

BE OFDM

Abdeslam EL BENNOURI

Deuxième année Département Sciences du Numérique Options Télécommunications et
Réseaux
2020-2021

Contents

1	Introduction	3
2	Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal (OFDM-Partie-2.m)	3
2.1	Émission	3
2.2	Réception sans canal	4
3	Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal multitrajets, sans bruit (OFDM-Partie-3.m)	4
3.1	Implantation sans intervalle de garde	5
3.2	Implantation avec intervalle de garde composé de zéros	7
3.3	Implantation avec préfixe cyclique	7
3.4	Implantation avec préfixe cyclique	8
4	Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal à bruit additif blanc et gaussien (OFDM-Partie-4.m)	9
5	Conclusion	10
6	Références	10

List of Figures

1	Densité Spectrale de Puissance (DSP)	3
2	Densité Spectrale de Puissance (DSP)	4
3	Densité Spectrale de Puissance (DSP)	4
4	la réponse en fréquence (module et phase) du canal de propagation	5
5	le passage du signal OFDM dans le canal de propagation multitrajets	5
6	la densité spectrale de puissance du signal en sortie du canal	6
7	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3	6
8	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14	6
9	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3 avec l'ajout d'intervalle de garde . .	7
10	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14 avec l'ajout d'intervalle de garde .	7
11	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3 avec l'ajout de préfixe cyclique . . .	8
12	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14 avec l'ajout de préfixe cyclique . .	8
13	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3 avec l'ajout de préfixe cyclique et un égalisateur ZF	9
14	les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14 avec l'ajout de préfixe cyclique et un égalisateur ZF	9
15	le taux d'erreur binaire	10

1 Introduction

Ce BE sera effectué sous Matlab et a pour objectif que vous soyez capable d'implanter une chaîne de transmission OFDM dans un contexte de canal sélectif en fréquences et d'analyser les résultats obtenus. Il donnera lieu à une note sur la base des codes réalisés et d'un rapport qui devra contenir les tracés demandés et les explications associées. Les codes et le rapport devront être envoyés par mail à votre intervenant de TP (marie-laure.boucheret@enseeiht.fr ou nathalie.thomas@enseeiht.fr) pour le 18/12/2020 au plus tard.

2 Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal (OFDM-Partie-2.m)

La chaîne de transmission OFDM devra, dans un premier temps, être implantée sans canal afin de vérifier son bon fonctionnement. Le nombre de porteuses pourra être choisi égal à 16. Afin de simplifier les simulations, on considérera un mapping BPSK sur chaque porteuse. La durée d'un symbole OFDM sera de N_T , si T_s représente la durée symbole que l'on aurait en monoporteuse et donc la période d'échantillonnage de l'implantation à réaliser ici.

2.1 Émission

On plantera la génération du signal OFDM (en utilisant la fonction `ifft.m` de Matlab), on visualisera sa Densité Spectrale de Puissance (DSP) et on expliquera les résultats obtenus :

1. Lorsqu'une seule porteuse parmi 16 est utilisée. Les autres seront mises à zéro.

Réponse

On prend $N=16$.

On implante la chaîne de transmission OFDM sans canal en considérant un mapping BPSK sur chaque porteuse pour simplifier les simulations, ensuite on visualise sa densité Spectrale de Puissance (DSP).

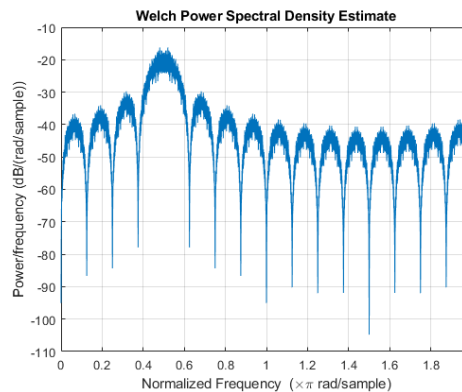


Figure 1: Densité Spectrale de Puissance (DSP)

On constate le spectre sur la cinquième porteuses et toutes les autres sont nuls car dans le script on a choisit de travailler par la porteuse numéro 5.

2. Lorsque deux porteuses parmi 16 sont utilisées. Les autres seront mises à zéro.

Réponse

On constate le spectre sur la cinquième et la dixième porteuses et toutes les autres sont nuls car dans le script on a choisit de travailler par les porteuses du numéro 5 et 10.

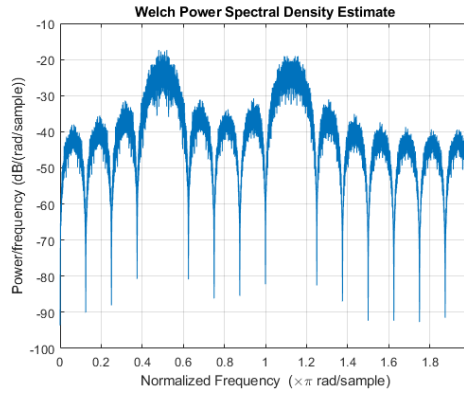


Figure 2: Densité Spectrale de Puissance (DSP)

3. Lorsque les 8 porteuses centrales sont utilisées. Les autres seront mises à zéro : 4 sur le bord gauche du spectre, 4 sur le bord droit.

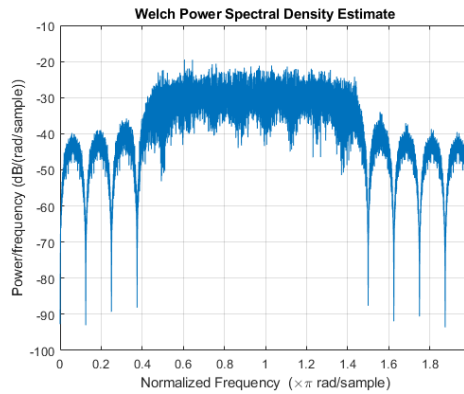


Figure 3: Densité Spectrale de Puissance (DSP)

⇒ On remarque que pour une porteuse non utilisée, on obtient un pic. Ainsi, Pour chaque porteuse mise à 0, on perd de l'information.

La chaîne de transmission OFDM fonctionne alors correctement, le spectre du signal OFDM généré correspond bien à nos choix de porteuses utilisées.

2.2 Réception sans canal

Implanter la démodulation du signal OFDM pour revenir aux bits transmis et calculer le taux d'erreur binaire (TEB) simulé obtenu. On vérifiera sans canal que ce TEB est bien nul.

Réponse : Dans un deuxième temps, on implante la démodulation du signal OFDM et on détermine le taux d'erreur binaire simulé. On trouve:

$$TEB = 0$$

Il est donc bien nul. Voir le code (OFDM-Partie-2.m)

3 Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal multitrajets, sans bruit (OFDM-Partie-3.m)

On introduira, dans la chaîne précédente, le canal de propagation multi-trajets suivant (un des canaux test de Proakis) :

$$y(t) = 0.227x(t) + 0.46x(tT_s) + 0.688x(t2T_s) + 0.460x(t3T_s) + 0.227x(t4T_s)$$

où $x(t)$ représente le signal à l'entrée du canal multi-trajets et $y(t)$ le signal à la sortie.

3.1 Implantation sans intervalle de garde

1. Déterminer le nombre, N , de porteuses à utiliser ici de telle manière que la taille de l'intervalle de garde, puis du préfixe cyclique, qui seront ajoutés par la suite ne représente que 20 à 25 pourcent de la durée totale du symbole (i.e. 20 à 25 pourcent d'extension de bande). On remplira, par la suite, toutes les porteuses (pas de mises à zéro).

Réponse : N faut qu'il soit entre 12 et 16

2. Tracer la réponse en fréquence (module et phase) du canal de propagation.

Réponse : on commence par visualiser sa fonction de transfert afin d'identifier les distorsions introduites, on obtient les figures suivantes:

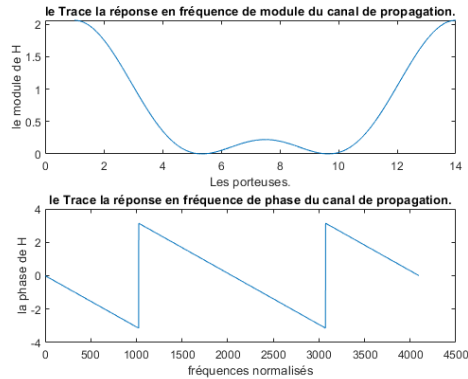


Figure 4: la réponse en fréquence (module et phase) du canal de propagation

3. Implanter le passage du signal OFDM dans le canal de propagation multitrajets en utilisant la fonction filter de Matlab : $\text{SignalRecu}=\text{filter}(h,1,\text{SignalOFDM})$; où h représente la réponse impulsionnelle du canal de propagation considéré échantillonné à T_s .

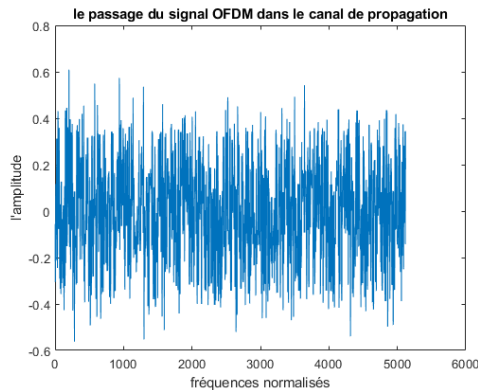


Figure 5: le passage du signal OFDM dans le canal de propagation multitrajets

4. Visualiser la densité spectrale de puissance du signal en sortie du canal et la comparer à celle obtenue avant passage dans le canal.

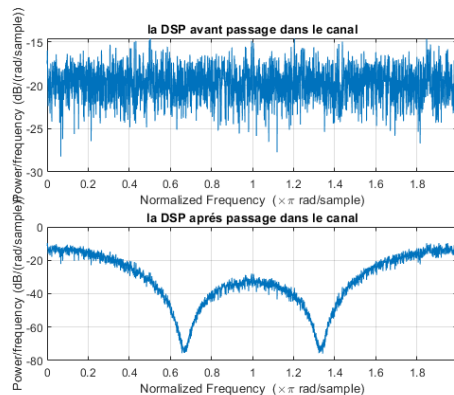


Figure 6: la densité spectrale de puissance du signal en sortie du canal

5. Visualiser les constellations obtenues en réception sur deux porteuses et expliquer les résultats obtenus (choisir deux porteuses un peu éloignées dans l'espace fréquentiel).

Réponse : On visualise ensuite les constellations obtenues en réception sur les porteuses 3 et 13 :

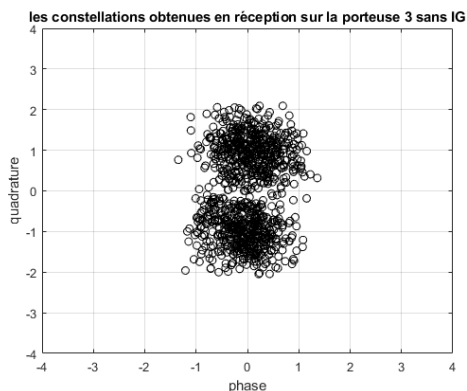


Figure 7: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3

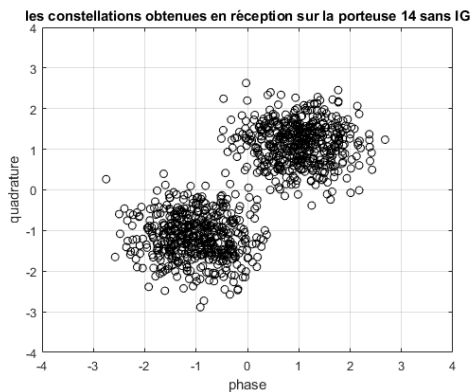


Figure 8: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14

6. Déterminer le TEB simulé.

Réponse : Enfin, on détermine le TEB obtenu (Voir OFDM-Partie-3.m):

$$TEB = 0.4192$$

La chaîne de transmission est donc très peu efficace.

3.2 Implantation avec intervalle de garde composé de zéros

Ajouter un intervalle de garde composé de zéros devant chaque symbole OFDM transmis avant passage dans le canal de propagation puis :

1. Tracer les constellations obtenues sur les mêmes porteuses que précédemment et expliquer les résultats obtenus

Réponse : Une des raisons importantes pour lesquelles on utilise la modulation OFDM est sa robustesse face aux problèmes de transmission dans un environnement à trajets multiples. Pour éliminer les interférences inter symboles (ISI), un intervalle de garde est rajouté pour chaque symbole OFDM. On choisit la durée de l'intervalle de garde de telle sorte qu'elle soit supérieure par rapport à une durée de retard maximal causé par les phénomènes de propagation à trajets multiples et qu'un symbole ne puisse pas interférer avec le prochain symbole

Ici, on choisit un intervalle de garde composé de zéros IG=4, ensuite on trace les constellations obtenues sur les porteuses 3 et 14:

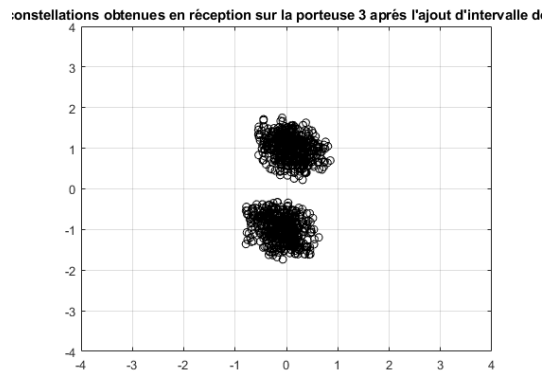


Figure 9: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3 avec l'ajout d'intervalle de garde

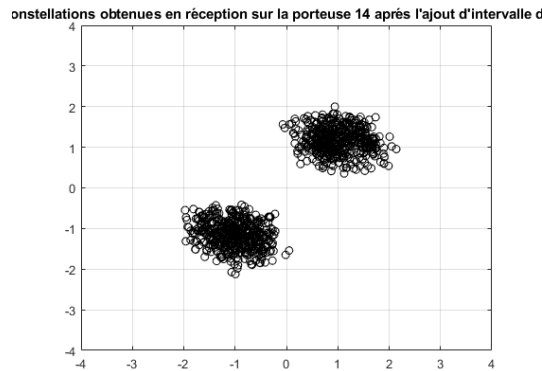


Figure 10: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14 avec l'ajout d'intervalle de garde

2. Déterminer le TEB simulé.

Réponse : On détermine le TEB simulé: il est toujours proche de 0,4235.(Voir le code OFDM-Partie-3.m)

3.3 Implantation avec préfixe cyclique

Ajouter un préfixe cyclique devant chaque symbole OFDM transmis avant passage dans le canal de propagation puis :

1. Tracer les constellations obtenues sur les mêmes porteuses que précédemment et expliquer les résultats obtenus.

Réponse : Dans cette partie, on ajoute un préfixe cyclique de taille $D=4$, entre chaque symbole OFDM transmis avant passage dans le canal de propagation, qui ne présente que 20% à 25% de la durée totale du symbole.

On étend alors le symbole OFDM en copiant les D dernières composantes et en les plaçant à l'avant de ce même symbole.

On trace de même les constellations obtenues sur les porteuses 3 et 14:

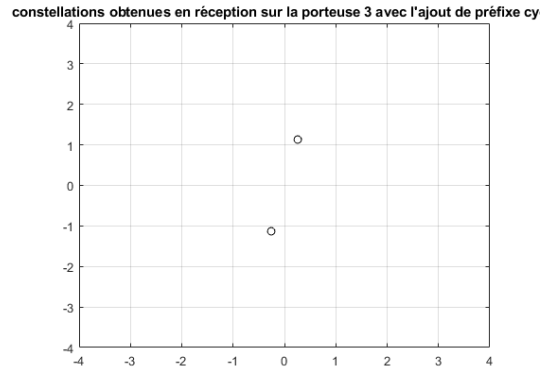


Figure 11: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3 avec l'ajout de préfixe cyclique

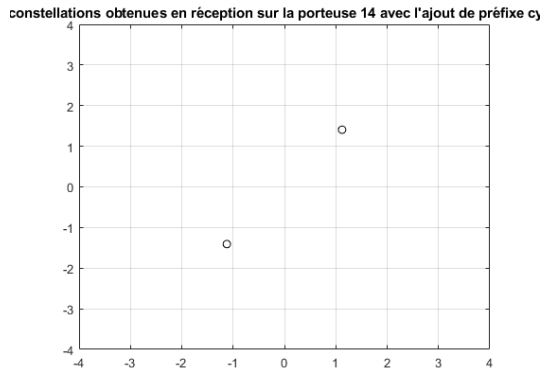


Figure 12: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14 avec l'ajout de préfixe cyclique

2. Déterminer le TEB simulé.

Réponse : Enfin, on détermine le taux d'erreur binaire, il est encore aux environs de 0.5709

On constate que les interférences sont éliminées. Mais, on n'arrive pas à améliorer le TEB

3.4 Implantation avec préfixe cyclique

En considérant que le canal est connu du récepteur, on ajoutera à la chaîne précédente (avec préfixe cyclique) un égaliseur de type ZFE (Zero Forcing Equalizer), de réponse en fréquences

$$H = [H(0)H(1)...H(N1)]$$

, avec $H(k) = 1/C(k)$ pour $k = 0$ à $N - 1$

où $C(k)$ est le coefficient représentant l'impact du canal de transmission sur la k ème porteuse et N le nombre de porteuses utilisées. L'égalisation ZFE consiste donc à diviser les symboles obtenus sur chaque porteuse par le coefficient représentant l'impact du canal pour cette porteuse : voir figure 1.

Après égalisation :

1. Tracer les constellations obtenues sur les mêmes porteuses que précédemment et expliquer les résultats obtenus.

Réponse : on visualise les constellations obtenues après égalisation sur les mêmes porteuses que précédemment, on obtient:

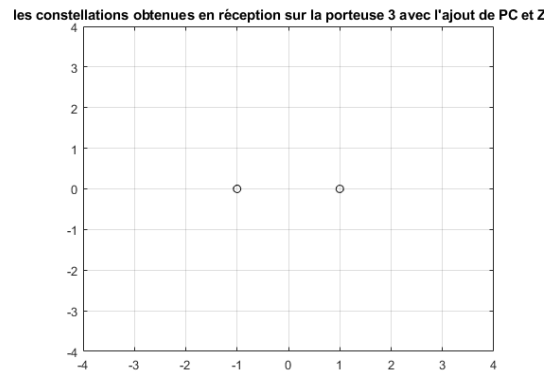


Figure 13: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 3 avec l'ajout de préfixe cyclique et un égalisateur ZF

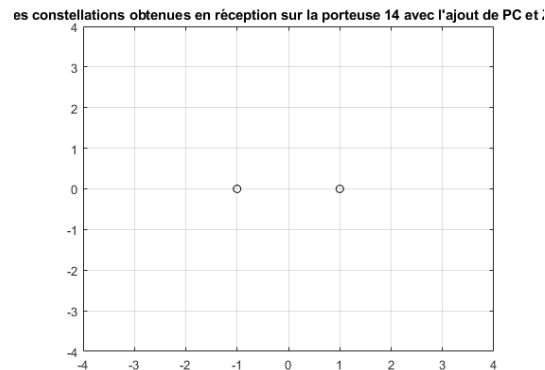


Figure 14: les constellations obtenues en réception sur la porteuse 14 avec l'ajout de préfixe cyclique et un égalisateur ZF

2. Déterminer le TEB simulé

Réponse : Et en calculant le taux d'erreur binaire, on trouve:

$$TEB = 0$$

On constate que:

→ A la réception, l'interférence entre symboles est supprimée.

→ On retrouve le signal émis.

⇒ L'égalisation permet de compenser l'effet du canal

4 Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal à bruit additif blanc et gaussien (OFDM-Partie-4.m)

A partir de la chaîne OFDM implantée dans la section 2, on modifiera le mapping pour passer en QPSK et on ajoutera un bruit blanc, gaussien et complexe à l'enveloppe complexe correspondant au signal OFDM à

transmettre. La puissance du bruit à ajouter sur chaque voie (phase et quadrature) est donnée par

$$\sigma_I^2 = \sigma_Q^2 = \frac{Ps_x}{2\log_2(M)\frac{E_b}{T_0}}$$

si Ps_x représente la puissance de l'enveloppe complexe du signal OFDM généré, M l'ordre de la modulation sur chaque porteuse et $\frac{E_b}{T_0}$ le rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur. On remplira ici toutes les porteuses (pas de mises à zéro), sinon la puissance de bruit à ajouter devrait prendre en compte le nombre de porteuses totales sur le nombre de porteuses utiles. On tracera alors le taux d'erreur binaire obtenu en fonction de $\frac{E_b}{T_0}$ et on vérifiera que l'on retrouve bien celui d'une modulation monoporteuse de type QPSK.

Réponse : On modifie la mapping dans la première chaîne pour passer en QPSK, et on ajoute un bruit blanc, gaussien. Après, on trace le taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal sur bruit, on obtient la figure suivante:

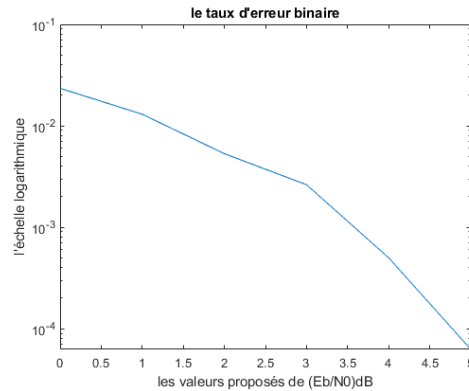


Figure 15: le taux d'erreur binaire

Le tracé approche une modulation monoporteuse de type QPSK

5 Conclusion

Ce BE m'a permis de savoir comment implanter une chaîne de transmission OFDM dans un contexte de canal sélectif en fréquences, ainsi que l'utilité de l'utilisation des égaliseurs pour améliorer le taux d'erreur binaire.

6 Références

fr.matworks.com/help (la documentation des fonctions)
cours magistral Nathalie Thomas
wikipedia.fr (autres documentations)