
Rapport OFDM

Auteur :

Léa HOUOT

Professeur :

BOUCHERET Marie-Laure

Projet de deuxième année de SN

année : 2024-2025

Table des matières

1. Introduction	3
2. Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal	3
2.1. Émission	3
2.2. Réception sans canal	4
3. Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal multi-trajets, sans bruit	4
3.1. Implantation sans intervalle de garde	4
3.2. Implantation avec intervalle de garde composé de zéros	6
3.3. Implantation avec préfixe cyclique	7
3.4. Implantation avec préfixe cyclique et égalisation	8
3.4.1. Égalisateur de type ZFE	8
3.4.2. Égalisateur de type ML	9
3.4.3. Différences entre les deux égaliseurs	9
4. Impact d'une erreur de synchronisation horloge	9
5. Conclusion	11

1. Introduction

Dans ce rapport nous verrons l'implantation d'une chaîne de transmission OFDM. Nous avons commencé par mettre en place la chaîne sans considéré de canal. Puis nous avons ajouté un canal et nous avons observé des constellations avec diverses implantations (avec/sans intervalle de garde et de quoi est composé l'intervalle de garde). Enfin, nous avons regardé les conséquences d'une erreur de synchronisation.

2. Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal

Nous avons donc commencé par mettre en place la chaîne de transmission OFDM sans considérer de canal.

2.1. Émission

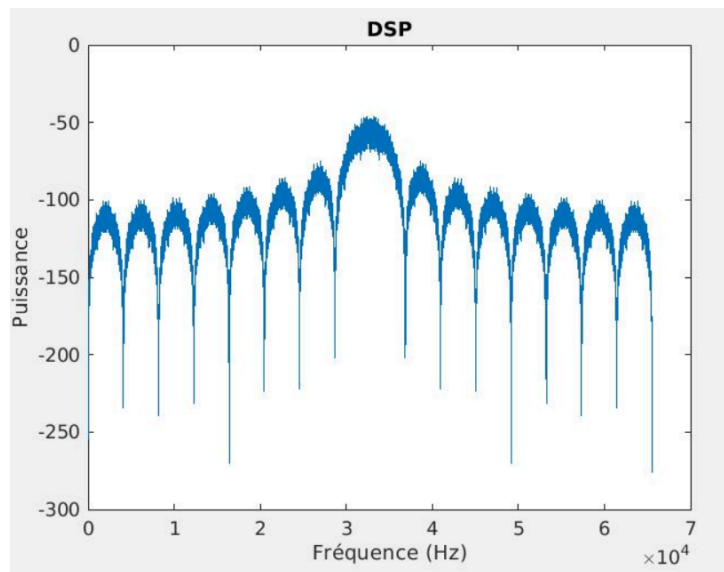


Fig. 3. – DSP du signal lorsque seule la porteuse 1 est active

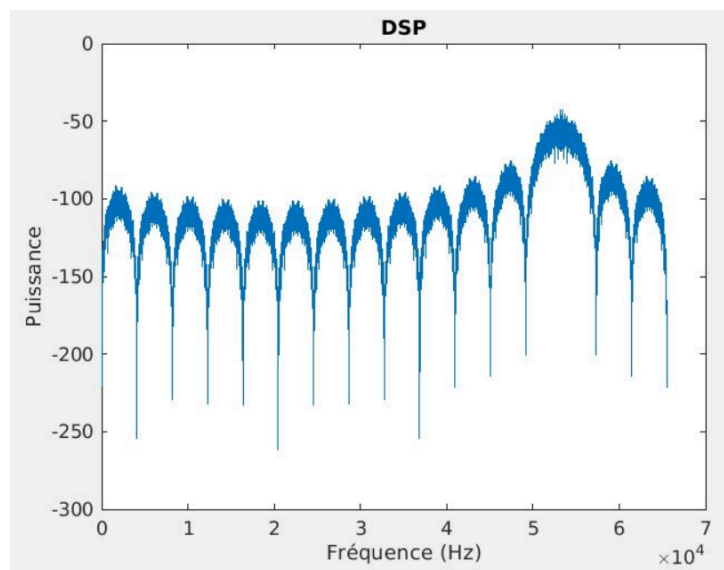


Fig. 4. – DSP du signal lorsque seule la porteuse 6 est active

Pour le reste du code nous avons décidé de considérer 16 porteuses, afin de mieux comprendre comment cela fonctionnait nous avons testé avec plusieurs porteuses actives. Avec la DSP avec la porteuse 1 active (Fig. 3) nous pouvons voir qu'il y a un pic en 3300Hz dû au fait que la porteuse 1 est active et toutes les autres sont à zéro.

Pour ce qui est de la DSP avec la porteuse 6 active (Fig. 4) nous voyons un pic en 5300Hz.

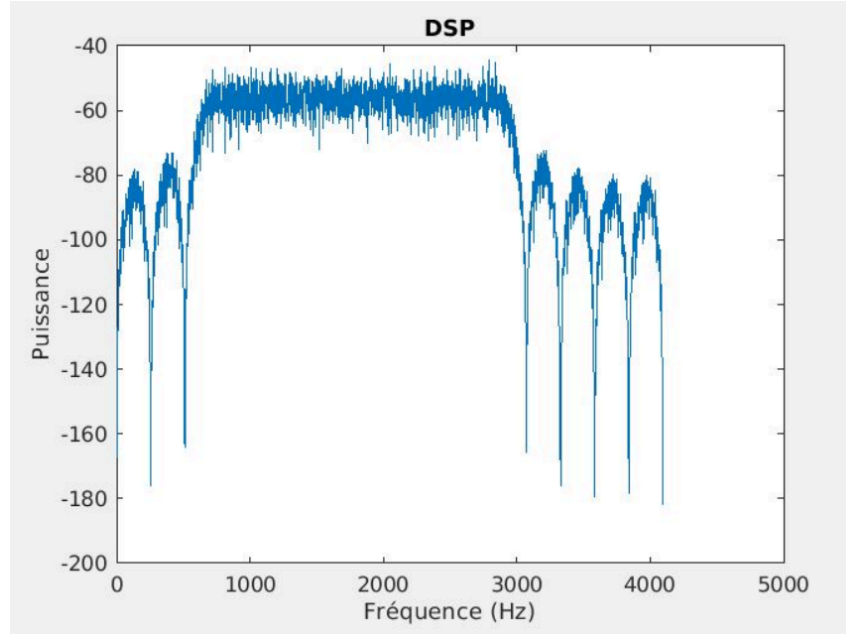


Fig. 5. – DSP avec 8 porteuses actives

Puis nous avons essayé avec plusieurs porteuses actives et plus précisément les 8 porteuses du milieu (Fig. 5). Nous pouvons voir une sorte de « plateau » sur la DSP dû aux 8 porteuses actives et les autres n'étant pas actives.

2.2. Réception sans canal

Pour la réception nous avons un TEB de 0 (Fig. 6) ce qui est logique. En effet, n'ayant pas de canal nous ne faisons que mapper les bits et les dé-mapper ce qui n'entraîne aucune interférence ou changement.

```
>> part_2_2
TEB =
0
```

Fig. 6. – TEB de la chaîne de transmission sans canal

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

Dans cette partie nous prenons en compte le canal : $y(t) = 0.407x(t) + 0.815x(t - T_s) + 0.407x(t - 2T_s)$.

3.1. Implantation sans intervalle de garde

En considérant la forme de notre canal nous pouvons facilement déterminer que sa réponse impulsionnelle est : $h(t) = 0.407\delta(t) + 0.815\delta(t - T_s) + 0.407\delta(t - 2T_s)$. De plus, pour sa réponse

en fréquence nous n'avons qu'à faire la transformée de Fourier de la réponse impulsionnelle :
 $H(f) = 0.407 + 0.815e^{-j2\pi fT_s} + 0.407e^{-j4\pi fT_s}$.

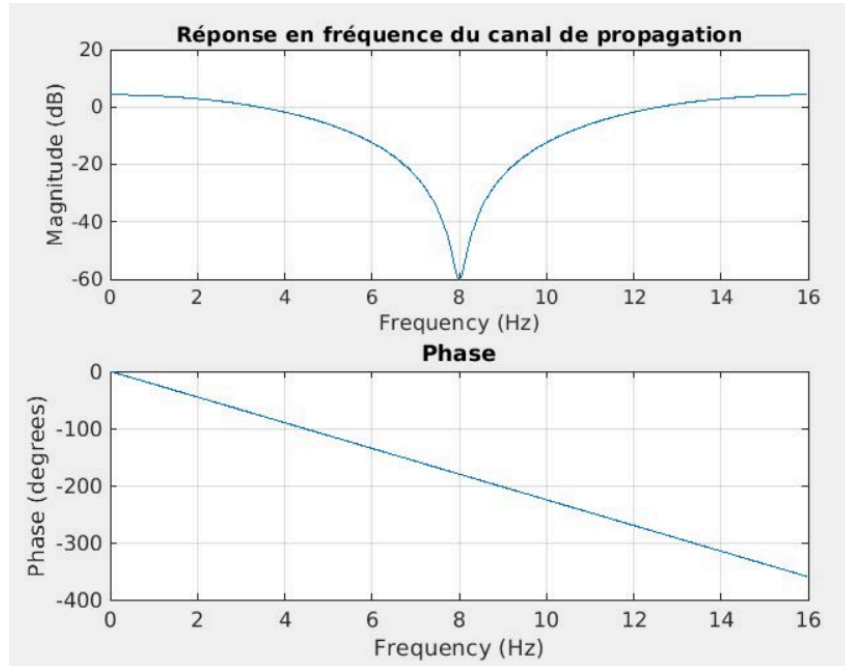


Fig. 7. – Module et phase de la réponse en fréquence du canal de propagation

De retour sur le code, nous avons tracé le module et la phase de la réponse en fréquence du canal de propagation (Fig. 7). Nous pouvons voir une atténuation du signal sur la porteuse 8.

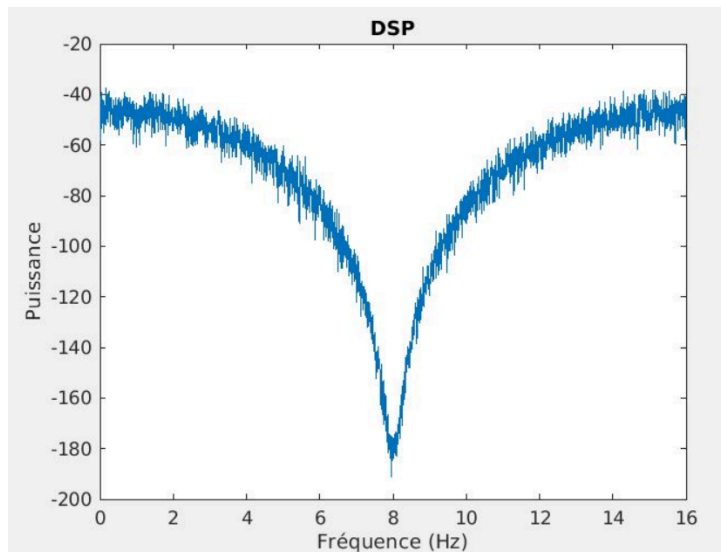


Fig. 8. – DSP du signal

Puis nous avons tracé la DSP du signal, comme nous pouvons le voir sur la Fig. 8 la DSP a également une atténuation sur la porteuse 8. En effet, lorsque notre signal passe dans le canal il subit la réponse en fréquence de ce dernier et donc il est logique d'avoir une DSP semblable au module de la réponse en fréquence du canal.

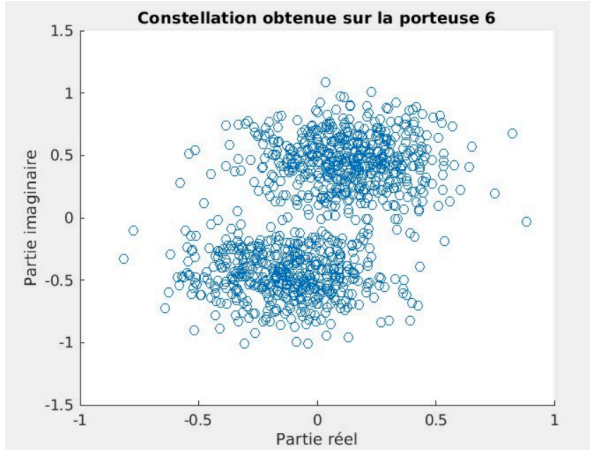


Fig. 9. – Constellation obtenue sur la porteuse 6

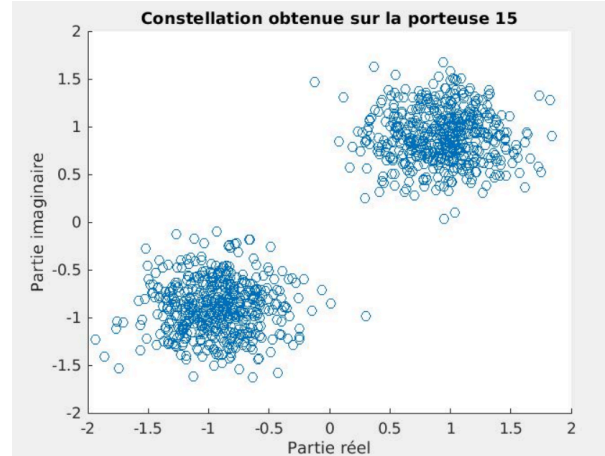


Fig. 10. – Constellation obtenue sur la porteuse 15

Par la suite nous avons tracé la constellation obtenue sur la porteuse 6 (Fig. 9) celle sur la porteuse 15 (Fig. 10), nous observons deux « tâches » dû aux interférences, normalement nous devrions avoir deux points. De plus, nous pouvons voir que sur la porteuse 6 les points sont plus éparpillés que sur la constellation de la porteuse 15. Cela peut s'expliquer car la porteuse 6 est plus atténué par le canal que la porteuse 15.

```
>> part_3_1
TEB =
0.3608
```

Fig. 11. – TEB du signal avec le canal y

Enfin, pour ce qui est du TEB, comme nous avons ajouté un canal il est normal qu'il ne soit plus nul et nous avons un TEB de 0.3608 (Fig. 11).

3.2. Implantation avec intervalle de garde composé de zéros

Dans cette partie nous avons implémenté un intervalle de garde composé de zéros de taille $N=2$. En effet, la taille minimale de l'intervalle de garde doit être de 2 car dans le canal il y a 2 termes en $(t - \alpha T_s)$, $\alpha \in \mathbb{N}$ qui sont les termes qui interfèrent sur le signal. Donc, afin de minimiser l'impact de ces termes il faut que l'intervalle de garde soit au moins de taille 2.

Implanter cet intervalle de garde permet d'avoir une interférence entre symboles de 0 sur chaque porteuse. Cependant, cela entraîne une perte d'orthogonalité des porteuses et donc des interférences inter-porteuses. De plus, il faut une puissance plus importante à l'ajout de donnée.

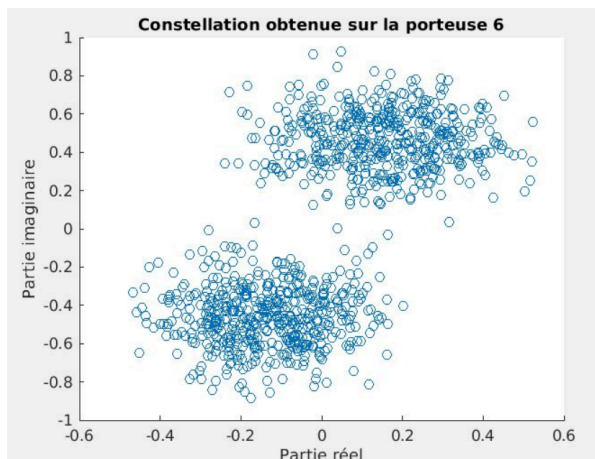


Fig. 12. – Constellation obtenue sur la porteuse 6 avec un intervalle de garde de taille 2

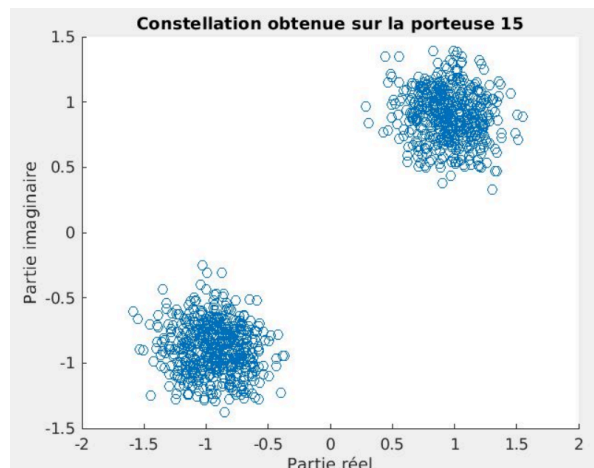


Fig. 13. – Constellation obtenue sur la porteuse 15 avec un intervalle de garde de taille 2

Nous avons tracé les constellation avec l'intervalle de garde. Nous avons la constellation sur la porteuse 6 (Fig. 12) et sur la porteuse 15 (Fig. 13). Nous observons les mêmes « tâches ». Néanmoins nous pouvons voir qu'elles sont moins diffuses que lorsqu'il n'y a pas d'intervalle de garde.

```
>> part_3_2
TEB =
0.3731
```

Enfin, pour ce qui est du TEB simulé il est de 0.3731 (Fig. 14). Il est semblable à celui sans intervalle de garde, cela s'explique par le fait que l'intervalle de garde enlève les interférences entre symboles mais il ajoute les interférences entre porteuses et il reste les interférences intra-symboles.

3.3. Implantation avec préfixe cyclique

Afin d'enlever l'es interférences entre porteuse nous remplaçons l'intervalle de garde avec un préfixe cyclique, toujours de taille 2. Nous prenons donc les deux dernières lignes de la matrices avec les données et nous les ajoutons au « début » de la matrice.

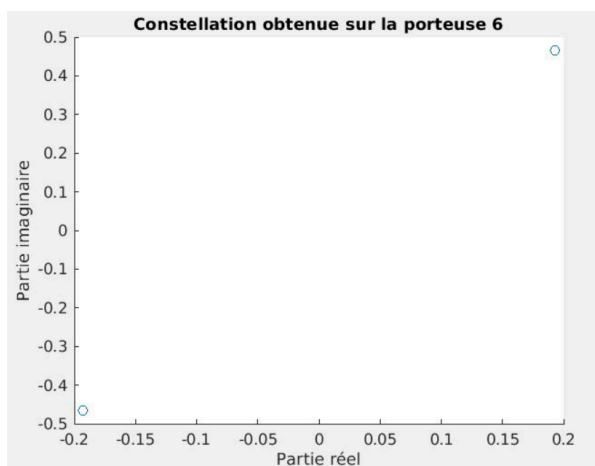


Fig. 15. – Constellation obtenue sur la porteuse 6 avec un préfixe cyclique de taille 2

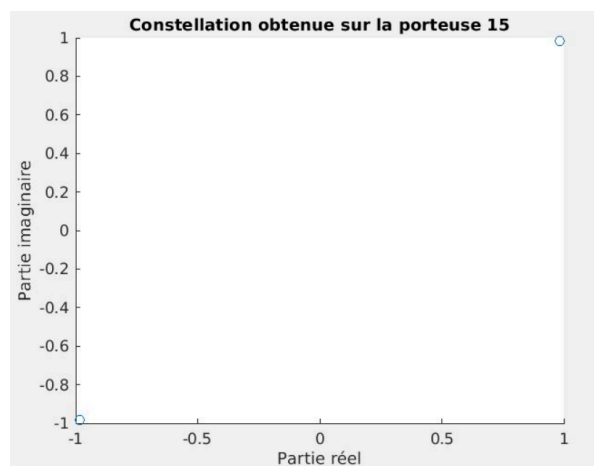


Fig. 16. – Constellation obtenue sur la porteuse 15 avec un préfixe cyclique de taille 2

Nous obtenons donc comme constellations sur la porteuse 6 (Fig. 15) et sur la porteuse 15 (Fig. 16) des figures totalement différentes. Effectivement, nous pouvons voir deux uniques points sur les constellations contrairement aux « tâches » observées précédemment. Nous avons enfin perdu les interférences inter et intra symboles.

```
>> part_3_3
TEB =
0.5276
```

Pour ce qui est du TEB simulé il est de 0.5276 (Fig. 17). Cela est semblables aux précédents même sans les interférences car il reste de l'égalisation à faire pour que le signal reçu soit identique au signal émis.

3.4. Implantation avec préfixe cyclique et égalisation

Dans cette sections nous conservons le préfixe cyclique de taille 2 et nous allons observer les différences entre un égalisateur de type ZFE et un de type ML.

3.4.1. Égalisateur de type ZFE

Nous commençons par l'égalisateur de type ZFE, c'est-à-dire un égalisateur qui a comme réponse en fréquence : $H = [H(0)H(1)...H(N-1)]$, avec $H(k) = \frac{1}{C(k)}$ pour $k = 0$ à $N-1$

où $C(k)$ est le coefficient représentant l'impact du canal de transmission sur la $k^{\text{ième}}$ porteuse et N le nombre de porteuses utilisées.

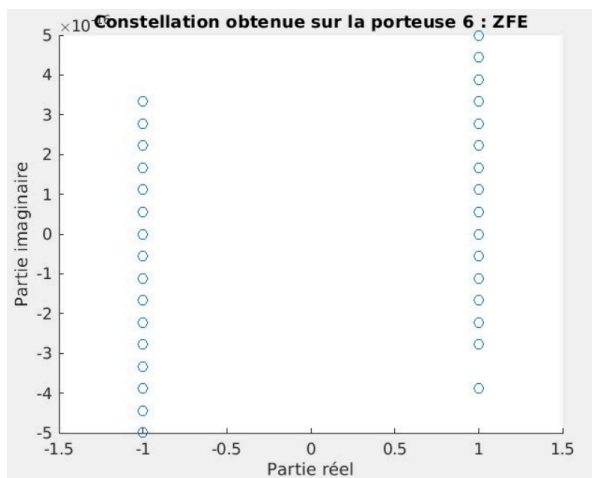


Fig. 18. – Constellations obtenue sur la porteuse 6 avec un préfixe cyclique et un égalisateur ZFE

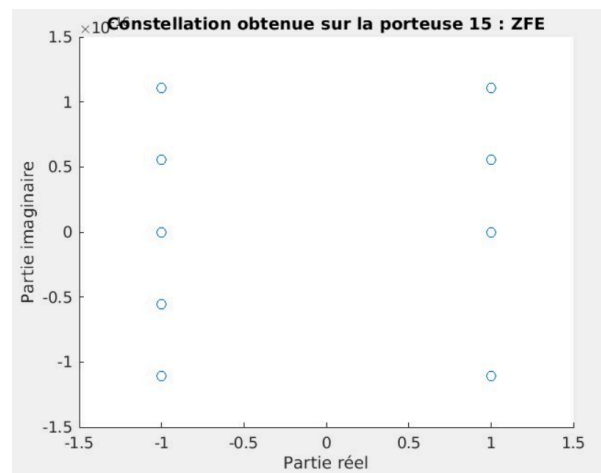


Fig. 19. – Constellations obtenue sur la porteuse 15 avec un préfixe cyclique et un égalisateur ZFE

Sur les constellations de la porteuse 6 (Fig. 18) et de la porteuse 15 (Fig. 19) nous pouvons voir qu'il n'y a plus de rotation. Nous avons des points en abscisses -1 et 1 , ce qui est logique pour une constellation BPSK.

3.4.2. Égalisateur de type ML

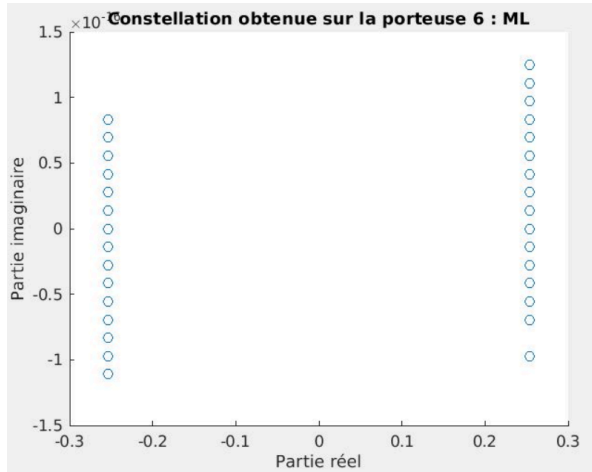


Fig. 20. – Constellations obtenue sur la porteuse 6 avec un préfixe cyclique et un égalisateur ML

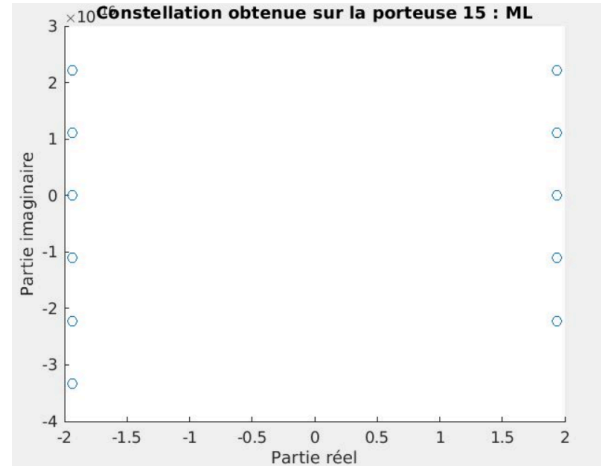


Fig. 21. – Constellations obtenue sur la porteuse 15 avec un préfixe cyclique et un égalisateur ML

Sur les constellations de la porteuse 6 (Fig. 20) et de la porteuse 15 (Fig. 21) nous pouvons voir qu'il n'y a plus de rotation. Nous avons des points en abscisses ± 0.25 sur la porteuse 6 et ± 2 sur la porteuse 15.

3.4.3. Différences entre les deux égaliseurs

```
TEB_zfe =  
0  
  
TEB_ml =  
0
```

Pour les deux égaliseurs nous obtenons un TEB de 0 (Fig. 22). Les deux remplissent leurs rôles. Cependant, sur les constellations nous avons pu voir que pour le ML nous ne sommes pas à -1 et 1 . Là où avec l'égalisateur ZFE nous y sommes. Nous avons donc l'égalisateur ZFE qui restitue parfaitement les symboles contrairement à l'égalisateur ML.

Les différence est que ZFE est linéaire là où ML est non-linéaire. Donc, avec des canaux très sélectifs ML est plus efficace que ZFE mais ce n'est pas le cas ici. De plus les égaliseurs non-linéaires sont plus complexes que les égaliseurs linéaires.

4. Impact d'une erreur de synchronisation horloge

Dans cette section nous cherchons à induire un retard afin de désynchroniser l'horloge.

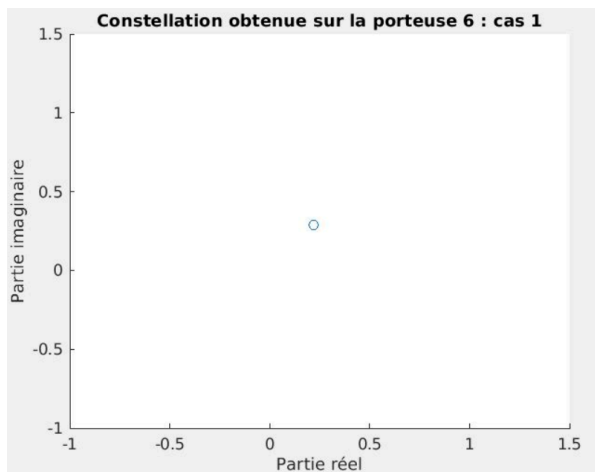


Fig. 23. – Constellations obtenue sur la porteuse 6 dans le cas 1

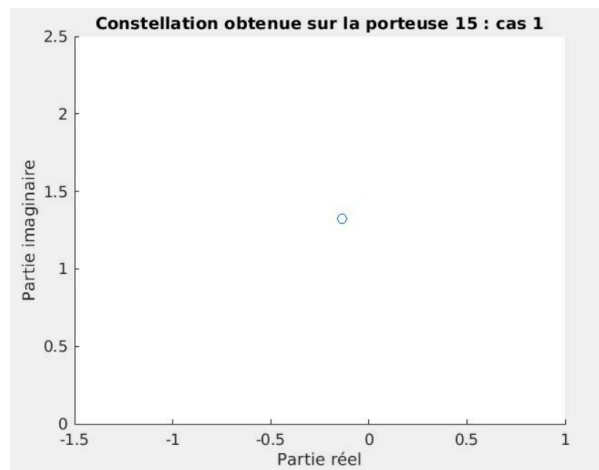


Fig. 24. – Constellations obtenue sur la porteuse 15 dans le cas 1

Dans le premier cas nous commençons à échantillonner dans le préfixe cyclique.

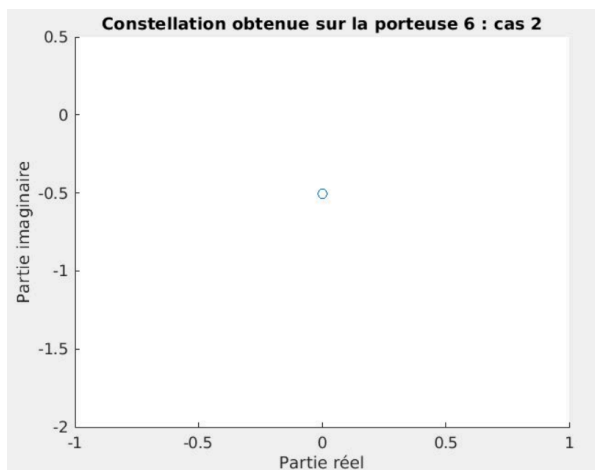


Fig. 25. – Constellations obtenue sur la porteuse 6 dans le cas 2

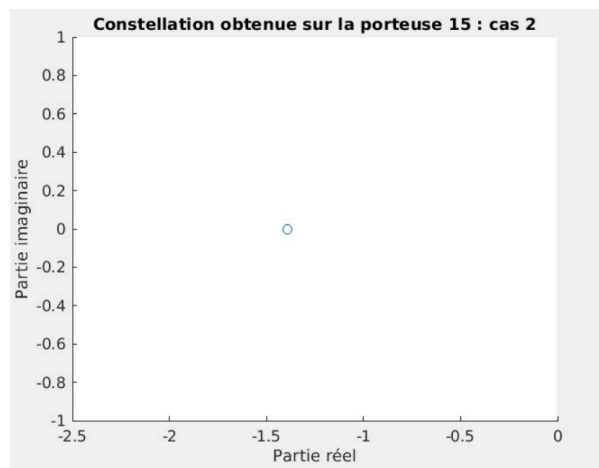


Fig. 26. – Constellations obtenue sur la porteuse 15 dans le cas 2

Dans le deuxième cas nous commençons à échantillonner avec une certaine avance, qui est supérieure à l'étalement des retards.

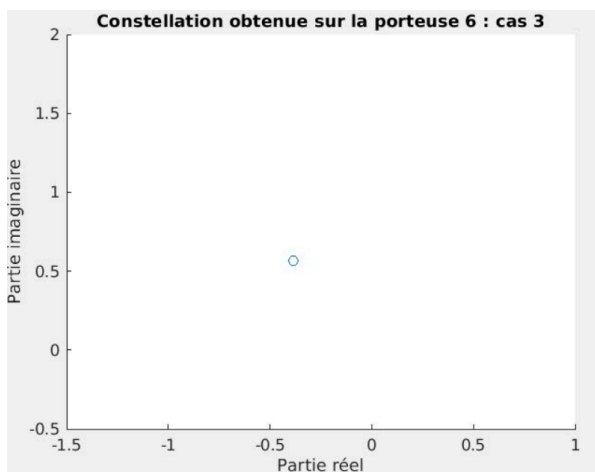


Fig. 27. – Constellations obtenue sur la porteuse 6 dans le cas 3

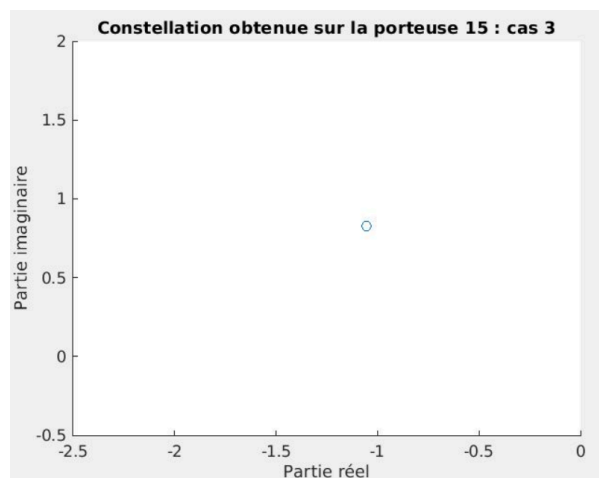


Fig. 28. – Constellations obtenue sur la porteuse 15 dans le cas 3

dans le troisième cas nous commençons à échantillonner au symbole N avec un retard τ , et prenons une partie du préfixe cyclique du symbole suivant $(N+1)$.

Cependant, en raison de contraintes de temps, les simulations n'ont pas permis d'obtenir des constellations correctes. Les figures présentées montrent un unique point, traduisant un problème dans l'implantation.

5. Conclusion

Dans ce BE nous avons donc implémenter une chaîne de transmission OFDM et regarder l'impact d'un intervalle de garde et d'un préfixe cyclique dessus. De plus, nous avons pu voir que malgré la perte des interférences sans égalisateurs nous ne pouvons pas retrouver notre signal à cause de la rotation induit par le canal et nous avons pu comparer deux égalisateurs, un linéaire et un non-linéaire.

Enfin, nous avons essayé d'observer différentes désynchronisation de l'horloge cependant nous n'avons malheureusement pas réussi à le mettre en place et d'avoir des résultats concluants.