

RÉALISATION ET OPTIMISATION D'UN GYROSCOPE SAGNAC MULTIMODE

Hocine MEDJADBA¹, Sylvain LECLER², Lotfy Mokhtar SIMOHAMED¹
et Patrick MEYRUEIS²

¹Laboratoire des Systèmes Électroniques et Optroniques, E.M.P., Algérie

²Laboratoire des Systèmes Photoniques, UDS, France

E-mail : hocine.medjadba@etu.unistra.fr

RÉSUMÉ : Nous présentons dans ce travail la réalisation et l'évaluation des performances d'une nouvelle version d'un gyromètre à fibre optique multimode optimisé (GFOM). Ce dernier est dédié à des applications de moyennes performances à savoir la navigation sur des courtes durées et à la stabilisation d'engins. L'objectif de ce travail est de démontrer la possibilité d'améliorer les performances d'un tel dispositif avec un choix adéquat de ces composants optiques, sous un compromis « faible prix / performances élevées ». Notre prototype utilise 1031 m d'une fibre optique multimode à saut d'indice 50/125 μm comme élément sensible. La source est une LED qui émet à 850 nm. Le premier coupleur utilisé est un coupleur standard par fusion et étirage tandis que le deuxième est un coupleur réalisé en technologie micro-optique. Les performances principales obtenues sont une vitesse minimale mesurable de ~ 35 °/h et une plage de mesure entre ± 121320 °/h.

MOTS-CLÉS : fibre optique multimode, gyroscope, interférence, vitesse de rotation

1. Introduction

Les premiers travaux de recherche dans le domaine des gyroscopes à fibre optique ciblaient des dispositifs à hautes performances aptes à remplacer les anciens gyroscopes mécaniques et à concurrencer les gyrolasers [1]. Dès les premières investigations, les solutions avec une fibre multimode ont été abandonnées vu les insuffisances constatées sur les résultats obtenus en laboratoires et la sensibilité aux perturbations environnementales des prototypes réalisés [2]. Ainsi, quasiment toutes les solutions de gyrofibras ayant donné lieu à une exploitation commerciale ont été développées dans une approche monomode [3]. Cette dernière implique de fortes contraintes sur les montages et des composants à hautes performances conduisant à des dispositifs relativement coûteux.

Le développement de gyroscopes dédiés à des applications moins contraignantes, comme la stabilisation ou la navigation sur des courtes périodes a relancé l'intérêt pour des gyrofibras à faible coût. Dans ce contexte, les gyroscopes à fibre multimode apparaissent comme une option attractive [4].

L'utilisation d'une fibre multimode pour la réalisation d'un gyrofibre introduit un certain nombre de limitations résultant en premier lieu du caractère non réciproque de la propagation et de l'inévitable couplage intermodal [5]. Le challenge dans cette option est de pouvoir tirer avantage de ce qui semble être à première vue un inconvénient. En effet, la moyenne réalisée sur le grand nombre de modes en sortie d'instrument conduit à une réponse stable et à une compensation des erreurs de phase aléatoires sur le signal de sortie.

Dans le cadre de mes travaux de recherche, j'ai commencé par réaliser un gyroscope monomode. Puis, dans la logique de produire un gyroscope à bas coût destiné aux applications de moyennes performances, j'ai entamé la réalisation d'un gyroscope à fibre multimode. Le choix des composants utilisés dans la réalisation a été fait suivant des résultats de travaux de modélisation et d'optimisation obtenus précédemment [6-7].

2. Description du gyroscope réalisé

Le schéma block du gyroscope réalisé est illustré sur la figure 1. La source est une LED qui émet à 850 nm avec une largeur de bande de 50 nm et qui délivre une puissance de 50 μ W. Elle est alimentée en courant ajustable grâce à un circuit électronique. Le premier coupleur est un coupleur Y réalisé par fusion/étirage. Il est utilisé pour avoir une configuration réciproque et pour assurer la fonction de mélangeur de modes. Le deuxième coupleur est aussi un coupleur Y mais réalisé en technologie micro-optique. Il assure une symétrie de la distribution modale aux deux ports de sortie. La fibre utilisée mesure 1031 m. Elle est enroulée sur un cylindre de diamètre 10 cm avec un bobinage asymétrique. Le modulateur de phase optique est un tube de céramique piézo-électrique de 20 mm de diamètre, sur lequel est enroulé 3,7 m de fibre (60 tours). Il est piloté par une tension sinusoïdale d'amplitude 3,7 Volts et de fréquence 6,7 kHz. Le détecteur est une photodiode PIN au silicium fibrée (avec pigtail). Pour minimiser les pertes par couplage, les connexions entre les différents composants optiques à fibre sont réalisées à l'aide de soudures.

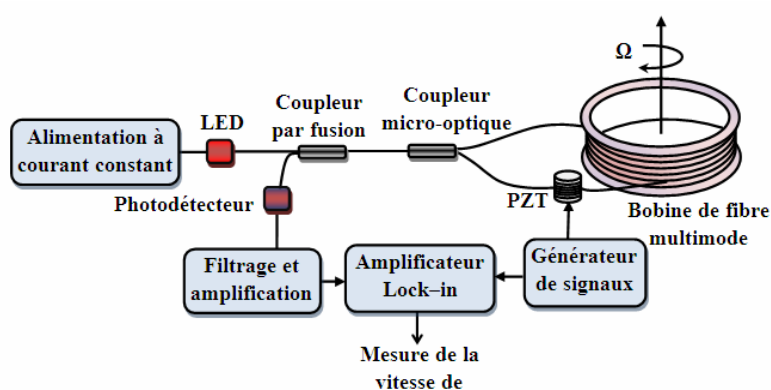


Figure 1 : Schéma de principe du gyroscope multimode

3. Banc de caractérisation de performances

Tous les éléments composants le gyroscope (bobine, coupleurs, modulateur et circuit électroniques) sont fixés sur une seule plaque, comme le montre la figure 2. Pour simuler les rotations, le prototype est placé sur une table rotative motorisée (figure 2). Cette table est commandée par ordinateur à partir duquel le choix de la vitesse de rotation est effectué. Cette dernière fournit une mesure indépendante de la vitesse de rotation.

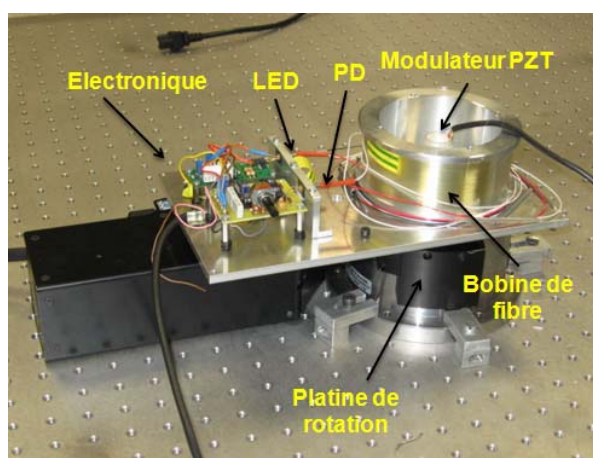


Figure 2 : Photographie du gyroscope monté sur une platine de rotation motorisée.

Le banc expérimental utilisé pour la caractérisation du gyroscope est illustré sur le schéma des figures 3 (a) et 3(b). Il comporte les éléments suivants:

- un platine de rotation portant le gyroscope ;
- une alimentation stabilisée pour alimenter les circuits électroniques ;
- un GBF qui délivre le signal de modulation pilotant le modulateur PZT et qui sert comme référence au démodulateur synchrone ;
- un démodulateur synchrone délivrant une tension image de la vitesse de la rotation ;
- un oscilloscope numérique pour la visualisation des différents signaux et qui sert comme interface de numérisation et d'acquisition de ces signaux dans un ordinateur pour des éventuels traitements ;
- un système d'acquisition externe par USB (DAQ U2500A) qui assure une numérisation et acquisition continue de données. Il est utilisé pour enregistrer la dérive du biais du gyroscope à long terme (>1 heures) ;
- un ordinateur pour traitement et commande.

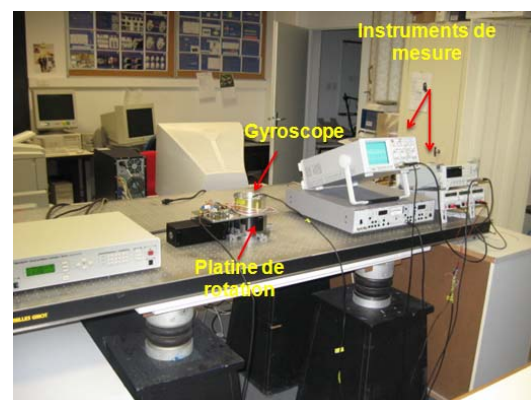
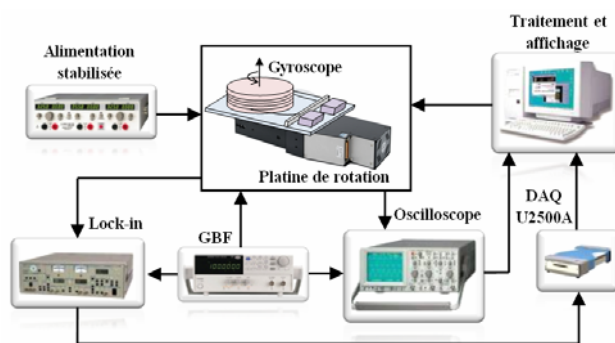


Figure 3 : (a) Schéma illustratif du dispositif expérimental utilisé pour la caractérisation des performances du gyroscope, (b) Photographie du dispositif expérimental.

3. Résultats obtenus

Nous présentons dans ce qui suit quelques résultats des tests de caractérisation effectués sur le prototype du gyroscope. La figure 4 montre la réponse du gyrofibre pour la vitesse de $10^\circ/\text{s}$ dans les deux sens de rotation.

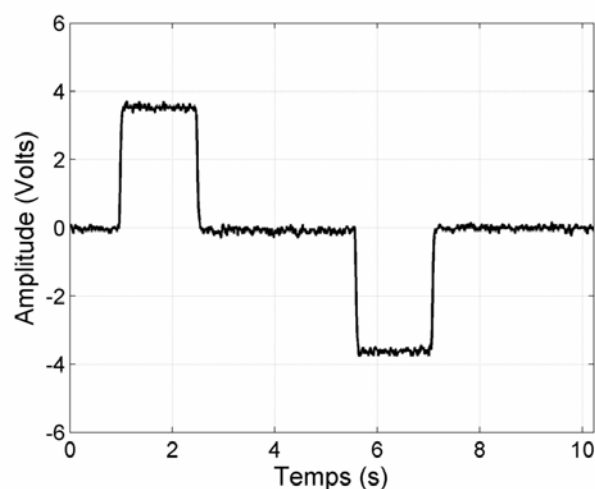


Figure 4 : Réponse du gyroscope pour les vitesses de rotation de $+10$ et -10 $^\circ/\text{s}$.

La figure 5 montre la caractéristique d'entrée-sortie du gyroscope qui est non-linéaire. En effet, La tension mesurée dépend sinusoïdalement de la vitesse de rotation appliquée. La vitesse de rotation maximale sans ambiguïté déduite de cette caractéristique est de $33,7 \text{ }^\circ/\text{s}$ pour les deux sens de rotation. Le facteur d'échelle dans ce cas dépend de la vitesse de rotation. Il est de $350 \text{ mV}/(^\circ/\text{s})$ pour la plage de mesure linéaire du gyroscope qui est limitée entre $-3,7^\circ/\text{s}$ et $+3,7^\circ/\text{s}$. Pour les vitesses dépassant les $33,7 \text{ }^\circ/\text{s}$, le gyroscope sort de la gamme de vitesses mesurables sans ambiguïté et fournira une mesure non significative, due à la périodicité de la réponse du gyroscope.

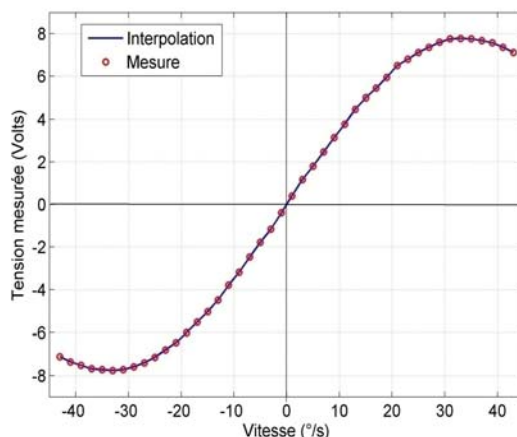


Figure 5 : Caractéristique d'entrée-sortie.

Un exemple de réponse pour une vitesse de $+50 \text{ }^\circ/\text{s}$ est représenté sur la figure 6. Le signal obtenu présente une zone d'amplitude relativement constante de $26 \text{ }^\circ/\text{s}$, située entre deux pics correspondant à la vitesse maximale mesurable ($33,7 \text{ }^\circ/\text{s}$). En effet, comme on l'a vu précédemment, le signal démodulé dépend sinusoïdalement de la vitesse de rotation. Les deux pics correspondent aux deux passages par le sommet de la sinusoïde. Une fois au démarrage de la plateforme rotative supportant le gyroscope puis la seconde fois lors de l'arrêt.

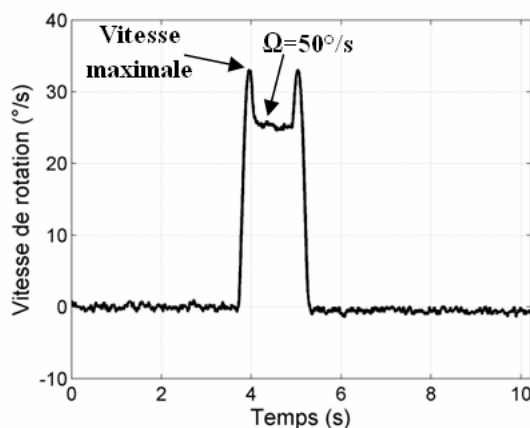


Figure 6 : Réponse du gyroscope pour les vitesses de rotation de $+50 \text{ }^\circ/\text{s}$.

Le tableau ci-après résume les principales performances du premier prototype réalisé en utilisant un bobinage asymétrique.

Tableau 1 : Performances obtenues

Performances	Valeur
Vitesse minimale détectable (°/h)	35
Dérive du biais (°/h)	17
Angle de marche aléatoire (°/√h)	20
Vitesse maximale (°/h)	121320
Stabilité du facteur d'échelle (ppm)	1500

3. Conclusion

Dans ce travail nous avons dimensionné, conçu, réalisé et caractérisé les performances d'un gyromètre à fibre optique multimode. Nous avons utilisé dans ce prototype une fibre optique multimode standard à saut d'indice 50/125 μm , un premier coupleur en technologie par fusion/étirage, un deuxième coupleur en technologie micro-optique, une source LED à 850 nm et un photodétecteur PIN au silicium.

Les recherches effectuées et les résultats obtenus montrent qu'en plus du caractère économique des gyromètres à fibre multimode, leurs performances propres leur permettent d'être utilisés dans la navigation terrestre, la robotique et pour le guidage des forages pétroliers, où leurs insensibilité relative à la température est particulièrement avantageuses.

Références

- [1] Lefevre H.; The fiber optic gyroscope; Artech House, New York, (1993).
- [2] Vali V., et Shothil R., W.; Fiber Ring Interferometer; Applied Optics. **VOLUME** 6(4) 1099-1100, (1976).
- [3] Bergh R., A., Lefevre H., C., et Shaw H., J.; All single mode fiber-optic gyroscope; Optics Letters 6(4) 198-200 (1981).
- [4] Pavlath, G., and Shaw H., G.; Multimode fiber gyroscopes; Proc. Of 1st conference on Fiber-Optic Rotation Sensors and Related Technologies, Springer Verlag, **VOLUME** 32 (1982).
- [5] Bazarov A., E., and Semenov A., T.; Nonreciprocal effects in a ring interferometer with a multimode fiber waveguide; Sov. J. Quantum Electronics, **VOLUME** 14(4) 522-257 (1984).
- [6] Medjadba H., Lecler S., Simohamed L. M., Chakari A.; Modeling a multimode Sagnac interferometer: application for an embarked fiber optic gyroscope; Proc. of the SPIE on optical fiber sensor, **VOLUME** 7003, 700310 (2008).
- [7] Medjadba H., Lecler, S., Simohamed L. M., Chakari A., and Javahilary N.; optimizing the optical components choice for performances improvement of multimode fiber gyroscope; In Defense, Security and Sensing SPIE (2009)