



# Rapport TPs Égalisation

Realisé par:

Mohamed EL YESSEFI

Yahya YOUNES

*2A-R*

2022-2023

# Contents

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>TP1 : Égalisation linéaire temporelle</b>                          | <b>3</b>  |
| 1.1      | Introduction . . . . .  | 3         |
| 1.2      | Transmission sur canal sélectif en fréquence : égalisation temporelle | 3         |
| 1.2.1    | Canal de transmission . . . . .                                       | 3         |
| 1.2.2    | Égaliseurs temporels à structure non contrainte . . . . .             | 4         |
| 1.2.3    | Égaliseurs temporels à structure RIF . . . . .                        | 10        |
| 1.2.4    | Égaliseur Maximum de vraisemblance . . . . .                          | 11        |
| <b>2</b> | <b>TP2 : Égalisation dans le domaine fréquentiel</b>                  | <b>11</b> |
| 2.1      | Implantation de l'égalisation fréquentielle . . . . .                 | 11        |
| 2.1.1    | Égaliseur ZF . . . . .  | 11        |
| 2.1.2    | Égaliseur MMSE . . . . .  | 12        |
| <b>3</b> | <b>Transmission multi-utilisateurs</b>                                | <b>14</b> |
| <b>4</b> | <b>Conclusion</b>   | <b>17</b> |

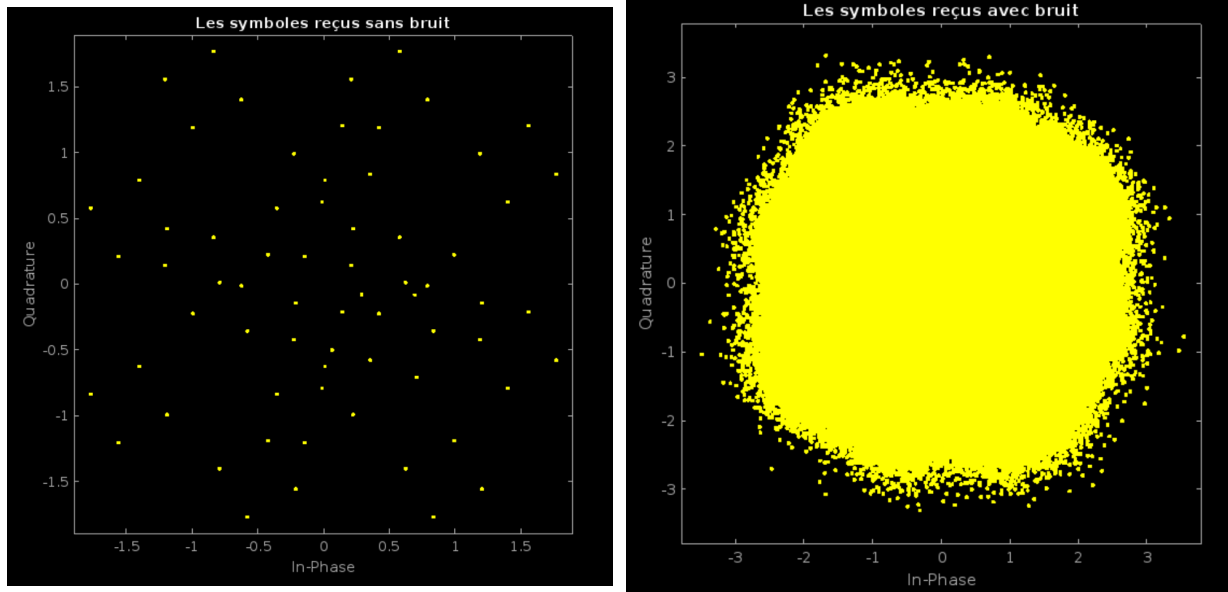
# 1 TP1 : Égalisation linéaire temporelle

## 1.1 Introduction

Il est possible de réduire ou de supprimer complètement l'interférence entre symboles en utilisant des filtres d'émission et de réception lorsque les caractéristiques du canal sont parfaitement connues. Cependant, dans la pratique, on ne connaît généralement que les valeurs moyennes du canal et il y a des erreurs dans la correction de l'interférence en raison de l'imperfection des filtres. De plus, le canal peut ne pas être stable et ses caractéristiques peuvent varier au fil du temps. Tous ces facteurs peuvent entraîner une interférence entre symboles, qui doit être compensée à l'aide de l'égalisation. Dans ce rapport, nous étudierons deux approches d'égalisation dans des domaines différents: le temps et la fréquence.

## 1.2 Transmission sur canal sélectif en fréquence : égalisation temporelle

### 1.2.1 Canal de transmission

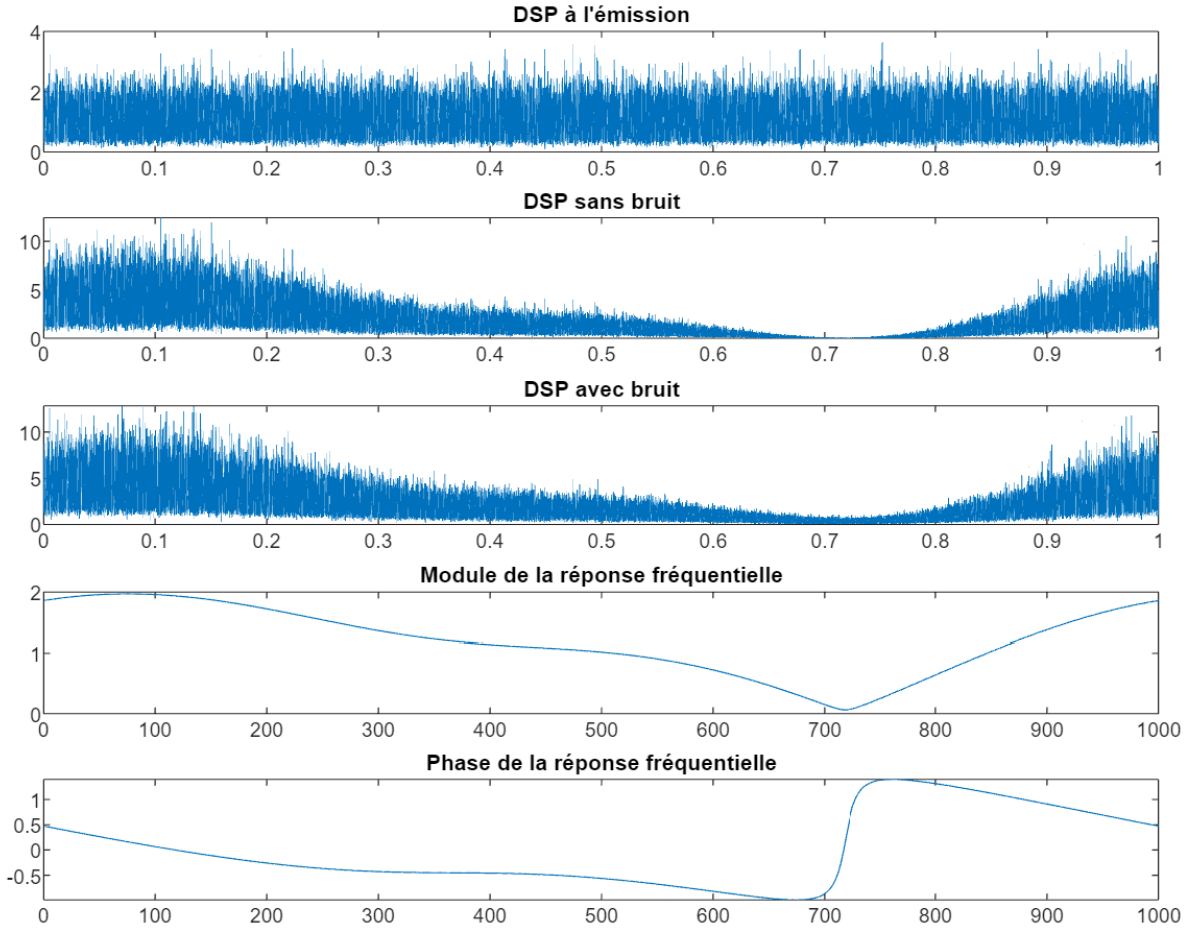


On travaille avec un SNR faible pour bien montrer le chevauchement des points reçus  $E_s/N_0 d_B = [0 : 5]$

Les symboles reçus sans bruit sont des symboles qui ont été reçus sans aucune perturbation externe. Ils sont donc censés être une représentation exacte des symboles qui ont été envoyés.

Les symboles reçus avec bruit sont des symboles qui ont été altérés par des perturbations externes lors de leur transmission. Ces perturbations peuvent être causées par des interférences et des retards qui peuvent affecter la qualité des données transmises. D'où le chevauchement des points de cette manière qui ne nous permet pas de distinguer les points du tout

Pour mieux comprendre l'impact de bruit on peut voir les densités spectrales a l'émission et a la réception.



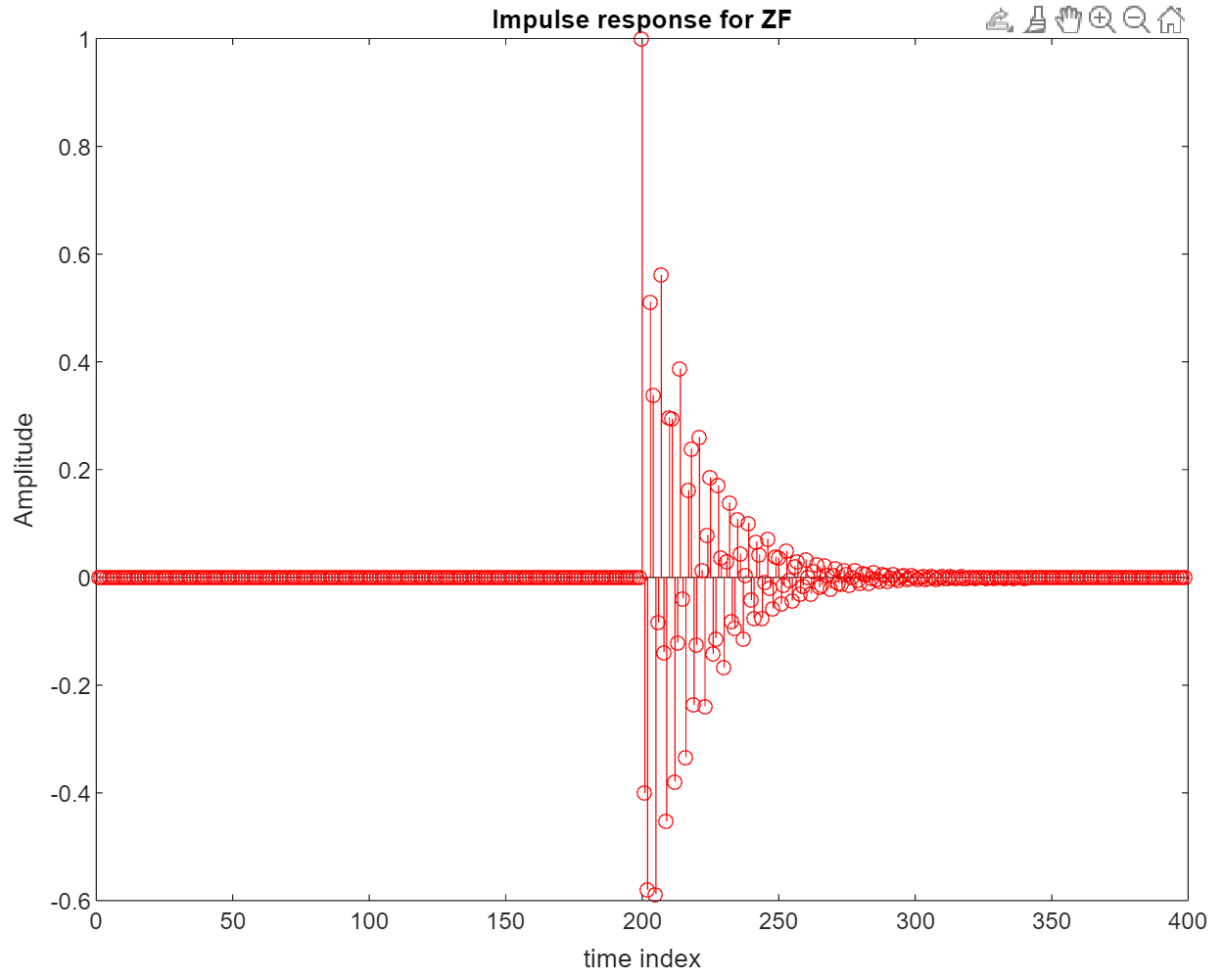
Le canal implanté montre une sélectivité en fréquence, ce qui est une des caractéristiques des canaux de Proakis.

On observe un pic de sélectivité autour de 700 lorsque l'on trace la réponse fréquentielle du canal.

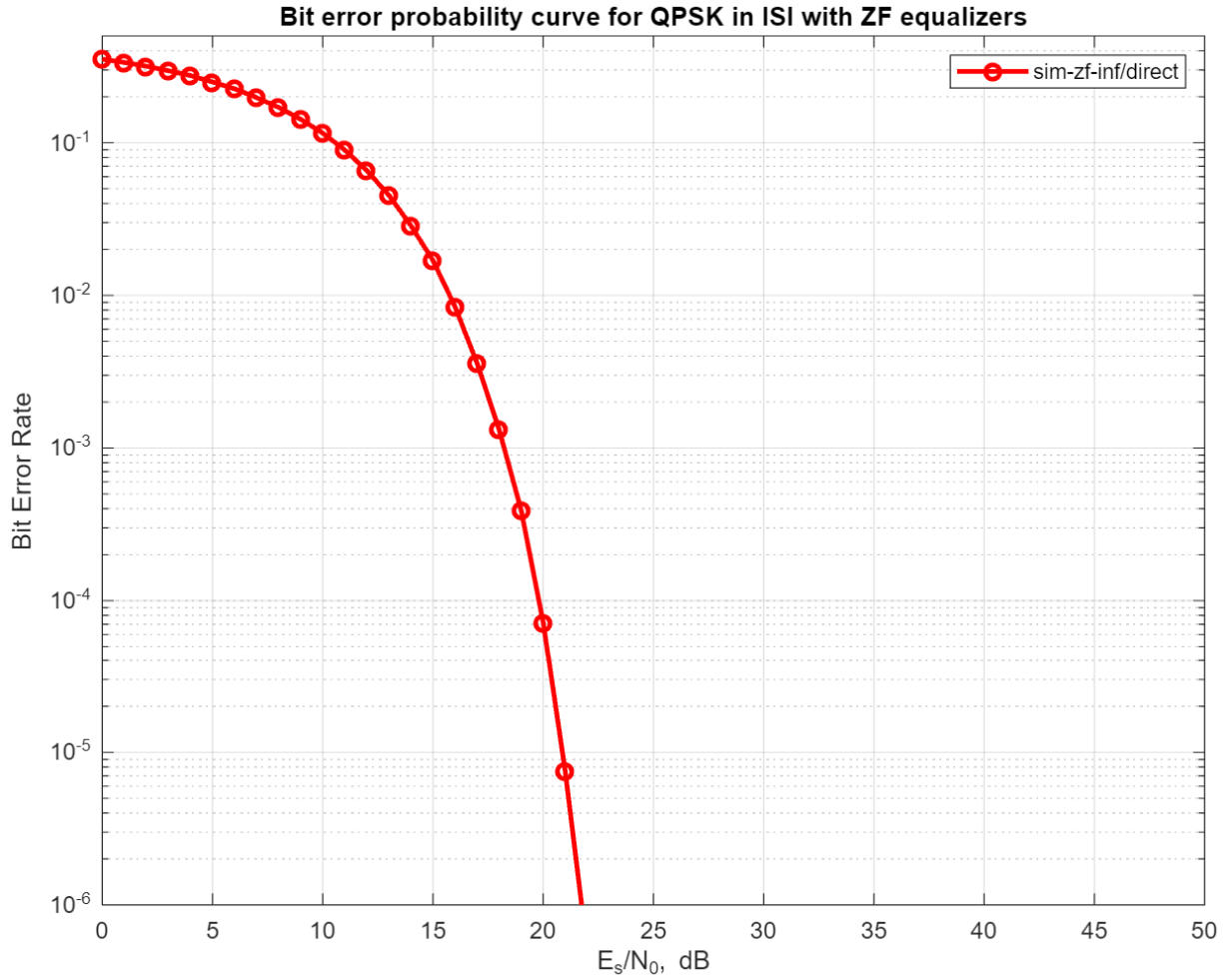
Afin de remédier à cette situation, nous devons utiliser l'égalisation. Dans la section suivante, nous allons étudier l'implémentation de deux égaliseurs : ZF (zero forcing) et MMSE.

### 1.2.2 Égaliseurs temporels à structure non contrainte

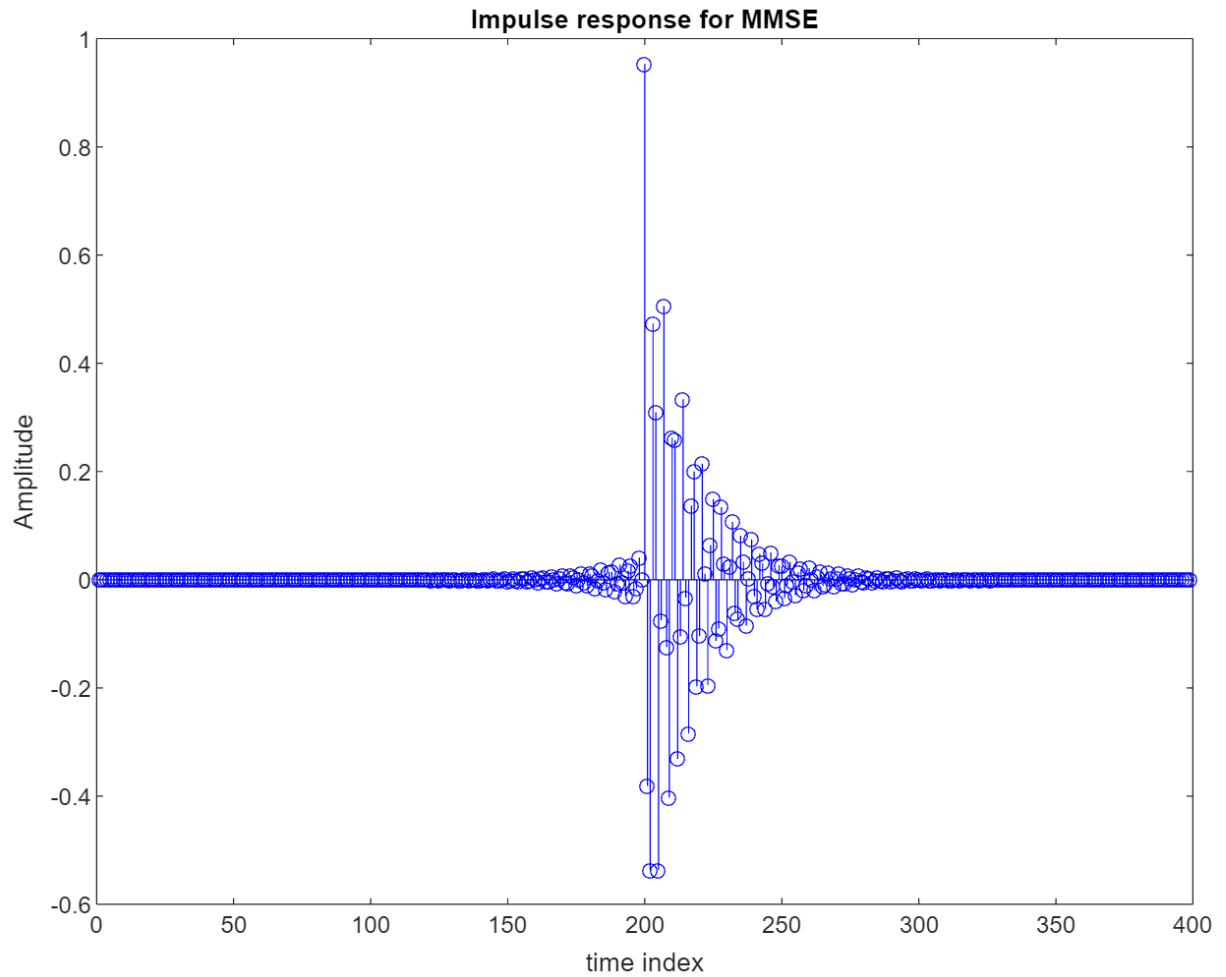
**Égaliseur ZF :** L'égaliseur ZF (zero forcing) consiste à diviser le signal reçu par la réponse fréquentielle du canal afin de compenser l'ISI (inter symbol interference). La réponse fréquentielle de cet égaliseur est la suivante :



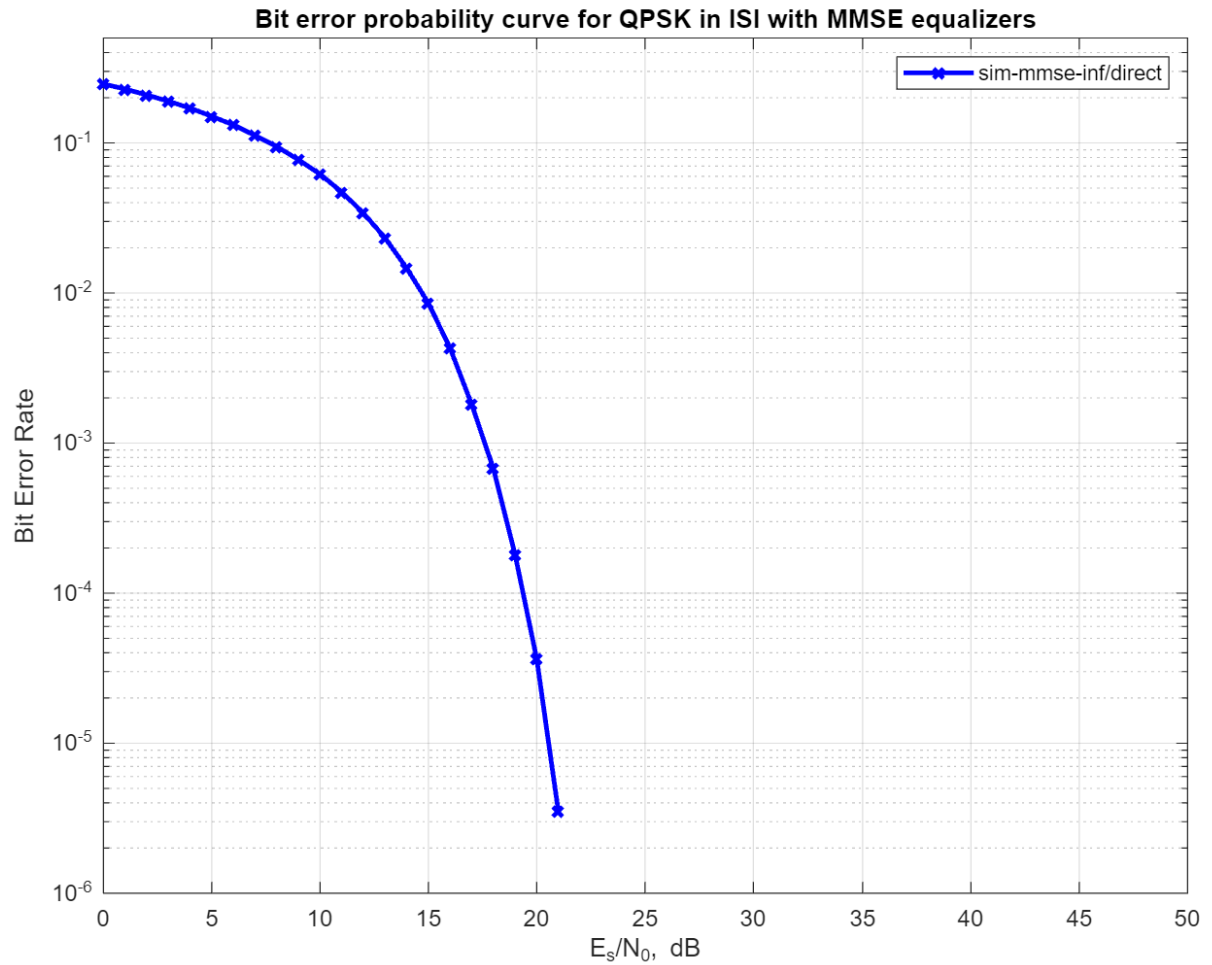
En simulant la probabilité d'erreur de transmission avec du bruit dans la chaîne, on constate que l'égaliseur ZF tente d'inverser la réponse fréquentielle du canal utilisé. De plus, il semble avoir de bonnes performances avec des canaux sélectifs en fréquence comme celui utilisé ici, mais dans le cas contraire, il peut essayer d'amplifier certaines fréquences, rendant l'égalisation plus difficile.



**Égaliseur MMSE :** Dans cette section, nous allons mettre en place un égaliseur MMSE dont l'objectif est de minimiser l'erreur quadratique moyenne entre la sortie de l'égaliseur et le symbole que l'on souhaite estimer, dont la réponse fréquentielle est la suivante :

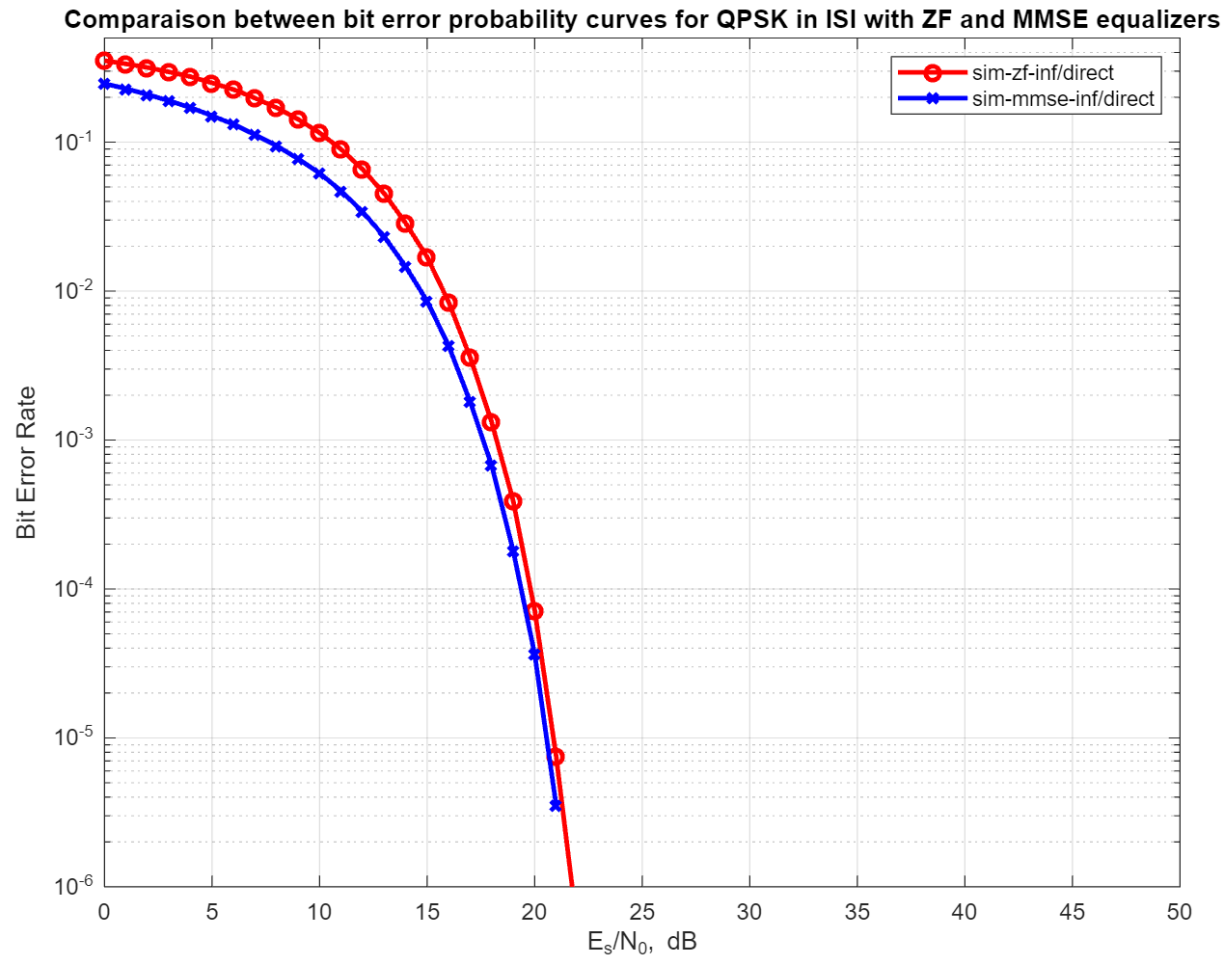


L'égaliseur MMSE tient compte du bruit introduit par le canal. De plus, on peut tenir compte de la complexité de calcul de la fonction d'égalisation par le filtre MMSE est très faible au ZF qui utilise de calcul matriciel et des inverses de matrices dont la complexité est relativement élevée



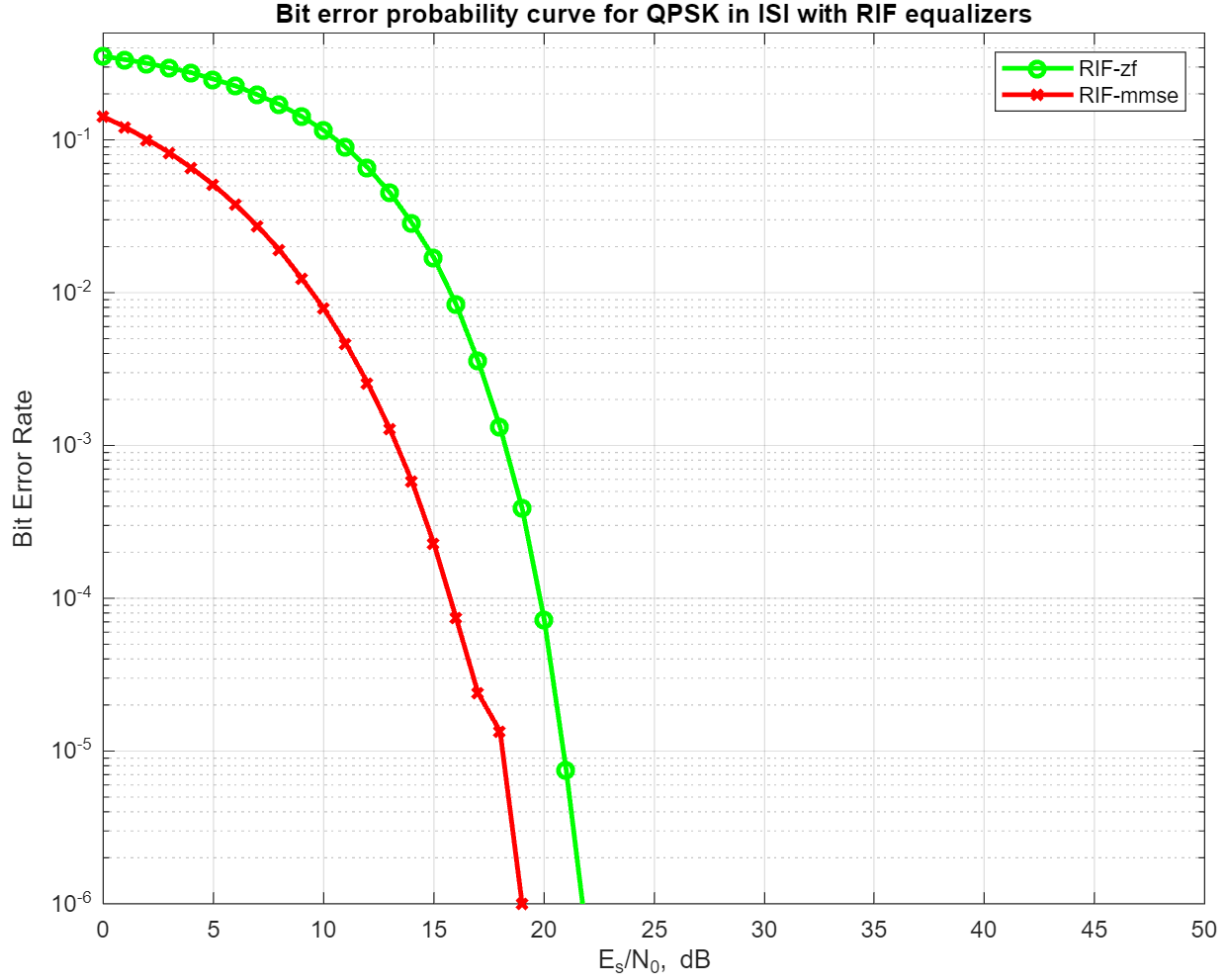
**Comparaison entre les deux égaliseurs :** A faible SNR, le critère MMSE prend en compte le bruit additif et la réduction de l'interférence entre symboles qui sont les deux principaux termes de perturbation du signal reçu. Contrairement au cas de l'égaliseur ZF qui ne gère que l'interférence entre symboles, l'égaliseur MMSE cherche un compromis entre réduction des interférences entre symboles et amplification du bruit.





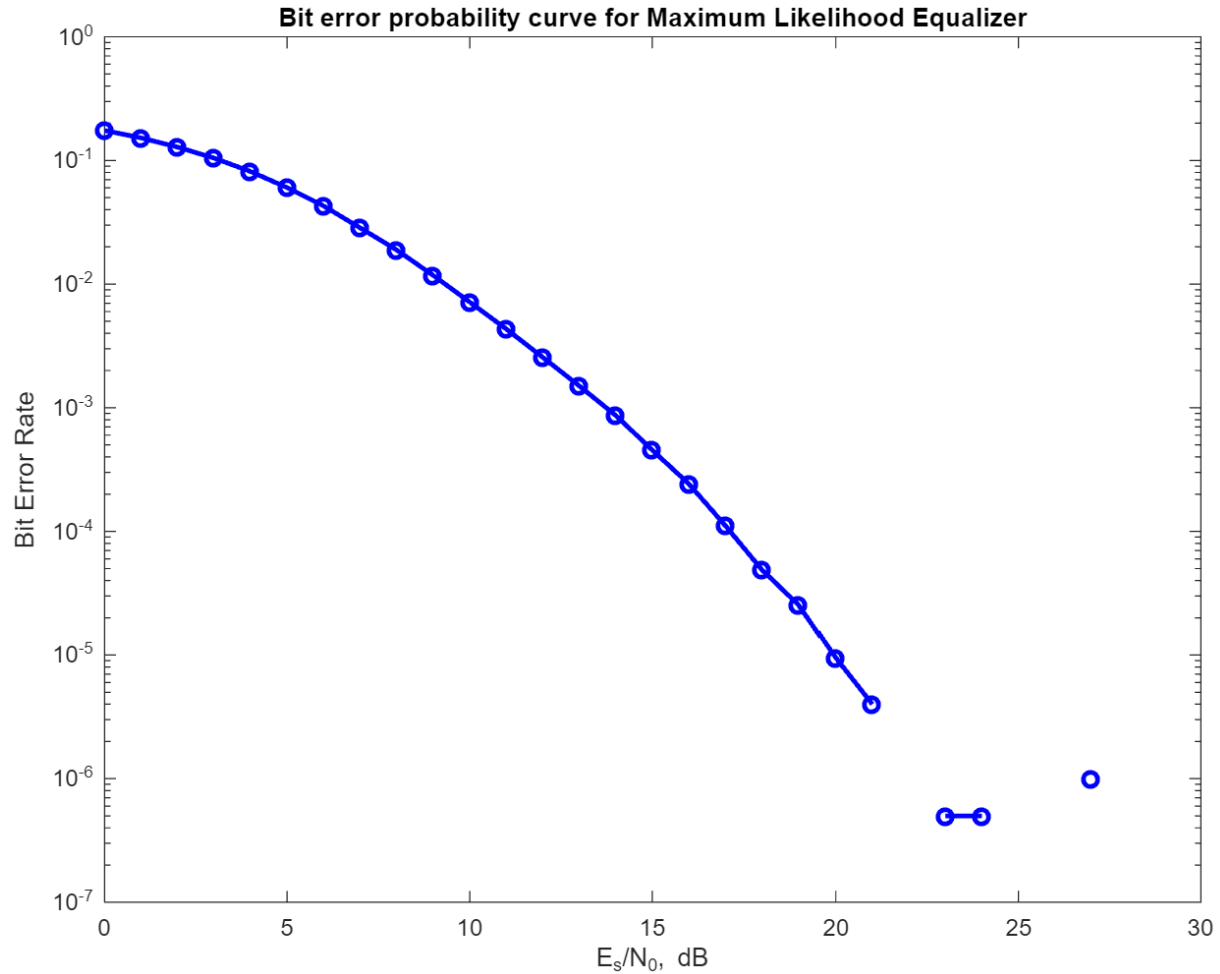
Lorsque le SNR est élevé, le filtre ZF et le filtre MMSE convergent vers des résultats similaires car ils sont tous les deux capables de minimiser l'erreur de démodulation de manière efficace dans ces conditions.

### 1.2.3 Égaliseurs temporels à structure RIF



L'égaliseur MMSE est plus performant que le ZF même avec une réponse impulsionnelle finie. Cela est dû au fait que, dans l'égaliseur MMSE, on calcule l'erreur quadratique de chaque symbole en tenant compte du bruit introduit dans le canal, tandis que dans l'égaliseur ZF, on n'en tient pas compte. De plus, l'égaliseur ZF minimise la distorsion maximale entre les symboles à la sortie de l'égaliseur, mais il ne permet pas d'éliminer l'ISI. L'inconvénient principal de ce type d'égaliseur est qu'en cas de valeurs de  $C(k)$  très proches de zéro, le filtre réciproque  $H(k)$  sera très grand, ce qui amplifiera fortement le bruit ou les erreurs d'approximation, contrairement à l'égaliseur MMSE.

### 1.2.4 Égaliseur Maximum de vraisemblance



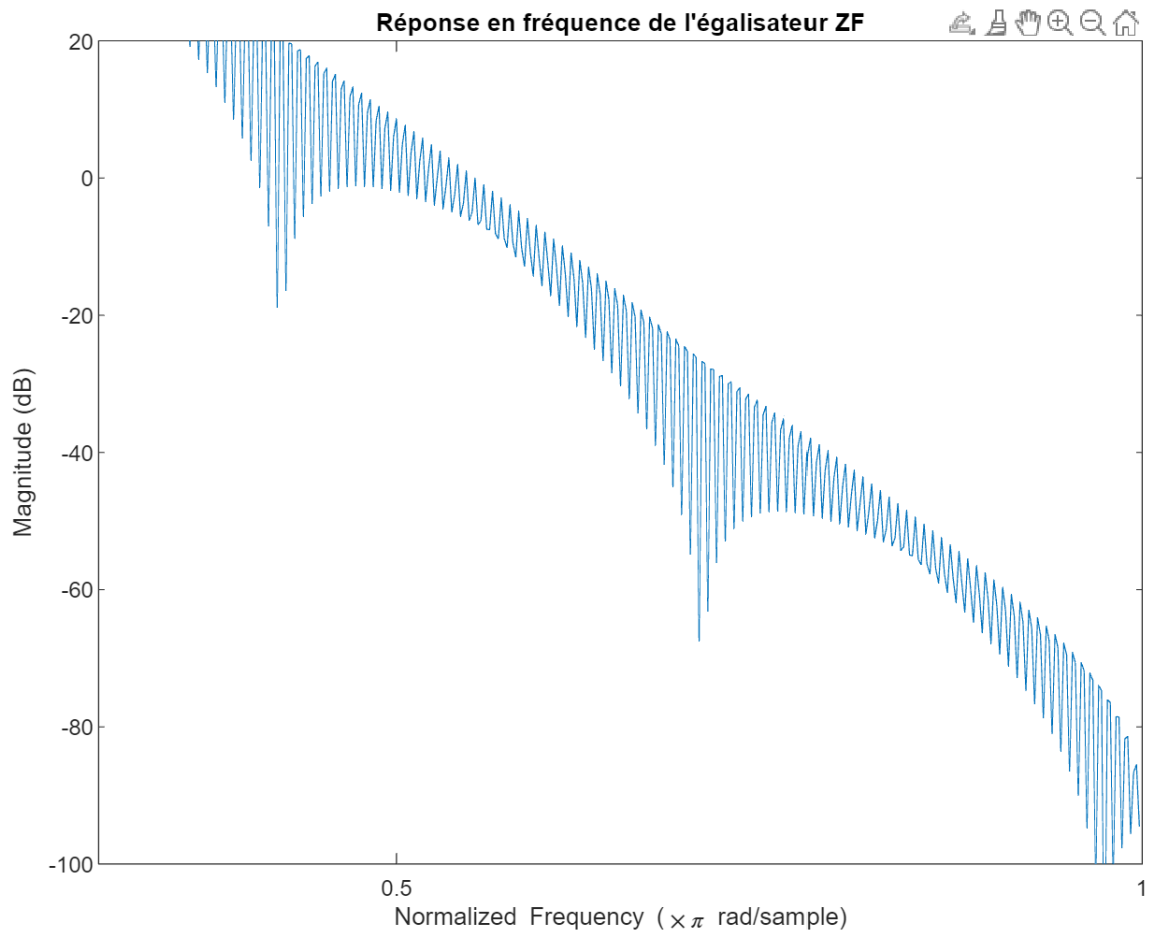
Puisque le canal utilisé est très sélectif en fréquence, on retrouve que l'égaliseur Maximum de vraisemblance est plus performants que les égaliseurs linéaires.

## 2 TP2 : Égalisation dans le domaine fréquentiel

### 2.1 Implantation de l'égalisation fréquentielle

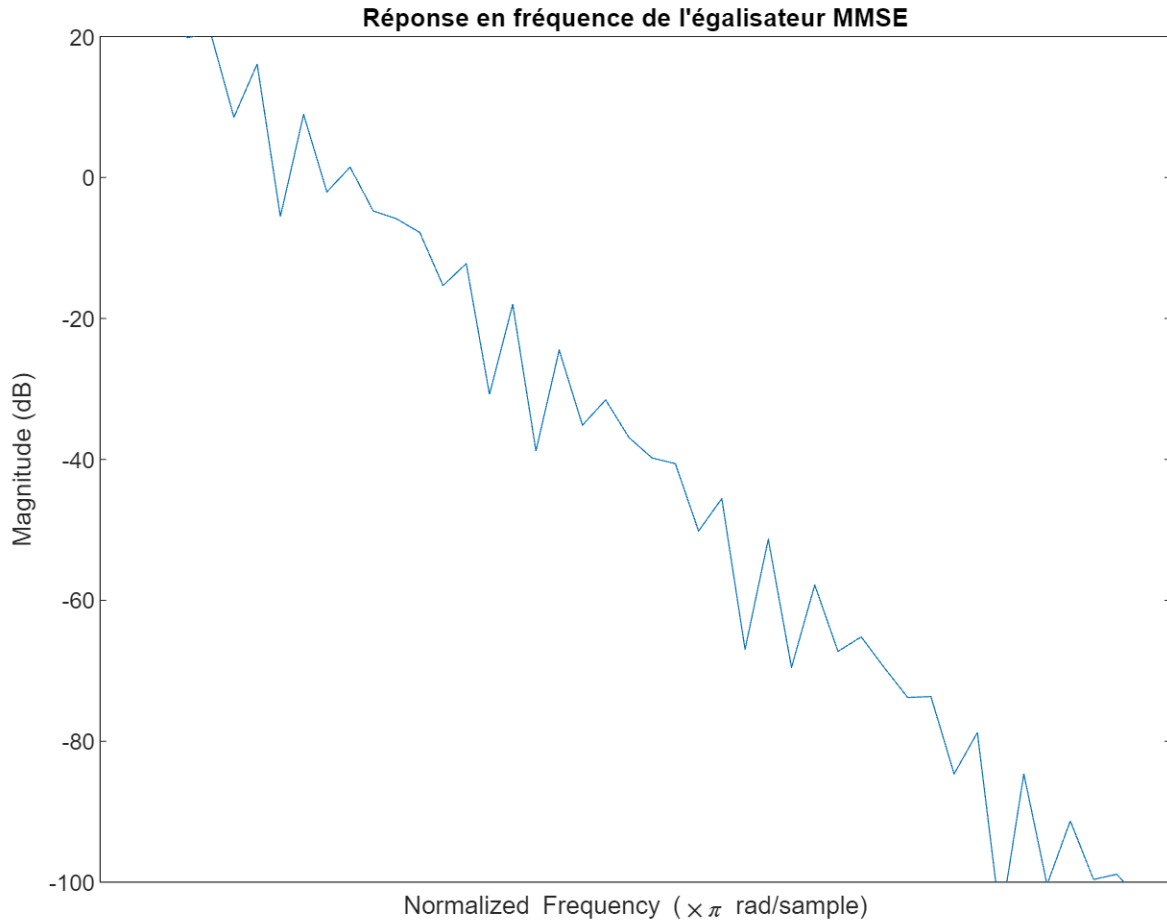
#### 2.1.1 Égaliseur ZF

La forme fréquentielle de l'égaliseur ZF montre que le signal dans notre cas sera divisé par la réponse fréquentielle du canal. Sa réponse fréquentielle est donnée ci-dessous :

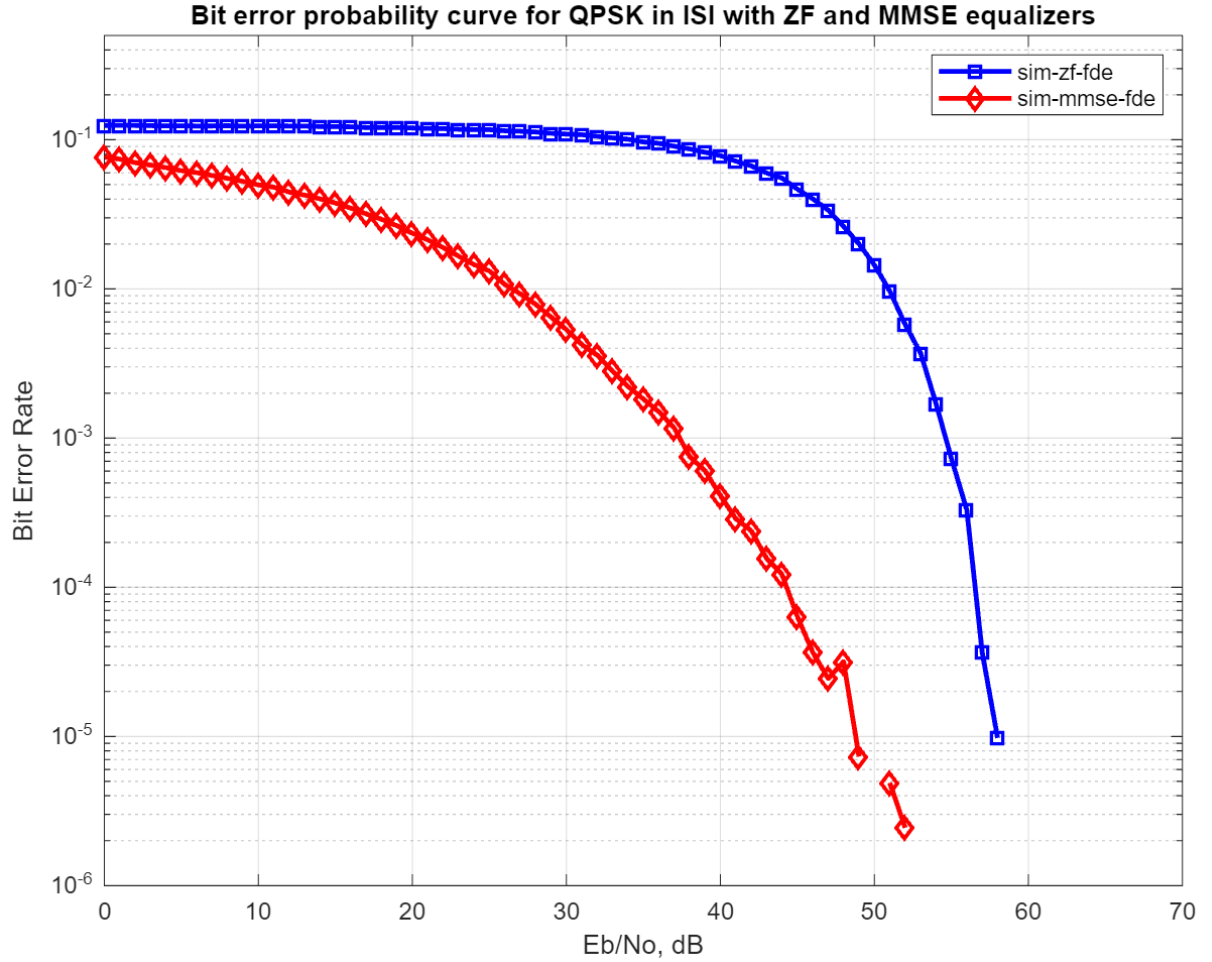


### 2.1.2 Égaliseur MMSE

La réponse fréquentielle de l'égaliseur MMSE est donnée ci-dessous :



Il est observé que l'égaliseur MMSE (Minimum Mean-Square Error) présente un taux d'erreur de bit (TEB) nettement plus faible, même dans des conditions de rapport signal-à-bruit (SNR) plus faibles, comparativement à l'égaliseur ZF (Zero Forcing). En effet, l'égaliseur ZF ne montre une efficacité significative qu'en l'absence de bruit (c'est-à-dire lorsque le SNR est supérieur à 30 décibels). Cela signifie que l'égaliseur MMSE est plus robuste aux conditions de bruit et donc plus adapté pour des applications où le bruit est présent.

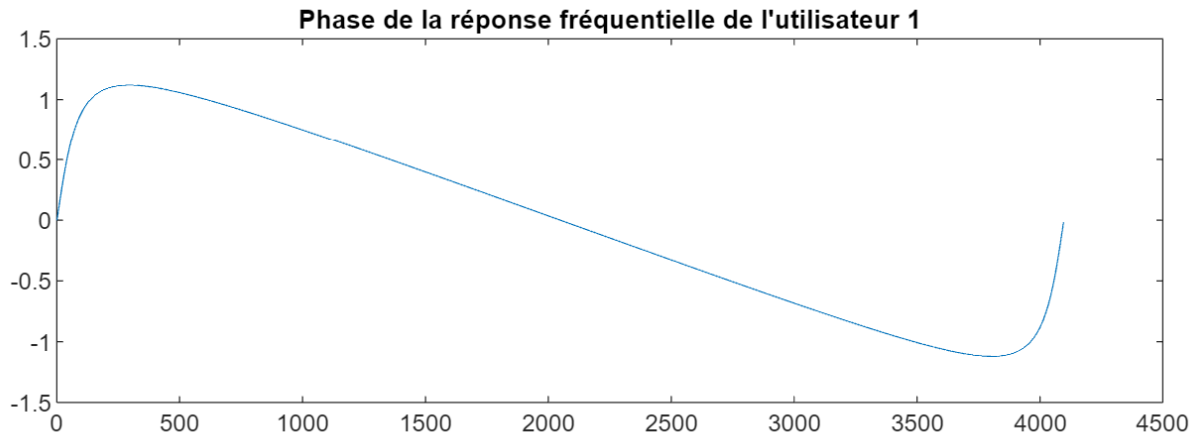
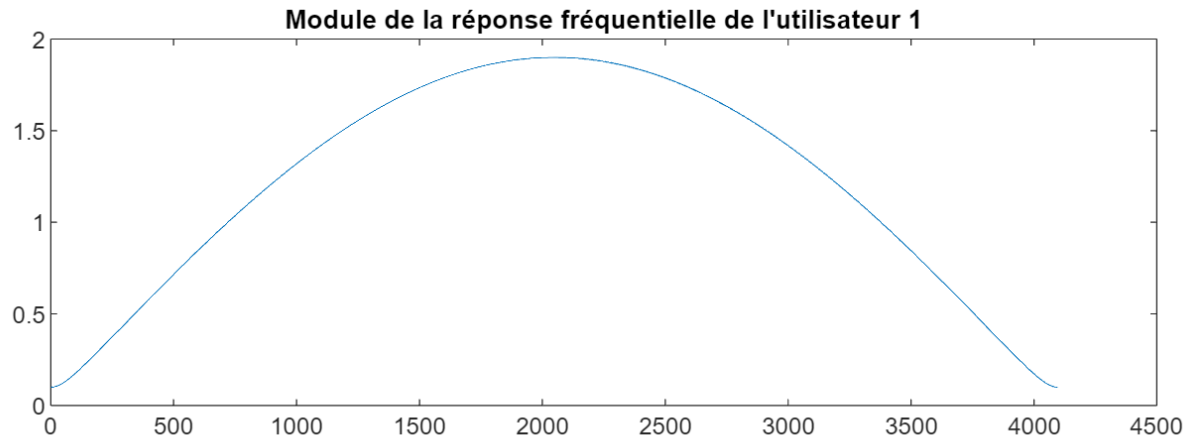


On constate toujours que le filtre MMSE est plus puissant que le filtre ZF même dans le domaine fréquentiel.

### 3 Transmission multi-utilisateurs

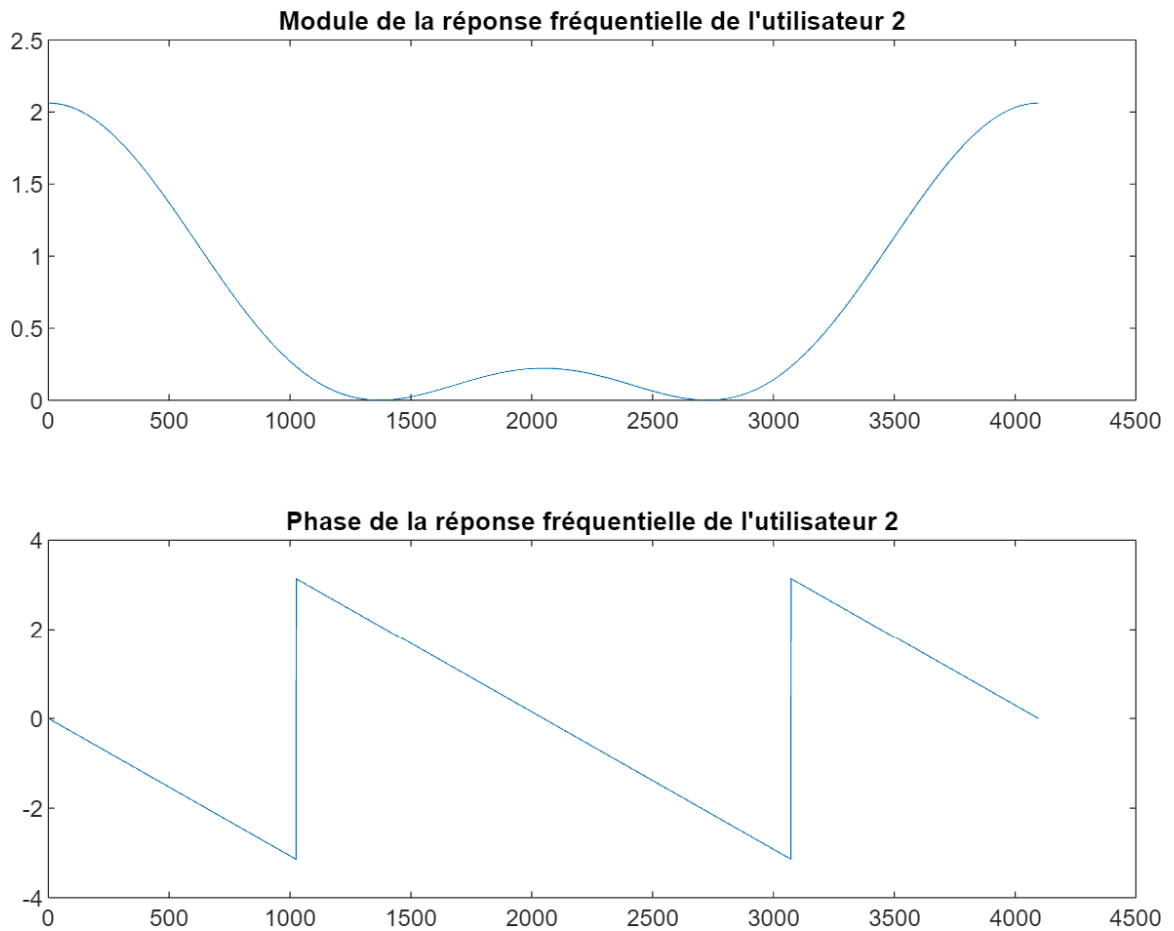
Maintenant, nous allons examiner le cas où il y a deux utilisateurs en transmission utilisant le système SC-FDMA avec une modulation QPSK. Nous utiliserons deux canaux, un pour chaque utilisateur. Le canal du premier utilisateur est donnée par :

$$h_1(t) = x(t) - 1.2x(t - T_s)$$



Le canal du deuxième utilisateur est donnée par :

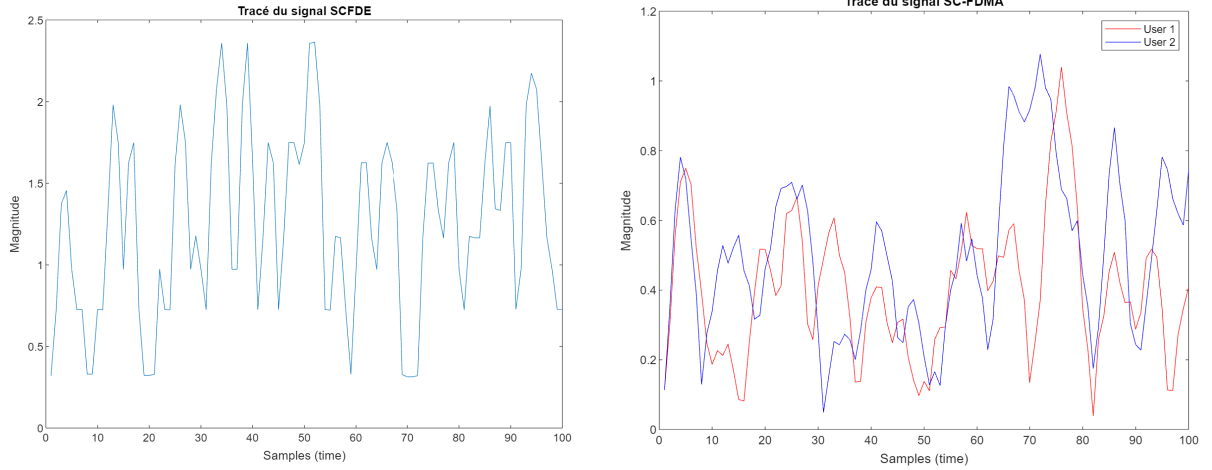
$$\begin{aligned}
 h_2(t) = & 0.04x(t) - 0.05x(t - T_s) + 0.07x(t - 2T_s) - 0.21x(t - 3T_s) - 0.5x(t - 4T_s) + 0.72x(t - 5T_s) \\
 & + 0.36x(t - 6T_s) + 0.21x(t - 8T_s) + 0.03x(t - 9T_s) + 0.07x(t - 10T_s)
 \end{aligned}$$



La transmission se déroule sur 1024 porteuses, avec 512 porteuses attribuées au premier utilisateur et les 512 restantes au deuxième utilisateur (mapping localisé). Le préfixe cyclique a une taille de 8 porteuses. Le rapport signal sur bruit (SNR) est fixé à 10 décibels et nous utilisons un égaliseur de type MMSE pour le bloc récepteur.

On peut comparer l'amplitude des signaux avant l'ajout de bruit dans ce cas au cas SCFDE précédemment examiné.





## 4 Conclusion

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié l'efficacité de différentes techniques d'égalisation dans le contexte d'un canal imparfait. Plus précisément, nous avons comparé les performances de différents types d'égaliseurs, tels que l'égaliseur de type MMSE (Minimum Mean Square Error) et d'autres égaliseurs moins complexes tel que l'égalisateur ZF. Après avoir analysé les résultats de cette comparaison, nous avons constaté que l'égaliseur de type MMSE offre de meilleures performances que les autres égaliseurs testés. Cette supériorité des performances de l'égaliseur de type MMSE peut être attribuée à sa complexité, qui lui permet de s'adapter de manière plus efficace aux caractéristiques du canal imparfait et de mieux compenser les distorsions causées par celui-ci.

Au cours de cette étude, nous avons examiné l'efficacité de diverses techniques d'égalisation dans le contexte d'un canal imparfait, qui est un environnement de transmission où les signaux sont altérés par des facteurs tels que le bruit, l'interférence et la distorsion. Nous avons concentré notre attention sur les performances de différents types d'égaliseurs, tels que l'égaliseur de type MMSE (Minimum Mean Square Error) et d'autres égaliseurs moins complexes tels que l'égaliseur ZF.

Pour évaluer les performances de ces égaliseurs, nous avons utilisé des indicateurs tels que la densité spectrale de puissance (PSD) et le rapport signal sur bruit (SNR), pour mesurer la qualité du signal reçu après l'égalisation. Les résultats de cette comparaison ont montré que l'égaliseur de type MMSE offre des performances supérieures par rapport aux autres égaliseurs testés, en termes de PSD et de SNR.

Cette supériorité des performances de l'égaliseur de type MMSE peut être attribuée à sa complexité, qui lui permet de s'adapter de manière plus efficace aux caractéristiques du canal imparfait et de mieux compenser les distorsions causées par celui-ci. En outre, cette étude a démontré l'importance de l'utilisation d'égaliseurs adaptatifs pour améliorer les performances de transmission dans des canaux imparfaits.