HAL open science

Sources optiques picosecondes entièrement fibrées cadencées à 20 GHz et 40 GHz

Ibrahim El Mansouri, Julien Fatome, Stéphane Pitois, Christophe Finot, Michel Lintz

To cite this version:

Ibrahim El Mansouri, Julien Fatome, Stéphane Pitois, Christophe Finot, Michel Lintz. Sources optiques picosecondes entièrement fibrées cadencées à 20 GHz et 40 GHz. 30ièmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2011, Marseille, France. pp.188-190. hal-00607459

HAL Id: hal-00607459

https://hal.science/hal-00607459v1

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.

SOURCES OPTIQUES PICOSECONDES ENTIEREMENT FIBREES CADENCEES A 20 GHZ ET 40 GHZ

I. El Mansouri[1], J. Fatome[1], S. Pitois[1], C. Finot[1] et M. Lintz[2]

[1]*Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, Université de Bourgogne, UMR CNRS 5209, 21078 Dijon, France*
[2]*Laboratoire ARTEMIS, Université Nice Sophia-Antipolis, UMR OCA/CNRS 6162, 06304 Nice, France*

jfatome@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons des résultats récents portant sur la génération de trains d'impulsions picosecondes cadencés à 20 et 40 GHz dans la bande C des télécommunications optiques. La technique utilisée repose sur la compression non-linéaire au sein d'une fibre optique d'un battement sinusoïdal généré via un modulateur d'intensité. Les propriétés de stabilité des sources ont été améliorées en gérant la dispersion de la ligne de compression et en y insérant un miroir de Faraday. Un signal de haute qualité à 160 Gbit/s a également été généré en codant et en multiplexant temporellement une source d'impulsions à 40 GHz présentant un faible rapport cyclique.

MOTS-CLEFS : *Sources lasers haut-débit, Optique non-linéaire dans les fibres.*

1. INTRODUCTION

Les sources lasers émettant des impulsions ultra-courtes au voisinage de 1550 nm, avec un taux de répétition très élevé (> 10 GHz), sont maintenant largement employées dans de nombreuses applications scientifiques, notamment pour les systèmes de transmission par fibres optiques, pour l'échantillonnage optique ou encore pour le test de composants. La compression non-linéaire d'un battement sinusoïdal se propageant dans une fibre optique, en régime de dispersion anormale, est une technique simple et efficace pour générer de tels trains d'impulsions. Cette technique, basée sur un processus de mélange à quatre ondes multiple, a été employée avec succès afin de générer des trains d'impulsions à des taux de répétition compris entre 20 GHz et 2 THz [1-3]. Dans ces expériences, le signal sinusoïdal initial provenait du battement de deux lasers continus présentant une différence de fréquence égale au taux de répétition souhaité. Le principal atout de cette méthode tout-optique résidait dans la possibilité d'obtenir facilement des taux de répétition supérieurs à plusieurs centaines de GHz, bien au delà donc des limites de l'électronique actuelle. Malheureusement, en raison des fluctuations inévitables de l'écart fréquentiel entre les deux diodes, une gigue temporelle significative était généralement observée en sortie du compresseur. Afin de surmonter ce problème, une solution efficace mais relativement complexe consiste à asservir l'écart en longueur d'onde entre les deux lasers sur une référence RF [4].

Dans ce travail, nous proposons une approche différente basée sur l'utilisation d'une seule diode laser modulée en intensité par un modulateur électro-optique lui-même piloté par une horloge électrique externe. Cette méthode, qui minimise les fluctuations du taux de répétition, nous a alors permis de générer des trains d'impulsions très stables à 20 GHz et à 40 GHz possédant des gigues temporelles de l'ordre de 250 fs. Nous montrons également que cette stabilité peut encore être améliorée en gérant la dispersion de la ligne de compression et en introduisant un miroir de Faraday. Finalement, nous présentons la génération d'un signal à 160 Gbit/s par multiplexage temporel optique d'un train d'impulsions à 40 GHz codé et présentant un faible rapport cyclique.

2. MONTAGE EXPERIMENTAL

Le montage expérimental utilisé est représenté sur la figure 1. Une diode laser (ECL) est utilisée pour générer une onde continue à 1555 nm. Un modulateur d'intensité Mach-Zehnder (MI),

alimenté par une horloge externe à 10 GHz (20 GHz) autour de son point de transmission nulle, permet une conversion électro-optique du signal avec un doublement de sa fréquence de sorte à générer un battement sinusoïdal à 20 GHz (40 GHz). Un modulateur de phase (MP), piloté à une fréquence de 100 MHz, est également inséré pour s'affranchir de la rétro-diffusion Brillouin stimulée. Le battement sinusoïdal est alors amplifié par un amplificateur à fibre dopée Erbium (EDFA) avant d'être injecté dans la fibre de compression (7.8 km de SMF pour la source à 20 GHz et 2.1 km de SMF pour la source à 40 GHz). En sortie de fibre, le train d'impulsions est caractérisé par un Analyseur de Spectre Optique (ASO) et par un Oscilloscope à Echantillonnage Optique (OEO).

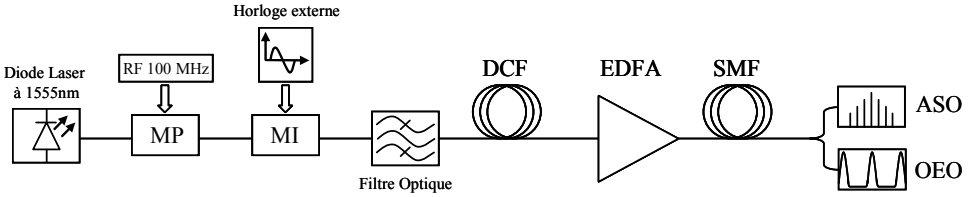

Fig. 1 : Montage expérimental de la ligne de compression non-linéaire d'un battement sinusoïdal.

3. IMPACT DE LA MODULATION DE PHASE ANTI-BRILLOUIN

Dans un premier temps, nous avons étudié expérimentalement l'impact de la modulation de phase anti-Brillouin sur les propriétés temporelles du train d'impulsions. En se basant sur des arguments physiques simples, il est en effet possible de montrer que cette modulation de phase induit une modulation temporelle de la période du train [5]. Plus précisément, nous pouvons montrer que la gigue temporelle résultante est directement proportionnelle à la dispersion cumulée de la ligne de compression, de telle sorte qu'il est possible de la réduire en insérant simplement un segment de fibre à dispersion normale (DCF) dans le montage (Fig. 1).

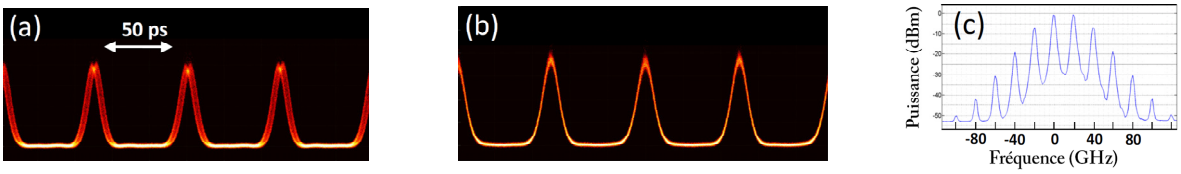

Fig. 2 : Profil temporel du train d'impulsions à 20 GHz en sortie de la ligne de compression, sans (a) et avec (b) DCF. (c) Spectre optique mesuré.

Les figures 2a et 2b représentent le profil temporel du train d'impulsions à 20 GHz à la sortie du compresseur lorsqu'une modulation de phase avec une amplitude de 2.5π rad et une fréquence de 180 MHz est appliquée, en l'absence et en présence d'une fibre DCF. La gigue temporelle, voisine de 3 ps en l'absence de DCF (Fig. 2a), est clairement réduite à 250 fs en gérant la dispersion totale de la ligne de compression (Fig. 2b). Un train d'impulsions quasi-gaussiennes de 11 ps, de bonne qualité, sans piédestaux, est alors obtenu en sortie de fibre. Le spectre optique est également visible sur la figure 2c.

4. REDUCTION DES FLUCTUATIONS DE POLARISATION

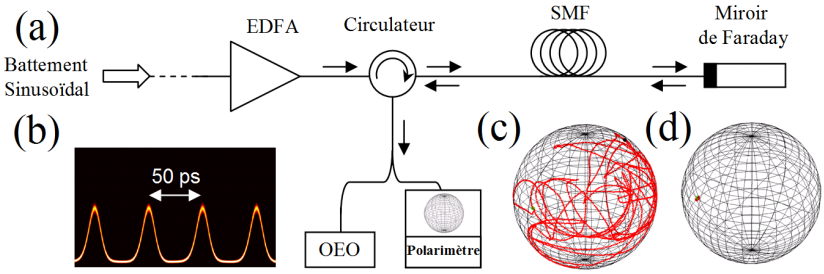

Fig. 3 : (a) Montage expérimental avec miroir de Faraday. (b) Profil temporel à 20 GHz en sortie du circulateur. (c) Sphère de Poincaré obtenue après 7.8 km de SMF. (d) Sphère de Poincaré obtenue par 2 x 3.9 km de SMF et le miroir de Faraday.

Dans un deuxième temps, nous avons légèrement modifié le montage en divisant par deux la longueur de la fibre de compression et en insérant un miroir de Faraday à son extrémité (Fig. 3a). La compression non-linéaire est désormais obtenue après un aller-retour dans la fibre SMF. Le but de ce nouveau montage est de s'affranchir des inévitables fluctuations de polarisation liées à l'utilisation d'une fibre standard n'étant pas à maintien de polarisation. La figure 3c représente l'évolution de l'état de polarisation du train d'impulsions en sortie du montage classique (comme celui de la Fig. 1) est utilisé. En comparaison, l'utilisation d'une ligne de compression incluant un miroir de Faraday permet d'obtenir une grande stabilité de la polarisation (Fig. 3d).

5. GENERATION D'UN SIGNAL PSEUDO-ALEATOIRE A 160 GBIT/S

Afin de délivrer un signal télécom pseudo-aléatoire (PRBS) Retour-à-Zéro cadencé à 160 Gbit/s, nous avons, dans un premier temps, généré un train d'impulsions à 40 GHz avec un faible rapport cyclique en utilisant une ligne de compression incluant quatre segments de fibres ayant des paramètres de dispersion et de non-linéarité judicieusement choisis [3] (Fig. 4a). La figure 4(b2) illustre la source d'impulsions ainsi obtenue et présentant un rapport cyclique voisin de 1/17 pour une largeur d'impulsions à mi-hauteur de 1.5 ps. Ce train d'impulsions à 40 GHz a ensuite été codé par une séquence aléatoire de 2^{31}-1 bits avant d'être multiplexé temporellement afin de générer un train PRBS à 160 Gbit/s. Le diagramme de l'œil correspondant est visible sur la figure 4(b3) et souligne les performances de cette méthode.

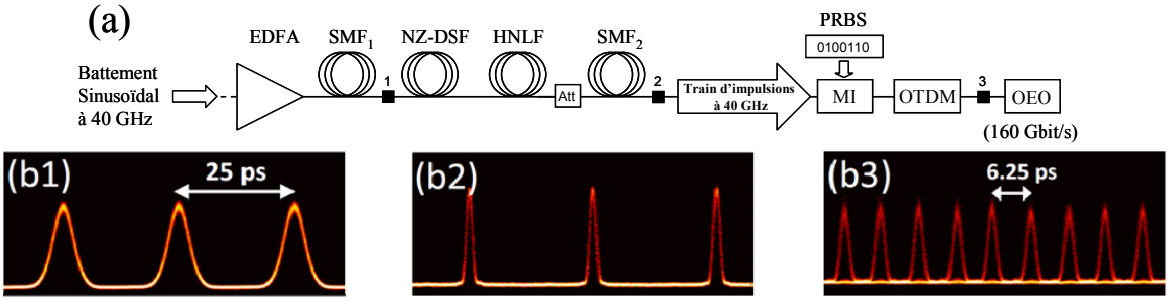

Fig. 4 : (a) Montage expérimental pour générer un train d'impulsions à 40 GHz avec un faible rapport cyclique et codé pour obtenir un signal PRBS à 160 Gbit/s. Les profils temporels enregistrés aux points 1, 2 et 3 sont représentés respectivement par les figures (b1), (b2) et (b3).

CONCLUSION

En conclusion, nous avons démontré dans ce papier qu'il était possible de générer des trains d'impulsions à 20 et 40 GHz en comprimant au sein d'une fibre optique un battement sinusoïdal obtenu via un modulateur d'intensité piloté autour de son point de transmission nulle. La stabilité de la source a été améliorée en compensant la dispersion totale de la ligne et en y insérant un miroir de Faraday. Finalement, un montage à plusieurs fibres nous a permis de générer un train d'impulsions à 40 GHz avec un faible rapport cyclique, puis de le coder et de le multiplexer temporellement pour obtenir un signal pseudo-aléatoire cadencé à 160 Gbit/s.

RÉFÉRENCES

[1] J. Fatome, S. Pitois, and G. Millot, "20-GHz to 1-THz repetition rate pulse sources based on multiple four wave mixing in optical fibers", IEEE J. Quantum Electron., vol. 42, pp. 1038–1046, 2006.

[2] A. O. J. Wiberg, B. P.-P. Kuo, C.-S. Bres and S. Radic, "High Quality Non-Linearly Compressed Cavity-Less 40 GHz Sub-Picosecond Pulse Source", ECOC'10, paper Th.9.C.1, 2010.

[3] C. Finot, J. Fatome, S. Pitois, and G. Millot, "All-Fibered High-Quality Low Duty-Cycle 20 GHz and 40 GHz Picosecond Pulse Sources", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 19, pp. 1711-1713, 2007.

[4] R. Slavik, F. Parmigiani, L. Gruner-Nielsen, D. Jakobsen, S. Herstrom, P. Petropoulos, and D. J. Richardson, "Stable and Efficient Generation of High Repetition Rate (>160 GHz) Subpicosecond Optical Pulses", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 23, pp. 540-542, 2011.

[5] J. Fatome, S. Pitois, C. Fortier, B. Kibler, C. Finot, G. Millot, C. Courde, M. Lintz, and E. Samain, "Multiple four-wave mixing in optical fibers: 1.5–3.4-THz femtosecond pulse sources and real-time monitoring of a 20-GHz picosecond source" , Opt. Commun., vol. 283, pp. 2425-2429, 2010.