



**HAL**  
open science

## **PISTIL, moyen de métrologie pour l'évaluation des lasers à combinaison cohérente**

Cindy Bellanger, Bastien Rouzé, Thomas Rousseaux, Ihsan Fsaifes,  
Jean-Christophe Chanteloup, J Primot, Jérôme Primot

► **To cite this version:**

Cindy Bellanger, Bastien Rouzé, Thomas Rousseaux, Ihsan Fsaifes, Jean-Christophe Chanteloup, et al.. PISTIL, moyen de métrologie pour l'évaluation des lasers à combinaison cohérente. SFO Optique 2022, Jul 2022, Nice, France. hal-03820527

**HAL Id: hal-03820527**

**<https://hal.science/hal-03820527>**

Submitted on 19 Oct 2022

**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.

# PISTIL, moyen de métrologie pour l'évaluation des lasers à combinaison cohérente

C. Bellanger<sup>1</sup>, B. Rouzé<sup>1</sup>, T. Rousseaux<sup>1</sup>, I. Fsaïfes<sup>2</sup>, J.C. Chanteloup<sup>2</sup>, J. Primot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DOTA, ONERA, Université Paris-Saclay, 91123 Palaiseau, France

<sup>2</sup> LULI, CNRS, Ecole Polytechnique, CEA, Sorbonne Université, Institut Polytechnique de Paris–91120 Palaiseau, France

cindy.bellanger@onera.fr

## RESUME

PISTIL est un moyen de métrologie interférométrique dédié à l'analyse des surfaces d'onde segmentées régulières. Sa facilité de mise en œuvre et la qualité de ses mesures en font un analyseur idéal et indépendant pour le diagnostic de la mise en phase des lasers à combinaison cohérente. Les résultats présentés ici ont été obtenus sur le laser XCAN, laser digital composé de 61 fibres laser CBC.

**MOTS-CLEFS :** *Interférométrie, Combinaison cohérente, Métrologie*

## 1. INTRODUCTION

Aujourd'hui plus que jamais, il y a besoin dans le monde de la recherche comme celui de l'industrie de développer de nouvelles sources laser haute-puissances crête et moyenne, agiles, possédant un rendement à la prise optimisé. Pour répondre à cette demande, la combinaison cohérente de sources laser fibrées et amplifiées (CBC pour Coherent Beam Combining) se présente comme une des solutions privilégiées. Cette technique consiste à faire coopérer plusieurs faisceaux lasers élémentaires placés côte à côte, de façon à réaliser une source combinée haute puissance / énergie, en limitant la charge thermique des éléments optiques (optomécaniques, optoélectroniques) et les effets non linéaires. Pour réaliser une telle combinaison, il est nécessaire de caractériser puis d'asservir si besoin l'alignement et la phase de chacun des lasers élémentaires qui la compose. Pour cela, des boucles de contrôle-commande à l'état de l'art sont mises en place [1-2]. Outre l'accès aux très grandes puissances / énergies, les nouvelles recherches s'orientent vers un nombre toujours croissant de sources élémentaires (avec un record à plus 100 en 2020 [3]). L'objectif, à terme, est de développer des sources agiles dont le champ combiné est modifiable à souhait (laser digital), ce qui présente déjà un intérêt au niveau de la recherche scientifique (pièges optiques) et de l'industrie (découpe laser).

La CBC entre actuellement dans une nouvelle étape de son existence : la technologie se voit être transférée des laboratoires vers des acteurs industriels. La question de la précision, de la fiabilité et de la robustesse de ces lasers est au centre des préoccupations.

L'objet de ce papier est l'application de l'interférométrie PISTIL pour le diagnostic de la mise en phase de ce type de laser intense. Les résultats présentés ici ont été obtenus sur le laser XCAN, laser digital fibré à combinaison cohérente opérant en régime femtoseconde, développé dans le cadre d'un programme de recherches Ecole polytechnique/Thales. [4].

## 2. L'INTERFEROMETRIE PISTIL

L'interférométrie PISTIL (PISTon et TILts) [5] est un dérivé de la famille des interféromètres à décalage latéral adapté à l'analyse des surfaces d'ondes segmentées régulières comme peut l'être la sortie de la tête optique des lasers CBC en champ proche. Elle consiste à comparer, en une seule mesure, la phase de chaque laser élémentaire, assimilée à une onde plane, avec celle de ses voisins directs pour en extraire les informations de piston et de tilt relatifs. Pour cela, on utilise un réseau de diffraction bi-dimensionnel assorti à un masque de trous qui permettent, ensemble, de créer des petits réseaux de franges à deux ondes indépendants représentatifs de la différence de phase entre deux faisceaux lasers voisins. La figure d'interférence globale obtenue (Fig1, gauche), acquise sur un

détecteur matriciel, est ensuite analysée pour quantifier collectivement et de façon rapide, précise et robuste les relations de phase entre les fibres [6].

### 3. APPLICATION AU LASER XCAN

Après une étape de qualification au laboratoire de l'analyseur, PISTIL a été installé sur une voie de mesure annexe en champ proche sur le laser XCAN. L'exploitation des données permet un suivi temporel de l'intensité et de la phase des fibres, tant en boucle fermée (phase asservie) qu'en boucle ouverte (phase libre), comme illustré sur la Fig1 à droite, avec une précision de mesure en phase de l'ordre de  $\lambda/100$ . Une analyse fréquentielle par fibre ou par paquets de fibres est alors menée de façon à déterminer les fréquences caractéristiques du bruit de phase et/ou déceler les comportements anormaux ou erratiques impactant l'efficacité de combinaison cohérente.

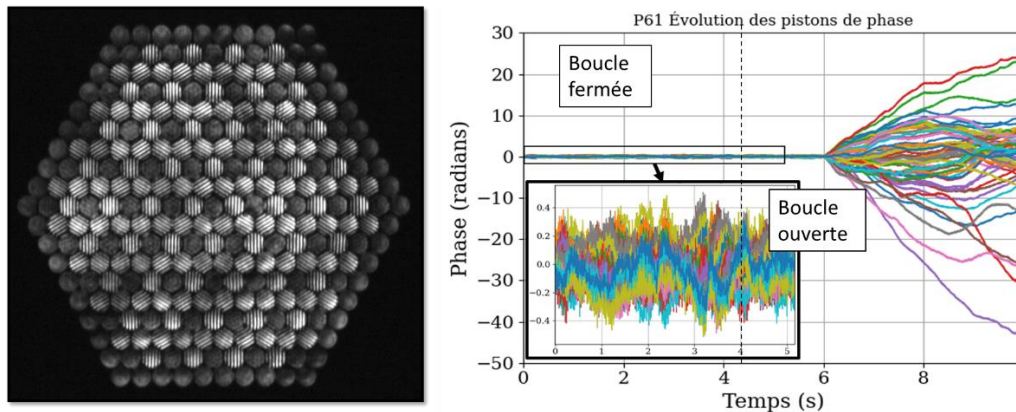


Figure 1 - A gauche : Figure d'interférences acquise par PISTIL sur le laser XCAN ;  
A droite : Exemple de suivi temporel de la phase des fibres avec et sans asservissement.

### CONCLUSION

PISTIL permet un diagnostic précis pour les différentes phases de la vie du laser, depuis la spécification de l'asservissement des phases par l'étude du comportement des fibres en régime libre, jusqu'à la qualification métrologique de la qualité du cophasage atteinte en boucle fermée. Les analyses produites permettent d'avancer les éléments nécessaires à l'évolution de l'architecture du laser, tant dans une logique d'évolution que dans celle du maintien en conditions opérationnelles.

### FINANCEMENT

Ce travail a bénéficié d'une aide Investissements d'Avenir du LabEx PALM (ANR-10-LABX-0039-PALM).

### REFERENCES

1. G. A. Mourou, D. Hulin, and A. Galvanauskas, "The road to high peak power and high average power lasers: Coherent amplification network (can)," AIP Conference Proceedings 827(1), 152-163 (2006)
2. Z. Liu, X. Jin, R. Su, P. Ma, P. Zhou, Development status of high power fiber lasers and their coherent beam combination, in Journal of Science China Information Sciences, Volume 62, Issue 4, Pages 041301- (2019).
3. H. Chang, Q. Chang, J. Xi, T. Hou, R. Su, Pengfei Ma, J. Wu, C. Li, M. Jiang, Y. Ma, and P. Zhou, "First experimental demonstration of coherent beam combining of more than 100 beams," Photon. Res. 8, 1943-1948 (2020).
4. I. Fsaifes, L. Daniault, S. Bellanger, M. Veinhard, J. Bourderionnet, C. Larat, E. Lallier, E. Durand, A. Brignon, and JC. Chanteloup, "Coherent beam combining of 61 femtosecond fiber amplifiers," Opt. Express 28, 20152-20161 (2020).
5. M. Deprez, C. Bellanger, L. Lombard, B. Wattellier, and J. Primot, "Piston and tilt interferometry for segmented wavefront sensing", Opt. Lett 41(6), 1078-1081, 2016.
6. B. Rouze, J. Primot, P. Lanzoni, F. Zamkotsian, F. Tache, C. Bellanger, "High-dynamic range segmented mirror metrology by two-wavelength PISTIL interferometry: demonstration and performance," Opt. Express 28, 32415-32425 (2020)