

# INFLUENCE DES MODES DE RÉSONATEUR DANS LES VCSEL POUR LA MESURE DE DISTANCE ABSOLUE PAR RÉINJECTION OPTIQUE

Alexis LOUPIAS<sup>1</sup>, Aude BOUCHIER<sup>2</sup>, Julien PERCHOUX<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Toulouse, LAAS-CNRS, CNRS, INPT, Toulouse, France

<sup>2</sup> Essilor International, Labège, France

alexis.loupias@laas.fr

## RÉSUMÉ

La réinjection optique dans une diode laser est une méthode interférométrique pouvant être utilisée pour de la mesure de distance absolue. Nous démontrons que lorsque la source est un laser à cavité verticale émettant par la surface (VCSEL), le caractère multimode/monomode de la source laser a un impact direct sur la précision de la mesure.

**MOTS-CLEFS :** VCSEL ; réinjection optique ; mesure de distance absolue ; télémétrie

## 1. INTRODUCTION

La réinjection optique est un phénomène se produisant lorsque la lumière émise par un laser est rétro-diffusée puis réinjectée dans sa cavité [1]. Cette lumière, portant une information de phase supplémentaire, vient interférer avec la lumière produite par la cavité [2]. En utilisant par exemple à un VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser), nous obtenons un capteur optique compact et de faible consommation, mais ayant des performances similaires aux interféromètres classiques. Pour des mesures de distance, la phase est modifiée indirectement via la modulation de l'intensité injectée dans le VCSEL [3]. En procédant ainsi, les VCSEL multimodes donnent des résultats moins précis que ceux mono-fréquences. Bien que la littérature ait montré la cause de cette perte de précision [4, 5], il n'existe pas à notre connaissance d'estimations du désavantage apporté par le caractère multimodal sur la précision de la mesure de distance. Le travail présenté ici cherche donc à évaluer, par une approche métrologique rigoureuse, la dégradation de la mesure de distance.

## 2. PROCÉDÉ EXPÉRIMENTAL

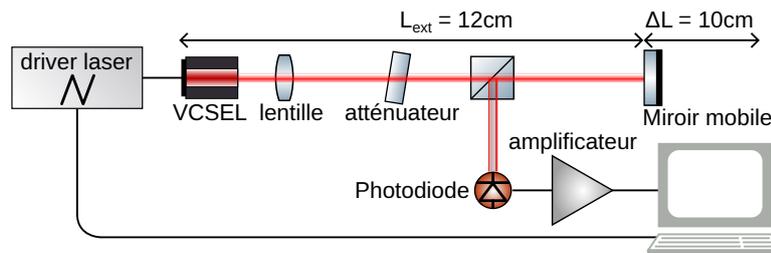


FIGURE 1 : Description schématique du banc de mesure pour la caractérisation du télémètre par réinjection optique. L'atténuateur permet de contrôler la quantité de lumière réinjectée dans le VCSEL. La lentille collimate le faisceau. La Photodiode et l'atténuateur sont en inclinés afin d'éviter des reflets parasites.

Les deux VCSEL utilisés pour comparaison sont l'OPV310 (multimode) de TT Electronics et le L895VH1 (mono-fréquence) de Thorlabs. La distance physique laser-miroir est d'environ 12 cm. La modulation de courant est autour d'un point de polarisation à  $3,7 I_{th}$  pour l'OPV et  $3,2 I_{th}$  pour le L895, et avec des amplitude crête-à-crête  $\Delta I$  de  $1,1 I_{th}$  et  $0,98 I_{th}$  respectivement. Ici,  $I_{th}$  est le courant de seuil propre à chaque laser. La forme du signal est triangulaire, de fréquence fondamentale  $f_m = 200$  Hz. Le miroir mobile est contrôlé par une platine de déplacement Zaber T-LSM100A (précision : 35  $\mu$ m). 100 positions ont été mesurées, chacune écartée de 1 mm. Pour chaque mesure, l'acquisition a une longueur de 80 périodes (400 ms), soit autant de mesures exploitables.

### 3. PRINCIPE DE MESURE

La distance est calculée avec l'évaluation de la fréquence des franges  $f_i$  via l'Eq. (1) avec  $c$  la célérité de la lumière dans le vide,  $n_{\text{ext}}$  l'indice du milieu hors cavité et  $\Omega$  le facteur de conversion courant-fréquence d'émission du laser. C'est un facteur calculé de manière empirique et qui est propre à chaque laser. Il est donc, à priori, légèrement différent pour chaque mode [6]. La caractérisation des lasers nous a permis de calculer un  $\Omega$  moyen de 55,4 GHz/mA pour le VCSEL multimode et 85,4 GHz/mA pour le VCSEL monomode.

$$L_{\text{ext}} = \frac{f_i c}{4\Delta I \Omega n_{\text{ext}} f_m} \quad (1)$$

Afin de déterminer la fréquence des franges, nous nous limitons à des traitements peu complexes. Des méthodes fréquentielles ou temporelles peuvent être utilisées sur le signal retour de la photodiode. Plusieurs méthodes ont été testées, mais nous ne retiendrons que la méthode adaptée de [7].

### 4. RÉSULTATS

Comme nous pouvons le constater sur les courbes de la figure 2 (a,c), la distribution statistique de l'erreur de mesure ne varie pas significativement en fonction de la distance, sur la plage de 10 cm testée. Nous considérerons donc la totalité des 8000 valeurs centrées pour la précision. Pour l'évaluation de la justesse de la mesure, nous avons estimé la distance vraie par régression linéaire calculée avec la moyenne des 80 mesures pour chaque position de la platine de translation. Pour le VCSEL mono-fréquence, nous avons calculé un écart type de 2,06 mm et un écart relatif moyen à la distance vraie de 0,15%. Pour le VCSEL multimode, l'écart-type monte à 4,84 mm et l'écart relatif moyen s'élève à 1,9% avec pour certaines position de la platine un écart supérieur à 5%.

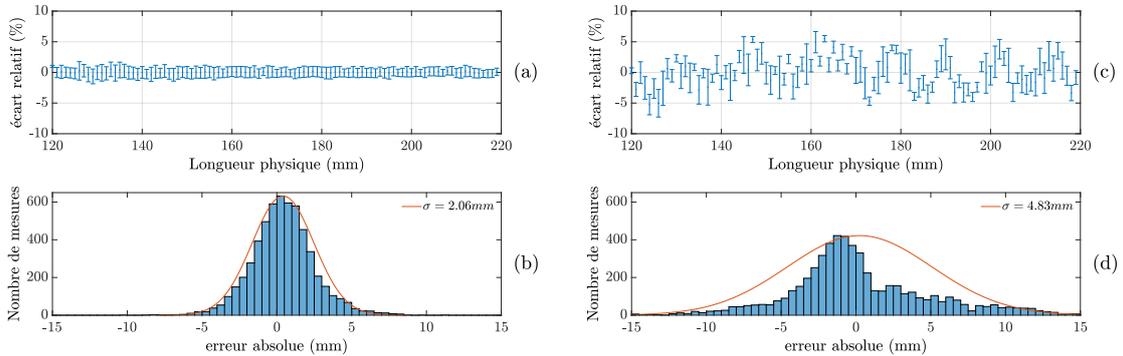


FIGURE 2 : À gauche : VCSEL mono-fréquence. À droite : VCSEL multimode. En haut : évolution de l'erreur relative en fonction de la distance laser-miroir. En bas : distribution statistique de l'erreur absolue et fonction gaussienne associée (calculés sur l'ensemble des mesures)

### CONCLUSION

Comme nous pouvons nous y attendre, la justesse de la mesure et sa répétabilité sont significativement meilleures avec un laser VCSEL monomode par rapport à un laser VCSEL multimode. Outre la dispersion de la valeur de distance mesurée, l'écart relatif de la moyenne des 80 mesures avoisine 5% pour certaines mesures. Ceci n'est pas acceptable dans nombre d'applications, mais possiblement que d'autres algorithmes puissent à terme réduire cet écart. Ce travail ouvre la voie à la conception de télémètres basés sur le principe de la réinjection optique avec un très bonne justesse et résolution. Plusieurs autres pistes sont en cours d'évaluation pour améliorer encore la fiabilité de la mesure : utilisation d'un module de contrôle en température, utilisation d'autres sources laser (DFB, VCSEL à cavité externe (VECSEL), etc.)

## RÉFÉRENCES

- [1] R. Lang and K. Kobayashi, "External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 16, no. 3, pp. 347–355, Mar. 1980, conference Name : IEEE Journal of Quantum Electronics.
- [2] K. Petermann, *Laser Diode Modulation and Noise*, ser. Advances in Opto-Electronics. Springer Netherlands, 1988. [Online]. Available : <https://books.google.fr/books?id=Pu7JjFZ4RhUC>
- [3] T. Taimre, M. Nikolić, K. Bertling, Y. L. Lim, T. Bosch, and A. D. Rakić, "Laser feedback interferometry : a tutorial on the self-mixing effect for coherent sensing," *Advances in Optics and Photonics*, vol. 7, no. 3, p. 570, Sep. 2015. [Online]. Available : <https://opg.optica.org/abstract.cfm?URI=aop-7-3-570>
- [4] M. S. Torre, C. Masoller, and P. Mandel, "Transverse-mode dynamics in vertical-cavity surface-emitting lasers with optical feedback," *Physical Review A*, vol. 66, no. 5, p. 053817, Nov. 2002, publisher : American Physical Society. [Online]. Available : <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevA.66.053817>
- [5] M. Torre, C. Masoller, P. Mandel, and K. Shore, "Transverse-mode dynamics in directly modulated vertical-cavity surface-emitting lasers with optical feedback," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 40, no. 6, pp. 620–628, Jun. 2004, conference Name : IEEE Journal of Quantum Electronics.
- [6] J. R. Tucker, A. D. Rakić, C. J. O'Brien, and A. V. Zvyagin, "Effect of multiple transverse modes in self-mixing sensors based on vertical-cavity surface-emitting lasers," *Applied Optics*, vol. 46, no. 4, pp. 611–619, Feb. 2007, publisher : Optica Publishing Group. [Online]. Available : <https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-46-4-611>
- [7] M. Norgia, A. Magnani, and A. Pesatori, "High resolution self-mixing laser rangefinder," *Review of Scientific Instruments*, vol. 83, no. 4, p. 045113, Apr. 2012, publisher : American Institute of Physics. [Online]. Available : <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3703311>