



HAL
open science

Impact des fluctuations longitudinales d'une fibre microstructurée sur des applications à haut-débit

Bertrand Kibler, Christophe Finot

► **To cite this version:**

Bertrand Kibler, Christophe Finot. Impact des fluctuations longitudinales d'une fibre microstructurée sur des applications à haut-débit. 27èmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Oct 2008, Lannion, France. pp.A8.14, 401-403. hal-00469990

HAL Id: hal-00469990

<https://hal.science/hal-00469990>

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 DES FLUCTUATIONS LONGITUDINALES D'UNE FIBRE MICROSTRUCTUREE SUR DES APPLICATIONS NON-LINEAIRES DE COMPRESSION A HAUT DEBIT

Bertrand Kibler et Christophe Finot

Institut Carnot Bourgogne, 9 av. A. Savary, BP 47 870, 21 078 Dijon cedex

Bertrand.Kibler@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

L'impact des fluctuations longitudinales des paramètres géométriques d'une fibre microstructurée est étudié numériquement pour deux techniques de compression d'impulsions à 40 GHz. Les résultats numériques confirment que les tolérances de fabrication actuellement réalisables sont compatibles avec les tolérances requises pour ces applications à haut débit. Il apparaît également que le régime de dispersion normale est plus robuste vis-à-vis des fluctuations que son homologue anormal.

MOTS-CLEFS : *fibres microstructurées ; compression d'impulsions à haut-débit*

1. INTRODUCTION

L'émergence des fibres à cristaux photoniques (PCF) est l'un des événements les plus révolutionnaires de l'optique non-linéaire guidée de cette dernière décennie [1]. Basé sur un arrangement périodique de trous d'air autour d'un cœur en silice, ce nouveau type de fibre offre une forte non-linéarité tout en permettant une certaine flexibilité vis-à-vis du contrôle de la dispersion chromatique. Une illustration marquante de ces nouvelles possibilités est la génération de supercontinuum [2]. Le domaine des télécommunications optiques peut aussi bénéficier de ces avantages, notamment si l'utilisateur dispose d'une fibre dont le second zéro de dispersion (noté IR-ZDW) se situe dans la bande C. Il faut néanmoins être vigilant aux changements des propriétés physiques induits par les variations longitudinales des paramètres géométriques de la structure.

Dans cet article, nous quantifions l'impact que peuvent avoir ces fluctuations sur un exemple d'application non-linéaire à haut débit, à savoir la compression temporelle d'un battement sinusoïdal en train d'impulsions gaussiennes. Nous étudions les régimes de dispersion anormale et normale [3], en caractérisant les variations de forme et de largeur temporelle résultant des fluctuations de la dispersion.

2. DISPOSITIFS CONSIDERES

Pour illustrer notre approche, nous considérons une fibre microstructurée à haute non-linéarité dont le IR-ZDW se situe à 1564.4 nm. La microstructure hexagonale de cette fibre et ses paramètres sont représentés Fig. 1(a). Grâce à un logiciel commercial (BeamPROP), nous avons pu déterminer numériquement l'évolution de la dispersion (Fig. 1(a)) et de la non-linéarité en fonction de la longueur d'onde. L'état de l'art actuel au niveau de la fabrication étant un contrôle des paramètres de structure avec une précision de 1% sur 1 μm , nous avons considéré l'impact d'une variation de 1 à 2 % de la période Λ de la microstructure. Il apparaît alors que si la non-linéarité n'est pas affectée, au contraire la dispersion subit des variations considérables illustrées Fig. 1(b). Nous évaluons ici l'impact de telles variations longitudinales sur les performances de deux méthodes de compression non-linéaire d'un signal sinusoïdal créé par le battement de deux diodes continues dont les fréquences sont espacées de 40 GHz [3].

Le premier système est basé sur la technique du mélange à quatre ondes multiple (MFWM) se déroulant en régime anormal (Fig. 2a) et conduisant en sortie à un train d'impulsions de forme gaussienne et de durée temporelle de 4.2 ps à mi-hauteur.

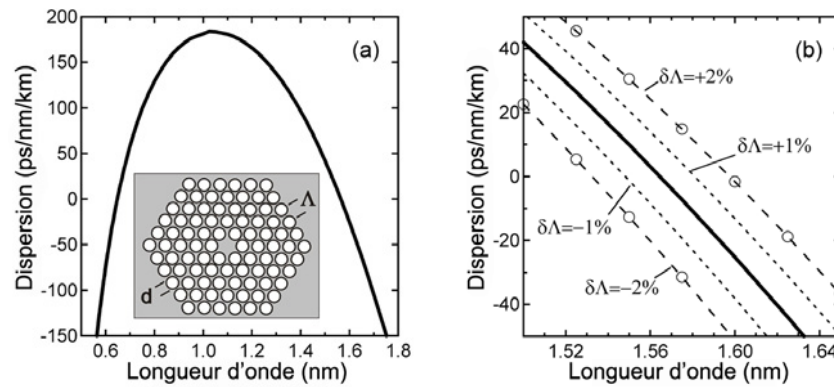


FIG. 1 : (a) Courbe de la dispersion de vitesse de groupe obtenue pour les paramètres suivants de la microstructure : diamètre de trous $d = 1.1 \mu\text{m}$ et période des trous $\Lambda = 1.2 \mu\text{m}$. (b) Variations de la dispersion proche du second zéro de dispersion induites par des fluctuations $\delta\Lambda$ de la période Λ .

Le second dispositif (Fig. 2b) repose sur l'utilisation d'une fibre à dispersion normale dans laquelle le battement se transforme progressivement en impulsions paraboliques dotées d'une dérive de fréquence linéaire. Un second segment de fibre standard à dispersion anormale constante (SMF-28) et de longueur fixée est alors nécessaire pour recomprimer temporellement l'impulsion de manière linéaire (impulsions en sortie de 7.6 ps). Les paramètres (longueur d'onde, longueur de fibre, dispersion, non-linéarité et puissance d'entrée) des systèmes considérés sont indiqués Fig. 2. Les fluctuations longitudinales de la période des trous Λ sont supposées suivre une distribution stochastique gaussienne réelle stationnaire et de moyenne nulle (plus de détails fournis dans la référence [4]). Nous caractériserons ces fluctuations à travers leur longueur de corrélation caractéristique L_C ainsi que leur amplitude (via leur écart-type σ).

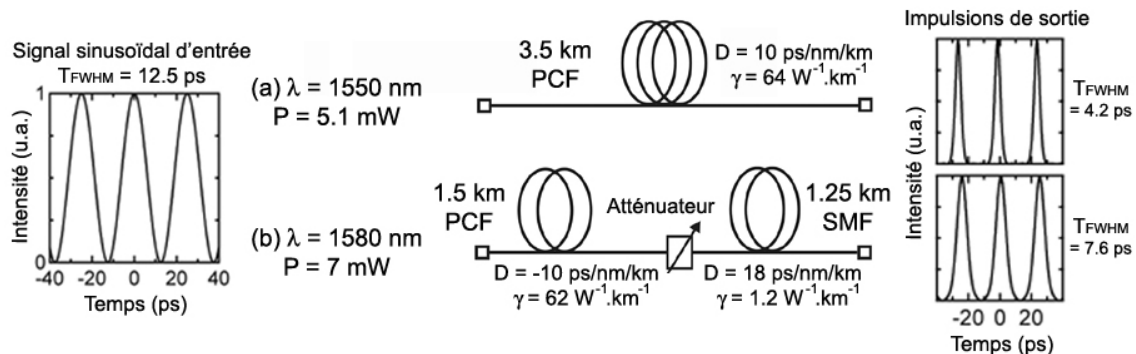


FIG. 2 : Principe de la compression non-linéaire d'un signal sinusoïdal : (a) pour une compression par MFWM et (b) pour la génération d'impulsions paraboliques suivie d'une recompression linéaire.

3. RESULTATS NUMERIQUES

Les résultats de nos simulations basées sur l'intégration numérique de l'équation non-linéaire de Schrödinger généralisée [2] sont représentés Fig. 3. Pour quantifier l'impact des fluctuations sur les impulsions visées, nous avons enregistré deux caractéristiques des impulsions comprimées de sortie : leur largeur à mi-hauteur T_{FWHM} et leur coefficient de désaccord de forme M , défini comme étant la différence normalisée entre le profil d'intensité de l'impulsion comprimée et un ajustement par une forme gaussienne de même énergie. Une étude en fonction de L_C et σ nous a permis de dresser les représentations 2D de la Fig. 3. Pour chacun des points de ces cartes, nous avons réalisé la moyenne d'un ensemble de 50 simulations.

Concernant le montage en dispersion anormale, nous constatons que pour un écart-type inférieur σ à 0.2 %, la largeur temporelle de l'impulsion comprimée varie de moins de 10 % et cela quelle que soit L_C (Fig. 3a). Par contre, pour des fluctuations $\sigma > 0.25 \%$, la dispersion peut devenir

localement normale et conduire à un élargissement significatif de l'impulsion pouvant aller jusqu'à un doublement de la durée temporelle. Cela s'accompagne également d'une modification de la forme générale de l'impulsion comme l'atteste le facteur de désaccord de forme de l'impulsion qui peut être multiplié par 40 (Fig. 3b). Remarquons toutefois que pour des variations rapides de la dispersion (L_C faible), l'influence des fluctuations disparaît sur l'impulsion comprimée.

Les résultats obtenus dans une fibre microstructurée à dispersion normale (Fig. 3c-d) montrent une influence beaucoup moins marquée des fluctuations géométriques de la fibre sur les impulsions générées après recompression. En effet, nous observons que pour des fluctuations de Δ d'écart type en dessous de 0.2 %, la durée des impulsions est modifiée légèrement (< 5%). Ceci se traduit également au niveau du facteur M qui varie 5 fois moins que pour la première situation.

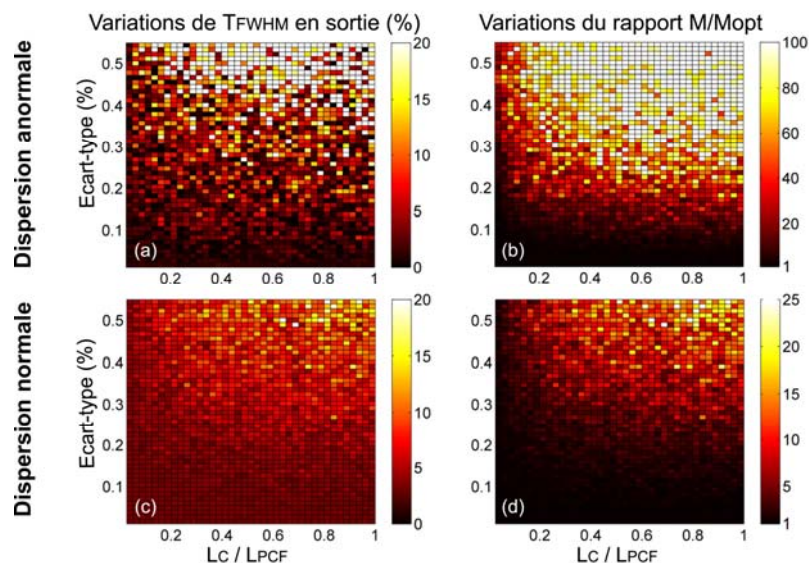


FIG. 3 : Résultats numériques des variations (a,c) de la largeur temporelle (FWHM) après compression en pourcentage et (b,d) du rapport de désaccord de forme normalisé (M/M_{opt}) en fonction des caractéristiques des fluctuations (écart-type σ et longueur de corrélation L_C normalisée par rapport à la longueur de la fibre microstructurée L_{PCF}) pour les deux techniques de compression dans les régimes de dispersion anormale (a,b) et normale (c,d). M_{opt} correspond au facteur de désaccord de forme en l'absence de fluctuations.

CONCLUSION

Nous avons étudié l'impact potentiel des fluctuations longitudinales des paramètres géométriques d'une fibre microstructurée sur deux techniques de compression d'impulsions à haut débit. Il ressort de nos simulations que l'influence des fluctuations rapides par rapport à la longueur totale de la fibre est négligeable. Il est par contre plus délicat de gérer des fluctuations dont la longueur de corrélation est élevée, et notamment quand les fluctuations maximales de la période de la microstructure dépassent 1% ($\sim 4\sigma$). Cette valeur de 1% sur 1 μm est typique de l'état de l'art actuel du contrôle d'une microstructure, ce qui confirme tout l'intérêt potentiel des PCF pour des applications télécoms. Notons également que nos simulations numériques ont montré que les applications en régime de dispersion normale se révélaient beaucoup plus robustes vis-à-vis de ces fluctuations.

Ce travail a bénéficié d'un financement de l'Agence Nationale de la Recherche (projet SUPERCODE, BLAN-0401).

REFERENCES

- [1] P.S. Russell, Science, **2003**, vol **299**, p. 358-362.
- [2] J.M. Dudley, *et al.*, Rev. Modern Physics, **2006**, vol **78**, p. 1135-1184.
- [3] S. Pitois, *et al.*, Opt. Commun., **2006**, vol **260**, p. 301-306.
- [4] M. Farahmand and C.M. De Sterke, Opt. Express, **2004**, vol **12**, p. 136-142.