UN CAPTEUR INTERFEROMETRIQUE POUR LA DETECTION ULTRASONIQUE

Soufiane BENHAMIDA[1], Kamal Eddine AIADI[2,*] et Farhat REHOUMA[1]

[1] *Département de Physique, Institut des Sciences et de Technologie, Centre Universitaire de El-Oued, El-Oued 39000 (Algérie)*

[2] *Laboratoire LENREZA, Faculté des Sciences et de la Technologie et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000 (Algérie)*

[*] Email : aiadi@yahoo.com

Résumé : Dans cette étude, un capteur interférométrique de type Fabry Pérot est proposé. D'après un modèle de référence, une modélisation et un programme informatique de calcul sont réalisés pour effectuer une série de calculs et de représentations spectrales de la réponse du capteur. Cette simulation permet d'avoir le spectre des fréquences de ce dernier et de déterminer les paramètres les plus influents sur le fonctionnement du système.

Mots clés: Capteur optique, interféromètre Fabry Pérot, capteur ultrasonique.

Introduction

Le développement des appareils d'instrumentation a connu un essor important dû essentiellement à l'intégration de calculateurs performants dans les systèmes de mesure [1], de nouveaux capteurs interférométriques ont été utilisés dans des domaines très variés, tels que la détection de flux de radiation, le suivi d'objets en déplacement et leur positionnement [2]. Dans le but d'amélioration des performances de fonctionnement de ces capteurs, et pour avoir une bonne sensibilité et une bonne réponse dans le domaine d'ultrason, nous proposons un capteur se basant sur l'interféromètre de Fabry Pérot (FP). Ce choix est justifié par ces avantages spécifiques [3] tels que son bon pouvoir de résolution [4] et ses mesures sans contact.

1. Mécanisme de fonctionnement

Le capteur fonctionne de la façon suivante : en éclairant le capteur sous une incidence normale par une source lumineuse cohérente et continue (diode laser), une partie du faisceau traverse une lame de verre vers le centre d'une membrane réfléchissante et des réflexions seront reproduites entre la membrane et la lame. La membrane et la lame constituent une cavité Fabry Pérot. Toute déformation ou déplacement de la membrane, provoquée par l'effet de la pression acoustique, introduit un changement de la cavité d'air qui se traduit par un changement de la différence de phase φ et une variation d'intensité réfléchie I_r, par la suite.

Dans le cas d'incidence normale, où la lame à un indice de réfraction n, la relation de l'intensité totale réfléchie s'écrit de la façon suivante :

$$I_r = I_0 . \frac{\frac{4R}{(1-R)^2} . \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} . \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \qquad (1)$$

Avec :

I_0 :est l'intensité initiale, R : est le coefficient de réflexion et φ le déphasage qui s'écrit :

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} . 2.n.e = \frac{4\pi.n.e}{\lambda} \qquad (2)$$

Où n est l'indice de réfraction du verre, λ est la longueur d'onde du faisceau laser, e : est la distance entre la membrane et le verre.

2. Modélisation du capteur

Dans un modèle choisi [5] où la membrane est circulaire, l'amortissement de l'amplitude est assuré par une cavité, une plaque arrière, des trous et une chambre arrière ; voir le modèle (Figure 1). L'équation du déplacement de la membrane au centre (r =0) dépend du : nombre d'onde sonore sur la membrane, la pulsation, la pression incidente, la tension de fixation de la membrane et la réaction de pression sur la membrane.

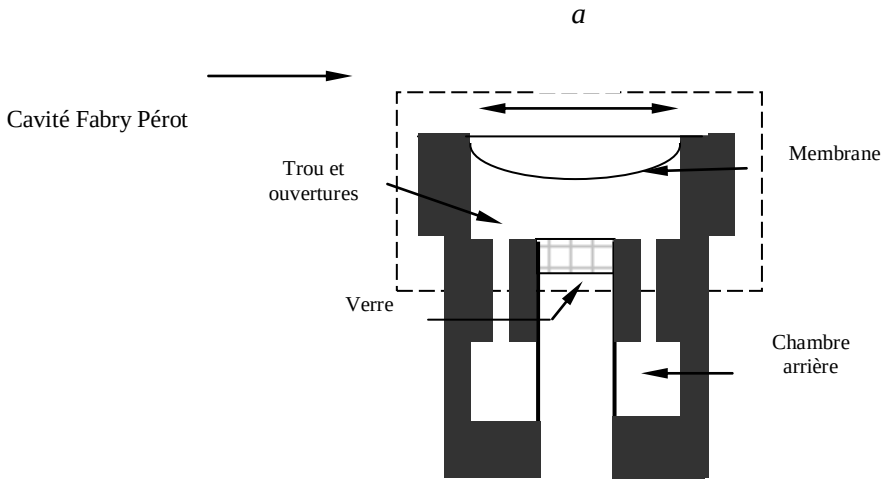

Figure1: Coupe longitudinale du capteur

Pour étudier la sensibilité du système et l'intensité réfléchie par ce capteur, un programme de calcul a été exploité. Après avoir comparé les résultats obtenus par notre programme avec les résultats du modèle de base et les résultats d'autres modèles pratiques [6], [7] nous avons trouvé une bonne convergence pour la plupart des paramètres calculés. Généralement, l'accord des résultats montre que le programme est fiable et qu'on peut l'utiliser comme un moyen pour l'obtention d'autres résultats.

3. RESULTATS

On s'intéresse à l'influence de chaque paramètre sur l'élargissement de la bande de fréquence du capteur et la sensibilité de ce dernier à l'ultrason.

Le rayon, de la membrane ***a,*** a un effet considérable sur la sensibilité du capteur Figure 2. Nos résultats montrent une influence importante de ce dernier sur la détection des ondes ultrasoniques, à partir de 20 KHz et 3.175×10^{-5}m de rayon d'une part et d'autre part sur l'amélioration de sensibilité.

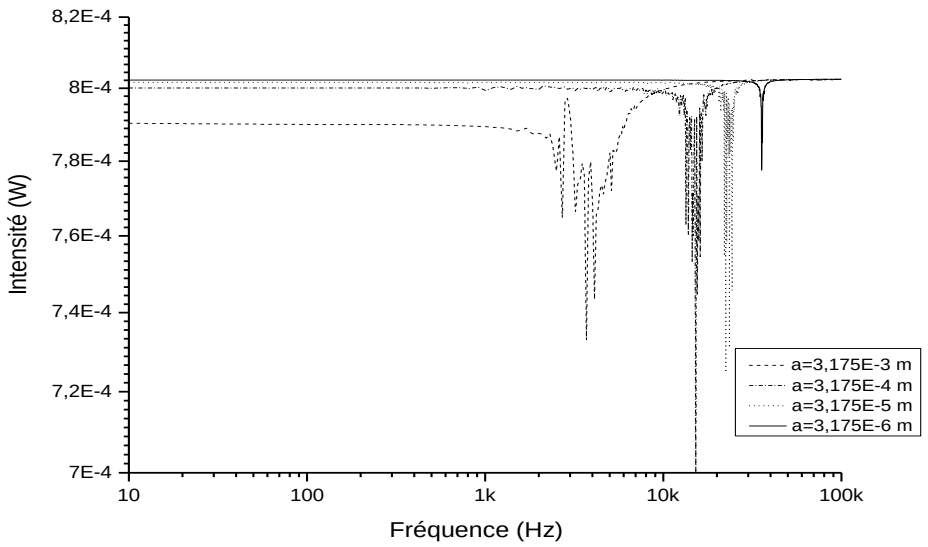

Figure 2 : Courbe d'intensité de sortie en fonction de la fréquence Pour

Toute variation ou modification de la distance ***h*** entre la membrane et la lame conduit a un changement de déphasage de l'onde réfléchie .Les résultats obtenus (Figure 3) décrivent une influence importante sur la bande de fréquence dans le domaine d'ultrason et aussi sur l'intensité d'onde réfléchie.

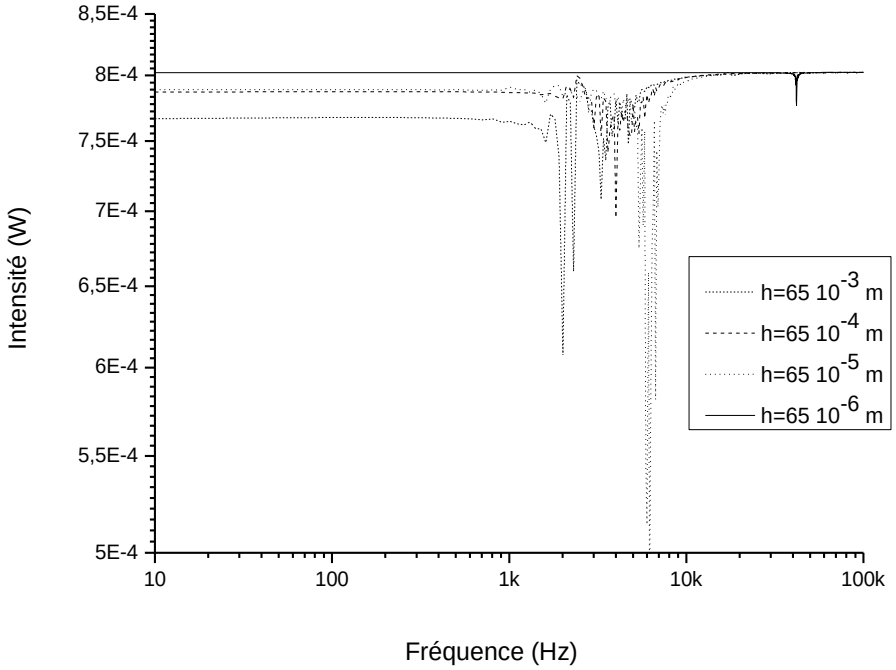

Figure 3 : Courbe d'intensité de sortie en fonction de la fréquence Pour différentes distances h

La figure 4 montre l'influence de la longueur d'onde de la source (diode laser) sur la sensibilité du capteur, elle varie fortement avec la longueur d'onde λ de la diode laser. Ce dernier est

inversement proportionnel avec le déphasage φ (relation 2) ce qui fait modifier l'intensité de l'onde réfléchie ; les longueurs d'onde des sources laser utilisées sont choisies entre 0.63 µm et 0.98 µm .

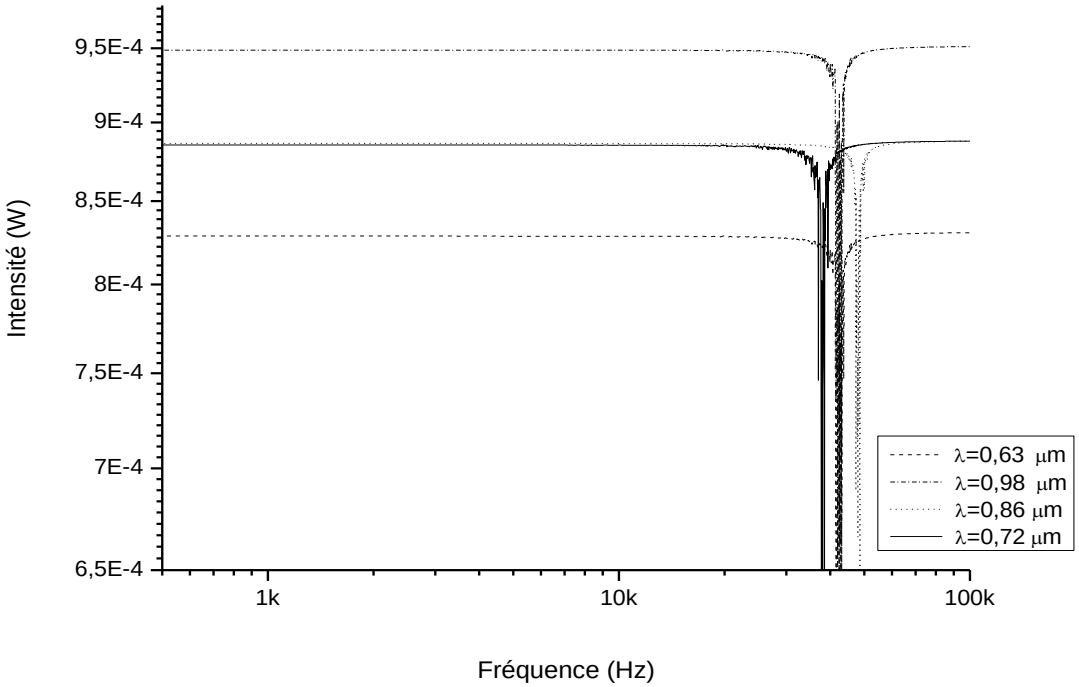

Figure 4 : Courbe d'intensité de sortie en fonction de la fréquence pour déférentes longueurs d'onde λ

Les résultats établis dans la figure 5 montrent que l'indice de réfraction ***n*** est un facteur important dans le fonctionnement du capteur, sa variation est liée directement avec le coefficient de réflexion ***R*** ; donc chaque changement de ce dernier influe sur l'intensité totale de l'onde réfléchie (relation 1).

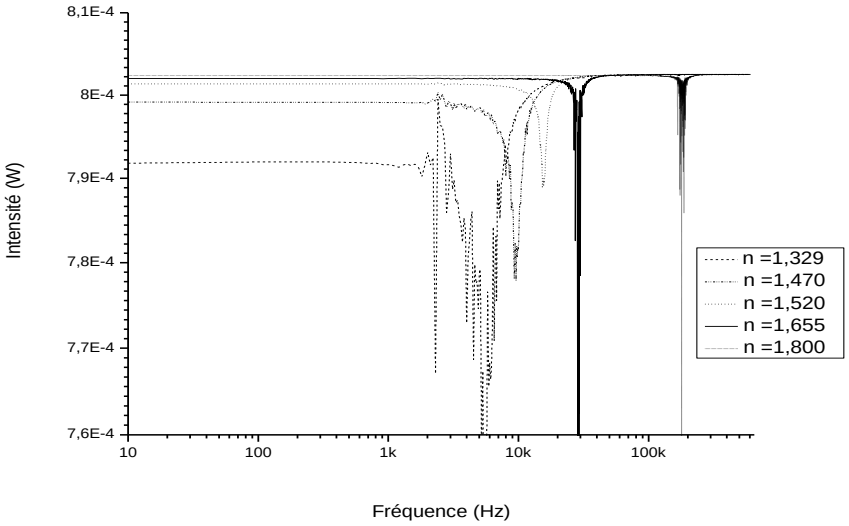

Figure 5 : Courbe d'intensité de sortie en fonction de la fréquence pour déférents indices de réfraction n

Conclusion

Notre étude montre l'existence d'une région de stabilité où la réponse, de ce capteur interférométrique de type Fabry Pérot pour la détection des ondes ultrasoniques, est linéaire et la possibilité d'élargissement de cette région. Tous les paramètres influents sur le fonctionnement du capteur sont recensés. Ce qui nous permet d'améliorer la sensibilité et de travailler dans le domaine ultrason.

Références

[1] Edward Z. Zhang et Paul Beard ; "Ultra high sensitivity, wideband Fabry Perot ultrasound sensors as an alternative to piezoelectric PVDF transducers for biomedical photoacoustic detection Proc"; SPIE 5320, pp 222-229, 2004 SPIE BIOS 2004, 25-26 January 2004, San Jose, USA.

[2] E. Jesper Eklund et Andrei M. Shkel ; "Performance Tradeoffs in MEMS Sensors with High-Finesse Fabry-Perot Interferometry Detection" ; NSTI-Nanotech 2005, www.nsti.org, ISBN 0-9767985-2-2 Vol. **3** (2005).

[3] E. Ouisse, V. Métivier, H. C. Seat, N. Servagent et Ch. Boisrobert ; «Capteur interférométrique extrinsèque de Fabry Pérot à fibre optique (EFFPI) adapté à la vélocimétrie» ; Journée Nationales de l'Optique Guidée, pp. 343-345 , Valence, Novembre 2003.

[4] Daniel A. Shaddock, Malcolm B. Gray, Conor Mow-Lowry et David E. McClelland ; "Power-recycled Michelson interferometer with resonant sideband extraction" ; *Appl. Opt.*, Vol. **42**, pp. 1283-1295 (2003).

[5] Andong Hu, Frank W. Cuomo et Allan J.Zuckerwar ; "Theoretical and experimental study of a fiber optic microphone" ; J. Acoust. Soc. Am, Vol. **91**, No. 5, pp.3049-3056 (1992).

[6] Abdelrafik Malki, Rachid Gafsi, Pierre Lecoy et Yves Mevel ; "Fiber- optic microphone for optical communication systems" ; Meas. Sci.Technol. **7**., 908-910 (1996).

[7] Kenneth A. Strain, Guido Muller, Tom Delker, David H. Reitze, David B.Tanner, James E. Mason, Phil A. Willems, Daniel A. Shaddock, Malcolm B. Gray, Conor Mow-Lowry et David E. McClelland ; "Sensing and Control in dual-recycling laser interferometer gravitational-wave detectors" ; *Appl. Opt.*, Vol. **42**, pp. 1244-1256 (2003).