



**HAL**  
open science

## Compression spectrale dans les fibres optiques en présence de dispersion normale

Christophe Finot, Sonia Boscolo

► **To cite this version:**

Christophe Finot, Sonia Boscolo. Compression spectrale dans les fibres optiques en présence de dispersion normale. Optique Bretagne 2015, 35ième Journées Nationales de l'Optique Guidée, SFO, Jul 2015, Rennes, France. pp.275. hal-01312348

**HAL Id: hal-01312348**

**<https://hal.science/hal-01312348v1>**

Submitted on 5 May 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 DANS LES FIBRES OPTIQUES EN PRÉSENCE DE DISPERSION NORMALE

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

<sup>1</sup> Laboratoire Interdisciplinaire Carnot Bourgogne, UMR 6303 UB-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

Nous étudions numériquement le phénomène de compression spectrale se déroulant dans une fibre optique à dispersion normale. Les conditions conduisant à une impulsion en quasi-limite de Fourier sont déterminées et nous montrons que loin de dégrader les performances, la présence de dispersion normale permet une amélioration significative des résultats.

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

## 1. INTRODUCTION

Le processus d'auto-modulation de phase (self phase modulation – SPM) est traditionnellement connu pour contribuer à élargir le spectre optique d'une impulsion se propageant dans un milieu Kerr. Néanmoins, sous certaines conditions, il peut également conduire à un rétrécissement du spectre. Ce processus a ainsi été exploité dans les fibres optiques pour générer à partir d'impulsions femtosecondes à dérive de fréquence anormale des impulsions picosecondes en limite de Fourier [1; 2; 3; 4]. Au contraire d'un filtrage spectral usuel qui s'accompagne d'une dissipation d'énergie significative, ce regroupement des fréquences autour de la longueur d'onde centrale de l'impulsion n'entraîne aucune perte d'énergie et conduit donc une augmentation de l'intensité spectrale.

Travailler en régime purement non-linéaire où, en l'absence d'effets dispersifs, l'auto-modulation de phase est maximale semble a priori plus favorable à une compression spectrale. Nous montrons néanmoins ici que la présence d'un certain niveau de dispersion normale lors de la propagation dans une fibre optique permet d'améliorer significativement la qualité de l'impulsion obtenue après compression spectrale.

## 2. PRINCIPE DE LA COMPRESSION SPECTRALE ET MODÈLE UTILISÉ

Lors de sa propagation dans un milieu Kerr, une impulsion acquiert une dérive de fréquence temporelle (chirp) proportionnelle au gradient de son profil temporel d'intensité. Si l'impulsion possède initialement un chirp anormal (de pente opposée à celui induit par la SPM), celui-ci peut donc être partiellement compensé par l'action de la SPM. La figure 1 illustre cette situation : en régime purement non-linéaire, l'impulsion ne subit pas alors de modification de son profil temporel et la compensation ne peut être que partielle si l'impulsion initiale n'est pas de forme parabolique [3; 4]. Il en résulte des piédestaux marqués dans le spectre recomprimé.

Nous nous intéressons ici à l'influence d'une dispersion normale dans la fibre servant de milieu non-linéaire. Une impulsion en limite de Fourier de forme Gaussienne est tout d'abord élargie temporellement à travers un élément dispersif pour acquérir un chirp linéaire. L'impulsion étendue se propage ensuite dans une fibre optique non-linéaire à dispersion normale. Pour modéliser l'action conjointe de la dispersion et de la non-linéarité, nous utilisons l'équation de Schrödinger non-linéaire [5]. Cette équation peut se normaliser [5-6] et les résultats s'exprimer alors en fonction d'une distance de propagation normalisée par rapport à la longueur dispersive  $L_D$  et en fonction

d'un nombre 'soliton'  $N$ , rapport des distances linéaires et non-linéaires [6]. Pour mesurer l'efficacité de la compression spectrale, nous mesurons trois paramètres : les facteurs de compression définis comme les rapports des largeurs des spectres comprimés et initiaux (en se basant soit sur la largeur à mi-hauteur –  $C_{FWHM}$ , soit sur l'écart type de la largeur  $C_{RMS}$ ) et le facteur de Strehl  $S$ , défini comme le rapport entre la brillance spectrale maximale mesurée et la brillance idéale prédite numériquement en considérant une impulsion ayant une phase temporelle plate.

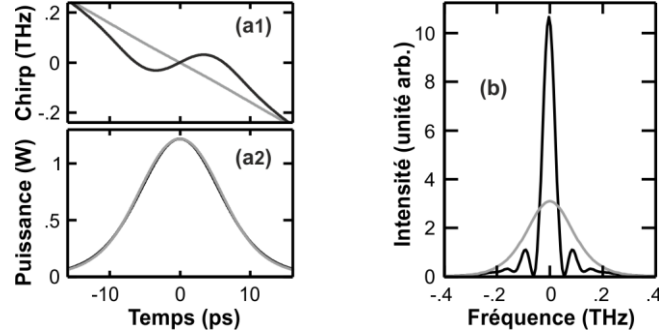


Fig. 1 : Illustration du processus de compression spectrale dans une fibre hautement non-linéaire. (a) Profils temporels de chirp et d'intensité (panneaux 1 et 2 respectivement). (b) Profil spectral de l'impulsion. L'impulsion après recompression spectrale (courbe noire) est comparée à l'impulsion initiale (courbes grises).

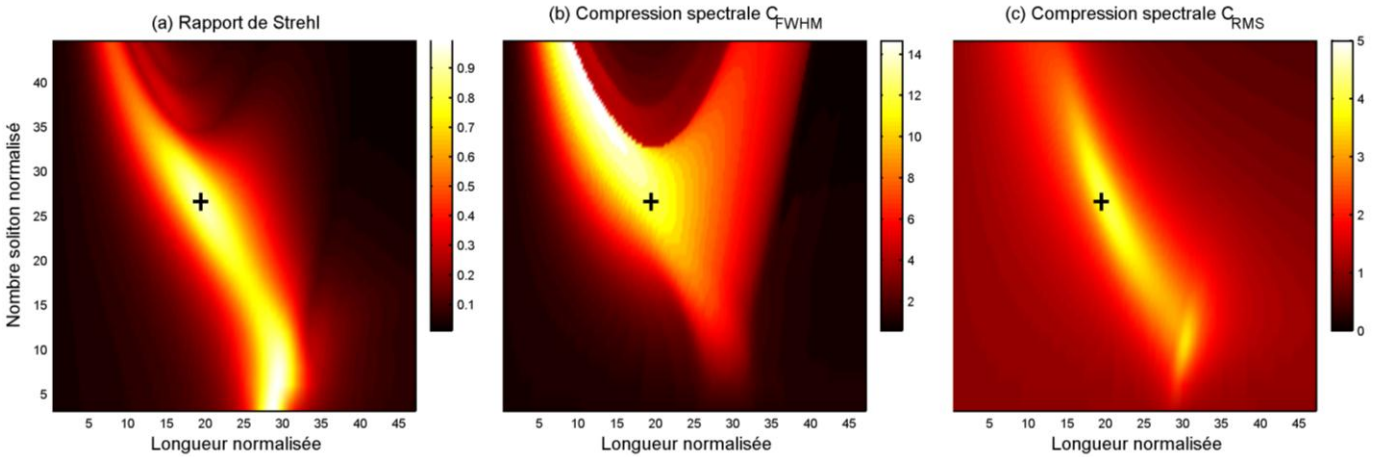


Fig. 2 : Rapport de Strehl  $S$  (a) et facteur de compression spectrale (b et c,  $C_{FWHM}$  et  $C_{RMS}$ ) en fonction de la distance de propagation normalisée  $z/L_D$  (avec  $L_D = T^2 / \beta_2$ ,  $\beta_2$  étant la dispersion de la fibre de compression et  $T$  une durée caractéristique de l'impulsion initiale [5]) et du nombre 'soliton'  $N$  défini par  $N^2 = L_D/L_{NL}$  avec  $L_{NL} = 1 / \gamma P$ ,  $\gamma$  étant le coefficient non-linéaire de la fibre de compression. Les résultats montrés correspondent à un élargissement temporel initial de 25. Les croix noires indiquent les paramètres pour lesquels  $S$  est maximal.

### 3. DÉTERMINATION DES CONDITIONS OPTIMALES EN PRÉSENCE DE DISPERSION NORMALE

Nous avons conduit numériquement une recherche exhaustive du couple longueur/puissance optimal. Les résultats obtenus à partir de cette analyse bi-dimensionnelle sont rapportés figure 2 pour une impulsion initialement élargie temporellement d'un facteur 25. En présence de dispersion, nous constatons qu'un facteur de Strehl supérieur à 0.9 est atteignable, ce qui est à comparer à la valeur maximale obtenue en propagation purement non-linéaire, à savoir 0.35. La dispersion normale n'influe donc pas négativement sur la qualité de la compression, les impulsions générées se rapprochant davantage de la limite de Fourier (i.e.  $S = 1$ ). Ceci est rendu possible car la dispersion modifie progressivement le profil d'intensité de l'impulsion, l'aplatissant peu à peu et introduisant

ainsi un chirp qui n'est pas limité à celui introduit via SPM. Cette amélioration se fait en maintenant un facteur de compression  $C_{FWHM}$  élevé au point optimal de compression où  $S$  est maximal. Notons que ce point peut être assez éloigné des conditions permettant une compression  $C_{FWHM}$  maximale. Concernant  $C_{RMS}$  la présence de dispersion normale permet une amélioration sensible du résultat, soulignant une baisse marquée des piédestaux spectraux.

#### 4. INFLUENCE DU NIVEAU D'ÉLARGISSEMENT TEMPOREL INITIAL

Nous étudions finalement toujours numériquement l'influence du facteur d'élargissement initial de l'impulsion sur les paramètres étudiés. Les résultats sont résumés figure 3 et montrent que des performances similaires en termes de qualité sont obtenus en présence de dispersion alors que dans un régime de SPM pure, la qualité décroît avec l'élargissement initial. Dans tous les cas, la compression réalisée  $C_{FWHM}$  augmente avec l'élargissement initial.

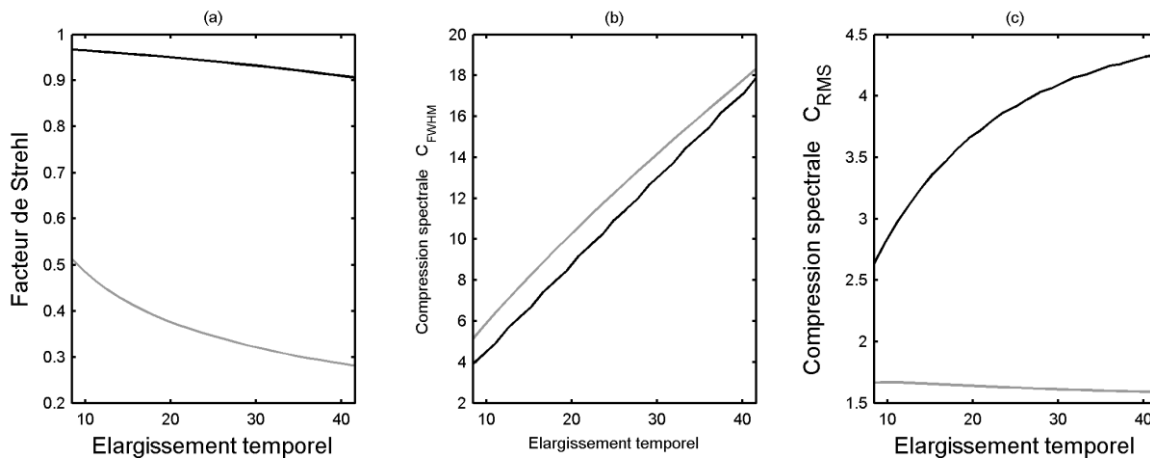


Fig. 3 : Évolution en fonction de l'élargissement temporel appliqué à l'impulsion initiale : (a) du rapport de Strehl, (b) du facteur de compression spectrale  $C_{FWHM}$ , (c) du facteur de compression spectrale  $C_{RMS}$ . Les résultats sont enregistrés systématiquement pour les paramètres donnant le facteur de Strehl maximal. Les résultats obtenus en régime purement non-linéaire (courbe grise) sont comparés à ceux obtenus en présence de dispersion normale (courbe noire).

#### CONCLUSION

Nous avons montré numériquement que la présence de dispersion normale dans une fibre optique n'était pas un frein à l'observation d'une compression spectrale de bonne qualité. Au contraire, la déformation progressive du profil d'intensité temporel permet de se rapprocher d'une impulsion en limite de Fourier. Les différentes tendances mentionnées ici sont également reproduites pour d'autres formes d'impulsions comme les sécantes hyperboliques.

#### RÉFÉRENCES

- [1] 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 (1993) 699-701.
- [2] A.V. Zohrabian, and L.K. Mouradian, Compression of the spectrum of picosecond ultrashort pulses. *Quantum Electronics* 25 (1995) 1076.
- [3] J. Fatome et al, All-fiber spectral compression of picosecond pulses at telecommunication wavelength enhanced by amplitude shaping. *Appl. Opt.* 51 (2012) 4547-4553.
- [4] E.R. Andresen, C. Finot, D. Oron, and H. Rigneault, Spectral Analog of the Gouy Phase Shift. *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 143902.
- [5] G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics*, Fourth Edition, Academic Press, San Francisco, CA, 2006.
- [6] C. Finot, L. Provost, P. Petropoulos, and D.J. Richardson, Parabolic pulse generation through passive nonlinear pulse reshaping in a normally dispersive two segment fiber device. *Opt. Express* 15 (2007) 852-864.