



HAL
open science

Ondes scélérates optiques

Kamal Hammani, Christophe Finot, Guy Millot

► **To cite this version:**

Kamal Hammani, Christophe Finot, Guy Millot. Ondes scélérates optiques. Photoniques, 2009, pp.36-37. hal-00469895

HAL Id: hal-00469895

<https://hal.science/hal-00469895>

Submitted on 21 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

Kamal Hammani, Christophe Finot, et Guy Millot

Christophe.Finot@u-bourgogne.fr

ENCADRÉ

Les travaux présentés dans cet article ont été menés à l'Institut Carnot Bourgogne de l'université de Bourgogne à Dijon, UMR 5209 du CNRS, en forte interaction avec John M. Dudley, de l'Institut Femto-ST de l'université de Franche-Comté à Besançon, UMR 6174 du CNRS.

Fin de l'encadré

Ce texte, qui reprend une conférence invitée aux dernières JNOG, montre que les systèmes fibrés présentent des caractéristiques remarquables pour la génération et le contrôle d'impulsions rares et intenses similaires aux vagues scélérates océaniques. En particulier, l'amplificateur Raman faiblement dispersif pompé par une onde incohérente a permis de mettre en évidence l'apparition d'ondes scélérates optiques.

1. VERS LA REPRODUCTION OPTIQUE DES VAGUES SCÉLÉRATES OCÉANIQUES

Les phénomènes extrêmes ont un impact si fort sur la société que de nombreux chercheurs les étudient dans des domaines aussi variés que la géophysique, la biologie, la science du climat ou bien encore l'économie. En hydrodynamique, un exemple saisissant est connu sous le nom de vague scélérate : cet événement dont la rareté n'a d'égal que la violence, peut anéantir des navires ou des plateformes pétrolières.

La nature intrinsèquement rare de ces ondes océaniques complique foncièrement leur étude, limitant radicalement les occasions naturelles d'observation. Il est donc du plus grand intérêt de disposer d'un système de laboratoire pouvant reproduire des comportements statistiques similaires mais à une échelle de temps beaucoup plus brève.

C'est dans ce contexte qu'il a été proposé de mettre à profit l'analogie existant entre les mondes de l'hydrodynamique et de l'optique. La fibre optique constitue alors un milieu de propagation idéal capable de simuler l'interaction complexe entre les effets dispersifs et non-linéaires. Ainsi, les années 80 avaient déjà jeté un pont entre ces deux mondes en démontrant la propagation d'un soliton optique, analogue du soliton hydrodynamique.

Beaucoup plus récemment, des phénomènes extrêmes ont pu être reproduits dans des recherches menées par Daniel Solli *et al.* dans le cadre de la génération de supercontinuum optiques. Mais d'autres systèmes fibrés, notamment les amplificateurs Raman, permettent également d'observer des statistiques optiques extrêmes.

2. GÉNÉRATION DANS UN SYSTÈME SUPERCONTINUUM

La génération de supercontinuum optique est un sujet qui a stimulé de nombreuses recherches, aussi bien théoriques qu'appliquées. L'utilisation de fibres microstructurées a contribué à améliorer significativement les performances, permettant l'injection d'impulsions intenses à une longueur d'onde voisine du zéro de dispersion. La combinaison entre non-linéarité exacerbée et dispersion anormale est alors propice à l'obtention de spectres s'étalant sur plus d'une décade. La

fission des impulsions initiales couplée à des effets d'instabilité et à l'auto-décalage fréquentiel Raman sont parmi les mécanismes à l'origine d'un tel élargissement spectral.

Dans ce contexte, il a été montré que toute fluctuation initiale peut se retrouver considérablement amplifiée et provoquer l'apparition d'évènements extrêmes. L'équivalent hydrodynamique de l'instabilité modulationnelle optique étant l'instabilité de Benjamin-Feir, il est donc possible d'établir un lien avec les vagues scélérates, d'où l'appellation d'ondes scélérates optiques. Les statistiques enregistrées expérimentalement, appuyées par des études numériques ont confirmé l'existence de structures lumineuses intenses ayant une probabilité d'apparition extrêmement faible. Les récents travaux de Dudley *et al.* ont de plus permis de clarifier l'origine de ces statistiques extrêmes et les méthodes éventuelles de contrôle.

3. GÉNÉRATION DANS UN AMPLIFICATEUR RAMAN FIBRÉ

Si l'étude dans un système supercontinuum en régime anormal est un succès, il reste essentiel d'élargir ces travaux à d'autres systèmes optiques afin de mieux déterminer l'origine de ces comportements et de montrer leur universalité. Une première étude, non-basée sur la génération d'un supercontinuum, mais utilisant l'amplification Raman à partir d'une pompe partiellement cohérente a été menée à bien. L'émergence de structures rares et puissantes a ainsi pu être observée en utilisant exclusivement du matériel usuel adapté aux télécommunications optiques.

Une partie de cette étude est illustrée sur la figure 1. Des impulsions picosecondes générées par un laser fibré à modes bloqués en phase sont amplifiées dans une fibre hautement non-linéaire. Le pompage Raman est basé sur un laser Raman générant une onde continue partiellement cohérente. En sortie de l'amplificateur, le diagramme de l'œil souligne de très larges fluctuations de la puissance des impulsions. La distribution de probabilité correspondante (figure 2) est bien reproduite par un ajustement exponentiel en échelle semi-log ce qui en échelle log-log donnerait une droite typique des processus à valeurs extrêmes.

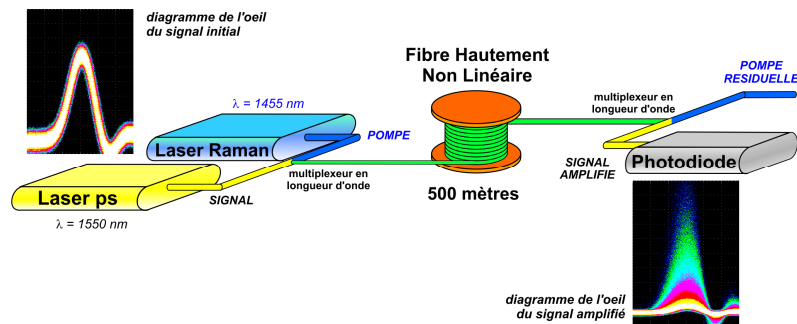


Figure 1 : Montage expérimental et diagrammes de l'œil de l'impulsion initiale et de l'impulsion en sortie.

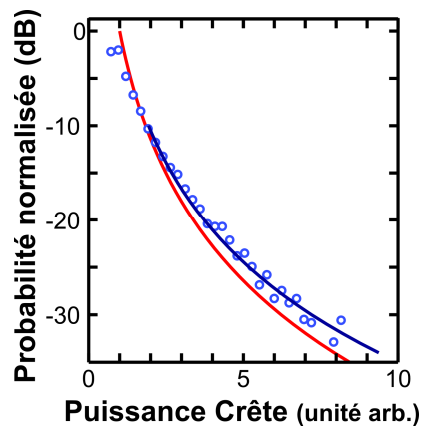


Figure 2 Probabilité des puissances crêtes : les résultats expérimentaux (cercles bleus) sont comparés avec un ajustement exponentiel (courbe bleue) et avec les résultats de simulations numériques (courbe rouge).

L'origine de ces ondes scélérates Raman a été clairement identifiée comme étant le transfert exponentiel des fluctuations d'intensité de la pompe vers le signal amplifié. Ce transfert est exacerbé par le pompage copropagatif utilisé et la faible dispersion des vitesses de groupe de la fibre. Ces résultats expérimentaux sont reproduits numériquement à partir d'un système d'équations de Schrödinger non-linéaires couplées.