



Projet Egalisation Canal

Lucas THIETART
Alphonse LAFON

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

Table des matières

1	Introduction	3
2	Transmission sur canal sélectif en fréquence : égalisation temporelle	4
2.1	Egalisation ZF et MMSE	4
2.2	Egalisation ZF et MMSE avec contraintes	5
2.3	Egalisation ML	6
3	Transmission sur canal sélectif en fréquence : égalisation fréquentielle	8
3.1	Egalisation fréquentielle et démodulation	8
4	Conclusion	9

1 Introduction

Dans ce sujet, nous allons nous intéresser aux deux principaux critères d'égalisation en mode temporel et fréquentiel. ZF et MMSE sont des égalisateurs linéaires puisqu'ils se situent au niveau de la réception et jouent le rôle de filtre. En opposition, le filtre ML est non linéaire mais s'avère être un égalisateur de référence, car c'est le plus performant existant.

2 Transmission sur canal sélectif en fréquence : égalisation temporelle

On considérera un canal sélectif en fréquence, avec une modulation QAM. En suivant les indications du sujet, on observe, même sans bruit, un TEB non nul car il y a des interférences inter symboles avec les canaux de Proakis donnés.

2.1 Egalisation ZF et MMSE

On implante les égaliseurs ZF et MMSE en suivant les indications qui sont données dans le sujet.

Voici les taux d'erreurs binaires obtenus avec les deux différents égaliseurs :

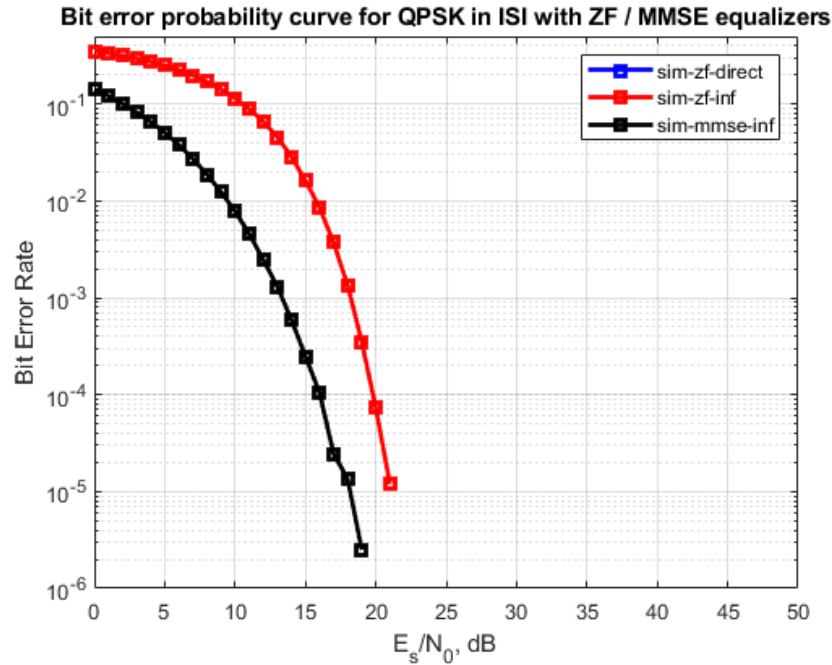


FIGURE 1 – TEB obtenus avec ZF et MMSE

Ce qu'on observe est cohérent avec la théorie : l'égaliseur MMSE performe mieux à la fois à faible et à fort rapport signal sur bruit, et on ne détecte plus d'erreurs passé un certain seuil de rapport signal sur bruit : sans bruit on arrive à recomposer le signal parfaitement.

On peut constater que le comportement de MMSE et ZF sont identiques à SNR faible, cela s'explique par le fait que la composante qui gère le bruit dans W_{mmse} tend vers 0. Il reste donc uniquement la composante identique à ZF.

Au contraire, dans le cas d'un SNR important, on peut s'apercevoir d'une grande différence de comportement entre ZF et MMSE. En effet, MMSE va avoir comme composante dominante celle qui s'occupe du bruit dans le canal et rendre mettre à 0 la composante ZF qui est alors inefficace dans sont forçant à 0. ZF ne peut pas régler les IES à ce stade, on visualise bien son inaction avec le pire TEB possible $TEB_{zf} = 0.5$.

2.2 Egalisation ZF et MMSE avec contraintes

Cette fois-ci, on implante les égaliseurs avec contraintes, en utilisant la matrice de Toeplitz pour obtenir la matrice de convolution du canal.

Le but de cette implantation avec contrainte est de restreindre notre filtre en reception à une taille finie. Ce qui va nous obliger à ne prendre en compte seulement quelques éléments du canal.

Pour ZF cette sélection ne se fait pas de manière optimal puisqu'on va prendre en compte uniquement les N premières composantes de notre canal. Alors qu'avec MMSE nous allons prendre en compte les N composantes dominantes du canal.

Voici les taux d'erreurs binaires obtenus mis sur la même figure :

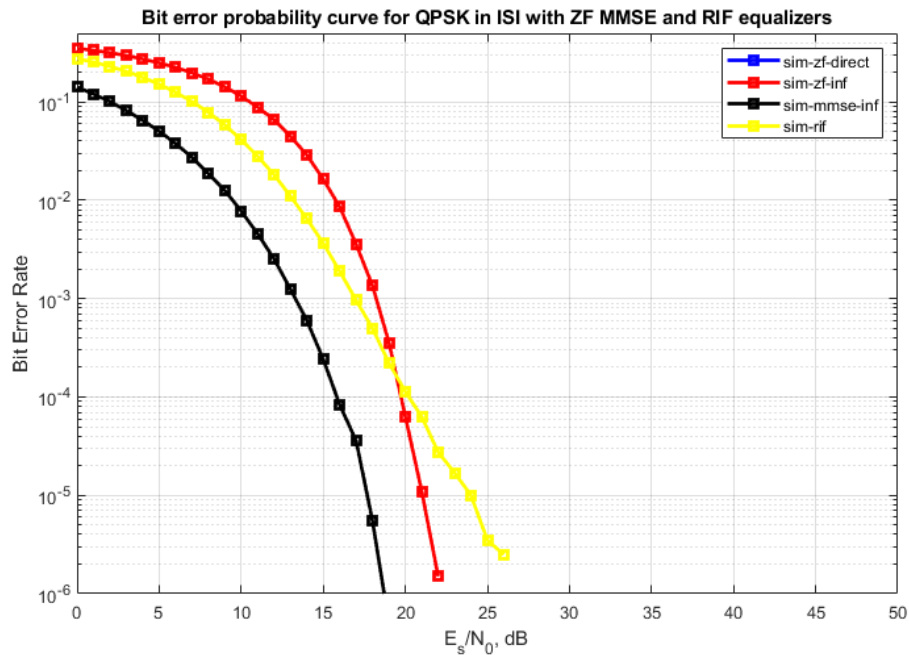


FIGURE 2 – TEB obtenus avec contrainte

Ici on observe que avec contraintes, on a de meilleures performances lorsqu'il y a beaucoup de bruit par rapport à la version sans contraintes, mais plus le bruit est faible, moins cette version avec contraintes sera meilleure.

Avec des filtres de grande taille, on sera très précis mais ce sera plus complexe à mettre en place, alors que des filtres de plus petite taille peuvent être plus rapides à converger.

2.3 Egalisation ML

Encore une fois, on change de methode d'egalisation : ici on fait l'egalisation ML, qui est non linéaire. On l'implémente comme indiqué dans le sujet en appliquant Viterbi sur le trellis du canal équivalent en bande de base.

Cet égalisateur est le plus performant existant mais aussi le plus lourd dans l'implantation. On s'aperçoit qu'avec un grand nombre de canaux secondaire (hc avec bcp de coefficients) on ne peut plus calculer S_{sf} .

La performance de cet égalisateur s'explique par le fait que à chaque information reçu y reçu, on va calculer trouver la valeur correspondante pour avoir $\min \|y - Hz\|^2$

Soit la valeur de z qui va minimiser la distance avec y

Donc à chaque itération on prend la meilleure décision possible si on prend du QPSK (4 valeurs d'information possible) on va tester avec 4 valeurs de z possible puis prendre l'optimale. Donc c'est très lourd en mise en place.

En comparaison avec les autres égalisateurs linéaires ou l'on ne va pas prendre de décision mais multiplier par un coefficient plus ou moins optimisé.

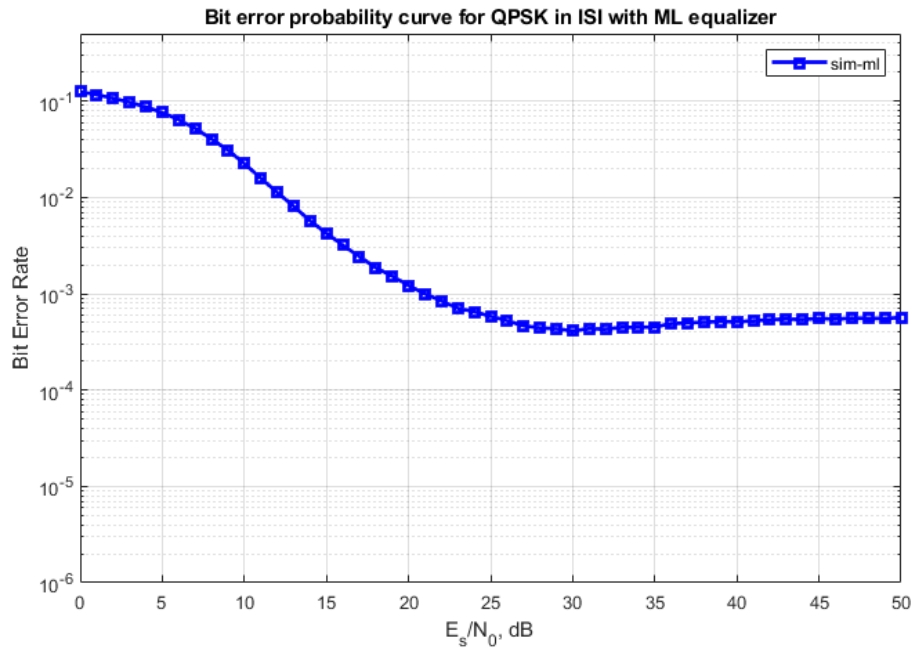


FIGURE 3 – TEB obtenus avec ML

On a quelque chose de cohérent, on peut observer l'erreur systématique d'environ $5 \cdot 10^{-4}$ qui ne part pas même quand le bruit est nul. Traçons tout nos TEB pour comparer les méthodes linéaires a celle-ci :

On remarque que sans bruit, les égaliseurs linéaires sont meilleurs, alors que ML introduit une erreur systématique. Par contre avec beaucoup de bruit, ML sera plus performant que les méthodes linéaires.

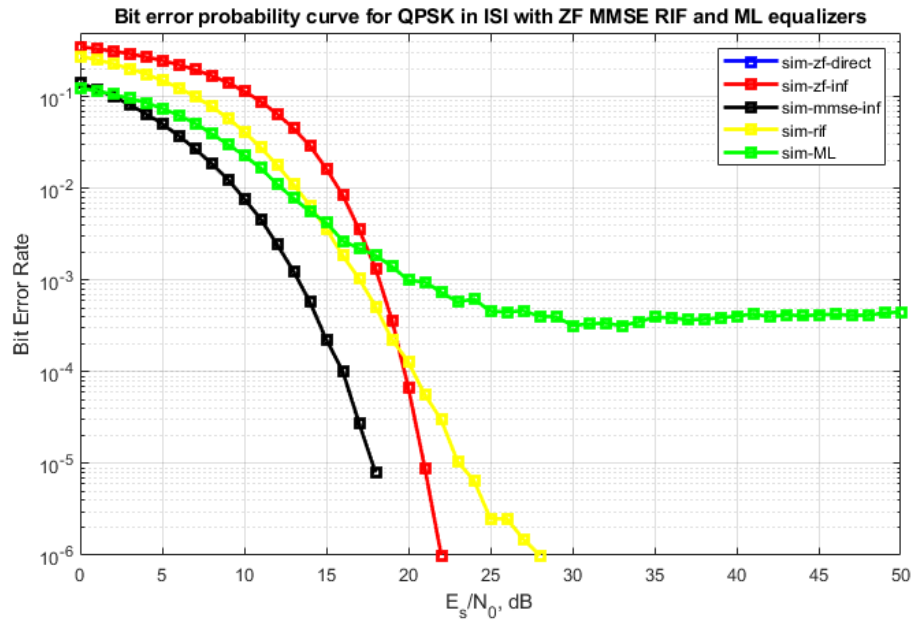


FIGURE 4 – tous les TEB obtenus

3 Transmission sur canal sélectif en fréquence : égalisation fréquentielle

3.1 Egalisation fréquentielle et démodulation

Dans ce TP numéro 2, nous allons nous intéresser à l'égalisation fréquentielle avec les conditions ZF et MMSE pour ensuite comparer ces performances.

Dans notre code, la transmission est déjà implantée, et nous avons donc uniquement à modifier la modulation en variant les états de M de 4 à 64.

Du côté de la réception, nous allons construire deux chaînes différentes (avec les politiques d'égalisation ZF et MMSE) afin de les comparer.

Explication de la chaîne de réception :

- Remove CP :

Après la transmission des données sur le canal, un préfixe cyclique (CP) est ajouté à chaque bloc de données à l'émetteur. Ce CP est une copie de la fin du bloc de données et il est utilisé pour éviter l'interférence entre les blocs adjacents lors de la réception.

La première étape de la réception consiste à supprimer ce préfixe cyclique ajouté précédemment. Cela signifie que le récepteur prend les données reçues, extrait le préfixe cyclique ajouté, laissant ainsi uniquement les données utiles pour la suite du processus de démodulation.

FDE :

Après avoir retiré le préfixe cyclique, la prochaine étape est l'égalisation des données reçues.

C'est ici que nos 2 chaînes de transmissions se distinguent par l'implantations des critères ZF et MMSE.

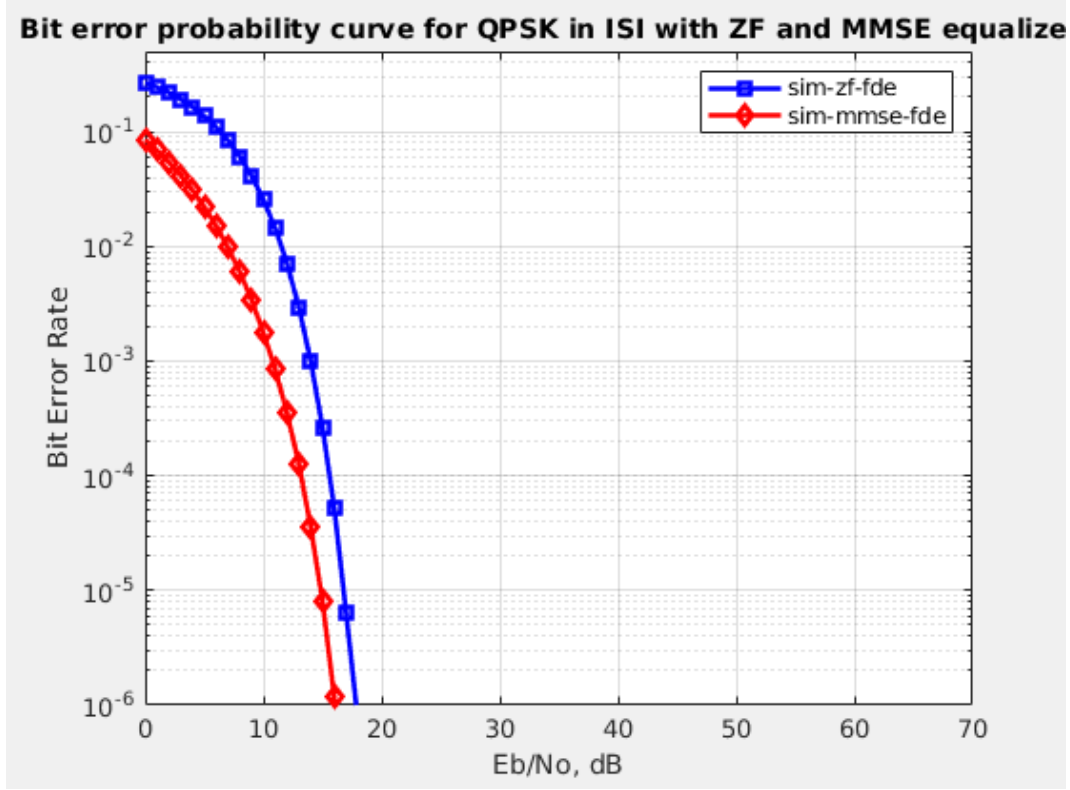


FIGURE 5 – BER simulé pour une égalisation fréquentielle ZF et MMSE

On s'aperçoit ici comme dans le rest de notre sujet une comportement similaire entre MMSE et ZF pour des SNR négligeables. On voit de plus l'optimisation de MMSE dans les cas les moins favorable de SNR fort.

4 Conclusion

Dans ce projet, nous nous apercevons donc que l'égalisateur MMSE est la version optimisée de ZF pouvant s'adapter aux différents SNR possibles dans un canal de propagation. Cependant, il est important de constater aussi que la complexité d'implémentation de MMSE est plus importante que celle de ZF, qui lui n'est pas adaptatif suivant le SNR.

Ainsi, nous avons en notre possession différents arguments dans le choix d'un égalisateur plutôt qu'un autre. Si l'implémentation d'un égalisateur d'une très grande complexité est possible, nous prendrons ML. Si cet égalisateur est trop lourd et que le SNR varie, nous prendrons MMSE. Puis, si c'est trop lourd ou que le SNR reste toujours négligeable, nous prendrons ZF.

FIN