



**Enseirb-
matmeca**

ENSEIRB-MATMECA
Télécommunications Semestre 9

TS305 - Systèmes multi-antennes pour les communications 5G

TP1: Traitement d'antenne

Elève :

Pierre MINIER

Encadrant :

Pascal VALLET

November 3, 2022

1 Localisation par filtrage spatial

1.1 Principes

La localisation consiste à estimer un angle d'élévation pour chacune des sources arrivant sur un système multi-antennes. Pour y parvenir, un filtre spatial est mis en place sur l'ensemble des antennes afin d'en concentrer l'écoute selon une direction particulière. Dès lors, toutes les directions possibles sont passées en revue une à une afin d'en étudier leurs puissances respectives. Une fois la fonction de la puissance selon la direction établie, il ne reste plus qu'à en étudier les maximums locaux. Leurs arguments indiquent la position des sources recherchées.

Les méthodes existantes diffèrent sur le filtre spatial utilisé. Dans le cadre de la méthode CAPON, celui-ci minimise la puissance globale du signal à l'exception d'une direction d'intérêt θ . Il est la solution du problème d'optimisation suivant:

$$\min_{\mathbf{w} \in C} \mathbb{E} |\mathbf{w}^* \mathbf{y}_n|^2 \quad \text{sous la contrainte} \quad C = \{\mathbf{w} \in \mathcal{C}^M : |\mathbf{w}^* \mathbf{a}(\theta)| = 1\} \quad (1)$$

où \mathbf{y}_n désigne l'ensemble des observations sur l'ensemble des M capteurs, et $\mathbf{a}(\theta)$ le vecteur directionnel défini par $\mathbf{a}(\theta) = [1, \exp(-i\pi \sin(\theta)), \dots, \exp(-i\pi(M-1) \sin(\theta))]^T$.

1.2 Energie estimée sur une source

La figure 1 donne l'énergie estimée à la sortie du filtre de CAPON selon pour une plage d'angle allant de 0 à 90 degrés. L'angle de la source se retrouve grâce au pic d'énergie observé.

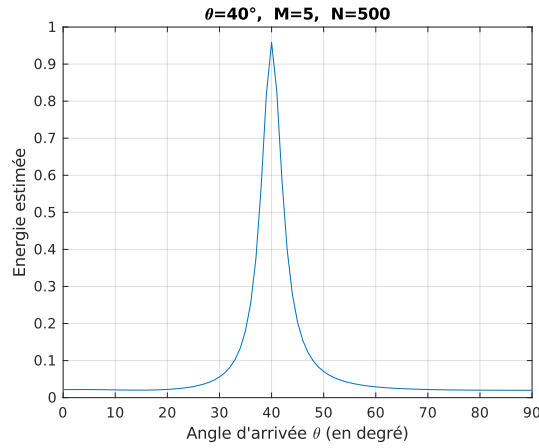


Figure 1: Energie estimée selon l'élévation

Lorsque la quantité de capteurs augmente, le vecteur directionnel $\mathbf{a}(\theta)$ se compose de plus d'éléments. La résolution augmente en conséquence. Sur la figure 2, le nombre de capteurs a été quadruplé; et l'incertitude autour de l'angle d'élévation de la source a significativement diminué.

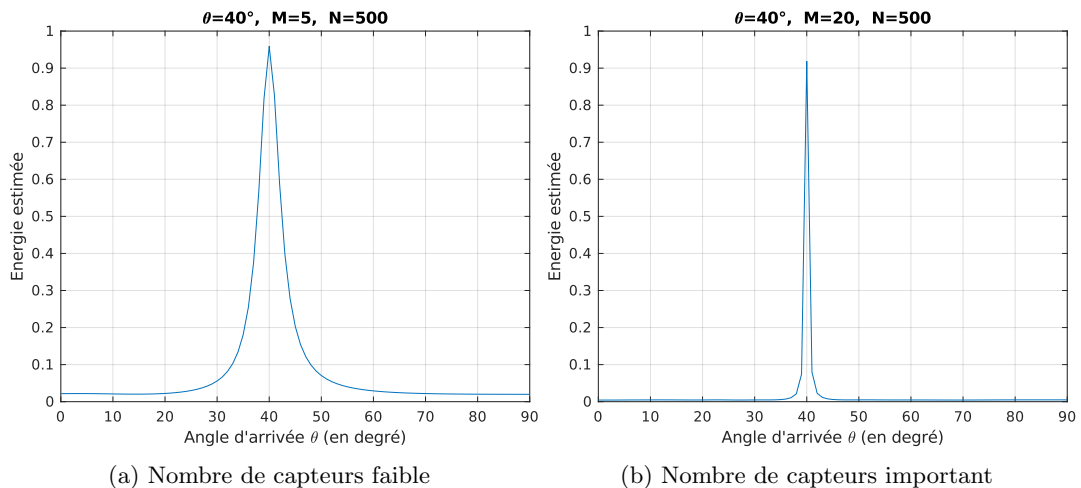


Figure 2: Influence de la quantité de capteurs

1.3 Séparation de plusieurs sources

1.3.1 Nombre minimal de capteurs

Lorsque plusieurs sources parviennent au réseau d'antennes, il est possible de les distinguer si elles sont suffisamment éloignées les unes des autres ou lorsque la quantité de capteurs assure une résolution suffisante. Par exemple, dans le cas de deux sources distinctes de 5° et de même énergie, il est nécessaire de disposer d'au moins 12 sources. La figure 3 présente deux maxima locaux atteints aux alentours des valeurs 40° et 45° permettant l'identification des deux sources générées.

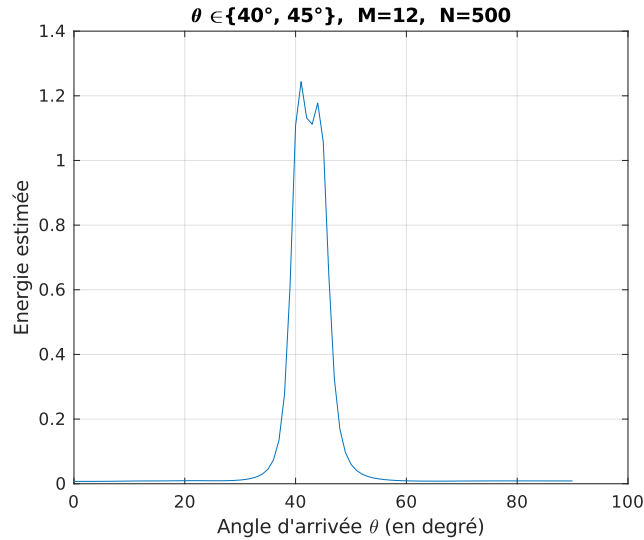


Figure 3: Séparation de deux sources

1.3.2 Niveau d'énergie différent

Lorsqu'une source possède une énergie plus importante, elle vient perturber la détection des autres. Sur la figure 4, la source en 50° degrés est 10 fois plus énergétique que la seconde. L'analyse des résultats, sans connaissances à priori sur le nombre de sources, peut alors être erronée en catégorisant la source faible énergie comme bruit.

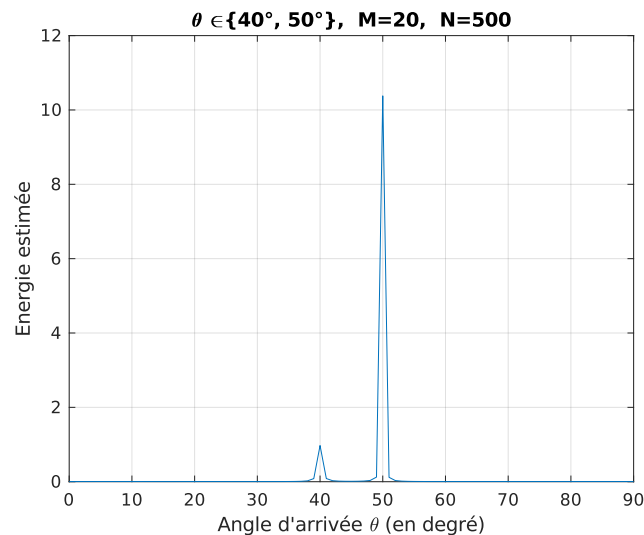


Figure 4: Sensibilité à la puissance des sources

1.3.3 Influence du bruit

En faisant varier la puissance du bruit, la sensibilité du réseau d'antenne diminue car l'énergie apportée par ce bruit crée des sources factices. La figure 5 illustre ce phénomène avec un niveau de bruit de croissant autour de deux sources de même puissance.

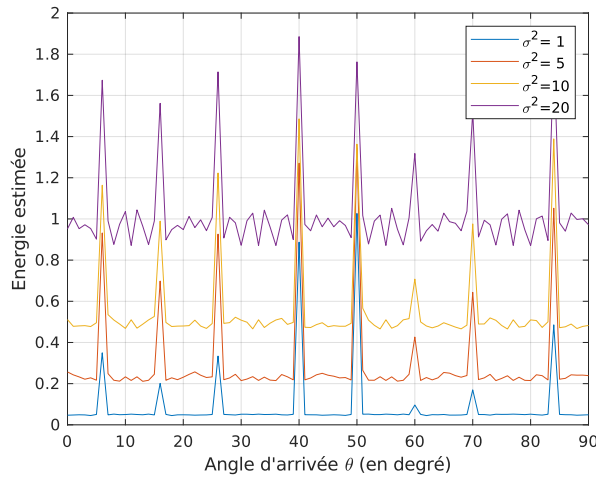


Figure 5: Perte de sensibilité

2 Localisation par la méthode des sous-espaces

2.1 Principes

Le signal reçu sur les M antennes forme un espace de dimension M . Si ce nombre de dimensions est supérieur au nombre de sources (K) alors il existe une représentation de l'espace dans laquelle les sources du signal sont séparables. L'objectif est donc de caractériser un sous-espace signal dont chaque vecteur directeur représente une unique source. Pour cela, une hypothèse supplémentaire est ajoutée: la matrice de covariance du signal est de rang plein. Ainsi, les cas d'écho, de multi-trajet et de sources cohérentes ne sont pas considérés. Enfin, le sous-espace complémentaire de dimension $(M - K)$ représente le bruit.

Les sous-espaces se caractérisent par les valeurs propres de la matrice de covariance du signal reçu. En particulier, le sous-espace bruit est engendré par les $(M - K)$ vecteurs propres associés aux valeurs propres les moins énergétiques. Dans le cadre de la méthode MUSIC, l'objectif est de projeter des vecteurs directionnels $\mathbf{a}(\theta)$ sur ce sous-espace bruit. Les résultats les plus faibles en norme sont ensuite repérés. Ils traduisent la présence d'une source sur les directions associées au vecteur $\mathbf{a}(\theta)$.

2.2 Estimation visuelle du nombre de sources

Pour estimer le nombre de sources, une méthode simple consiste à tracer le spectre de la matrice de covariance estimée du signal. On repère alors un point de rupture entre les valeurs propres afin de former deux groupes. Le nombre de valeurs propres dans le groupe le plus énergétique est interprété comme le nombre de sources.

Avoir une idée de la variance du bruit aide, car les valeurs propres faibles sont de cette ordre de grandeur. Sur la figure 6, nous sommes en mesure de tracer la délimitation en seuillant à 5 fois la variance du bruit. Le nombre de source est alors évaluée à 8.

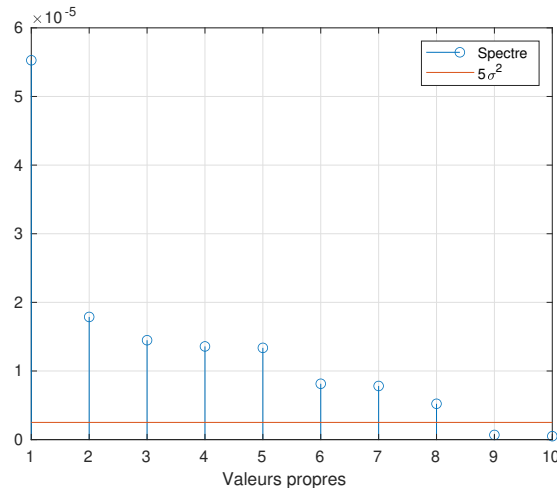


Figure 6: Estimation du nombre de source

2.3 Comparaison avec la méthode CAPON

2.3.1 Nombre minimal de capteurs

Avec la méthode MUSIC, il est possible de séparer les deux sources de la précédente figure 3 avec seulement 7 capteurs contre 12 pour la méthode CAPON. Ce résultat est établi à partir de la figure 7 où deux minimums locaux se distinguent.

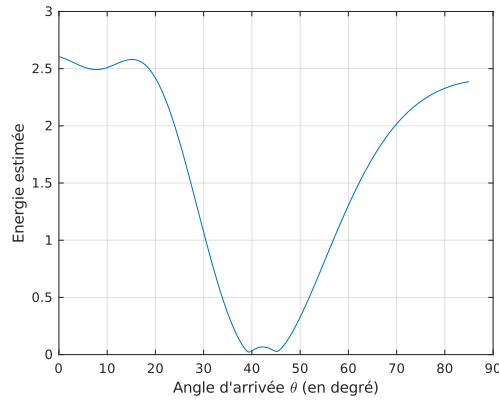


Figure 7: Séparation de deux sources (MUSIC)

2.3.2 Résistance au bruit

La figure 8 compare les méthodes MUSIC et CAPON sur leur capacité à séparer deux sources d'énergie 1 en présence d'un bruit dont la variance croît, tout en conservant constant le nombre de capteurs ($M = 15$). On en conclut que MUSIC est plus robuste dans un environnement bruité.

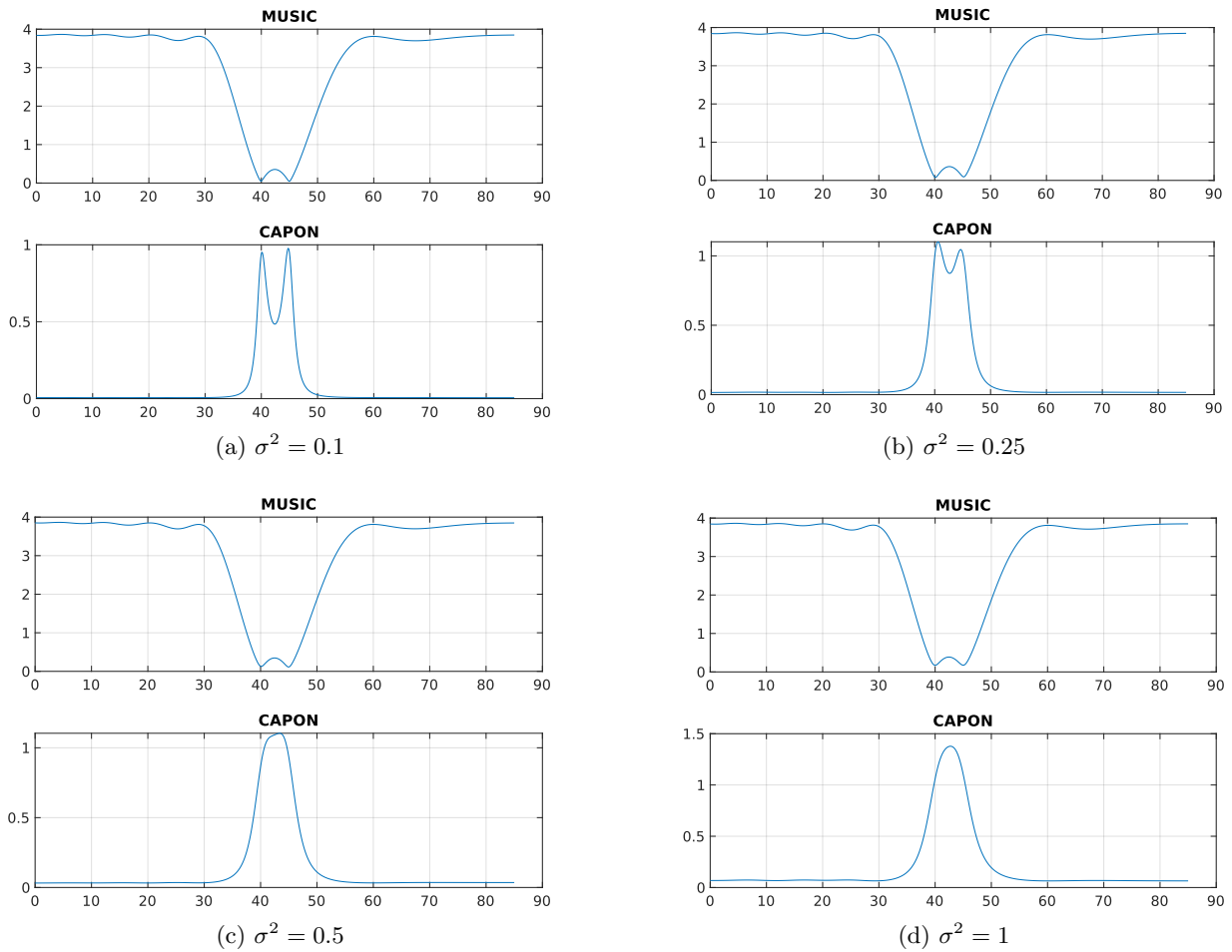


Figure 8: Augmentation de l'énergie du bruit

3 On ne s'entend plus !

La stratégie mise en œuvre se déroule en quatre temps:

1. estimation de la variance du bruit
2. estimation du nombre de sources
3. estimation des directions
4. projection spatiale

La variance du bruit est estimée sur les deux premières secondes de l'enregistrement car il est supposé que les conversations n'ont pas encore démarré sur cet intervalle. Grâce à cette valeur, il est possible d'évaluer le nombre de sources via la méthode décrite en 2.2. La figure 6 correspond au résultat obtenu.

Puis, la méthode MUSIC est utilisée pour détecter ces 8 sources. Néanmoins, seuls 4 minimums locaux ont été trouvés. Les 4 autres doivent provenir de sources images. L'ensemble des minimums sont visibles sur la figure 9 en doublant le champ d'études.

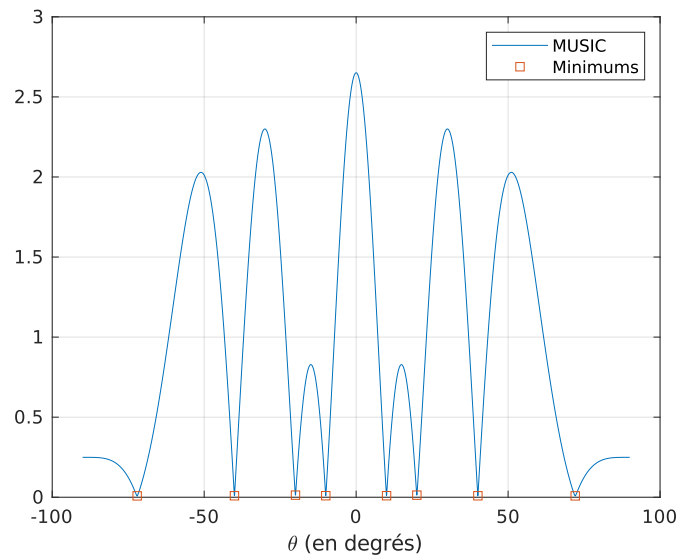


Figure 9: Estimation des directions des conversations

Enfin, le signal reçu est projeté sur les 4 vecteurs directionnels $\mathbf{a}(\theta)$ afin d'extraire 4 conversations. On peut alors écouter le résultat. La conversation provenant de la direction 20° semble parasitée par les autres, car l'énergie parvenue aux capteurs semble être moins importante que les autres sources.