

# ANALYSE DE L'INJECTION OPTIQUE POUR LA REDUCTION DU BRUIT DES LASERS A VERROUILLAGES DE MODES ACTIF HARMONIQUE

Vincent Billault<sup>1</sup>, Vincent Crozatier<sup>1</sup>, Ghaya Baili<sup>1</sup>, Pascale Nouchi<sup>1</sup>, Daniel Dolfi<sup>1</sup>, Hugues Guillet de Chatellus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Thales Research and Tehnology, 1 Avenue Augustin Fresnel, 91120 Palaiseau, France

<sup>2</sup> Université Grenoble Alpes, CNRS, LIPhy, 38000 Grenoble France

[vincent.billault@thalesgroup.com](mailto:vincent.billault@thalesgroup.com)

## RÉSUMÉ

Nous présentons ici une étude paramétrique d'un laser à verrouillage de modes actif et harmonique injectée par une source optique CW pour la réduction de sa gigue temporelle. Les résultats montrent que la réduction de la gigue temporelle est limitée par la saturation du gain optique et s'accompagne d'une augmentation du RIN aux basses fréquences.

**MOTS-CLEFS :** *Optique radiofréquence; Laser à verrouillage de modes actif; Injection CW ; Gigue temporelle*

## 1. INTRODUCTION

Les lasers à verrouillage de modes actif et harmonique (AHMLLs) se sont révélées être des sources optiques très performantes pour les télécommunications, pour la conversion analogique numérique de signaux RF large bande assisté optiquement, ou encore pour les systèmes RADARs. En effet de tels lasers permettent de générer des trains d'impulsions à haute cadence de répétition, avec une très faible gigue temporelle [1]. Une étude a montré que l'injection optique de AHMLL par un laser CW était une façon intéressante de réduire le bruit des modes parasites aux harmoniques de l'intervalle spectral libre de la cavité qui sont une source importante de bruit résiduel du laser à haute fréquence [2]. Bien que beaucoup d'efforts aient été déployés pour stabiliser le laser d'injection sur un mode longitudinal de la cavité [3], aucune étude sur l'influence des paramètres du laser d'injection (puissance, RIN, etc) n'a été reportée. Ici nous présentons les premiers résultats d'une étude paramétrique de l'injection optique d'un AHMLL, pour comprendre l'évolution des performances du laser en fonction de la puissance d'injection et du gain optique.

## 2. PRESENTATION DU AHMLL

Le laser étudié (Fig.1(a)) est basé sur l'utilisation d'un amplificateur optique à semi-conducteur (SOA) à 780 nm, inséré dans une cavité en anneau fibrée de quelques mètres de longueur. Une telle architecture, dans laquelle le temps de vie des photons est supérieur à celui de l'inversion de population, assure une oscillation faible bruit du laser dans une dynamique dite de « classe A ». L'intervalle spectral libre (ISL) d'une telle source est ici égal à 10 MHz. Pour assurer une fréquence de répétition multi-GHz, le fonctionnement impulsif est forcé à l'aide d'un modulateur Mach-Zehnder intra-cavité excité par un signal RF externe. C'est le régime de verrouillage actif de modes harmonique, où la fréquence de répétition est un multiple de l'ISL de la cavité. Enfin, un filtre optique limite la largeur de gain du SOA, pour assurer un fonctionnement stable et des impulsions de durée picoseconde. Ce dernier est également dispersif de manière à ce que la dispersion du laser après un tour soit positive, facilement compensable avec de la fibre monomode standard à 780 nm. Après compression, le laser délivre alors des impulsions de 4 ps typiquement, pour des fréquences de répétition fixée à 4 GHz, avec une puissance moyenne de 10 mW. Une mesure du bruit de phase du signal délivré après photo-détection montre que la gigue

ajoutée par le laser, par rapport à la source RF utilisée pour exciter le modulateur, est dominée par des remontées de bruit de phase aux fréquences harmoniques de l'ISL du laser (Fig.1b).

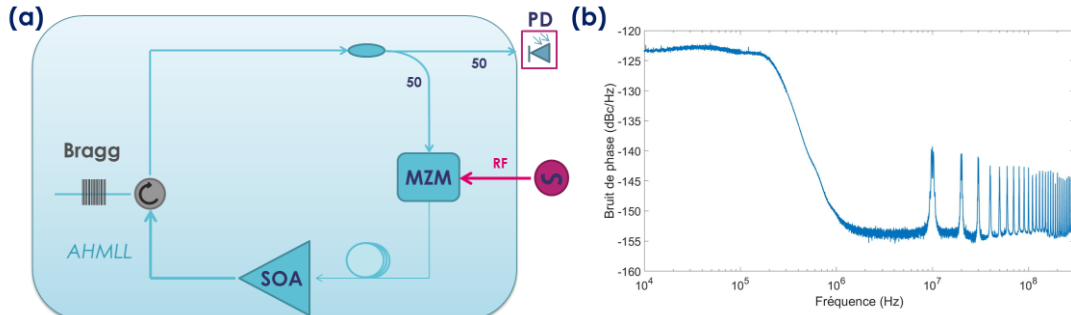


Fig. 1: (a) Schéma du AHMLL (b) Bruit de phase du train d'impulsion en sortie de photodiode.

### 3. ETUDE PARAMETRIQUE DE L'INJECTION OPTIQUE DU AHMLL

Le AHMLL (Fig1(a)) est injecté par un laser accordable fibré Koheras Adjustik à 1560 nm de grande stabilité. Le laser continu est doublé en fréquence par un cristal non linéaire, et verrouillé sur un mode longitudinal de la cavité par une boucle d'asservissement. La boucle d'asservissement comporte un oscillateur local, une détection synchrone et un sommateur. L'oscillateur local vient moduler à basse fréquence ( $\sim 1$  kHz) la fréquence du laser d'injection. En sortie de photodiode, la détection synchrone démodule le signal à la fréquence de modulation et génère un signal de correction. Celui-ci s'ajoute à la modulation par le sommateur pour que le laser d'injection suive les dérives en fréquence d'un mode optique du AHMLL. Ce système simple permet d'étudier de manière détaillée les propriétés du AHMLL injecté optiquement dans des conditions reproductibles. Nous avons ainsi effectué des mesures simultanées (bruit de phase du train d'impulsion, spectre optique, autocorrélation) en faisant varier la puissance d'injection et le gain du SOA.

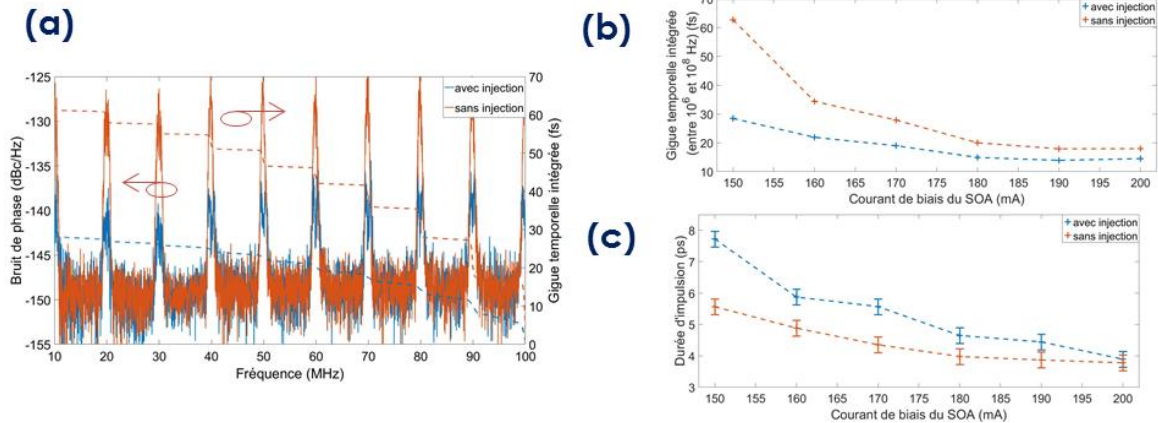


Fig. 2: (a) Mesure du bruit de phase du train d'impulsion avec et sans laser d'injection. (b) Gigue temporelle intégrée du train d'impulsion et (c) durée d'impulsion en fonction du courant d'injection du SOA avec et sans injection optique.

Comme la fréquence du laser d'injection est verrouillée sur un mode longitudinal de la cavité optique, un peigne de modes optiques espacé de la fréquence de l'oscillateur externe est généré et amplifié pour former une impulsion optique. A cause de la saturation du milieu à gain, les autres modes n'oscillent pas [2]. Cette saturation implique une réduction du bruit des modes parasites (Fig 2.a), mais aussi un spectre optique plus fin et une augmentation de la durée d'impulsion. Ces phénomènes sont cependant fortement dépendants du gain du SOA. En effet, quand on augmente le courant d'injection du SOA, on observe que l'injection optique réduit de moins en moins le bruit des es et donc la gigue temporelle du laser (Fig 2.b). De même, l'augmentation de la durée des

impulsions est de moins en moins importante avec l'augmentation du gain du SOA (Fig2.c).

#### 4. INFLUENCE DE L'INJECTION OPTIQUE SUR LE RIN DU AHMLL

Le bruit d'intensité relatif (RIN) d'un AHMLL se traduit par des fluctuations d'amplitudes du train d'impulsion optique généré. Pour les différentes applications visées, la réduction du RIN du AHMLL permet ainsi d'augmenter le rapport signal à bruit du signal utile. Pour caractériser l'influence de l'injection optique sur le RIN du AHMLL, on a évalué celui-ci dans trois situations : sans injection optique, avec injection du laser Koheras présenté en Fig.1, et avec injection du laser Koheras à travers un « noise-eater » (un SOA polarisé à fort courant avec un atténuateur variable pour effectuer des mesures à même puissance d'injection). Les spectres de bruit d'intensité mesurés dans les trois conditions sont présentés en Fig.3. Le plancher de mesure de l'appareil ainsi que le bruit de grenaille relatif au photocourant de la mesure est indiqué pour mettre en évidence les augmentations/réductions de RIN.

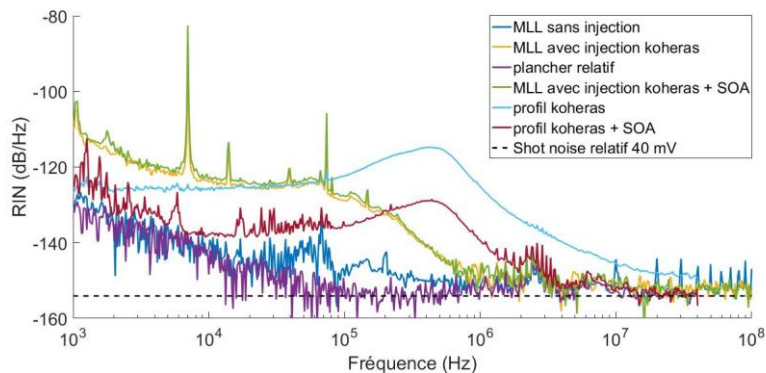


Fig. 3: RIN du AHMLL avec et sans injection optique (pour deux profils d'injection différents).

Sans injection optique, le RIN du AHMLL est plus faible que le plancher de mesure de l'appareil à basses fréquences, et plus bas que le bruit de grenaille relatif. Quand le laser d'injection est verrouillé sur un mode de la cavité, on constate une augmentation du RIN à basse fréquence. Cette augmentation ne dépend pas du profil de RIN du laser d'injection : le « noise-eater » permet de réduire le RIN du laser Koheras de 15 dB (à basse fréquence, le plancher de l'appareil ne permet pas de constater cette amélioration), mais on ne constate aucune amélioration sur le RIN du AHMLL. Le RIN additif à cause de l'injection optique ne vient donc pas d'un report du RIN du laser d'injection. Des études complémentaires sont en cours pour déterminer l'origine de ce phénomène.

#### CONCLUSION

L'injection optique de AHMLL permet de réduire le bruit de phase aux fréquences des modes parasites. Ce gain sur le bruit s'accompagne en revanche d'un rétrécissement du spectre optique, et donc d'une augmentation de la durée des impulsions. Ces phénomènes sont fortement dépendants du point de fonctionnement du AHMLL. Le RIN du AHMLL à basse fréquence augmente avec l'injection optique, mais cette augmentation ne vient pas du RIN du laser d'injection. L'origine de cette augmentation est en cours d'étude.

#### REFERENCES

- [1] C. Tripon-Canseliet, M. Zegaoui, G. Jestin, C. Coinon, P. Berger, G. Baili, A. Descamps-Mandine, I. Maksimovic, D. Decoster, J.M. Hodé, D. Dolfi, J. Chazelas "High dynamic range single channel sampling of wideband RF signals using ultra-fast nanoscale photoconductive switching," *Electron. Lett.*, 52(3), 237-239 (2015).
- [2] F. Quinlan, S. Gee, S. Ozharar, and P. J. Delfyett "Greater than 20-dB supermode noise suppression and timing jitter reduction via CW injection of a harmonically mode-locked laser." *IEEE Photon. Technol. Lett* 19, 1221-1223 (2007).
- [3] C. G. Williams, F. Quinlan, F. and P. J. Delfyett "Injection locked mode-locked laser with long-term feedback stabilization." *Conference on Lasers and Electro-Optics, Optical Society of America* (2008).