



HAL
open science

Émission de deux peignes de fréquences, synchrones, ou asynchrones, par un laser Yb:YAG

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Goulc'Hen Loas, Anthony Carré, Ludovic Frein, Steve Bouhier, Cyril Hamel, Marc Vallet, Marc Brunel

► **To cite this version:**

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Goulc'Hen Loas, Anthony Carré, Ludovic Frein, Steve Bouhier, et al.. Émission de deux peignes de fréquences, synchrones, ou asynchrones, par un laser Yb:YAG. OPTIQUE Normandie 2024, Jul 2024, ROUEN, France. . hal-04645549

HAL Id: hal-04645549

<https://hal.science/hal-04645549>

Submitted on 11 Jul 2024

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.

Émission de deux peignes de fréquences, synchrones, ou asynchrones, par un laser Yb:YAG

H. Akagla, G. Loas, M. Vallet et M. Brunel

Institut Foton, Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON-UMR 6082, 35000 Rennes, France

Introduction

Les états de polarisation des lasers à solides à verrouillage de modes sont généralement fixés par l'anisotropie de gain dans les milieux cristallins. Cependant, l'oscillation simultanée sur deux états de polarisation est possible dans les matrices isotropes [1] et la génération de doubles peignes de fréquences asynchrones dans une seule cavité ouvre des applications en spectroscopie "dual-comb" [2, 3]. Nous étudions ici les états propres de polarisation d'un laser Yb:YAG à verrouillage de mode passif, en utilisant deux lames quart d'ondes et dans deux configurations de cavité différentes.

Un seul axe: double peigne synchrones

Miroir semi-conducteur à absorbant saturable (SESAM)

Caractéristiques du laser

- $\lambda_{pompe} = 940 \text{ nm}$
- $\lambda_{émission} = 1030 \text{ nm}$
- $W_{SESAM} = 20 \text{ }\mu\text{m}$
- $W_{Yb:YAG} = 17 \text{ }\mu\text{m}$
- $P_{seuil} = 2,4 \text{ W}$
- $\langle P \rangle = 90 \text{ mW}$

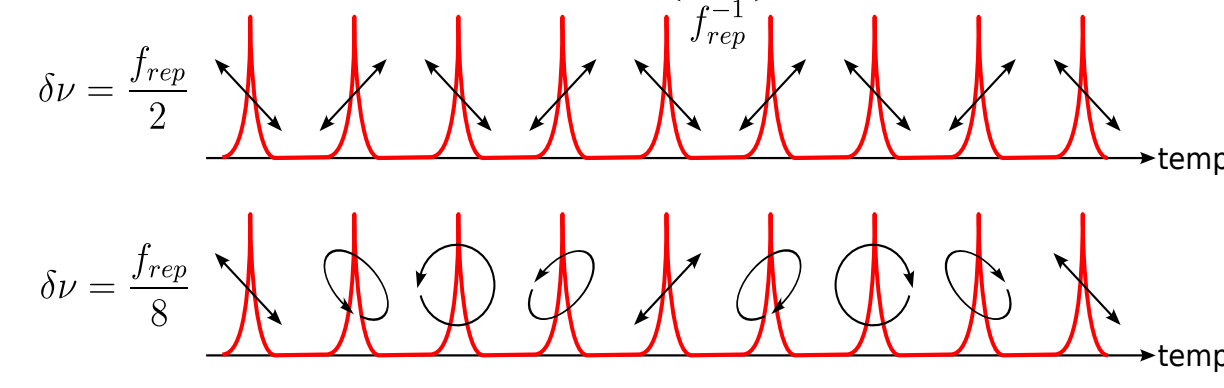
Caractéristiques du peigne

- $f_{rep} = 164 \text{ MHz}$
- $\tau = 2,5 \text{ ps}$

Les axes neutres de Q_1 sont alignés sur la biréfringence résiduelle du Yb:YAG. Les axes neutres de Q_2 sont tournés d'un angle α par rapport aux axes de Q_1 .

Contexte

- laser mode-locked vectoriel Nd:YAG démontré au laboratoire [1]
- double peigne de fréquences synchrones
- séquences de polarisations contrôlables



Objectifs

- laser Yb:YAG pour générer des impulsions courtes
- dynamique de polarisations du double peignes synchrones
- double peignes asynchrones
- accordabilité de la différence des taux de répétition: de façon mécanique ou électro-optique

Deux axes: double peignes asynchrones

Séparation spatiale dans le SESAM

Caractéristiques du laser

- $l_{Yb:YAG} = 4 \text{ mm}$
- $W_{Yb:YAG} = 34 \text{ }\mu\text{m}$
- $P_{seuil} = 2,5 \text{ W}$
- $P_{pompe} = 5,14 \text{ W}$
- $\langle P \rangle = 260 \text{ mW}$
- $l_{YVO_4} = 5 \text{ mm}$

V = Verticale
H = Horizontale

Séquences de polarisation

Champs électriques

$$\begin{bmatrix} E_x(t) \\ E_y(t) \end{bmatrix} = e^{i2\pi\nu_x t} \begin{bmatrix} 1 \\ e^{i(2\pi\delta\nu t + \psi)} \end{bmatrix} \sum_p A(t - p/f_{rep})$$

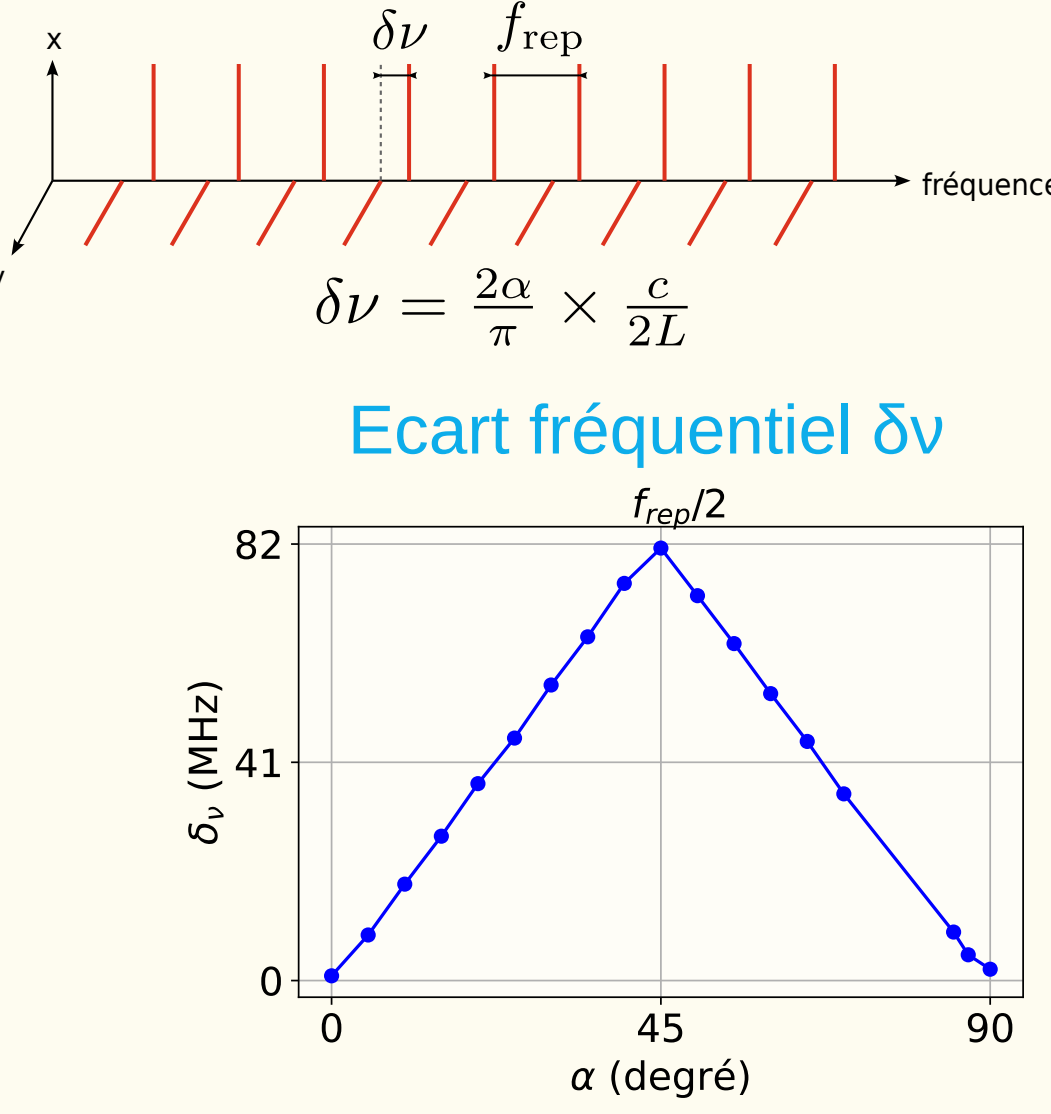
ν_x = fréquence du peigne optique polarisé suivant x
 ψ = phase relative globale entre les deux états propres
 $A(t)$ = enveloppe de l'impulsion
 f_{rep} = fréquence de répétition du train d'impulsion
 $\delta\nu$ = Décalage de fréquence entre les deux peignes

⇒ Vecteur de Jones de la p-ième impulsion

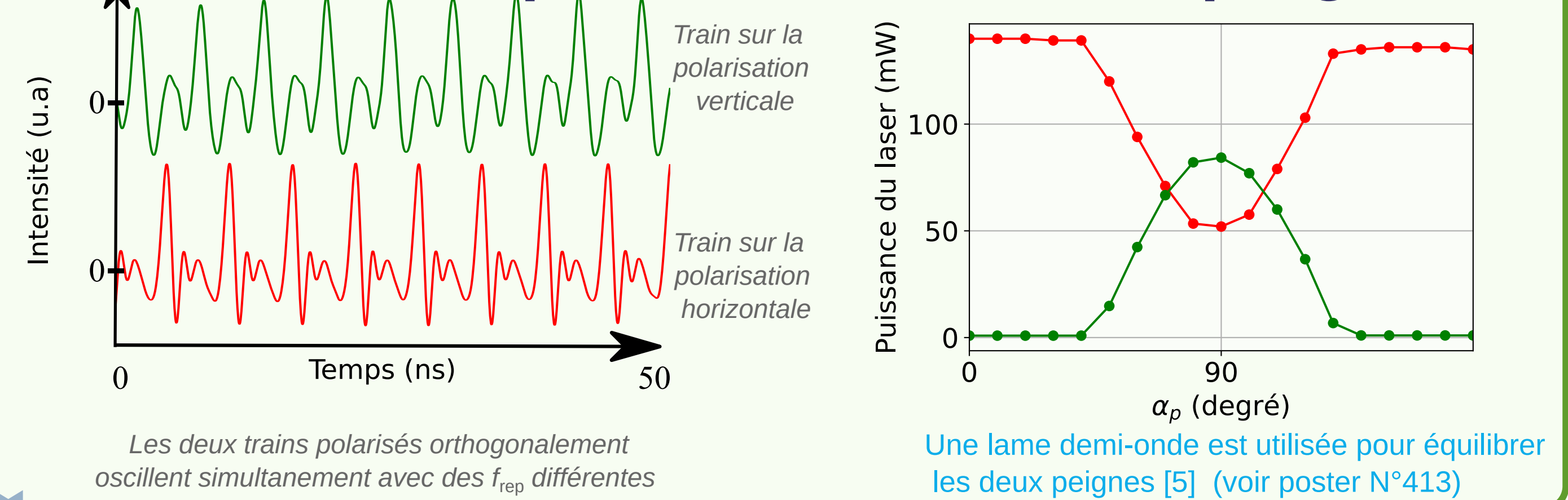
$$\vec{J}_p = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(i(2\pi p \frac{\delta\nu}{f_{rep}} + \psi)) \end{bmatrix}$$

Séquences de polarisation fonction de $\delta\nu$ et ψ [4]

ψ régit l'état de polarisation dans le train d'impulsions

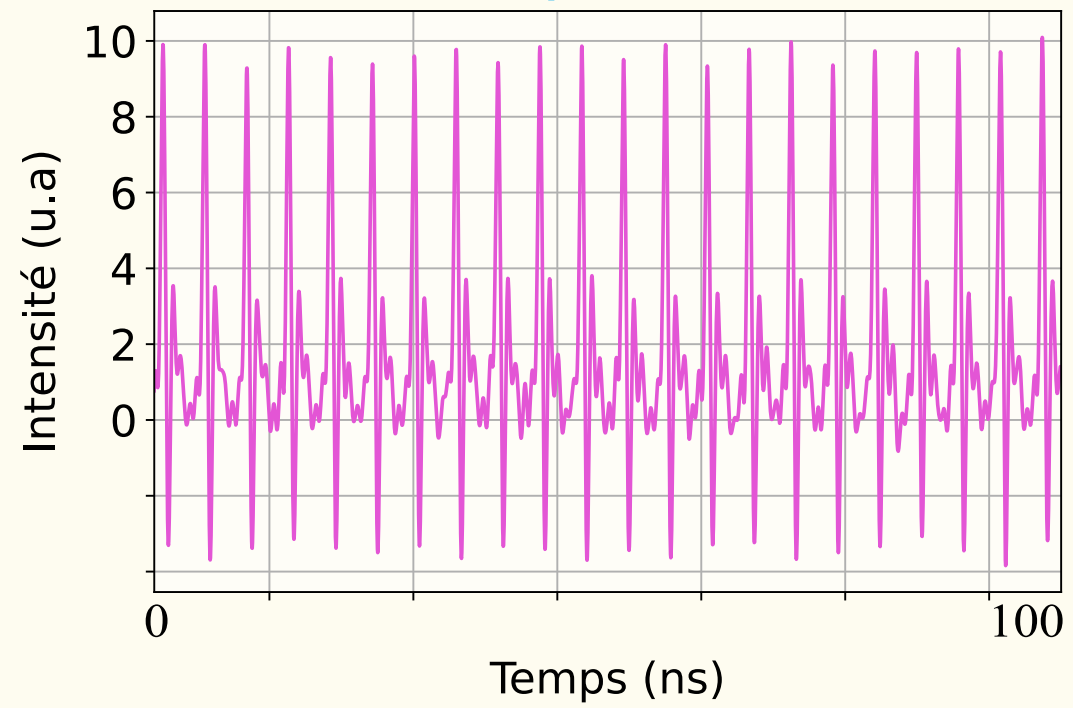


Trains d'impulsions du double peigne

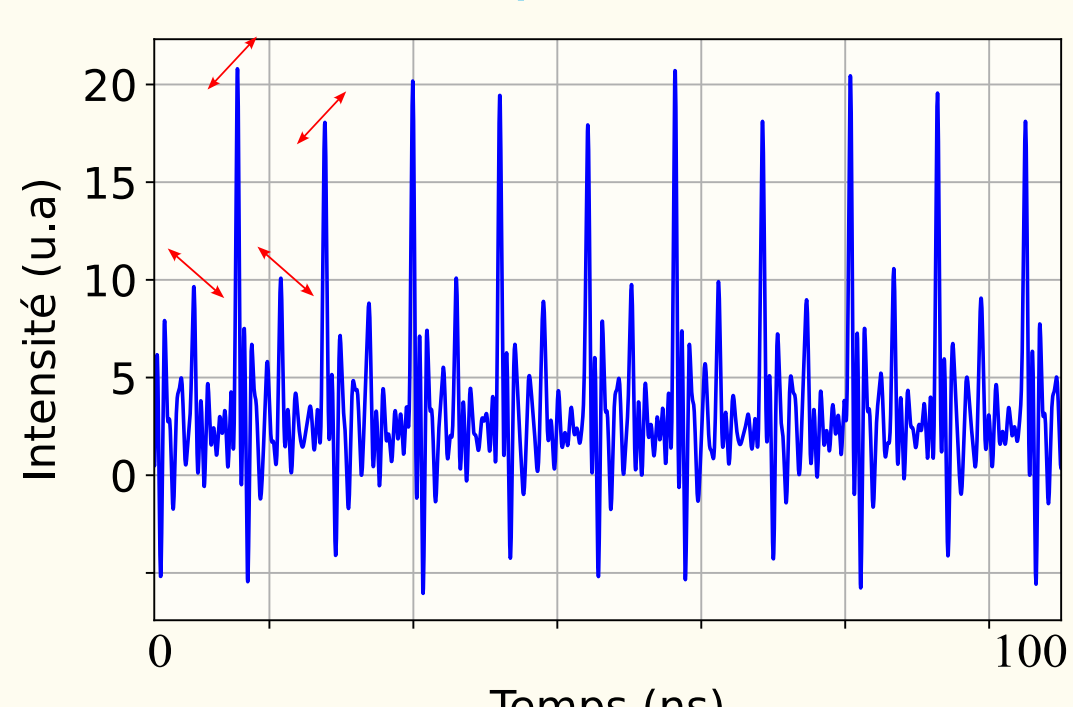


Analyse temporelle

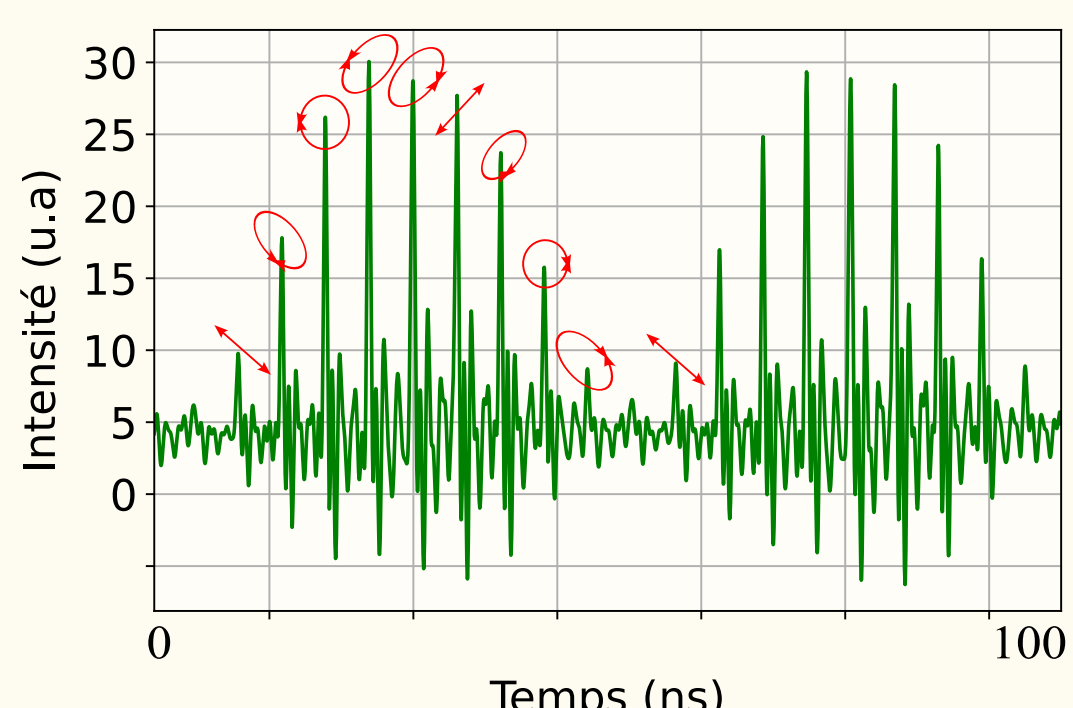
Sans polariseur



Derrière le polariseur à 45°

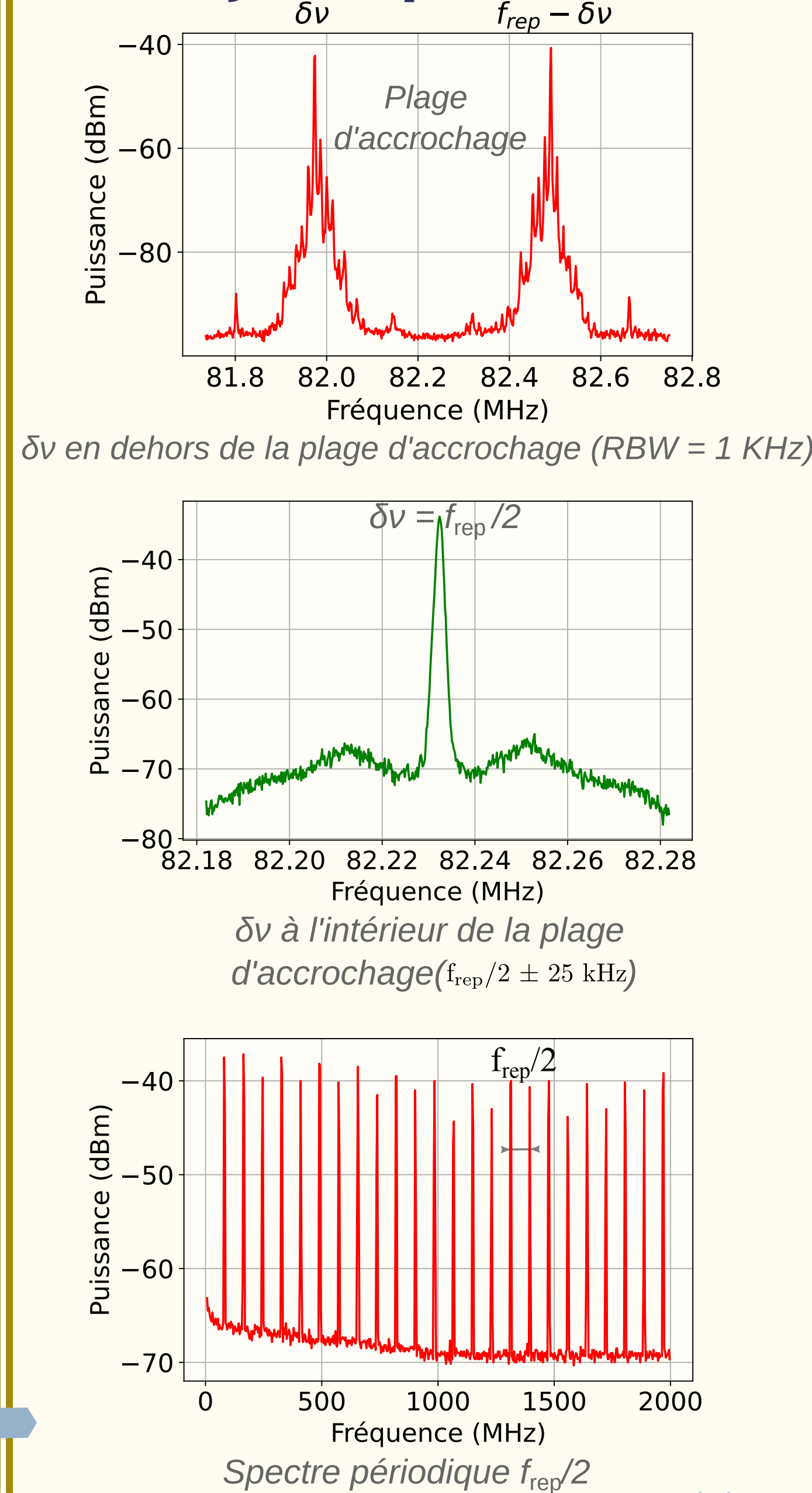


$\delta\nu = f_{rep}/2$, deux impulsions successives ont des polarisations orthogonales $\vec{J}_p \cdot \vec{J}_{p+1} = 0$

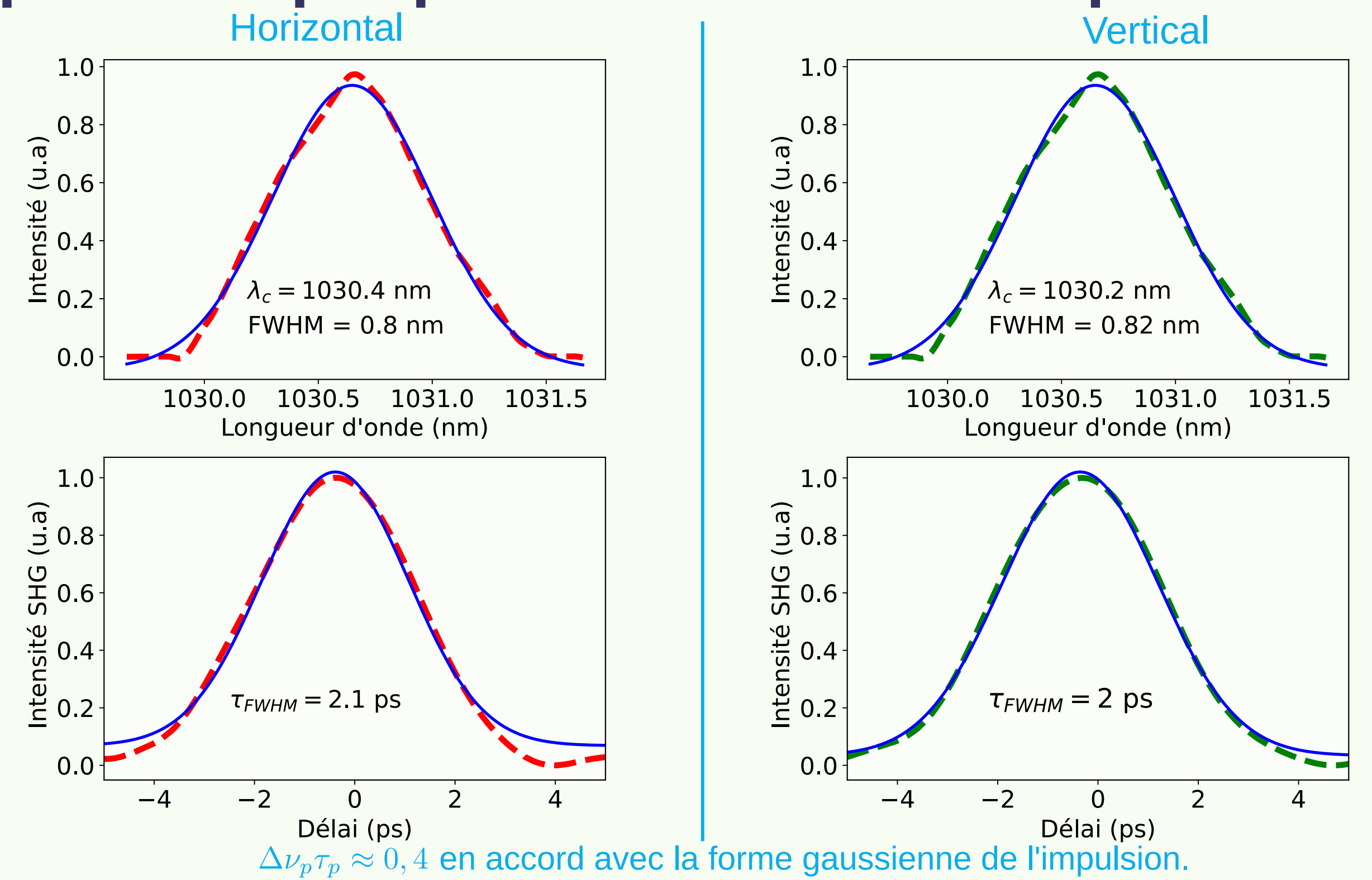


$\delta\nu = f_{rep}/10$, l'ellipticité change à chaque impulsion

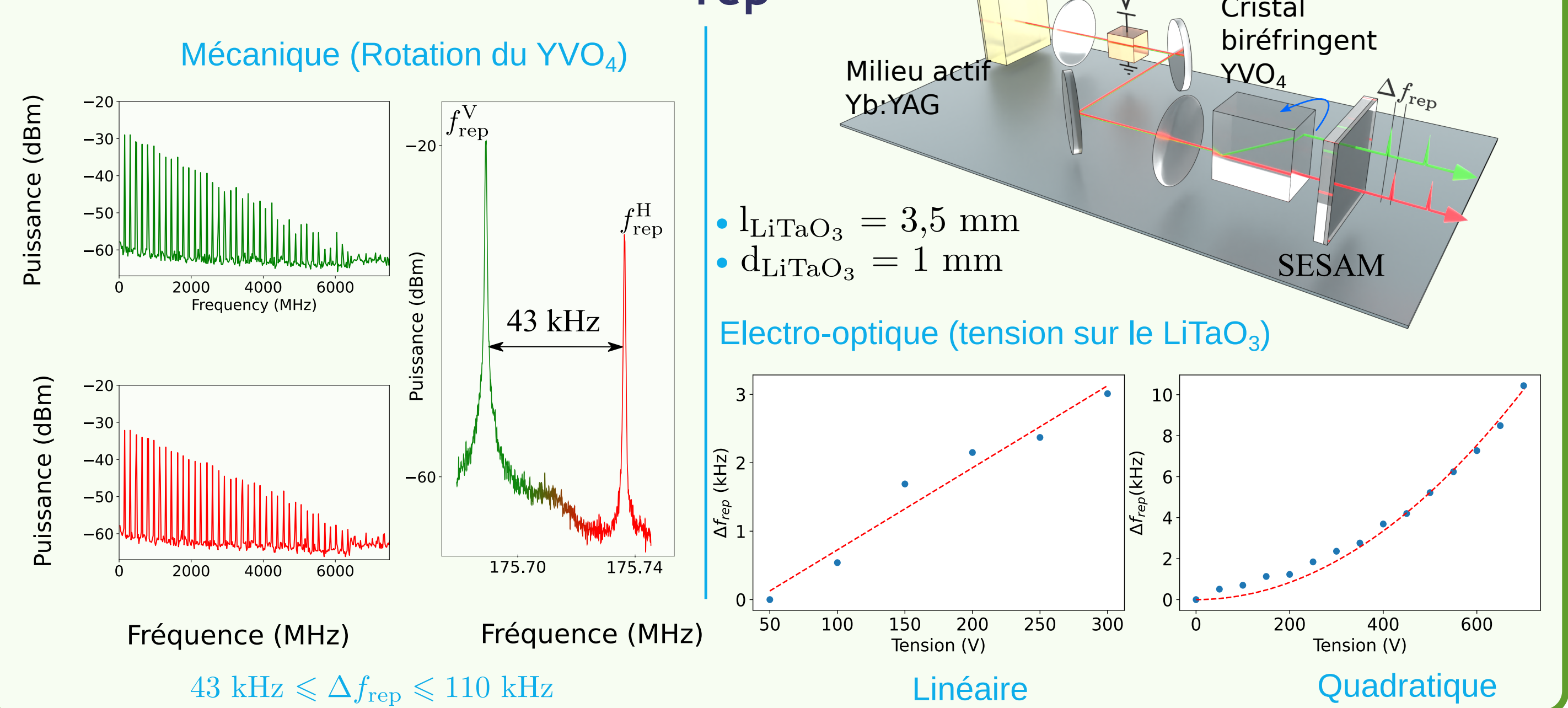
Analyse spectrale



Spectre optique et durée des impulsions



Accordabilité de Δf_{rep}



Conclusion

- ⇒ Séquences de polarisation contrôlables entre deux peignes polarisés orthogonalement. Regime d'accrochage à $f_{rep}/2$ dans le laser Yb:YAG.
- ⇒ Double peigne asynchrones dans le laser Yb:YAG basé sur un cristal biréfringent intracavité sans séparation spatiale dans le milieu à gain mais en utilisant la polarisation de la pompe.
- ⇒ Contrôle de Δf_{rep} de façon mécanique ou électro-optique.

Perspectives

- Extension du principe à d'autres cristaux tels que le Yb:Lu:YAG, Yb:CaF2 et Yb:Na:CNCGG.
- Conception des cavités sans lentilles.
- Appliquer un contrôle de température sur les cristaux et sur le SESAM.
- Fiabiliser le contrôle de Δf_{rep} .

Références

- J. Thévenin, M. Vallet, and M. Brunel. Dual-polarization mode-locked Nd:YAG laser. Opt. Lett., 37(14):2859–2861, 2012.
- B. Willenberg, J. Puppekis, L. M. Krüger, F. Koch, C. R. Phillips, and U. Keller. Opt. Express, 28(20):30275–30288, 2020.
- N. Madsching, J. Drs, P. Brochard, J. Fischer, S. Schilt, V. J. Wittwer, and T. Südmeyer. Opt. Express, 29(10):15104–15113, 2021.
- Brunel et al., in "Nonlinear optical cavity dynamics", Ph. Grelu Ed., (Wiley, 2016).
- H. Akagla, N. Chapron, G. Loas, M. Vallet, and M. Brunel. Opt. Lett., 48(3):700–703, Feb 2023.

Support technique : A. Carré, L.Frein, S. Bouhier et C.Hamel