

# FILTRAGE ET ACCORDABILITE DES SIGNAUX MICROONDES DANS LA GAMME DE FREQUENCES 0,01-20 GHz PAR DES TECHNIQUES ELECTRO-OPTIQUES.

Gustavo Aguayo-Rodríguez<sup>1</sup>, Ignacio E. Zaldívar-Huerta<sup>1</sup>, Laurent Larger<sup>2</sup>, Nadège Courjal<sup>2</sup>, Jorge Rodríguez-Azomoza<sup>3</sup> et Alejandro García-Juárez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Tonantzintla, Puebla, México

<sup>2</sup> Institut FEMTO-ST, Université de Franche-Comté, CNRS UMR 6174, F-25030 Besançon, France

<sup>3</sup> Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), Cholula, Puebla, México

<sup>4</sup> Universidad de Sonora (UNISON), Depto. de Inv. en Física, Hermosillo, Sonora, México

gar@inaoep.mx

## RÉSUMÉ

Ce travail démontre expérimentalement l'accordabilité d'un filtre photonique dans la gamme de fréquences 0,01-20 GHz en utilisant un filtre Fabry-Pérot ainsi qu'en variant la longueur de la liaison optique. Les résultats sont validés par des simulations numériques.

**MOTS-CLEFS :** *filtres photoniques ; signaux microondes ; fibre optique dispersive.*

## 1. INTRODUCTION

Le filtrage des signaux micro-ondes dans le domaine optique permet d'exploiter la grande bande passante, les faibles pertes et l'immunité à l'interférence électromagnétique inhérente aux systèmes optiques [1]. Par ailleurs, il est souhaitable que les filtres microondes soient accordables. Cette caractéristique permet aux filtres d'accorder leur réponse en fréquence à des valeurs ciblées. Des travaux publiés récemment portent notamment sur la réalisation de filtres micro-onde accordables et reconfigurables en utilisant des réseaux de Bragg photoinscrits sur des fibres optiques, des modulateurs d'intensité, et des amplificateurs à fibre dopée Erbium (EDFA) [2]-[3]. Dans ce travail, nous exploitons une méthode originale basée sur l'utilisation d'une source optique multimode émettant à 1550 nm associée avec une fibre optique dispersive pour la réalisation d'un filtre micro-onde [4]. En particulier, nous montrons que l'accordabilité est réglée dans la gamme de 0,01-20 GHz en utilisant un filtre Fabry-Pérot ainsi qu'en variant la longueur de la liaison optique. Les résultats sont validés par des simulations numériques.

## 2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

On considère un système de transmission à modulation externe utilisant une source optique multimode associée avec une fibre optique dispersive (Fig. 1). On a déjà démontré [4] que la réponse en fréquence du système est proportionnelle à la transformée de Fourier et qu'elle présente des bandes passantes périodiquement centrées à des fréquences déterminées par :

$$f_n = \frac{n}{DL\delta\lambda} . \quad (1)$$

Où  $n$  est un entier ( $n=1, 2, \dots$ ),  $D$  et  $L$  sont respectivement le facteur de dispersion et la

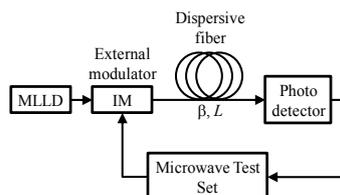


Fig. 1 : Schéma du filtre photonique [4].

longueur de la fibre, et  $\delta\lambda$  est l'intervalle spectral libre entre deux modes longitudinaux adjacents de la source optique. De cette expression, il est possible d'adapter la valeur de  $f_n$  en changeant les termes  $\delta\lambda$  et  $L$ . Dans un premier temps nous montrons l'utilisation d'un filtre Fabry-Pérot (FP) pour modifier l'intervalle spectral libre. Ensuite, et en considérant que dans un réseau de distribution la longueur de la liaison optique depuis une centrale vers les abonnés est variable, la valeur de  $L$  est changée. Ceci permet l'assignation des bandes passantes d'une manière « naturelle ».

### 3. RESULTATS DES SIMULATIONS ET EXPERIMENTAUX

Les effets de filtrage et d'accordabilité sont démontrés par moyen des simulations numériques en considérant l'Eq. (1) et en évaluant la transformée de Fourier d'une source optique multimode dont la densité spectrale de puissance est modélisée par :

$$P(\lambda) = \frac{2P_0}{\Delta\lambda\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{4(\lambda - \lambda_0)^2}{\Delta\lambda^2}\right) \times \left[ \frac{2P_0}{\sigma\lambda\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{4(\lambda - \lambda_0)^2}{\sigma\lambda^2}\right) * \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(\lambda - n\delta\lambda) \right]. \quad (2)$$

Avec :  $P_0$ -maximum puissance émise,  $\lambda_0$ -longueur central d'émission,  $\Delta\lambda$ -largueur de l'enveloppe gaussienne,  $\sigma\lambda$ -largeur de chaque raie,  $\delta\lambda$  - intervalle spectral libre,  $n=1, 2, \dots$  et \* l'opération convolution. Les Figures 2 correspondent aux spectres optiques obtenus par l'utilisation : (a) de l'équation (2), (b) d'un analyseur de spectre optique (OSA en anglais : Optical Spectrum Analyser), et (c) à la sortie du filtre FP et amplifié par un EDFA.

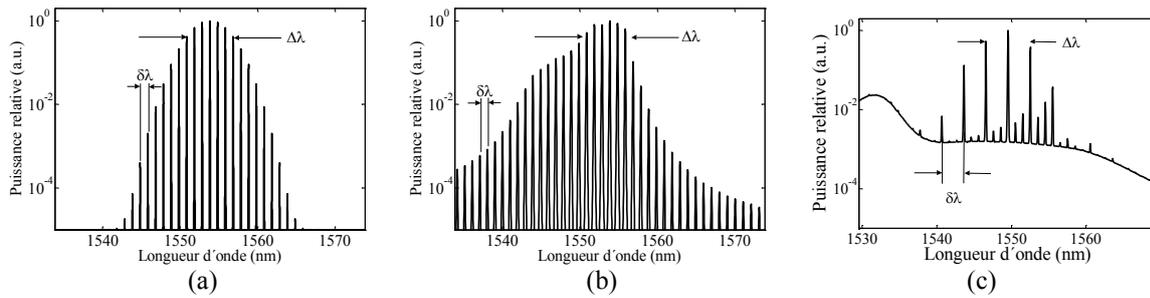


Fig. 2 : (a) Spectre optique obtenu par l'utilisation de l'Eq. (2). (b) Spectre optique obtenu par l'utilisation d'un OSA. (c) Spectre optique filtré et amplifié ( $\delta\lambda=3.00$  nm).

La Fig. 3 (a) illustre le montage utilisé pour modifier l'intervalle spectral libre. Nous disposons d'une source optique Oki OL5200N-5 ( $\lambda_0=1553,8$  nm et  $\delta\lambda=1,00$  nm) et réglons le filtre FP pour avoir un  $\delta\lambda=3,0$  nm. L'EDFA permet d'avoir des niveaux de puissance acceptables. Après filtrage, le signal optique est injecté dans un modulateur d'intensité de type Mach-Zehnder (MZ-IM), de modèle Photline MX-LN-10. Le signal optique est modulé par un signal de RF dans la gamme de fréquences 0,01-20 GHz et ensuite injecté dans une fibre optique standard (SMF28) d'une longueur de 6 km. Le facteur de dispersion de la fibre est  $D=16,671$  ps/nm-km. A l'extrémité de la liaison une détection directe (Miteq DR-125G-A PD) est utilisée et le signal électrique est analysé au moyen d'un analyseur de réseau vectoriel (VNA en anglais : Vectorial Analyser Network). La Fig. 3 (b) correspond au montage utilisé pour faire varier la longueur de la liaison. Nous disposons des sources optiques Mitsubishi ML95B6F ( $\lambda_0=1537.44$  nm et  $\delta\lambda=1,15$  nm) et Oki OL5200N-5 ( $\lambda_0=1553,8$  nm et  $\delta\lambda=1,0$  nm). Le signal optique est injecté dans le MZ-IM et modulé

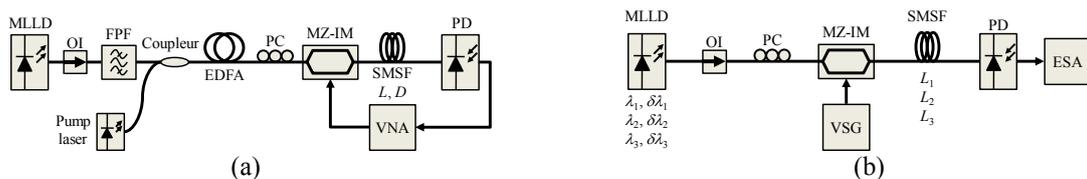


Fig. 3 : Montages expérimentaux pour accorder la réponse en fréquence du système (a) En utilisant un filtre Fabry-Pérot (FPF). (b) En variant la longueur de la liaison optique.

par un signal de RF entre 0,01-8 GHz, et ensuite injecté dans une fibre optique standard. A l'extrémité de la liaison, une détection directe est utilisée et le signal électrique est analysé au moyen d'un analyseur de spectre électrique (ESA en anglais : Electrical Spectrum Analyser). Afin de mettre en évidence l'influence de la longueur de la fibre, nous avons utilisé des longueurs de 20,7, 28,3, et 50,7 km. Finalement, les Fig. 4 (a) et (b) correspondent aux résultats numériques et expérimentaux. On note la présence des diverses bandes passantes bien définies dans la réponse en fréquence du système.

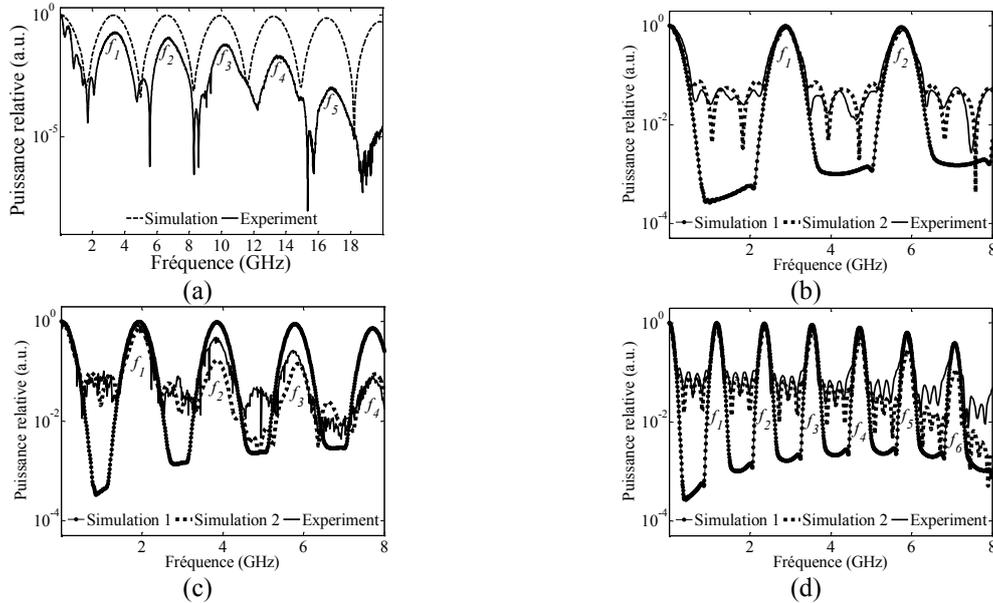


Fig. 4 : (a) Réponse en fréquence en considérant le spectre optique filtré.  $f_1=3,4, f_2=6,7, f_3=10,2, f_4=13,5$  et  $f_5=16,8$  GHz. (b)  $L=20,7$  km,  $f_1=2,90$ , et  $f_2=5,80$  GHz. (c)  $L=28,3$  km,  $f_1=1,92, f_2=3,84, f_3=5,73$ , et  $f_4=7,73$  GHz. (d)  $L=50,7$  km,  $f_1=1,18, f_2=2,38, f_3=3,50, f_4=4,71, f_5=5,84$ , et  $f_6=7,03$  GHz.

## CONCLUSION

Nous avons démontré expérimentalement le filtrage et l'accordabilité des signaux microondes. Le filtrage est basé sur l'utilisation d'une source optique multimode associé avec une fibre optique dispersive, tandis que l'accordabilité est basée sur l'utilisation d'un filtre de type Fabry-Pérot et sur l'exploitation de la longueur de la liaison optique. Les simulations sont en accord avec les résultats expérimentaux. Cette approche ouvre la possibilité de transmettre sur une distance définie des informations codées sur une sous-porteuse elle-même prédéfinie par les caractéristiques du système et a des applications potentielles dans un réseau de distribution.

*Remerciements* : Ce travail a été développé en collaboration avec l'Institut FEMTO-ST de l'UFC grâce au programme des bourses mixtes du Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) mexicain, projet numéro 102046 et bourse numéro 98155 assignée à Gustavo Aguayo-Rodríguez.

## REFERENCES

- [1] Jianping Yao, "Microwave Photonics", Journal of Lightwave Technology, Vol. 27, No. 3, Feb. 1, 2009.
- [2] Alayn Loayssa, José Capmany, Miguel Sagues, and José Mora, "Demonstration of Incoherent Microwave Photonic Filters All-Optical Complex Coefficients", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 18, No. 16, August 15, 2006.
- [3] Yu Yan and Jianping Tao, "A Tunable Photonic Microwave Filter With a Complex Coefficient Using an Optical RF Phase Shifter", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 19, No. 19, October 1, 2007.
- [4] C. Gutiérrez-Martínez, P. Mollier, H. Porte, I. Zaldivar, L. Carcaño, J. P. Goedgebuer, "Multi-Channel Long-Distance Optical Fiber Transmission Using Dispersion-Induced Microwave Transmission Windows", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 36, No. 3, February 2003, pp. 202-206.