



## Obtention d'impulsions en limite de Fourier par compression spectrale réalisée dans une fibre optique

Julien Fatome, Bertrand Kibler, Esben Ravn Andresen, Herve Rigneault, Christophe Finot

### ► To cite this version:

Julien Fatome, Bertrand Kibler, Esben Ravn Andresen, Herve Rigneault, Christophe Finot. Obtention d'impulsions en limite de Fourier par compression spectrale réalisée dans une fibre optique. 32<sup>ièmes</sup> Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2012, Lyon, France. pp.219-221, 2012. <hal-00703460>

**HAL Id: hal-00703460**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00703460>**

Submitted on 13 Jul 2012

**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.

# OBTENTION D'IMPULSIONS EN LIMITE DE FOURIER PAR COMPRESSION SPECTRALE REALISEE DANS UNE FIBRE OPTIQUE

**Julien Fatome<sup>1</sup>, Bertrand Kibler<sup>1</sup>, Esben R. Andresen<sup>2</sup>,  
Hervé Rigneault<sup>2</sup> et Christophe Finot<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne,  
UMR 6303 CNRS – Université de Bourgogne, Dijon, France

<sup>2</sup> Institut Fresnel, UMR 6133 CNRS, Aix-Marseille Université,  
Domaine Universitaire de St Jérôme 13397 Marseille Cedex 20, France

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

## RÉSUMÉ

Nous démontrons la compression spectrale d'impulsions picosecondes dans un montage totalement fibré aux longueurs d'onde des télécommunications optiques. Grâce à un façonnage préalable du profil d'intensité en une parabole, un facteur de compression dépassant 10 est démontré avec un facteur de Strehl significativement augmenté par rapport à une impulsion de forme sécante hyperbolique.

**MOTS-CLEFS :** *compression spectrale ; impulsions paraboliques ; optique non-linéaire ; façonnage optique.*

## 1. INTRODUCTION

Grâce au confinement élevé de la lumière réalisé sur des distances considérables, les fibres optiques constituent un milieu idéal pour observer et exploiter l'auto-modulation de phase (SPM) induite par la non-linéarité Kerr de la silice [1]. Les supercontinua hautement cohérents et les impulsions ultrabrèves ont ainsi largement profité de l'expansion spectrale significative qui est subie lors de la propagation dans une fibre hautement non-linéaire (HNLF). Une application bien moins connue de la SPM repose sur une configuration où l'impulsion initiale présente une dérive de fréquence de pente négative (correspondant à un milieu à dispersion anormale). Dans une telle situation, la dérive de fréquence induite par la SPM compense la dérive de fréquence initiale si bien que les longueurs d'onde les plus élevées et les plus courtes se redistribuent vers la longueur d'onde centrale, conduisant donc à une compression spectrale de l'impulsion [2, 3].

Les performances réalisables dépendent alors de manière cruciale du profil d'intensité des impulsions utilisées. Les impulsions conventionnelles comme les impulsions de forme sécante hyperbolique ou gaussiennes entraînent l'apparition de piédestaux spectraux importants. Pour surmonter ce problème, la forme optimale à utiliser est une parabole inversée, ce qui a été récemment validé expérimentalement à partir d'impulsions femtosecondes évoluant dans une fibre microstructurée autour de 1  $\mu\text{m}$  [4]. Nous proposons dans cette contribution une nouvelle illustration des bénéfices apportés par un façonnage initial du profil temporel d'intensité. Les expériences menées explorent une gamme totalement différente de paramètres (longueur d'onde, puissance crête, durée de l'impulsion, longueur de fibre) et une compression spectrale de grande qualité avec un facteur de compression supérieur à 10 est démontré dans une fibre passive.

## 2. MONTAGE EXPERIMENTAL

Le montage expérimental mis en œuvre est schématisé sur la figure 1a. Un train d'impulsions de durée 2.4 ps est délivré par un laser à modes bloqués (LML) cadencé à un taux de répétition de

10 GHz et avec une longueur d'onde centrale de 1552.5 nm. Ces impulsions sont en limite de Fourier et ont un profil d'intensité de forme sécante hyperbolique. Le taux de répétition de ce laser est ensuite divisé par 8 grâce à un modulateur d'intensité (MI) et un modulateur de phase (MP) est inséré de manière à éviter la rétrodiffusion Brillouin. Le façonnage en amplitude de l'impulsion est réalisé par un dispositif commercial de chez Finisar (Waveshaper) et la dérive de fréquence anormale requise est inscrite par l'intermédiaire d'un segment de fibre standard monomode (SMF) d'une longueur de 3.9 km. Les impulsions initiales sont alors étirées jusqu'à atteindre une durée de 70 ps et sont caractérisées par un oscilloscope à échantillonnage de grande bande passante (Fig. 1b) avant d'être amplifiées par un amplificateur à fibre dopée erbium (EDFA) jusqu'à une puissance moyenne de 30 dBm. La puissance est ensuite ajustée par un atténuateur variable optique (AVO) contrôlé par un ordinateur (PC) et synchronisé à l'analyseur de spectre optique (ASO). La compression spectrale se déroule dans une fibre HNLF longue d'un kilomètre et présentant une atténuation d'1 dB/km, un coefficient non-linéaire de  $10/W/\text{km}$  ainsi qu'une dispersion normale.

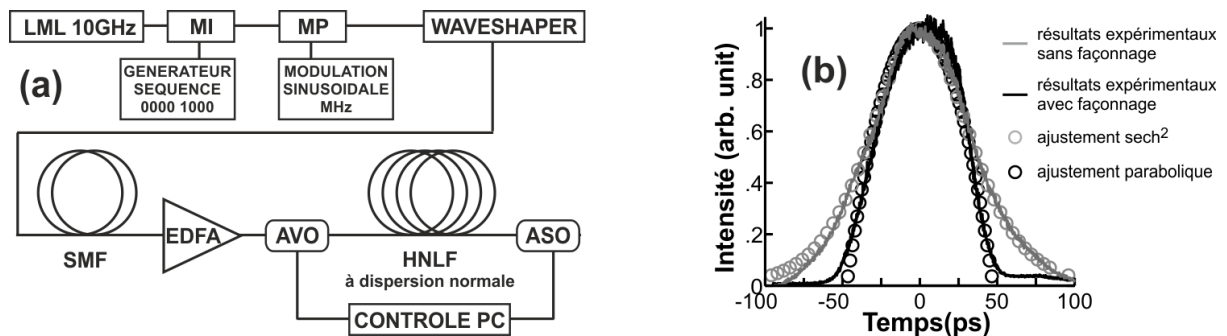


Fig. 1 : (a) Dispositif expérimental. (b) Profil d'intensité après la fibre SMF avec ou sans façonnage. Les résultats expérimentaux sont comparés à des ajustements par une parabole ou une sécante hyperbolique.

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les figures 2ab décrivent l'évolution des profils spectraux en fonction de la puissance crête initialement injectée pour les deux profils temporels considérés. Ces figures confirment l'influence primordiale de la forme de l'impulsion initiale sur la compression observée. Si la largeur spectrale et la puissance requise sont comparables, la présence de piédestaux et d'oscillations est clairement accentuée pour une sécante hyperbolique. La brillance spectrale est quant-à-elle augmentée par l'utilisation de l'impulsion parabolique. Nous pouvons de plus remarquer que l'expansion spectrale qui suit le point de compression optimum diffère significativement.

Le détail des spectres obtenus au point de recompression spectrale optimale (Fig. 2c) montre que par rapport aux impulsions initiales, la densité spectrale de puissance a été augmentée d'un facteur 9 pour les impulsions paraboliques, ce qui correspond à une amélioration d'un facteur 2 par rapport aux performances réalisées pour une sécante hyperbolique. Dans les deux cas, un facteur de compression de 12.2 est mesuré et nous avons pu vérifier que les profils temporels n'étaient pas affectés par le processus de compression spectrale. Le produit largeur temporelle-largeur spectrale est 0.745, ce qui n'est que 12% plus élevé que le cas théorique d'une impulsion parabolique en limite de Fourier (0.66). Au contraire, pour l'impulsion sécante hyperbolique, le résultat mesuré expérimentalement est le double de l'impulsion en limite de Fourier.

La Figure 2d décrit plus quantitativement les différences entre les deux formes d'impulsions : nous avons tracé en fonction de la puissance crête injectée l'évolution du rapport de Strehl, défini comme le rapport entre la brillance spectrale maximale mesurée et la brillance prédite numériquement en considérant une impulsion ayant une phase temporelle plate. Ce rapport de Strehl démontre encore une fois la supériorité des impulsions de forme parabolique avec un résultat qui est presque trois fois supérieur à celui obtenu pour le cas sécante hyperbolique. Nous montrons dans une dernière figure (Fig 2e) que la variance spectrale de l'impulsion mesurée en fonction de la

puissance crête suit une loi parabolique simple mais non triviale, confirmant ainsi une analogie qui peut être dressée entre la compression spectrale d'une impulsion parabolique et l'impact de la dispersion du second ordre dans le domaine temporel.

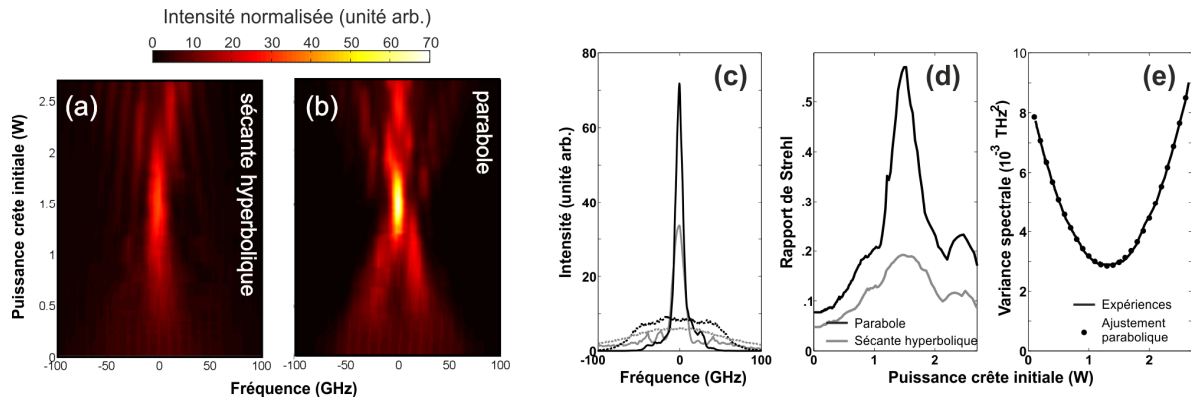


Fig. 2 : (a-b) Evolution expérimentale des profils d'intensité spectraux en fonction de la puissance crête initiale pour des profils d'impulsions initiales respectivement sécante hyperbolique et parabolique. Les spectres sont normalisés de telle façon à ce que leur énergie soit égale à 1. (c) Spectres optiques obtenus au point de compression optimum (lignes continues) pour une impulsion sécante hyperbolique (ligne grise) ou parabolique (ligne noire), comparés aux spectres initiaux (lignes pointillées). (d) Evolution du rapport de Strehl en fonction de la puissance crête initiale. (e) Evolution de la variance spectrale de l'impulsion en fonction de la puissance crête de l'impulsion parabolique initiale.

## CONCLUSION

Nous avons démontré la compression spectrale d'impulsions picosecondes dans un montage totalement fibré aux longueurs d'onde des télécommunications optiques. En exploitant une fibre standard monomode comme étireur d'impulsion afin d'imposer la dérive de fréquence initiale requise, un facteur de compression spectrale dépassant 12 a été réalisé avec de plus des impulsions obtenues quasiment en limite de Fourier. Cette compression s'est basée sur une fibre hautement non-linéaire d'une longueur d'un kilomètre avec des puissances crête initiales de l'ordre du Watt. Les énergies nécessaires sont alors bien inférieures à la nanoJoule, ce qui a permis d'opérer à un taux de répétition dépassant le GHz. Un façonnage de l'impulsion initiale a permis d'améliorer significativement les résultats : la qualité des spectres recomprimés est bien plus élevée, avec des sous-structures bien plus réduites, ce qui se traduit également par un facteur de Strehl amélioré.

## REFERENCES

- [1] G. P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics, Fourth Edition* (Academic Press, San Francisco, CA, 2006).
- [2] S. A. Planas, N. L. Pires Mansur, C. H. Brito Cruz, and H. L. Fragnito, "Spectral narrowing in the propagation of chirped pulses in single-mode fibers," *Opt. Lett.* **18**, 699-701 (1993).
- [3] M. Oberthaler, and R. A. Höpfel, "Spectral narrowing of ultrashort laser pulses by self-phase modulation in optical fibers," *Appl. Phys. Lett.* **63**, 1017-1019 (1993).
- [4] E. R. Andresen, J. M. Dudley, C. Finot, D. Oron, and H. Rigneault, "Transform-limited spectral compression by self-phase modulation of amplitude shaped pulses with negative chirp," *Opt. Lett.* **36**, 707-709 (2011).