HAL
open science

Génération d'impulsions paraboliques par utilisation d'une fibre à dispersion normale décroissante

Christophe Finot, Stefan Wabnitz, Aleksei N. Guryanov, Alexej A. Sysoliatin

To cite this version:

Christophe Finot, Stefan Wabnitz, Aleksei N. Guryanov, Alexej A. Sysoliatin. Génération d'impulsions paraboliques par utilisation d'une fibre à dispersion normale décroissante. 26èmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2007, Grenoble, France. hal-00469967

HAL Id: hal-00469967

https://hal.science/hal-00469967

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.

Génération d'impulsions paraboliques par utilisation d'une fibre à dispersion normale décroissante

Christophe FINOT et Stefan WABNITZ
Institut Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 9 Av. A. Savary, BP 47 870, F-21078 DIJON Cedex, FRANCE
christophe.finot@u-bourgogne.fr
Alexey GURYANOV et Alexej A. SYSOLIATIN
Fiber Optics Research Center, General Physics Institute, MOSCOW 119991, RUSSIA

Abrégé : Nous démontrons expérimentalement la possibilité de générer des impulsions paraboliques grâce à l'utilisation d'une fibre à dispersion normale décroissante. Nous mettons en évidence numériquement et expérimentalement l'influence du profil de dispersion utilisé.

1. Introduction

La génération dans des fibres optiques d'impulsions ayant un profil parabolique et une dérive de fréquence linéaire a généré ces dernières années un intérêt grandissant. Une méthode élégante consiste à utiliser l'évolution asymptotique, dans un amplificateur fibré à dispersion normale, de toute impulsion vers un profil de similariton optique [1]. Des démonstrations expérimentales exploitant soit l'amplification dans une fibre dopée terre-rare [1], soit l'amplification Raman [2] ont confirmé l'intérêt de cette approche, notamment pour la génération d'impulsions ultracourtes de forte puissance crête.
L'utilisation de fibres actives s'accompagne néanmoins de limites, comme une bande passante de gain finie et la nécessité de mettre en œuvre un pompage optique. Pour des applications ne visant pas l'amplification d'impulsions, l'utilisation de fibres passives est donc d'un intérêt indéniable. Plusieurs approches ont alors été proposées : utilisation de réseaux de Bragg superstructurés pour effectuer une mise en forme passive [3], utilisation d'un agencement judicieux de deux fibres optiques [4] ou bien encore utilisation de fibres à dispersion décroissante [5]. Dans cette dernière approche, la variation longitudinale de la dispersion est formellement équivalente à un gain optique. Expérimentalement, le profil de dispersion décroissant a pu être approximé par la concaténation de plusieurs segments de fibres [6]. Des résultats préliminaires concernant l'utilisation d'une fibre composée de trois segments à dispersion continûment variable ont été également récemment rapportés [7]. Nous présentons ici la première démonstration expérimentale claire utilisant une fibre unique à dispersion normale longitudinalement décroissante.

2. Principe et simulations numériques

Nous modélisons l'évolution longitudinale du champ électrique ψ de l'impulsion optique se propageant dans une fibre en utilisant l'équation de Schrödinger non-linéaire :

$$i\,\frac{\partial\psi}{\partial z} = \frac{\beta_2(z)}{2}\,\frac{\partial^2\psi}{\partial T^2} - \gamma\,|\psi|^2\,\psi\ ,$$

avec γ le coefficient de la non-linéarité Kerr et $\beta_2(z)$ la dispersion normale variant longitudinalement.

Nous étudions trois profils de dispersion distincts représentés Fig. 1. Le profil **A** pour lequel $|\beta_2(z)|$ décroît progressivement doit conduire théoriquement à l'obtention d'impulsions ayant le profil parabolique linéairement chirpé recherché [5]. Nous comparerons les résultats obtenus avec l'évolution dans le profil **B** pour lequel $|\beta_2(z)|$ croit progressivement et avec le profil **C** pour lequel la valeur de la dispersion constante correspond à la valeur de la dispersion moyenne des profils **A** et **B**. Pour tous ces différents profils, la dispersion minimale $|\beta_2(z)|$ est supérieure à 1.5 ps/km/nm ce qui devrait nous permettre de ne pas être excessivement sensible aux effets dispersifs du troisième ordre [8].

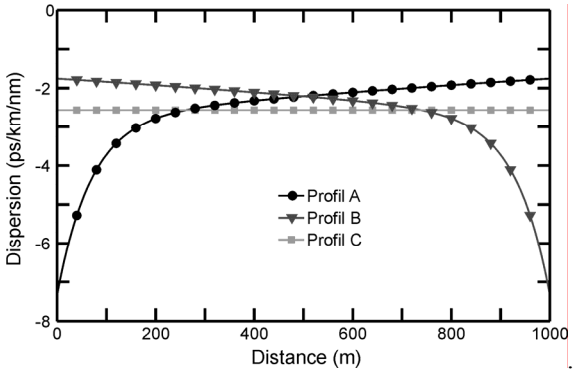

Figure 1 : *Profils de dispersion longitudinaux simulés*

Nous considérons tout d'abord une impulsion initiale de forme gaussienne, de largeur à mi-hauteur 5 ps et d'énergie 1 nJ. Les profils temporels d'intensité et de chirp obtenus après propagation dans 1000 m de fibre sont représentés Figure 2. Dans le cas de la configuration **A**, nous vérifions qu'un ajustement parabolique prend convenablement en compte la décroissance rapide des ailes de l'impulsion. Le profil de dispersion (**A**, **B** ou **C**) ne semble pas avoir d'influence cruciale sur le chirp obtenu. Par contre, les propriétés du profil d'intensité vont dépendre plus significativement de la configuration employée. Le profil **B** va ainsi conduire à l'impulsion temporelle la plus longue.

Ceci peut s'expliquer qualitativement en étudiant les variations longitudinales des largeurs spectrales et temporelles présentées Figures 2b et 2c. Dans les premiers stades de la propagation, la dispersion vue par **B** étant faible par rapport aux autres profils, l'impulsion va subir un élargissement temporel modéré, ce qui va contribuer à un élargissement spectral maximal *(Fig 2b)*. Puis, l'impulsion au spectre désormais très élargi va temporellement s'étaler, ce qui s'accompagne d'une diminution de la puissance crête de l'impulsion ainsi qu'à une saturation progressive de l'élargissement spectral. Dans la seconde moitié de la propagation, on constate ainsi que l'impulsion subit une évolution avant tout dispersive. Dans ces conditions, le profil **B** ayant la dispersion la plus élevée et les impulsions B ayant le spectre le plus large, il n'y a rien d'étonnant à ce que l'élargissement temporel observé en B devienne le plus rapide.

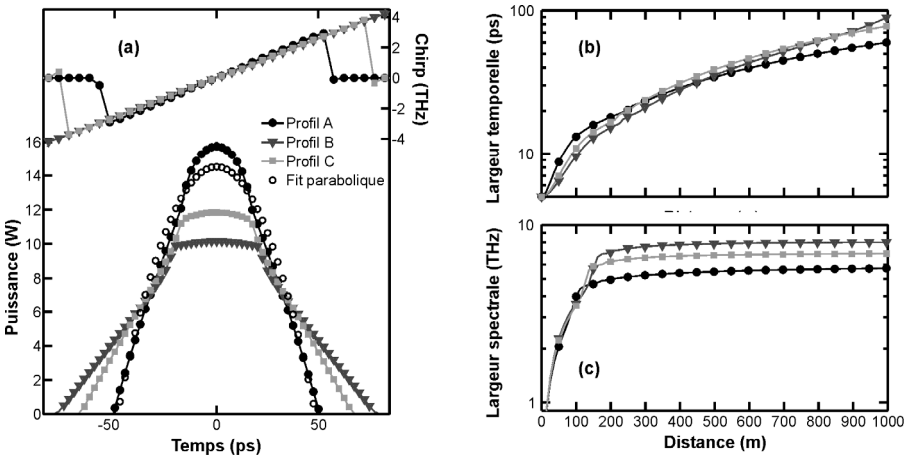

Figure 2 :
(a) *Profils temporels d'intensité et de chirp obtenus après propagation pour les différentes configurations étudiées.*

(b) *Évolution longitudinale de la largeur temporelle à mi-hauteur.*

(c) *Évolution longitudinale de la largeur spectrale à - 20 dB.*

3. Résultats expérimentaux

Nous avons cherché à vérifier expérimentalement l'apparition d'impulsions paraboliques. Le dispositif expérimental mis en oeuvre est décrit Fig. 3a. Les impulsions initiales sont générées par un laser à fibre à blocage de modes passif délivrant des impulsions à un taux de répétition de 22 MHz. Ces impulsions de profil d'intensité $sech^2$ et de largeur à mi-hauteur 5 ps sont ensuite amplifiées par un amplificateur à fibre dopée erbium permettant d'atteindre une énergie de 2 nJ. La puissance crête est ajustée grâce à un atténuateur variable. Les impulsions sont ensuite injectées dans la fibre à dispersion variable. Suivant le sens de connectorisation de la fibre, nous pourrons donc étudier soit la configuration **A**, soit la configuration **B**.

En sortie de fibre, les impulsions sont caractérisées par l'enregistrement de leur spectre optique ou de leur signal d'autocorrélation. Nous disposons également d'un dispositif SHG-FROG *(Frequency Resolved Optical Gating basé sur la génération du second harmonique)* pour caractériser en intensité et en phase les impulsions.

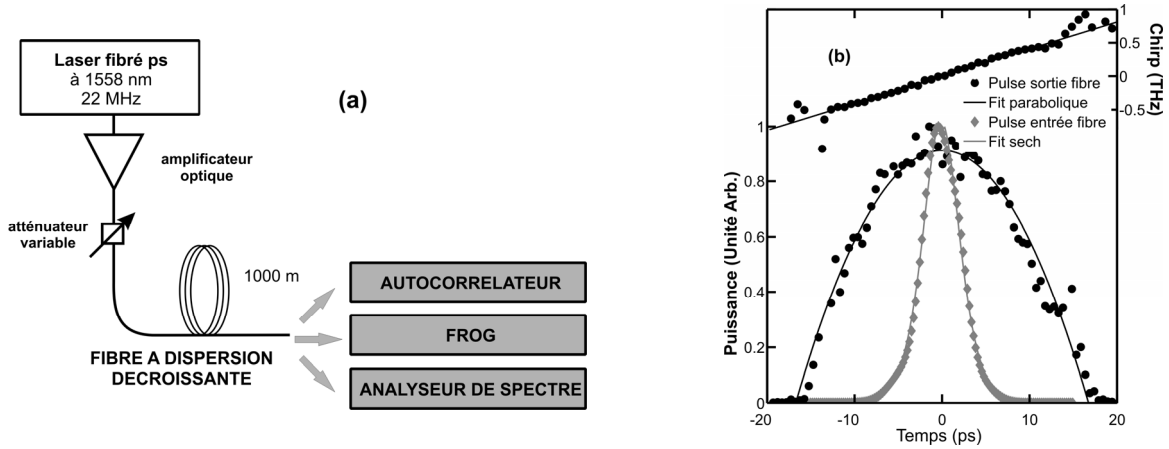

Figure 3 : **(a)** *Montage expérimental* **(b)** *Résultats de la caractérisation expérimentale FROG des impulsions en entrée et en sortie de fibre : profil de chirp (haut) et profil d'intensité (bas). Les résultats sont comparés à des ajustements sech ou paraboliques.*

Les résultats d'une telle caractérisation pour une énergie initiale de 200 pJ sont représentés Fig. 3b dans le cas d'un profil de dispersion **A**. Nous vérifions que le profil d'intensité est bien en accord avec un ajustement parabolique et que l'impulsion présente une dérive de fréquence linéaire. La fiabilité de la déconvolution de la trace FROG a pu être assurée par comparaison du signal retrouvé avec les signaux d'autocorrélation et spectres optiques enregistrés indépendamment de manière directe.

Pour des énergies initiales supérieures, les limitations en termes de bande passante de notre dispositif FROG ne nous ont pas permis une reconstruction totalement fiable. Nous pouvons néanmoins comparer Fig. 4a les spectres obtenus expérimentalement avec les résultats issus de simulations numériques prenant comme condition initiale une impulsion en limite de Fourier de forme sech *(d'une énergie initiale de 1 nJ)*. L'influence du profil de dispersion utilisé est directement visible sur la forme du spectre avec des profils caractéristiques différents dans les deux cas. Nous observons à ce niveau dans les deux configurations des spectres symétriques, ce qui nous laisse à penser que les ordres supérieurs de dispersion ne jouent pas encore de rôle prépondérant.
Nous avons également étudié l'influence de la puissance initiale sur l'élargissement spectral et sur l'élargissement temporel des impulsions *(Fig. 4b)*. Conformément aux résultats présentés Fig. 2, nous vérifions que l'utilisation d'un profil **B** conduit à des impulsions plus larges à la fois spectralement et temporellement. Les résultats mesurés expérimentalement sont en accord avec les prédictions numériques. Le léger désaccord visible peut en partie s'expliquer par le fait que nos impulsions, suite à l'amplification dans l'EDFA, ne sont plus parfaitement en limite de Fourier mais ont été affectées par l'auto-modulation de phase durant l'amplification.

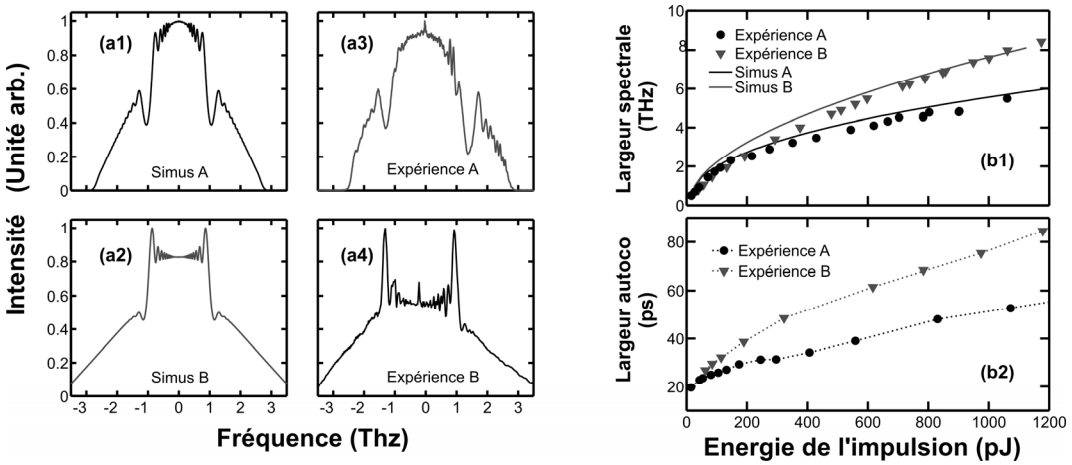

Figure 4 : (a) *Comparaison des spectres expérimentaux et simulés pour une impulsion de 1 nJ pour des profils A et B.* **(b)** *Évolution suivant l'énergie initiale et le profil de dispersion* ***(b1)*** *de la largeur spectrale (à -20 dB)* ***(b2)*** *de la largeur temporelle (à mi-hauteur de la fonction d'autocorrélation).*

5. Conclusion

Nous avons démontré expérimentalement, par une caractérisation en intensité et phase, la possibilité de générer de manière passive, à partir d'une unique fibre à dispersion normale décroissante, des impulsions paraboliques ayant une dérive de fréquence linéaire. Nous avons mis en évidence l'influence du type de profil de dispersion utilisé, montrant qu'un profil de type **B** conduit, par rapport à un profil de type **A**, à des élargissements spectraux et temporels supérieurs. Des expériences menées avec des impulsions d'énergie supérieure *(2 nJ)* nous ont néanmoins montré que le profil **B** était plus sensible aux effets dispersifs et non-linéaires d'ordre supérieurs.

Nous remercions P. Petropoulos et D.J. Richardson *(Optoelectronics Research Centre, UK)* pour des discussions fructueuses. Ce projet bénéficie d'un financement de l'Agence Nationale de la Recherche *(projet SUPERCODE)*. Nous remercions également la région Bourgogne pour son support.

Références :

[1] M.E. Fermann, *et al.*, Phys. Rev. Lett., **2000**, vol **84**, p. 6010-6013.
[2] C. Finot, *et al.*, Opt. Express, **2003**, vol **11**, p. 1547-1552.
[3] F. Parmigiani, *et al.*, Opt. Express, **2006**, vol **14**, p. 7617-7622.
[4] C. Finot, *et al.*, Opt. Express, **2007**, vol **15**, p. 852-864.
[5] T. Hirooka and M. Nakazawa, Opt. Lett., **2004**, vol **29**, p. 498-500.
[6] B. Kibler, *et al.*, Electron. Lett., **2006**, vol **42**, p. 965-966
[7] A. Latkin, *et al.* in *European Conference on Optical Communication, ECOC'06*. **2006**.
[8] A. Latkin, *et al.*, Opt. Lett., **2007**, vol **32**, p. 331-333.