

# PHÉNOMÈNES NONLINÉAIRES DANS LES FIBRES OPTIQUES

Corentin Naveau

# PARCOURS SCIENTIFIQUE ET PROFESSIONNEL

# Formations et parcours professionnel

- CPGE PCSI/PC\*, lycée Clemenceau, Nantes
- Diplôme d'ingénieur spécialité physique-nanosciences, Grenoble INP Phelma  
↳ Troisième année en Erasmus à l'Imperial College London
- Doctorat de physique, laboratoire PhLAM, Université de Lille  
↳ *Instabilité de modulation et récurrences de Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou dans les fibres optiques*  
Thèse démarrée le 01/10/2016 et soutenue le 11/10/2019
- Postdoctorat, Chalmers, Suède  
↳ *Phase-sensitive optical amplifiers and their applications*
- Master Formation à l'Enseignement, Agrégation de physique et Développement Professionnel, ENS de Lyon

# Enseignement et autres activités

- 124h de TD/TP à l'IMT Lille-Douai:
  - Optique géométrique (L1)
  - Electrocinétique & Mathématiques pour la physique (L1)
  - Systèmes oscillants (L1)
  - Electrostatique & Magnétostatique

# Enseignement et autres activités

- 124h de TD/TP à l'IMT Lille-Douai:
  - Optique géométrique (L1)
  - Electrocinétique & Mathématiques pour la physique (L1)
  - Systèmes oscillants (L1)
  - Electrostatique & Magnétostatique (L2)
- Vice-président puis président de l'University of Lille OSA Student Chapter
  - Participation à des manifestations scientifiques
  - Organisation de visites de laboratoires et entreprises



## Domaine de spécialisation: laser, fibre optique et optique nonlinéaire

- Découverte de la physique des lasers en 2<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieur puis spécialisation lors de la 3<sup>ème</sup> année à Londres (lasers, optique nonlinéaire etc...)

# Domaine de spécialisation: laser, fibre optique et optique nonlinéaire

- Découverte de la physique des lasers en 2<sup>ème</sup> année d'école d'ingénieur puis spécialisation lors de la 3<sup>ème</sup> année à Londres (lasers, optique nonlinéaire etc...)

└─> Domaine qui prend de plus en plus d'importance dans les programmes. Extrait programme de CPGE PC:

<b>4. Introduction à la physique du laser</b>	
<b>4.1. Milieu amplificateur de lumière</b>	
Absorption, émission stimulée, émission spontanée.	Distinguer les propriétés d'un photon émis par émission spontanée ou stimulée.
Coefficients d'Einstein.	Associer l'émission spontanée à la durée de vie d'un niveau excité. Utiliser les coefficients d'Einstein dans le seul cas d'un système à deux niveaux non dégénérés.
Amplificateur d'ondes lumineuses.	Justifier la nécessité d'une inversion de population.
<b>4.2. Obtention d'un oscillateur</b>	
<b>Mise en œuvre électronique d'un oscillateur</b>	<b>Identifier l'étage d'amplification.</b>
<b>sur l'exemple de l'oscillateur à pont de Wien.</b>	Exprimer la condition de bouclage sur un filtre sélectif. <b>Mettre en évidence le rôle des non-linéarités.</b>
Milieu amplificateur à l'intérieur d'un résonateur optique : le laser.	Exprimer la condition d'oscillation.  Associer la puissance émise à la limitation du gain par une non-linéarité.

<b>4.3. Propriétés optiques d'un faisceau spatialement limité</b>	
<b>Approche descriptive :</b>	
Rôle de la diffraction dans l'ouverture angulaire du faisceau à grande distance.	Relier l'ouverture angulaire $\lambda/a$ et le rayon minimal $a$ .
Description simplifiée d'un faisceau de profil gaussien : longueur de Rayleigh $L_R$ .	Utiliser l'expression fournie du profil radial d'intensité en fonction de la distance axiale. Construire l'allure d'un faisceau de profil gaussien à partir de l'enveloppe d'un faisceau cylindrique de rayon $a$ et d'un faisceau conique centré sur l'orifice de sortie du laser, et de demi-ouverture angulaire $\lambda/a$ .
Utilisation d'une lentille pour transformer un faisceau cylindrique en faisceau conique et réciproquement	Exploiter la convergence angulaire du faisceau issue de l'optique géométrique, la loi du retour inverse, et le lien entre l'ouverture angulaire $\lambda/a$ et le rayon minimal $a$ pour obtenir la dimension et la position de la section minimale. Montrer que le rayon minimal est de l'ordre de $\lambda$ . Utiliser un élargisseur de faisceau pour réduire l'ouverture angulaire.

# Domaine de spécialisation: laser, fibre optique et optique nonlinéaire

- Doctorat et postdoctorat en optique nonlinéaire dans les fibres optiques

## Acquis:

- Compétences expérimentales: mise en place de bancs expérimentaux pour les fibres optiques, asservissement, traitement du signal etc...
- Compétences numériques: utilisation de Matlab pour simulation numérique + contrôle d'expérience
- Connaissances en optique et en physique des ondes



# INTÉGRATION NUMÉRIQUE DE L'EQUATION DE SCHRÖDINGER NONLINÉAIRE

## Liens avec le programme de PC

Enfin, lorsqu'il en aura l'opportunité, le professeur familiarisera l'étudiant à recourir à une approche numérique, qui permet une modélisation plus fine et plus réaliste du réel, par exemple par la prise en compte d'effets non linéaires. C'est l'occasion pour l'étudiant d'exploiter ses capacités concernant l'ingénierie numérique et la simulation qu'il a acquises en première année en informatique et sciences du numérique. Dans ce domaine des démarches collaboratives sont recommandées.

- identifier les principaux types de comportements ondulatoires associés aux domaines asymptotiques d'une relation de dispersion simple (propagation sans déformation, dispersion, absorption, atténuation) ;

# Principe

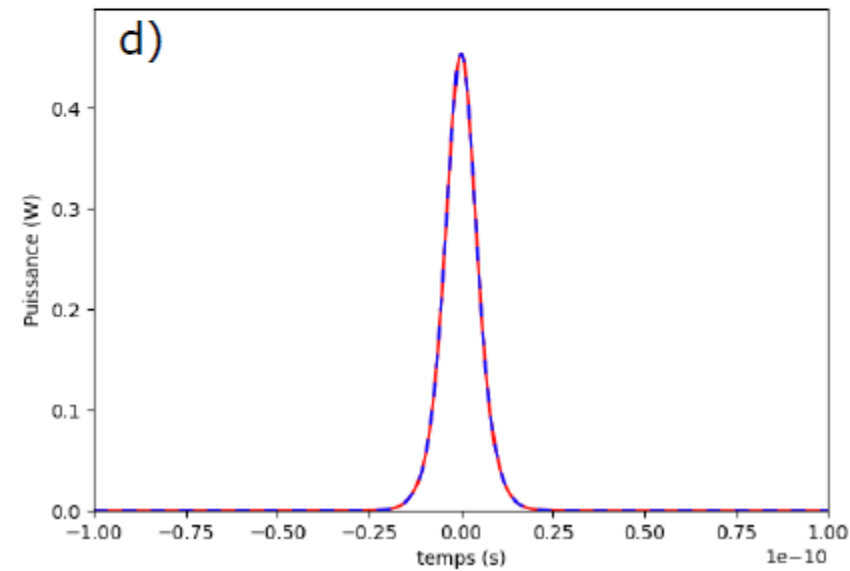
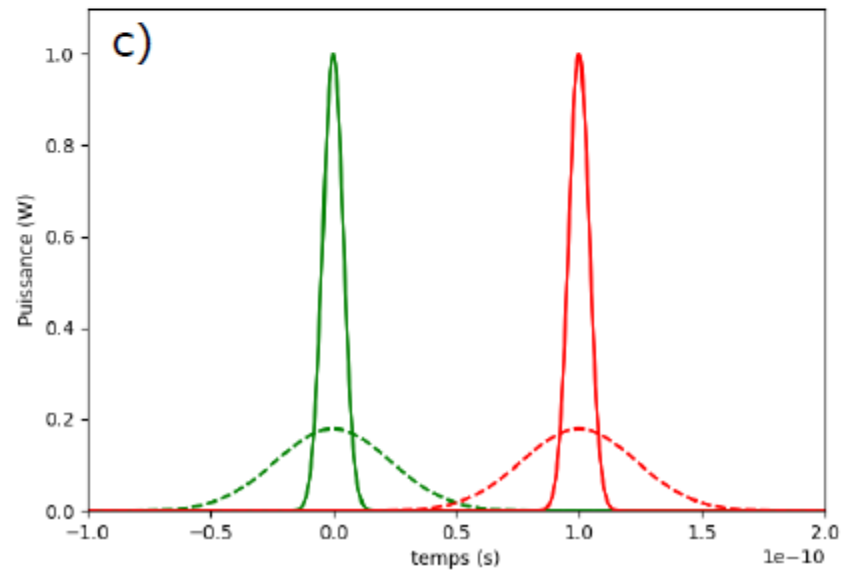
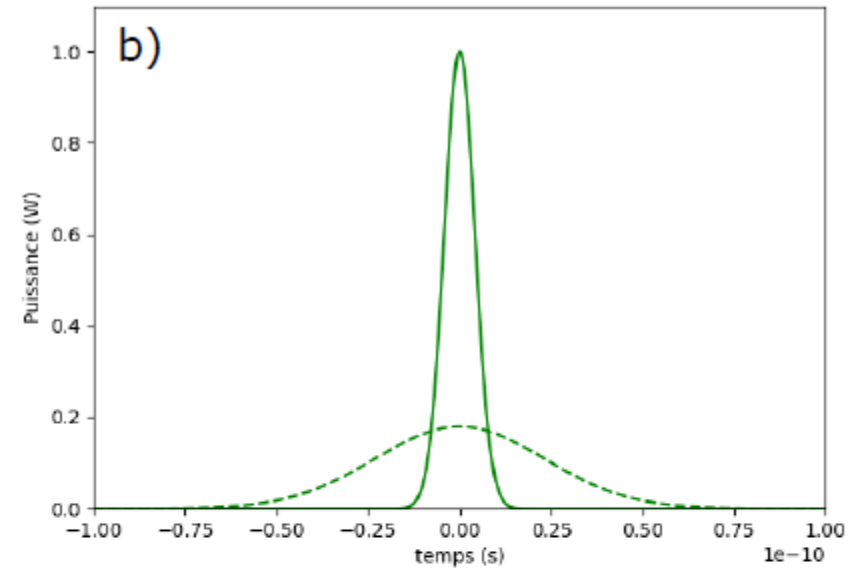
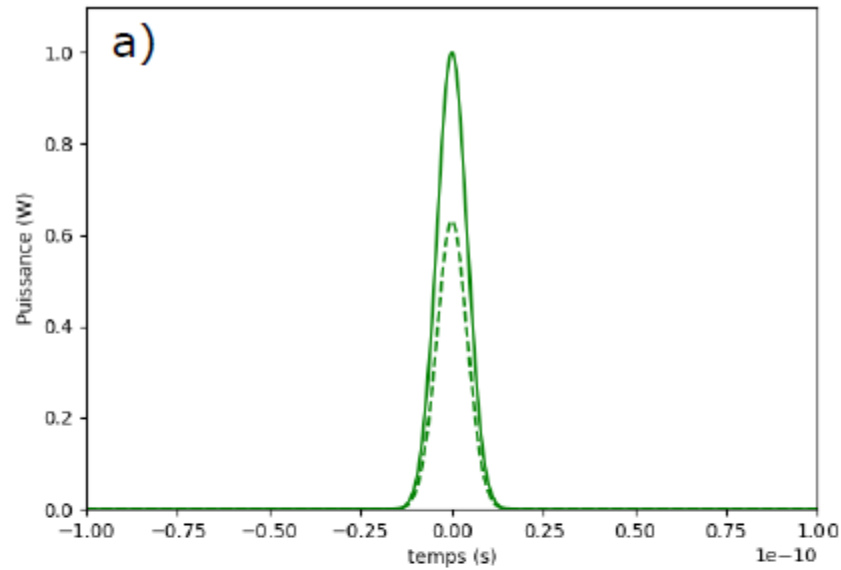
$$i \frac{\partial \Psi}{\partial Z} - \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial T^2} + \frac{\alpha}{2} \Psi + \gamma |\Psi|^2 \Psi = 0$$

Terme linéaire

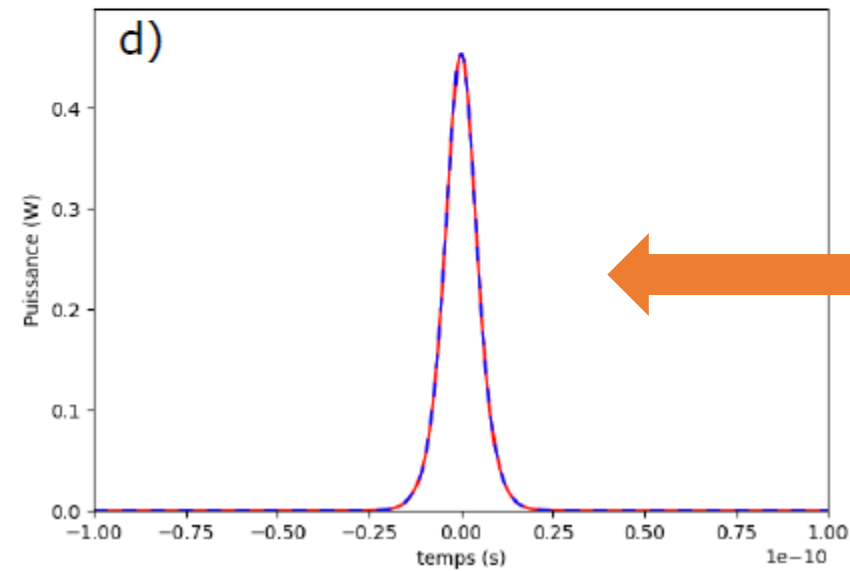
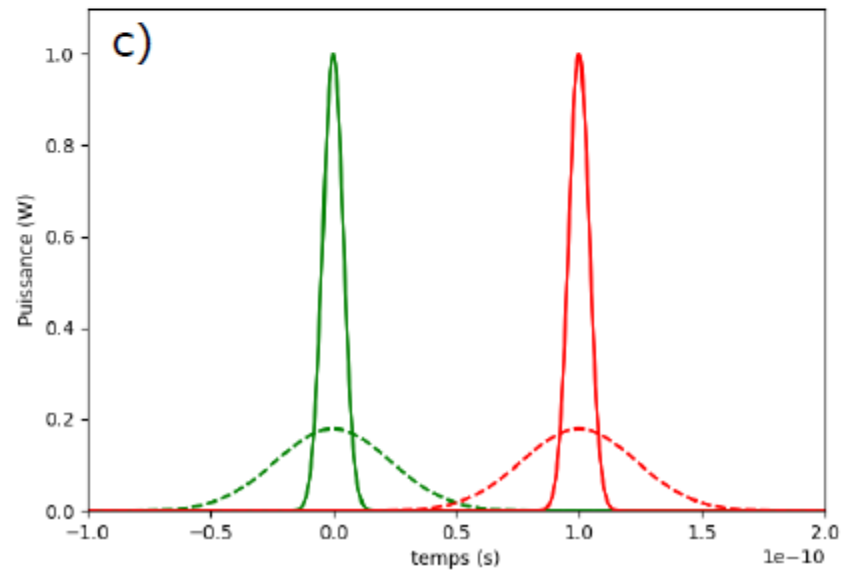
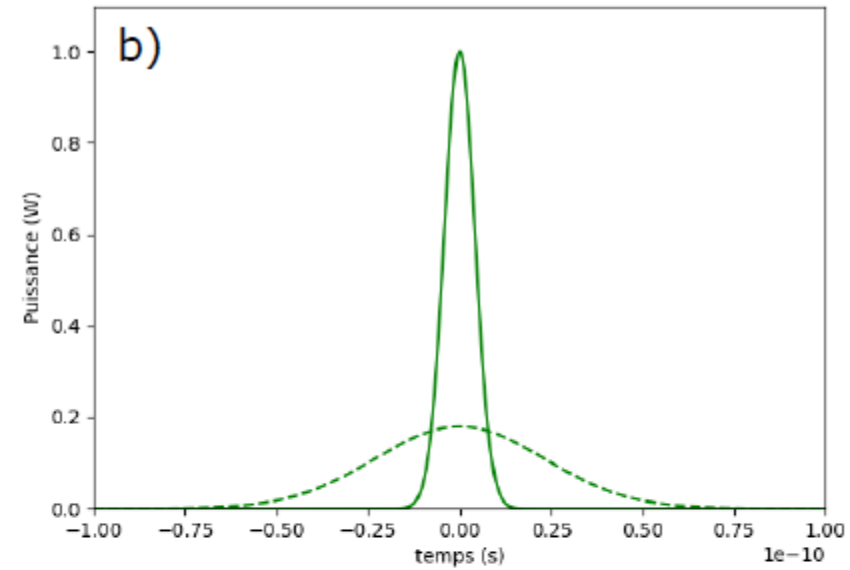
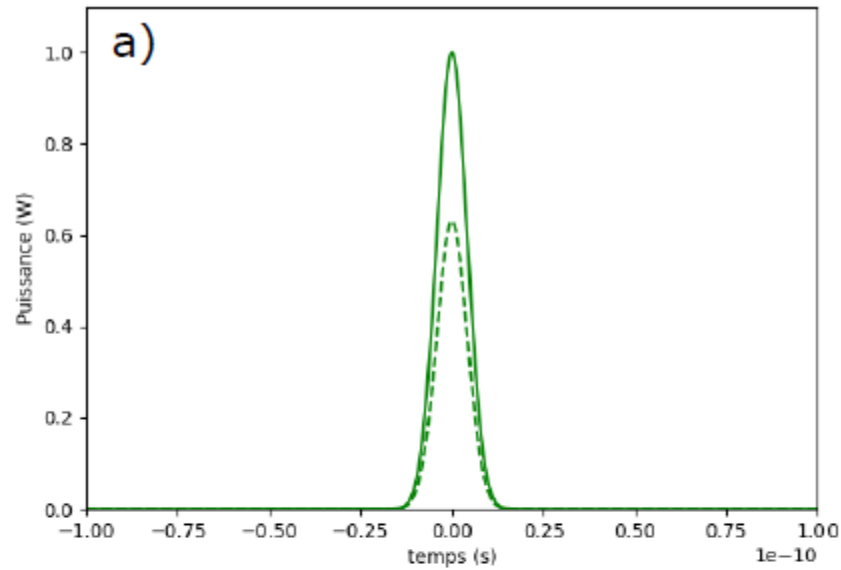
Terme nonlinéaire

Schéma d'intégration: utilisation de la méthode des « pas séparés »

# Activité pédagogique



# Activité pédagogique



Soliton  
optique

# MESURES DE PHÉNOMÈNES NONLINÉAIRES DANS LES FIBRES OPTIQUES

# Liens avec les programmes de physique de PCSI et PC

## Signaux, spectre et analyse de Fourier

Longueurs d'onde.	Étudier un spectre à l'aide d'un spectromètre à fibre optique.
Fréquence ou période : <ul style="list-style-type: none"><li>- Mesure directe au fréquencemètre numérique, à l'oscilloscope ou via une carte d'acquisition</li><li>- Mesure indirecte : par comparaison avec une fréquence connue voisine, en réalisant des battements.</li></ul>	Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage, et la durée totale d'acquisition.
Analyse spectrale.	Effectuer l'analyse spectrale d'un signal périodique à l'aide d'un oscilloscope numérique ou d'une carte d'acquisition.
Élaborer un signal électrique analogique : <ul style="list-style-type: none"><li>- périodique simple à l'aide d'un GBF</li><li>- modulé en amplitude à l'aide de deux GBF et d'un multiplieur</li></ul>	Obtenir un signal de valeur moyenne, de forme, d'amplitude et de fréquence données.
Fréquence ou période : <ul style="list-style-type: none"><li>• Mesure indirecte : par comparaison avec une fréquence connue voisine, en utilisant une détection</li></ul>	Réaliser une détection « synchrone » élémentaire à l'aide d'un multiplieur et d'un passe-bas simple adapté à la mesure.
Analyse spectrale.	<p>Mettre en évidence le phénomène de repliement du spectre provoqué par l'échantillonnage avec un oscilloscope numérique ou une carte d'acquisition.</p> <p>Choisir les paramètres d'une acquisition numérique destinée à une analyse spectrale afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, tout en optimisant la résolution spectrale.</p>

## Optique physique

c) Récepteurs. Intensité.	<p>Relier l'intensité à la moyenne temporelle du carré de la grandeur scalaire de l'optique.</p> <p>Citer le temps de réponse de l'œil. <b>Choisir un récepteur en fonction de son temps de réponse et de sa sensibilité fournis.</b></p>
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi$ .	<p>Etablir la formule de Fresnel.</p> <p>Citer la formule de Fresnel et justifier son utilisation par la cohérence des deux ondes.</p>

# L'optique nonlinéaire fibrée

Equation de Schrödinger nonlinéaire (ESNL)

$$i \frac{\partial \Psi}{\partial Z} - \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial T^2} + \gamma |\Psi|^2 \Psi = 0$$

Dispersion de vitesse de groupe

Effet Kerr

(auto-modulation de phase,  
mélange à quatre ondes etc...)

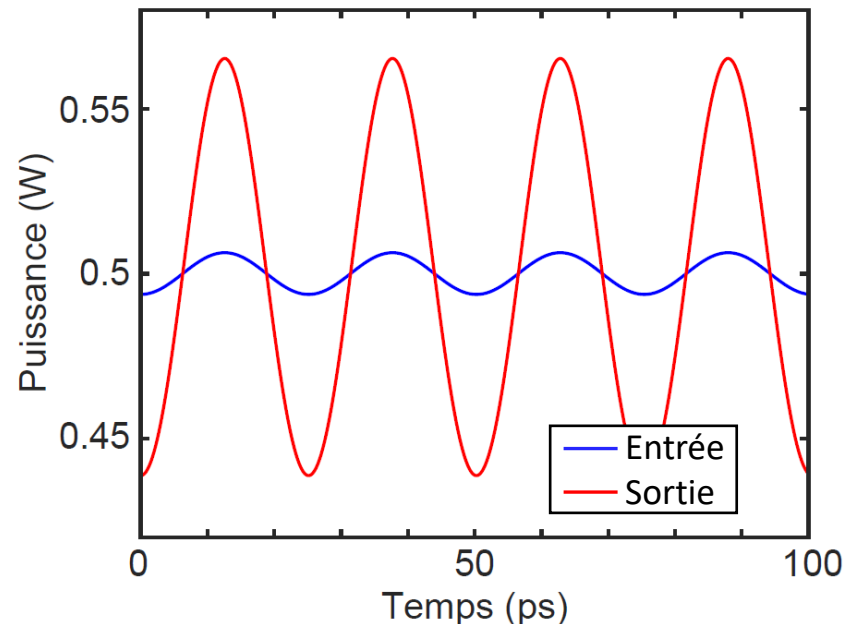


# Instabilité de modulation (MI) et récurrences FPUT dans les fibres optiques

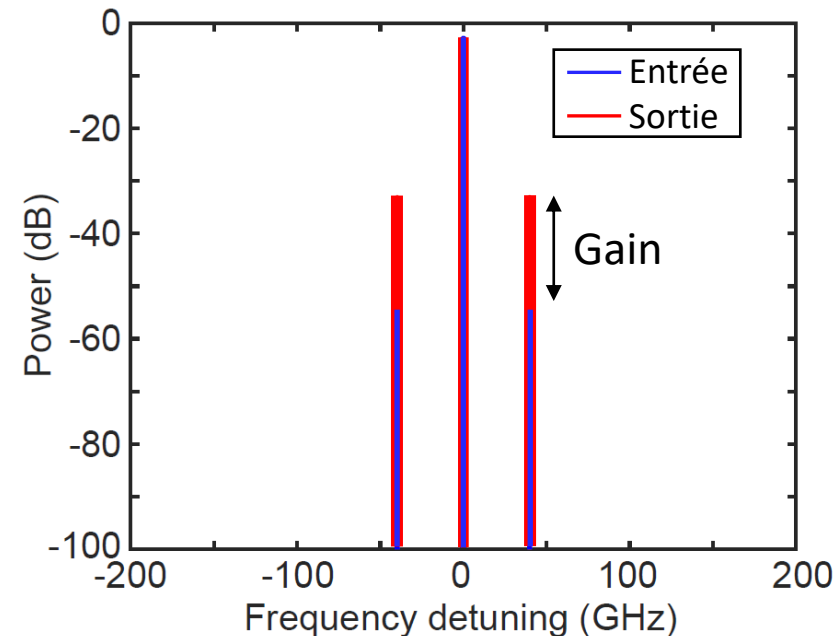
## Définition

Dans son étape linéaire, l'instabilité de modulation consiste en l'amplification d'une perturbation au détriment d'une onde de pompe

Domaine temporel



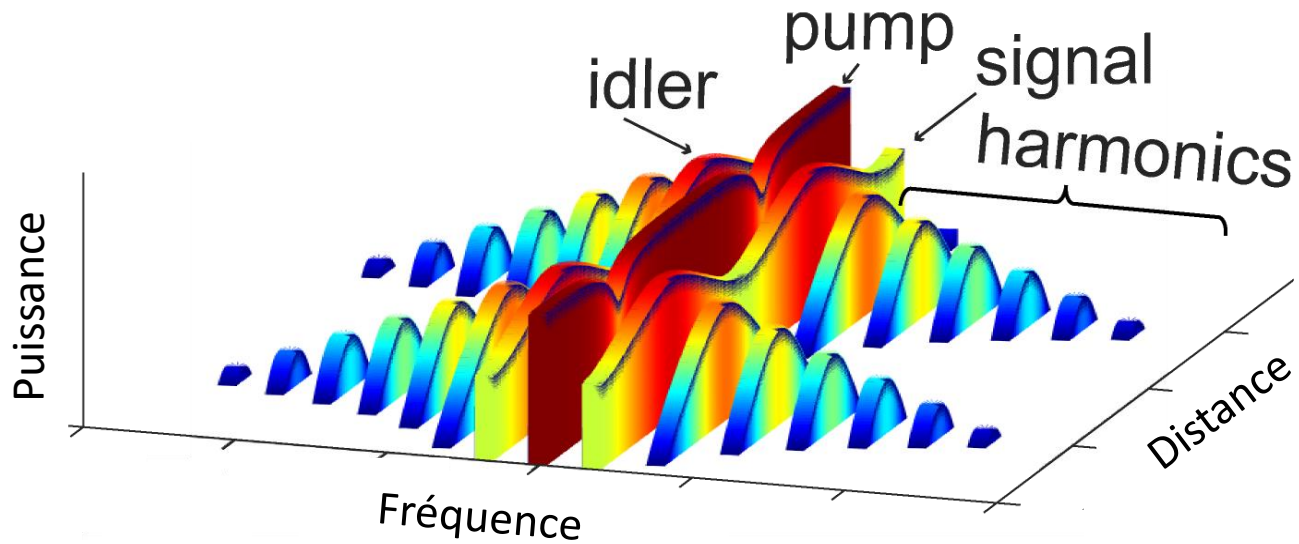
Domaine spectral



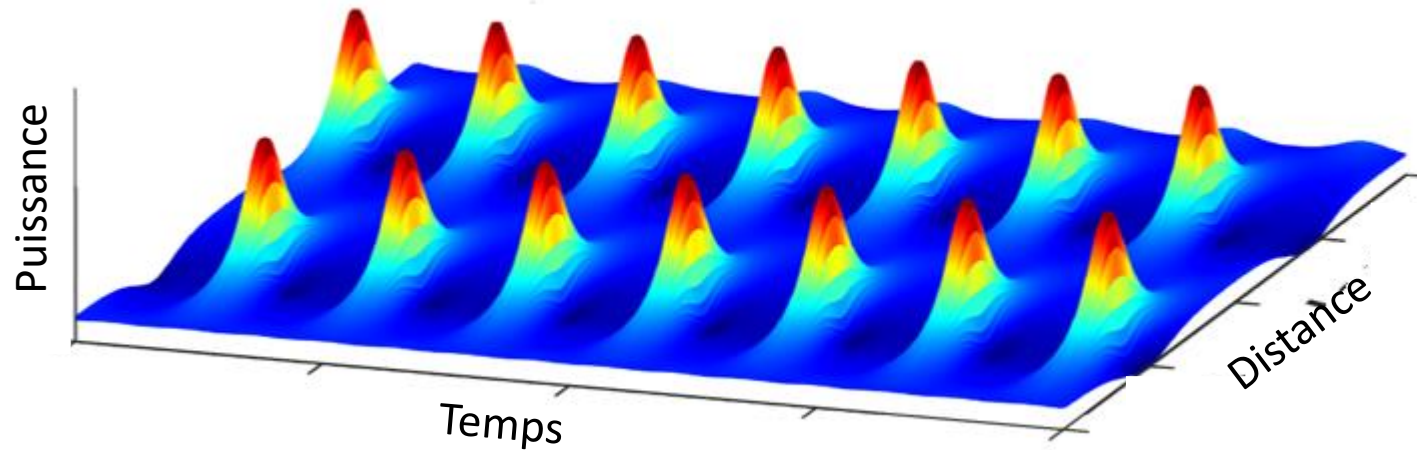
# MI et récurrences FPUT dans les fibres optiques

Simulation ESNL:

Domaine  
fréquentiel

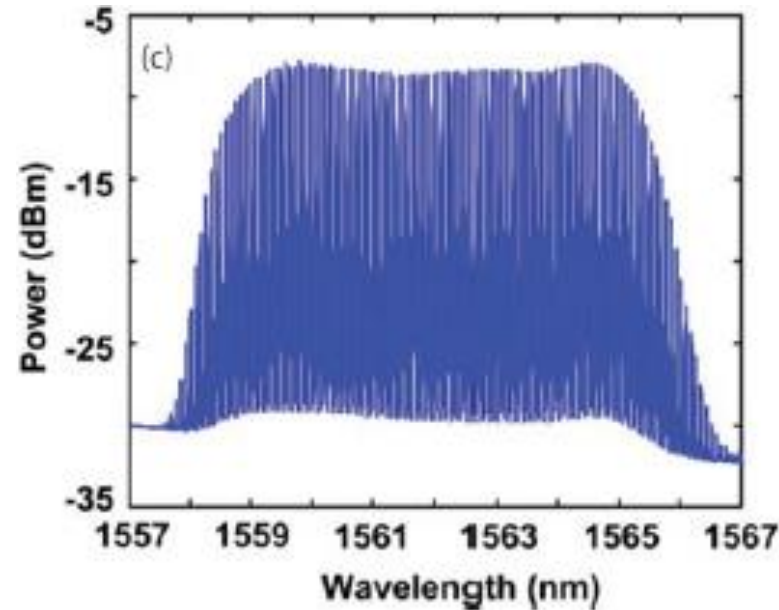


Domaine  
temporel



# Intérêt

- Génération de peigne de fréquence, utiles en spectroscopie et métrologie notamment

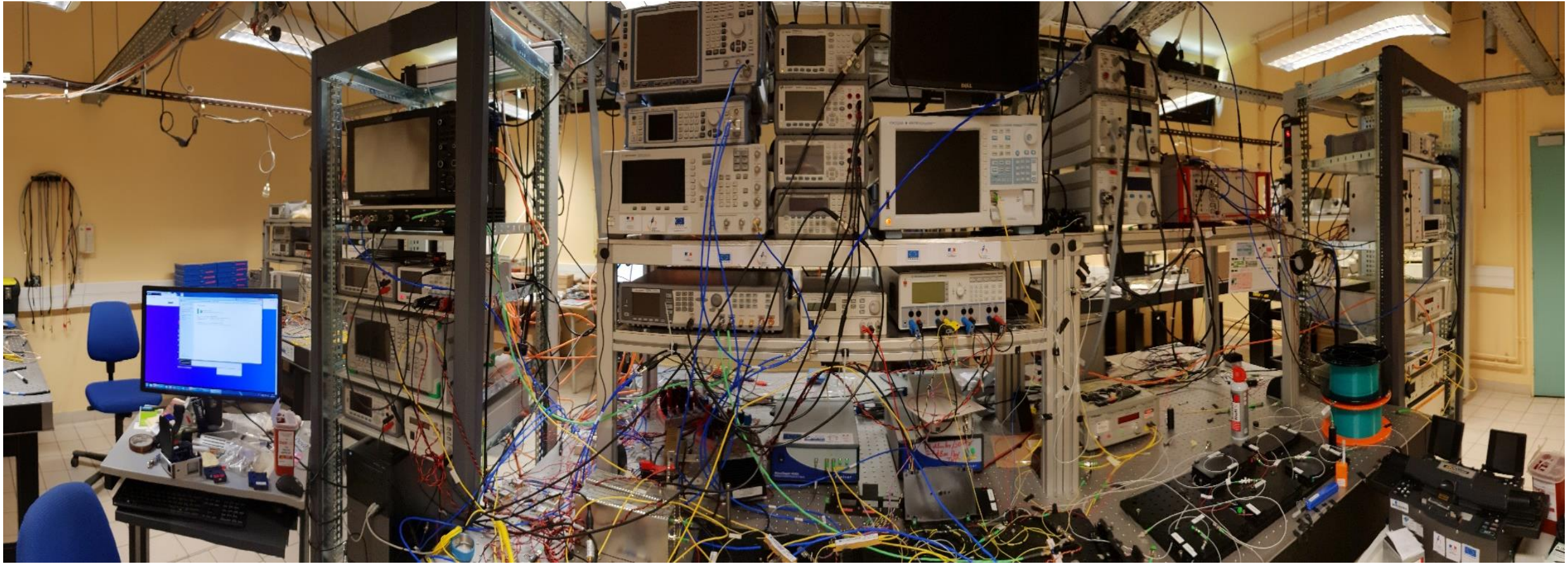


V. R. Supradeepa and A. M. Weiner,  
*Opt. Lett.* **37**(15), 3066–3068 (2012).

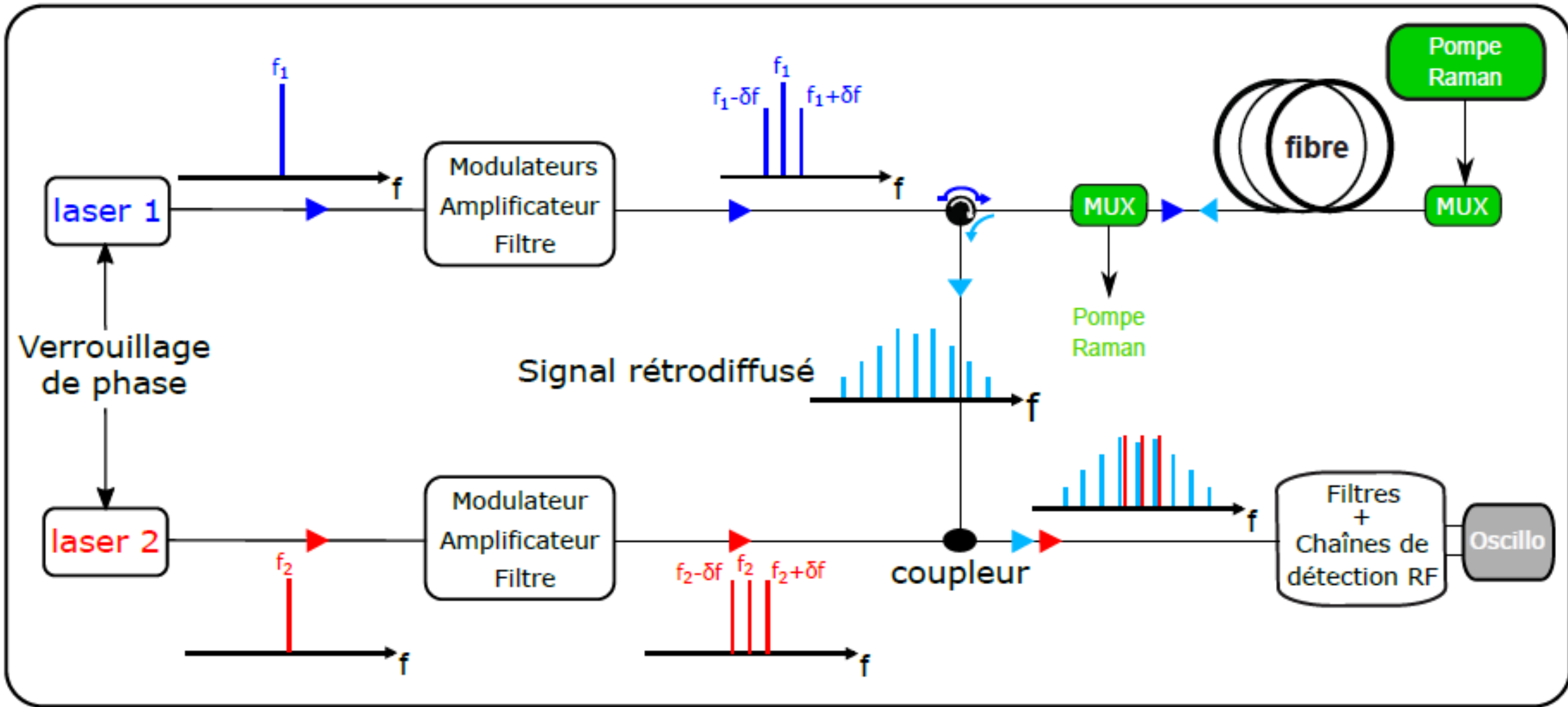
- Formation de vagues scélérates
- Rôle dans certaines phénomènes chaotiques



# Le montage expérimental

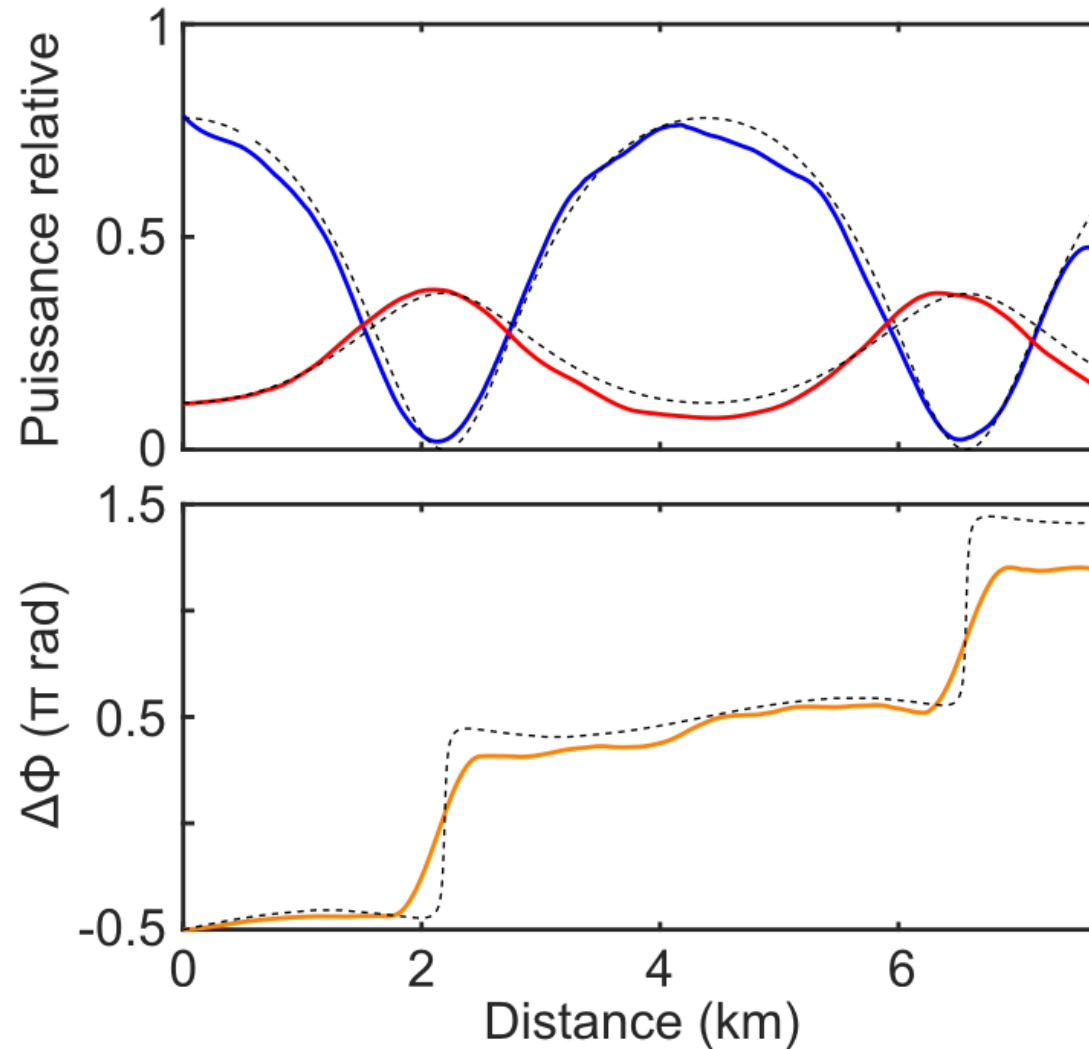
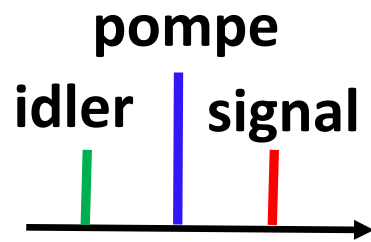


# Le montage expérimental



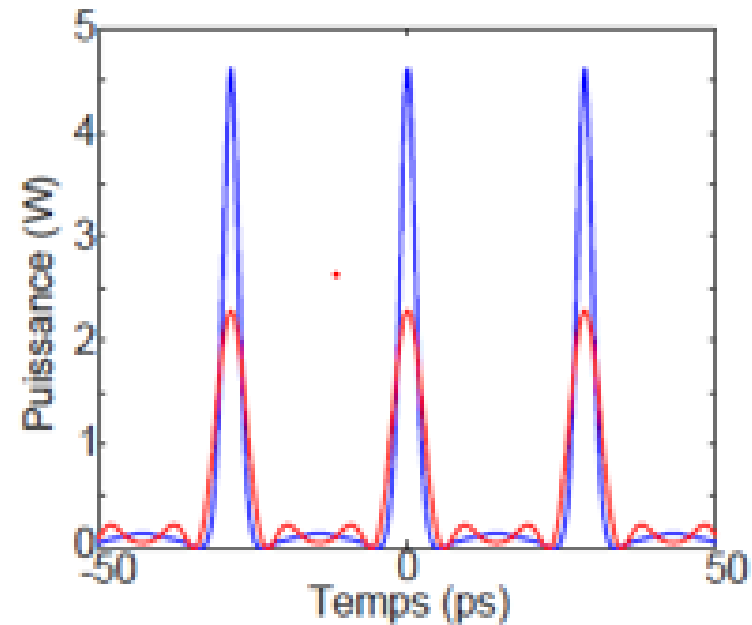
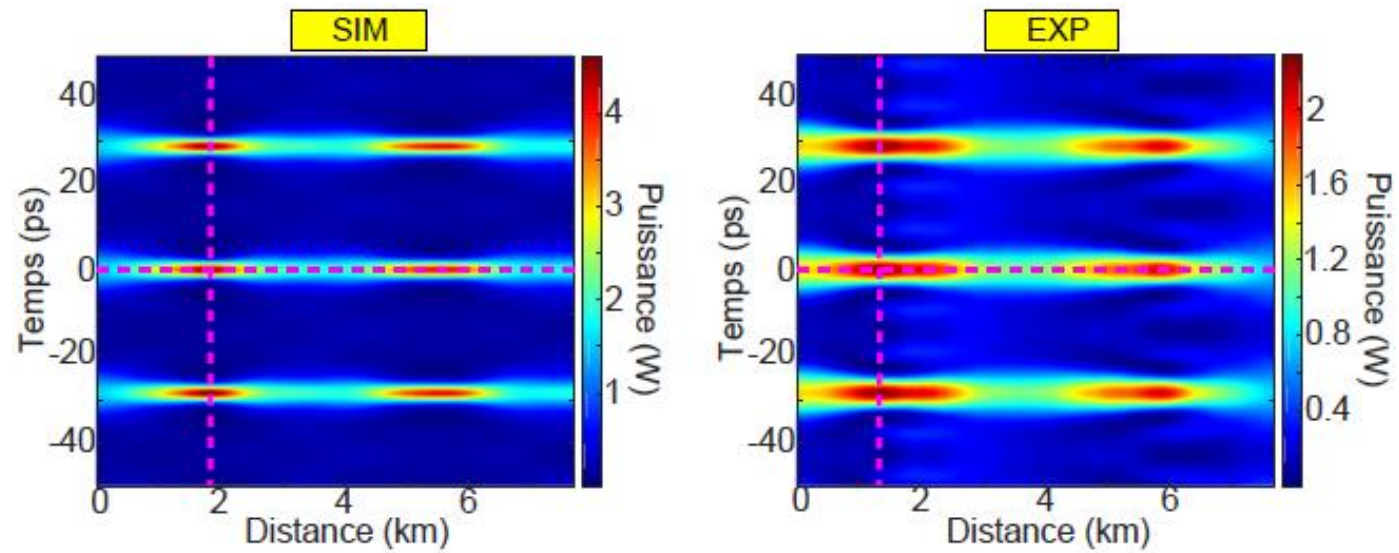
# Résultats

Observation de quasiment deux récurrences FPUT





# Résultats

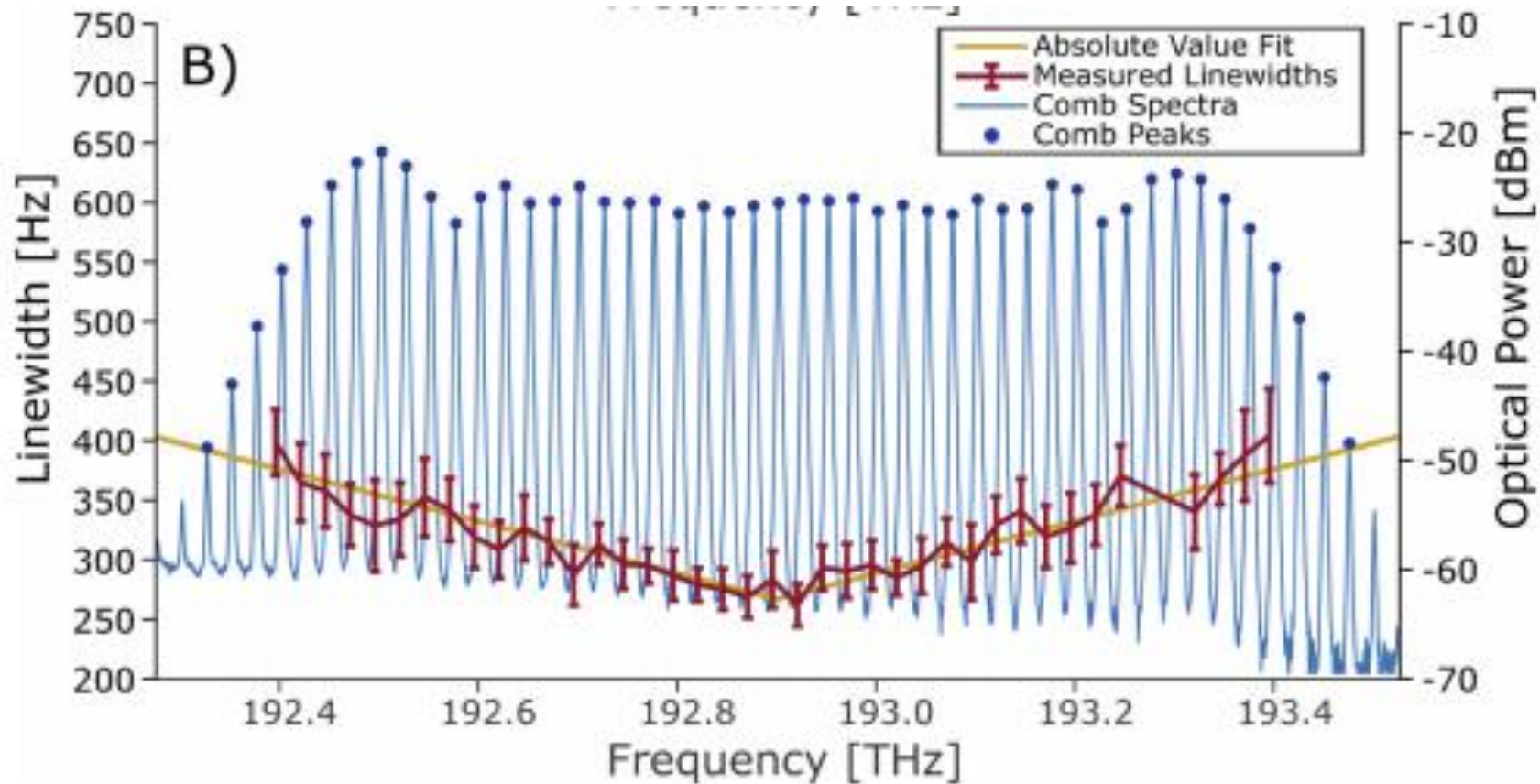


# CONCLUSION



# Travaux de postdoctorat

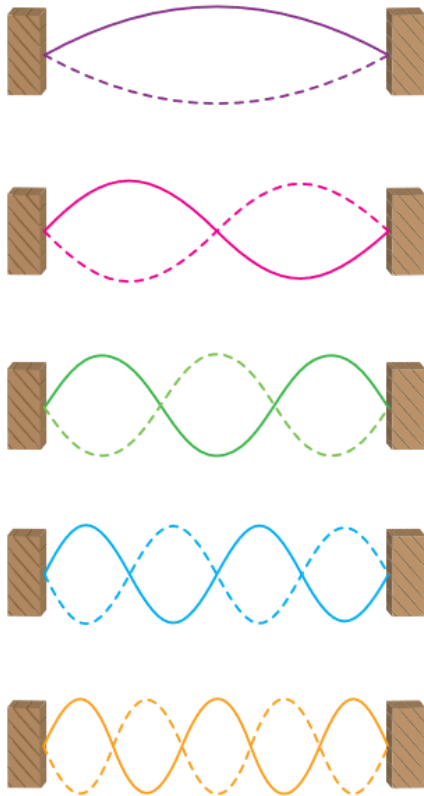
Création d'une source laser accordable et de très faible largeur spectrale



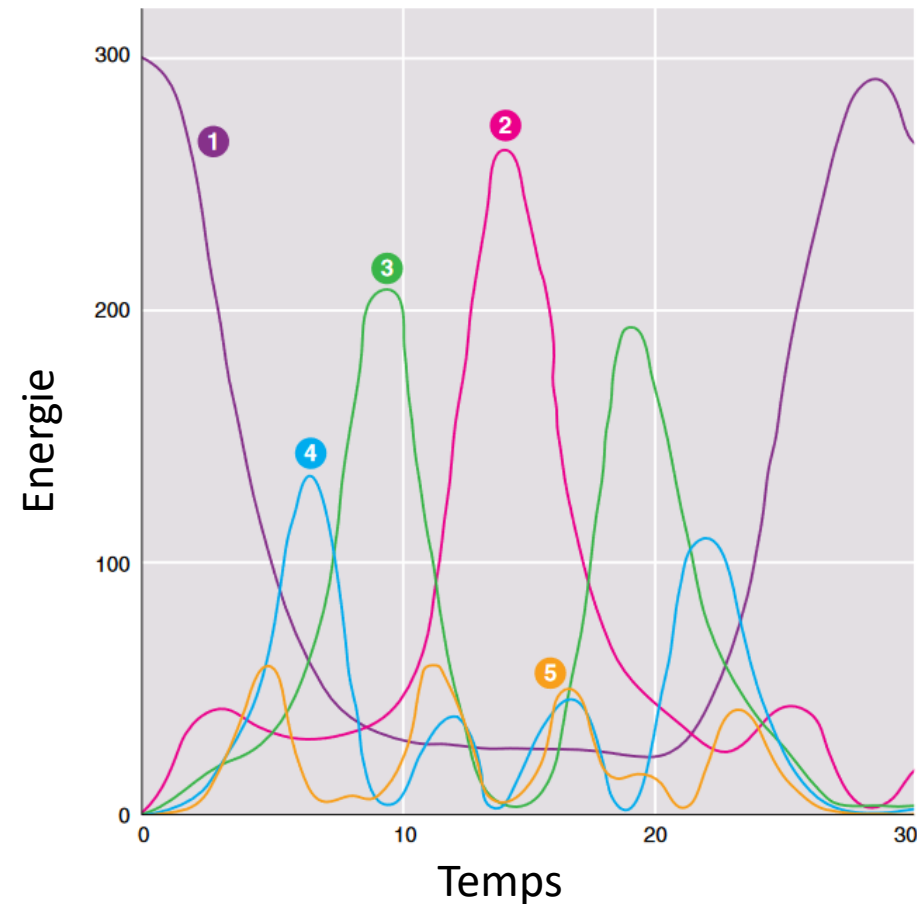
# Les récurrences de Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou (FPUT)

**Résultat :** Retour à l'état initial

Modes de vibrations



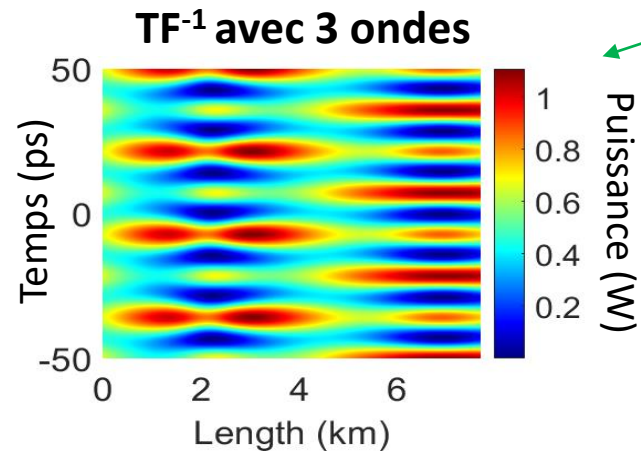
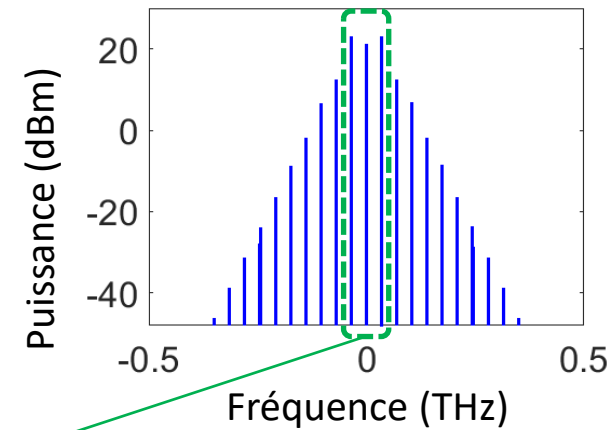
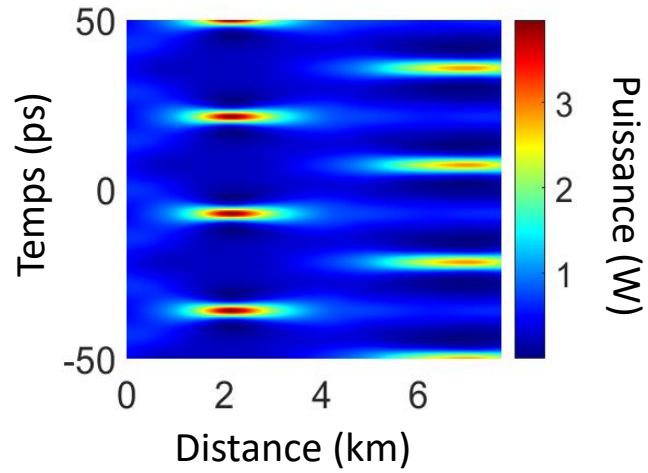
Evolution temporelle



# Reconstruction via le domaine fréquentiel

## Simulations numériques

Intensité + phase des composantes spectrales  $\xrightarrow{\text{TF}^{-1}}$  Champ complexe dans le domaine temporel



# Reconstruction via le domaine fréquentiel

## Simulations numériques

Intensité + phase des composantes spectrales  $\xrightarrow{\text{TF}^{-1}}$  Champ complexe dans le domaine temporel

