



HAL
open science

Statistiques extrêmes dans les amplificateurs Raman fibrés

Kamal Hammani, Antonio Picozzi, Christophe Finot

► **To cite this version:**

Kamal Hammani, Antonio Picozzi, Christophe Finot. Statistiques extrêmes dans les amplificateurs Raman fibrés. 29^{èmes} Journées Nationales de l'Optique Guidée, Oct 2010, Besançon, France. pp.103-105. <hal-00515128>

HAL Id: hal-00515128

<https://hal.science/hal-00515128v1>

Submitted on 31 Oct 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.



HAL Authorization

STATISTIQUES EXTREMES DANS LES AMPLIFICATEURS RAMAN FIBRES

Kamal Hammani, Antonio Picozzi et Christophe Finot

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 5209 – CNRS - Université de Bourgogne,
9 avenue A. Savary, 21078 Dijon, France

Kamal.Hammani@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

Nous étudions expérimentalement et analytiquement l'influence des effets de déplétion de la pompe sur la statistique extrême dans un amplificateur Raman fibré. Nous soulignons également l'impact de la dispersion de la fibre.

MOTS-CLEFS : *amplificateur à fibre ; statistiques ; événements extrêmes*

1. INTRODUCTION

Parmi la large gamme de manifestations non-linéaires qui peuvent être observées dans une fibre optique monomode, l'émergence d'événements dits extrêmes est un phénomène qui a été récemment mis en évidence dans le cadre de la génération de supercontinua [1]. Nous avons de notre côté souligné que de telles statistiques extrêmes peuvent également être enregistrées dans des amplificateurs Raman [2] ou encore paramétriques [3] : en présence d'une pompe partiellement incohérente, un gain quasi-instantané combiné à une faible différence de vitesses de groupe stimulent la génération de pics de lumière très rares mais d'intensité très élevée.

Nous décrivons ici de nouveaux résultats qui révèlent l'impact significatif de la puissance initiale et de la différence de vitesse de groupe. Les tendances enregistrées expérimentalement s'accordent avec les résultats de simulations numériques et une description analytique.

2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'amplificateur étudié [2] repose sur l'utilisation d'une pompe partiellement incohérente délivrée par un laser Raman d'une puissance moyenne de 350 mW (conduisant à un gain intégré de 3 dB). Le signal initial est délivré par une diode laser continue dont la puissance peut être ajustée entre 0 et 10 mW. Plusieurs fibres hautement non-linéaires (HNLF) avec des dispersions normales ou anormales sont testées ce qui permet d'étudier différentes valeurs du walk-off intégré δL .

Les fluctuations temporelles du signal amplifié peuvent être indirectement caractérisées via l'enregistrement du signal d'autocorrélation en intensité. Sur la Fig. 1a, nous pouvons noter que la largeur temporelle est proche du temps typique des fluctuations de la pompe partiellement cohérente. Le fort changement dans le contraste de l'autocorrélation indique néanmoins une différence significative dans la statistique. Des mesures additionnelles ont montré (Fig. 1b) qu'une augmentation du niveau initial du signal mène à une diminution du contraste (défini comme le rapport du maximum sur le minimum d'autocorrélation) ainsi qu'à un élargissement du signal d'autocorrélation qui est également sensible au niveau de walk-off.

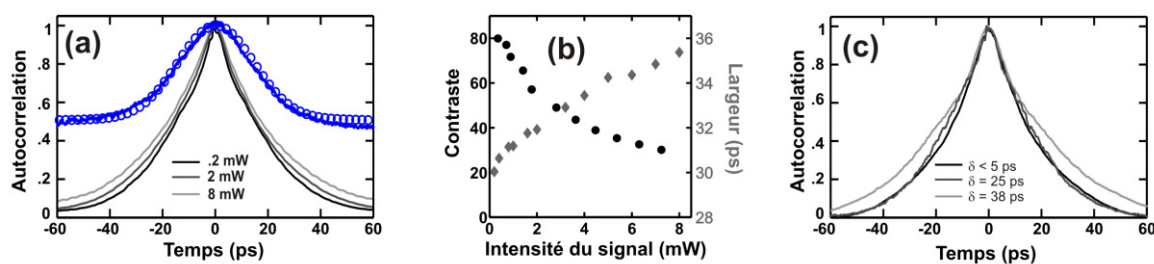


Fig. 1 : (a) Signal d'autocorrélation pour différentes puissances initiales du signal. (b) Contraste et largeur d'autocorrélation en fonction de la puissance initiale du signal. (c) Autocorrélation pour différentes HNLF

3. DESCRIPTION ANALYTIQUE ET RESULTATS NUMERIQUES

a) Modélisation de l'amplification

Après avoir négligé les pertes, les termes de dispersion et l'auto-modulation de phase, les évolutions des profils d'intensité temporelle du signal et de la pompe peuvent être modélisées par le système [4] :

$$\begin{cases} \frac{\partial P_p}{\partial z} = -g_R P_p P_s \\ \frac{\partial P_s}{\partial z} = g_R P_p P_s + \delta \frac{\partial P_s}{\partial T} \end{cases} \quad (1)$$

avec $\delta = 1/v_{gp} - 1/v_{gs}$ le walk-off et g_R le gain Raman subi par le signal ($\sim 6.5 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$). L'élément clef du montage est la pompe partiellement incohérente P_{p0} qu'il est possible de modéliser dans le domaine spectral par un champ gaussien ayant une phase spectrale stochastique avec une distribution uniforme entre $-\pi$ et π ce qui se traduit dans le domaine temporel par des fluctuations d'intensité de l'ordre de 25 ps. La distribution de probabilité (pdf) associée est [5] :

$$pdf(P_{p0}) = \frac{1}{\langle P_{p0} \rangle} \exp\left(-\frac{P_{p0}}{\langle P_{p0} \rangle}\right) \quad (2)$$

avec $\langle P_{p0} \rangle$ qui est la puissance de pompe moyenne.

b) Influence de la puissance du signal initial

Intéressons-nous tout d'abord à l'impact du niveau du signal continu P_{s0} en négligeant ici l'influence du walk-off ($\delta = 0$). La solution de l'équation (1) concernant la puissance du signal est alors :

$$P_s(z, T) = \frac{P_{p0}(T) P_{s0}}{P_{s0} + P_{p0}(T) e^{-z g_R P_{p0}(T)}} \quad (3)$$

Connaissant la pdf de la pompe (Eq. 2), nous pouvons prédire la pdf du signal après amplification [6] (Fig. 2a.) Pour une déplétion de la pompe négligeable, i.e. pour de faibles puissances initiales du signal, une forme analytique de la pdf peut être obtenue, elle est caractérisée par une décroissance algébrique [contrairement à la décroissance exponentielle de la pdf de la pompe (2)] :

$$pdf(P_s) = \frac{1}{g z P_s \langle P_{p0} \rangle} \left(\frac{P_{s0}}{P_s}\right)^{\frac{1}{g_R z \langle P_{p0} \rangle}} \quad (4)$$

Pour des puissances du signal plus élevées, la déplétion de la pompe conduit à une saturation du gain. Une conséquence directe est que la pdf du signal suit alors asymptotiquement la pdf de la pompe.

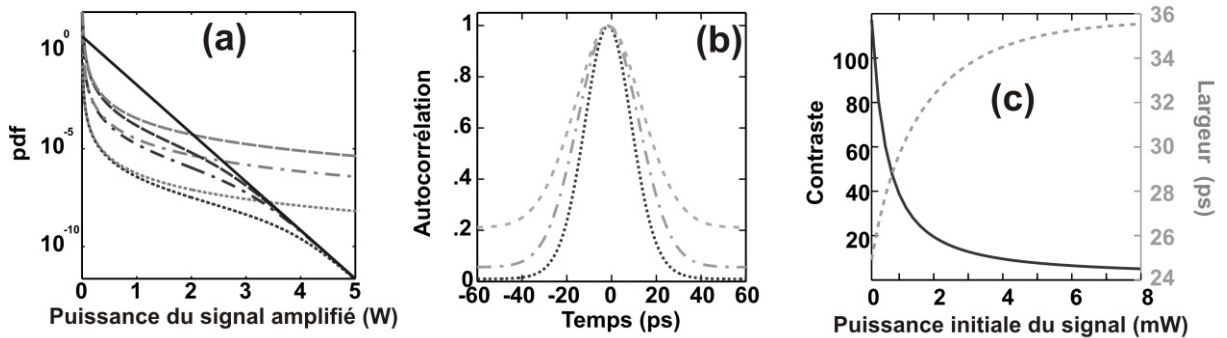


Fig. 2. (a) Pdf du signal amplifié pour des puissances initiales du signal de 0.2 mW, 2 mW et 8 mW (lignes en pointillés, mixte et en tirets) avec (noir) et sans (gris) déplétion. Les résultats sont comparés avec la pdf de la pompe (en trait plein noir). (b) Evolution de l'autocorrélation du signal pour différentes puissances du signal. (c) Evolution du contraste de l'autocorrélation (à gauche, en noir) et de la largeur de l'autocorrélation (à droite, en gris) en fonction de la puissance initiale du signal.

La déplétion et le changement de statistique qui en découle modifient le signal d'autocorrélation (Fig. 2b et 2c). Comme observé expérimentalement, l'augmentation du niveau du signal initial conduit

ainsi à un élargissement temporel des structures observées ainsi qu'à une décroissance du contraste.

c) Influence des propriétés dispersives de la fibre

Négligeons maintenant la déplétion de la pompe pour nous concentrer sur les conséquences du walk-off entre le signal et la pompe. A partir de la pdf de la pompe et de l'expression suivante représentant le profil d'intensité temporel en présence de walk-off (sans déplétion):

$$P_S(z, T) = P_{S0} \exp\left(g_R \int_0^z P_{P0}(0, T - \delta z') dz'\right) \quad (5)$$

nous pouvons analytiquement déduire la pdf du signal amplifié:

$$pdf(P_S) = \frac{1}{\left(\frac{z}{\varepsilon} - 1\right)! \left(g_R \varepsilon \langle P_{P0} \rangle\right)^{\frac{z}{\varepsilon}}} \left(\frac{P_{S0}}{P_S}\right)^{\frac{1}{g_R \varepsilon \langle P_{P0} \rangle}} \frac{1}{P_S} \ln\left(\frac{z}{\varepsilon} - 1\right) \left(\frac{P_S}{P_{S0}}\right) \quad (6)$$

avec $\varepsilon \approx \tau_c / \delta$ et τ_c le temps de cohérence de la pompe. La figure 3a illustre l'influence d'un walk-off élevé sur la queue de la pdf du signal. Les signaux d'autocorrélation (Fig. 3b et 3c) indiquent que la largeur temporelle de l'autocorrélation ne varie pas particulièrement jusqu'à 30ps puis subit une forte augmentation alors que le contraste lui diminue ce qui est en accord qualitatif avec nos expériences.

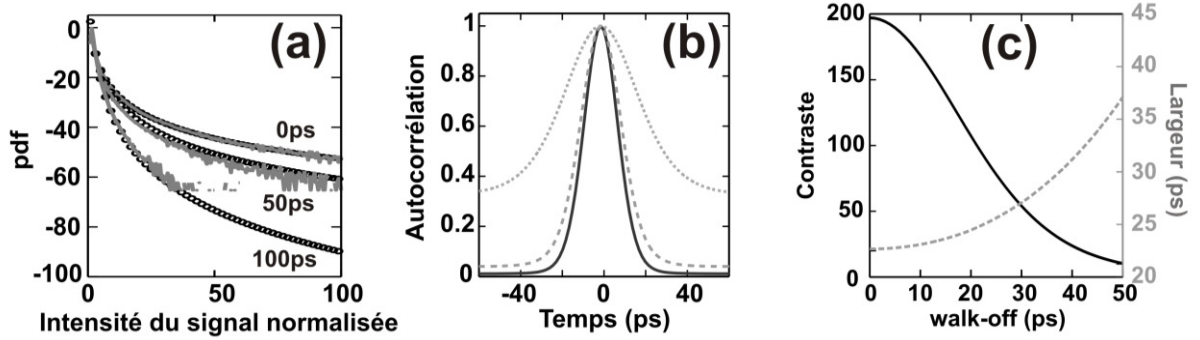


Fig. 3.(a) Pdf du signal amplifié pour différentes fibres. (b) Signal d'autocorrélation pour des walk-off intégrés de 0ps, 25 ps et 50 ps (respectivement trait plein, tirets et pointillés) (c) Évolution du contraste du signal d'autocorrélation (gauche trait continu noir) et de sa largeur (droite en pointillé) en fonction du walk-off intégré.

4. CONCLUSION

Une analyse théorique, numérique et expérimentale de l'influence de la déplétion de la pompe et des effets de walk-off a permis une meilleure compréhension du processus d'amplification Raman dans des fibres hautement non-linéaires basé sur un pompage copropagatif par une pompe partiellement cohérente. En particulier, la génération d'événements optiques intenses est stimulée par des effets de déplétion négligeables combinés à de faibles valeurs de walk-off. A l'inverse, un fort walk-off ou une forte déplétion réduiront de manière drastique les fluctuations en sortie du système. Nous nous sommes focalisés ici sur les effets temporels, mais nous discuterons également expérimentalement et analytiquement de l'impact sur le spectre optique du niveau de signal initial et des propriétés dispersives de l'interaction.

RÉFÉRENCES

- [1] D. R. Solli, C. Ropers, P. Koonath and B. Jalali, "Optical rogue waves," Nature 450, 1054-1057 (2007).
- [2] K. Hammani, C. Finot, J. M. Dudley, and G. Millot, "Optical rogue-wave fluctuations in fiber Raman amplifiers," Opt. Express, vol. 16, p. 16467-16474, 2008.
- [3] C. Finot et al. "Selection of extreme events generated in Raman fiber amplifiers through spectral offset filtering," IEEE J. Quantum Electron., vol. 46, p 205-213, 2009.
- [4] 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, p. 1138-1140, 2009.
- [5] S. G. Murdoch and Y. Xu, "Gain statistics of a fiber optical parametric amplifier with a temporally incoherent pump," Opt. Lett., vol. 35, p. 169-171, 2010.
- [6] J. W. Goodman, Statistical optics: John Wiley and Sons, 1985.