

# Mesure ultra-rapide du champ complexe en optique et analyse spectrale non-linéaire

Alexandre Lebel<sup>1</sup>, Giacomo Roberti<sup>2</sup>, Alexey Tikan<sup>1</sup>, Gennady El<sup>2</sup>, Stéphane Randoux<sup>1</sup>, Francois Copie<sup>1</sup> & Pierre Suret<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Lille, CNRS, UMR 8523—PhLAM—Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59 000 Lille, France

<sup>2</sup> Department of Mathematics, Physics and Electrical Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, NE1 8ST, United Kingdom

[alexandre.lebel@univ-lille.fr](mailto:alexandre.lebel@univ-lille.fr)

Le développement de techniques de mesures en temps réel pour des signaux optiques ultra-rapides a suscité une attention considérable ces dernières années, et a contribué à d'impressionnants progrès en recherche tant appliquée que fondamentale. Par exemple, le développement de systèmes appelés lentille temporelle (time-lens) a permis l'observation en intensité d'événements uniques, ultra-courts (ps) typiques de l'instabilité modulationnelle (MI) démarrant du bruit autour d'une onde monochromatique [1].

Dans nos travaux, une étape supplémentaire est franchie, grâce à l'enregistrement instantané du champ complexe résolu dans le temps à la sortie d'une fibre optique. Ceci est rendu possible grâce à notre dispositif de lentille temporelle amélioré donnant accès à la phase du champ électrique en plus de son intensité [2]. Il nous est alors possible de réaliser des acquisitions sur une large fenêtre temporelle de 200 ps avec une résolution sub-picoseconde ce qui permet l'observation d'un grand nombre de structures non linéaire dont la taille typique est de l'ordre de la picoseconde. L'accès à la phase est rendu possible en créant un battement entre le signal à analyser et un signal de référence.

L'équation de Schrödinger non-linéaire, régissant la propagation de la lumière dans la fibre optique, est une équation dite intégrable [3], c'est à dire solvable par la méthode de l'Inverse Scattering Transform (IST). Cette méthode, assimilable à une analyse spectrale non-linéaire, permet notamment de calculer des ensembles de valeurs propres discrètes. Ces derniers restent constantes lors de la propagation. Nous étudions ici le cas d'une onde monochromatique déstabilisée, soit par du bruit soit par une modulation sinusoïdale (deux scénarios différents de l'instabilité modulationnelle), se propageant dans une fibre optique longue de plusieurs centaines de mètres. Bien que la dynamique temporelle de tels systèmes soit complexe (et pseudo-aléatoire dans le premier cas), l'IST donne accès à des résultats analytiques très forts sur la distribution des valeurs propres discrètes [4][5].

La mesure en phase et en intensité du champ électrique nous permet d'effectuer cette analyse spectrale non linéaire, et de comparer les résultats obtenus expérimentalement à la fois à la théorie ainsi qu'aux simulations numériques prenant en compte des effets d'ordre supérieurs (dispersion d'ordre 3, pertes, diffusion Raman).

## Références

1. M. NÄRHI, B. WETZEL, C. BILLET, S. TOENGER, T. SYLVESTRE, J. M. MEROLLA, R. MORANDOTTI, F. DIAS, G. GENTY, AND J. M. DUDLEY, Real-time measurements of spontaneous breathers and rogue wave events in optical fibre modulation instability, *Nat. Comm.*, **7**, 13675 (2016).
2. A. TIKAN, S. BIELAWSKI, C. SZWAJ, S. RANDOUX, AND P. SURET, Single-shot measurement of phase and amplitude by using a heterodyne time-lens system and ultrafast digital time-holography, *Nat. Photon.*, **12**, 228-234 (2018).
3. V.E. ZAKHAROV, A.B. SHABAT, A scheme for integrating the nonlinear equations of mathematical physics by the method of the inverse scattering problem, *Func. Anal. Appl.*, **8.3**, 226-235 (1974)
4. A. GELASH, D. AGAFONTSEV, V.E. ZAKHAROV, G. EL, S. RANDOUX, P. SURET, Bound state soliton gas dynamics underlying the spontaneous modulational instability, *Phys. Rev. Lett.*, **123**, 234102 (2019)
5. P.G. GRINEVICH, P.M. SANTINI, The finite gap method and the analytic description of the exact rogue wave recurrence in the periodic NLS Cauchy problem. 1, *Nonlinearity*, **31**, 5258 (2018)