



**HAL**  
open science

# ÉMISSION DE DEUX PEIGNES DE FRÉQUENCES, SYNCHRONES OU ASYNCHRONES, PAR UN LASER YB:YAG

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Goulc'Hen Loas, Marc Vallet, Marc Brunel

► **To cite this version:**

Gaedze Kudjo Herman Akagla, Goulc'Hen Loas, Marc Vallet, Marc Brunel. ÉMISSION DE DEUX PEIGNES DE FRÉQUENCES, SYNCHRONES OU ASYNCHRONES, PAR UN LASER YB:YAG. OPTIQUE Normandie 2024, Société Française d'Optique, Jul 2024, ROUEN, France. hal-04645528

**HAL Id: hal-04645528**

**<https://hal.science/hal-04645528>**

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

Herman Akagla, Goulc'hen Loas , Marc Vallet et Marc Brunel

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

herman.akagla@univ-rennes.fr

## RÉSUMÉ

L'émission de doubles peignes de fréquences est observée dans un laser Yb:YAG à verrouillage de modes. Pour une cavité à un axe, les deux trains d'impulsion sont synchrones, conduisant à des séquences de polarisation contrôlables. L'ajout d'un cristal biréfringent intracavité permet d'obtenir deux peignes de taux de répétition distincts.

**MOTS-CLEFS :** *polarisation ; laser mode-lock ; ytterbium*

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.

La première architecture étudiée est décrite sur la Fig.1(a). La cavité contient un cristal Yb:YAG de 2 mm d'épaisseur (taillé  $\langle 111 \rangle$ , dopé à 5%) pompé à 940 nm par un laser Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, et deux lames quart d'ondes (Q<sub>1</sub> et Q<sub>2</sub>). Le miroir de pompe M<sub>1</sub> est dichroïque (HR à 1030 nm, HT à 940 nm). Le coupleur de sortie est un miroir semi-conducteur à absorbant saturable (SESAM) ayant une profondeur de modulation de 1,2 %, un temps de relaxation de 1 ps, un taux de perte non saturable de 0,8 % et une transmission de 3 %. Deux lentilles assurent la focalisation dans le milieu actif et dans le SESAM, où le waist est de 20 µm. La conception de la cavité tient compte de la lentille thermique dans le cristal Yb:YAG, induite par le faisceau de pompe de 2,8 W. Les deux peignes de fréquences synchrones émettent simultanément à 1030 nm, avec une durée d'impulsion de 2 ps, une puissance de 90 mW et une fréquence de répétition de 164 MHz.

Étant donné que toutes les interfaces intracavité sont orientées sous incidence normale, les états propres de polarisations des deux peignes sont définis par les lames quart d'ondes Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> et la biréfringence résiduelle du milieu actif Yb:YAG. Les axes neutres de Q<sub>1</sub> sont alignés sur la biréfringence résiduelle du milieu actif. Les axes neutres de Q<sub>2</sub> sont tournés d'un angle  $\alpha$  par rapport aux axes de Q<sub>1</sub>. Les états propres sont déterminés à partir de la condition de résonance basée sur le formalisme de Jones sur un aller-retour de cavité [1]. Ils sont polarisés linéairement dans le milieu actif à 45° des axes, polarisés hélicoïdalement à droite et à gauche entre Q<sub>1</sub> et Q<sub>2</sub> et polarisés linéairement à 45° des axes de Q<sub>2</sub> en sortie du laser. Le laser oscille sur deux peignes de fréquence associés aux deux états propres de polarisations et le train d'impulsions en sortie est constitué d'une séquence de polarisation contrôlable. Ces deux peignes sont décalés de  $\delta\nu = \frac{2\alpha}{\pi} \times \frac{c}{2L}$  l'un par rapport à l'autre, ce qui entraîne des séquences de polarisation dans le train d'impulsions comme décrites dans [1]. Si  $\delta\nu$  est dans la plage d'accrochage, soit  $f_{rep}/2 \pm 25$  kHz, les deux peignes se verrouillent (voir Fig.1(b)). Ce verrouillage est confirmé par l'observation d'un spectre RF stable de périodicité  $f_{rep}/2$  sur une plage de 2 GHz (voir Fig.1(c)). Notons que dans ce cas, les deux peignes de polarisations orthogonales partagent la même fréquence de répétition à 164 MHz alors que leurs fréquences optiques sont décalées de  $\delta\nu$ .

Afin d'obtenir deux peignes asynchrones, en vue par exemple d'application à la spectroscopie "dual-comb", nous introduisons dans la cavité un cristal de YVO<sub>4</sub> à double réfraction (épaisseur 5 mm). Ainsi, en séparant spatialement de 0,5 mm sur le SESAM les deux faisceaux polarisés orthogonalement,

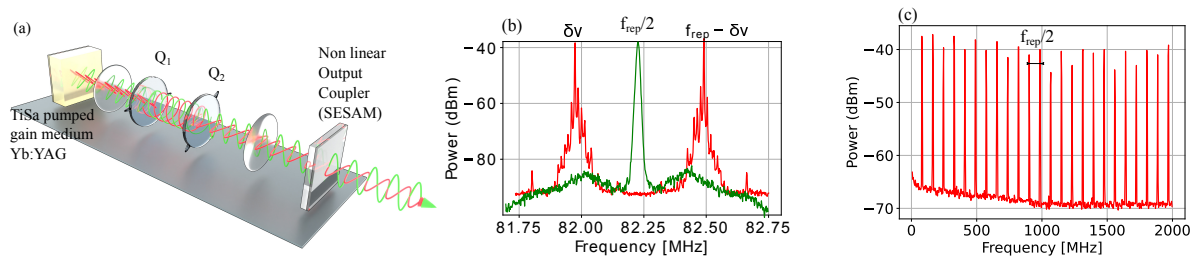


FIGURE 1 – (a) Schéma du laser Yb:YAG à verrouillage de modes. (b) Spectre du battement autour de  $f_{rep}/2$  : l'écart fréquentiel  $\delta\nu$  est en dehors de la plage d'accrochage (en rouge) ou dans la plage d'accrochage (en vert). (c) Périodicité du spectre sur une fenêtre de 2 GHz lorsque  $\delta\nu = f_{rep}/2$  dans la plage d'accrochage.

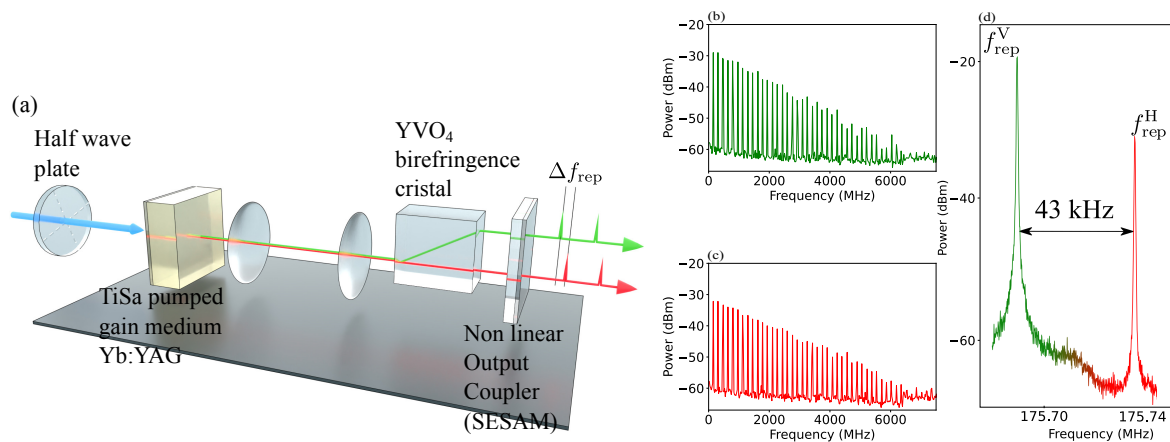


FIGURE 2 – (a) Schéma du laser à deux peignes asynchrones. (b) et (c) Spectres RF pour chaque polarisation (span 7 GHz). (d) Zoom sur la première harmonique des spectres RF (b) et (c).

les deux peignes oscillent simultanément mais avec des fréquences de répétition différentes, comme le montre la Fig.2. Les fréquences de répétition sont alors voisines de 175 MHz mais avec un décalage de 43 kHz. De plus, nous vérifions que ce décalage est continûment ajustable (jusqu'à 110 kHz) par une légère rotation du cristal biréfringent. Notons également que les puissances relatives des deux peignes peuvent être équilibrées en choisissant la direction de polarisation de la pompe [4].

Les travaux en cours visent à étendre l'accordabilité de la différence des taux de répétition en utilisant un cristal électro-optique intracavité. Les deux architectures de cavité laser pourraient également être appliquées à d'autres milieux actifs isotropes tels que Yb:CaF<sub>2</sub>, Yb:Na:CNGG ou encore Yb:Lu:YAG par exemple.

## RÉFÉRENCES

- [1] J. Thévenin, M. Vallet, and M. Brunel. Dual-polarization mode-locked Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 37(14):2859–2861, 2012.
- [2] 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.
- [3] N. Modsching, 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.
- [4] H. Akagla, N. Chapron, G. Loas, M. Vallet, and M. Brunel. Control of the bipolarization emission of an Yb:YAG laser by the orientation of the pump polarization. *Optics Letters*, 48(3):700–703, 2023.