



**HAL**  
open science

## Génération de peignes de fréquence et d'impulsions dans un Oscillateur Opto-Électronique à modulation directe

Brian Sinquin, Goulc'Hen Loas, Steve Bouhier, Ludovic Frein, Marc Vallet,  
Mehdi Alouini, Marco Romanelli

### ► To cite this version:

Brian Sinquin, Goulc'Hen Loas, Steve Bouhier, Ludovic Frein, Marc Vallet, et al.. Génération de peignes de fréquence et d'impulsions dans un Oscillateur Opto-Électronique à modulation directe. Optique Nice 2022, Société Française d'Optique (SFO), Jul 2022, Nice, France. hal-03988116

**HAL Id: hal-03988116**

**<https://hal.science/hal-03988116>**

Submitted on 14 Feb 2023

**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.

# GÉNÉRATION DE PEIGNES DE FRÉQUENCE ET D'IMPULSIONS DANS UN OSCILLATEUR OPTO-ÉLECTRONIQUE À MODULATION DIRECTE

Brian Sinquin, Goulc'hen Loas, Steve Bouhier, Ludovic Frein, Marc Vallet, Mehdi Alouini, Marco Romanelli

Univ. Rennes, CNRS, Institut FOTON UMR 6082, 35000 Rennes, France

brian.sinquin@univ-rennes1.fr

## RÉSUMÉ

Nous présentons une nouvelle architecture d'oscillateur opto-électronique à modulation directe, intégrant une fibre non-linéaire, permettant de générer de peignes de fréquence et des impulsions picosecondes par effet Kerr. Nous montrons la génération de peignes optiques de 600 GHz de largeur et d'un signal RF à 7,9 GHz de -123 dBc/Hz à 10 kHz.

**MOTS-CLEFS :** *impulsions ; peigne ; OEO ; modulation directe*

## 1. INTRODUCTION

La génération de peignes de fréquence connaît un fort intérêt depuis une vingtaine d'année du fait des diverses applications qu'elle a permis de développer jusqu'à aujourd'hui. On peut citer les télécommunications optiques et la spectroscopie moléculaire résolue en fréquence et/ou en temps par exemple. Nous avons récemment démontré expérimentalement la faisabilité d'un oscillateur opto-électronique (OEO) à modulation directe [1] oscillant à 10 GHz. L'objectif du présent article est d'explorer la génération de peignes de fréquence optique à l'aide de ce dispositif [2]. On souhaite ainsi amplifier suffisamment la sortie optique de l'OEO afin d'exalter l'effet Kerr dans la silice et observer un élargissement fréquentiel du spectre par auto-modulation de phase (SPM) et un affinement temporel d'impulsions en régime de dispersion anormal [3].

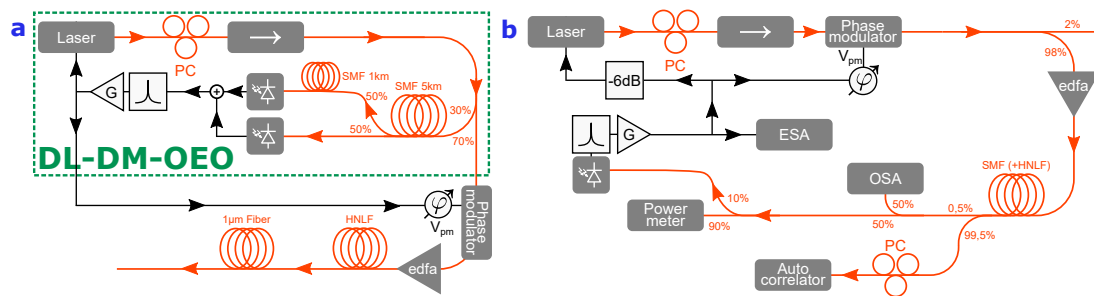


FIGURE 1 : Génération de peigne l'aide d'un OEO à modulation directe : a) hors-boucle ; b) intra-boucle.

Dans un premier temps (Fig. 1.a) nous souhaitons utiliser l'OEO comme source externe. Pour cela, la sortie optique est modulée en phase par la sortie électrique. On amplifie le signal à l'aide d'un amplificateur fibré dopé Erbium (EDFA), qui se propage ensuite dans 100 m de fibre hautement non-linéaire (HNLF) puis dans 5 km de fibre 1060 nm<sup>1</sup>, qui du fait de son petit cœur de 3,4  $\mu\text{m}$  présente de fortes non-linéarités à 1550 nm. Le signal optique est analysé par un autocorrélateur optique<sup>2</sup> et un analyseur de spectre optique afin de caractériser ses propriétés temporelles et spectrales.

Dans un second temps (Fig. 1.b), nous voulons réduire la complexité du système et tirer avantage de la ligne à retard interne à l'OEO, nous inspirant des travaux de la référence [4], qui ont démontré la génération d'impulsions optiques de 4,1 ps dans un OEO à modulation externe. Un laser à modulation

1. Fibre type HI 1060 Flex

2. A.P.E pulseCheck 150

directe produit un signal à 1550 nm, qui est modulé en phase, puis amplifié. Il se propage ensuite dans 5 km de fibre mono-mode standard (SMF) (avec ou sans 100 m de fibre HNLF) avant d'être redistribué vers les différents instruments de mesures. On exalte donc l'effet non-linéaire directement à l'intérieur de la boucle OEO. Le signal détecté par la photodiode est amplifié puis filtré autour de 7,9 GHz ou de 10 GHz avant d'être injecté sur l'entrée de modulation directe et sur le modulateur de phase. La modulation directe ainsi que la modulation de phase sont donc produites par le signal OEO. Un déphasage ajustable est introduit entre ces deux voies.

## 2. RÉSULTATS

La première expérience (Fig. 1.a) permet la génération d'un peigne de fréquence d'une largeur (à -30 dB) de 600 GHz, à un taux de répétition de 7,88 GHz (fréquence d'oscillation de l'OEO). On note une forte dépendance de l'élargissement spectral à la puissance optique en sortie d'EDFA, qui semble due aux pertes de la fibre 1060 nm. On observe en revanche une autocorrélation plane et bruitée, qui nous permet de conclure à l'absence d'impulsions temporelles.

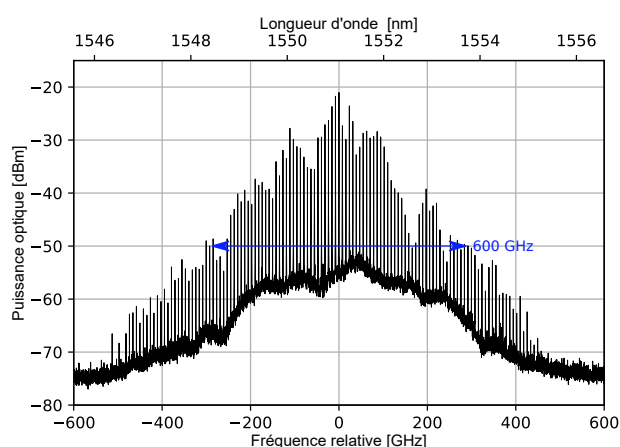


FIGURE 2 : Peigne de fréquence généré hors-boucle.

La seconde expérience (Fig. 1.b) permet aussi d'observer des peignes de fréquence, avec un signal OEO ici à 10 GHz. Dans le cas de la fibre SMF seule, le spectre présente une largeur de 260 GHz et un taux de répétition de 5 GHz. L'ajout de la fibre HNLF n'élargit pas le spectre (240 GHz) mais conduit à un changement du taux de répétition, qui est de 2,5 GHz. L'apparition de sous-harmoniques pourrait être due à la dynamique du laser sous forte modulation [5].

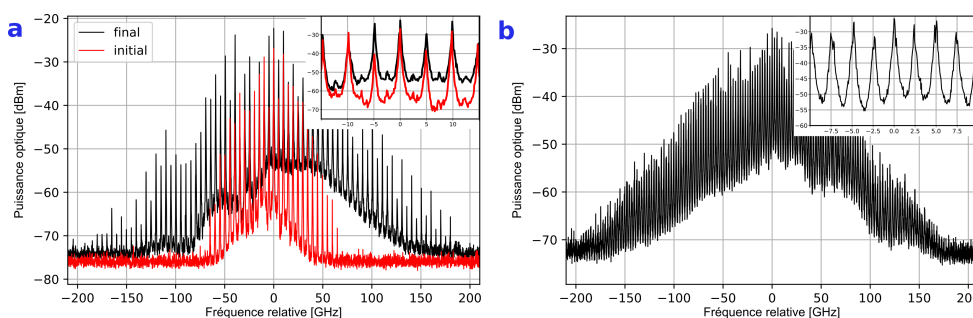


FIGURE 3 : Peignes de fréquence générés intra-boucle : a) SMF+HNLF, rouge : avant EDFA. noir : après propagation dans les fibres; b) SMF.

Dans les deux configurations, il est possible de mesurer des impulsions optiques pour certaines valeurs de déphasage et de puissance optique. On remarque sur le signal d'autocorrélation un pic central

entouré par deux ailettes. Ce profil d'autocorrélation est en accord avec des impulsions dont le profil rappelle un sinus cardinal. On retrouve des profils similaires dans [4] ainsi que dans les simulations de propagation type "équation de Schrödinger non-linéaire" que nous avons effectuées. La largeur des impulsions (FWHM) est estimée à l'aide d'un ajustement de courbe, en faisant l'hypothèse que le centre des impulsions suit une loi en  $sech^2$ . La configuration avec 100 m de fibre HNLF suivis de 5 km de fibre SMF présente des impulsions aussi larges que la configuration sans fibre non-linéaire, estimées à 4 ps.

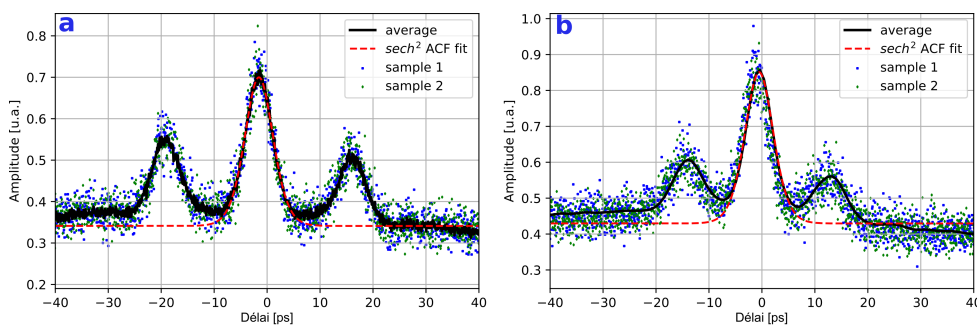


FIGURE 4 : autocorrélations des signaux optiques : a) SMF+HNLF ; b) SMF.

Finalement, dans ces expériences de génération non-linéaire intra-boucle, le régime oscillant de l'OEO s'est avéré stable, ce qui a permis la mesure du bruit de phase des battements optiques à 10 GHz. Les bruits de phase mesurés sont légèrement dégradés par rapport aux valeurs typiques de ceux qu'on peut trouver dans la littérature[1]. On mesure un bruit de phase de -123 dBc/Hz à 10 kHz de la porteuse et un plancher à -125 dBc/Hz. Nous observons cependant l'apparition d'un excès de bruit basse fréquence lors de l'ajout de la fibre HNLF.

### 3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons montré la possibilité de générer des peignes de fréquence et des impulsions à l'aide d'un OEO à modulation directe. L'expérience hors-boucle (Fig. 1.a) permet la génération d'un peigne de fréquence de 600 GHz sans régime impulsionnel. L'expérience intra-boucle (Fig. 1.b) permet également de générer des peignes de fréquence d'environ 250 GHz ainsi qu'un régime impulsionnel. On a mesuré des largeurs d'impulsion de 4 ps dans les deux configurations. Notre technique s'appuie sur les effets non-linéaires dans la fibre optique constituant la ligne à retard de l'OEO contrairement à d'autres méthodes qui s'appuient sur la dynamique des laser à modulation directe [2]. Les études présentées ci-dessus sont actuellement poursuivies, en particulier l'exploration systématique de l'espace des paramètres expérimentaux et une modélisation du système, afin de tirer meilleur parti de la fibre HNLF et de diminuer encore la durée d'impulsion.

### RÉFÉRENCES

- [1] B. Sinquin, M. Romanelli, S. Bouhier, L. Frein, M. Alouini, and M. Vallet, "Low Phase Noise Direct-Modulation Optoelectronic Oscillator," *J. Lightwave Technol.*, vol. 39, no. 24, p. 7788, 2021.
- [2] C. D. Muñoz, M. Varón, F. Destic, and A. Rissons, "Self-starting VCSEL-based optical frequency comb generator," *Optics Express*, vol. 28, no. 23, p. 34860, 2020.
- [3] G. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*. Elsevier, 2012.
- [4] Y. K. Chembo, A. Hmima, P. A. Lacourt, L. Larger, and J. M. Dudley, "Generation of Ultralow Jitter Optical Pulses Using Optoelectronic Oscillators With Time-Lens Soliton-Assisted Compression," *J. Lightwave Technol.*, vol. 27, no. 22, p. 5160, 2009.
- [5] J. Wu, J. F. Qiu, and J. T. Lin, "Period-doubling in 10 GHz gain-switched DFB laser diode," *Chinese Physics Letters*, vol. 24, no. 10, p. 2852, 2007.