



HAL
open science

La tache d’Arago temporelle en optique fibrée non-linéaire

Anastasiia Sheveleva, Hervé Rigneault, Christophe Finot

► **To cite this version:**

Anastasiia Sheveleva, Hervé Rigneault, Christophe Finot. La tache d’Arago temporelle en optique fibrée non-linéaire. COLOQ (CONFérence sur les Lasers et l’Optique Quantique), Optique Dijon 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03247327

HAL Id: hal-03247327

<https://hal.science/hal-03247327v1>

Submitted on 22 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Anastasiia Sheveleva¹, Hervé Rigneault² et Christophe Finot¹

¹. Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS-Université de Bourgogne Franche-Comté, 9 avenue. Alain Savary, Dijon
². Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel UMR 7249, 13397 Marseille

christophe.finot@u-bourgogne.fr

PREMIER MÉMOIRE SUR LA DIFFRACTION. 9
 N° II.
 PREMIER MÉMOIRE
 sur
 LA DIFFRACTION DE LA LUMIÈRE,
 où l'on examine mathématiquement
 la formation des franges colorées qui se voient sur un corps
 qui occupe l'espace par un point lumineux.
 1. Avant d'entrer dans le détail de mes expériences sur la diffraction
 et des conséquences que j'en ai tirées, j'exposerai sommairement les
 principales objections que je me suis faites sur la théorie newtonienne.
 Newton avait écrit en substance sur les multiples fontaines :

INTRODUCTION

Les débats sur la nature corpusculaire ou ondulatoire de la lumière ont été parmi les plus passionnants. Une expérience restée dans l'histoire de ces échanges est l'expérience de la tache d'Arago ou de Poisson qui permit de conforter les fondements mathématiques d'Augustin Fresnel prédisant l'apparition peu intuitive d'un point brillant au centre de l'ombre d'un objet circulaire. Depuis, la théorie ondulatoire de Fresnel a été largement acceptée pour décrire l'évolution spatiale de la lumière. Ses résultats sont également utiles pour mieux cerner l'évolution temporelle d'une impulsion ultra-brève. En effet, la dispersion et la diffraction par un objet unidimensionnel répondent au même formalisme mathématique si bien qu'une analogie puissante entre les propagations temporelles et spatiales d'une onde ont pu être établies. Dès lors, des analogues temporels aux systèmes optiques traditionnels ont pu être proposés et exploités, ouvrant tout un éventail de nouvelles possibilités pour la photonique ultra-rapide.

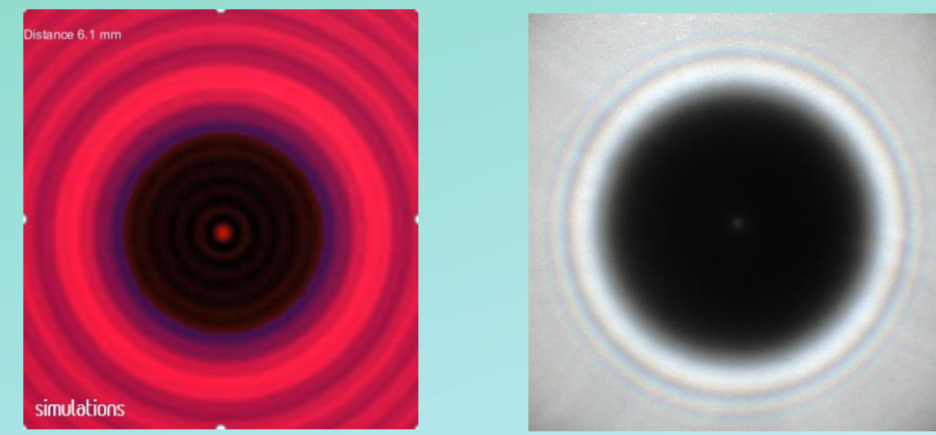
Nous poursuivons ici l'extension de cette analogie temps/espace en revisitant le problème de la tache d'Arago dans le domaine temporel : une lumière continue est ici stoppée pendant une courte durée. En complément de cette modulation d'intensité, nous étudions également le cas où la lumière subit un changement abrupt de sa phase temporelle pendant une durée très brève.



PRINCIPE ET MODELE

LA TACHE D'ARAGO

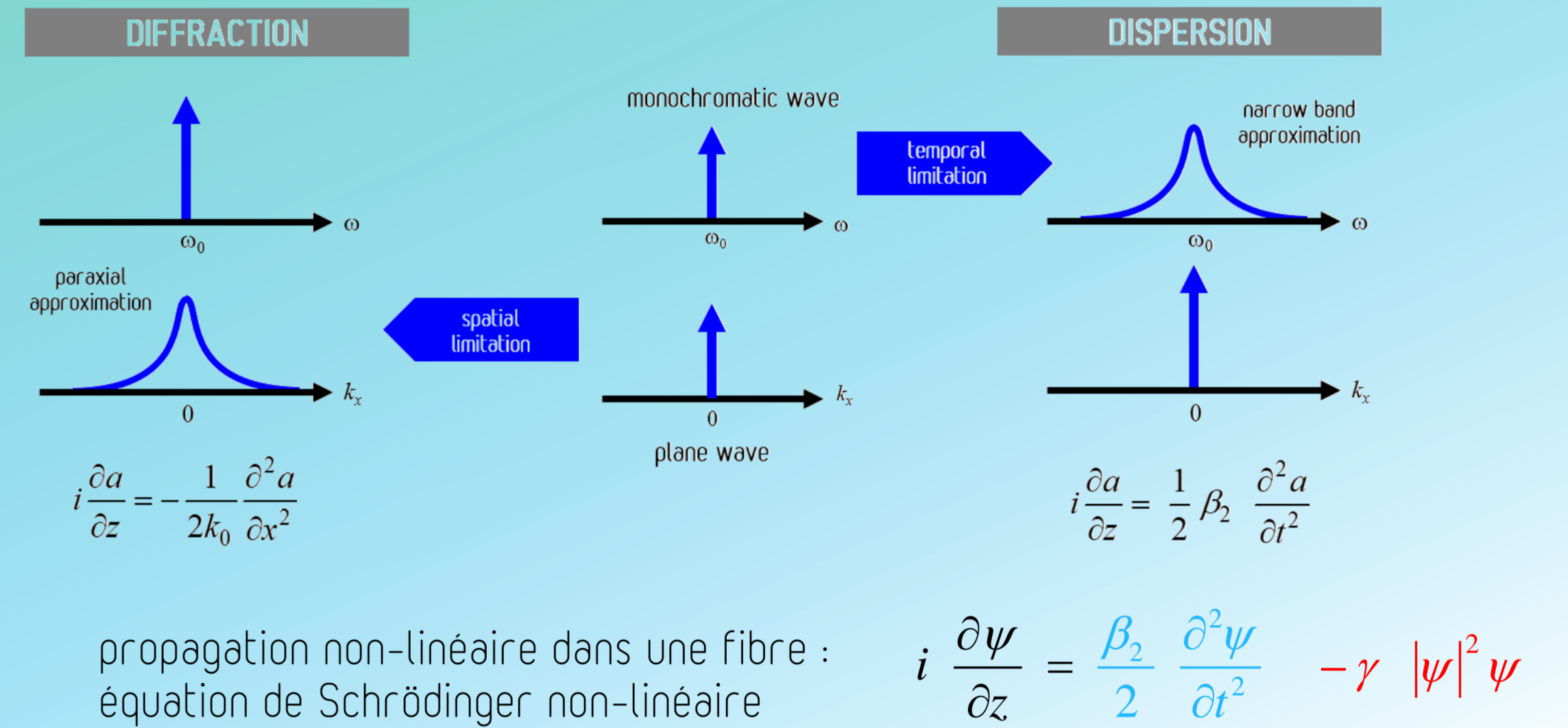
En 2D, la symétrie circulaire entraîne un point lumineux brillant au centre de l'ombre d'un objet circulaire occultant.



A 1D, l'interférence constructive entre les 2 bords d'écran conduit à une tache centrale.



DUALITE TEMPS / ESPACE ET PROPAGATION NON-LINEAIRE

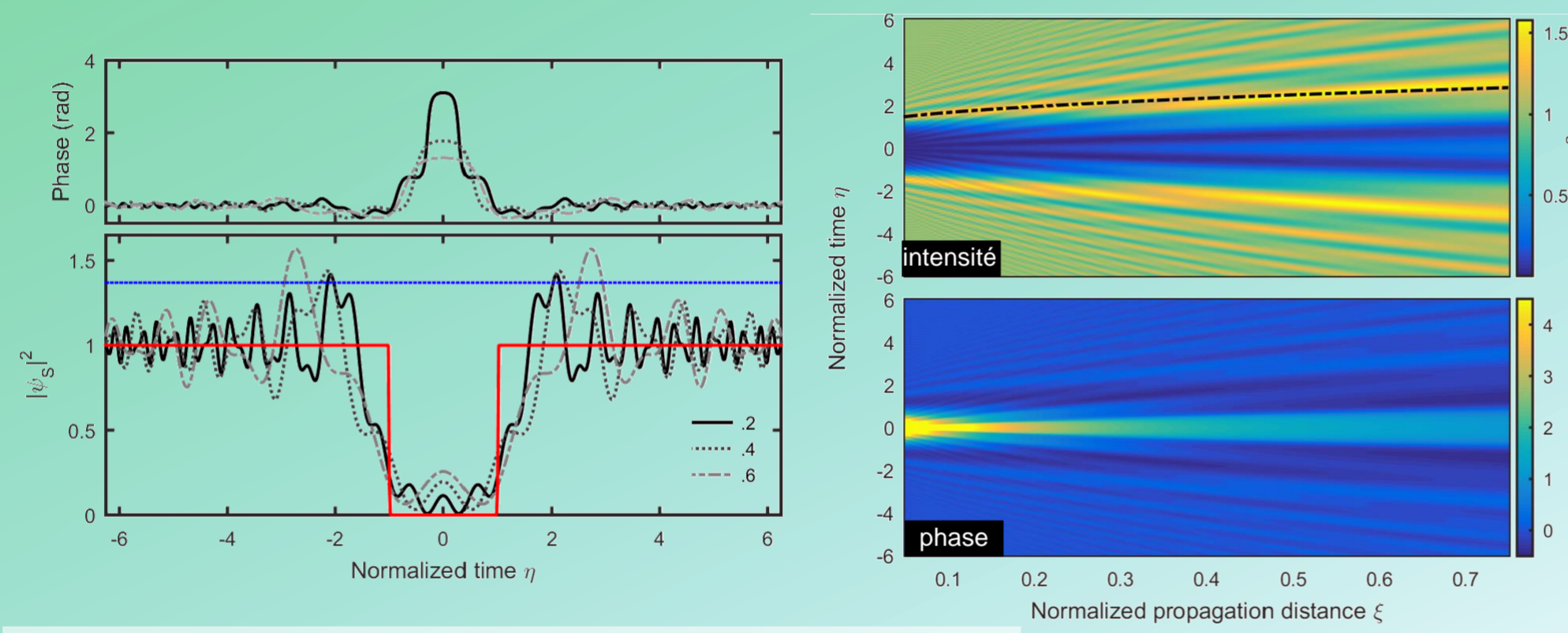


propagation non-linéaire dans une fibre :
 équation de Schrödinger non-linéaire $i \frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - \gamma |\psi|^2 \psi$

EVOLUTION PAR UNE MODIFICATION DU PROFIL D'INTENSITE

PROPAGATION TEMPORELLE DISPERSIVE

Une surmodulation apparaît au centre.
 La phase est également affectée.



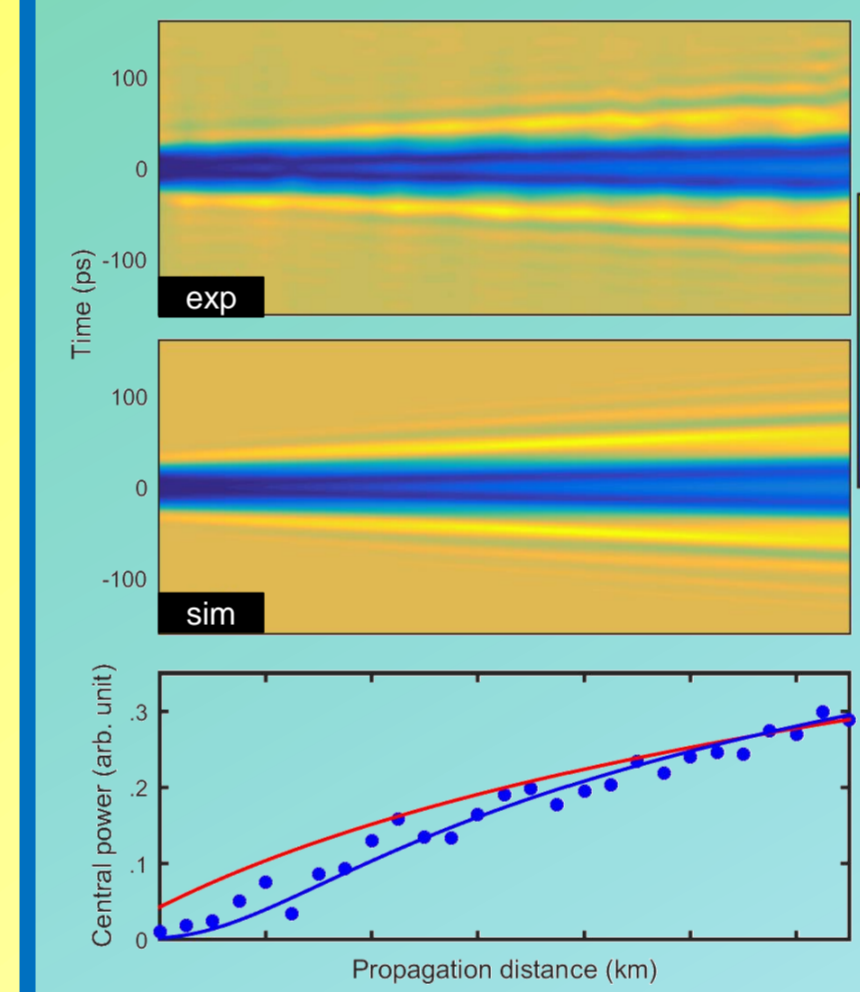
Une formulation exacte à partir des intégrales de Fresnel :

$$\psi_s(\eta, \xi) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\left(1 + C \left(\frac{\eta-1}{\sqrt{\pi} \xi} \right) + C \left(\frac{-\eta-1}{\sqrt{\pi} \xi} \right) \right) + i \left(1 + S \left(\frac{\eta-1}{\sqrt{\pi} \xi} \right) + S \left(\frac{-\eta-1}{\sqrt{\pi} \xi} \right) \right) \right]$$

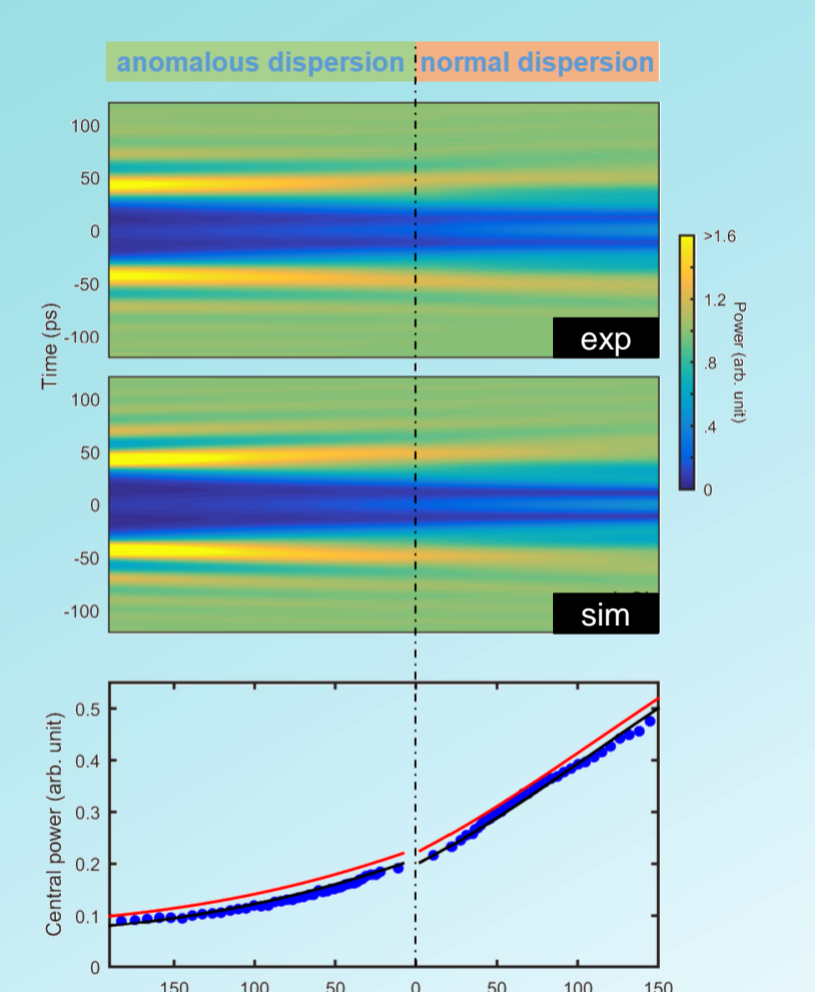
$$|a_{s,0}(z)|^2 = 2 a_0^2 \left[C \left(\frac{T_0}{\sqrt{\pi} |\beta_2| z} \right) - 0.5 \right]^2 + \left[S \left(\frac{T_0}{\sqrt{\pi} |\beta_2| z} \right) - 0.5 \right]^2$$

RESULTATS EXPERIMENTAUX

PROPAGATION DISPERSIVE



PROPAGATION NON-LINEAIRE



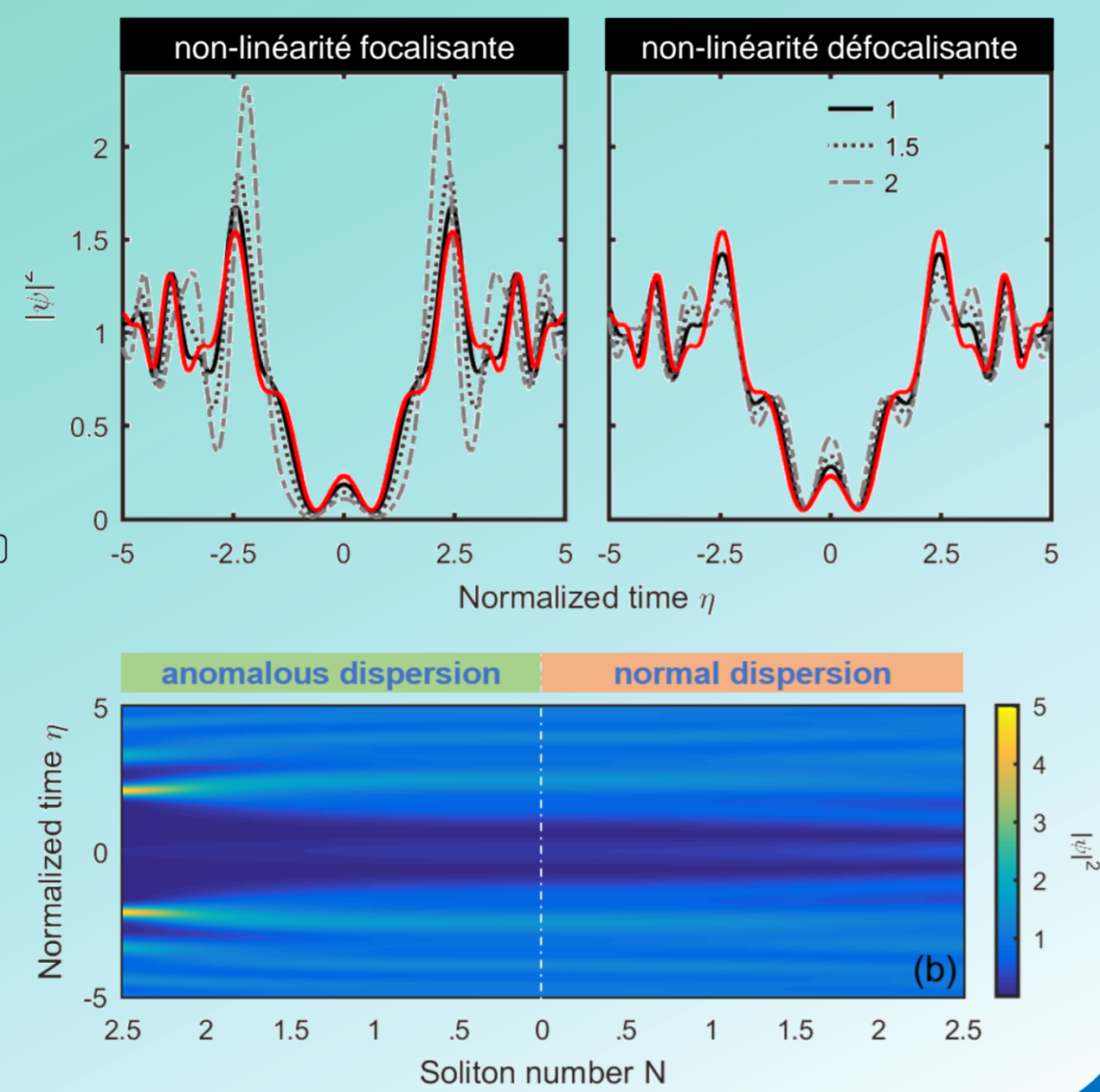
Excellent accord entre simulations et expériences.

PROPAGATION TEMPORELLE NON-LINEAIRE

Le régime de propagation influe sur l'évolution de la tache centrale.

Une non-linéarité focalisante (dispersion anormale) entraîne une chute du niveau de la tache alors que les flancs ont une surmodulation exacerbée.

La non-linéarité défocalisante accentue la tache centrale.



EVOLUTION PAR UNE MODIFICATION DU PROFIL DE PHASE

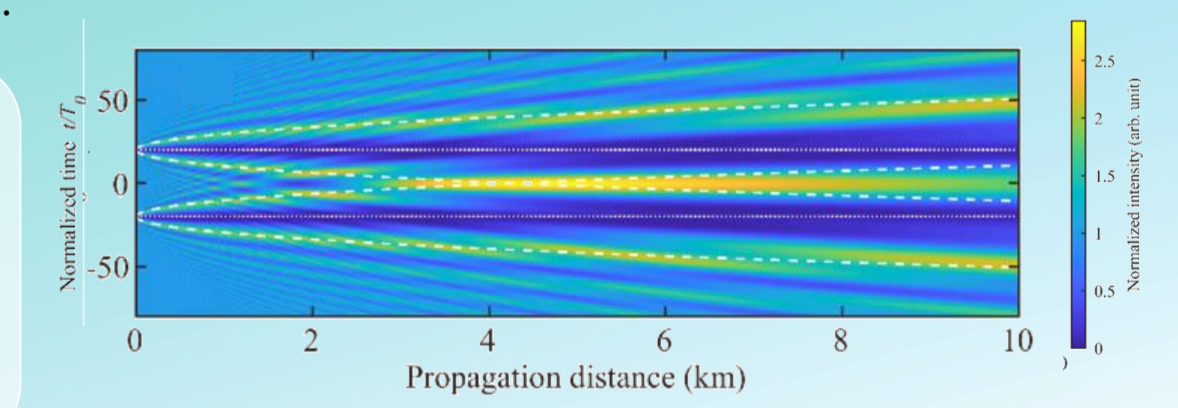
PROPAGATION TEMPORELLE DISPERSIVE

Une solution analytique existe. Le problème est plus riche.

$$|a(t, z)|^2 = 1 + [C_f(u_1) - C_f(u_2)] \{ [C_f(u_1) - C_f(u_2)] (1 - \cos \Delta\phi) - 1 + \cos \Delta\phi - \sin \Delta\phi \}$$

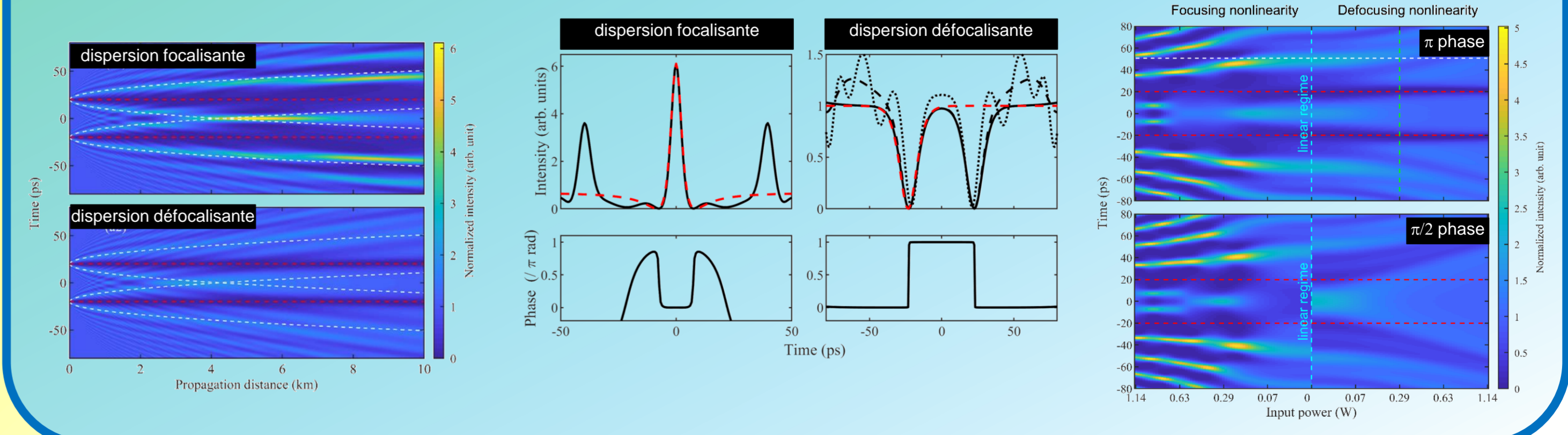
$$+ [S_f(u_1) - S_f(u_2)] \{ [S_f(u_1) - S_f(u_2)] (1 - \cos \Delta\phi) - 1 + \cos \Delta\phi + \sin \Delta\phi \}$$

$$u_1(t) = \text{sgn}(\beta_2) (t - T_0/2) / \sqrt{\pi |\beta_2| z} \quad u_2(t) = \text{sgn}(\beta_2) (t + T_0/2) / \sqrt{\pi |\beta_2| z}$$

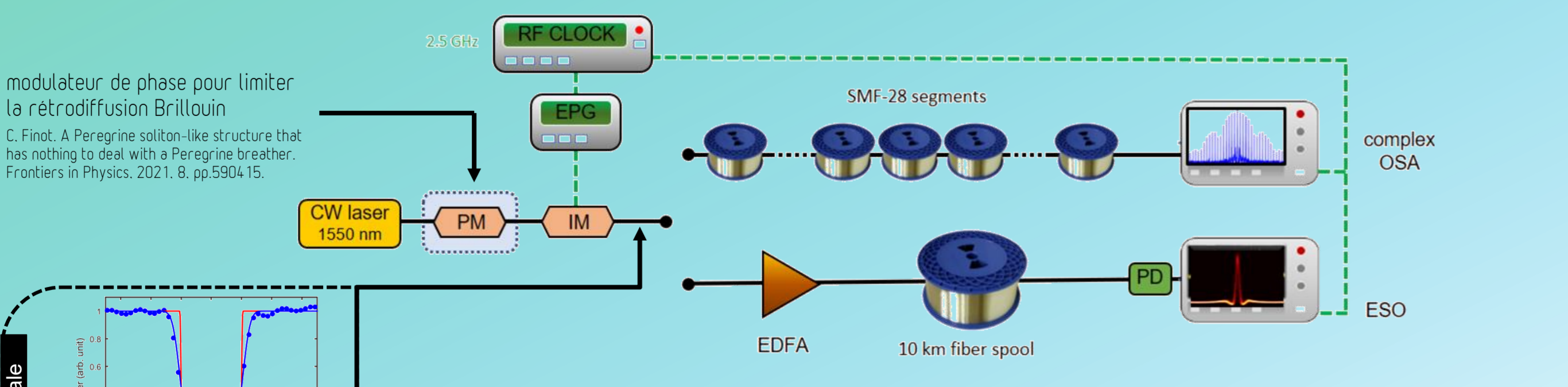


PROPAGATION TEMPORELLE NON-LINEAIRE

Des structures cohérentes non-linéaires typiques comme le soliton noir, gris ou bien un soliton de Peregrine émergent à partir du saut de phase initial.
 Une analyse plus théorique reste ouverte.
 La profondeur du saut de phase influe la dynamique.



MONTAGE EXPERIMENTAL



Le dispositif expérimental est totalement fibré et basé sur des dispositifs télécom.
 Le signal de sortie est analysé en intensité et phase.
 En régime linéaire, la propagation longitudinale est étudiée en associant des fibres de différentes longueurs.

REFERENCES DE CE TRAVAIL

C. Finot and H. Rigneault, "Arago spot formation in the time domain," J. Opt 21, 105504 (2019).
 A. Sheveleva and C. Finot, "Temporal Fresnel diffraction induced by phase jumps in linear and nonlinear optical fibres," Results in Physics 19, 103344 (2020).

