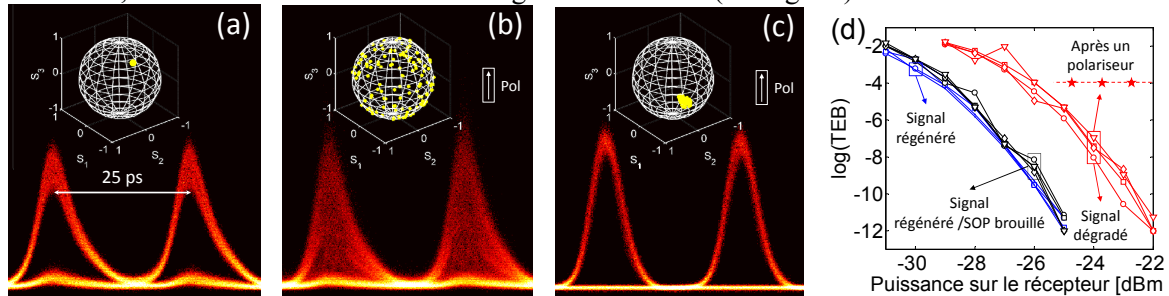


Fig. 2 : (a-c) Diagramme de l'œil et SOP du signal à 40 Gbit/s (a) Après dégradations en intensité (b) Après brouillage en polarisation et détecté après un polariseur (c) Après régénération et détecté après un polariseur (d) Mesure du taux d'erreur binaire.

En sortie du dispositif (Fig. 2c), nous observons clairement la régénération simultanée de l'état de polarisation et du profil d'intensité. D'une part, l'état de polarisation est attiré et complètement stabilisé. Ceci se traduit par une concentration des points sur une petite zone de la sphère de Poincaré. D'autre part, si l'on enregistre le diagramme de l'œil après un polariseur, on observe non seulement une excellente remise en forme du signal (profil gaussien symétrique, disparition des impulsions fantômes et diminution de la gigue d'intensité), mais également une excellente ouverture de l'œil résultant d'une stabilisation efficace de l'état de polarisation. Finalement, la Fig. 2d résume l'analyse du taux d'erreur binaire du signal à 40 Gbit/s, mesuré après un polariseur, pour les quatre canaux démultiplexés à 10 Gbit/s. Grâce au seul processus de régénération du profil d'intensité, on observe tout d'abord une amélioration de 3 dB sur la sensibilité du récepteur. Mais plus spectaculairement, en dépit du brouillage initial de la polarisation et de la détection derrière un polariseur et grâce au processus d'attraction de polarisation, le taux d'erreur passe d'une valeur de  $10^{-4}$  à une valeur de  $10^{-12}$  et ce, avec une faible pénalité comparé à la courbe de régénération sans brouillage de la polarisation.

## CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons démontré pour la première fois qu'il était possible de manipuler de manière tout-optique et simultanée l'état de polarisation de la lumière ainsi que son profil d'intensité et cela dans une seule et unique fibre optique. Ce dispositif combine en effet un attracteur de polarisation avec un régénérateur d'intensité de type Mamyshev. L'efficacité de ce nouveau dispositif 3R pour « Repolarisation, Réamplification et Remise en forme » a été validée grâce à la régénération d'un signal télécom codé et cadencé à 40 Gbit/s. L'amélioration considérable de la qualité du signal obtenu confirme le fort potentiel de cette nouvelle fonction pour du traitement du signal tout-optique dans les futurs réseaux transparents.

## RÉFÉRENCES

- [1] J. Fatome, S. Pitois, P. Morin, and G. Millot, "Observation of light-by-light polarization control and stabilization in optical fibre for telecommunication applications," *Opt. Express* 18, 15311-15317 (2010).
- [2] P. V. Mamyshev, "All-optical data regeneration based on self-phase modulation effect," in *European Conference on Optical Communication, ECOC'98*, 475-476, Madrid, Spain (1998).
- [3] V. V. Kozlov, J. Nuno, and S. Wabnitz, "Theory of lossless polarization attraction in telecommunication fibers," *J. Opt. Soc. Am. B* 28, 100-108 (2011).
- [4] L. Provost, C. Finot, K. Mukasa, P. Petropoulos, and D. J. Richardson, "Design scaling rules for 2R-Optical Self-Phase Modulation-based regenerators 2R regeneration," *Opt. Express* 15, 5100-5113 (2007).