



**HAL**  
open science

## **Lasers ytterbium bipolarisations : rôle de la direction de polarisation de l'onde de pompe**

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Pavel Loiko, Goulc'Hen Loas, A. Benayad, Patrice Camy, Anthony Carré, Ludovic Frein, Steve Bouhier, Cyril Hamel, Marc Vallet, et al.

### ► To cite this version:

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Pavel Loiko, Goulc'Hen Loas, A. Benayad, Patrice Camy, et al.. Lasers ytterbium bipolarisations : rôle de la direction de polarisation de l'onde de pompe. OPTIQUE Normandie 2024, Jul 2024, ROUEN, France. . hal-04648504

**HAL Id: hal-04648504**

**<https://hal.science/hal-04648504>**

Submitted on 15 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.

Public Domain

# Lasers ytterbium bipolarisations : rôle de la direction de polarisation de l'onde de pompe

H. Akagla<sup>1</sup>, P. Loiko<sup>2</sup>, G. Loas<sup>1</sup>, N. Chapron<sup>1</sup>, P. Lehoux<sup>1</sup>, A. Benayad<sup>2</sup>,  
P. Camy<sup>2</sup>, M. Vallet<sup>1</sup> et M. Brunel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Foton, Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON-UMR 6082, 35000 Rennes, France  
<sup>2</sup>Centre de recherche sur les Ions, les Matériaux et la Photonique (CIMAP), UMR 6252 CEA-CNRS-ENSICAEN, Université de Caen Normandie, 6 Boulevard du Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex 4, France

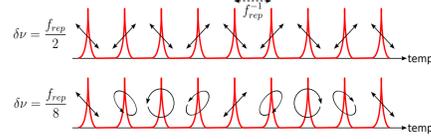


## Introduction

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, 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]. Nous étendons l'étude de l'anisotropie induite par la pompe à différents cristaux dopés ytterbium.

## Contexte

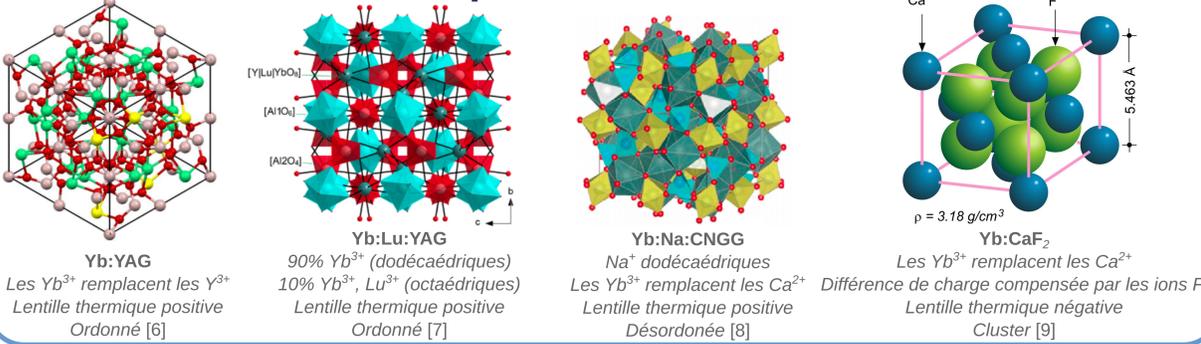
- laser mode-locked vectoriel Nd:YAG démontré au laboratoire [5]
- double peigne de fréquences
- séquences de polarisations contrôlables



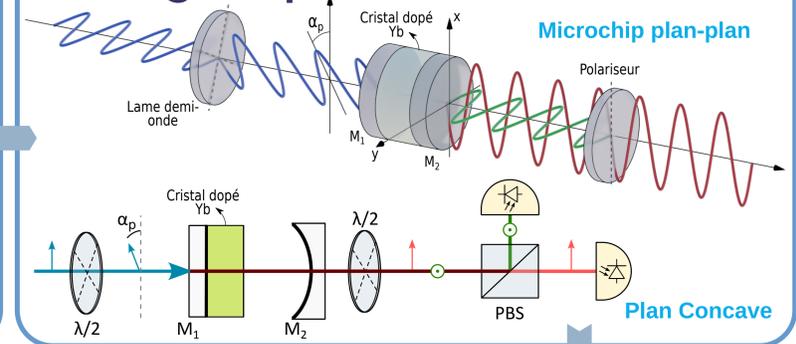
## Objectifs

- lasers ytterbium (Yb:YAG, Yb:Lu:YAG, Yb:CaF<sub>2</sub>, Yb:Na:CNGG)
- étude de l'influence de la polarisation de la pompe
- étude du couplage dans l'ytterbium
- cavité simple de type microchip, plan concave, modèle rate-équations bi-mode

## Milieux actifs isotropes



## Montage expérimental



## Modèle

Équations d'évolutions de  $I_{x,y}$  et  $n_{x,y}$

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

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

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

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

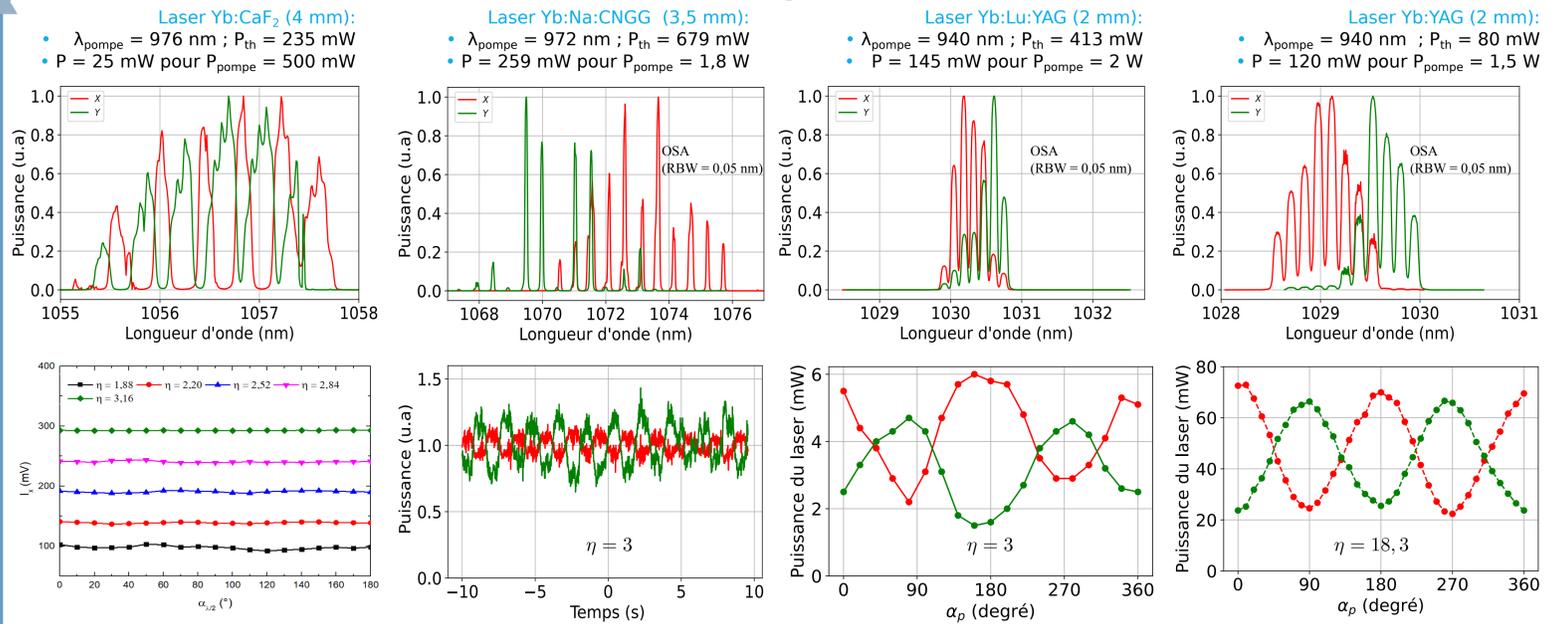
Anisotropie de pompage [10]  
 $P_{x,y} = P(1 \pm \varepsilon \cos(2\alpha_p))$

Solutions stationnaires normalisées  
Degré d'excitation  $\eta = P/P_{th}$

$$\hat{I}_x = \eta \left( 1 + \varepsilon \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \cos 2\alpha_p \right) - \frac{1}{1 + \beta}$$

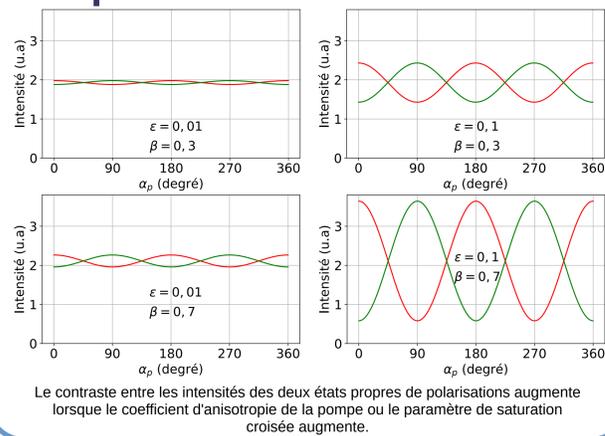
$$\hat{I}_y = \eta \left( 1 - \varepsilon \frac{1 + \beta}{1 - \beta} \cos 2\alpha_p \right) - \frac{1}{1 + \beta}$$

## Résultats expérimentaux

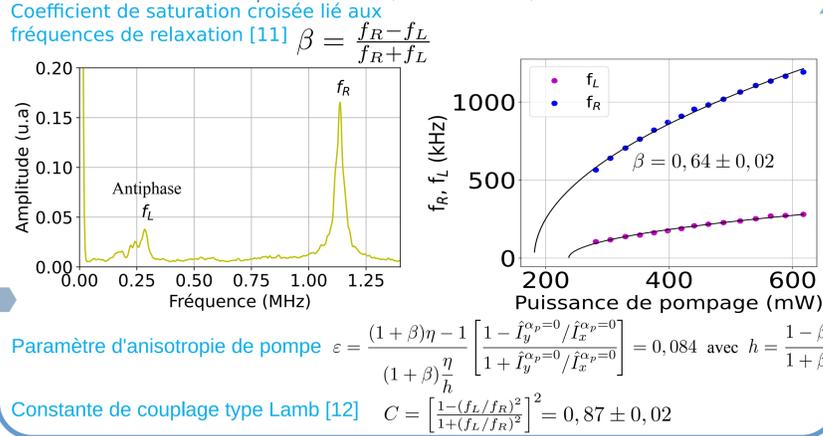


Observations : Fonctionnement des quatre lasers suivant deux états de polarisations linéaires et orthogonaux. Le rapport  $I_y/I_x$  dépend de  $\alpha_p$  et de  $\eta$ . Facilité de favoriser un état propre ou l'autre dans le cas de Yb:YAG, Yb:Lu:YAG et Yb:Na:CNGG. Les états de polarisation du Yb:CaF<sub>2</sub> sont quasi-indépendants de la polarisation de la pompe en raison de l'isotropisation du milieu actif par des transferts d'énergie entre les ions voisins.

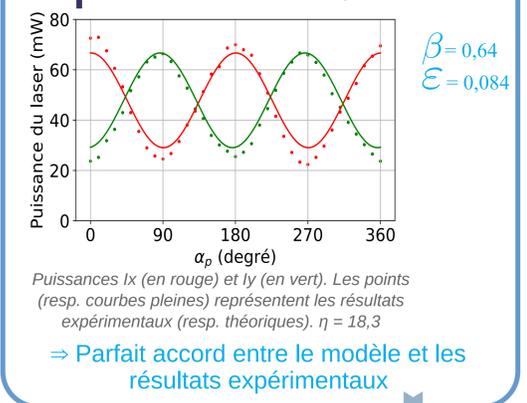
## Exploration du modèle



## Mesures de $\beta$ et $\varepsilon$ (Yb:YAG)



## Comparaison théorie/ expérience Yb:YAG



## Conclusion

- ⇒ Les lasers Yb permettent de générer une oscillation simultanée de deux états propres de polarisations dans les matrices isotropes comme le YAG, LuAG, Na:CNGG et le CaF<sub>2</sub>.
- ⇒ Un modèle d'équation à deux modes prédit la dépendance de la polarisation de la pompe en fonction du paramètre de saturation croisée et du paramètre d'anisotropie de pompage.
- ⇒ Bon accord entre le modèle théorique et les résultats expérimentaux [13].
- ⇒ La sensibilité à l'orientation de la pompe dépend fortement de la structure de l'hôte.
- ⇒ Pour les lasers à verrouillage de mode, le Na:CNGG peut être un bon compromis : gain large (impulsions fs) et une anisotropie de pompage  $\varepsilon$  pas trop faible.

	Yb:YAG	Yb:Lu:YAG	Yb:Na:CNGG	Yb:CaF <sub>2</sub>
Matrice	Ordonnée	Ordonnée	Désordonnée	Cluster
$\beta$	0,64	0,67	0,67	0,8
$\varepsilon$	0,08	0,06	0,02	0,004

## Perspectives

- Mettre en place un système de refroidissement sur les cristaux.
- Extension du principe aux peignes de fréquences synchrones ou asynchrones (voir poster N° 482).
- Utiliser un SESAM pour générer des impulsions courtes.
- Génération des séquences de polarisations en contrôlant l'écart fréquentiel des peignes.

## Références

[1] B. Willenberg, J. Puppekis, L. M. Krüger, F. Koch, C. R. Phillips, and U. Keller. Opt. Express, 28(20): 30275–30288, 2020.  
[2] N. Madsching, J. Drs, P. Brochard, J. Fischer, S. Schilt, V. J. Wittwer, and T. Südmeyer. Opt. Express, 29(10): 15104–15113, 2021.  
[3] G. Verschaffel, G. Van der Sande, J. Danckaert, B. Ségard, P. Glorieux, and T. Erneux. Phys. Rev. A, 77(6): 063801, 2008.  
[4] H. Chen, S. Zhang, and Y. Tan. 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] M. Arzakantsyan, thèse de doct., Ecole Polytechnique X, 2013.  
[7] S. Slimi, V. Jambunathan, M. Pan, Y. Wang, W. Chen, P. Loiko, R. M. Solé, M. Aguiló, F. Díaz, M. Smrz, et al. Applied Physics B, 129(4): 57, 2023.  
[8] J. Ueda. Journal of the Ceramic Society of Japan, vol. 123, no. 1444, p. 10591064, 2015.  
[9] V. Petit, P. Camy, J.-L. Doualan, X. Portier, and R. Moncorge. Physical Review B, 78(8): 085131, 2008.  
[10] T. Chartier, F. Sanchez, and G. Stéphan. Appl. Phys. B, 70(1): 23–31, 2000.  
[11] J. Lacot, E. Stoeckel, F. JOSA B, 1996 Sep 1:13(9):2034-40.  
[12] M. Brunel, A. Amon, and M. Vallet. Opt. Lett., 30(18): 2418–2420, 2005.  
[13] 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

OPTIQUE Normandie 2024  
(01-05)/07/2024