

---

# Mesure expérimentale de corrélations balistiques dans une boucle de recirculation fibrée

Elias Charnay<sup>\*1</sup>, Adrien Escoubet<sup>1</sup>, Francois Copie<sup>1</sup>, Stéphane Randoux<sup>1</sup>, Thibault Bonnemain<sup>2</sup>, Alvisé Bastianello<sup>3</sup>, and Pierre Suret<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules - UMR 8523 – Université de Lille, Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Lille : UMR8523, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8523 – France

<sup>2</sup>Laboratoire de Physique Théorique et Modélisation – Centre National de la Recherche Scientifique, CY Cergy Paris Université – France

<sup>3</sup>Centre de REcherches en MATHématiques de la DEcision – Université Paris Dauphine-PSL, Centre National de la Recherche Scientifique, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7534 / URA749 – France

## Résumé

Les corrélateurs spatio-temporels caractérisent la dynamique macroscopique des systèmes complexes et constituent des outils essentiels en turbulence, en théorie quantique des champs et en physique statistique. L'évolution de ces corrélations est directement liée aux propriétés de transport. Dans les systèmes stochastiques standards, la loi de Fick s'applique et conduit à des corrélations diffusives. En revanche, dans les systèmes intégrables, elle cesse d'être valable et les corrélations peuvent devenir balistiques (voir : Bastianello, A. et al., *J. Stat. Mech.: Theory Exp.*, 014001 (2022)).

Nous présentons la première mesure expérimentale de corrélations spatio-temporelles dans un système optique proche de l'intégrabilité. Cette mesure est réalisée dans une boucle de recirculation fibrée (voir : Kraych, A. E. et al., *Phys. Rev. Lett.* 123, 093902 (2019)), permettant d'accéder à la dynamique spatio-temporelle d'un champ optique aléatoire, en intensité et en phase, sur de très longues distances de propagation. À chaque tour dans la boucle de 5 km, une fraction du champ est extraite et enregistrée, tandis que les pertes sont compensées par une amplification Raman distribuée. Aux premiers ordres de dispersion et de non-linéarité, la dynamique est décrite par l'équation de Schrödinger non linéaire focalisante (fNLS), et le champ se décompose en un ensemble de solitons à paramètres aléatoires. Ces solitons, assimilables à des quasi-particules, se propagent avec une vitesse effective déterminée par leurs interactions.

La construction des corrélations requiert des outils théoriques spécifiques. L'équation fNLS est intégrable, contrainte par une infinité de constantes du mouvement, et les solitons ne subissent que des collisions élastiques. Le système ne peut donc atteindre un équilibre thermique de type Gibbs canonique, rendant inadaptée l'hydrodynamique classique. L'Hydrodynamique Généralisée (GHD) fournit en revanche un cadre pertinent en intégrant ces contraintes dans un Ensemble de Gibbs Généralisé (GGE) (voir : Castro-Alvaredo, O. A. et al., *Phys. Rev. X* 6, 041065 (2016)). Elle permet d'établir une expression exacte des corrélations spatio-temporelles des densités associées aux constantes du mouvement, en fonction de la densité

---

\*Intervenant

d'états des solitons (voir : Koch, R. et al., J. Phys. A 55, 134001 (2022)).

Nous présenterons nos résultats expérimentaux sur la mesure des corrélations et de la densité d'états des solitons. Ces expériences constituent la première observation de corrélations spatio-temporelles balistiques dans un système d'ondes non linéaires et montrent un accord quantitatif remarquable avec les prédictions théoriques. Les résultats seront soumis à Physical Review Letters.