



TP DÉTECTION MIMO

Ayoub Najmeddine

Département Sciences du Numérique - Troisième année
2022-2023

Table des matières

1	Introduction	3
2	Détecteurs MIMO linéaires	3
3	Détecteurs MIMO non linéaires	4
3.1	Détecteur ML - MAP	4
3.2	Récepteur SIC - ZF	4
4	Sparse Code Multiple Access (SCMA)	5
4.1	Modèle du système	5
4.2	Les principes de base du SCMA	6
5	Performances de la technique sur les canaux Gaussien et de Rayleigh	8

1 Introduction

La détection MIMO permet d'atteindre des vitesses de transmission très élevées et des performances de communication sans fil optimales. Elle est largement utilisée dans des applications telles que le Wi-Fi, le LTE et d'autres systèmes de communication sans fil. La détection MIMO peut être utilisée pour améliorer la fiabilité des transmissions sans fil et obtenir des vitesses de transmission plus rapides et plus stables.

On s'intéressera dans ce TP à l'étude de deux différentes techniques de détection en réception, à savoir les méthodes linéaire (Zero forcing ZF, MMSE) et les méthodes non linéaire (Maximum Likelihood ML, SIC-ZF). On comparera ensuite leurs performances et examinera leurs avantages et leurs limites. La dernière partie s'intéressera à la technique d'accès montant non orthogonal Sparse Code Multiple Access (SCMA) qui est utilisée dans les technologies 5G.

2 Détecteurs MIMO linéaires

Dans cette première partie on étudiera les performances des égaliseur ZF et MMSE, pour cela on représente sous Matlab la courbe du taux binaire dans le cas des récepteurs ZF et MMSE, et on obtient la figure suivante :

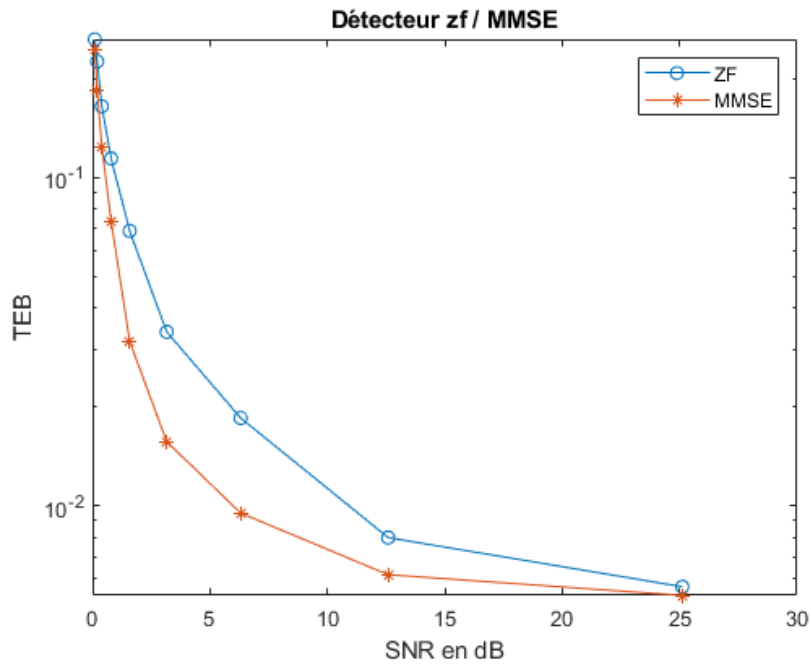


FIGURE 1 – Comparaison entre les TEBs obtenus dans les cas Zf et MMSE.

Les résultats de la simulation montrent que le détecteur ZF a une performance inférieure à celle du MMSE. En effet, le ZF a une performance d'erreur binaire (BER) plus élevée et sa courbe est plus plate que celle du MMSE, qui est plus abrupte. De plus, le ZF est sensible aux interférences du canal et ne prend pas en compte les informations du bruit et de l'énergie des symboles, ce qui peut expliquer pourquoi il est moins performant que le MMSE.

3 Détecteurs MIMO non linéaires

3.1 Détecteur ML - MAP

Le détecteur ML est une technique très utile car elle offre des performances optimales et un faible bruit de mesure. De plus, elle peut être facilement implémentée avec des algorithmes simples et peut être appliquée à des systèmes avec des niveaux de bruit variables. Pour un vecteur de symbole émis X et un symbole reçu Y le détecteur ML est donnée par :

$$\hat{x}_{ml} = \arg \max_{x \in \chi} p(Y/X)$$

Un inconvénient du détecteur ML est qu'il peut être très gourmand en calculs et en temps de calcul, ce qui le rend moins attrayant pour les applications en temps réel. De plus, il nécessite une estimation précise du bruit du canal pour fonctionner correctement.

La figure ci-dessous illustre comment Matlab peut être utilisé pour simuler le fonctionnement et les performances de cette technique :

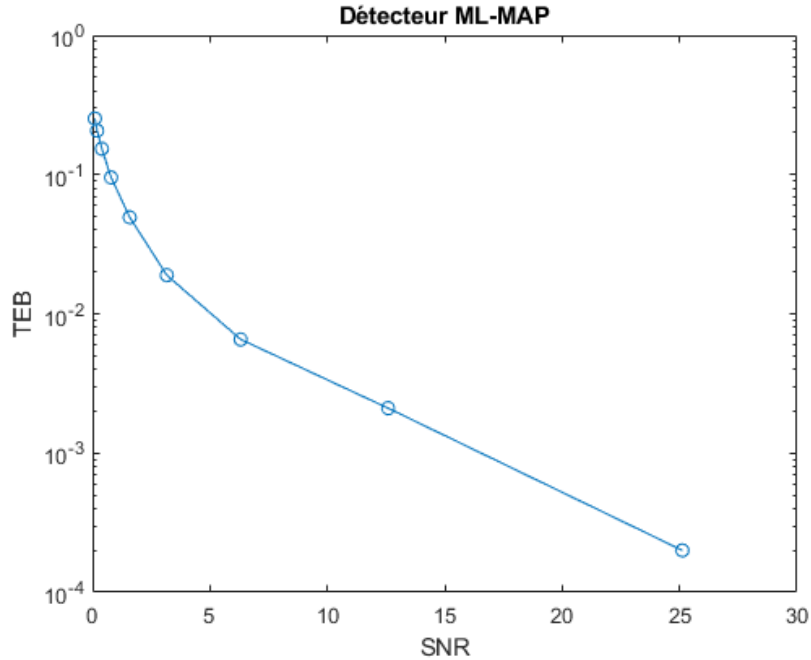


FIGURE 2 – TEB obtenu dans les cas du détecteur ML.

Le détecteur ML fournit donc des résultats précis et peut être simulé sur Matlab. Cependant, sa complexité est élevée, car il nécessite une puissance de calcul considérable pour calculer la distance euclidienne entre tous les symboles reçus et tous les symboles possibles à l'émission.

3.2 Récepteur SIC - ZF

Le détecteur à annulation successive d'interférences est une technique de détection qui permet d'améliorer la performance du système de communication en termes de bruit et de débit. Il permet de réduire le bruit et de réduire le temps de transmission, ce qui en fait une solution intéressante pour les systèmes de communication à large bande.

Le détecteur SIC-ZF utilise la factorisation QR de la matrice H pour appliquer ensuite une détection séquentielle ZF et une annulation successive d'interférence, offrant ainsi de meilleures performances en terme de TEB :

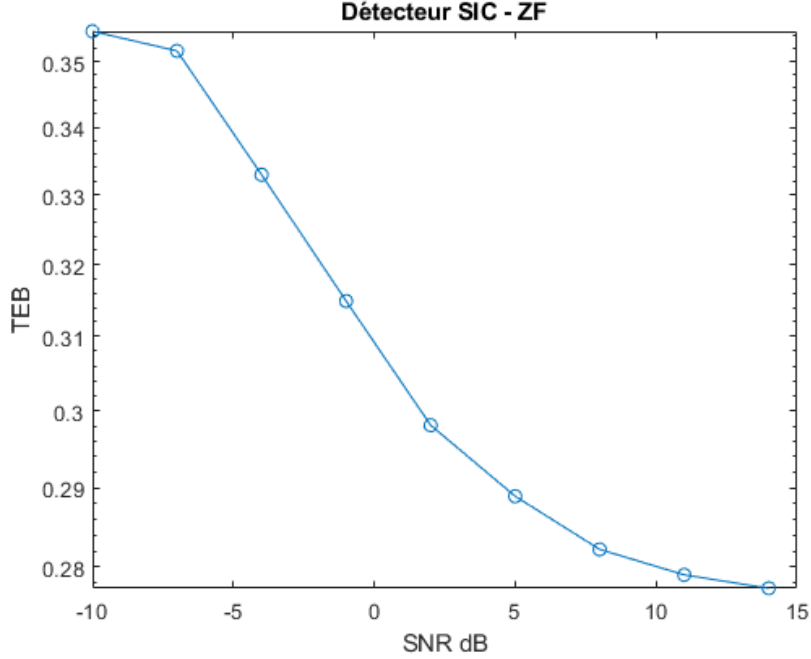


FIGURE 3 – TEB obtenu dans les cas du détecteur SIC-ZF.

La courbe montre les performances de la méthode en termes de TEB, mais elle peut également être limitée lorsqu'une erreur est produite dans les premières itérations et se propage aux autres symboles, ce qui peut entraîner une augmentation considérable du TEB.

4 Sparse Code Multiple Access (SCMA)

SCMA (Sparse Code Multiple Access) est une nouvelle technologie d'accès radio qui a été proposée pour répondre aux demandes toujours croissantes de communication sans fil. Il s'agit d'une technique qui combine les avantages de divers schémas d'accès multiple tels que FDMA et OFDMA, tout en évitant leurs inconvénients. Le SCMA est basé sur le principe du multiplexage par code clairsemé, qui permet à plusieurs utilisateurs de transmettre en même temps sans interférence. Cela en fait un candidat prometteur pour les réseaux 5G, car il offre une grande efficacité spectrale, une faible consommation d'énergie et une faible latence. Elle promet également d'être plus efficace que les technologies existantes, car elle est capable de prendre en charge un plus grand nombre d'utilisateurs dans le même spectre.

4.1 Modèle du système

Nous considérons la liaison montante de V utilisateurs sur N_r ressources orthogonales partagées. Le facteur de charge est défini comme V/N_r et le système est dit surchargé si $V > N_r$, ce qui est le champ d'application du SCMA. Le canal de liaison montante $h_j \in \mathbf{C}^{N_r}$ de l'utilisateur j est modélisé avec des coefficients d'évanouissement de Rayleigh indépendants, c'est-à-dire $h_j(k) \sim \mathcal{N}(0, 1)$. Sur le canal de liaison montante à évanouissement de Rayleigh.

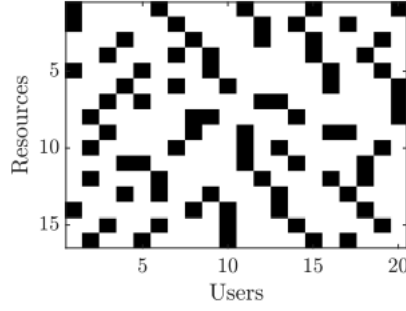


FIGURE 4 – Exemple de conception de la matrice d'allocation des ressources F pour $V = 20$ utilisateur et $N_r = 16$ ressources. Les carrés noirs représentent les entrées $F[j, k] = 1$, correspondant à la ressource k allouée à l'utilisateur j . Les espaces blancs représentent les entrées nulles, ce qui signifie que l'utilisateur n'utilise pas cette ressource.

Nous pouvons assigner le même livre de codes SCMA à chaque utilisateur sans avoir besoin d'opérateurs individuels tels que le décalage de phase entre les utilisateurs. Par conséquent, chaque utilisateur fait correspondre ses b bits d'information à un mot de code $X \in \mathcal{C}^{N \times 1}$ d'un codebook. Enfin, les $V \times N_r$ matrices de mapping binaire individuelles V_j répartissent le symbole N -dimensionnel de chaque utilisateur sur les v ressources. Le modèle du système s'écrit comme suit :

$$y = \sum_{j=1}^J H_j x_j + z$$

où H_j est le canal équivalent de l'utilisateur j et $z \in \mathcal{C}^V$ est le vecteur de bruit dont les entrées sont modélisées comme des bruits gaussiens blancs additifs.

4.2 Les principes de base du SCMA

Dans le système SCMA, chaque utilisateur a son propre livre de codes, les utilisateurs mappent les informations binaires d'entrée en mots de code selon leur livre de codes. Ces mots de code sont multiplexés sur des sous-porteuses partagées pour la transmission, réalisant ainsi un accès multiple pour de multiples utilisateurs.

Le système SCMA multiplexe les blocs de ressources en attribuant des codebooks différents aux différents utilisateurs. La figure 1 montre un scénario de transmission où 6 utilisateurs multiplexent 4 sous-porteuses dans le système SCMA.

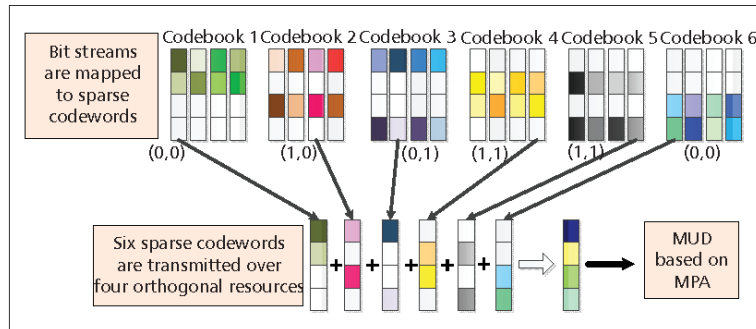
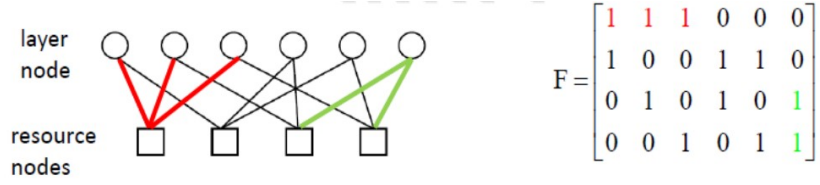


FIGURE 5 – 6 utilisateurs multiplexent 4 sous-porteuses

Le décodage optimal d'un mot de code SCMA s'effectue côté récepteur en appliquant le critère MAP (Maximisation de la Probabilité A Posteriori). Cette technique consiste à maximiser la probabilité du mot reçu en se basant sur la matrice F qui associe chaque noeud de ressource aux noeuds couches des utilisateurs correspondants. La matrice F est de taille MxN et comporte des coefficients 0 et 1.

En outre, le principe du décodage est de considérer les messages transitant dans le graphe comme des vecteurs de probabilités proportionnels qui sont traduits par des probabilités $P(\text{sn}|\cdot)$ a posteriori en fonction des informations fournies par les noeuds voisins.



La technique permet ensuite de mettre à jour les noeuds contraintes et les variables selon la forme suivante :

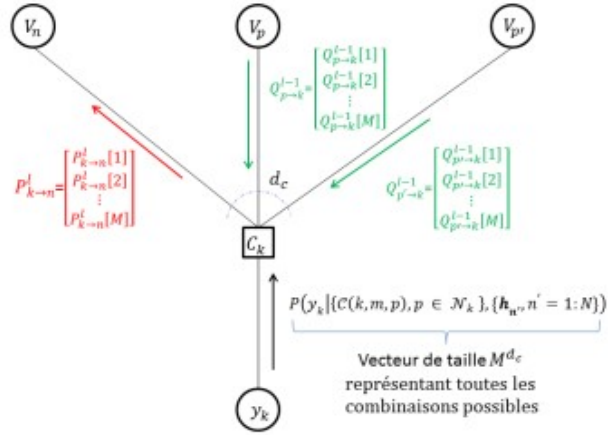


FIGURE 6 – La mise à jour des noeuds de contraintes

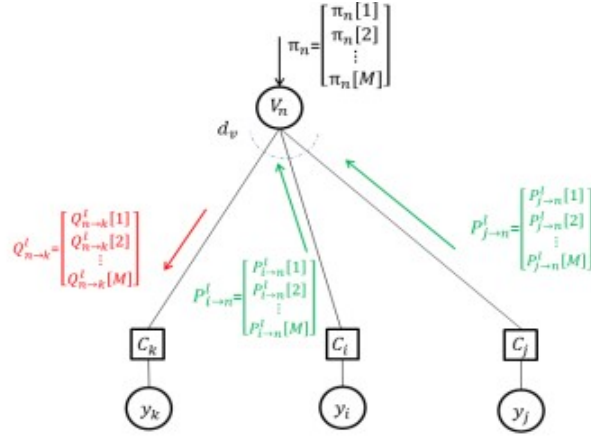


FIGURE 7 – La mise à jour des noeuds de variables

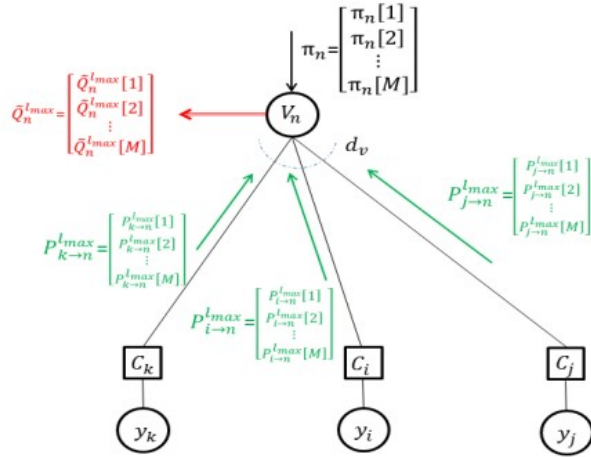


FIGURE 8 – Calcul de la probabilité à posteriori

5 Performances de la technique sur les canaux Gaussien et de Rayleigh

Nous simulons les performances de la technique SCMA sur Matlab en termes de TEB pour des canaux Gaussien sans diversité et Rayleigh avec diversité maximale pour divers dictionnaires. on obtient :

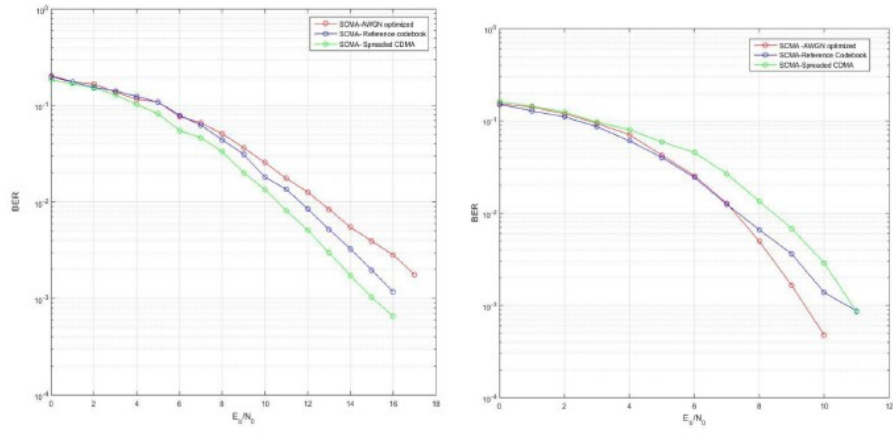


FIGURE 9 – Performances pour canal de Rayleigh (à gauche) et canal Gaussien (à droite).

Les performances de la technique SCMA dépendent du dictionnaire choisi pour les deux canaux et doivent être sélectionnés en fonction des besoins. Cependant, elle peut présenter des inconvénients comme la redondance du codage et la difficulté de conception des Codebooks.