

**LASER A SEMICONDUCTEUR A 852 NM
BIFREQUENCE POMPE OPTIQUEMENT POUR
LES HORLOGES ATOMIQUES CPT**

Paul Dumont, J.-M Danet, D Holleville, S Guerandel, G Baili, L Morvan, G
Pillet, D Dolfi, I Gozhyk, G Beaudoin, et al.

► **To cite this version:**

Paul Dumont, J.-M Danet, D Holleville, S Guerandel, G Baili, et al.. LASER A SEMICONDUCTEUR A 852 NM BIFREQUENCE POMPE OPTIQUEMENT POUR LES HORLOGES ATOMIQUES CPT. Horizons de l'Optique, Jul 2015, Rennes, France. <hal-01256970>

HAL Id: hal-01256970

<https://hal-iogs.archives-ouvertes.fr/hal-01256970>

Submitted on 15 Jan 2016

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.

LASER A SEMICONDUCTEUR A 852 NM BIFREQUENCE POMPE OPTIQUEMENT POUR LES HORLOGES ATOMIQUES CPT

**P. Dumont¹, J.-M. Danet², D. Holleville², S. Guerandel², G. Baili³, L. Morvan³, G. Pillet³,
D. Dolfi³, I. Gozhyk^{1,4}, G. Beaudoin⁴, I. Sagnes⁴, P. Georges¹, G. Lucas-Leclin¹**

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

²LNE-SYRTE, Observatoire de Paris, CNRS, UPMC, Paris, France

³Thales Research & Technology, Palaiseau, France

⁴Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS UPR20, Marcoussis, France

paul.dumont@institutoptique.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons un laser à semiconducteur en cavité externe pompé optiquement, émettant sur deux fréquences optiques polarisées perpendiculairement, destiné au piégeage cohérent d'atomes (CPT) de Cs. L'émission est accordable autour de 852 nm. La différence de fréquence est ajustée grâce à une lame électro-optique autour de 9,2 GHz. La longueur d'onde du mode ordinaire est stabilisée sur la raie D₂ du Cs et la différence de fréquence est asservie sur un signal de référence RF. En fonctionnement stabilisé, nous caractérisons les sources de bruits du laser afin d'évaluer les performances du laser en vue de son application dans une horloge atomique CPT.

MOTS-CLEFS : *Laser bifréquence ; VECSEL ; Horloges atomiques ; CPT*

1. INTRODUCTION

Le piégeage cohérent de population (CPT) est d'un grand intérêt pour la réalisation d'horloges atomiques compactes [1]. Cette technique repose sur une interrogation optique de la transition micro-onde de la structure hyperfine de l'état fondamental de l'atome par excitation sur un niveau excité commun. Pour les horloges à Cs, elle nécessite l'utilisation de deux faisceaux laser en phase, à 852 ou 894 nm, et dont la différence de fréquence est réglable à 9,2 GHz. Une solution pour obtenir ces faisceaux laser à faible bruit d'intensité et de fréquence, consiste à réaliser un laser à semiconducteur à émission par la surface en cavité externe (VECSEL) produisant une émission bifréquence [2]. Nous évaluons ici un VECSEL pompé optiquement, émettant simultanément deux modes longitudinaux polarisés perpendiculairement autour de 852 nm dont l'écart de fréquence est réglable dans le domaine GHz [3]. Les niveaux de bruit de cette source ont été caractérisés afin d'établir les performances attendues pour l'horloge CPT.

2. DESCRIPTION DE LA SOURCE LASER

La cavité laser est constituée d'une structure active semiconductrice et d'un miroir de sortie monté sur une céramique piézo-électrique. La structure semiconductrice est composée d'un miroir de Bragg hautement réfléchissant à 852 nm et du milieu à gain formé de 7 puits quantiques [3]. La cavité laser, longue de 10 mm assure un intervalle spectral libre d'environ 12 GHz supérieur à la différence de fréquence $\Delta\nu_0 = 9,2$ GHz visée. La source de pompage est une diode laser fibrée émettant une puissance de 1 W à 670 nm. L'émission bipolarisée est obtenue grâce à une lame biréfringente de vanadate d'yttrium (YVO₄) qui induit une séparation spatiale des deux faisceaux de polarisations croisées de 50 μm sur la structure. Les deux faisceaux partagent la même cavité laser, et sont ainsi soumis aux mêmes fluctuations thermiques et mécaniques. Un étalon Fabry-Perot (FP) en silice impose un fonctionnement laser monofréquence sur chaque polarisation. L'écart de fréquence entre les deux faisceaux polarisés $\Delta\nu$ dépend de l'intervalle spectral libre de la cavité et de la biréfringence de la cavité [3]. Cette dernière est contrôlée grâce à un modulateur électro-optique (EO), par la température ou la tension appliquée à celui-ci.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET CONCLUSION

En fonctionnement bifréquence, la puissance émise est de 8 mW à 852 nm par polarisation. La température de l'EO permet de régler grossièrement la différence entre les fréquences optiques $\Delta\nu$ de ~ 1 GHz/K. En modifiant ces paramètres, nous avons observé une accordabilité continue de $\Delta\nu$ sur une bande de ~ 1 GHz. Un montage d'absorption saturée du césium est utilisé pour verrouiller la longueur d'onde du mode polarisé ordinairement sur la raie D_2 par rétroaction sur la céramique piézo-électrique, tandis que $\Delta\nu$ est asservie sur un oscillateur radiofréquence par une boucle à verrouillage de phase (OPLL) avec rétroaction sur la tension appliquée à l'EO (Fig 1 (a)).

La caractérisation des bruits du laser (intensité et fréquence) permet d'évaluer l'impact de ces bruits sur la stabilité court-terme de l'horloge. Le bruit d'intensité relatif (*RIN*) du laser, sur chaque polarisation, atteint -115 dB/Hz sur la gamme de fréquences 10 Hz - 100 kHz et est limité par le transfert de celui de la diode de pompe. La mesure de la corrélation des bruits d'intensité montre un fonctionnement anti-corrélé en dessous de 2 MHz puis corrélé au-delà, un comportement qui est l'analogie des oscillateurs mécaniques fortement couplés [2]. Le bruit de fréquence optique est limité par des vibrations mécaniques de la cavité en dessous de 1,5 kHz et par les fluctuations thermiques induites par la diode de pompe au-delà. En fonctionnement asservi le bruit de phase résiduel du battement, mesuré par mixage du signal de battement avec le signal du même oscillateur servant à l'asservissement, est réduit à un niveau inférieur à -90 dBrad²/Hz sur la plage 100 Hz – 10 MHz [3].

Le *RIN* du VECSEL bifréquence s'avère être aujourd'hui le paramètre limitant les performances de l'horloge à un niveau de stabilité de $1,6 \times 10^{-12}$ à une seconde (écart-type d'Allan). Cette limite peut être dépassée par une rétroaction sur la puissance laser et la normalisation en intensité du signal CPT [3], [4], qui permet d'envisager une stabilité d'horloge de 3×10^{-13} à une seconde correspondant à l'état de l'art des horloges atomiques CPT [4].

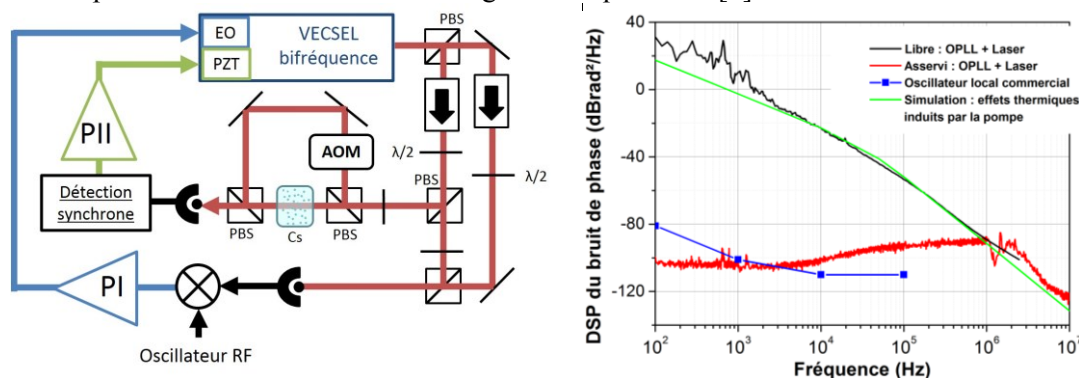


Fig. 1 : (a) Montage expérimental de stabilisation du laser bifréquence. PBS : Cube polariseur ; PI : Correcteur proportionnel intégral ; PII : Correcteur proportionnel double intégrateur. (b) Bruit de phase résiduel du battement RF.

Remerciements : Les auteurs remercient la Direction Générale de l'Armement, le Labex FISRT-TF et le réseau RENATECH pour leur soutien financier à ce projet.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Vanier, "Atomic clocks based on coherent population trapping: a review," *Appl. Phys. B*, vol. 81, no. 4, pp. 421–442, Jul. 2005.
- [2] S. De, V. Pal, a El Amili, G. Pillet, G. Baili, M. Alouini, I. Sagnes, R. Ghosh, and F. Bretenaker, "Intensity noise correlations in a two-frequency VECSEL.," *Opt. Express*, vol. 21, no. 3, pp. 2538–50, Feb. 2013.
- [3] P. Dumont, F. Camargo, J. Danet, D. Holleville, S. Guérandel, G. Baili, L. Morvan, D. Dolfi, I. Gozhyk, G. Beaudoin, I. Sagnes, P. Georges, and G. Lucas-leclin, "Low-noise dual-frequency laser for compact Cs atomic clocks," *J. Light. Technol.*, vol. 32, no. 20, pp. 3817–3823, 2014.
- [4] J. Danet, O. Koslova, P. Yun, S. Guérandel, and E. de Clercq, "Compact atomic clock prototype based on coherent population trapping," *Eur. Phys. Journal, Web Conf.*, 2014.