

# Mesure complète et ultra-rapide de structures non-linéaires générées par l'instabilité modulationnelle en optique

Alexandre Lebel<sup>1</sup>, Alexey Tikan<sup>1</sup>, Stéphane Randoux<sup>1</sup>, Pierre Suret<sup>1</sup> & Francois Copie<sup>1</sup>

Université de Lille, CNRS, UMR 8523 - Physique des Lasers Atomes et Molécules (PhLAM), Lille, France  
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 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 de l'ordre de la picoseconde, couvrant ainsi un nombre sans précédent de structures non-linéaires adjacentes. L'accès à la phase est rendu possible en créant un battement entre le signal à analyser et un signal de référence.

Nous étudions ici le cas d'une onde monochromatique déstabilisée par le bruit (un des scénarios les plus courant de l'instabilité modulationnelle), se propageant dans 500 m de fibre optique. Dans ce système, l'apparition d'une grande variété de solutions exactes de l'équation de Schrödinger non linéaire (1D-NLSE) a été théoriquement prédit, notamment les solitons de Peregrine, les solitons de Kuznetsov-Ma ou les breathers d'Akhmediev [3]. Dans notre cas, nous avons mis à profit la grande fenêtre temporelle d'acquisition de notre système pour observer des structures similaires à ces derniers [4].

Pour ce faire, nous avons ajusté la puissance à l'entrée de la fibre afin que la probabilité d'apparition de structures proches des breathers d'Akhmediev soit maximale en sortie de fibre. Après traitement des données, nous observons effectivement que des trains quasi périodiques d'impulsions apparaissent et notamment que chaque impulsion s'accompagne d'un saut de phase de  $\pi$  comme attendu par la théorie.

Ce dispositif expérimental peut s'appliquer à d'autres régimes d'instabilité et peut être utilisé pour étudier l'impact de différents paramètres, tel que le niveau de bruit qui est susceptible de jouer un rôle crucial pour la dynamique et les propriétés statistiques du système [5].

## 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. S. TOENGER, T. GODIN, F. DIAS, M. ERKINTALO, G. GENTY, AND J. M. DUDLEY, Emergent rogue wave structures and statistics in spontaneous modulation instability, *Sci. Rep.*, **5**, 10380 (2015).
4. S. RANDOUX, P. SURET, AND G. EL, Inverse scattering transform analysis of rogue waves using local periodization procedure, *Sci. Rep.*, **6**, 29238 (2016).
5. D. AGAFONTSEV, AND V. ZAKHAROV, Integrable turbulence and formation of rogue waves, *Nonlinearity*, **28**, 2791-2821 (2015).