



**HAL**  
open science

# Compression spectrale améliorée par une modulation de phase corrective sinusoidale

Christophe Finot, Sonia Boscolo

► **To cite this version:**

Christophe Finot, Sonia Boscolo. Compression spectrale améliorée par une modulation de phase corrective sinusoidale. 36èmes Journées Nationales d'Optique Guidée, SFO, Jul 2016, Bordeaux, France. hal-01312328

**HAL Id: hal-01312328**

**<https://hal.science/hal-01312328>**

Submitted on 14 Jul 2016

**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.

# COMPRESSION SPECTRALE AMÉLIORÉE PAR UNE MODULATION DE PHASE CORRECTIVE SINUSOÏDALE

Christophe Finot<sup>1</sup> et Sonia Boscolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot Bourgogne, UMR 6303 UBFC-CNRS, 2178 Dijon, France*

<sup>2</sup> *Aston Institute of Photonic Technologies, Birmingham B4 7ET, Royaume-Uni*

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

## RÉSUMÉ

En exploitant une modulation de phase sinusoïdale temporelle additionnelle, nous montrons qu'il est possible d'améliorer significativement les performances d'une compression spectrale réalisée en régime de propagation hautement non-linéaire. Les simulations numériques indiquent ainsi une amélioration des facteurs de compression ainsi que du rapport de Strehl.

**MOTS-CLEFS :** *optique non-linéaire fibrée, compression spectrale*

## 1. INTRODUCTION

L'auto-modulation dans une fibre optique non-linéaire est souvent associée à un élargissement du spectre d'une impulsion. Néanmoins, si l'impulsion initiale est initialement dotée d'une dérive de fréquence telle celle acquise dans une fibre à dispersion anormale, le comportement observé peut être totalement différent. Ainsi, au lieu de s'étendre par la création de nouvelles fréquences, le spectre aura dans un premier temps tendance à s'affiner [1, 2]. Ce processus de compression spectrale conduit néanmoins généralement à des impulsions n'étant pas en limite de Fourier, la dérive de fréquence initiale n'étant pas parfaitement compensée par l'auto-modulation de phase. Pour remédier à cette limite et améliorer la qualité du spectre recomprimé, plusieurs voies ont été proposées. Ainsi, un façonnage préalable de l'impulsion pour acquérir un profil parabolique permet de réduire significativement les ailes spectrales [3]. Il est également possible d'exploiter l'auto-façonnage subi dans le régime de dispersion normale pour générer des impulsions rectangulaires ou paraboliques en quasi-limite de Fourier [4, 5]. Nous présentons dans cette contribution une nouvelle approche pour laquelle l'ajout d'une modulation de phase sinusoïdale ayant l'amplitude et la fréquence adéquates permet d'éliminer le chirp résiduel généralement présent et ainsi d'accroître significativement les performances du processus de compression spectrale.

## 2. SITUATION ÉTUDIÉE – COMPRESSION SPECTRALE EN RÉGIME NON-LINÉAIRE

Nous nous intéressons à la compression spectrale en régime de propagation purement non-linéaire (la dispersion de la fibre est négligeable). Nous considérons une impulsion de forme gaussienne étirée préalablement dans un élément purement dispersif de manière à voir sa durée temporelle augmentée d'un facteur 20. Le problème étudié peut se normaliser facilement par rapport à la durée de l'impulsion initiale  $T_0$  et par rapport à la longueur non-linéaire  $L_{NL}$  définie comme l'inverse du produit de la puissance initiale de l'impulsion et du coefficient non-linéaire de la fibre. L'évolution longitudinale du spectre représentée Fig. 1(a) montre clairement le processus de compression spectrale, suivi d'un éclatement du spectre en sous structures. Ainsi, à la distance  $z_1$ , le chirp initial est compensé dans sa partie centrale et conduit à un spectre avec des ailes décroissant de manière monotone. A la distance  $z_2$ , le spectre s'est davantage comprimé, ce qui lui permet d'avoir une brillance supérieure. Le profil spectral souffre néanmoins de la présence de piédestaux. A la distance  $z_3$ , le spectre obtenu semble a priori inexploitable avec de larges oscillations.

Pour quantifier l'évolution longitudinale des performances, nous avons calculé le coefficient de compression spectrale défini soit à partir de la largeur à mi-hauteur du spectre ( $C_{fwhm}$ ), soit à

partir de sa largeur rms ( $C_{rms}$ ). Nous avons également mesuré le rapport de Strehl  $S$  basé sur le rapport entre la brillance obtenue et la brillance générée idéalement par une impulsion en limite de Fourier. Les résultats résumés sur le panneau c de la figure 1 montrent que la qualité optimale de compression est obtenue à  $z_2$  mais avec un rapport de Strehl restant modéré et une compression  $C_{rms}$  assez faible indiquant la présence de piédestaux non-négligeables.

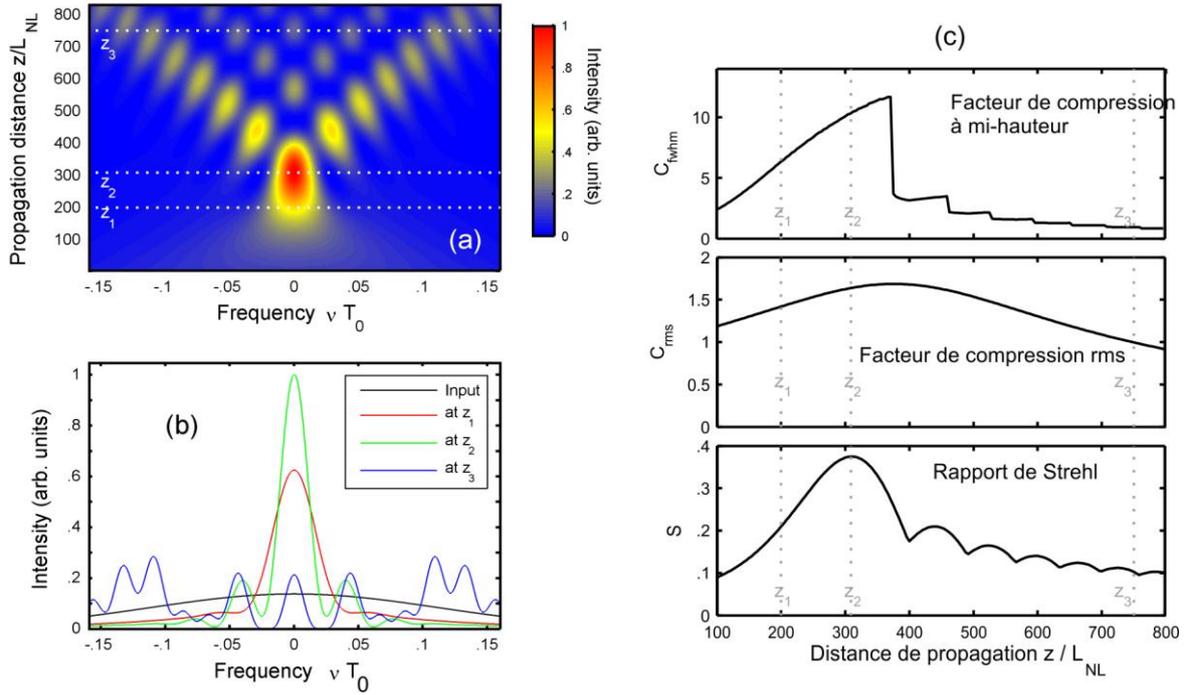


Fig. 1 : Compression spectrale dans une fibre HNLF : (a) Évolution longitudinale du profil d'intensité spectrale. (b) Détail des profils spectraux pris à différentes distances. (c) Évolution longitudinale du facteur de Strehl et de compression en termes de largeur à mi-hauteur ou bien de largeur rms.

### 3. APPROCHE CORRECTIVE PAR MODULATION DE PHASE TEMPORELLE

Nous montrons maintenant comment l'ajout d'une modulation temporelle de la phase permet d'améliorer significativement les performances. Le profil de chirp en  $z_1$  représenté Fig. 2(a) montre que la compensation du chirp initial par l'auto-modulation de phase est restreinte à une petite part seulement du centre de l'impulsion. Quand on se place à  $z_3$ , le chirp présente de très fortes oscillations dont l'allure générale au centre rappelle une forme sinusoïdale. Il est alors intéressant d'envisager l'annulation de ce chirp résiduel par l'ajout d'une phase temporelle sinusoïdale de signe opposé avec une fréquence et une amplitude adaptées. Après correction, le chirp se montre remarquablement plat sur la quasi-totalité de l'impulsion étirée. Le spectre résultant (panneau b) présente une amélioration indéniable de la compression : l'ensemble des oscillations disparaît et toute l'énergie est désormais concentrée dans la partie centrale du spectre. Cette amélioration est également visible en échelle logarithmique avec une réduction considérable des ailes spectrales de l'impulsion et une augmentation de la brillance.

Ce comportement mis en évidence à la distance  $z_3$  peut également être reproduit aux autres distances de propagation supérieures à  $z_2$  comme le montre la Fig. 3(a). Que ce soit au niveau du facteur de compression à mi-hauteur ou rms, l'amélioration quantitative est également nette. En particulier  $C_{rms}$  triple, confirmant la diminution des ailes. Le rapport de Strehl est également presque doublé démontrant tout l'efficacité théorique de notre approche.

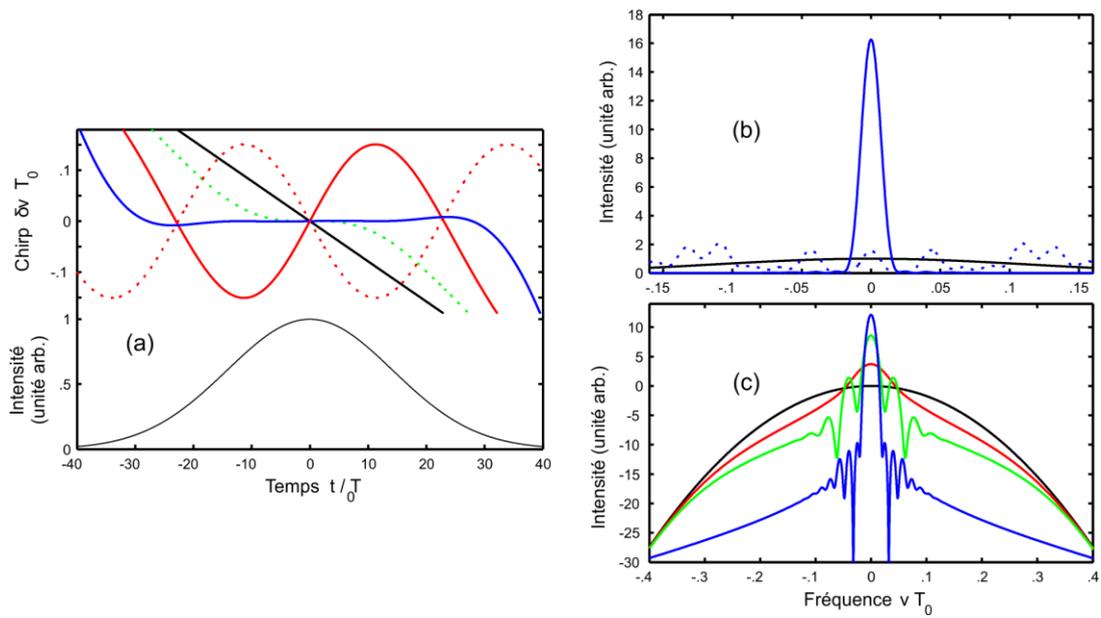


Fig. 2 : (a) Profil d'intensité et de chirp avec et sans correction additionnelle (initial noir ; à  $z_1$  vert pointillé, à  $z_3$ , rouge ; correction appliquée rouge pointillé ; résultat bleu) (b) Spectre résultant de la correction en  $z=0$  (noir), en  $z=z_3$  (bleu) avant et après correction (pointillé et continu respectivement), (c) Spectres en échelle logarithmique en  $z=0, z_1, z_2$  et  $z_3$  après correction (courbes respectivement noir, rouge, vert, bleu).

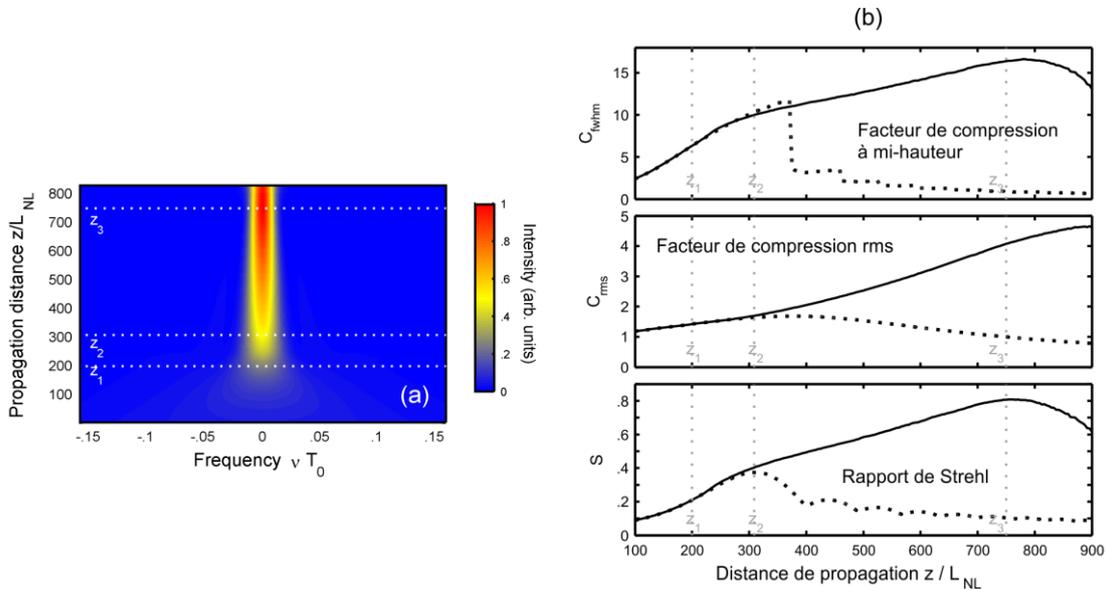


Fig. 3 : Évolution longitudinale du spectre corrigé (a) et des performances du dispositif en termes de facteur de compression et de rapport de Strehl (b) avec et sans correction (courbes continues et pointillées).

### RÉFÉRENCES

- [1] A. V. Zohrabian and L. K. Mouradian, "Compression of the spectrum of picosecond ultrashort pulses," *Quantum Electronics*, vol. 25, p. 1076, 1995.
- [2] M. Oberthaler and R. A. Höpfel, "Spectral narrowing of ultrashort laser pulses by self-phase modulation in optical fibers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 63, pp. 1017-1019, 1993.
- [3] J. Fatome, *et al.*, "All-fiber spectral compression of picosecond pulses at telecommunication wavelength enhanced by amplitude shaping," *Appl. Opt.*, vol. 51, pp. 4547-4553, 2012.
- [4] C. Finot and S. Boscolo, "Design rules for nonlinear spectral compression in optical fibers," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 33, pp. 760-767, 2016.
- [5] A. A. Kutuzyan, *et al.*, "Dispersive regime of spectral compression," *Quantum Electronics*, vol. 38, pp. 383-387, 2008.