



HAL
open science

Propagation non-linéaire d'impulsions femtosecondes dans une fibre optique à bande interdite à cœur solide

Bertrand Kibler, T. Martynkien, Christophe Finot, Julien Fatome, M. Szpulak, K. Wojcik, S. Wabnitz, W. Urbanczyk

► To cite this version:

Bertrand Kibler, T. Martynkien, Christophe Finot, Julien Fatome, M. Szpulak, et al.. Propagation non-linéaire d'impulsions femtosecondes dans une fibre optique à bande interdite à cœur solide. Colloque sur les Lasers et l'Optique Quantique (COLOQ 11), Sep 2009, Mouans Sartoux, France. pp.84. hal-00469983

HAL Id: hal-00469983

<https://hal.science/hal-00469983v1>

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.

Propagation non-linéaire d'impulsions femtosecondes dans une fibre optique à bande interdite à cœur solide

Bertrand Kibler,^{1,*} Tadeusz Martynkien,² Christophe Finot,¹ Marcin Szpulak,²

Julien Fatome,¹ Jan Wojcik,³ Waclaw Urbanczyk,² and Stefan Wabnitz^{1,4}

¹Institut Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 21078 Dijon, France

²Institute of Physics, Wrocław University of Technology, 50-370 Wrocław, Pologne

³Laboratory of Optical Fiber Technology, Maria Curie-Skłodowska University, 20-031 Lublin, Pologne

⁴Dipartimento di Elettronica per l'Automazione, University of Brescia, 25123 Brescia, Italie
bertrand.kibler@u-bourgogne.fr

Résumé : Nous décrivons une étude expérimentale et numérique de l'évolution non-linéaire d'impulsions ultrabrèves se propageant dans une fibre optique à bande interdite à cœur solide. Suivant le mécanisme de guidage employé, des dynamiques significativement différentes sont mises en évidence.

Mots-Clés : supercontinuum optique, fibre à bande interdite solide

1. Introduction

Depuis leur première démonstration expérimentale [1], les fibres optiques constituées d'un cœur d'indice faible entouré d'une gaine microstructurée d'inclusions à indice élevé, ont été le sujet d'intenses recherches [2]. Par rapport à leurs cousines à cœur creux, ces fibres à bande interdite photonique à cœur solide bénéficient de certains attraits des fibres optiques traditionnelles, à savoir une fabrication plus aisée et une soudure facilitée. Nous nous concentrons ici sur la propagation non-linéaire d'une impulsion femtoseconde dans le proche infrarouge. Deux modes de guidage seront comparés : le guidage dans le cœur de silice grâce à l'effet de bande photonique interdite et le guidage dans les inclusions dopées germanium grâce au processus plus traditionnel de réflexion totale interne. En exploitant les propriétés dispersives et non-linéaires des deux modes de guidage offerts par cette fibre, nous explorons les différents mécanismes d'élargissement spectral et nous mettons en évidence la limitation de l'étendue spectrale du supercontinuum généré dans le cœur.

2. Propriétés de la fibre

La fibre étudiée est constituée d'un cœur de silice entouré de neuf couronnes d'inclusions dopées germanium. Ces inclusions ont un profil d'indice parabolique avec une différence d'indice maximale $\Delta n = 0.03$ et un diamètre $d = 3.29 \mu\text{m}$ pour un pas de réseau de la structure de $4.82 \mu\text{m}$. L'encart de la Fig. 1a représente l'image de cette fibre prise au microscope électronique à balayage. Les propriétés des différentes bandes interdites et les indices effectifs de propagation ont été numériquement évalués par une analyse par éléments finis. Trois bandes de transmission sont prévues, la bande la plus intéressante étant la seconde, centrée autour de 780 nm , ce qui est idéalement situé pour les sources titanes-saphir. En utilisant un supercontinuum généré au sein d'une fibre à cristaux photonique de 1 m , dite classique, nous avons pu confirmer expérimentalement la position de ces bandes (Fig. 1a).

L'évolution spectrale des propriétés dispersives est représentée Fig. 1b pour les deux types de guidage. Le guidage par bande photonique interdite est notamment caractérisé par une pente de dispersion élevée, avec entre autres la coexistence dans la bande de transmission des régimes de dispersion normal et anormal de propagation, le zéro de dispersion étant situé au voisinage du centre de la bande (790 nm). Les inclusions germanium ont quant à elle une dispersion fortement normale.

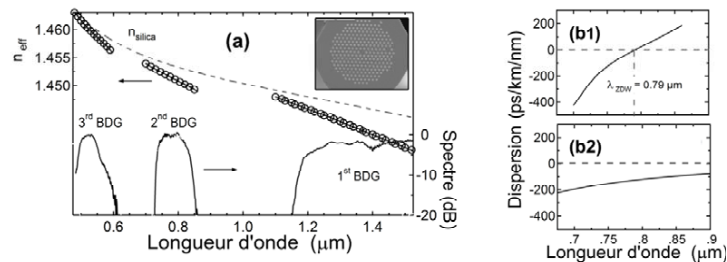


Fig. 1 : (a) Indice effectif de propagation et position des bandes de transmission dans la fibre à bande photonique interdite à cœur solide. Les résultats des simulations numériques (haut) sont comparés avec les résultats expérimentaux (bas). En encadré, la photographie au microscope électronique à balayage de la structure de la fibre. (b) Évolution spectrale des propriétés dispersives pour un guidage dans le cœur de la fibre (b1) et dans les inclusions (b2).

3. Dynamique non-linéaire

Nous avons étudié expérimentalement et numériquement la dynamique dans les deux régimes de guidage. Des impulsions d'une durée temporelle de $200 \text{ femtosecondes}$ délivrées par un oscillateur titane-saphir sont injectées dans notre fibre de 1 mètre de longueur. Le profil de mode enregistré en sortie de fibre lorsque la lumière est injectée dans le cœur de silice est représentée Fig. 2a. L'évolution du spectre en fonction de la puissance initiale est représentée Fig. 2c. La longueur d'onde de pompage utilisée se situe en régime de dispersion légèrement anormale. Nous retrouvons alors plusieurs éléments typiques de la génération de supercontinuum à partir d'impulsions femtosecondes [3]. Nos données expérimentales illustrent ainsi une dynamique spectrale marquée par la propagation de solitons se décalant progressivement vers les hautes longueurs d'ondes sous l'effet de la réponse Raman intrapulse. La dispersion du troisième ordre affecte significativement cette dynamique, entraînant l'émergence d'une onde dispersive dans le régime de dispersion normal.

Nous avons vérifié expérimentalement qu'en variant soit la puissance initiale, soit la longueur d'onde initiale, nous n'étions pas en mesure d'étendre ce continuum au-delà de la bande de transmission. Cela est principalement imputable à la dispersion particulièrement élevée subie au bord de la bande de transmission, limitant ainsi l'autodécalage Raman solitonique.

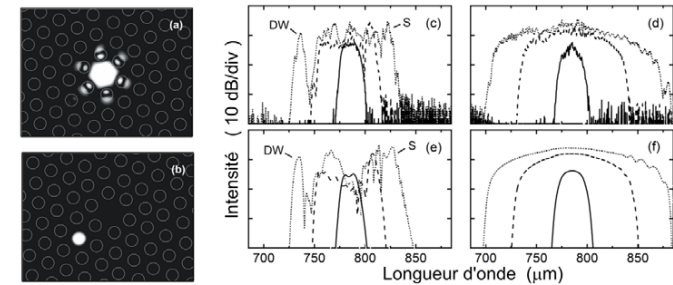


Fig. 2 : Profil de mode quand la lumière est couplée dans le cœur de silice de la fibre (a) ou bien dans une inclusion germanium (b). La structure géométrique de la fibre est superposée. (c) Spectres optiques expérimentaux enregistrés pour des puissances crêtes croissantes ($0.35, 2$ et 6.6 kW) pour les impulsions injectées dans le cœur central (d) Résultats numériques correspondants. (e) Spectres expérimentaux obtenus pour différentes puissances crêtes ($2, 13$ et 28 kW) injectées dans les inclusions germanium. (f) Simulations numériques correspondantes.

Nous avons comparé ces résultats avec ceux obtenus en couplant la lumière dans une inclusion Germanium, Fig. 2b. La dynamique spectrale est alors significativement différente, Fig. 2d. Si la dispersion normale élevée constitue un inconvénient, elle est partiellement compensée par un confinement élevé entraînant une non-linéarité accrue. La propagation est principalement alors influencée par l'effet de wave-breaking optique [4], résultat de l'interaction entre la non-linéarité Kerr et la dispersion normale.

Les dynamiques spectrales observées dans les deux régimes de propagation ont été confirmées par simulations numériques basées sur l'équation de Schrödinger non-linéaire généralisée (Fig. 2e et 2f) [3].

4. Conclusions

Nous avons caractérisé l'évolution non-linéaire d'impulsions femtosecondes évoluant dans deux régimes de guidage distincts dans une fibre à bande photonique interdite à cœur solide. En exploitant la largeur finie de la bande de transmission, nous avons pu maîtriser l'étendue spectrale du supercontinuum généré, stabilisant le décalage spectral solitonique sur le bord de la bande de transmission. La dynamique enregistrée dans les inclusions à dispersion normale diffère significativement, permettant une grande flexibilité du supercontinuum généré en jouant uniquement sur l'injection optique [5].

5. Références

- [1] F. Luan, A. K. George, T. D. Hedley, G. J. Pearce, D. M. Bird, J. C. Knight, and P. S. J. Russell, "All-solid photonic bandgap fiber," *Opt. Lett.*, vol. 29, pp. 2369-2371, 2004.
- [2] G. Bouwmans, V. Paturel, A. Betourne, Y. Quiquempois, M. Perrin, L. Bigot, and M. Douay, "Progress in solid core photonic bandgap fibers," *Opt. Quant. Electron.*, vol. 39, pp. 949-961, 2007.
- [3] J. M. Dudley, G. Genty, and S. Coen, "Supercontinuum generation in photonic crystal fiber," *Rev. Modern Physics*, vol. 78, pp. 1135-1184, 2006.
- [4] 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.
- [5] B. Kibler, T. Martynkien, M. Szpulak, C. Finot, J. Fatome, J. Wojcik, W. Urbanczyk, and S. Wabnitz, "Nonlinear femtosecond pulse propagation in an all-solid photonic bandgap fiber," *Opt. Express*, vol. 17, pp. 10393-10398, 2009.