



**HAL**  
open science

# Impact du profil de phase initial sur l'évolution asymptotique d'impulsions dans un amplificateur à fibre

Christophe Finot, Lei Wu

► **To cite this version:**

Christophe Finot, Lei Wu. Impact du profil de phase initial sur l'évolution asymptotique d'impulsions dans un amplificateur à fibre. COLLOQUE SUR LES LASERS ET L'OPTIQUE QUANTIQUE (COLOQ 11), Sep 2009, Mouans Sartoux, France. pp.79. hal-00469984

**HAL Id: hal-00469984**

**<https://hal.science/hal-00469984>**

Submitted on 4 Apr 2010

**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.

# Impact du profil de phase initial sur l'évolution asymptotique d'impulsions dans un amplificateur à fibre

Christophe FINOT<sup>1</sup>, Lei WU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut CARNOT de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon, France

<sup>2</sup> Institute of Nonlinear Physics, Zhejiang Normal University, Zhejiang, 321004, Chine  
christophe.finot@u-bourgogne.fr

**Résumé :** Nous étudions numériquement l'impact d'une dérive de fréquence initiale ou d'un saut de phase initial sur la dynamique asymptotique d'une impulsion se propageant dans un amplificateur à fibre à dispersion normale. Nous montrons notamment que si l'enveloppe de l'impulsion reste correctement décrite par l'expression analytique d'un similariton parabolique, des structures sombres peuvent néanmoins se superposer à cette enveloppe.

**Mots-Clés :** Optique non-linéaire, autosimilarité, amplificateur à fibre

## 1 Introduction

Depuis sa mise en évidence en 2000, la génération d'impulsions optiques autosimilaires dans des amplificateurs fibrés à dispersion normale a généré un intérêt croissant, tant d'un point de vue fondamental que d'un point de vue applicatif [1]. Il a en effet été montré que toute impulsion, quelle que soit sa forme initiale, tend asymptotiquement vers un profil d'intensité parabolique combiné à une dérive de fréquence linéaire [1, 2]. Autrement dit, l'impulsion similariton constitue un attracteur de ce système combinant gain, non-linéarité et dispersion normale [3].

Si l'influence du profil d'intensité initial (durée ou bien forme) a fait l'objet de plusieurs travaux [1-4], l'impact du profil de phase n'a, à ce jour, pas encore été spécifiquement étudié. En nous basant sur une configuration expérimentale existante pour laquelle des impulsions paraboliques ont pu être directement visualisées sur un oscilloscope rapide [5], nous allons successivement rechercher les conséquences d'une dérive de fréquence linéaire normale ou anormale, puis d'un saut de phase sur l'impulsion initiale.

## 2 Influence d'une dérive de fréquence initiale

Nous considérons tout d'abord une impulsion de forme gaussienne d'une durée temporelle à mi-hauteur de 80 ps et d'une énergie initiale de 6 pJ se propageant dans un amplificateur Raman distribué ayant une dispersion de  $14.8 \text{ ps}^2 \cdot \text{km}^{-1}$ , une non-linéarité Kerr de  $4.6 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$  et un gain de  $1.8 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$  [5]. L'évolution longitudinale du profil de l'impulsion est modélisée par l'équation de Schrödinger non-linéaire (ESNL) incluant un terme de gain constant. Nous avons représenté Fig. 1a l'évolution des largeurs temporelles et spectrales (largeurs rms) pour différentes dérives de fréquences initiales linéaires (chirp) caractérisées par leur pente (coefficient de chirp). L'évolution de ces deux paramètres est comparée à l'évolution asymptotique prédite par l'analyse autosimilaire de l'ESNL [1]. Nous constatons alors que les impulsions subissent un élargissement temporel et spectral exponentiel qui est, après une certaine distance de propagation, correctement décrit par la solution asymptotique. Dans le cas d'une dérive de fréquence initiale de pente négative, l'impulsion subit néanmoins avant d'atteindre ce régime asymptotique une étape de compression temporelle et spectrale [4].

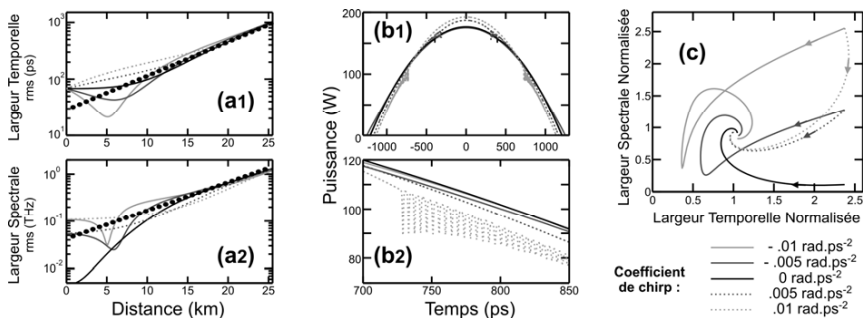


Fig. 1 : Dynamique d'impulsions initiales de 6 pJ ayant une largeur temporelle de 80 ps avec différents coefficients de dérive de fréquence linéaire initiale. (a) Évolution longitudinale de la largeur rms temporelle (a1) et spectrale (a2). Les résultats sont comparés avec les prédictions analytiques (cercles noirs). (b) profil d'intensité en sortie de l'amplificateur. (c) Trajectoire dans l'espace largeur temporelle / largeur spectrale.

Le détail du profil d'intensité montre que, pour certaines valeurs positives du coefficient de chirp, des résidus d'oscillations non-sinusoidales subsistent. Ces oscillations résultent du battement initié par une étape intermédiaire de wave-breaking [6] qui évolue ensuite en raison de la non-linéarité et du gain vers des similaritons sombres [7]. L'impact significatif du signe de la pente du chirp initial se remarque également dans une représentation dans le plan largeur temporelle/largeur spectrale [3] avec des trajectoires vers l'attracteur extrêmement différentes.

## 3 Influence d'un saut de phase initial

Nous avons également considéré l'influence d'un saut de phase de  $\pi$  avec un temps de transition de 7 ps. La dynamique d'une impulsion gaussienne avec et sans ce saut de phase est décrite Fig. 2. Le diagramme Fig. 2a indique que les évolutions des largeurs temporelle et spectrale convergent rapidement vers une même évolution, les profils temporels d'intensité (Fig. 2b1) étant très proches. Il peut néanmoins être noté dans le cas de l'impulsion avec un saut de phase initial des trous de lumière ayant une certaine profondeur. Ces structures sont une conséquence du saut de phase initial et évoluent sur le profil parabolique de l'impulsion (Fig. 2c2), en subissant elles-mêmes une évolution auto-similaire marquée par une diminution de leur largeur temporelle [8].

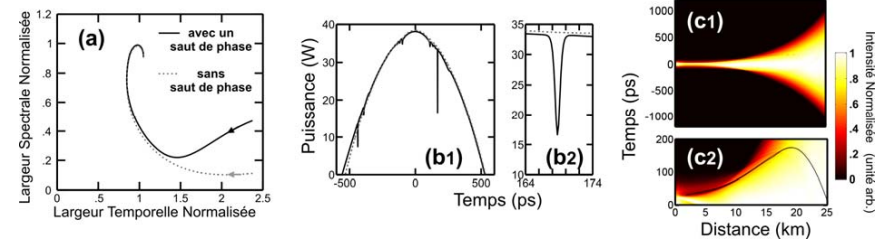


Fig. 2 : Influence d'un saut de phase initial de  $\pi$ . (a) Trajectoire dans l'espace largeur temporelle/largeur spectrale pour un pulse avec (ligne continue noire) et sans (ligne pointillée grise) saut de phase initial. (b1) profil temporel d'intensité à 20 km de propagation et détail de ce profil (b2). (c1) Évolution longitudinale du profil d'intensité et détail de l'évolution (c2) (ligne noire : trajectoire de la structure sombre).

## 4 Conclusions

Nous avons numériquement vérifié que la solution parabolique asymptotique décrivait correctement l'évolution de l'enveloppe d'une impulsion dans un amplificateur à fibre à dispersion normale, quel que soit le profil de phase appliqué à l'impulsion initiale. La trajectoire empruntée pour atteindre l'état asymptotique sera néanmoins affectée par la phase initiale. Nous avons mis en évidence que des sauts de phase initiaux pouvaient générer des structures autosimilaires sombres évoluant sur l'enveloppe parabolique. Ces conclusions obtenues dans le cadre d'une fibre optique peuvent être étendues à un guide d'onde amplificateur non-linéaire à gradient d'indice [9] pour lequel des formulations analytiques de la trajectoire du similariton sombre ont pu être proposées.

## Références

- [1] M. E. Fermann, V. I. Kruglov, B. C. Thomsen, J. M. Dudley, and J. D. Harvey, "Self-similar propagation and amplification of parabolic pulses in optical fibers," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 84, pp. 6010-6013, 2000.
- [2] C. Finot, G. Millot, and J. M. Dudley, "Asymptotic characteristics of parabolic similariton pulses in optical fiber amplifiers," *Opt. Lett.*, vol. 29, pp. 2533-2535, 2004.
- [3] S. Wabnitz, "Analytical Dynamics of parabolic pulses in nonlinear optical fiber amplifiers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 19, pp. 507-509, 2007.
- [4] C. Finot, F. Parmigiani, P. Petropoulos, and D. J. Richardson, "Parabolic pulse evolution in normally dispersive fiber amplifiers preceding the similariton formation regime," *Opt. Express*, vol. 14, pp. 3161-3170, 2006.
- [5] K. Hammani, C. Finot, S. Pitois, J. Fatome, and G. Millot, "Real time measurement of long parabolic optical similaritons," *Electron. Lett.*, vol. 44, pp. 1239-1240, 2008.
- [6] C. Finot, B. Kibler, L. Provost, and S. Wabnitz, "Beneficial impact of wave-breaking or coherent continuum formation in normally dispersive nonlinear fibers," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 25, pp. 1938-1948, 2008.
- [7] C. Finot and G. Millot, "Interactions of optical similaritons," *Opt. Express*, vol. 13, pp. 5825-5830, 2005.
- [8] S. A. Ponomarenko and G. P. Agrawal, "Do solitonlike self-similar waves exist in nonlinear optical media?," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 97, p. 013901, 2006.
- [9] L. Wu, J.-F. Zhang, L. Li, C. Finot, and K. Porsezian, "Similaritons interaction in nonlinear graded-index waveguide amplifiers," *Phys. Rev. A*, vol. 78, p. 053807, 2008.