



HAL
open science

Ondes scélérates et autres manifestations extrêmes dans les fibres optiques

Kamal Hammani, Christophe Finot, Bertrand Kibler, J.M. Dudley, Guy Millot

► **To cite this version:**

Kamal Hammani, Christophe Finot, Bertrand Kibler, J.M. Dudley, Guy Millot. Ondes scélérates et autres manifestations extrêmes dans les fibres optiques. COLLOQUE sur les Lasers et l'Optique Quantique (COLOQ 11), Sep 2009, Mouans Sartoux, France. pp.25. hal-00469982

HAL Id: hal-00469982

<https://hal.science/hal-00469982v1>

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.

Ondes scélérates optiques et autres manifestations extrêmes dans les fibres optiques

Kamal Hammani,¹ Christophe Finot,¹ Bertrand Kibler,¹ John M. Dudley,² et Guy Millot¹
¹Institut Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 21078 Dijon, France
²Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS-Université de Franche-Comté, Besançon
 christophe.finot@u-bourgogne.fr

Résumé : Nous présentons divers exemples d'évènements rares optiques qui peuvent apparaître lors de la propagation d'impulsions dans des fibres optiques. Ainsi, différents types de structures optiques se démarquant très nettement du comportement statistique moyen ont été mis en évidence dans les processus de génération de supercontinua optiques ainsi que dans les phases d'amplification paramétrique ou Raman.

Mots-Clés : Optique non-linéaire, fibres optiques, évènements rares

1. Introduction

Les fibres optiques représentent un support privilégié pour tester un grand nombre de concepts fondamentaux de la physique non-linéaire. Elles ont ainsi permis la mise en lumière des dynamiques solitoniques ou bien autosimilaires. Plus récemment, il a été suggéré que des comportements rares pouvaient également être observés dans les fibres optiques, permettant alors de dresser un parallèle avec le domaine hydrodynamique où surgissent des vagues scélérates au potentiel destructeur redoutable [1]. L'existence de ces vagues d'amplitude anormalement élevée n'a été scientifiquement prouvée qu'en 1995 avec l'enregistrement de la vague Draupner dotée d'une hauteur de 26 m. La rareté de ces évènements compliquant fortement leur étude en milieu naturel, toute analogie permettant de mieux cerner leur évolution présente un enjeu fort. C'est dans ce contexte que se développe un regain d'intérêt pour l'étude statistique dans les fibres des comportements optiques dit extrêmes, c'est-à-dire déviant fortement des lois gaussiennes habituellement utilisées.

Les premières études ont été réalisées dans le domaine de la génération de supercontinua optiques : des impulsions initiales picosecondes envoyées dans des fibres optiques microstructurées s'élargissent spectralement de manière importante. L'interaction entre la dispersion anormale, la non-linéarité et la réponse intrapulse Raman conduit à l'émergence de solitons femtosecondes qui se décalent progressivement vers les basses fréquences. Après filtrage de ces impulsions, les puissances crêtes observées peuvent varier significativement, la distribution enregistrée s'écartant significativement d'une tendance gaussienne [1, 2]. Le profil de dispersion chromatique de la fibre ou bien la présence d'un germe optique sont deux facteurs qui influencent profondément cette dynamique, comme l'ont montré de récentes études [2-4].

Mais l'apparition de ces statistiques extrêmes n'est pas limitée à la génération de supercontinua optiques et nous avons pu montrer qu'elles peuvent également être observées sous certaines conditions dans des amplificateurs à fibre, que ce soit des amplificateurs reposant sur l'instabilité modulationnelle [5] ou bien l'effet Raman [6]. Pour illustrer ces résultats, nous présentons ici une analyse menée dans un amplificateur Raman fibré adapté aux contraintes des télécommunications optiques.

2. Mise en évidence expérimentale de l'émergence d'évènements extrêmes

Nous avons amplifié un signal continu à 1550 nm dans une fibre optique hautement non-linéaire d'une longueur de 500 mètres pompée de manière copropagative par un laser Raman partiellement incohérent. En sortie du dispositif expérimental, le signal amplifié présente des pics significatifs dont l'amplitude peut atteindre plusieurs dizaines de fois la valeur moyenne du signal (Fig. 1a).

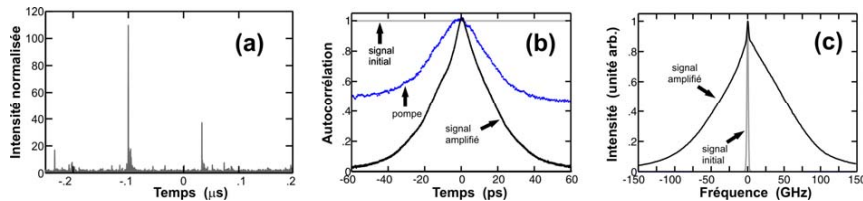


Fig. 1 : (a) Évolution temporelle du signal initialement continu après amplification (enregistrements réalisés sur une photodiode et un oscilloscope ayant une bande passante de GHz) (b) Comparaison des autocorrélations en intensité de la pompe, du signal avant et après amplification. (c) Comparaison des spectres optiques avant et après amplification

Pour mieux caractériser les propriétés temporelles de ces structures, nous avons également enregistré les signaux d'autocorrélation en intensité (Fig. 1b). La nature du signal change alors radicalement après la phase d'amplification, passant d'une caractéristique continue à une caractéristique marquée par un contraste important. Nous pouvons également constater que les propriétés du signal amplifié se distinguent facilement des propriétés de la pompe partiellement incohérente dont le contraste $\frac{1}{2}$ est en accord avec l'hypothèse d'une phase aléatoire entre les différentes composantes spectrales de la pompe [5, 6]. Notons également l'élargissement spectral significatif subi par le signal durant la phase d'amplification (Fig. 1c).

3. Distribution statistiques des évènements et simulations numériques

Afin de connaître la distribution statistique du signal amplifié, nous avons remplacé le signal continu par un signal impulsionnel picoseconde. Alors que le signal initial présente très peu de fluctuations (Fig. 2a1), en sortie de l'amplificateur (Fig. 2a2), la variation de la puissance des impulsions est manifeste. L'utilisation d'une photodiode couplée à un oscilloscope numérique de grande bande passante nous permet d'enregistrer quantitativement la probabilité des différentes puissances crêtes. Les résultats expérimentaux représentés Fig. 2b indiquent une distribution suivant une loi proche d'une exponentielle décroissante lorsque représentée sur une échelle semi-logarithmique. Un tel comportement déviant fortement d'une distribution gaussienne est caractéristique des phénomènes extrêmes. Une telle tendance est confirmée par une analyse numérique du problème basée sur l'équation de Schrödinger non-linéaire généralisée. Cela nous a également permis d'identifier clairement les facteurs à l'origine de ces fluctuations marquées : dans notre amplificateur, en raison de la faible différence de vitesse de groupe entre la pompe et le signal, l'incohérence de la pompe et ses fluctuations d'intensité sont exponentiellement transmises au signal à travers le gain Raman quasi-instantané. L'élargissement spectral observé est quant-à-lui imputable à la modulation de phase croisée exercée par la pompe sur le signal.

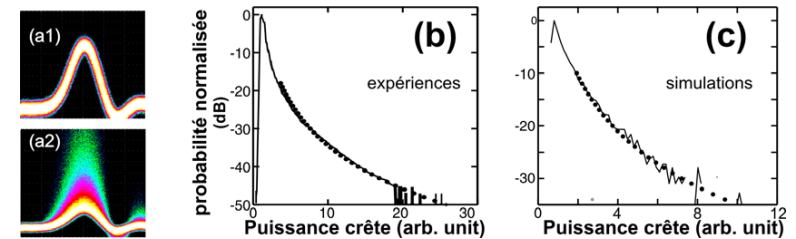


Fig. 2 : (a) Comparaison des signaux impulsionnels avant (a1) et après (a2) amplification (enregistrements réalisés sur un dispositif avec bande passante de 50 GHz) (b-c) Comparaison des distributions statistiques des puissances crêtes des impulsions après amplification : résultats expérimentaux (b) et numériques (c). Les résultats sont comparés avec un ajustement par une exponentielle décroissante (sur une échelle semilogarithmique, cercles noirs)

4. Conclusion

Nous avons démontré à travers l'exemple d'un amplificateur Raman fonctionnant en régime de dispersion normal, que l'apparition de statistiques dites extrêmes n'est pas exclusivement restreinte aux systèmes supportant des solitons ou bien des phénomènes d'instabilité modulationnelle. Il n'est ainsi pas requis d'utiliser une fibre microstructurée favorable à la génération de supercontinua et des évènements rares et intenses peuvent également se manifester dans des systèmes courants de télécommunications à fibres optiques. L'analyse spectro-temporelle nous a permis de confirmer que dans cette situation, l'origine de ce comportement se situait dans le transfert exponentiel et instantané des fluctuations de la pompe sur le signal. L'élargissement spectral constaté peut être exploité pour isoler les structures les plus extrêmes [6].

5. Références

- [1] D. R. Solli, C. Ropers, P. Koonath, and B. Jalali, "Optical rogue waves," *Nature*, vol. 450, p. 1054, 2007.
- [2] G. Genty, J. M. Dudley, and B. J. Eggleton, "Modulation control and spectral shaping of optical fiber supercontinuum generation in the picosecond regime," *Appl. Phys. B*, 2008.
- [3] B. Kibler, C. Finot, and J. M. Dudley, "Soliton and rogue wave statistics in supercontinuum generation in photonic crystal fibre with two zero dispersion wavelengths," *Eur. Phys. J. Special Topics*, vol. 173, pp. 273-279, 2009.
- [4] D. R. Solli, C. Ropers, and B. Jalali, "Active control of Rogue Waves for stimulated supercontinuum generation," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 101, p. 233902, 2008.
- [5] K. Hammani, C. Finot, and G. Millot, "Emergence of extreme events in fiber-based parametric processes driven by a partially incoherent wave," *Opt. Lett.*, vol. 34, pp. 1138-1140, 2009.
- [6] K. Hammani, C. Finot, J. M. Dudley, and G. Millot, "Optical rogue-wave fluctuations in fiber Raman amplifiers," *Opt. Express*, vol. 16, pp. 16467-16474, 2008.