

**CONTRACTS DOCTORAUX 2023**

Titre du projet de thèse : Hydrodynamique généralisée de gaz de solitons optiques

Directeur de thèse : Pierre Suret

---

**Résumé du projet de thèse (en 20 lignes maximum) :**

Le sujet de cette thèse interdisciplinaire se situe à l'interface de plusieurs problématiques fondamentales de Physique (solitons et hydrodynamique généralisée) et de mathématiques (systèmes intégrables et «inverse scattering transform»). L'hydrodynamique généralisée est un champ de recherche très récent (2016) qui correspond à une thermodynamique statistique des systèmes intégrables. Cette théorie introduit un ensemble de Gibbs généralisé qui prend en compte l'ensemble (infini) des constantes du mouvement d'un système intégrable et permet de calculer par exemple l'entropie, l'énergie libre et les fluctuations d'un système d'ondes non linéaires.

Des collaborateurs de notre équipe ont récemment établi le lien entre la théorie des gaz de solitons et l'hydrodynamique généralisée [1]. Les solitons peuvent être vus comme des modes non linéaires du système d'onde et un gaz de solitons est un ensemble de solitons aux amplitudes et vitesses aléatoires [2]. L'objectif de la thèse est de développer des expériences d'optique fibrée afin de mesurer les fluctuations prédites par l'hydrodynamique généralisée et d'observer la thermalisation d'un gaz de solitons. Les expériences de la thèse s'appuieront sur un dispositif de mesure ultra-rapides (échelles de temps  $\approx 10^{-13}$ s) unique au monde, appelé « SEAHORSE », et développé dans notre groupe [3].

Cette thèse s'inscrit pleinement dans les activités du Labex CEMPI, des activités du hub3 de l'ISITE Université de Lille (cluster DYDICO) et du graduate program Information and Knowledge Society. Le doctorant se déplacera régulièrement en Angleterre afin de travailler avec les collaborateurs de notre groupe (en particulier Gennady El (Northumbria University, UK) spécialiste des gaz de solitons et Benjamin Doyon (King's College à Londres) spécialiste de l'hydrodynamique généralisée (Benjamin Doyon, King's College, Londres). Les retombées attendues de la thèse sont des publications à haut facteur d'impact (Nature, Physical Review Letters...).

[1] Bonnemain, T., Doyon, B., & El, G. (2022). *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 55(37), 374004 (2022)

[2] Suret P. *et al.*, Physical Review Letters 125 (26), 264101(2020)

[3] Tikan A. *et al.*, Nature Photonics 12 (4), 228-234 (2018)

## PhD GRANTS 2023

PhD project title: Generalized Hydrodynamics of optical soliton gas

PhD Supervisor: Pierre Suret

### PhD project summary (max. 20 lines):

The topics of this interdisciplinary PhD is located at the interface between several fundamental problems of physics (solitons and generalized hydrodynamics) and of mathematics (integrable systems and "inverse scattering transform"). Generalized hydrodynamics is a very recent research field (2016) aiming to extend statistical thermodynamics to integrable systems. This theory introduces a generalized Gibbs ensemble which includes the (infinite) set of constants of motion of integrable systems and provides in particular derivations of the entropy, of the free energy and of the fluctuations of a system of nonlinear waves.

Some of our collaborators have recently established the link between the soliton gas theory and generalized hydrodynamics [1]. Solitons can be seen as nonlinear modes of integrable wave systems and a soliton gas is a collection of solitons with random amplitudes and velocities [2]. The goal of the thesis is to develop fiber optics experiments in order to measure the fluctuations predicted by generalized hydrodynamics and to observe the thermalization of soliton gas. The experiments will be based on an ultra-fast measurement device (time scales  $\approx 10^{-13}$ s) unique in the world, called "SEAHORSE", and developed in our group [3].

This PhD is fully in line with the activities of the Labex CEMPI, the activities of the hub3 of ISITE University of Lille (cluster DYDICO) and with the graduate program Information and Knowledge Society. The doctoral student will travel regularly to England in order to work with the collaborators of our group (in particular Gennady El (Northumbria University, UK) specialist in soliton gases and Benjamin Doyon (King's College in London) specialist in generalized hydrodynamics (Benjamin Doyon, King's College, London) The expected results of this PhD thesis are publications with a high impact factor (Nature, Physical Review Letters, etc.).

[1] Bonnemain, T., Doyon, B., & El, G. (2022). *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 55(37), 374004 (2022)

[2] Suret P. *et al.*, *Physical Review Letters* 125 (26), 264101(2020)

[3] Tikan A. *et al.*, *Nature Photonics* 12 (4), 228-234 (2018)