

Mesure de la distribution statistique des modes non linéaires associés au problème de l'instabilité modulationnel en optique.

Alexandre Lebel, Alexey Tikan, Stéphane Randoux, Pierre Suret et François Copie.

INTRODUCTION

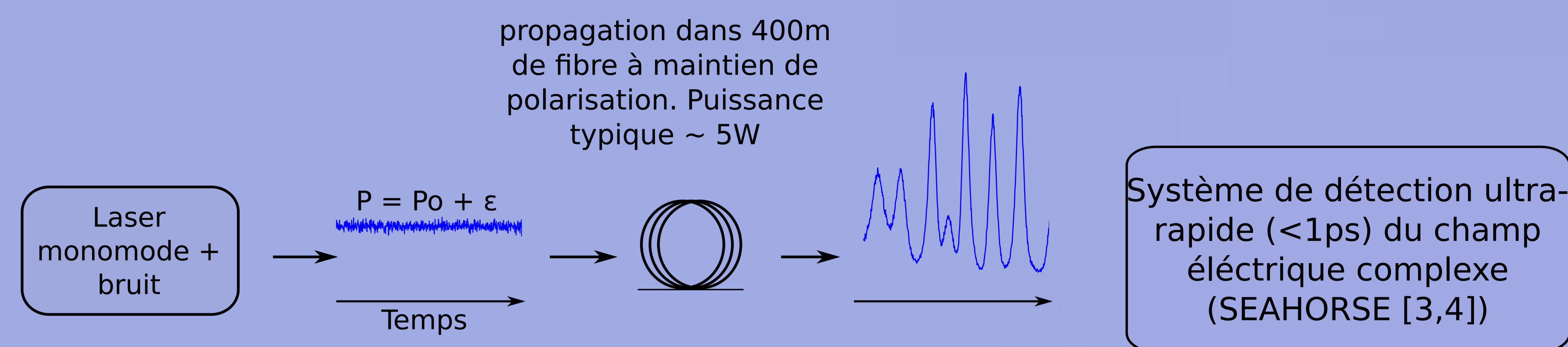
L'équation de Schrödinger non-linéaire (NLSE) est une équation dite intégrable[1]. Cela signifie qu'il est possible de trouver un système équivalent d'équations différentiels ordinaires non couplées. La transformation (Inverse Scattering Transform) de l'un à l'autre étant canonique.

$$i\partial_t \Psi = -1/2 \partial_x^2 \Psi + |\Psi|^2 \Psi$$

$$\begin{cases} Lu = \lambda u \\ \partial_t u = Pu \end{cases}$$

Il est alors possible de trouver un ensemble de valeurs propres discrètes (spectre discret) constantes lors de la propagation. On cherche ici à mesurer ces valeurs propres et notamment leur distribution statistique dans le cadre de l'instabilité modulationnelle.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



RESULTAT THEORIQUE

Les solitons sont des structures non-linéaires se propageant sans déformation. L'équation de Schrödinger non-linéaire admet des solutions solitoniques. L'Inverse Scattering Transform (IST) et notamment le spectre discret qui y est associé permet de mettre en évidence le contenu solitonique du champ complexe.

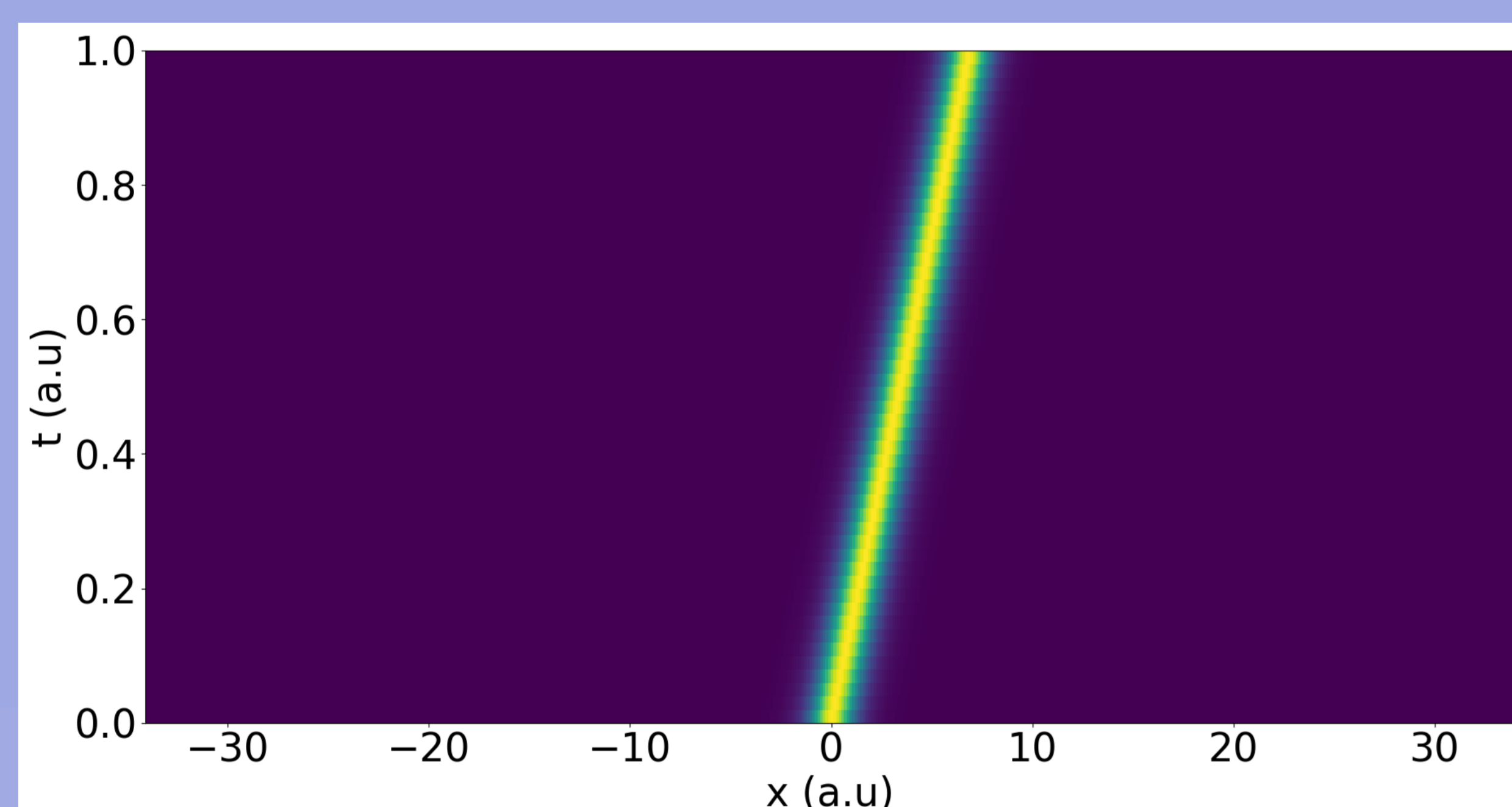
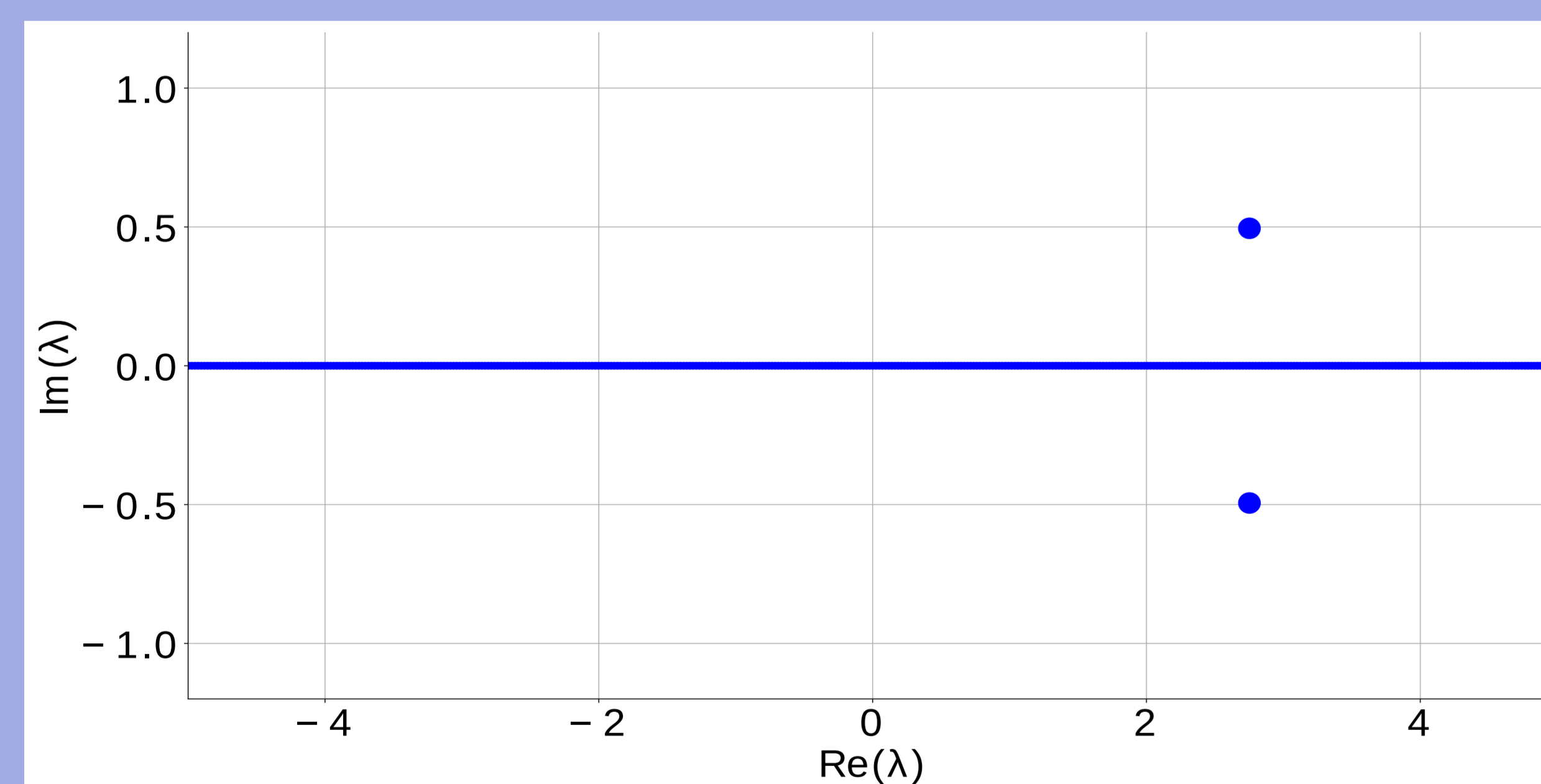


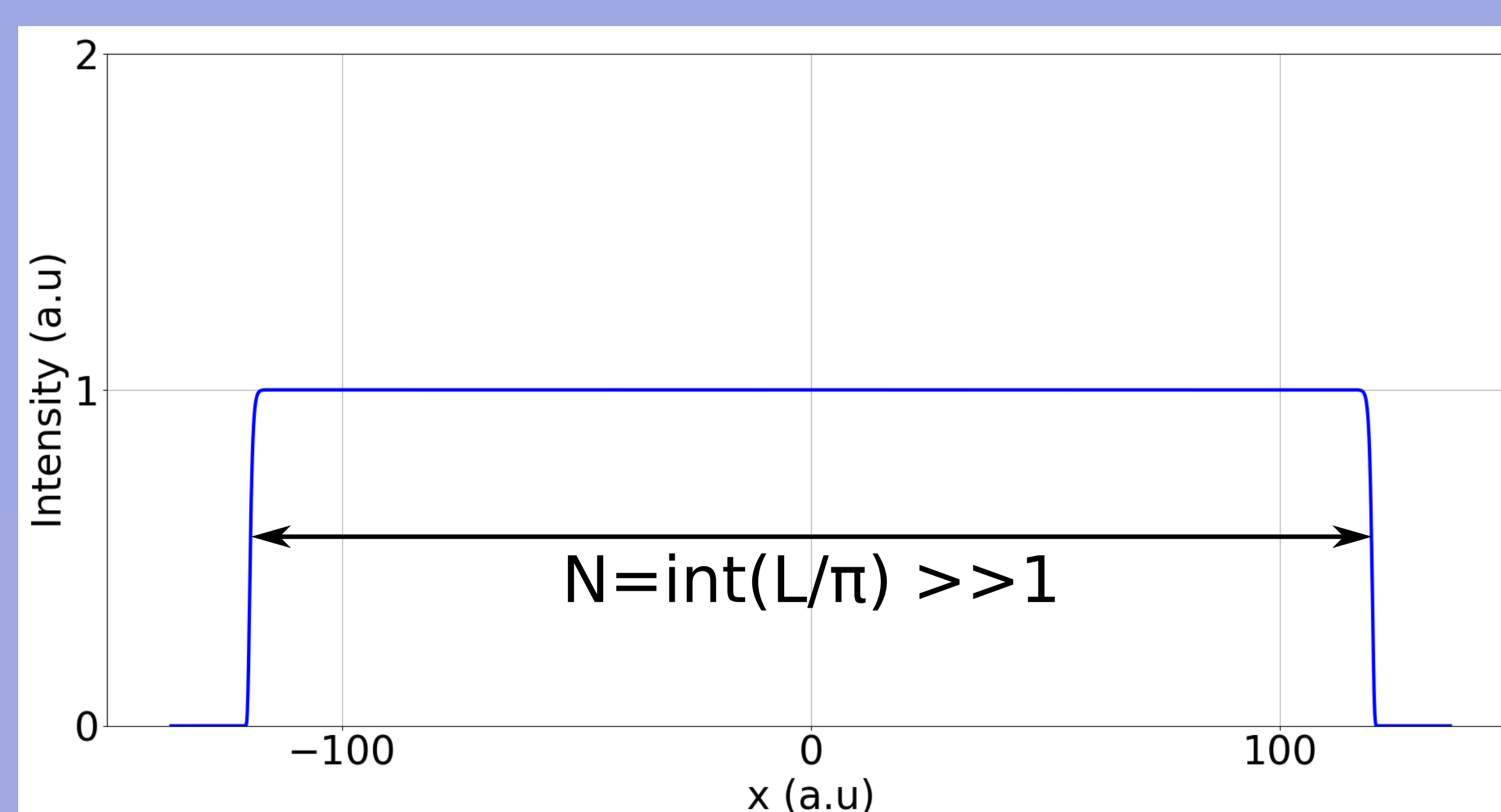
Diagramme Spatio-temporel d'un soliton ayant une vitesse se propageant dans NLSE



Spectre discret IST associé au soliton de la figure précédente. Les parties imaginaires des points discret sont associées à l'amplitude du soliton et les parties réelles sont associées à sa vitesse.

Dans une boîte de taille finie L l'IST révèle la présence d'un nombre fini N de solitons. Les parties réelles des valeurs propres (associées à leurs vitesses respectives) sont toutes confondues, alors que leurs parties imaginaires suivent la quantification de Bohr-Sommerfeld.

$$\lambda_n = i \sqrt{1 - \frac{(n - \frac{1}{2})^2}{N}}$$



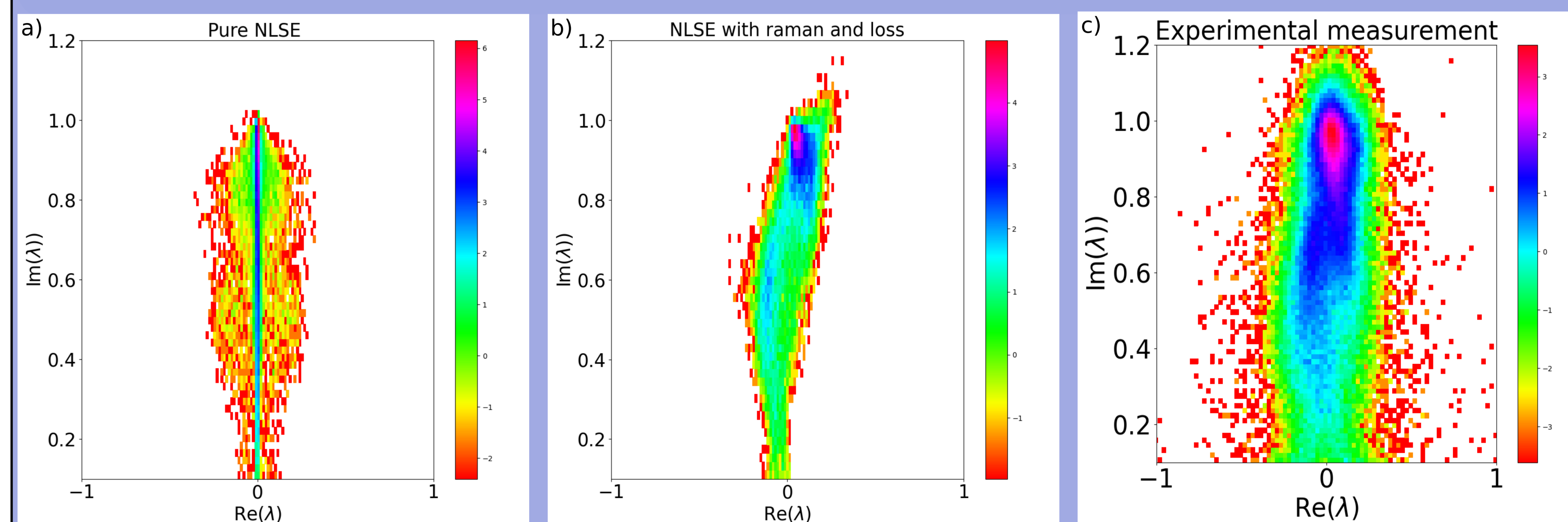
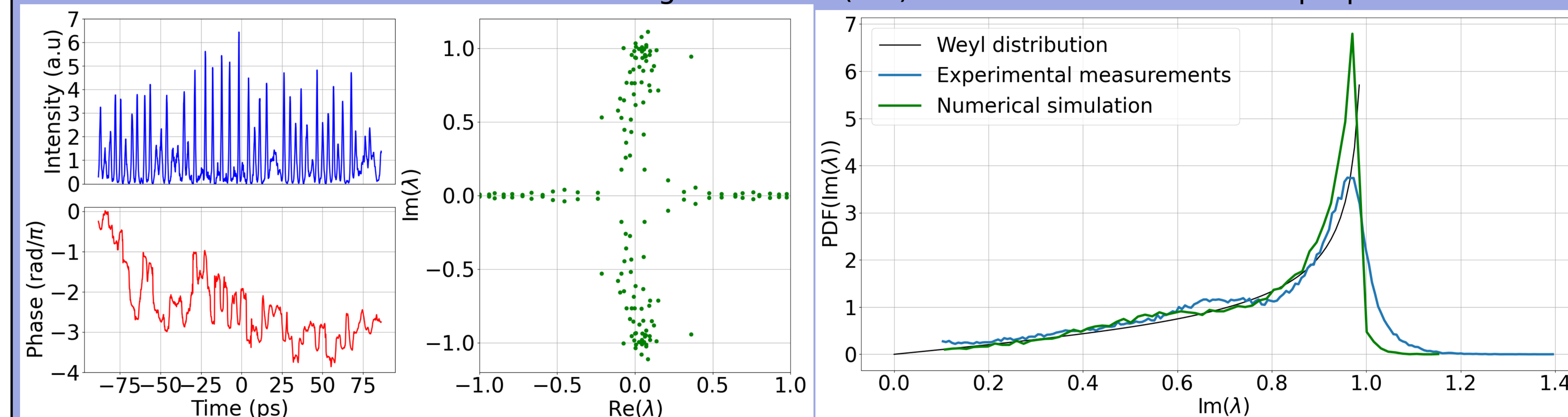
Lorsque l'on fait tendre L vers l'infini, on passe alors de la quantification de Bohr-Sommerfeld à une distribution de Weyl.

$$P(\text{Im}(\lambda)) = \text{Im}(\lambda) / \sqrt{1 - \text{Im}(\lambda)^2}$$

Il a été récemment montré que considérer cette distribution de probabilité particulière pour les parties imaginaires des λ permet de très bien modéliser l'instabilité modulationnelle à temps longs[2].

RESULTAT EXPERIMENTAUX

La mesure du champ complexe (phase et intensité) nous permet d'appliquer la méthode de l'Inverse Scattering Transform (IST) et de calculer les valeurs propres



Fonction de densité de probabilité des valeurs propres PDF(λ) sur l'ensemble du demi-plan supérieur complexe. a) pour des simulations de NLSE, b) pour des simulations de NLSE avec les pertes de la fibre optique et des termes d'ordres supérieurs (notamment l'effet Raman) et c) pour les mesures expérimental

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La mesure du champ complexe permet d'appliquer la méthode de l'IST et de calculer le spectre discret associé au champ électrique.

La distribution des valeurs propres mesurées concorde qualitativement à la distribution théorique.

Qualitativement, des simulations numériques prenant en compte des effets présents dans la fibre optique (pertes, effet Raman), explique les différences entre la distribution théorique et les mesures. Une étude plus approfondie de ces effets reste à produire (calibration précise des paramètres de la fibre,...).

Références :

1. Shabat, A., and V. Zakharov, Soviet physics JETP 34.1 (1972): 62.
2. Gelash, A., et al. Physical review letters 123.23 (2019): 234102.
3. Tikan, A., et al. Nature Photonics 12.4 (2018): 228-234.
4. Lebel, A et al. Optics Letters 46.2 (2021): 298-301.