



BE OFDM / CDMA

Ayoub Najmeddine

Département Sciences du Numérique - Deuxième année
2021-2022

Contents

1	Introduction	3
2	Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal	3
2.1	Emission	3
2.2	Réception	5
3	Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal multi-trajets, sans bruit	5
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	8
3.4	Implantation avec préfixe cyclique et égalisation	9
4	Impact d'une erreur de synchronisation horloge	10
5	Conclusion	13
6	Références	13

1 Introduction

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM ou Orthogonal Frequency Division Modulation) est une modulation de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales.

L'OFDM est un procédé de modulation numérique des signaux qui est utilisé entre autres pour les systèmes de transmissions mobiles à haut débit de données. L'OFDM est particulièrement bien adapté aux canaux de transmission radio sur longues distances sans transmissions d'onde multiples (échos), il permet alors de réduire sensiblement les interférences inter-symboles.

2 Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal

On implantera dans un premier temps, la chaîne de transmission OFDM sans canal, avec un nombre de porteuse $N = 16$, et une modulation BPSK sur chaque porteuse.

La modulation OFDM peut être mise en oeuvre par des algorithmes FFT et IFFT. Les N symboles d'information à l'extrémité émettrice sont transformés par IDFT pour former un symbole OFDM, et l'extrémité réceptrice effectue une transformation DFT sur un symbole OFDM pour former N symboles d'information à démoduler.

2.1 Emission

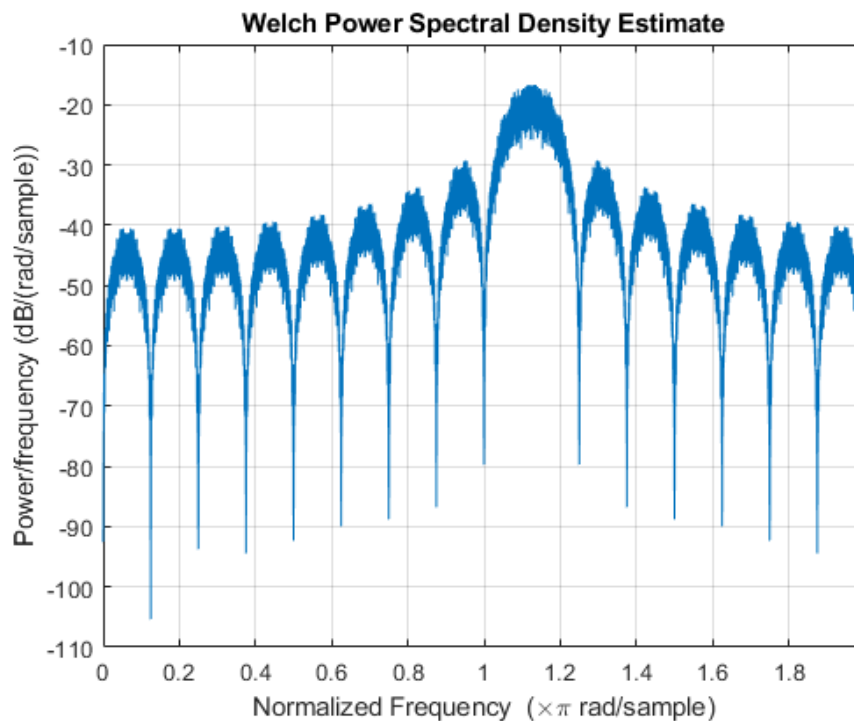


Figure 1: Densité Spectrale de Puissance lorsqu'une seule porteuse parmi 16 est utilisée.

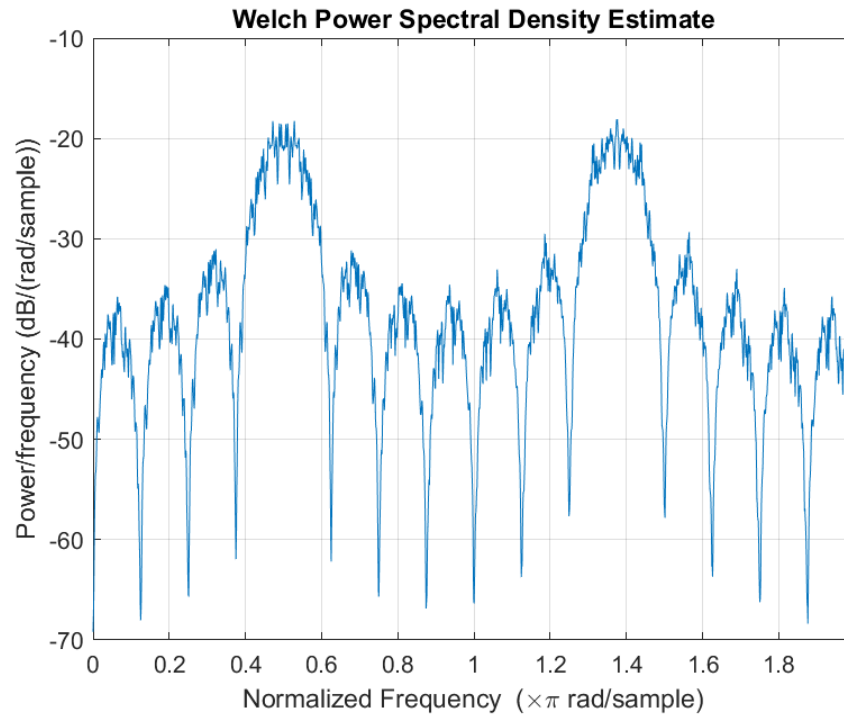


Figure 2: Densité Spectrale de Puissance lorsque 2 porteuses parmi 16 est utilisée.

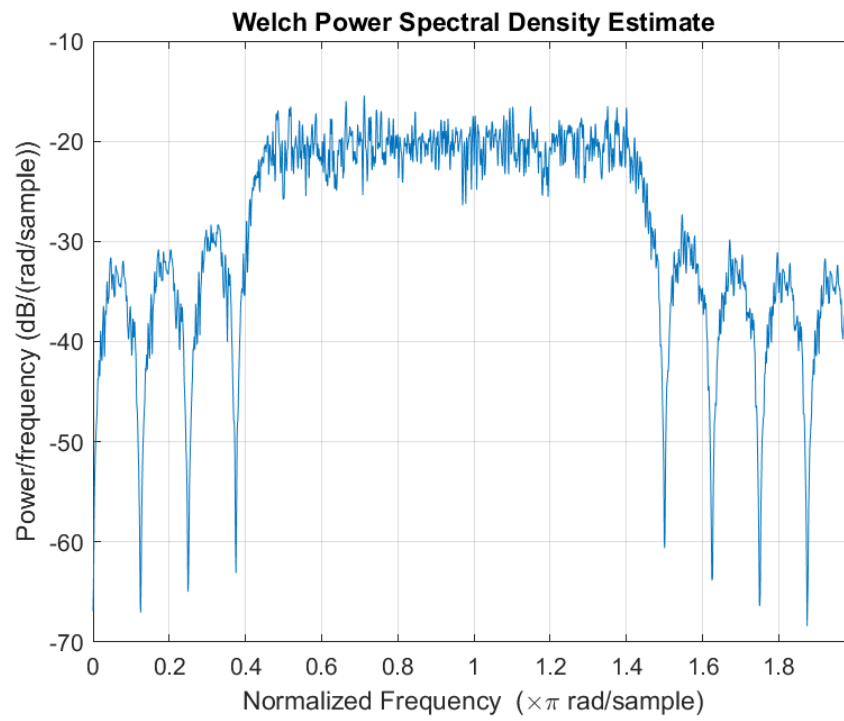


Figure 3: Densité Spectrale de Puissance lorsque les 8 porteuses centrales sont utilisées.

2.2 Réception

On vérifie à la sortie de la chaîne de transmission sans canal que le taux d'erreur est nul pour les trois cas d'utilisation de porteuses.

3 Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal multi-trajets, sans bruit

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

$$y(t) = 0.227x(t) + 0.46x(t - T_s) + 0.688x(t - 2T_s) + 0.46x(t - 3T_s) + 0.227x(t - 4T_s)$$

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

3.1 Implantation sans intervalle de garde

Pour une durée total de retard égale $4T_s$, l'intervalle de garde à ajouter doit être de longueur $4T_s$, cette longueur presente 1/4 de la durée symbole, soit :

$$4 \times T_s = 1/4 \times N \times T_s \Rightarrow N = 16$$

Le canal est selectif en fréquence, la porteuse 5 et la porteuse 11 sont les plus atténuées.

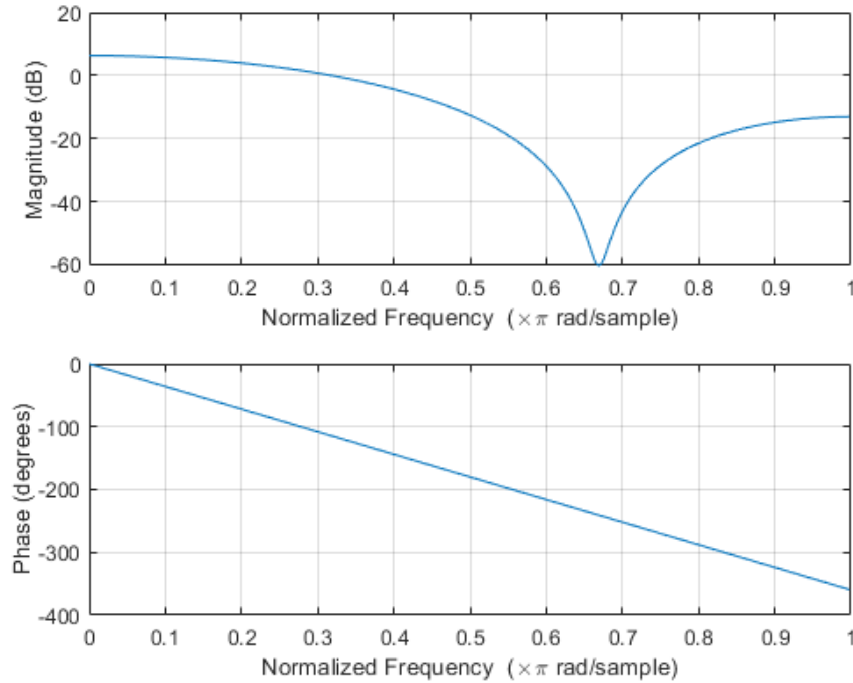


Figure 4: Réponse en fréquence (module et phase) du canal de propagation.

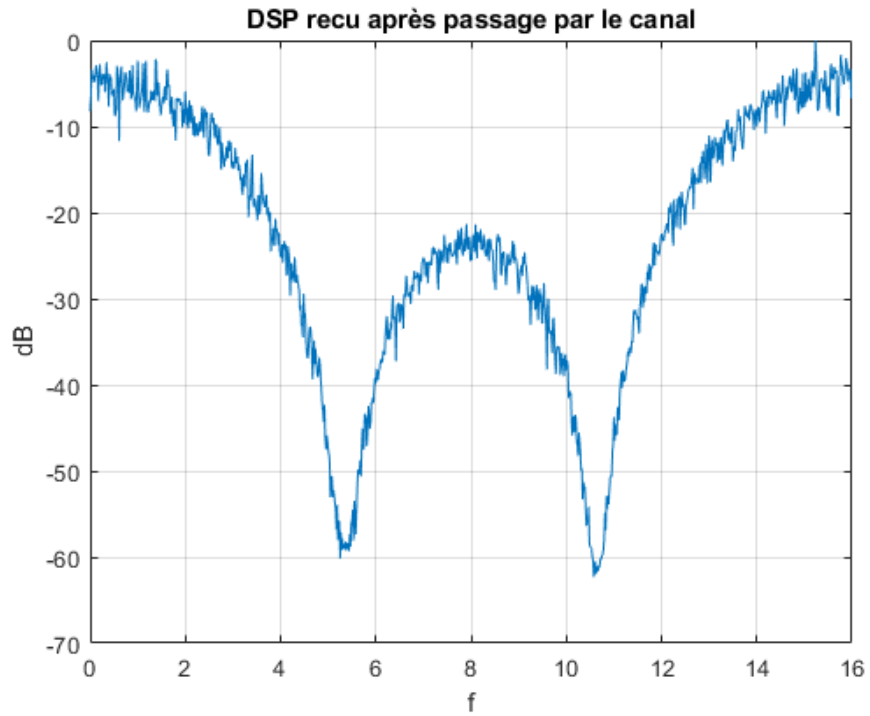


Figure 5: Densité Spectrale de Puissance du signal reçu après passage par canal.

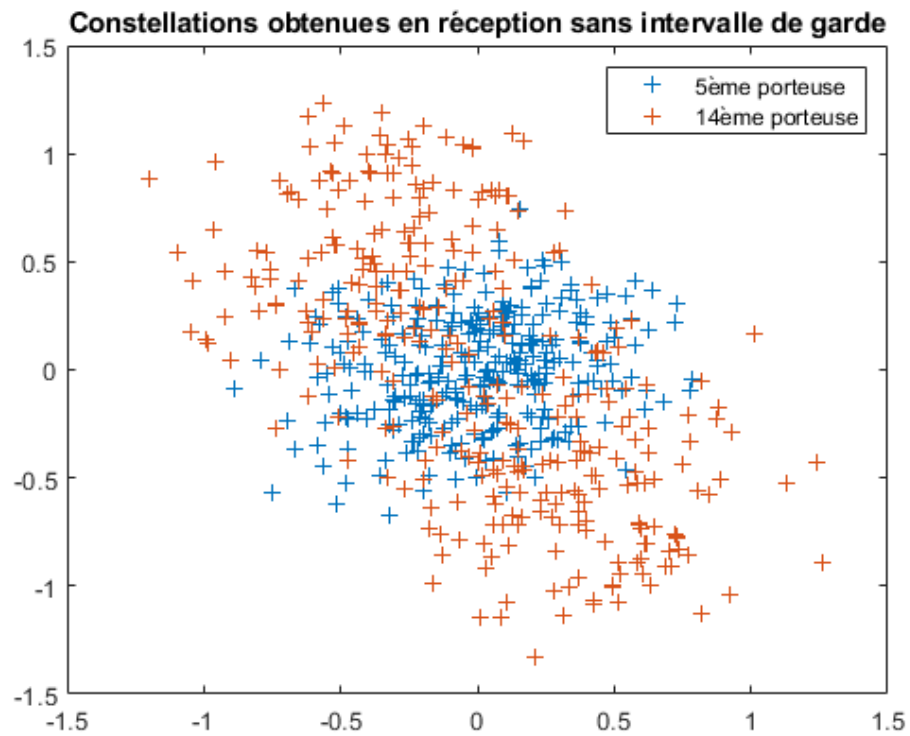


Figure 6: Constellations obtenues en réception sans intervalle de garde.

Les constellations obtenus en réception montrent que les la porteuse 14 ,et 5 sont les plus atténuées(points proches de zero) ce qui à été prévu par le tracé de la DSP.

Le calcul donne un TEB de l'ordre de 0.58, cela est due aux interférences inter-symboles. La suite aura pour objectifs de supprimer les ISI, en introduisant des intervalles de gardes.

3.2 Implantation avec intervalle de garde composé de zéros

On ajoute un intervalle de garde composé de zéros devant chaque symbole OFDM transmis avant passage dans le canal de propagation, et on obtient des nuages de points plus compacts.

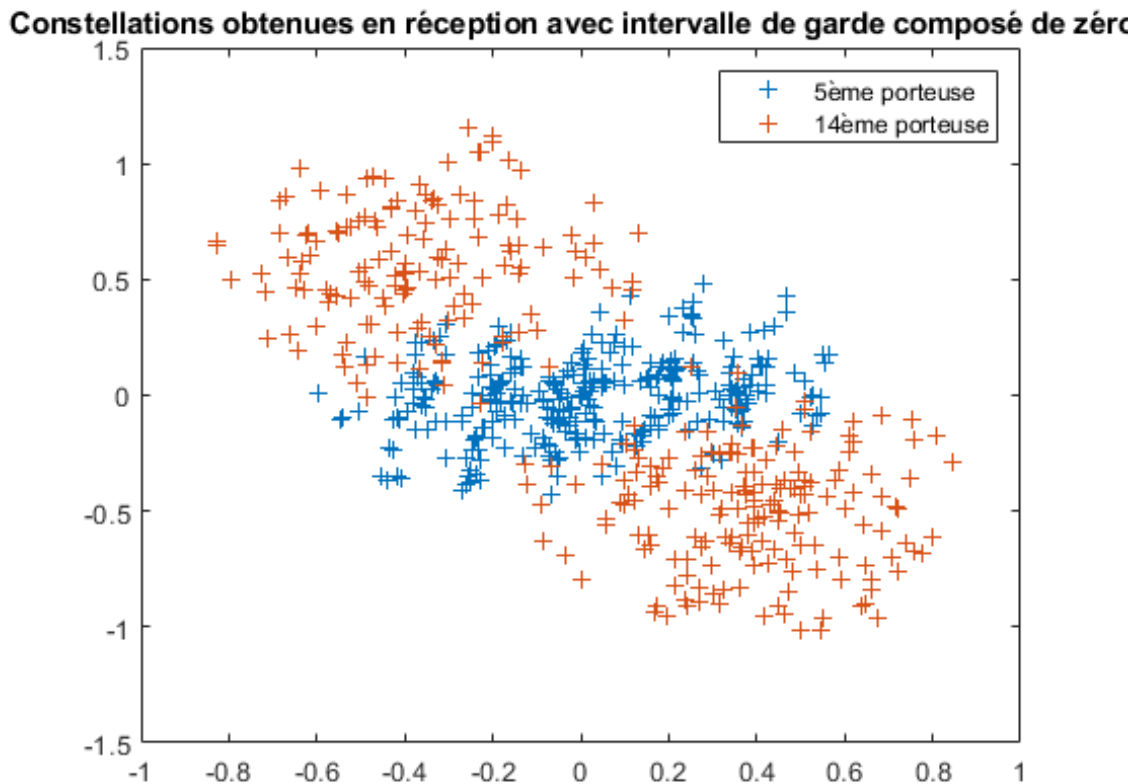


Figure 7: Constellations obtenues en réception avec intervalle de garde de zéros

Le calcul du TEB donne une valeur proche de 0.57, cela est due au fait que les zéros ajoutés ont introduit des interférences inter-symboles. Aucune différence du cas précédent.

3.3 Implantation avec préfixe cyclique

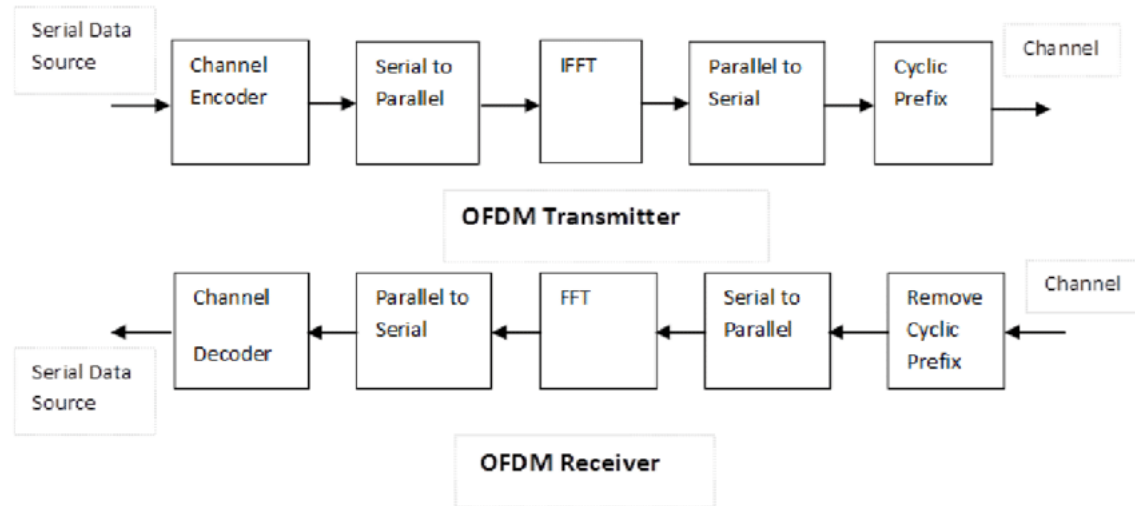


Figure 8: Architecture d'un système OFDM avec préfixe cyclique.

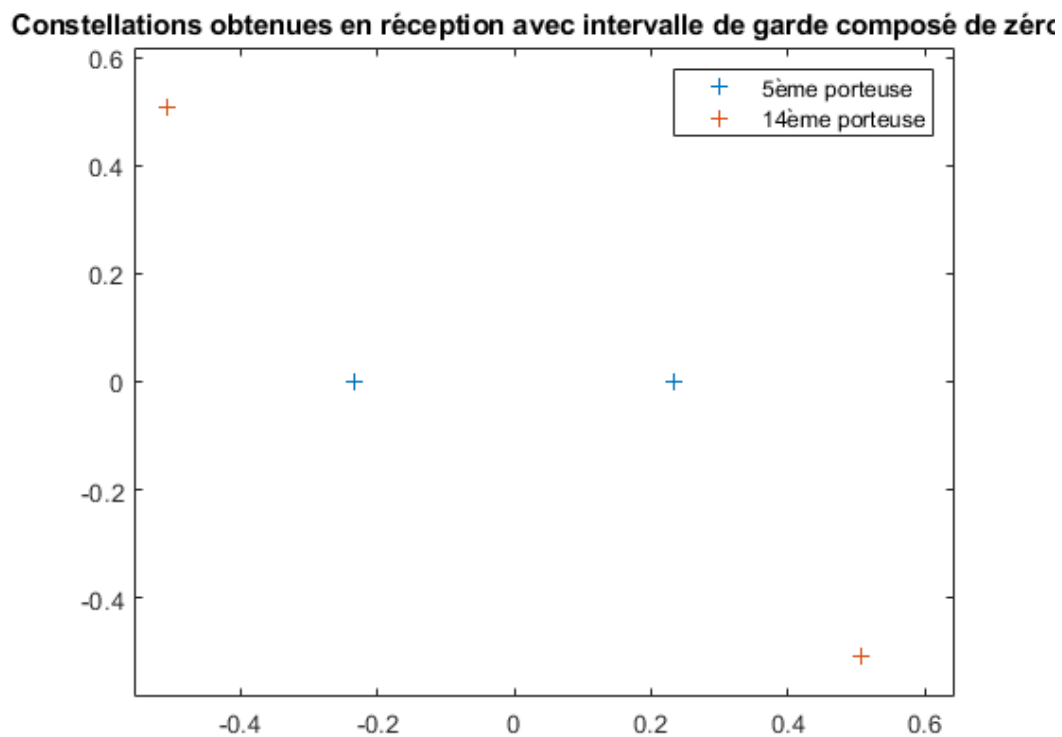


Figure 9: Architecture d'un système OFDM avec préfixe cyclique.

On remarque que les constellations sont transformées en points; les prefixes cyclique ont permis de supprimer l'erreur introduites par les interférences inter-symboles.

On peut constater que ces ont été tournés dans le plans complexes ce qui rend leur décision plus difficile.

Le TEB est proche de 0.5, la partie suivante porte sur l'égalisation ZF, qui permet de remédier au effet du filtre sur le signal.

3.4 Implantation avec préfixe cyclique et égalisation

il est souvent présenté une égalisation des canaux avant décision, on filtre les données par un filte "one-tap" sous chaque canaux, on obtient alors un symbole estimé :

$$\hat{X}(k) = W(k)Y(k) = W(k)H(k)X(k) + W(k)B(k) = \alpha_k X(k) + B(k)$$

Pour un critère Zero-forcing :

$$W(k) = 1/H(k)$$

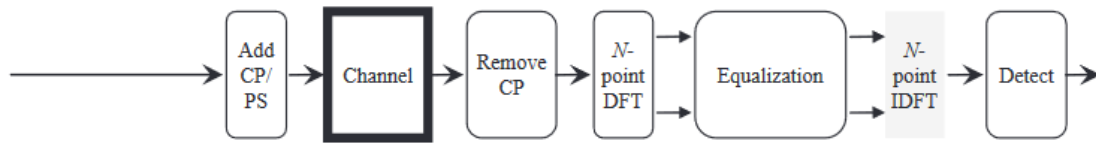


Figure 10: Chaîne de transmission SCFDE.

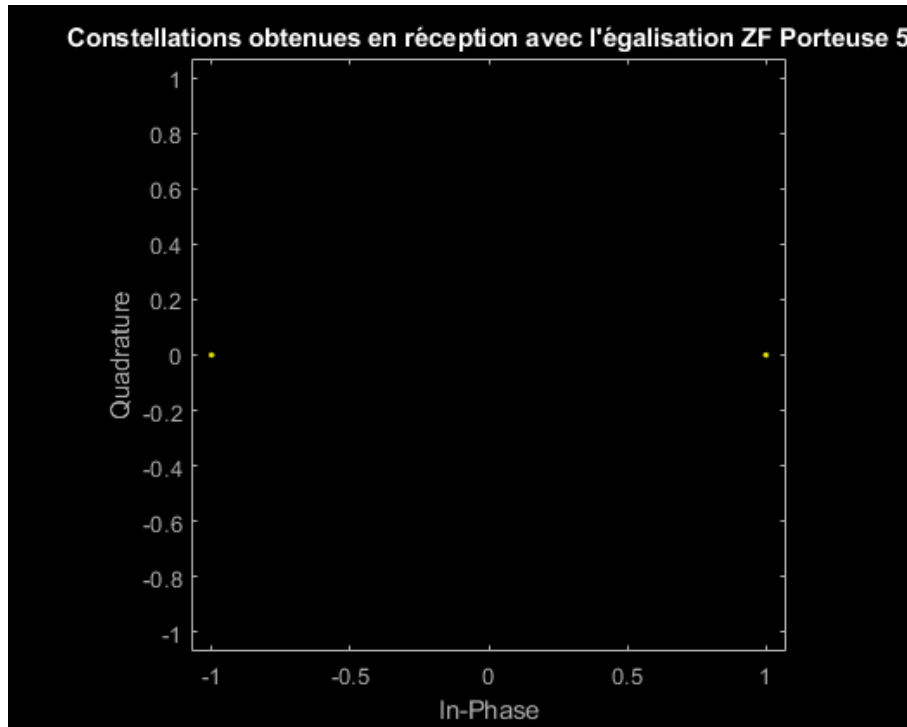


Figure 11: Constellations obtenues en réception avec l'égalisation ZF Porteuse 5.

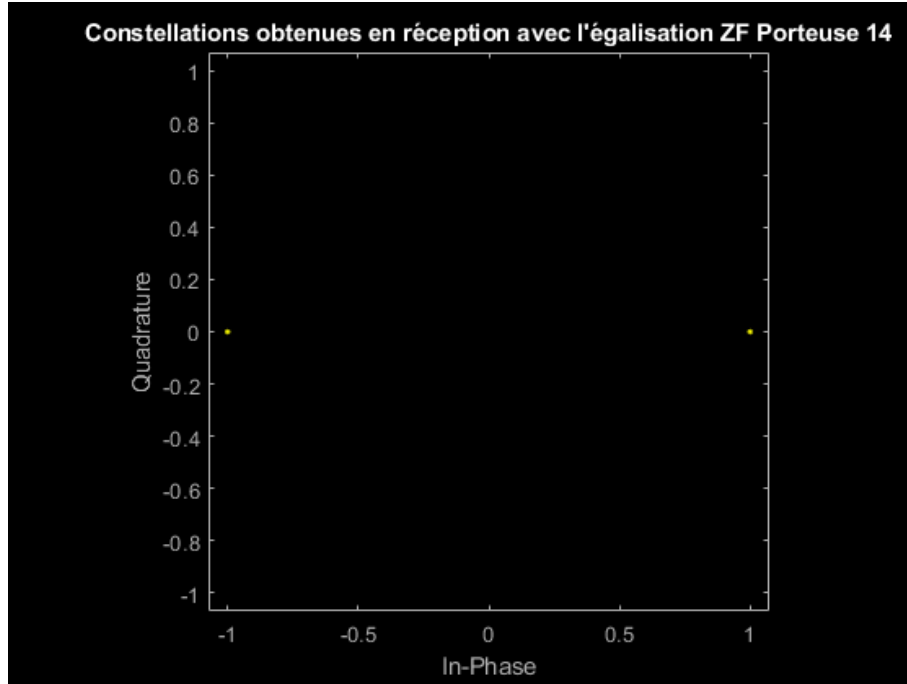


Figure 12: Constellations obtenues en réception avec l'égalisation ZF Porteuse 14.

4 Impact d'une erreur de synchronisation horloge

On va s'intéresser ici à l'impact d'une erreur de synchronisation horloge (on parle aussi de désalignement de la fenêtre de la FFT).

Dans la partie implantant la transmission avec préfixe cyclique, on a supposé que l'on était capable, en réception, de le supprimer parfaitement pour envoyer à la FFT uniquement les N échantillons de signal correspondant à la partie information utile. Ce cas de figure est représenté dans la figure 13, avec un préfixe cyclique (PC) surdimensionné, c'est-à-dire plus long que l'étalement des retards introduits par la canal, noté τ_{max} . On obtient les constelations ci-dessous pour chaque cas de surdimensionnement du prefixe cyclique.

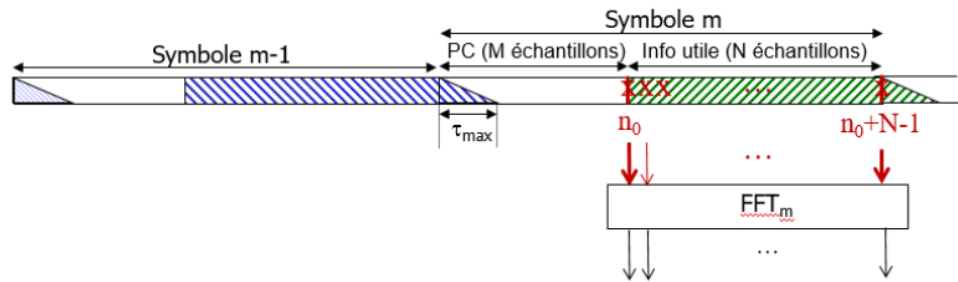


Figure 13: Suppression du préfixe cyclique, synchronisation idéale..

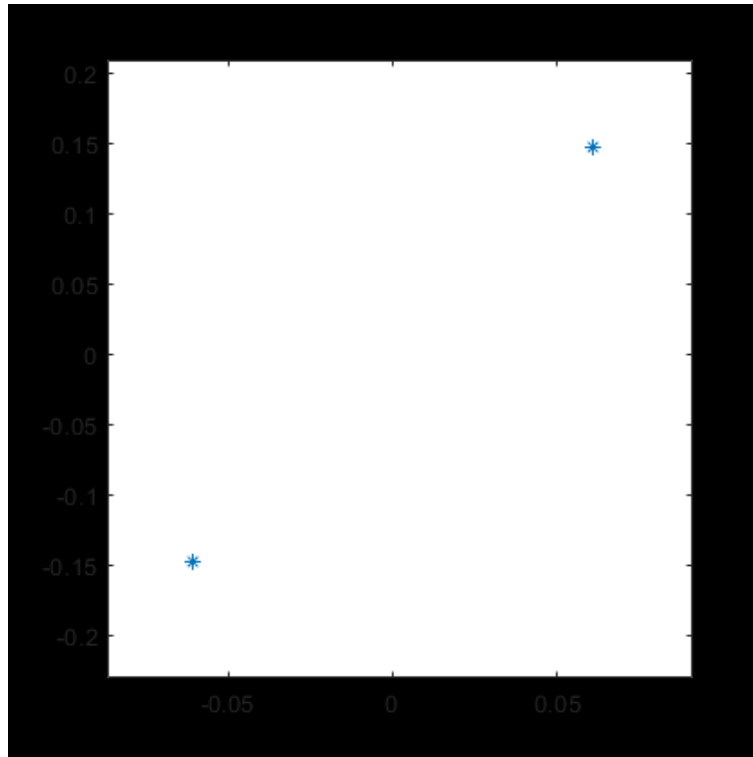


Figure 14: Constellations obtenues en réception porteuse 10 cas 2.

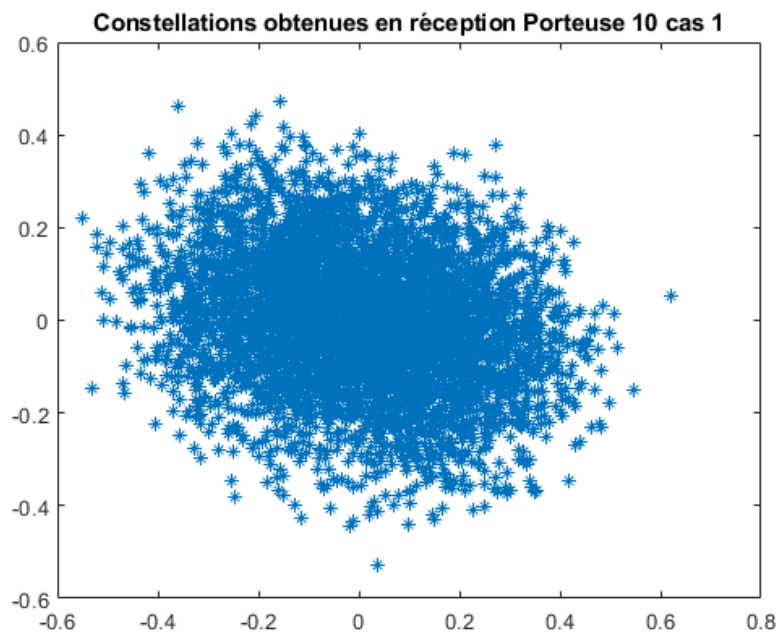


Figure 15: Constellations obtenues en réception porteuse 10 cas 1.

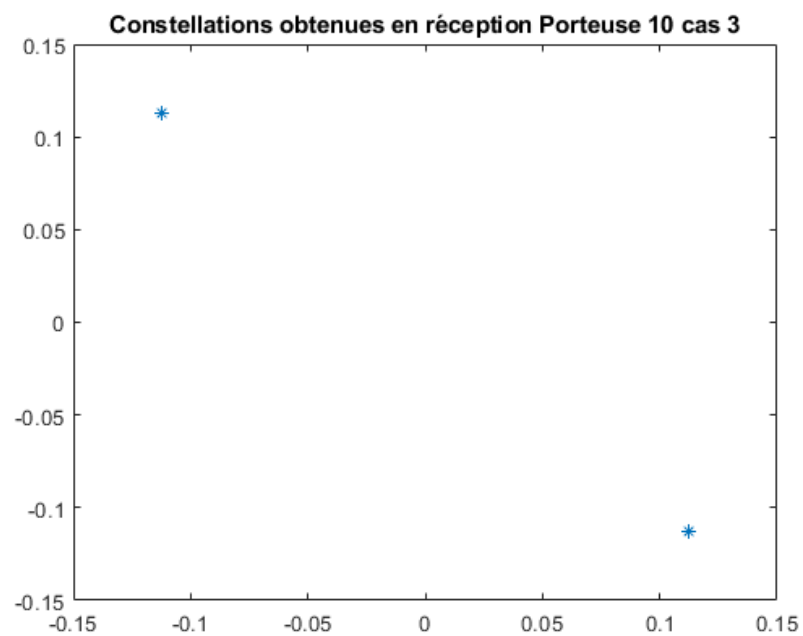


Figure 16: Constellations obtenues en réception porteuse 10 cas 3.

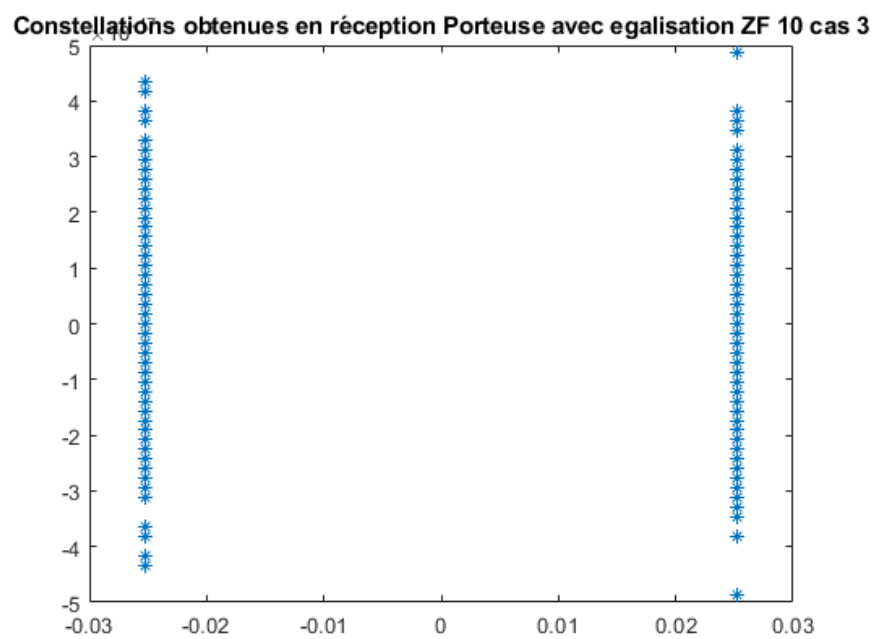


Figure 17: Constellations obtenues en réception avec egalisation ZF porteuse 10 cas 3.

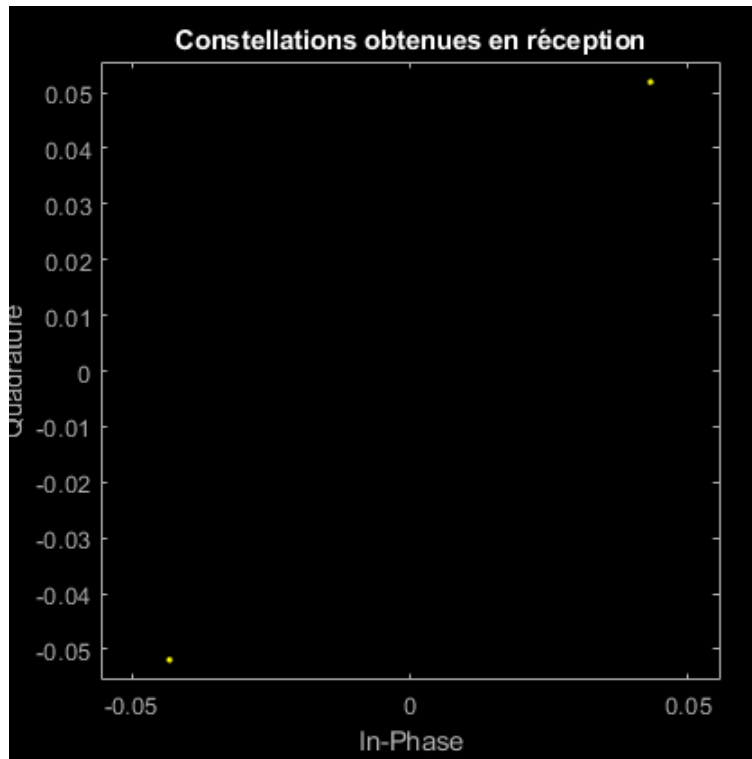


Figure 18: Estimation du canal cas 1.

5 Conclusion

L'OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) est une modulation multiporteuses dite "orthogonale" largement utilisée dans des applications de communication filaires et sans fils, car elle garantit de très bonnes performances et permet une complexité relativement réduite. Deux types d'intervalles de garde sont couramment utilisés : le préfixe cyclique qui consiste à recopier les derniers échantillons du bloc au début de celui-ci et le bourrage de zéros qui consiste à insérer des zéros au début du bloc.

6 Références

- <http://thomas.perso.enseeiht.fr/teaching.html>
- <https://fr.mathworks.com/help/matlab/>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal frequency division multiplexing](https://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency_division_multiplexing)