

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/257785604>

# Etude des performances de la modulation OFDM pour l'utilisation dans les systèmes de communication sans fils de la 4G

Conference Paper · March 2004

CITATIONS

0

READS

5,910

5 authors, including:



**Abdennaceur Kachouri**  
University of Sfax

322 PUBLICATIONS 1,625 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



thesis project [View project](#)



Sleep data [View project](#)

# Etude des performances de la modulation OFDM pour l'utilisation dans les systèmes de communication sans fils de la 4G

Helmi BEN HNIA, Abdennaceur KACHOURI, Ossama BEN BELGHITH,  
Lotfi KAMOUN

*Laboratoire d'Electronique et des Technologies de l'information (L.E.T.I)*  
*Ecole nationale d'Ingénieurs de Sfax, BP W 3038 Sfax –Tunisie, Phone (+216) 74 274 088 - Fax :  
(+216) 74 275 595*

Helmi02fr@yahoo.fr  
oussamami@yahoo.fr  
Abdennaceur.Kachouri@enis.rnu.tn  
Lotfi.Kamoun@enis.rnu.tn

**Résumé**— La modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) présente de nombreux avantages pour les communications numériques à haut débit sur un canal sélectif en fréquence. Les modulations multiporteuses (OFDM) sont devenues pratiquement intéressantes depuis la mise en évidence d'une structure de modulateur totalement numérique. Ces modulations sont utilisées dans l'actuel système ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) mais aussi pour la diffusion radio/télévision numérique ainsi que dans plusieurs projets de normes futures tel que le système VDSL (Very High Rate DSL) ou la téléphonie de quatrième génération. La technologie OFDM peut être une technique clé pour accomplir la haute capacité des données et les exigences de l'efficacité spectrales pour les systèmes de communication sans fils du proche futur. Dans cet article nous présentons une méthode pour maximiser l'efficacité spectrale par l'OFDM. Dont lequel nous étudions les performances de cette technique en fonction des perturbations et des atténuations du canal à trajets multiples.

**Mots clés**— OFDM, IFFT, FFT, canal à trajet multiple, modulations multiporteuses

## 1. INTRODUCTION

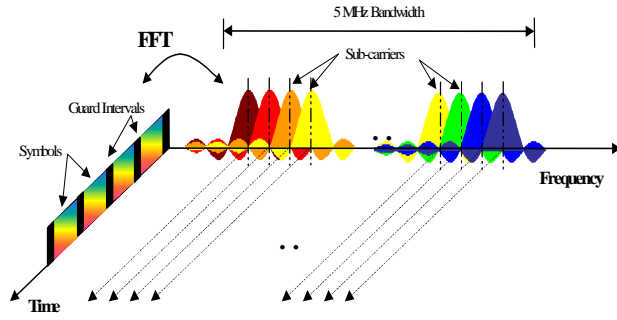
L'origine de l'OFDM est un développement de la FDM depuis les années 1950. L'OFDM est une technique de modulation numérique qui joue sur l'efficacité et la rentabilité de transmission dans le canal radio mobile pour un environnement multi-trajets. L'OFDM transmet les données en utilisant un grand nombre de porteuses pour une bande étroite. L'espace de fréquence et de synchronisation de la porteuse est choisi de telle sorte que les porteuses sont orthogonales pour éviter les interférences. Pour l'implémentation de l'OFDM on utilise la FFT (Fast Fourier Transform), qui est la base de cette technique. La première utilisation du l'OFDM est en 1980 dans les systèmes DAB (Digital Audio Broadcasting), et DVB (Digital Video Broadcasting). Pour ces deux derniers systèmes il y a une seule direction de la station de base vers les utilisateurs. Notre but est l'utilisation de l'OFDM dans les réseaux de communication sans fil pour des applications multi-

utilisateurs. Ces applications inclus dans les réseaux WLAN (Wireless Local Area Network), WLL (Wireless Local Loop) et le téléphone mobile de la 4G. Cet article présente une implémentation d'un MODEM (modulateur/démodulateur) OFDM sous MATLAB, pour lequel nous avons étudié les performances de cette technique en fonction de l'effet trajet multiple et rapport signal sur bruit.

## 2. PRINCIPE DE L'OFDM

Le principe de l'OFDM est de transmettre les informations sur plusieurs porteuses orthogonales entre elles, ainsi le spectre du signal présente une occupation optimale de la bande allouée [4]. Comme le montre la Figure 1, l'OFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et des fréquences. A chaque cellule fréquence/temps est attribuée une porteuse dédiée. L'information à transmettre est répartie sur l'ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par une

modulation du type QPSK ou QAM. Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant  $t$ .



**Figure 1 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM**

La technique de transmission OFDM est basée sur l'émission simultanée sur  $n$  bandes de fréquence (situées entre 2 et 30 MHz) [8] de  $N$  porteuses sur chaque bande. Pour le cas de l'UMTS la bande allouée est de 5 MHz (figure 1). Le signal est réparti sur les porteuses. Les fréquences de travail sont choisies en fonction des réglementations, les autres sont « éteintes » de manière logicielle. Le signal est émis à un niveau assez élevé pour pouvoir monter en débit, et injecté sur plusieurs fréquences à la fois. Si l'une d'elles est atténuée le signal passera quand même grâce à l'émission simultanée.

### 3. IMPLEMENTATION

#### 3.1. Modulateur OFDM

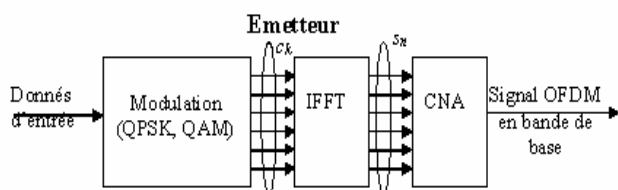
Si on pose que le signal modulé en bande de base  $s(t)$  est échantillonné par une période  $T_s / N$ . Appelons  $T_s$  la durée symbole c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de  $N$  données.

Les échantillons  $s_n$  s'écrivent :

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}} \quad (1)$$

L'équation (1) représente la Transformée de Fourier Inverse des symboles  $c_k$  déduits de la constellation du QPSK ou QAM, donc il suffit d'appliquer l'algorithme de la FFT (Fast Fourier Transform) sur ces symboles  $c_k$  pour réaliser la modulation OFDM.

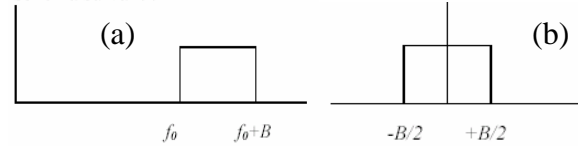
Le schéma de principe du modulateur OFDM en utilisant l'algorithme de la transformée de Fourier rapide inverse est présenté dans la figure 2.



**Figure 2 : Modulateur OFDM**

#### 3.2. Démodulateur OFDM

Le signal OFDM occupe la bande passante  $B$  à partir de la fréquence porteuse  $f_0$  comme le montre le schéma de la Figure 3 (a).



**Figure 3 : Occupation de la bande passante**

Pour démoduler, on va d'abord transposer le signal en bande de base, donc effectuer une translation de  $f_0 + B/2$ , fréquence médiane de la bande passante.

Le spectre occupera la bande  $[-B/2, B/2]$ , comme on le voit sur le schéma de la Figure 3 (b).

La bande passante du signal étant  $B/2 = N/2T_s$ , la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à  $2B/2$  soit  $N/T_s$ . L'échantillonnage se fera aux temps  $tn = nT_s/N$

$$\text{Où le signal émis est : } s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \quad (2)$$

Le signal reçu est :

$$y(t) = \sum c_k H_k(t) e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} = e^{2j\pi f_0 t} \sum c_k H_k(t) e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \quad (3)$$

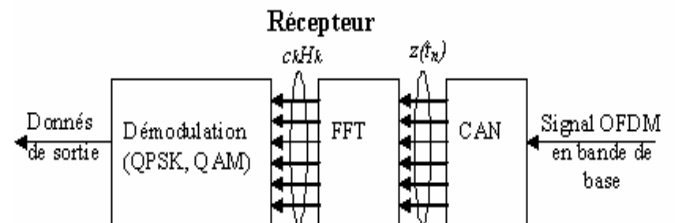
Le signal reçu en bande de base après le décalage en fréquence de  $f_0 + B/2$  est donné par :

$$z(t) = y(t) e^{-2j\pi(f_0 + \frac{N}{2T_s})t} = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi \frac{(k-N)t}{T_s}} \quad (4)$$

L'échantillonnage se fait à une période  $T_s/N$ , le signal reçu après échantillonnage sera :

$$z(t_n) = z(nT_s / N) = (-1)^n \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}} \quad (5)$$

On voit que  $z(t_n)$  est la Transformée de Fourier discrète inverse de  $ckHk$ . La démodulation consiste donc à effectuer une Transformée de Fourier rapide. La Figure 4 présente le schéma de principe du démodulateur OFDM.



**Figure 4 : Démodulateur OFDM**

### 4. MODELE DE SIMULATION

L'implémentation du modèle du modulateur OFDM sous Matlab nous permet d'étudier les performances de cette technique sur la transmission d'images permettant des services supplémentaires de type multimédia. La Figure 5 présente le modèle implémenté

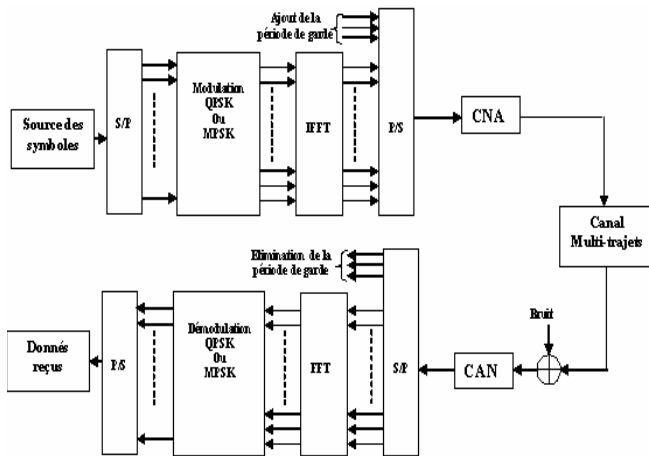


Figure 5: Modèle de simulation

A la sortie de la source de symboles, un convertisseur série/parallèle convertie la trame de données en parallèle, chaque symbole est transmis par une porteuse. Après la modulation (QPSK ou QAM) on applique la transformée de Fourier inverse aux symboles complexes déduits du diagramme de constellation pour retrouver la forme temporelle de l'onde à transmettre.

Sur chaque porteuse, chaque symbole est suivi d'un intervalle de garde dont le but est d'absorber l'interférence inter-symbole due au canal comme le montre la Figure 6.



Figure 6 : Symbole OFDM et période de garde

La Figure 7 présente le signal modulé OFDM en fonction du temps, et on remarque l'apparition de la période de garde dans la figure.

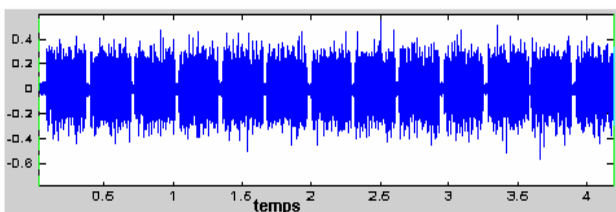


Figure 7 : Signal modulé OFDM

Pour le canal de transmission nous allons appliquer au signal transmis un modèle de canal qui prend en compte le rapport signal sur bruit en ajoutant un bruit blanc gaussien et l'effet du trajet multiple en estimant les retards et l'amplitude des signaux du trajet multiple par un filtre RIF<sup>1</sup>. Pour cela la longueur de ce filtre correspond au délai maximal des retards et les valeurs des coefficients correspondent aux amplitudes des différents signaux réfléchis.

Le récepteur fait l'opération inverse du transmetteur fondamentalement. La période de garde est enlevée, la FFT est appliquée sur chaque symbole OFDM pour récupérer les symboles complexes du départ, donc la phase et l'amplitude de chaque porteuse sont évaluées puis converties pour trouver les données transmises.

#### 4.1. Effet du retard du trajet multiple

Pour la simulation l'OFDM a été testé avec un signal multi trajets qui contient des échos. Le délai des ces échos sont pris sous formes de nombre d'échantillons comme l'indique la Figure 8, l'amplitude des signaux réfléchis est inférieure de 3dB par rapport au signal du trajet direct. La période de garde est de l'ordre de 250 échantillons c'est pour cette raison qu'on a pas des erreurs qu'à partir de délai de retard supérieur à 250 échantillons.

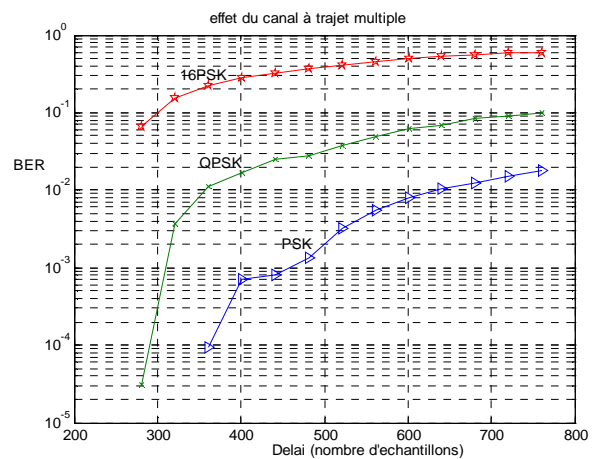


Figure 8: BER en fonction des retards des trajets multiples (les porteuses sont modulées en BPSK, QPSK et 16PSK)

A partir de la Figure 8, on remarque que le taux d'erreur bit (BER<sup>2</sup>) est très important si on augmente le nombre de bits par symbole modulant (BPSK : 1bit/symbole ; QPSK : 2bits/symbole ; 16PSK : 4bits/symbole).

#### 4.2. Effet de l'amplitude du signal réfléchi

Pour cette partie de simulation nous allons prendre le délai des retards constants 500 échantillons et nous varions l'amplitude des signaux réfléchis. La figure 9 présente le taux d'erreur bit (BER) en fonction du rapport signal direct sur signal réfléchi pour des porteuses modulées en BPSK, QPSK et 16PSK. Nous remarquons que le taux d'erreur bit pour une modulation BPSK est moins sensible contre l'effet de l'amplitude des signaux réfléchis.

<sup>1</sup> RIF : Réponse Impulsionnelle Finie

<sup>2</sup> BER : Bit Erreur Rate

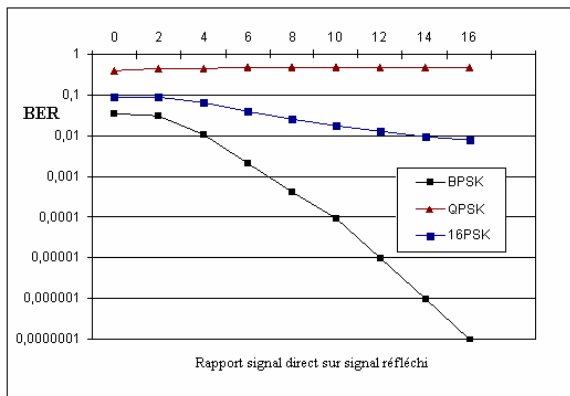


Figure 9 : BER en fonction du rapport signal direct sur signal réfléchi

#### 4.3. Effet du bruit gaussien sur l'OFDM

La performance de l'OFDM dépend du rapport signal sur bruit (SNR<sup>3</sup>). Cela sera attendu comme le signal transmis est semblable au système standard qui utilise le multiplexage fréquentiel. La figure 10 présente les résultats de simulation. Pour une transmission utilisant la QPSK peut supporter un SNR plus que 10-12dB. Pour une transmission utilisant BPSK peut supporter un SNR de 6-8dB. Cependant, l'utilisation du BPSK permet au BER d'être amélioré dans un canal bruyant, et pour un canal à faible bruit la capacité de transmission peut être augmenté en utilisant le 16PSK. A partir de SNR=25dB, le 16PSK peut être utilisé et par conséquence augmenter la capacité.

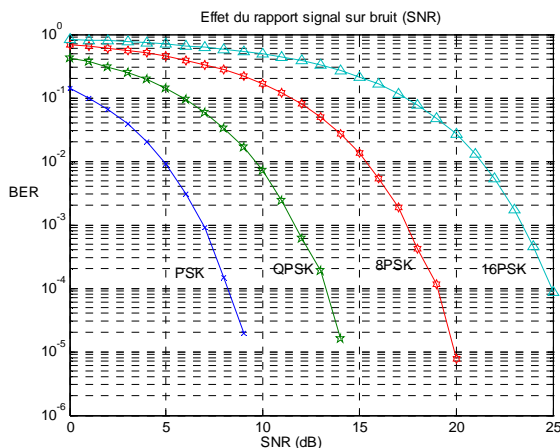


Figure 10 : BER en fonction du rapport signal sur bruit (SNR)

La Figure 11 présente le taux d'erreur bit (BER) en fonction du nombre des porteuses et du nombre de bit/symbole de chaque porteuse. Lorsqu'on utilise 1bits/symbole (BPSK) le taux d'erreur bit est faible même si on utilise un grand nombre des porteuses. Plus qu'on augmente le nombre de bit/symbole plus les performances seront faibles.

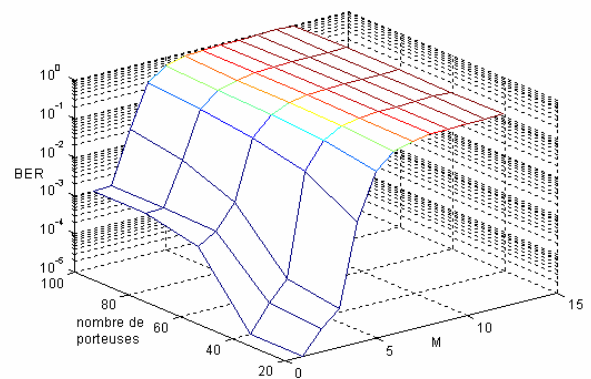


Figure 11 : Compromis entre le nombre de porteuse et le nombre de bit/symbole, FFT : 2048

On conclut que, pour la modulation OFDM, on a des performances similaires avec un nombre de porteuse important et de bits par symbole faible (BPSK par exemple) qu'avec un nombre réduit de porteuse modulée et d'états élevé (16PSK).

#### 5. CONCLUSION

L'OFDM est utilisée pour la transmission à haut débit sur des fréquences radioélectriques dans des environnements à parcours multiples. L'information est répartie en petits blocs de données qui sont chacun affectés à des porteurs orthogonaux. L'avantage de ce processus est de pouvoir récupérer l'information transmise même si plusieurs échos ont affectés la transmission radioélectrique. Cette technique de modulation peut être adoptée par les systèmes de communication sans fils de quatrième génération offrant aux utilisateurs des services supplémentaires de type multimédia asymétriques.

#### BIBLIOGRAPHIES

- [1] S. Kaiser, A. Svensson, 'Broadband Multi-Carrier Based Air Interface', WWRP/WG4/Subgroup on New Air Interface, Version 1.4, October 25, 2002.
- [2] Hui Liu, Ufuk Tureli, 'A High-Efficiency Carrier Estimator for OFDM Communications', *IEEE Communications Letters*, Vol. 2, No. 4, pp. 104 – 106; 2000.
- [3] Marco Luise, Ruggero Reggiannini, 'Carrier Frequency Acquisition and Tracking of OFDM Systems', *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 44, No. 11, Novembre 1996.
- [4] P. Moose, 'A Technique for Orthogonal Frequency Division Multiplexing Frequency Offset Correction', *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42, No. 10, Octobre 1994, pp. 2908 – 2914.
- [5] Larbi Talbi, Gilles Y. Delisle, 'Experimental Characterisation of EHF Multipath Indoor Radio Channels', *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 3, April 1996.
- [6] Y. Wu, W.Y. Zou, IEE Trans. 'Orthogonal Frequency Division Multiplexing: A Multi-carrier Modulation Scheme On Consumer Electronic'. Vol.41, No.3 August 1995.
- [7] 3rd Generation Partnership Project. <http://www.3gpp.org>.

<sup>3</sup> SNR : Signal Noise Ratio