HAL
open science

Optimisation de la génération d'un continuum cohérent dans une fibre à dispersion normale et à haute non-linéarité

Bertrand Kibler, Steevy Cordette, Christophe Finot, Kamal Hammani, Catherine Lepers, Cédric Ware, S. Wabnitz, Guy Millot

To cite this version:

Bertrand Kibler, Steevy Cordette, Christophe Finot, Kamal Hammani, Catherine Lepers, et al.. Optimisation de la génération d'un continuum cohérent dans une fibre à dispersion normale et à haute non-linéarité. 27èmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Oct 2008, Lannion, France. pp.Me3.2, 141-143. hal-00469988

HAL Id: hal-00469988

https://hal.science/hal-00469988v1

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.

OPTIMISATION DE LA GENERATION D'UN CONTINUUM COHERENT DANS UNE FIBRE A DISPERSION NORMALE ET HAUTE NON-LINEARITE

Bertrand Kibler[1], Steevy Cordette[2], Christophe Finot[1], Kamal Hammani[1], Ihsan Fsaifes[3], Catherine Lepers[3], Cédric Ware[2], Stefan Wabnitz[1], Guy Millot[1]

[1] *Institut Carnot Bourgogne, CNRS UMR 5209, 9 av. Alain Savary, 21078 Dijon*
[2] *Institut TELECOM, TELECOM ParisTech, CNRS LTCI, 46 rue Barrault, 75634 Paris*
[3] *Laboratoire PhLAM, CNRS UMR 8523, 59655 Villeneuve d'Ascq*

Bertrand.Kibler@u-bourgogne.fr

RESUME

Nous étudions la génération d'un continuum cohérent dans une fibre optique non-linéaire à dispersion normale aux longueurs d'ondes des télécommunications optiques. Nous proposons des règles de design analytiques simples et soulignons notamment l'impact du « wave-breaking » optique. Nos prédictions numériques sont confirmées expérimentalement. Les propriétés du continuum après découpage spectral sont également étudiées.

MOTS-CLEFS : *fibre optique, continuum optique, optique non-linéaire.*

1. INTRODUCTION

La génération de sources optiques cohérentes large bande [1] est un sujet qui a généré un intérêt croissant ces dernières années avec l'apparition de fibres à haute non-linéarité, telles que les fibres microstructurées et les fibres à silice dopée disponibles aux longueurs d'ondes des télécommunications optiques. Les applications sont en effet nombreuses [2] : génération d'impulsions ultracourtes, source multi-longueurs d'onde, test de composants. En fonction du régime de dispersion de la fibre, les propriétés du continuum obtenu varient de manière importante. Les fibres à dispersion anormale se montrent ainsi propices à la génération de continuum plus étendu spectralement, mais ceci au détriment des propriétés de cohérence de la source. Le régime de dispersion normale permet de préserver un haut degré de cohérence, en s'affranchissant des effets d'instabilité de modulation.

Nous présentons ici les résultats obtenus dans ce régime de dispersion normale. En se basant sur l'équation non-linéaire de Schrödinger, nous pouvons mettre en évidence le rôle essentiel tenu par le processus de « wave-breaking » optique. Nos expériences menées à un taux de répétition de 10 GHz permettent de confirmer l'évolution spectrale attendue. La qualité du continuum est étudiée par l'intermédiaire d'un découpage spectral.

2. EVOLUTION DE L'IMPULSION DANS UNE FIBRE NORMALE

L'évolution d'une impulsion lumineuse se propageant dans une fibre optique peut être modélisée par l'équation non-linéaire de Schrödinger *(ENLS)* [3] :

$$i\,\frac{\partial\psi}{\partial z} = \frac{\beta_2}{2}\,\frac{\partial^2\psi}{\partial T^2} - \gamma\,|\psi|^2\,\psi\ , \qquad (1)$$

avec $\psi\,(z,T)$ le champ électrique complexe, β_2 la dispersion du second ordre et γ la non-linéarité.

Pour cerner la dynamique spectro-temporelle d'une impulsion se propageant dans une fibre à dispersion normale, nous avons représenté Fig. 1 l'évolution de différents paramètres en fonction de la distance de propagation et de la puissance initiale. Pour établir ces cartes exprimées en

paramètres normalisés, nous avons considéré une impulsion initiale de forme sécante hyperbolique de largeur caractéristique T_0 et de puissance crête P. Nous constatons alors que la limite analytique suivante joue un rôle essentiel :

$$z\,\frac{\beta_2}{T_0^2} \;=\; \sqrt{\frac{3}{2}}\left(\frac{T_0^2}{\beta_2}\gamma\,P+1\right)^{-1/2} \qquad (2)$$

Cette limite correspond à l'apparition du phénomène de « wave-breaking » [4, 5]. Sous cette limite, l'évolution de l'impulsion est principalement guidée par l'automodulation de phase qui élargit spectralement l'impulsion sans déformer le profil temporel. Puis sous l'effet de la dispersion, l'impulsion s'élargit temporellement *(Fig. 1a)*, sa puissance crête diminue *(Fig. 1b)* et ses flancs se raidissent *(Fig. 1c)*. Le « wave-breaking » se produit alors : la partie centrale avec une dérive de fréquence élevée vient chevaucher les ailes de l'impulsion non chirpées. La différence entre les deux fréquences instantanées entraîne l'apparition d'oscillations temporelles. Dans le domaine spectral, on peut noter que peu après le wave-breaking, l'élargissement à mi-hauteur sature *(Fig. 1e)* alors que des nouvelles fréquences sont générées dans les ailes de l'impulsion *(élargissement à -20 dB, Fig. 1f)*. Ce transfert d'énergie diminue la densité spectrale dans la partie centrale de l'impulsion *(Fig. 1h)*. Mais un point important vient contrebalancer cet inconvénient : les oscillations spectrales dans la partie centrale du spectre diminuent très fortement *(Fig. 1g)*, ce qui est extrêmement bénéfique pour les applications de découpage spectral [2].

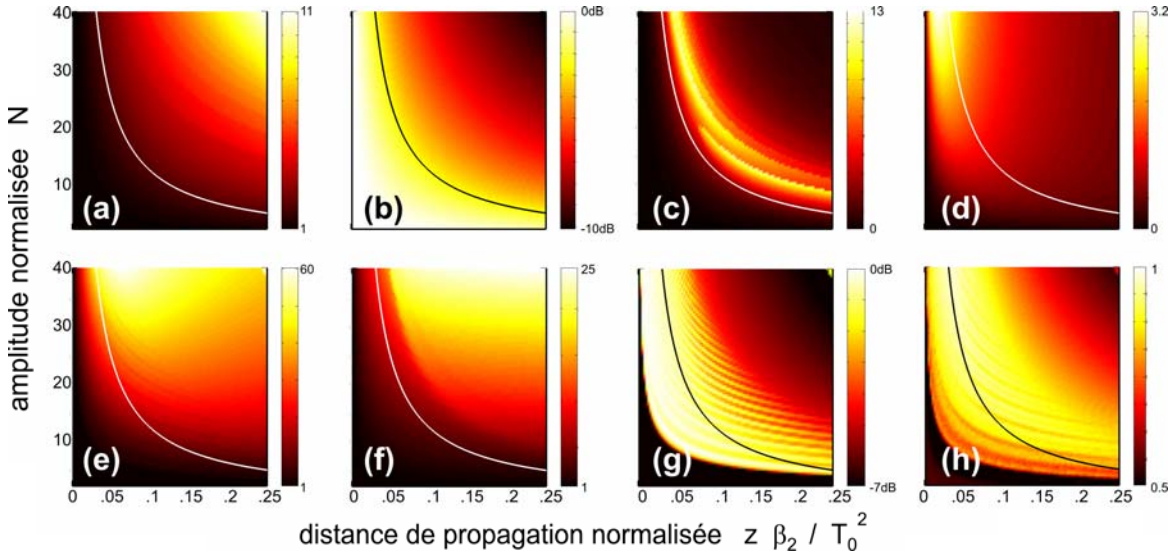

FIG. 1 : Evolution des différents paramètres normalisés d'une impulsion sécante hyperbolique en fonction de la distance de propagation $z\,\beta_2 / T_0^2$ et de l'amplitude $N = \gamma P\, T_0^2 / \beta_2$: (a) largeur temporelle à mi-hauteur, (b) puissance crête, (c) pente à mi-hauteur de l'impulsion, (d) coefficient de la dérive de fréquence de l'impulsion, (e) largeur spectrale à mi-hauteur, (f) largeur spectrale à -20 dB, (g) oscillations spectrales, et (h) proportion de l'énergie contenue dans la partie centrale du spectre (à -3dB).

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous avons cherché à vérifier expérimentalement nos résultats numériques. Notre montage expérimental est représenté Fig. 2a. Une source laser fibrée à modes bloqués délivre des impulsions initiales d'une durée de 1.8 ps avec un taux de répétition de 10 GHz. Les impulsions sont alors amplifiées par un amplificateur erbium à haute puissance avant d'être injectées dans une fibre hautement non-linéaire. Cette fibre d'une longueur de 500 m a un coefficient non-linéaire estimé à 10 $W^{-1}.km^{-1}$, sa dispersion est de -0.6 $ps.km^{-1}.nm^{-1}$. Les faibles pertes linéiques *(0.9 dB)* et le faible

coefficient de dispersion d'ordre 3 *(0.01 ps.km^{-1}.nm^{-2})* nous permettent d'être proche des conditions de l'ENLS. Les spectres enregistrés en sortie de la fibre *(Fig. 2b)* démontrent un élargissement considérable combiné avec une uniformité importante *(2dB d'oscillations sur une plage de 25 nm)*. L'évolution de la largeur spectrale en fonction de la puissance injectée *(Fig. 2c)* est en accord avec les simulations numériques.

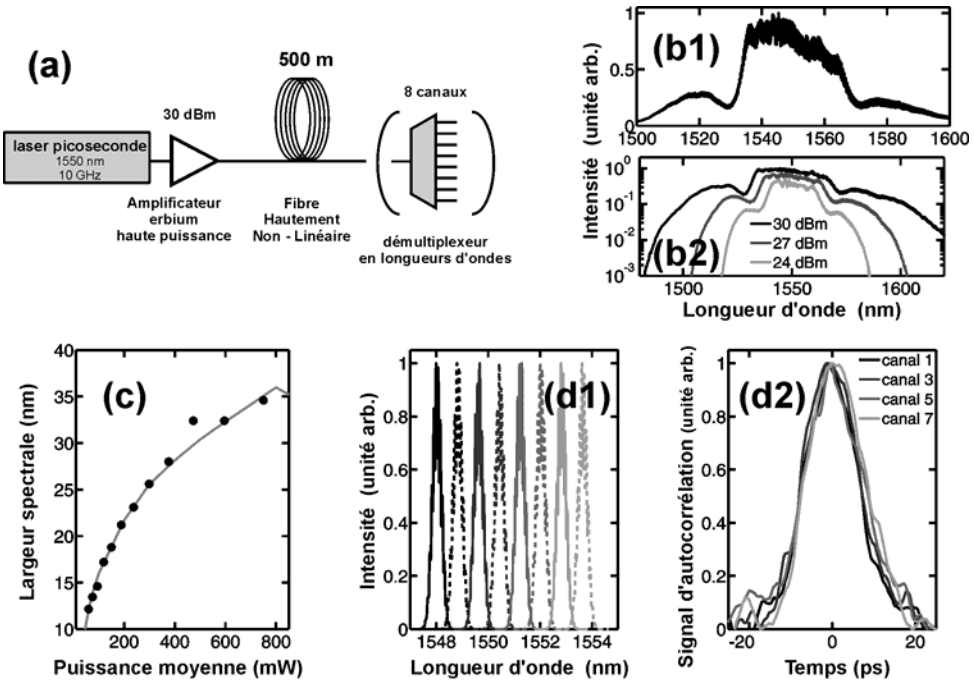

FIG. 2 : (a) Montage expérimental utilisé. (b) Spectres obtenus en sortie de la HNLF pour différentes puissances de pompe initiale. (c) Evolution expérimentale (cercles) de la largeur spectrale en fonction de la puissance moyenne initiale comparée aux résultats numériques (ligne continue). (d1) Spectres obtenus après découpage spectral, et (d2) signaux d'autocorrélation des impulsions correspondantes.

Pour vérifier la qualité de la cohérence du continuum obtenu, nous avons découpé le continuum à l'aide d'un démultiplexeur en longueurs d'onde à 8 canaux ayant une largeur spectrale à mi-hauteur de 50 GHz *(Fig. 2d1)*. Les signaux d'autocorrélation *(Fig. 2d2)* montrent une grande uniformité des performances en fonction des canaux, rendant la source idéale pour une utilisation dans un système multiplexé en longueurs d'onde.

CONCLUSION

En exploitant le phénomène de « wave-breaking » intervenant dans les fibres à dispersion normale, nous mettons en évidence numériquement et expérimentalement la possibilité de générer un continuum plat et hautement cohérent. Les canaux découpés dans ce continuum couvrant la bande C des télécommunications montrent une grande uniformité des propriétés.

Ce travail est supporté par l'Agence Nationale pour la Recherche (projet SUPERCODE, BLAN 0401).

REFERENCES

[1] J.M. Dudley, *et al.*, Rev. Modern Physics, **2006**, vol **78**, p. 1135-1184.
[2] F. Parmigiani, *et al.*, Opt. Express, **2006**, vol **14**, p. 7617-7622.
[3] G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics, Third Edition*. **2001**.
[4] W.J. Tomlinson, *et al.*, Opt. Lett., **1985**, vol **10**, p. 457-459.
[5] D. Anderson, *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B, **1992**, vol **9**, p. 1358-1361.