
Rapport du BE sur l'OFDM

Auteur :

SORRES Antonin

professeur :

BOUCHERET Marie-Laure

Projet de deuxième année de SN

année : 2024-2025

Table des matières

1) Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal	3
1.1) Émission	3
1.1.1) Une seule porteuse utilisée	3
1.1.2) Deux porteuses utilisées	3
1.1.3) 8 porteuses centrales utilisées	4
1.2) Réception sans canal	4
2) Implantation de la chaîne de transmission OFDM avec canal multi- trajets, sans bruit	4
2.1) Implantation sans intervalle de garde	4
2.1.1) Expression théorique de la réponse impulsionnelle et de la réponse en fréquence du canal de propagation	4
2.1.2) Tracé du module et de la phase de la réponse en fréquence du canal de propagation	5
2.1.3) Implémentation du passage du signal dans le canal	5
2.1.4) Comparaison DSP avant et après le passage dans le canal	5
2.1.5) Constellations porteuses 6 et 15	6
2.1.6) TEB simulé	6
2.2) Implantation avec intervalle de garde composé de zéros	6
2.2.1) Longueur minimale de l'intervalle de garde	6
2.2.2) Valeur de l'interférence entre symbole et coût de l'intervalle de garde	6
2.2.3) Constellations obtenues sur les porteuses 6 et 15	7
2.2.4) TEB simulé	7
2.2.5) Intérêt d'ajouter une intervalle de garde	7
2.3) Implantation avec préfixe cyclique	8
2.3.1) Constellations 6 et 15	8
2.3.2) TEB simulé	8
2.3.3) Intérêt d'ajouter un préfixe cyclique et égalisation	8
2.4) Implantation avec préfixe cyclique et égalisation	8
2.4.1) Cas ZFE	8
2.4.2) Cas ML	9
2.4.3) Différences entre les deux égaliseurs	10
3) Impact d'une erreur de synchronisation horloge	10
3.0.1) Comparaison des 3 cas	10
3.0.2) Impact du retard sur le cas 2	11

1) Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal

1.1) Émission

1.1.1) Une seule porteuse utilisée

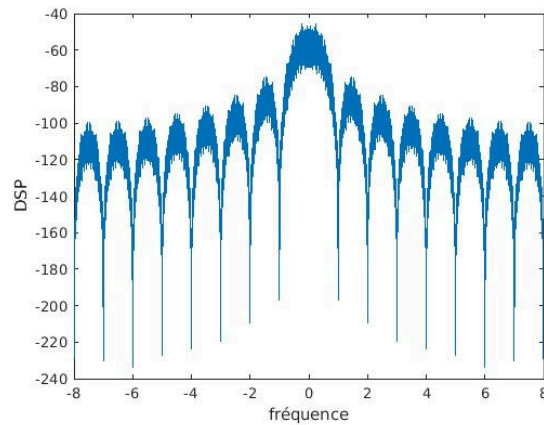


Fig. 3. – DSP avec une seule porteuse active.

On peut voir sur le tracé suivant que c'est la première porteuse qui est active.

1.1.2) Deux porteuses utilisées

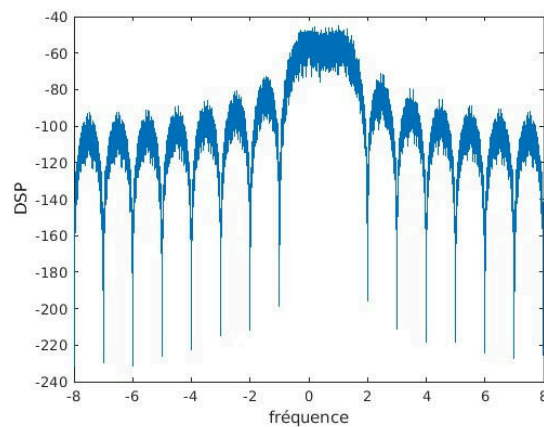


Fig. 4. – DSP avec 2 porteuses actives.

On peut voir sur le tracé que les deux premières porteuses sont actives.

1.1.3) 8 porteuses centrales utilisées

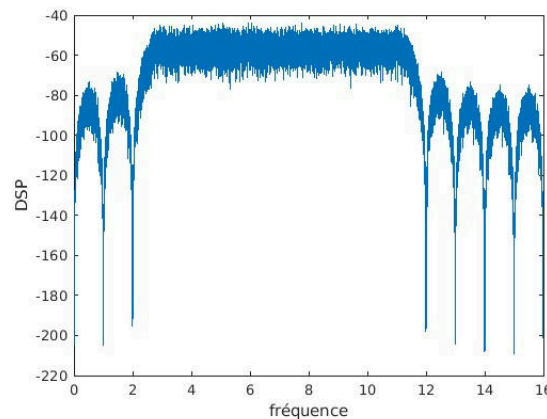


Fig. 5. – Tracé du module et la phase de la réponse en fréquence du canal de propagation. On peut voir sur le tracé que les 8 porteuses centrales sont actives.

1.2) Réception sans canal

Voici le TEB obtenu après implémentation de la démodulation :

```
>> OFDMSansCanal  
Le TEB simulé sans canal est de 0
```

On peut constater que le TEB est bien nul. Ce qui est normal, car il n'y a pas de canal, donc pas de bruit. Ainsi, les bits reçus sont les mêmes que les bits émis.

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

2.1) Implantation sans intervalle de garde

2.1.1) Expression théorique de la réponse impulsionnelle et de la réponse en fréquence du canal de propagation

L'expression théorique de la réponse impulsionnelle est :

$$h(t) = 0.407\delta(t) + 0.815\delta(t - T_s) + 0.407\delta(t - 2T_s)$$

L'expression théorique de la réponse en fréquence est :

$$H(f) = 0.407 + 0.815e^{\pi j f T_s} + 0.407e^{2\pi j f T_s}$$

2.1.2) Tracé du module et de la phase de la réponse en fréquence du canal de propagation

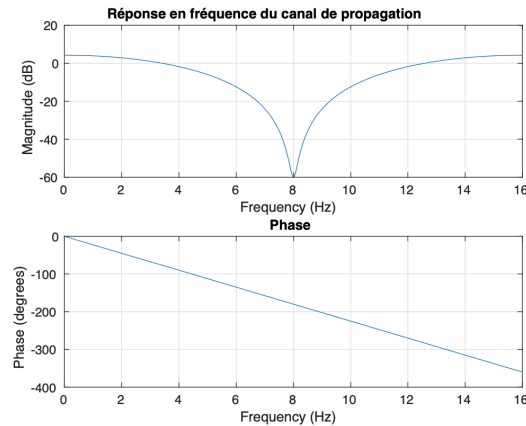


Fig. 7. – Tracé du module et la phase de la réponse en fréquence du canal de propagation.

2.1.3) Implémentation du passage du signal dans le canal

2.1.4) Comparaison DSP avant et après le passage dans le canal

Voici les DSP obtenues avant le passage dans le canal et après le passage dans le canal :

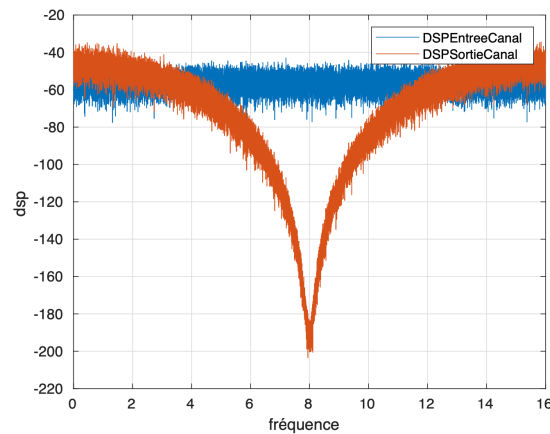


Fig. 8. – DSP avant passage dans le canal et en sortie du canal.

Le résultat obtenu est conforme à ce qui était attendu. En effet, on peut voir sur le tracé de la DSP en sortie de canal qu'il y a une grande atténuation au niveau de la 8ème porteuse. Ce qui n'est pas le cas pour la DSP avant le passage dans le canal. Et on peut voir que cette atténuation est présente au même niveau sur le tracé du module de la réponse en fréquence du canal de propagation. Ce qui explique donc cette modification de la DSP après le passage dans le canal.

2.1.5) Constellations porteuses 6 et 15

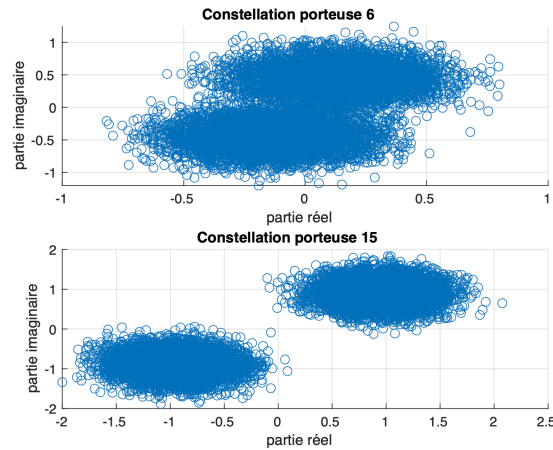


Fig. 9. – Constellations des porteuses 6 et 15 obtenues en réception.

On peut voir que les constellations sont très « éparses » car il n’y a pas d’intervalles de garde ni de préfixe cyclique. Il y a donc des interférences entre symboles (ISI) et des interférences entre porteuses (ICI). Ces interférences induisent donc des erreurs. C’est pourquoi nos constellations n’ont pas de valeurs précises.

2.1.6) TEB simulé

Voici le TEB simulé obtenu :

```
>> OFDMCanalMultiTrajetSansgarde  
Le TEB simulé sans garde est de 3.566125e-01
```

Le TEB est non nul. Ce qui est normal, car nous n’avons ni intervalle de garde, ni préfixe cyclique et surtout aucune égalisation.

2.2) Implantation avec intervalle de garde composé de zéros

2.2.1) Longueur minimale de l’intervalle de garde

On a :

$$\text{Durée IG} \geq \tau_{\max} = 2$$

La longueur minimale de l’intervalle de garde est donc de 2.

2.2.2) Valeur de l’interférence entre symbole et coût de l’intervalle de garde

La valeur de l’interférence entre symboles sur chaque porteuse est de 0, car il y a un intervalle de garde de longueur minimale.

L’introduction d’un intervalle de garde induit une augmentation de la puissance de calcul nécessaire car on augmente le nombre de données à traiter.

2.2.3) Constellations obtenues sur les porteuses 6 et 15

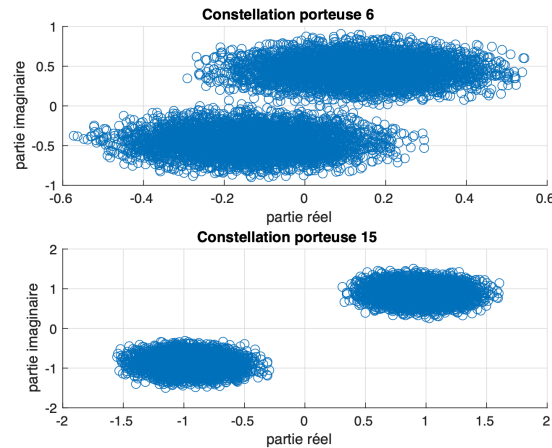


Fig. 11. – Constellations des porteuses 6 et 15 obtenues en réception avec un intervalle de garde.

Les constellations obtenues sont plus précises que les constellations obtenues sans intervalle de garde. En effet, avec l'implémentation d'un intervalle de garde, nous n'avons plus d'ISI mais des interférences entre porteuses sont toujours possibles. Ce qui fait que nos constellations n'ont pas encore de valeurs précises.

2.2.4) TEB simulé

Voici le TEB obtenu :

```
>> OFDMMultiTrajetGarde  
Le TEB simulé avec une intervalle de garde composé de 0 est de 3.747750e-01
```

Le TEB simulé obtenu est non nul. Ce qui est normal car il n'y a pas d'égalisation.

2.2.5) Intérêt d'ajouter une intervalle de garde

L'intérêt d'ajouter un intervalle de garde composé de zéros devant chaque symbole OFDM est de supprimer les interférences entre symboles tout en réduisant les interférences entre porteuses en préservant l'orthogonalité.

2.3) Implantation avec préfixe cyclique

2.3.1) Constellations 6 et 15

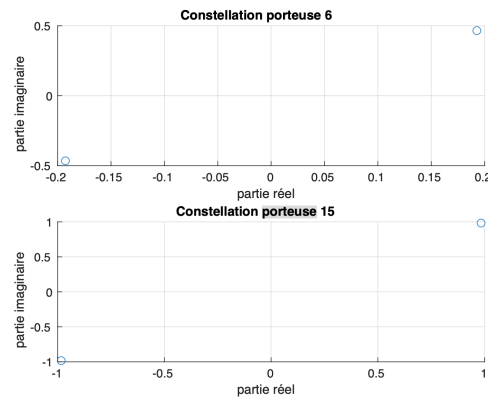


Fig. 13. – Constellations des porteuses 6 et 15 obtenues en réception avec préfixe cyclique.

On peut voir que ces constellations ont des valeurs précises comparées aux constellations précédentes. Ce qui correspond à l'implémentation d'un préfixe cyclique. Il n'y a pas d'interférences entre porteuses et entre symboles.

2.3.2) TEB simulé

Voici le TEB simulé obtenu avec préfixe cyclique :

```
>> OFDMprefixcyclique  
Le TEB simulé avec un préfixe cyclique est de 5.265500e-01
```

Encore une fois, le TEB n'est pas nul, car il n'y a pas encore d'égalisation.

2.3.3) Intérêt d'ajouter un préfixe cyclique et égalisation

L'ajout d'un préfixe cyclique va permettre de supprimer les interférences entre symboles et de réduire les interférences entre porteuses tout comme l'ajout d'un intervalle de garde composé de 0. L'ajout d'un préfixe cyclique va aussi très fortement simplifier l'implantation de l'égalisation.

2.4) Implantation avec préfixe cyclique et égalisation

2.4.1) Cas ZFE

Voici les constellations obtenues avec égalisation ZFE :

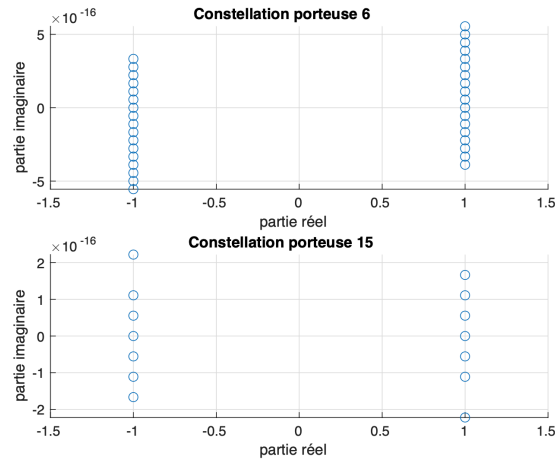


Fig. 15. – Constellations des porteuses 6 et 15 obtenues en réception avec préfixe cyclique et égalisation ZFE.

Voici le TEB simulé obtenu avec égalisation ZFE :

```
>> OFDMCyclePrefixEgalisationZFE
Le TEB simulé avec une égalisation ZFE est de 0
```

Le TEB est nul. Ce qui est cohérent, car nous avons implémenté avec un préfixe cyclique et une égalisation.

2.4.2) Cas ML

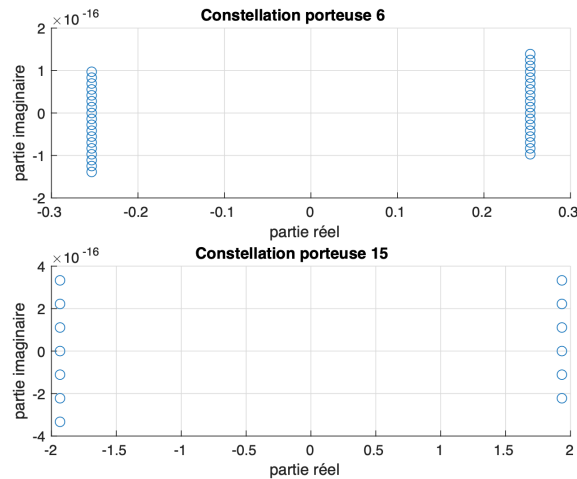


Fig. 17. – Constellations des porteuses 6 et 15 obtenues en réception avec préfixe cyclique et égalisation ML.

Voici le TEB simulé obtenu avec égalisation ZFE :

```
>> OFDMCyclePrefixEgalisationML
Le TEB simulé avec une égalisation ML est de 0
```

Encore une fois, le TEB est nul. Ce qui est cohérent, car nous avons implémenté avec un préfixe cyclique et une égalisation.

2.4.3) Différences entre les deux égaliseurs

La différence entre les deux égaliseurs est visible au niveau des constellations. On peut voir que les porteuses 6 et 15 ont les mêmes parties réel, pour l'égaliseur ZFE, qui sont -1 et 1 . Ce qui n'est pas le cas pour l'égaliseur ML.

3) Impact d'une erreur de synchronisation horloge

3.0.1) Comparaison des 3 cas

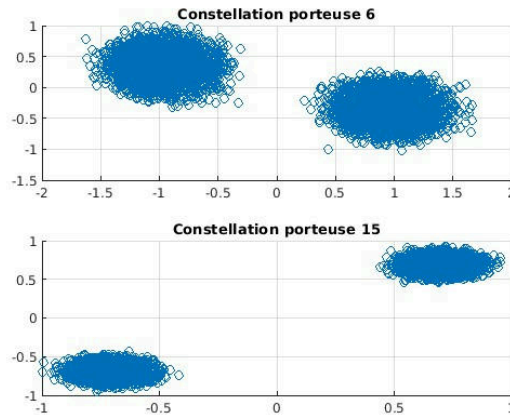


Fig. 19. – Constellations des porteuses 6 et 15 dans le cas 1.

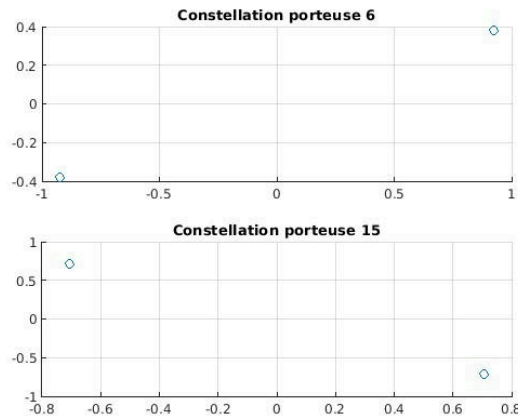


Fig. 20. – Constellations des porteuses 6 et 15 dans le cas 2.

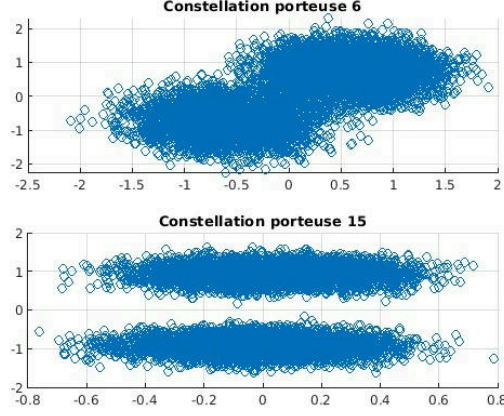


Fig. 21. – Constellations des porteuses 6 et 15 obtenues en réception avec préfixe cyclique et égalisation ML.

On constate que l'erreur de synchronisation n'introduit pas d'interférences dans le cas 2, contrairement aux cas 1 et 3.

Dans le cas 2, nous avons : $\tilde{d}_m(l) = [C(f)]_{f=f_{p_l}} d_m(l) e^{-j2\pi l \frac{\tau}{T_s}}$

Or dans le cas 1 et 3, nous avons : $\tilde{d}_m(l) = (1 - \alpha)[C(f)]_{f=f_{p_l}} d_m(l) e^{-j2\pi l \frac{\tau}{T_s}} + \text{ISI} + \text{ICI}$

On peut voir que les interférences sont introduites dans les cas 1 et 3.

3.0.2) Impact du retard sur le cas 2

On fait varier la valeur du retard dans le cas 2 :

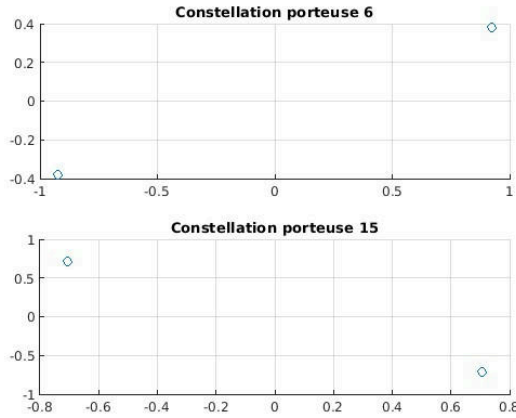


Fig. 22. – Constellations des porteuses 6 et 15 avec un retard de 3.

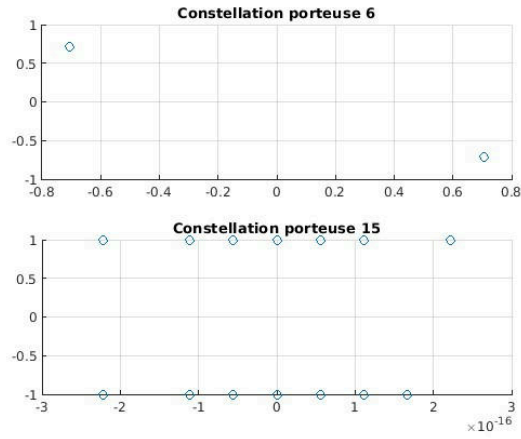


Fig. 23. – Constellations des porteuses 6 et 15 avec un retard de 4.

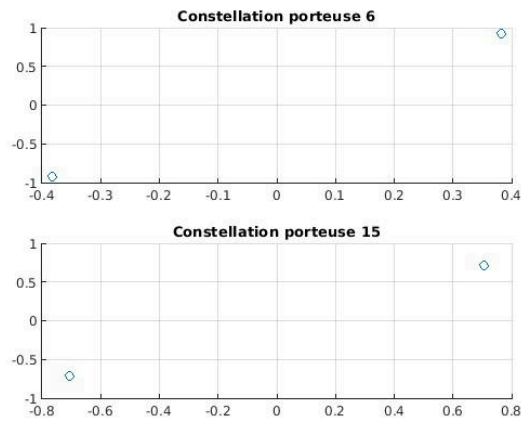


Fig. 24. – Constellations des porteuses 6 et 15 avec un retard de 5.

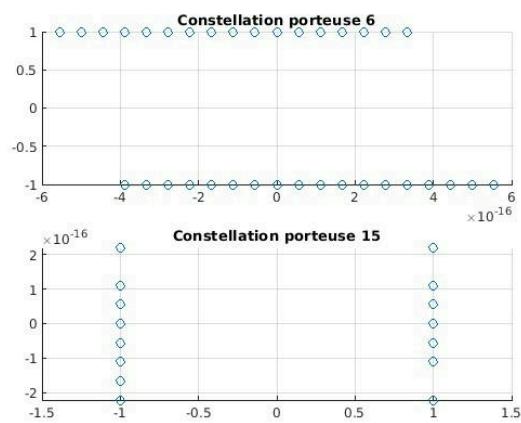


Fig. 25. – Constellations des porteuses 6 et 15 avec un retard de 2.

On voit sur ces tracés que le retard fait varier la forme des constellations.