



**HAL**  
open science

## Source optique à très haut débit basée sur la compression non-linéaire de besselons optiques

Anastasiia Sheveleva, Christophe Finot

### ► To cite this version:

Anastasiia Sheveleva, Christophe Finot. Source optique à très haut débit basée sur la compression non-linéaire de besselons optiques. 40ièmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Optique Dijon 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03246551

**HAL Id: hal-03246551**

**<https://hal.science/hal-03246551v1>**

Submitted on 2 Jun 2021

**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.

# SOURCE OPTIQUE A TRES HAUT-DEBIT BASEE SUR LA COMPRESSION NON-LINEAIRE DE BESSELONS OPTIQUES

Anastasiia Sheveleva et Christophe Finot

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS-UBFC - Dijon, France

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

## RÉSUMÉ

Nous démontrons la génération expérimentale de trains d'impulsions ultrabrèves à des taux de répétition allant de 28 à 112 GHz. Notre approche se base sur la compression non-linéaire de besselons dans une fibre optique hautement non-linéaire à dispersion normale. Les impulsions obtenues atteignent des durées subpicosecondes.

**MOTS-CLEFS :** *trains d'impulsions haute-cadence, compression non-linéaire.*

## 1. INTRODUCTION

La génération de trains d'impulsions de haute-qualité combinant un rapport de cycle bas et une cadence de plusieurs dizaines de GHz est pertinente pour de nombreuses applications scientifiques telles que l'échantillonnage optique ou bien les systèmes de transmission à très haut débit exploitant le multiplexage temporel. Malheureusement, les limitations actuelles en termes de bande passante optoélectronique ne permettent pas la génération directe d'impulsions avec une durée temporelle inférieure à quelques picosecondes. Les lasers fibrés à verrouillage de modes actif sont une solution éventuelle pour surmonter cet obstacle, mais ils demeurent coûteux. Des alternatives prometteuses ne requérant aucune cavité reposent sur la compression non-linéaire d'un battement dans une fibre optique [1] ou bien sur la manipulation d'une onde continue modulée temporellement en phase par une sinusoïde et traversant un élément dispersif [2]. Récemment, nous avons proposé d'améliorer cette dernière technique en remplaçant la phase quadratique spectrale introduite par l'élément dispersif par une phase triangulaire [3]. Cela nous a permis d'atteindre une forme en limite de Fourier que nous avons baptisée Besselon [4]. Quand la profondeur de la modulation de phase initiale est optimale, le train impulsif obtenu après doublage du taux de répétition est de grand qualité, sans fond continu résiduel, avec un rapport de cycle de 0.2.

Nous démontrons ici expérimentalement qu'il est possible de comprimer temporellement encore davantage ces impulsions grâce à l'auto-modulation de phase accumulée lors de la propagation dans une fibre hautement non-linéaire à dispersion normale. Grâce à une manipulation spectrale adéquate, des impulsions d'une durée inférieure à la picoseconde peuvent être réalisées et leur cadence peut être encore doublée voire quadruplée [5].

## 2. PRINCIPE ET MONTAGE EXPERIMENTAL

Notre méthode repose sur une combinaison de manipulations linéaires et non-linéaires de la phase dans les domaines temporels et spectraux. Le montage expérimental mis en œuvre est schématisé Fig. 1. Un laser continu à 1550 nm est tout d'abord modulé en phase (PM) dans le domaine temporel par une forme sinusoïdale avec une profondeur de modulation de 3.72 rad et une fréquence de 14 GHz. Un façonneur spectral programmable (Finisar Waveshaper) est ensuite utilisé pour imprimer une phase spectrale adéquate constituée de sauts de phase de  $\pi$  situés sur les composantes impaires. Cela permet de convertir la modulation initiale de phase en un train d'impulsions en limite de Fourier ayant une cadence doublée par rapport à l'horloge de référence.

Le second étage de notre dispositif s'appuie sur une étape d'élargissement non-linéaire du spectre du besselon. Nous amplifions tout d'abord le train initial avec un amplificateur à fibre dopée

erbium (EDFA) jusqu'à une puissance moyenne de 27 dBm. La propagation dans une fibre hautement non-linéaire à dispersion normale suivie d'un segment dispersif permet de générer des impulsions exemptes de piédestaux significatifs. Nous avons utilisé une fibre d'une longueur de 1km, ayant une dispersion de  $-0.7$  ps/km/nm et une non-linéarité Kerr de  $10$  /W/km. Grâce à la modulation de phase initiale importante, nous ne sommes pas sensibles à la rétrodiffusion Brillouin. Après la propagation non-linéaire, le chirp normal obtenu est compensé dans une large mesure grâce à un second filtre spectral programmable. De plus, en éliminant une composante spectrale sur deux ou quatre, le même filtre permet également de doubler ou quadrupler le taux de répétition jusqu'à atteindre 112 GHz. Les résultats expérimentaux sont analysés aux différentes étapes à travers des enregistrements de leur profil d'intensité temporel réalisés sur un oscilloscope à échantillonnage optique (résolution ps), de leur signal d'autocorrélation en intensité ou bien encore de leur spectre optique.

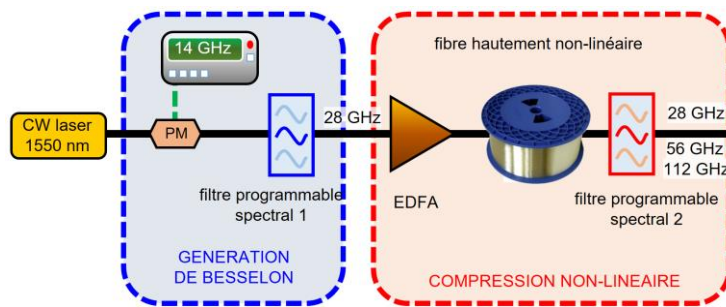


Fig. 1 : Montage expérimental.

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats expérimentaux obtenus sont résumés sur la Fig. 2. En sortie du premier étage de notre dispositif (panneau a), nous obtenons un train d'impulsions d'une durée de 7.2 ps à une cadence de 28 GHz. Ces résultats expérimentaux sont en parfait accord avec la formulation analytique des bessels développée dans la référence [4].

Les résultats obtenus après l'élément non-linéaire et l'introduction d'une compensation de phase quadratique sont détaillés sur les panneaux (b). L'enregistrement en mode persistance réalisé sur l'oscilloscope à échantillonnage optique (b1) démontre la remarquable stabilité du train obtenu : les giges temporelles et d'amplitude sont totalement maîtrisées. Les profils temporels et spectraux obtenus (b2 et b3) correspondent parfaitement aux prédictions numériques qui peuvent être réalisées à partir de l'équation de Schrödinger non-linéaire. Le spectre s'est significativement élargi pour s'étendre sur désormais 1.4 THz, tout en maintenant une symétrie et une platitude élevée. La compression temporelle des impulsions est nette avec un rapport de cycle qui devient inférieur à 0.03. Le niveau des rebonds existants dans les ailes de l'impulsion est inférieur à 20 dB par rapport à la puissance crête (b4) et le taux d'extinction du train est excellent.

Pour surmonter les limitations en bande passante de notre oscilloscope à échantillonnage optique, nous avons également enregistré les profils d'autocorrélation en intensité obtenus. Les résultats sont donnés en (b5) et soulignent que le profil expérimental (ligne noire) est très proche de la solution en limite de Fourier (pointillés rouges) ainsi que de l'autocorrélation d'une impulsion gaussienne (pointillés bleus). Nous en déduisons une largeur temporelle à mi-hauteur inférieure à la picoseconde (890 fs).

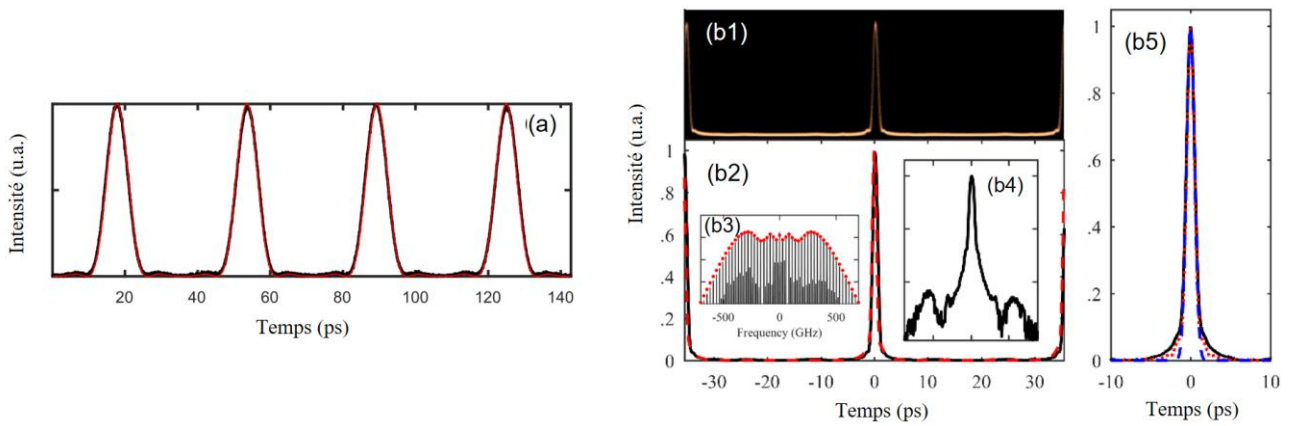


Fig. 2 : Propriétés temporelles et spectrales du train impulsif obtenu à 28 GHz, avant et après expansion spectrale (respectivement panneaux a et b). (a1) Profil expérimental (noir) et théorie analytique (rouge, [4]). (b1) Profil temporel enregistré sur un oscilloscope à échantillonnage optique en mode persistance. (b2) Profil expérimental moyenné temporellement comparé aux simulations numériques (tirets rouges). (b3) Profil temporel représenté avec une échelle logarithmique sur une période (10 dB/div). (b4) Spectre expérimental et simulé (10 dB/div). (b5) Signal d'autocorrélation en intensité comparé à l'autocorrélation d'une impulsion gaussienne (bleu) ou bien du signal correspondant au spectre en limite de Fourier (rouge).

Doubler ou quadrupler la cadence est réalisé en ne conservant qu'une composante spectrale sur deux ou quatre. Les résultats sont résumés sur la Fig. 3. La stabilité du train d'impulsions demeure excellente. Néanmoins, nous pouvons noter à 112 GHz l'apparition d'un rebond entre deux impulsions. Ce rebond est lié à l'interférence constructive entre les pieds des deux impulsions voisines. Les résultats expérimentaux sont encore une fois en parfait accord avec les résultats issus de la simulation de l'équation de Schrödinger non-linéaire.

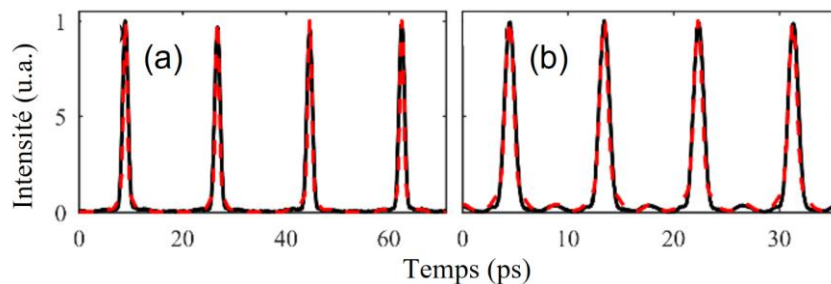


Fig. 3 : Résultats à (a) 56 GHz et (b) 112 GHz. Les profils d'intensité expérimentaux (noir) sont comparés avec les profils issus des simulations numériques (rouge).

## REFERENCES

- [1] 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.* **19**, 1711-1713 (2007).
- [2] T. Kobayashi, H. Yao, K. Amano, Y. Fukushima, A. Morimoto, and T. Sueta, "Optical pulse compression using high-frequency electrooptic phase modulation," *IEEE J. Quantum Electron.* **24**, 382-387 (1988).
- [3] U. Andral, J. Fatome, B. Kibler, and C. Finot, "Triangular spectral phase tailoring for the generation of high-quality picosecond pulse trains," *Opt. Lett.* **44**, 4913 (2019).
- [4] A. Sheveleva, U. Andral, B. Kibler, S. Boscolo, and C. Finot, "Temporal Optical Bessel Waves for High-Repetition Rate Picosecond Sources," *JPhys Photonics* **3**, 025001 (2021).
- [5] A. Sheveleva and C. Finot, "Nonlinear Compression of Bessel Waves for High Repetition-Rate Subpicosecond Pulse Trains," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **32**, 1493 (2020).