



**HAL**  
open science

## Observation de structures scélérates dans un amplificateur optique Raman à fibre

Kamal Hammani, Christophe Finot, Stéphane Pitois, John M. Dudley, Guy Millot

► **To cite this version:**

Kamal Hammani, Christophe Finot, Stéphane Pitois, John M. Dudley, Guy Millot. Observation de structures scélérates dans un amplificateur optique Raman à fibre. 27èmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Oct 2008, Lannion, France. pp.A8.2, 365-637. hal-00469989

**HAL Id: hal-00469989**

**<https://hal.science/hal-00469989>**

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.

## OBSERVATION DE STRUCTURES SCÉLERATES DANS UN AMPLIFICATEUR OPTIQUE RAMAN A FIBRE

**Kamal Hammani<sup>1</sup>, Christophe Finot<sup>1</sup>, Stéphane Pitois<sup>1</sup>, John M. Dudley<sup>2</sup> et Guy Millot<sup>1</sup>**

*1 Institut Carnot Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, Dijon  
2 Institut FEMTO-ST, UMR 6174 CNRS-Université de Franche-Comté, Besançon*

Christophe.Finot@u-bourgogne.fr

### RESUME

Nous mettons en évidence expérimentalement et numériquement la possibilité de générer des structures optiques de type « onde scélérate » dans un amplificateur Raman à fibre. En présence d'une faible dispersion des vitesses de groupe, l'incohérence de la pompe peut en effet conduire à la génération d'événements intenses et statistiquement rares.

**MOTS-CLEFS :** Ondes scélérates ; amplification Raman ; optique incohérente.

### 1. INTRODUCTION

Plusieurs travaux [1-2] ont démontré ces derniers mois la possibilité de générer dans des fibres optiques des événements analogues aux « ondes scélérates » étudiées dans le domaine de l'hydrodynamique. L'étude statistique de la formation d'un supercontinuum en régime anormal a en effet révélé l'existence de structures intenses ayant une probabilité d'apparition extrêmement faible.

Nous nous intéressons ici à un autre processus physique simple pouvant conduire à l'apparition de structures extrêmes. Nous montrons ainsi que l'amplification d'une onde continue par effet Raman à partir d'une pompe incohérente peut générer des pics rares de forte intensité. La principale condition pour que ces structures se forment est alors une différence de vitesse de groupe la plus faible possible entre la pompe et le signal amplifié. Cela entraîne notamment un transfert extrême du bruit d'intensité de la pompe vers le signal. Si ce phénomène est habituellement considéré comme pénalisant dans les systèmes de transmission, la simplicité du montage fibré peut être mise à profit dans le cadre de l'étude fondamentale de dynamiques statistiques rares.

### 2. MONTAGE EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental étudié (Fig. 1a) est entièrement constitué de composants disponibles commercialement et adaptés à une utilisation aux longueurs d'ondes des télécommunications optiques. L'amplificateur Raman est basé sur une fibre hautement non-linéaire de dispersion  $\beta_2 = 0.4 \text{ ps}^2 \cdot \text{km}^{-1}$  et de non-linéarité  $\gamma = 10 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$  pour une longueur de 500m.

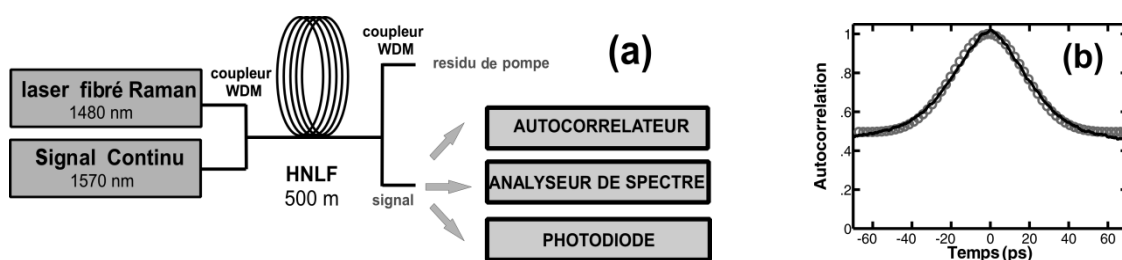


FIG. 1 : (a) Montage expérimental (b) Signal d'autocorrélation de la pompe incohérente (ligne continue : résultats expérimentaux ; cercles : approximation basée sur une distribution gaussienne)

La pompe à 1480 nm est issue d'un laser Raman fibré non polarisé. Le signal d'autocorrélation de cette pompe (Fig. 1b) montre un contraste 2:1 caractéristique d'une source partiellement incohérente [3]. Nous avons pu vérifier numériquement que ce signal d'autocorrélation était en accord avec l'hypothèse de fluctuations stochastiques ayant une distribution gaussienne et un temps de cohérence de 30 ps. Le signal initial est une onde continue délivrée par un laser à cavité externe (ECL) à 1570 nm avec une largeur de raie de quelques MHz.

### 3. CARACTERISATION DU SIGNAL AMPLIFIE

A partir du signal détecté par une photodiode rapide et visualisé sur un oscilloscope, nous pouvons observer l'émergence de pics distincts (Fig. 2a). Leur probabilité d'apparition (Fig. 2b) ne présente pas une évolution gaussienne mais plutôt un comportement linéaire sur une représentation log-log ce qui est consistant avec le comportement typique des phénomènes extrêmes [1-2]

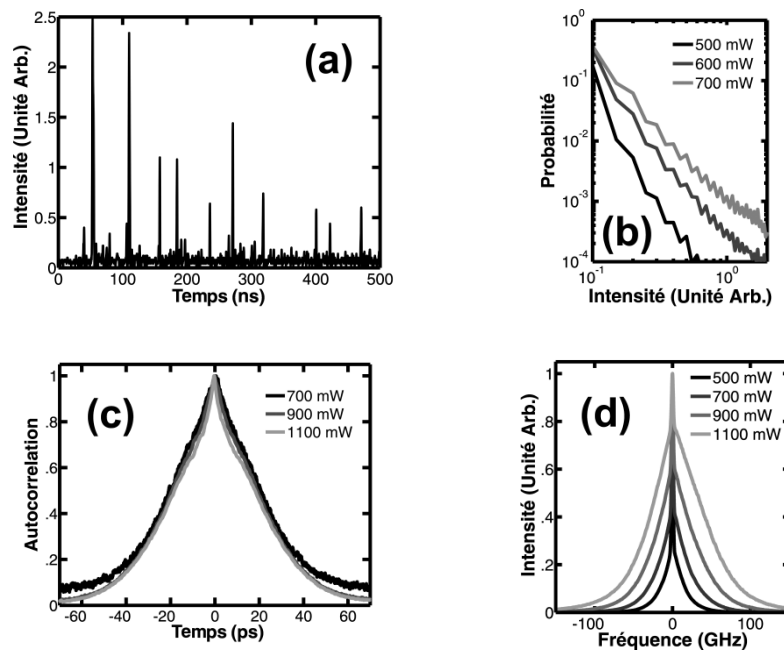


FIG. 2 : Signal amplifié (a) Visualisation à l'oscilloscope (b) Statistique correspondante (c) Signal d'autocorrélation pour différentes puissance de pompe (d) Evolution du spectre pour les puissances indiquées

Nous avons également enregistré le signal d'autocorrélation en intensité du signal amplifié pour différentes puissances de pompe (Fig. 2c). Sa largeur temporelle, qui ne varie pas significativement en fonction de la puissance, est comparable à celle de la pompe. Toutefois, nous remarquons que le contraste a radicalement changé, le niveau de base de l'autocorrélation descendant désormais à zéro. Ceci confirme une statistique fondamentalement différente de celle de la pompe.

Nous pouvons enfin remarquer que le spectre du signal continu s'élargit considérablement avec l'augmentation de la puissance de pompe (Fig. 2d).

### 4. SIMULATIONS NUMERIQUES

Pour mieux comprendre cette dynamique, nous avons simulé numériquement nos expériences à partir de deux équations de Schrödinger non linéaire couplées [4] (Fig. 3). Outre le gain Raman, notre modèle prend en compte les effets de dispersion de vitesse de groupe et inclut également les effets non-linéaires tels que l'automodulation de phase ou la modulation de phase croisée.

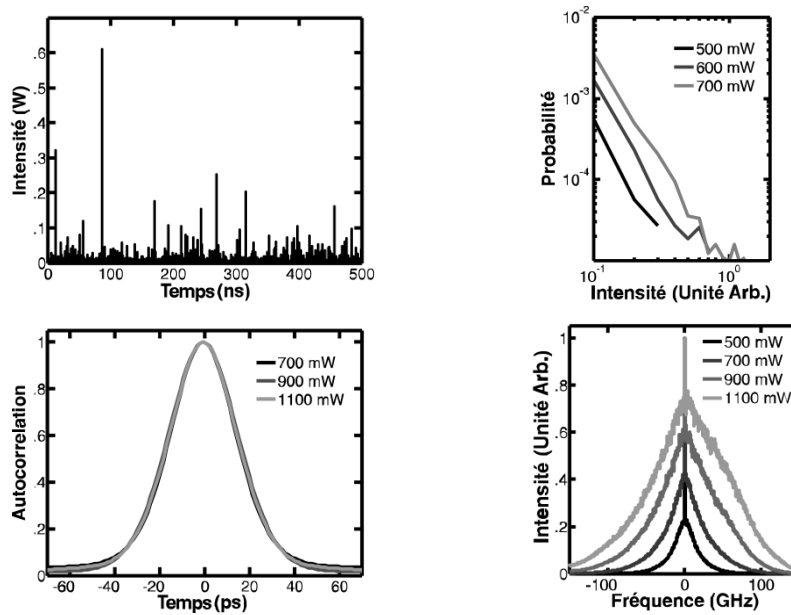


FIG. 3 : (a) Profil d'intensité temporel du signal amplifié (b) Statistique correspondante (c) Signal d'autocorrélation pour différentes puissance de pompe (d) Evolution du spectre pour les puissances indiquées

Ces simulations reproduisent fidèlement les tendances de nos expériences. Par modification des paramètres numériques, nous avons alors pu identifier le transfert du bruit d'intensité de la pompe vers le signal comme étant l'origine physique de ces événements rares. Pour que ce transfert soit efficace, il est essentiel que la pompe et le signal se propagent à des vitesses identiques, ce qui est le cas pour notre fibre hautement non-linéaire à faible dispersion. Cette condition proscrie donc l'utilisation d'un pompage contrapropagatif. Concernant l'élargissement spectral du signal amplifié, il est la conséquence de la modulation de phase croisée de la pompe sur le signal.

### CONCLUSION

Nous avons mis en évidence expérimentalement et numériquement l'apparition d'évènements optiques extrêmes de type « onde scélérate » dans un amplificateur Raman à fibre à dispersion normale. Nous avons pu vérifier qu'un transfert de bruit de la pompe incohérente vers le signal était la source de ce comportement statistique rare. Une faible dispersion des vitesses de groupe est alors nécessaire, comme nous l'ont confirmé des expériences complémentaires menées dans d'autres types de fibres.

Ces résultats ont été obtenus à partir d'un signal continu, mais nous présenterons également des résultats expérimentaux soulignant qu'un train d'impulsions picosecondes est également significativement affecté par cette dynamique non-linéaire. Il apparaît donc essentiel de tenir compte de ces effets dans le développement d'amplificateurs Raman discrets pour les télécommunications optiques.

Ces travaux sont soutenus par l'Agence Nationale de la Recherche (projet SUPERCODE, ANR-06-Blan-0401) et par le groupement de recherche Phonomi2.

### RÉFÉRENCES

- [1] John M. Dudley, Goëry Genty et Benjamin J. Eggleton. "Harnessing and control of optical rogue waves in supercontinuum generation," *Optics Express*, vol. 16, no. 6, p. 3644–3651, 2008.
- [2] D. R. Solli *et al.*, "Optical rogue waves," *Nature*, vol. 450, p.1054–1058, 2007.
- [3] Rodney Loudon, *The Quantum Theory of Light (second edition)*, Oxford University Press, 1991
- [4] Clifford Headley et Govind P. Agrawal, *Raman Amplification in Fiber Optical Communication Systems*. Elsevier Academic Press, 2005.