



**HAL**  
open science

## Contrôle de l' émission bipolarisation d'un laser Yb:YAG par l'orientation de la polarisation de la pompe

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Nicolas Chapron, Anthony Carré, Goulc'Hen  
Loas, Marc Vallet, Marc Brunel

### ► To cite this version:

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Nicolas Chapron, Anthony Carré, Goulc'Hen Loas, Marc Vallet, et al.. Contrôle de l' émission bipolarisation d'un laser Yb:YAG par l'orientation de la polarisation de la pompe. OPTIQUE Nice 2022, Jul 2022, Nice (FRANCE), France. , 2023. hal-04197945

**HAL Id: hal-04197945**

**<https://univ-rennes.hal.science/hal-04197945>**

Submitted on 6 Sep 2023

**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.

# Contrôle de l'émission bipolarisation d'un laser Yb:YAG par l'orientation de la polarisation de la pompe

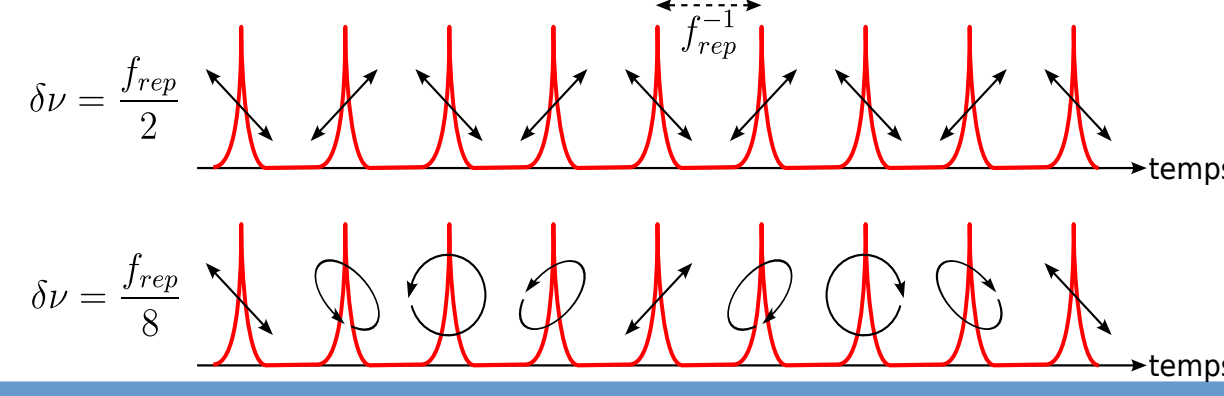
H. Akagla, N. Chapron, A. Carré, G. Loas, M. Vallet, M. Brunel

## Introduction

Les lasers ytterbium sont très utilisés pour la génération d'impulsions femtosecondes et en particulier pour la spectroscopie "dual-comb". Dans le cas de milieux actifs quasi-isotropes tels que Yb:YAG ou Yb:CaF<sub>2</sub>, deux états propres de polarisations orthogonales peuvent osciller simultanément et générer deux peignes de fréquences dont les taux de répétition sont ajustables [1, 2]. Afin d'équilibrer les puissances des deux modes, on peut se demander si l'emploi d'une pompe polarisée pourrait créer un dichroïsme de gain, comme cela a déjà été démontré dans les lasers néodyme [3, 4].

## Contexte

- laser mode-locked vectoriel Nd:YAG démontré au laboratoire [5]
- double peigne de fréquences
- séquences de polarisations contrôlables



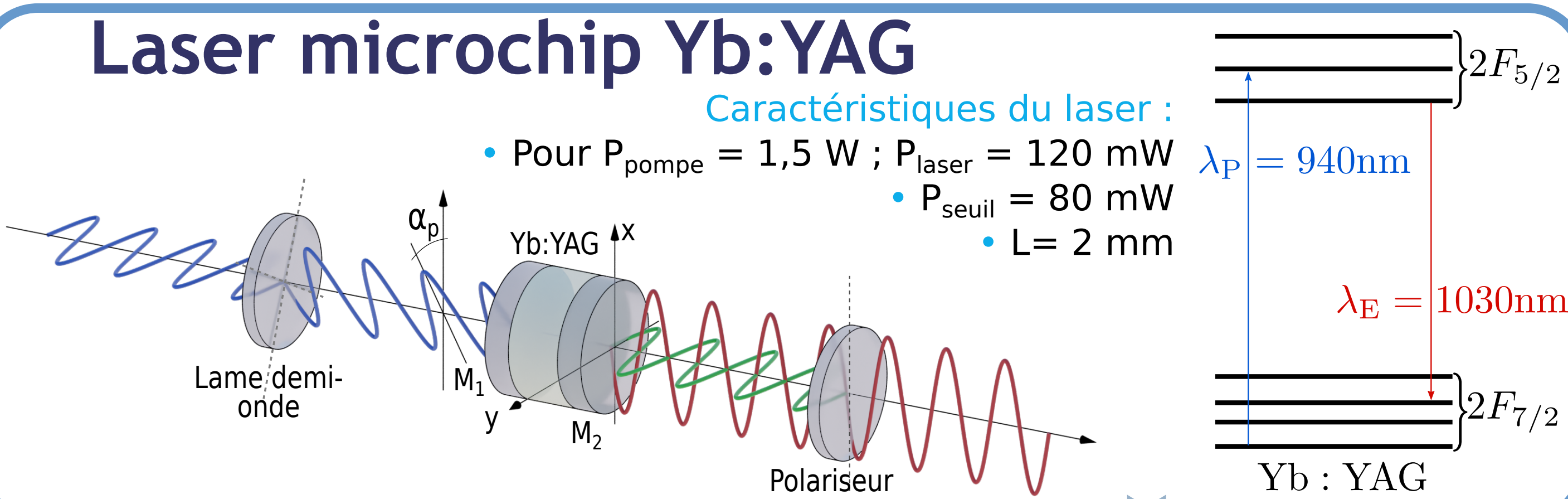
## Objectifs

- extension aux lasers ytterbium (YAG, CaF<sub>2</sub>,...)
- étude de l'influence de la polarisation de la pompe
- étude du couplage dans l'ytterbium
- cavité simple de type microchip, modèle rate-équations bi-mode

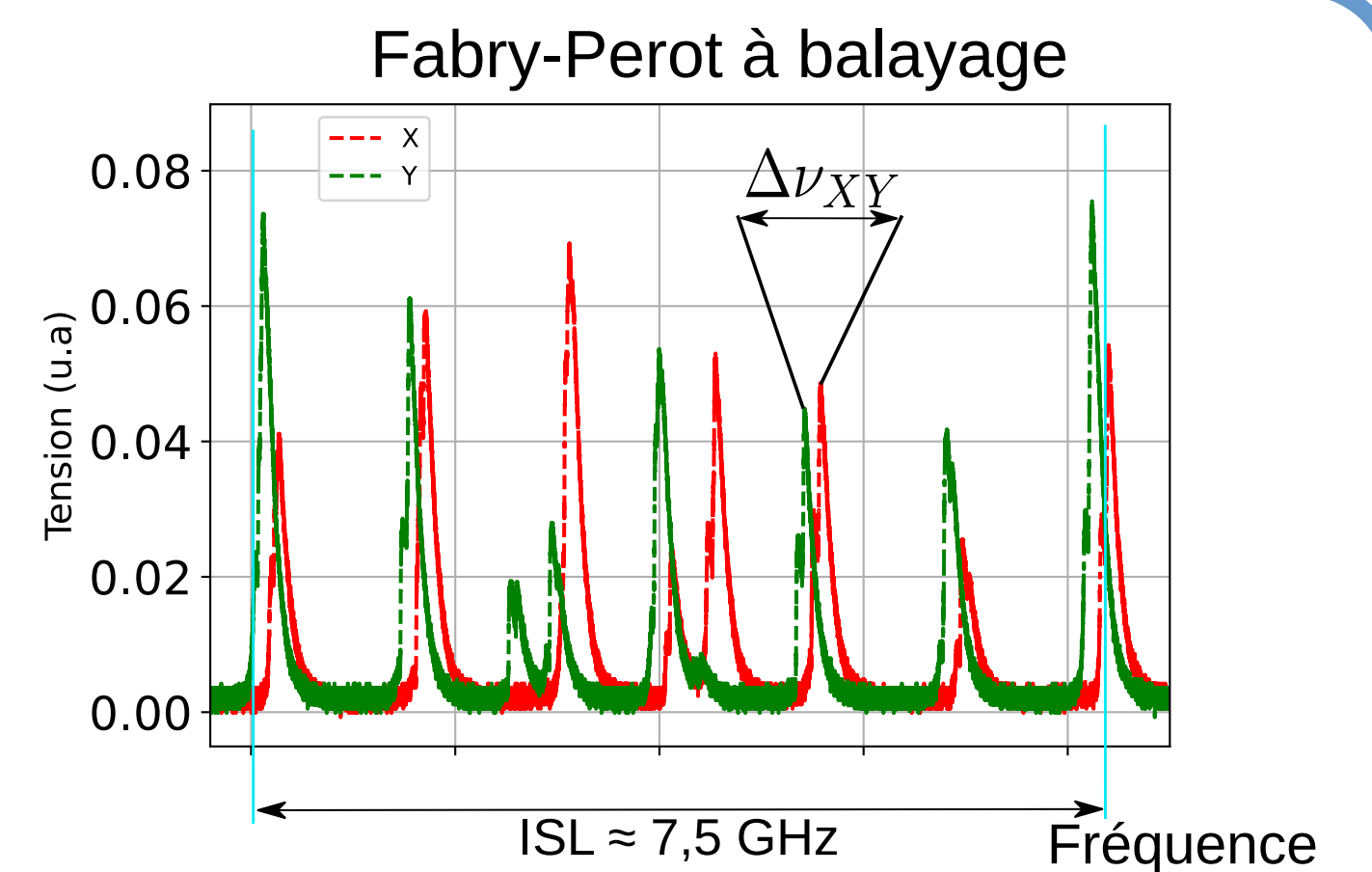
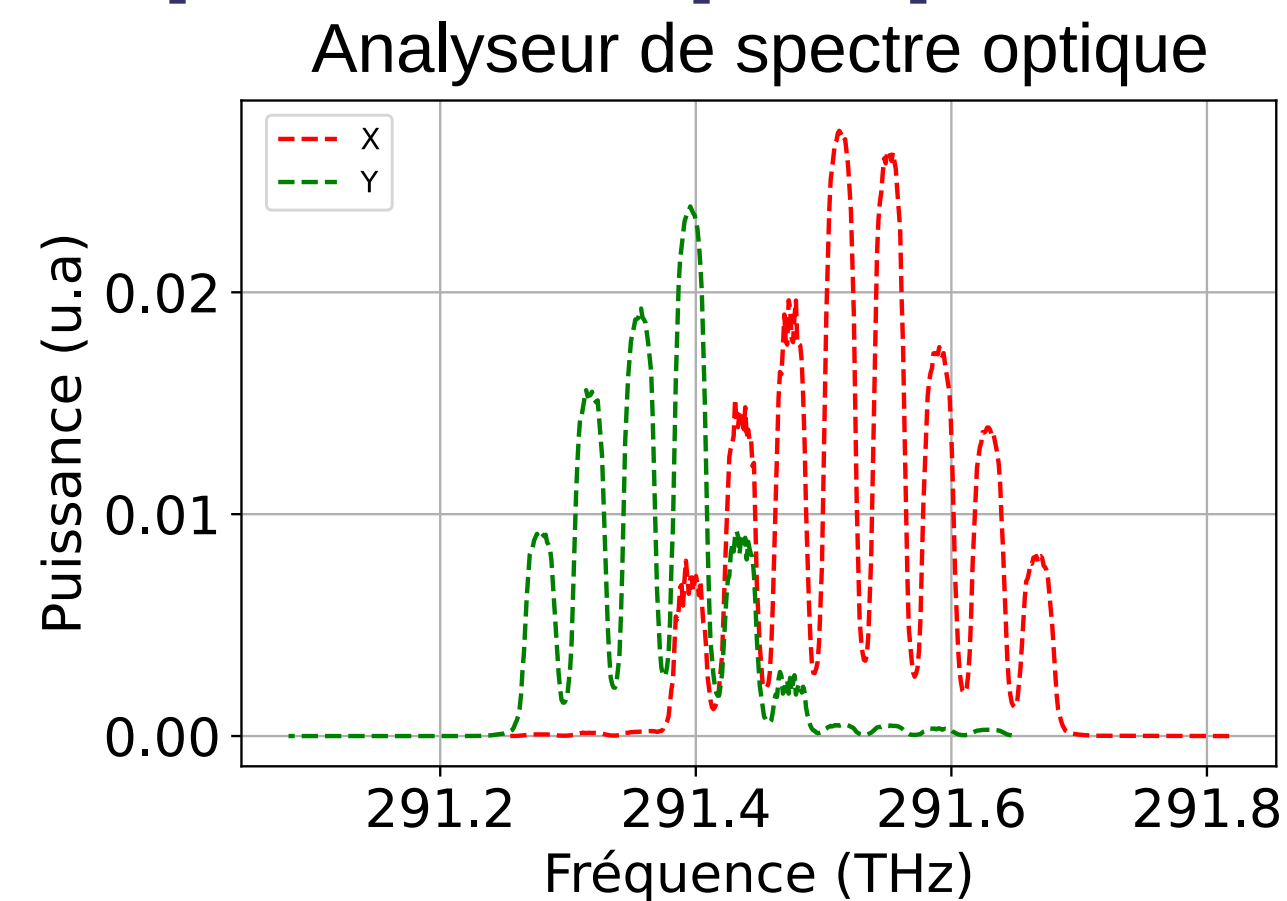
## Laser microchip Yb:YAG

Caractéristiques du laser :

- Pour P<sub>pompe</sub> = 1,5 W ; P<sub>laser</sub> = 120 mW
- P<sub>seuil</sub> = 80 mW
- L = 2 mm



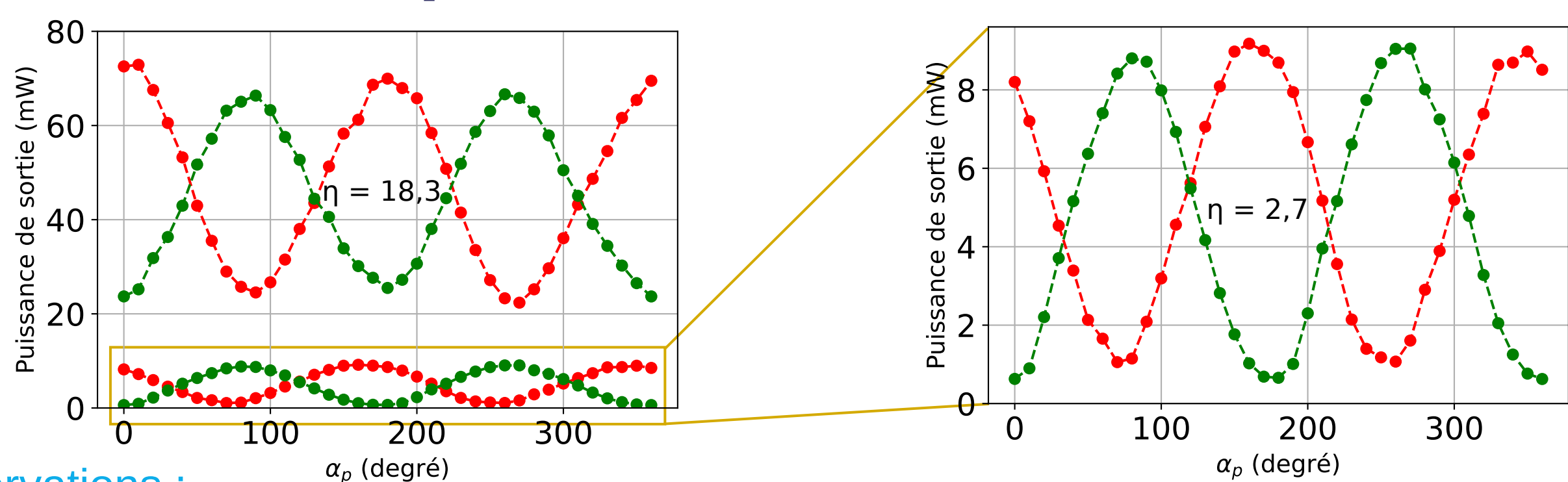
## Spectre optique



⇒ Multimode : environ 10 modes suivant Y et 8 modes suivant X  
 ⇒ ISL = 38,9 GHz

⇒ Mesure du décalage en fréquence  
 ⇒ Biréfringence résiduelle du cristal :  $\Delta n = 1,41 \times 10^{-6}$   
 ⇒ Deux super-modes X et Y

## Résultats expérimentaux



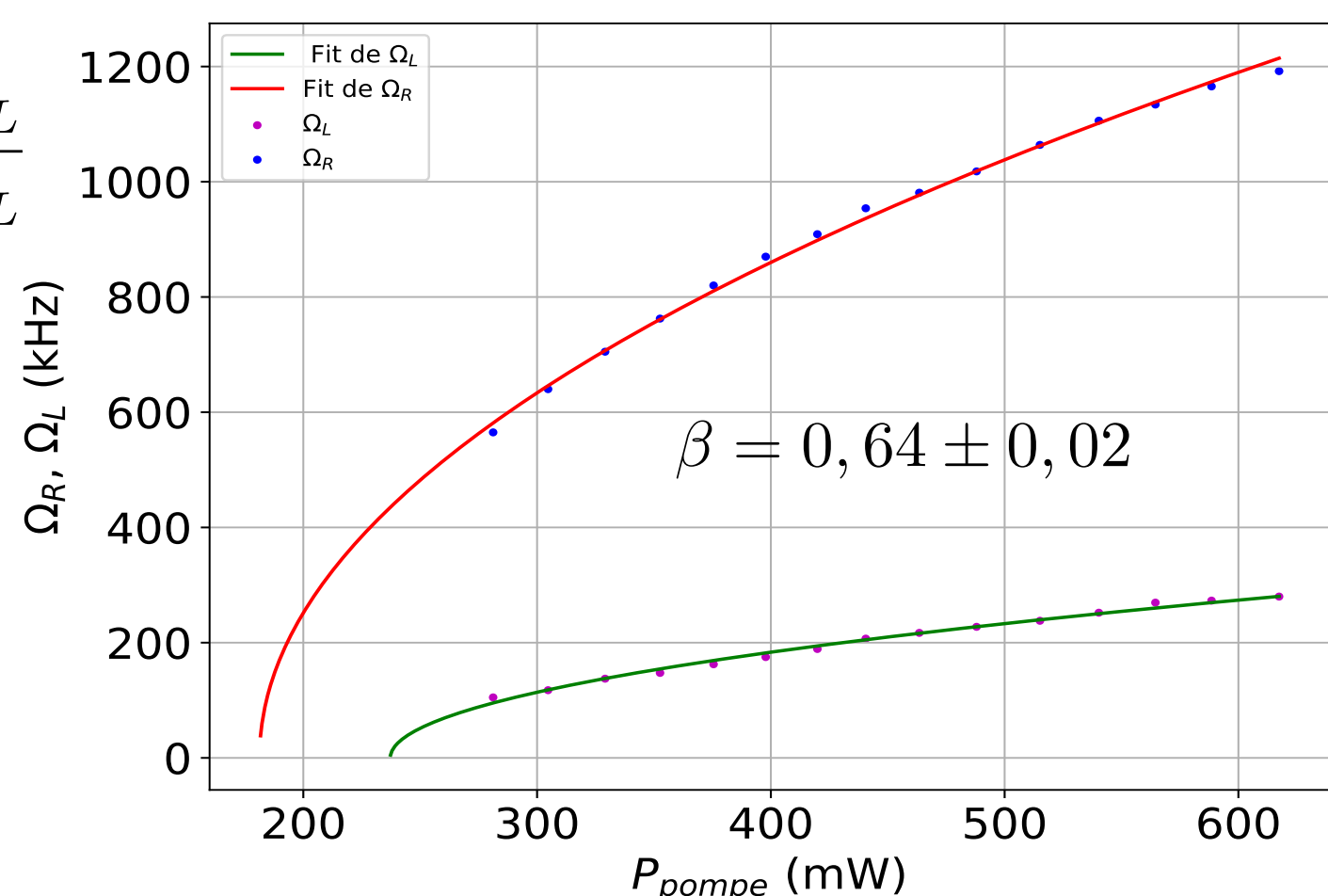
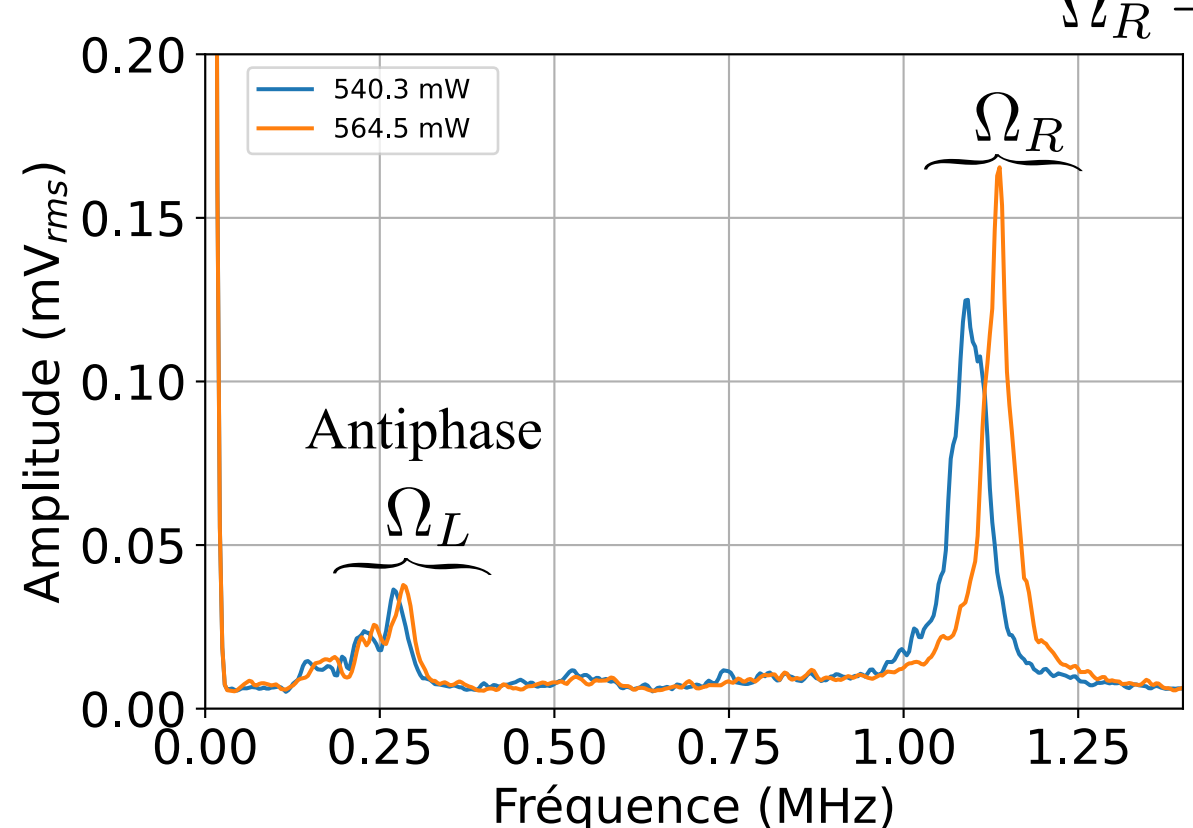
Observations :

- ⇒ Fonctionnement du laser suivant deux états de polarisations linéaires et orthogonaux.
- ⇒ Le rapport I<sub>y</sub>/I<sub>x</sub> dépend de alpha<sub>p</sub> et de eta

## Mesures de beta et epsilon

Coefficient de saturation croisée lié aux fréquences de relaxation [7]

$$\beta = \frac{\Omega_R - \Omega_L}{\Omega_R + \Omega_L}$$

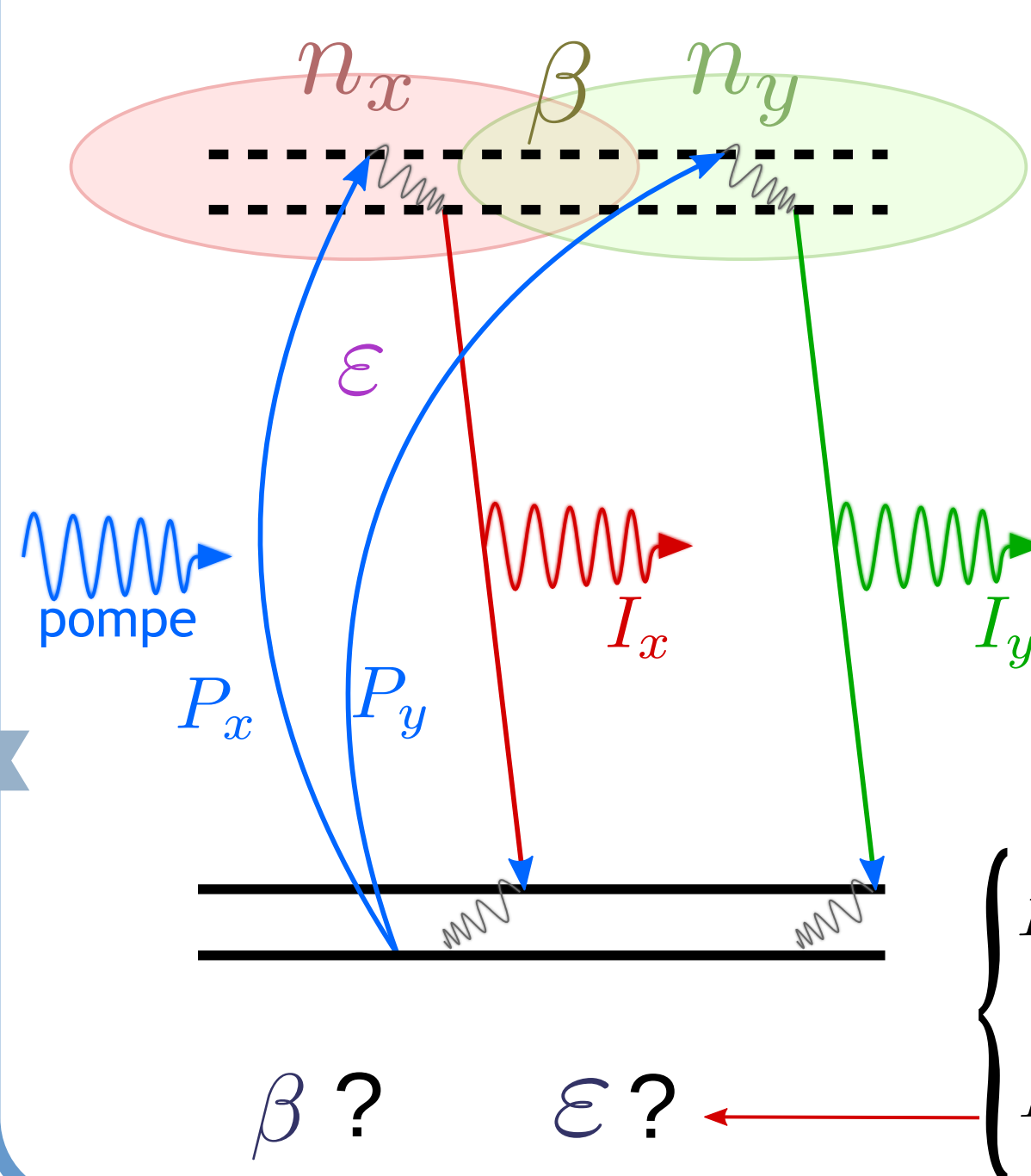


$$\beta = 0,64 \pm 0,02$$

$$\text{Paramètre d'anisotropie de pompe } \epsilon = \frac{(1 + \beta)\eta - 1}{(1 + \beta)\frac{\eta}{h}} \left[ \frac{1 - \hat{I}_y^{\alpha_p=0} / \hat{I}_x^{\alpha_p=0}}{1 + \hat{I}_y^{\alpha_p=0} / \hat{I}_x^{\alpha_p=0}} \right] = 0,084 \text{ avec } h = \frac{1 - \beta}{1 + \beta}$$

$$\text{Constante de couplage type Lamb [8]} C = \left[ \frac{1 - (\Omega_L / \Omega_R)^2}{1 + (\Omega_L / \Omega_R)^2} \right]^2 = 0,87 \pm 0,02$$

## Modèle



Équations d'évolutions de I<sub>x,y</sub> et n<sub>x,y</sub>

$$\frac{dI_x}{dt} = \kappa (n_x + \beta n_y) I_x - \Gamma_x I_x$$

$$\frac{dI_y}{dt} = \kappa (n_y + \beta n_x) I_y - \Gamma_y I_y$$

$$\frac{dn_x}{dt} = \gamma_{||} P_x - [\gamma_{||} + \zeta (I_x + \beta I_y)] n_x$$

$$\frac{dn_y}{dt} = \gamma_{||} P_y - [\gamma_{||} + \zeta (I_y + \beta I_x)] n_y$$

Anisotropie de pompage [6]

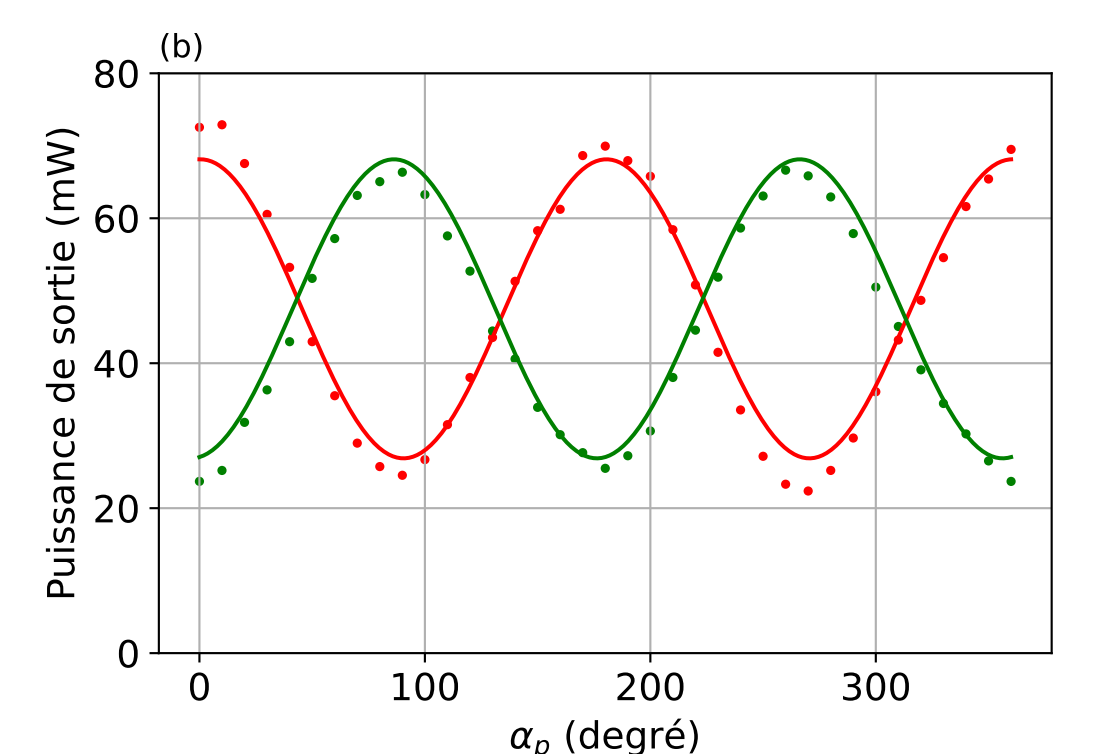
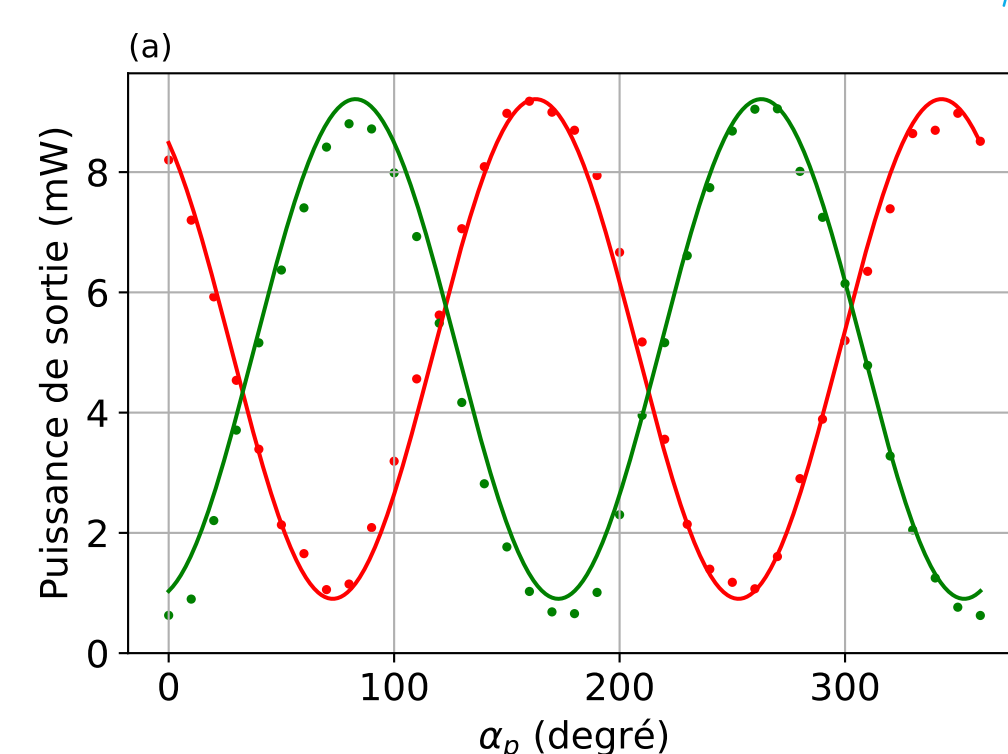
$$P_{x,y} = P (1 \pm \epsilon \cos(2\alpha_p))$$

Solutions stationnaires normalisées (I<sub>x</sub> ≠ 0, I<sub>y</sub> ≠ 0)

$$\begin{cases} \hat{I}_x = \eta \left( 1 + \epsilon \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \cos 2\alpha_p \right) - \frac{1}{1 + \beta} \\ \hat{I}_y = \eta \left( 1 - \epsilon \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \cos 2\alpha_p \right) - \frac{1}{1 + \beta} \end{cases} \quad \eta = \frac{P}{P_{th}}$$

## Comparaison théorie-expérience

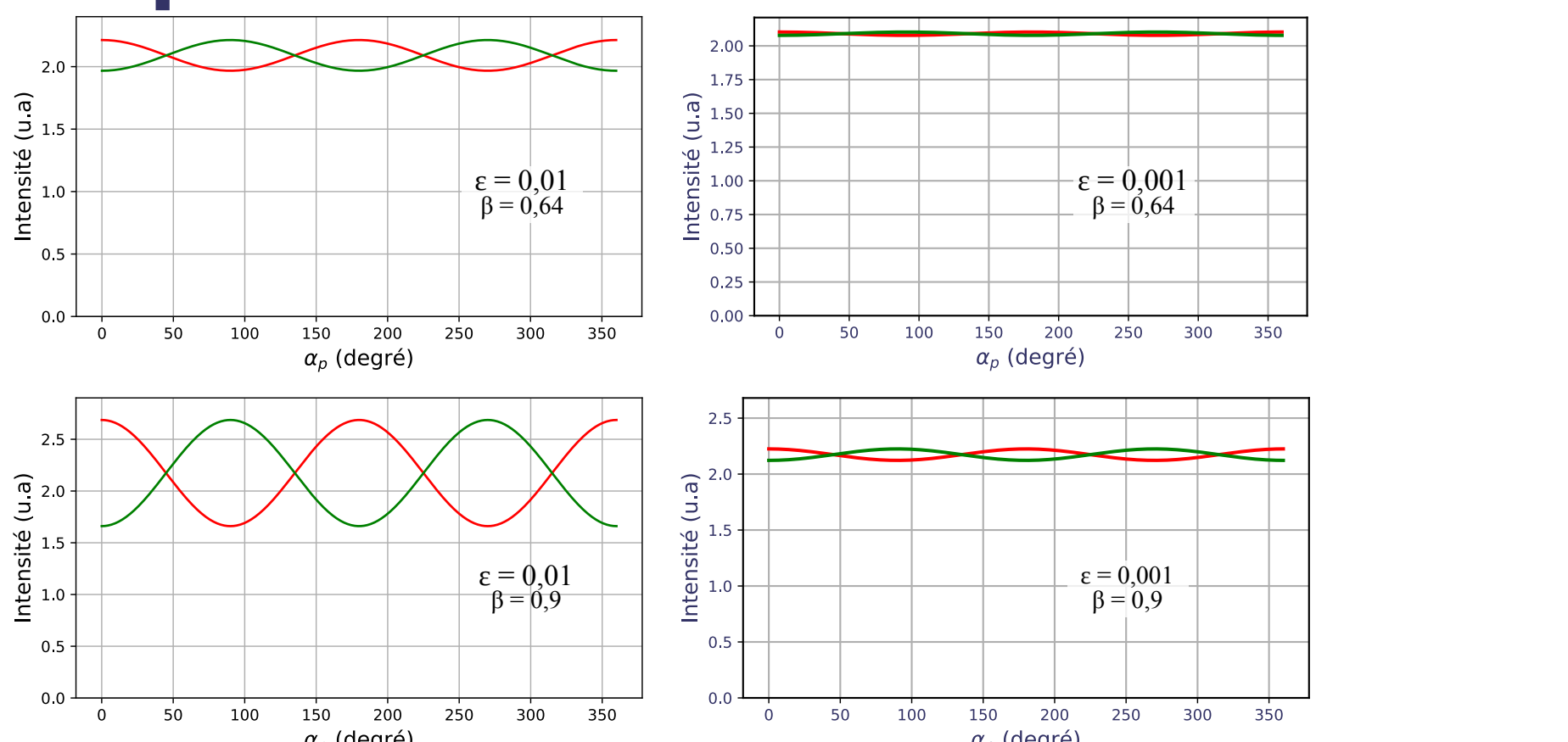
Avec beta = 0,64 et epsilon = 0,084



Puissances I<sub>x</sub> (en rouge) et I<sub>y</sub> (en vert). Les points (resp. courbes pleines) représentent les résultats expérimentaux (resp. théoriques). (a) eta = 2, 7 et (b) eta = 18, 3.

⇒ Parfait accord entre le modèle et les résultats expérimentaux (forall eta)

## Exploration du modèle



	beta = 0,64
epsilon	I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>
0,01	1,12
0,001	1,01

	beta = 0,9
epsilon	I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>
0,01	1,61
0,001	1,04

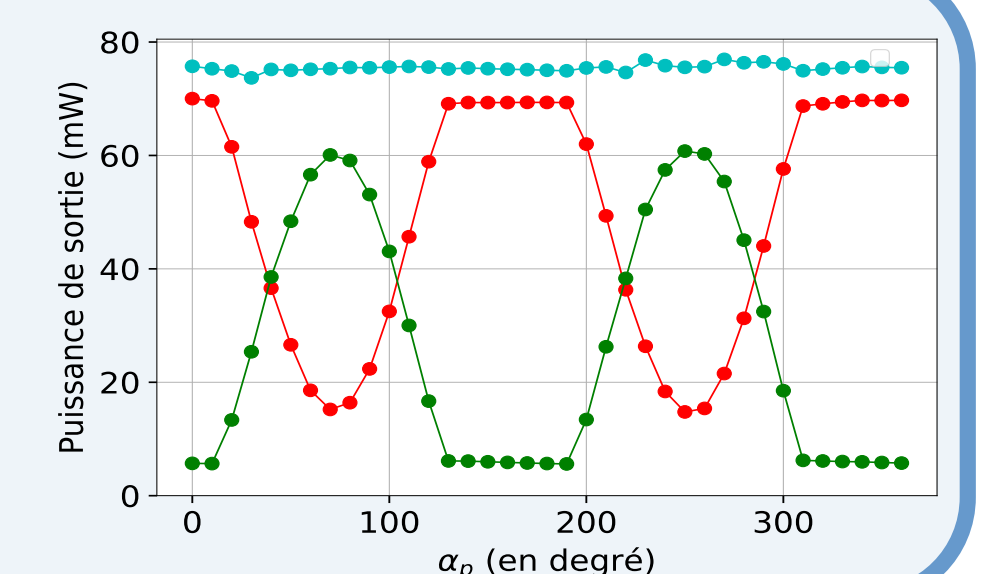
Plus le coefficient d'anisotropie de pompe diminue, plus le contraste entre les deux états de polarisations diminue. Par contre plus le coefficient de saturation croisée augmente, plus le contraste est élevé.

## Conclusion

- ⇒ L'orientation de la polarisation de la pompe est un **moyen efficace de contrôle** des puissances relatives dans un laser ytterbium bipolarisation.
- ⇒ **Première mesure** du coefficient de saturation croisée dans un laser Yb:YAG.
- ⇒ Calcul du **paramètre d'anisotropie de pompe**.
- ⇒ **Bon accord** entre le modèle théorique et les résultats expérimentaux.
- ⇒ Extension du principe aux peignes de fréquences.

## Perspectives

- Conception d'un laser Yb:YAG mode-locked (cavité longue)
- Utiliser un SESAM pour générer des impulsions courtes.
- Pompage par diode
- Utilisation d'un cristal Yb:CaF<sub>2</sub> (beta ? epsilon ?)
- Génération des séquences de polarisations en contrôlant l'écart fréquentiel des peignes



## Références

- [1] B. Willenberg, J. Pupeikis, L. M. Krüger, F. Koch, C. R. Phillips, and U. Keller. Femtosecond dual-comb Yb:CaF<sub>2</sub> laser from a single free-running polarization-multiplexed cavity for optical sampling applications. *Opt. Express*, 28(20): 30275–30288, 2020.
- [2] N. Madsching, J. Drs, P. Brochard, J. Fischer, S. Schilt, V. J. Wittwer, and T. Südmeyer. High-power dual-comb thin-disk laser oscillator for fast high-resolution spectroscopy. *Opt. Express*, 29(10): 15104–15113, 2021.
- [3] G. Verschaffelt, G. Van der Sande, J. Danckaert, B. Ségard, P. Glorieux, and T. Erneux. Delayed polarization dynamics in Nd<sup>3+</sup>-doped yttrium-aluminum-garnet lasers. *Phys. Rev. A*, 77(6): 063801, 2008.
- [4] H. Chen, S. Zhang, and Y. Tan. Effect of pump polarization direction on power characteristics in monolithic microchip Nd:YAG dual-frequency laser. *Appl. Opt.*, 55(11): 2858–2862, 2016.
- [5] J. Thévenin, M. Vallet, and M. Brunel. Dual-polarization mode-locked Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 37(14): 2859–2861, 2012.
- [6] T. Chartier, F. Sanchez, and G. Stéphan. General model for a multimode Nd-doped fiber laser. I : Construction of the model. *Appl. Phys. B*, 70(1): 23–31, 2000.
- [7] Lacot E, Stoeckel F. Nonlinear mode coupling in a microchip laser. *JOSA B*. 1996 Sep 1;13(9):2034-40.
- [8] M. Brunel, A. Amon, and M. Vallet. Dual-polarization microchip laser at 1.53µm. *Opt. Lett.*, 30(18): 2418–2420, 2005.