

Ondes scélérates en turbulence intégrable

P. Walczak¹, S. Randoux¹ & P. Suret¹

¹Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, UMR-CNRS 8523, Université de Lille, France
Pierre.Suret@univ-lille1.fr, ps.walczak@ed.univ-lille1.fr

Les vagues scélérates sont des événements extrêmes apparaissant à la surface des océans avec une probabilité plus importante que celle prédite par la loi normale [1]. En optique non linéaire, depuis les travaux de Solli *et al.*, de nombreuses études ont montré l'apparition de ces phénomènes dans des systèmes non intégrables [1,2,3]. L'équation de Schrödinger non linéaire à une dimension (intégrable) permet d'établir une analogie forte entre hydrodynamique et optique. En effet elle décrit au premier ordre la propagation unidirectionnelle de vagues en eau profonde mais aussi la propagation des ondes dans différents systèmes d'optique non linéaire. Sur le plan théorique, cette équation possède des solutions analytiques maintenant considérées comme des prototypes d'ondes scélérates [3].

Aucune des nombreuses études effectuées en optique non linéaire pour observer ces événements extrêmes n'a pour l'instant combiné à la fois des conditions initiales aléatoires (ondes incohérentes) et une propagation décrite par l'équation de Schrödinger non linéaire. En particulier, les expériences dans des fibres optiques se sont focalisées sur la génération de supercontinuum qui est décrite par une équation de Schrödinger dite "généralisée" ou sur la propagation de solutions particulières telles que les solitons de Peregrine [4].

Nos travaux s'incrivent dans le cadre de la turbulence intégrable introduite par Zakharov [5]. Nous présentons une étude expérimentale du comportement statistique d'ondes optiques incohérentes se propageant dans une fibre optique. La propagation des ondes est régie par l'équation de Schrödinger non linéaire à une dimension en régime de dispersion anormale (focalisant). Le principe de notre dispositif est très analogue à celui d'expériences unidirectionnelles en hydrodynamique [6].

La détection des fluctuations rapides d'une onde optique aléatoire n'est pas possible avec les détecteurs usuels. Nous avons développé un dispositif original basé sur l'échantillonnage optique afin de mesurer la distribution de probabilité des fluctuations aléatoires de puissance avec une résolution temporelle de l'ordre de 250 fs. La condition initiale à l'entrée de la fibre optique est une onde aléatoire de statistique gaussienne.

La distribution de probabilité se déforme au cours de la propagation et on observe des fluctuations de grandes amplitudes dont la probabilité est supérieure à celle définie par la loi normale. Les simulations numériques de l'équation de Schrödinger non linéaire à une dimension reproduisent quantitativement nos expériences et montrent que des structures cohérentes telles que les solitons de Peregrine [4] apparaissent au sein des fluctuations aléatoires. Nos travaux démontrent l'existence d'un état stationnaire de la turbulence intégrable caractérisé par une statistique non gaussienne du champ.

Références

1. M. Onorato, S. Residori, U. Bortolozzo, A. Montina, and F. T. Arecchi, Phys. Reports **528**, 47-89 (2013)
2. D. R. Solli, C. Ropers, P. Koonath, and B. Jalali, Nature **450**, 1054 (2007)
3. J. M. Dudley, F. Dias, M. Erkintalo, and G. Genty, Nat. Photon. **8**, 755 (2014)
4. B. Kibler, J. Fatome, C. Finot, G. Millot, F. Dias, G. Genty, N. Akhmediev, and J. M. Dudley, Nat. Phys. **6**, 790 (2010)
5. V. E. Zakharov, and A. A. Gelash, Phys. Rev. Lett. **111**, 054101 (2013)
6. M. Onorato, A. R. Osborne, M. Serio, L. Cavaleri, C. Brandini, and C. T. Stansberg, Phys. Rev. E **70**, 067302 (2004)