

# ETUDE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME OFDM OPTIQUE

Mahdi KASMI<sup>1,2</sup>, Sofien MHATLI<sup>1</sup>, Faouzi BAHLOUL<sup>1</sup>, Iyad DAYOUB<sup>2</sup>, Rabah ATTIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Systèmes Electroniques et Réseaux de Communications (SERCOM), Ecole Polytechnique de Tunisie, EPT, B.P. 743, 2078, Tunisie

<sup>2</sup> IEMN/DOAE-UMR CNRS 8520, Université de Valenciennes, F-59313 Valenciennes Cedex, France

[Faouzi.bahloul@enit.rnu.tn](mailto:Faouzi.bahloul@enit.rnu.tn)

## RÉSUMÉ

Dans cette communication, nous étudions l'effet du nombre de sous porteuses et l'ordre de la modulation QAM sur les performances en termes du taux d'erreur binaire (BER) d'un système OFDM optique pour différentes longueurs. Nous avons implémenté la technique OFDM à détection directe en utilisant la fibre optique comme support de transmission. A travers les simulations effectuées, nous montrons que les performances de la technique OFDM optique dépendent fortement de la longueur de la fibre, du nombre de sous porteuses et de l'ordre de modulation.

**MOTS-CLEFS :** *OFDM optique, détection directe, modulation QAM*

## 1. INTRODUCTION

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de modulation multiporteuse qui consiste à répartir le signal à transmettre sur un nombre de sous-porteuses orthogonales. Elle permet une transmission par bloc où le flux de données initial est multiplexé en N flux parallèles transmis sur N canaux, en introduisant des intervalles de garde entre les blocs [1-2]. Cette technique a été utilisée dans le domaine optique pour corriger la dispersion chromatique du canal optique, permettant une transmission longue distance à haut débit [3]. On distingue le système OFDM à détection directe (DD-OFDM) et le système de détection cohérente (CO- OFDM). La technique CO-OFDM est mieux adaptée pour les transmissions longue distance puisqu'elle permet d'agir sur la dispersion chromatique (CD) et la dispersion modale de polarisation (PMD) [4]. Cependant, DD-OFDM est plus simple que CO-OFDM qui exige l'adaptation entre l'émetteur et le récepteur.

Dans cette communication, dans un premier temps, nous expliquons le fonctionnement des différents blocs d'un système OFDM optique à détection directe. Dans un second temps, nous montrons l'effet de la longueur de la fibre, du nombre de sous porteuses et de l'ordre de la modulation sur ses performances.

## 2. TOPOLOGIE DU SYSTEME OFDM OPTIQUE

La chaîne OFDM se compose de trois blocs principaux : l'émetteur OFDM, le support de la transmission présentée par la fibre monomode et le récepteur OFDM. La figure 1 illustre le schéma bloc d'un émetteur OFDM optique. Le codeur QAM permet la modulation et la transformation des bits générés par la source en des symboles complexes ayant des valeurs dans l'alphabet correspondant. Les symboles résultants passent à la modulation OFDM. En effet, le modulateur OFDM permet de diviser le flux de données initial en des flux de données à débit plus bas en utilisant N sous porteuses orthogonales espacées par  $\Delta F = 1/NT$  (T : la durée d'un symbole OFDM). Ainsi, le modulateur OFDM effectue la transformée de Fourier inverse IFFT en utilisant les N sous porteuses et ajoute le préfixe cyclique au symbole OFDM pour éliminer l'interférence inter-symbole (ISI). Ensuite, un convertisseur numérique-analogique DAC est appliqué pour obtenir le signal résultant en bande de base. On se limite aux signaux OFDM à valeurs réelles satisfaisant la symétrie hermitienne. Le modulateur en quadrature transforme les signaux issus des voies I et Q, présentant les parties réelles et imaginaires du signal en bande de base, en un seul signal dont le spectre est autour de la fréquence porteuse tel que le signal résultant est de la forme :

$$r(t) = \cos(2\pi f_c t) \cdot I(t) + \sin(2\pi f_c t + \pi/2) \cdot Q(t) \quad (1)$$

Enfin, le laser permet de convertir le signal électrique en un signal optique.



Fig. 1 : Schéma bloc d'un émetteur OFDM optique

La figure 2 illustre le schéma bloc d'un récepteur OFDM optique permettant la conversion du signal optique reçu en un signal électrique grâce à la photodiode. Ensuite, le signal est transmis au démodulateur en quadrature avant de passer au démodulateur OFDM. Le signal passe au convertisseur analogique-numérique ADC. Le démodulateur OFDM effectue la transformée de Fourier (FFT) et enlève le préfixe cyclique. Enfin, le décodeur QAM permet de récupérer le flux de données binaire initial.



Fig. 2 : Schéma bloc d'un récepteur OFDM optique

### 3. SIMULATIONS

Dans notre travail, nous avons développé un code Matlab pour simuler les différents blocs de la technique OFDM en utilisant une modulation 4 QAM avec un nombre d'échantillons par bit égal à 1000 et à un débit initial égal à 10 Gbit/s. La longueur d'onde est fixée à 1550 nm. La fibre optique utilisée a une dispersion chromatique  $D = 17$  ps/nm.km et une atténuation linéique  $\alpha = 0.2$  dB/km. Pour avoir de meilleures performances, on estime le canal optique avec un égaliseur de type zero forcing (ou Least square).

#### 3.1 Comparaison des diagrammes de constellation pour différentes longueurs :

Le diagramme de constellation présente les images instantanées des symboles résultant de la modulation 4 QAM. Le nombre total de points est égal au produit du nombre de symbole OFDM dans la simulation et du nombre de sous porteuses. En absence de la fibre optique, le diagramme de constellation présente des symboles bien définis ( $L = 0$  km). Cependant, en augmentant la longueur le diagramme de constellation devient moins net et présente alors un ensemble de nuage de points dont les symboles se dispersent, donnant des formes variées au diagramme. Dans ce cas, le démodulateur effectue plus d'erreurs au niveau des symboles restitués.

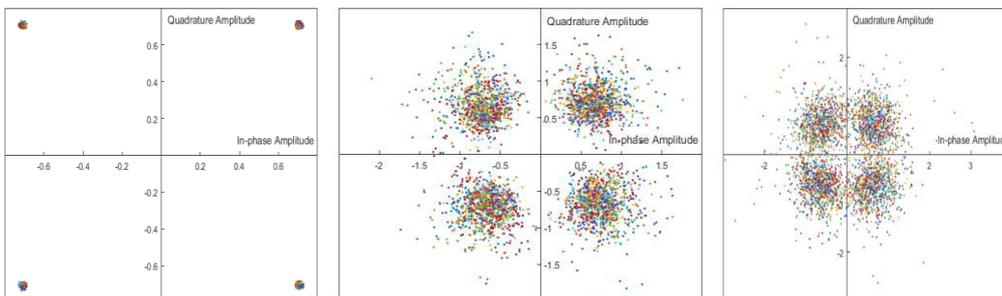


Fig. 3 : Diagrammes de constellation pour les longueurs 0, 40 et 80 Km (de la gauche vers la droite) pour la modulation 4 QAM à 128 porteuses

#### 3.2 Effet de la modulation QAM et du nombre de sous porteuses sur le BER pour différentes longueurs

D'après la figure 4a, on remarque que la valeur de BER croit linéairement en fonction de la longueur de la fibre pour les trois ordres de modulation. Ceci s'explique par le fait que la dispersion chromatique augmente en fonction de la longueur de la fibre. Le signal reçu sera plus distordu, donnant une valeur de BER plus élevée. Pour chaque longueur  $L$ , on déduit que l'ordre de la

modulation influe sur les valeurs du BER. En passant de 4 QAM, 16 QAM jusqu'à 64 QAM, le nombre de points augmente et la distance entre les points devient de plus en plus courte. Ainsi le récepteur a plus de probabilité pour faire de fausses décisions, et par suite les performances se dégradent.

D'après la figure 4b, Le BER décroît en faisant diminuer le nombre de sous porteuses. En augmentant le nombre de sous porteuses, le rapport entre la puissance maximale du signal OFDM et sa puissance moyenne, appelée PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) devient plus élevé [5].

Le PAPR est donné par l'expression suivante :

$$\text{PAPR} = \frac{\max|x(t)|^2}{E[|x(t)|^2]} \quad (2)$$

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k * e^{j2\pi f_k t} \quad (3)$$

En effet, lorsque la valeur du PAPR augmente, le signal  $x(t)$ , résultant de la modulation des  $N$  sous porteuses par les symboles OFDM, présente alors de grands pics d'amplitude, ce qui entraîne sa distorsion car il sera très sensible aux effets non linéaires de la fibre optique. Ainsi, les performances du système se dégradent à la réception, entraînant des valeurs élevées de BER.

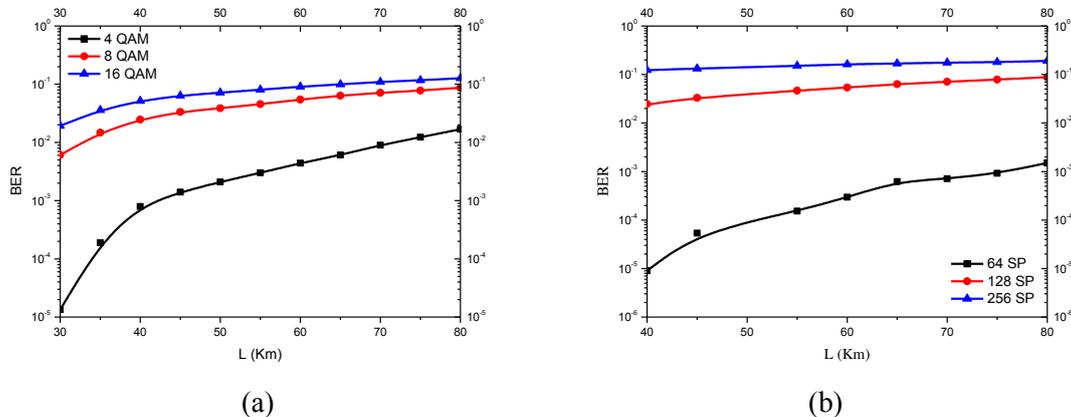


Fig. 4 : Variation de BER en fonction (a) de l'ordre de modulation QAM pour différentes longueurs avec 32 sous porteuses (b) du nombre de sous porteuses pour différentes longueurs avec la modulation 4 QAM

## CONCLUSION

Nous avons implémenté les différents blocs de la technique OFDM optique à détection directe. A travers les simulations, on montre que les performances du système OFDM optique se dégradent en augmentant la longueur de la fibre, le nombre de sous porteuses et l'ordre de la modulation. Cependant, le BER demeure élevé et l'ajout des égaliseurs électriques peut le diminuer.

## RÉFÉRENCES

- [1] X. Guo, et al., "High speed OFDM-CDMA optical access network", Optics Letters, Vol.41, N° 8, pp. 1809-1812, 2016.
- [2] T. Mao, et al., "Dual-Mode Index Modulation Aided OFDM", IEEE Access journal, Vol.5, pp. 50-60, 2017.
- [3] N. Jolley, et al., "Generation and propagation of a 1550 nm 10 Gbit/s optical orthogonal frequency division multiplexed signal over 1000m of multimode fibre using a directly modulated DFB", Optical Fiber Communication Conference, paper OFP 3, 2005.
- [4] M.A.J. John, "Performance Evaluation and Simulation of OFDM in Optical Communication Systems", International Journal of engineering Research and Applications, Vol. 1, N° 5, pp. 1-4, 2015.
- [5] H. TAGA, "A theoretical study of OFDM system performance with respect to subcarrier numbers", Optics Express, Vol. 17, N° 21, pp. 18638-18642, 2009.