



Projet Systèmes Concurrents

Lucas THIETART

Département Sciences du Numérique - Deuxième Année Réseau Groupe G
2023-2024

Table des matières

1	Introduction	3
2	Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal	3
2.1	Emission	3
2.2	Réception sans canal	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	8
3.3	Implantation avec préfixe cyclique	10
3.4	Implantation avec préfixe cyclique et égalisation	11
4	Impact d'une erreur	12
5	Conclusion	14

1 Introduction

Ce BE consiste à étudier l'implantation de la chaîne de transmission OFDM. Celle-ci va se faire dans un premier temps sans canal afin d'être sûr de sa bonne génération. Puis dans un deuxième temps, dans un canal multi-trajets mais sans bruit, on va observer l'utilité d'ajouter un intervalle de garde (IG) ou mieux un préfixe cyclique (PC) au niveau du transmetteur et ensuite un égalisateur au niveau du receveur. Enfin, nous allons étudier l'impact de l'une des erreurs existantes sur ce type de transmission ; l'erreur de synchronisation horloge.

2 Implantation de la chaîne de transmission OFDM sans canal

Dans cette partie, nous implantons la chaîne OFDM sans canal. Pour cela, je vais d'abord générer mes bits d'informations puis les moduler en BPSK (0 -> -1V & 1-> +1V).

Ensuite, comme nous sommes en dans une chaîne de transmission OFDM, je segmente en blocs plus petits mes bits symboles.

J'obtiens donc une matrice "symboles_OFDM" avec N lignes de symboles représentant mais N monoporteuses dans OFDM.

Dans un dernier temps, je passe cette matrice OFDM en mode temporel (par `ifft()`) et le passe (par un reshape sur 1 ligne) en un signal en fin de chaîne de transmission OFDM.

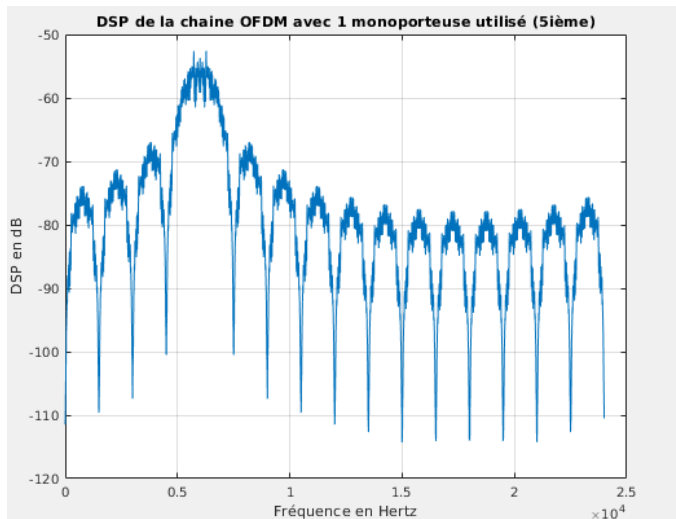
2.1 Emission

Dans cette sous-partie, on va observer la Densité Spectrale de Puissance (DSP) du signal OFDM avec des utilisations de monoporteuses différentes.

La DSP illustre bien l'activité des différentes monoporteuses car à chaque fréquence porteuse, il y a un pic sur la DSP.

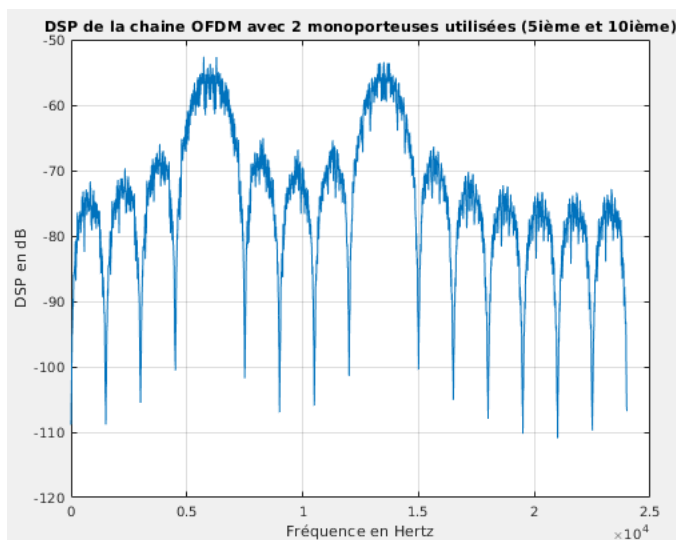
Cela s'explique logiquement par l'orthogonalité des monoporteuses où à chaque fréquence propre d'une monoporteuse c'est uniquement elle qui "parle", les autres puissances étant à zéro.

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



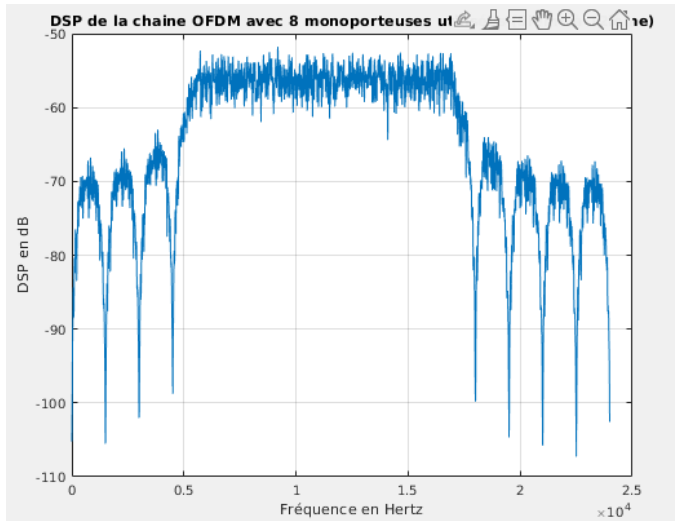
On peut ainsi remarquer que sur ce graphique que la DSP du signal est plus forte au niveau de la fréquence de la porteuse numéro 5 car c'est la seule utilisée. Elle a donc une puissance XXX fois plus importante que les autres.

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



On observe aussi bien les 2 pics de DSP au niveau des porteuses 5 et 10 qui sont les seules actives.

3. Lorsque les 8 porteuses centrales sont utilisées.



Se graphique nous montre les 8 porteuses centrales activées. On a donc une DSP augmentée au niveau des fréquences centrales (fréquences propres de monoporteuses centrales) comparée aux extrémités.

2.2 Réception sans canal

On implante enfin la chaîne de transmission en utilisant toutes les monoporteuses de ce signal. On vérifie ainsi sa bonne génération et donc la validité de notre code en regardant si le TEB est bien nul. Heureusement, le $TEB = 0$, on peut passer ainsi à une implantation plus complexe dans la suite du sujet.

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

Dans cette partie, nous allons conserver notre chaîne de transmission OFDM déjà générée. Mais on va ajouter un canal de transmission multi-trajets, sans bruit. Cela nous permettra d'étudier précisément le phénomène omniprésent de réflexion du signal sur les canaux aériens.

3.1 Implantation sans intervalle de garde

Dans cette section, nous allons surtout étudier les performances dégradées de la chaîne de transmission OFDM dans un canal multi-trajet. Ce canal va impacter la fiabilité de cette transmission en générant des Interférences Inter Symbole.

En effet, si on ne sépare pas les symboles d'un minimum de TAUX-MAX, **il va y avoir une superposition en réception entre les symboles actuels (reçus par le trajet direct) et les symboles reçus en retard (reçus par les trajets secondaires issus de la réflexion du signal).**

1. Tout d'abord, comme on a pour chaque porteuses le signal reçu sous la forme :

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

on remarque que le temps entre le premier et le dernier symbole reçu est de $4Ts$.

Ainsi notre $T_{ig} \geq T_{AUX_MAX} = 4Ts$ on prendra le cas optimal où $T_{ig} = 4Ts$. Il va donc y avoir en plus 4 "porteuses" IG ou PC à ajouter dans notre signal OFDM.

Pour que les porteuses d'IG ou de PC ne représentent que 20% À 25% dans notre signal on va donc dimensionner notre signal OFDM entre 12 et 16 porteuses.

Pour des raisons d'efficacité de traitement et de gestion du spectre dans les systèmes OFDM, il est préférable de prendre un nombre en puissance de 2 de porteuses. Ainsi on va donc avoir 16 porteuses dans notre signal OFDM plus 4 "porteuses" de redondance.

2.

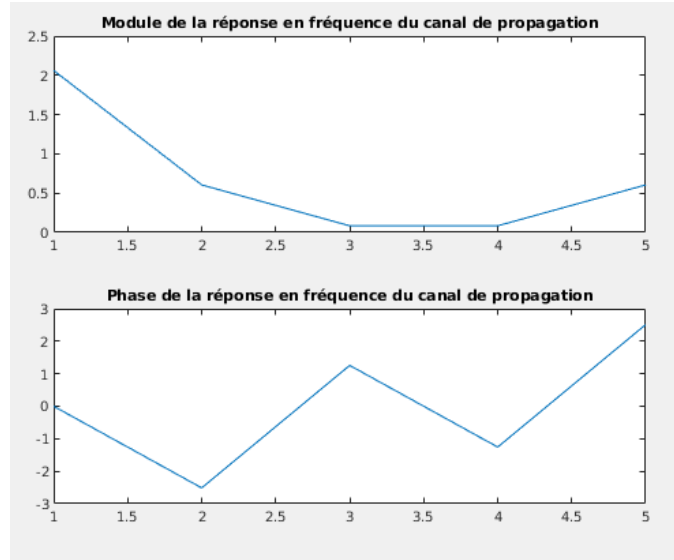


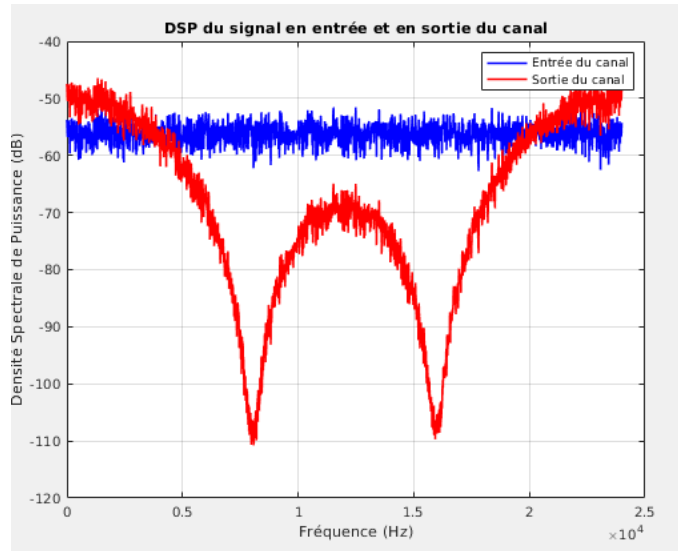
FIGURE 1 – Tracer de la réponse en fréquence du canal de propagation

On peut ainsi constater les distorsions ramenés par ce canal multi-trajets. Avec l'introductions d'avance et de retard de phase qui vont se générer dans notre signal transmit.

3. Implantation du passage du signal OFDM dans notre canal de propagation multi-trajets. On détermine directement la réponse impulsionnelle de h par l'expression de $y(t)$ donné :

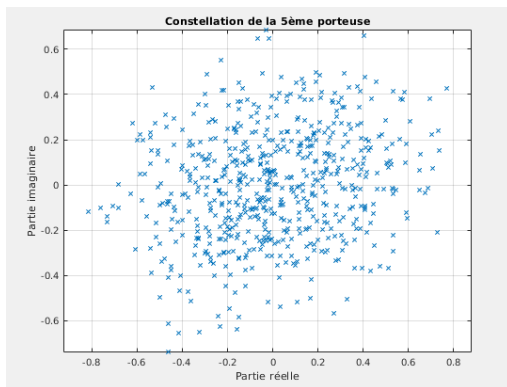
Alors, $h = [0.227, 0.46, 0.688, 0.46, 0.227]$ on prend à chaque Ts le coefficient de notre signal reçu pour trouver h .

4. Tracé de la DSP

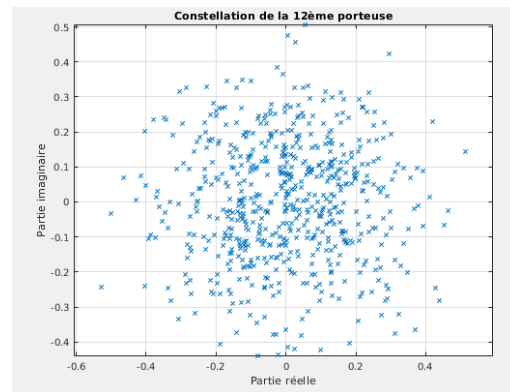


On constate ainsi que la densité spectrale de puissance va fortement varier après que le signal soit passé dans se canal avec de forte atténuation de se signal su certaine fréquence.

5.Tracé de la DSP



Constellation porteuse 5



Constellation porteuse 12

On constate alors que les constellations sont très mauvaise pour ensuite faire la prise de décision. Car on ne constate pas de zone de symbole mais au contraire un nuage de point assez homogène.

6. détermination du TEB simulé On a ainsi la répercussion directe d'une mauvaise constellation ici avec une TEB autour de 0.45 ce qui est quasiment le pire cas dans les transmissions !

Explication :

On observe ici les limites de la transmission OFDM simple lorsque le signal passe dans un canal multitrajet. Cela va s'expliquer par l'apparition d'Interférences Inter Symbole ($ISI \neq 0$) dû à la superposition des symboles dans une même porteuse après canal.

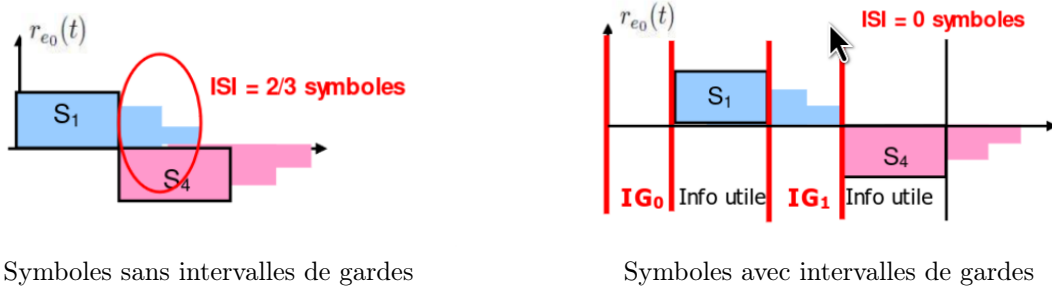
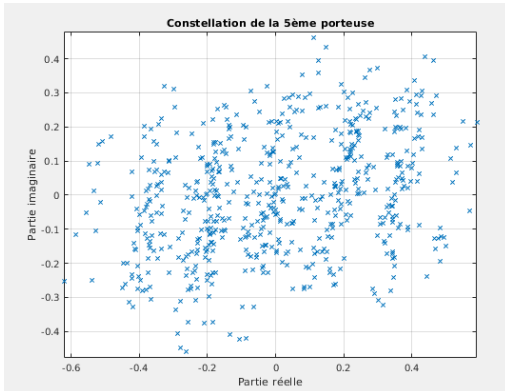


FIGURE 2 – Réception symbole d'une seule porteuse après canal multi-trajet

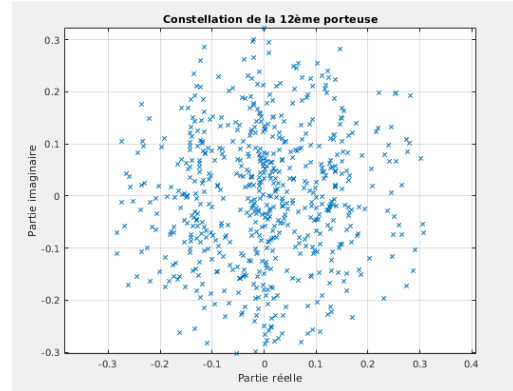
3.2 Implantation avec intervalle de garde composé de zéros

On ajoute dans cette partie un intervalle de garde dans notre chaîne de transmission. Afin de régler ce problème d'ISI.

1. Tracé de la constellation



Constellation porteuse 5



Constellation porteuse 12

Il nous semble constater une amélioration de la constellation par un nuage de point qui devient plus hétérogène. Car en choisissant un IG assez grand, le symbole retardé par le canal multi-trajets ne va pas interférer avec le prochain symbole.

(possible erreur) ce que j'attendais normalement :

Je m'attendais à observer 2 nuages de points distincts pour les 2 symboles qu'on a. Cette séparation montrera bien le fait qu'on a géré les ISI mais qu'il y a un autre type d'interférence qui persiste puisque c'est un nuage de point et non 1 UNIQUE POINT dans la constellation.

Et donc je devrais avoir une amélioration du TEB entre OFDM simple et OFDM avec IG puis entre celui-ci et OFDM PC !

2. calcul du TEB Or on possède toujours un mauvais TEB autour de 0.4 !

Explication :

Pour contrer cette ISI, on va ajouter dans notre chaîne de transmission OFDM des intervalles de garde afin d'éviter la superposition des symboles. **Mais cette technique n'est pas optimale car elle ne va pas contrer les Interférences Inter Symboles (ICI $\neq 0$).**

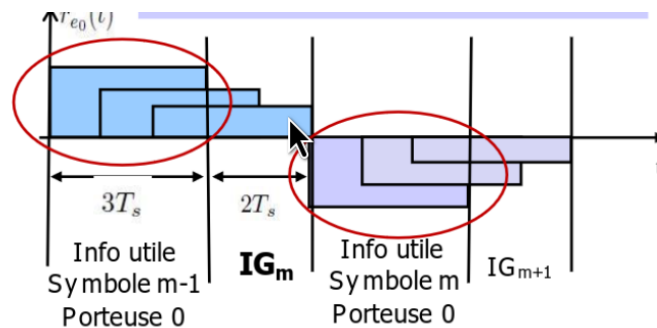
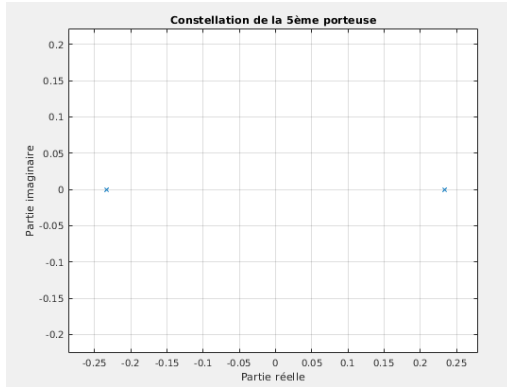


FIGURE 3 – Intérences Intra Symboles

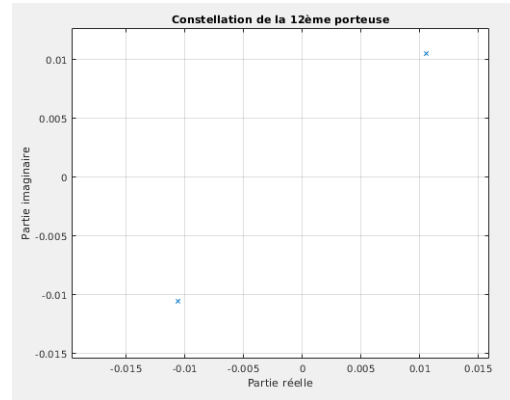
C'est pour cela que dans un troisième temps, nous allons ajouter des préfixes cycliques afin de contrer ces 2 interférences (ISI et ICI). **Car l'ajout d'un préfixe va "éliminer la coupure" entre 2 symboles d'un même canal et ainsi redonner le caractère sinusoïdale au canal.**

3.3 Implantation avec préfixe cyclique

1. tracé de la constellation



Constellation porteuse 5



Constellation porteuse 12

On voit clairement une nette amélioration de la constellation puisqu'il n'y a plus que 2 zones différentes formées par un unique point. Ainsi la prise de décision peut se faire efficacement !

2. Calcul TEB

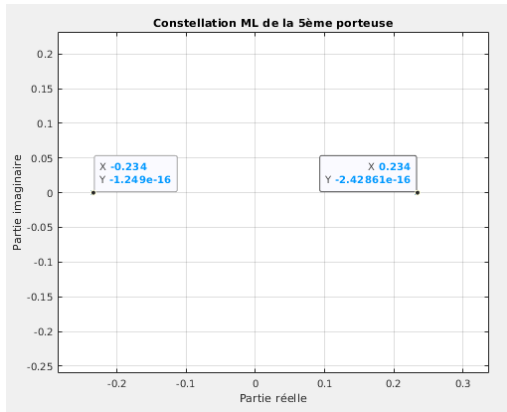
Mais pourtant le TEB reste toujours lui aussi mauvais autour de 0.4 ! On explique cela par une mauvaise reconstruction du signal reçu en nos N porteuses.

Donc dans la dernière sous-partie on va illustrer **l'importance de l'ajout d'un égalisateur en réception pour reconstruire le plus fidèlement possible.**

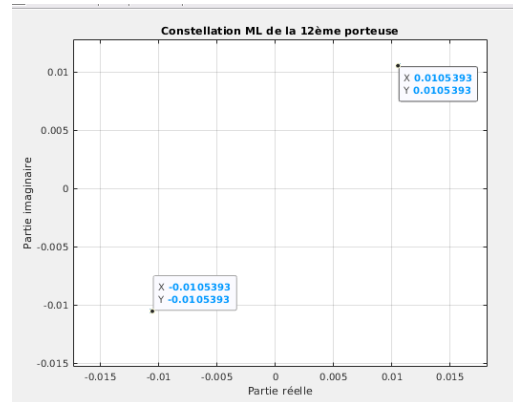
3.4 Implantation avec préfixe cyclique et égalisation

Pour l'égalisateur ML

L'égalisation ML étant le meilleur égalisateur possible puisque qu'il va pour chaque itération déterminer la probabilité maximale d'un symbole reçu (max de vraisemblance). Mais cet égalisateur est très lourd dans sa mise en place car nécessite constamment énormément de ressource.



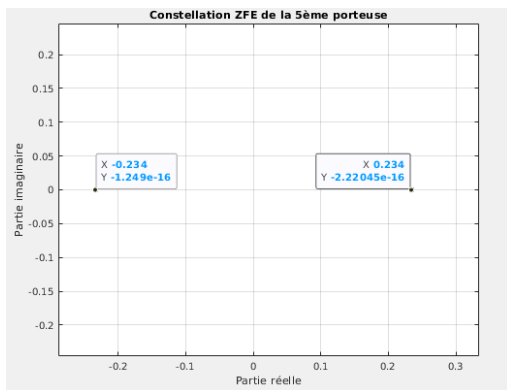
Constellation porteuse 5



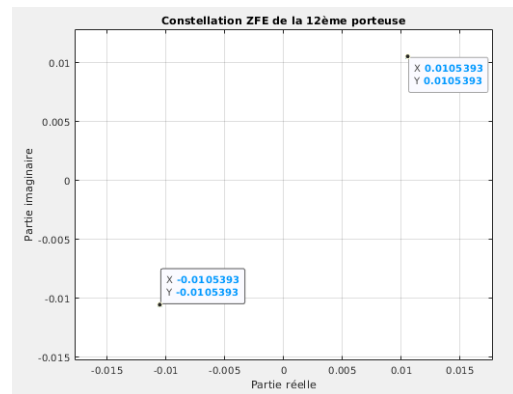
Constellation porteuse 12

Pour l'égalisateur ZFE

C'est pour cela qu'on met en place l'égalisateur ZFE qui va être plus léger dans mise en place car demande moins de ressources. En effet, on va déterminer alors une matrice multiplicatrice visant à contrer et compenser les distorsions du signal.



Constellation porteuse 5



Constellation porteuse 12

On peut voir les 2 très bonne constellations (parfaite) et permettent la bonne prise de décision symbole

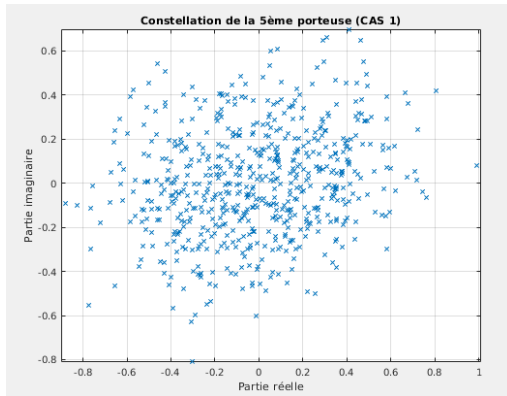
2. Calcul du TEB

Sans surprise, on obtien pour les égalisateurs un $TEB = 0$!

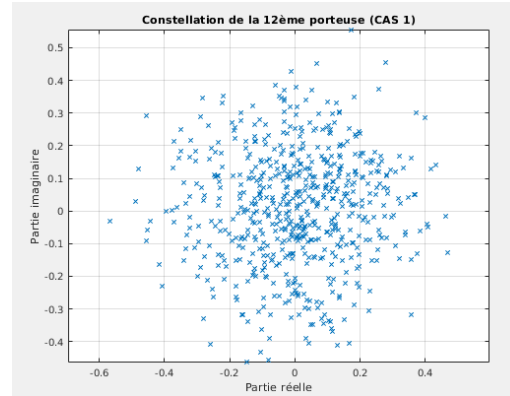
Cela illustre donc bien l'importance d'un égalisateur dans la chaine de réception même avec la bonne implantation d'un préfixe cyclique dans la transmission !

4 Impact d'une erreur

Cas 1

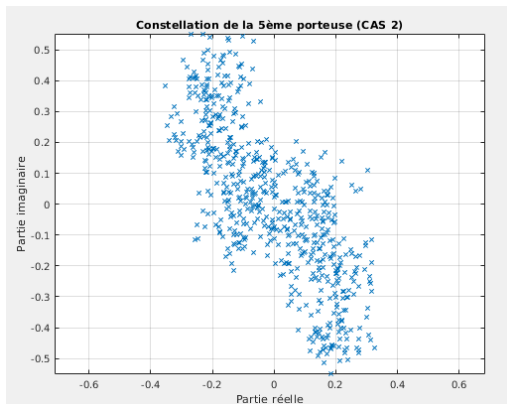


Constellation porteuse 5

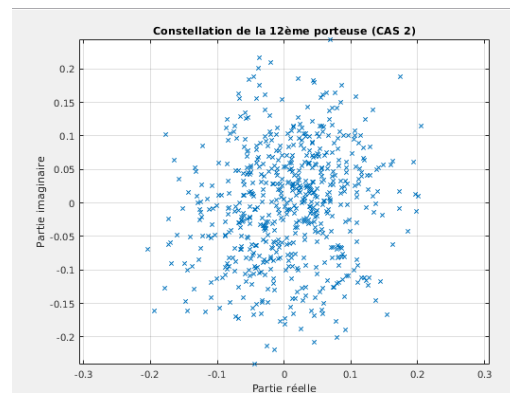


Constellation porteuse 12

Cas 2

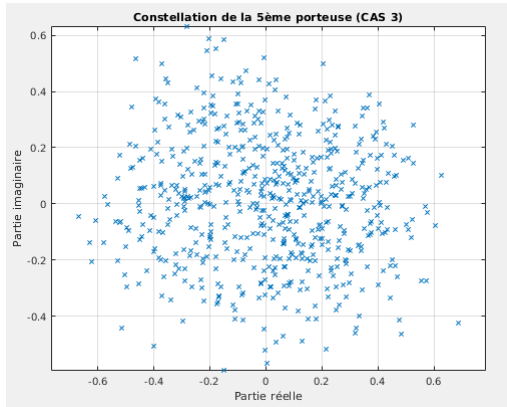


Constellation porteuse 5

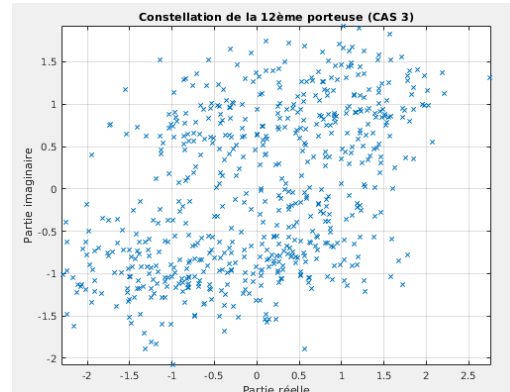


Constellation porteuse 12

Cas 3



Constellation porteuse 5



Constellation porteuse 12

Explications :

On ne l'observe pas dans notre figure mais on devrait avoir (je pense) pour 1 gros nuage de points assez homogène (car présence D'ISI) et uniquement pour le cas 2 juste 2 points à la place des nuages ce qui montrerai l'absence d'interférence !

Cette absence d'interférence (on parle d'ISI car ICI est supprimé pour tous les cas comme ajout de PC) s'explique facilement par le fait que la fft ne prend aucune superposition de porteuse.

En effet, notre avance de $TAUX < \Delta - TauxMax$ fait qu'on va prendre des PC "non optimisé". **Attention! Ils ne servent pas dans le cas idéal de synchronisation car sur ces PC il n'y a pas d'interférence avec d'autres porteuses. MAIS dans ce cas NON IDEAL (plus réaliste), les PC pris dans fft préservent le signal des ISI.**

Piste d'amélioration pour le cas 1 et 2 :

Dans un premier temps, on pourrai rajouter un égalisateur au niveau de la réception ZFE ou même ML si vraiment il y a une trop mauvaise décision. Cela devrait améliorer nettement note constellation et donc notre TEB.

MAIS CELA NE RÈGLE PAS LE PROBLÈME D'ISI!

Pour les régler et donc limiter les erreurs non résolut par l'égalisateur, on pourrai corriger en temps réel le delai pour synchroniser correctement la réception des symboles OFDM.

Il faudrait alors une porteuse qui va jouer le rôle de synchronisateur afin que le récepteur prenne cette "trame" d'information comme référence.

5 Conclusion

Dans ce BE, nous avons donc étudié la chaîne complète de transmission OFDM en regardant les outils de OFDM pour contrer toutes les interférences du signal généré par un canal multi-trajets. L'ajout du bruit du canal n'est pas essentiel dans cette étude puisqu'on gère cela un niveau au dessus avec du codage source avant la chaîne de transmission par exemple.

On peut alors affirmer qu'on a étudié l'utilisation de OFDM et son optimisation dans un cas qui colle à la réalité!

Cette technique OFDM étant utilisée pour cette gestion d'interférence, on s'aperçoit que c'est sa simplicité d'implantation et ses différents bloc qu'on peut ajouter (IG / PC / Egalisateurs différents) qui le rendent si populaire et actuel dans le monde de la communication (utilisé pour la 5G par exemple)

FIN !