

COMBINAISON COHERENTE DE DIODES LASER MISES EN PHASE PAR UNE CAVITE EXTERNE DE TYPE MICHELSON

G. Schimmel¹, I. Doyen¹, L. P. Ramirez¹, S. Janicot¹, M. Hanna¹, P. Georges¹, G. Lucas-Leclin¹, V. Vilokkinen², P. Melanen², P. Uusimaa², J. Decker³, P. Crump³, G. Erbert³

1. Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Univ Paris-Sud 11, Palaiseau, France

2. Modulight, Hermiankatu 22, FI-33720 Tampere, Finland

3. Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, 12489 Berlin, Germany

guillaume.schimmel@institutoptique.fr

RÉSUMÉ

Nous décrivons une nouvelle architecture de combinaison cohérente de diodes laser, basée sur la mise en phase passive de deux émetteurs à l'aide d'une cavité externe de type Michelson sur la face arrière et leur superposition cohérente sur la face avant. Deux lasers à section droite ont été combinés avec plus de 90% d'efficacité. Cette architecture est ensuite étendue à deux lasers à profil évasé démontrant une puissance optique combinée de 6 W dans un faisceau proche de la limite de diffraction.

MOTS-CLEFS : *combinaison cohérente ; mise en phase ; diode laser ; cavité externe*

1. INTRODUCTION

La combinaison cohérente est une technique performante pour l'amélioration de brillance des barrettes de diodes laser [1]. Nous étudions ici une nouvelle architecture basée sur l'utilisation d'une cavité externe commune, construite sur la face arrière des lasers afin d'assurer la cohérence de ces derniers, alors que la superposition cohérente des faisceaux est accomplie en face avant. Cette technique permet la séparation des deux étapes nécessaires à la combinaison cohérente de lasers : la mise en phase intra-cavité et la superposition cohérente hors-cavité. De cette manière, l'efficacité électrique-optique du dispositif est augmentée en comparaison des techniques traditionnelles de combinaison cohérente passive basées sur une cavité externe en face avant [2]. En effet ces architectures en face avant nécessitent un coupleur de sortie commun aux émetteurs dont la réflectivité doit être suffisante pour forcer la mise en phase –généralement de l'ordre de 30%. En plaçant la cavité commune en face arrière, il est alors possible de limiter la réflectivité en face avant à seulement quelques pourcents – les pertes sur la sortie utile sont ainsi diminuées. Nous proposons ici l'évaluation de cette nouvelle architecture avec premièrement deux lasers à section droite monomode transverse, puis avec deux lasers à section évasée de forte luminance.

2. DESCRIPTION DE L'ARCHITECTURE

Nous avons mis en œuvre une architecture de cavité externe sur la face arrière adaptée à la mise en phase passive de deux émetteurs, dans une configuration de type Michelson. La cavité externe est basée sur un interféromètre de Michelson, composé d'une lame séparatrice 50/50 et fermé par un réseau de diffraction en configuration de Littrow (figure 1) – ce réseau peut aussi être remplacé par un simple miroir haute réflexion. Les deux émetteurs subissent alors un minimum de pertes intra-cavité à condition que leurs faisceaux soient en phase au niveau de la lame séparatrice, provoquant ainsi des interférences constructives sur le bras commun P et des interférences destructives sur la voie de pertes L. De cette manière, la cavité privilégie la mise en phase des émetteurs de façon passive. Afin d'assurer un fonctionnement laser sur la cavité externe, les émetteurs doivent être traités antireflets sur leur face arrière, la réflectivité en face avant est de quelques pourcents.

Une configuration similaire est implantée en face avant avec une lame séparatrice pour la superposition cohérente des faisceaux. Une lame de phase est ajoutée sur un bras afin d'ajuster la relation de phase entre les deux faisceaux au niveau de la lame séparatrice. Par rotation de cette

dernière, il est alors possible de maximiser la puissance optique sur le bras P' avec des interférences constructives maximales entre les deux faisceaux laser.

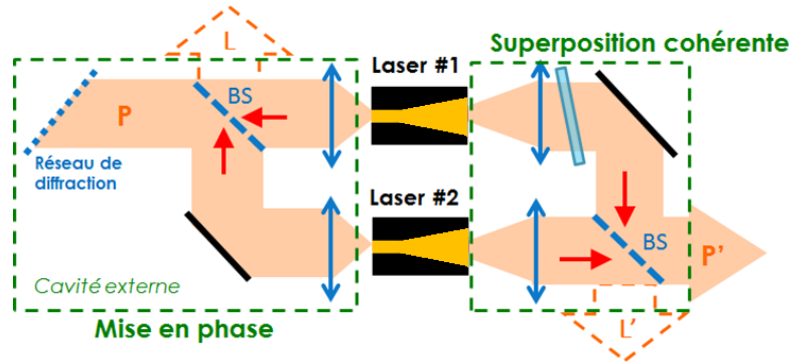


Fig. 1 : Montage expérimental de la mise en phase et de la superposition cohérente de deux lasers ; BS : lame séparatrice 50/50 ; L,L' : voies de pertes. Les émetteurs à section évasée sont ici schématisés.

3. ÉVALUATION DE LA COMBINAISON COHERENTE AVEC DEUX TYPES DE DIODES LASER

Comme démonstration de principe, l'expérience a d'abord été réalisée avec deux lasers à section droite (*ridge*) émettant à $\lambda = 950$ nm [3], développés par Modulight. L'expérience a ensuite été menée avec deux lasers à section évasée à forte luminance ($M^2 < 1.3 \times 2.5$) émettant à $\lambda = 976$ nm [4] fournis par le Ferdinand Braun Institut, pour lesquels une cavité commune en face arrière devient encore plus intéressante, étant donné que ce type de lasers ne tolère pas de retours optiques forts en face avant.

Avec ces deux types de lasers, un fonctionnement de mise en phase passive par la cavité a été observé. L'efficacité de mise en phase, mesurée comme le rapport de la puissance intra-cavité (voie P) sur la puissance totale (voie P et L), est alors limitée par les différences résiduelles entre les profils de faisceaux et atteint 97 % avec les lasers à section droite. Une puissance optique combinée en face avant de 180 mW a été atteinte avec ces mêmes lasers pour des courants d'injection de l'ordre de 170 mA sur chaque émetteur, représentant ainsi une efficacité de combinaison $\eta_{Pr} = \frac{P_{P'}}{P_{tot}} = 93$ %.

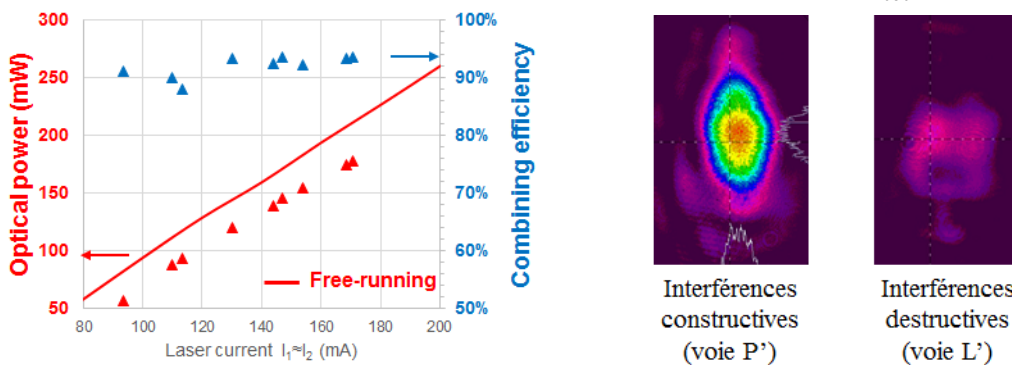


Fig. 2 : (gauche) Puissance optique combinée en face avant voie P' (triangles rouges) et efficacité de combinaison correspondante (triangles bleus) en fonction du courant d'alimentation des deux lasers *ridges*. La courbe rouge correspond à la somme des puissances optiques extraites de chaque laser indépendamment. (droite) Profil de faisceau combiné et de la voie de perte pour les émetteurs à section évasée.

La puissance optique combinée pour les deux émetteurs à section évasée atteint 6,5 W pour une puissance totale extraite de 8 W des deux émetteurs, ce qui représente 80 % d'efficacité de combinaison pour des courants d'injection de 6 A. Le degré de cohérence mutuelle entre les deux émetteurs, déduit du contraste de la figure d'interférences en face avant, est expérimentalement supérieur à 95 %, ce qui indique que les pertes résiduelles sur l'efficacité de combinaison proviennent

majoritairement de différences locales de front d'onde et de front d'intensité. Le profil du faisceau combiné voie P' visible sur la figure 2 (droite).

Dans les conditions environnementales normales du laboratoire, on observe que la puissance optique combinée reste stable durant quelques minutes tout au plus. Ainsi pour maximiser l'efficacité de combinaison à long terme, une technique de stabilisation électronique semi-active a été mise en œuvre. La puissance optique sur la voie de pertes L' en face avant est mesurée à une fréquence de 10 Hz via une photodiode ; en cas de modification importante de ce signal, les courants d'injection de chaque laser sont aléatoirement modifiés pour explorer de nouveaux points de fonctionnement afin de minimiser L' – d'où le caractère semi-actif de la rétroaction. L'algorithme de correction n'est pas une optimisation des courants – comme ce qui est généralement fait dans les configurations MOPA [5], mais simplement une exploration aléatoire des courants afin de minimiser les pertes en face avant. Cette correction électronique complète ainsi sur le long terme la mise en phase passive assurée par la cavité (voir figure 3). L'efficacité de combinaison est maintenue supérieure à 90 % pour les émetteurs à section droite durant 20 minutes, et à plus de 75 % pour les émetteurs à section évasée durant 10 minutes – la différence de comportement semble être due à des dérives thermiques plus importantes pour ces derniers.

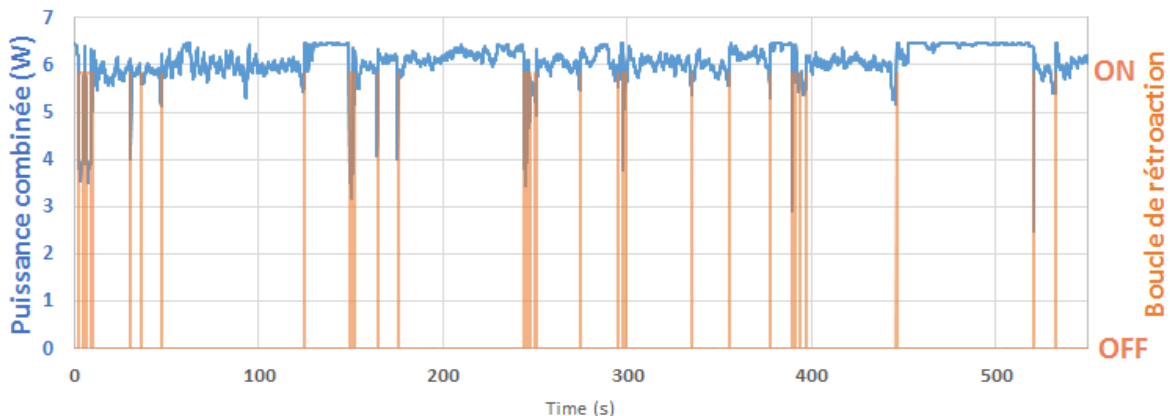


Fig. 3 : Puissance optique combinée (courbe bleue) avec deux émetteurs à section évasée et fonctionnement de la boucle de rétroaction (courbe orange, ON/OFF) en fonction du temps, pour des courants de 6A.

CONCLUSION

Nous avons proposé une architecture innovante conçue pour la combinaison cohérente de diodes laser de haute brillance dans laquelle les étapes de mise en phase et de superposition cohérente sont séparées. Une étude approfondie a été menée avec des lasers à section droite, et une puissance combinée supérieure à 6 W a été atteinte avec deux lasers à section évasée, démontrant les capacités de haute puissance d'une telle architecture.

Ce travail a été financé en partie par la Commission Européenne à travers le projet BRIDLE (7th FP, 314719).

REFERENCES

- [1] Fan, T.Y., "Laser beam combining for high-power, high-radiance sources", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 11 (3), 567-577, 2005.
- [2] Corcoran, C. J. and Durville, F., "Passive coherent combination of a diode laser array with 35 elements", Optics Express 22 (7), 8420 – 8425 (2014)
- [3] Larkins, E.C., Bull, S., Kaunga-Nyirenda, S.N., Helal, M.A., Vilokkinen, V., Uusimaa, P., Crump, P. and Erbert, G., "Design Optimisation of High-Brightness Laser Diodes for External Cavity Operation in the BRIDLE Project," 24th IEEE Semiconductor Laser Conference (Palma de Mallorca, 7 September 2014).
- [4] H. Wenzel et al, Electron. Lett., vol. 43, no. 3, pp. 160–161, 2007.
- [5] Redmond, S. M., Creedon, K. J., Kansky, J. E., Augst, S. J., Missaggia, L. J., Connors, M. K., Huang, R. K., Chann, B., Fan, T. Y., Turner, G. W. and Sanchez-Rubio, A., "Active coherent beam combining of diode lasers", Optics Letters 36 (6), 999-1001 (2011)