

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Djilali Bounaama-Khmis Miliana
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Technologie



Mémoire du Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

En

Télécommunications

Spécialité « Systèmes Des Télécommunications »

*Auto-adaptation par formation de faisceaux pour la
détection multiutilisateurs appliquée à un système de
cinquième génération (5G).*

Présenté par :

MEZIANE Wiam

Encadreur : Dr BENYAROU Mourad

Pr : Mr A. Boussaha

Ex : Mr R. Abdelkader

Soutenu en 14 juin 2023

** * Remercîment * **

Je remercie tout d'abord ALLAH qui me donné la force et la volonté de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier très vivement mon promoteur monsieur Mourad Benyarou de m'avoir encadré et guidé par ses précieux conseils et ses vastes connaissances lors de ce projet de fin d'études.

Je tiens à remercier aussi les membres du jury, et les enseignantes à l'Université de Khemis Misiana, qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Je n'oublierai jamais les efforts fournis par mes enseignants du département de la télécommunication durant ces années d'étude, qu'ils trouvent ici l'expression de mon gratitude.

À toute personne ayant participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

** * Dédicaces * **

Toutes les lettres ne peuvent pas trouver les mots justes... Tous les mots ne peuvent pas exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est simplement que

Je dédie ce mémoire...

** A mon père ben Yahia*

À la plus belle créature que Dieu ait créée sur terre. C'est la source de la tendresse, de la patience et de la générosité.

Aucun dévouement ne peut exprimer l'amour, l'appréciation, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

** Pour ma mère Naima, tu es pour moi un symbole de bonté par excellence, une source de tendresse et un exemple de dévotion qui ne cesse de m'encourager et de prier pour moi. Aucune dévotion n'est assez éloquente pour exprimer ce que je mérite pour tous les sacrifices que vous avez consentis*

Pour moi depuis ma naissance, pendant mon enfance et même jusqu'à l'âge adulte.

Papa... Maman... Que Dieu te bénisse avec la santé, le bonheur et la longue vie et s'assure que tu ne sois jamais déçu

** À mon mari Omar et mon fils aAcil, mon ange gardien et mon fidèle compagnon dans les moments les plus sensibles de cette vie mystérieuse. Je vous dédie ce travail avec mes meilleurs vœux de santé et longue vie.*

** ma sœur khawla et mon frère abd elisahé : dieu vous bénisse et vous garde heureux et puissiez-vous réussir votre cheminement académique.*

** Maintenant, ouvrez les voiles et soulevez le navire pour ancrer dans la vue sur la mer est une grande vie marine sombre et dans cette obscurité brille non seulement des souvenirs de bougies, souvenirs des frères saintains à ceux qui les aimait et mes amis m'a aimé cher : Hannan, khawla, rihab.*

Résumé

Pour la détection et l'estimation des signaux de plusieurs utilisateurs, on utilise aujourd'hui la formation de faisceaux qui consiste en la création de faisceaux radioélectriques qui sont dirigés vers les utilisateurs d'intérêts. Il existe dans la littérature plusieurs types d'algorithmes dits conventionnels et d'autres adaptatifs pour la création de faisceaux. Dans ce travail nous allons utiliser un détecteur adaptatif qui sera placé dans une chaîne de communication 5G. Ce détecteur est connu pour sa performance même en présence de plusieurs interférences. Des simulations seront faites pour mieux voir son efficacité et sa performance en choisissant à chaque fois les positions des utilisateurs et des interférences aléatoirement.

Mots clés : 5G, algorithme adaptatif, formation de faisceaux.

Abstract

For the detection and estimation of signals from several users, we now use the beamforming, which consists of the creation of radioelectric beams, which are directed to users of interest. There are several types of algorithms in the literature. So-called conventional and other adaptive for the creation of beams. In this work, we are going to use an adaptive detector that will be placed in a 5G communication chain. This detector is known for its performance even in the presence of several interferences. Of these simulations will be made to better see its effectiveness and performance by choosing to every time user positions and interference randomly.

Keywords: 5G, adaptive algorithm, beamforming.

ملخص

لتحديد وتقدير إشارات عدة مستخدمين، يتم استخدام تقنية تشكيل الأشعة، والتي تتمثل في إنشاء أشعة الراديو الموجهة نحو المستخدمين المهمين. هناك العديد من أنواع الخوارزميات المعروفة في الأدب العلمي، والتي تستخدم في إنشاء الأشعة، بما في ذلك الخوارزميات التقليدية والخوارزميات التكيفية. في هذا العمل، سنستخدم مستشعرًا تكيفيًا سيتم وضعه في سلسلة الاتصالات الجيل الخامس. هذا المستشعر معروف بأدائه الممتاز حتى في وجود تداخلات متعددة. سيتم إجراء محاكاة لمعرفة كفاءته وأدائه عن طريق اختيار مواقع المستخدمين والتداخلات عشوائيًا في كل مرة.

الكلمات المفتاحية: الجيل الخامس ، الخوارزمية التكيفية ، تشكيل الحزم.

Table des matières

<i>** Remercîment **</i>	I
<i>** Dédicaces **</i>	II
Résumé.....	IV
Table des figures	VII
Abréviations	IX
Introduction générale.....	1

Chapitre I : principe des algorithmes adaptatifs

I.1 Introduction.....	3
I.2 Les antennes intelligentes.....	3
I.3 Réseaux d'antennes adaptatives.....	4
I.4 L'Algorithme adaptatif	6
I.4.1 Fonctionnement des algorithmes adaptatifs	6
I.4.2 le type d'algorithmes adaptatifs	6
I.5 Les algorithmes adaptatifs aveugles et non-aveugles.....	8
I.6 conclusion	11

Chapitre II : l'algorithme adaptatif associé à la formation de faisceaux

II.1 Introduction	12
II.2 La formation de faisceaux	12
II.2.1 Principe de la technique de la formation de faisceaux	12
II.2.2 Fonctionnement de la formation de faisceaux.....	13
II.3 Systèmes utilisant les techniques de formation de faisceaux	14
II.4 Algorithmes de formation de faisceaux.....	17
II.4 Conclusion.....	24

Chapitre III : principe d'n système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

III.1 Introduction.....	25
III.2 Système MU-MIMO massif.....	26

III.2.1	Système cellulaire mmWave.....	27
III.3	Schéma de base d'une chaîne de communication 5G.....	28
III.3.1	Explication de chaque bloc :.....	29
III.3.2	Aspect mathématique du système	30
III.4	Le MIMO Beamforming :.....	32
III.5	Conclusion	36

Chapitre IV : les Résultats des simulations

IV.1	Introduction.....	37
IV.2	Les résultats avec adaptation et sans adaptation.....	37
IV.2.1	Sans adaptation	37
IV.2.2	Avec adaptation.....	39
IV.3	La différence entre tous les résultats obtenus	49
IV.4	Conclusion	50
	Conclusion générale	53
	Bibliographie.....	55

Table des figures

Chapitre I : principe des algorithmes adaptatifs

Figure I- 1 les antennes intelligentes	4
Figure I- 2 Structure d'un réseau d'antennes adaptatif en réception	5
Figure I- 3 Différents types d'algorithmes adaptatifs.....	7
Figure I- 4 le principe du filtre adaptatif aveugle	9
Figure I- 5 le principe du filtre adaptatif non aveugle.....	10

Chapitre II : l'algorithmes adaptatif associé à la formation de faisceaux

Figure II- 1 le Principe de la formation de faisceaux.....	13
Figure II- 2 la technologie de formation faisceaux.....	14
Figure II- 3 Systèmes utilisant des techniques de formation de faisceaux ..	14
Figure II- 4 Principe du beamforming	15
Figure II- 5 Formation de faisceaux analogique	16
Figure II- 6 Formation de faisceaux numérique	16
Figure II- 7 Formation de faisceaux hybride.....	17
Figure II- 8 Configuration de l'antenne pour la formation de voies.....	18

Chapitre III : principe d'un système de communication numérique

5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

Figure III- 1 Migration graduelle vers une architecture centrée autour de l'utilisateur	25
Figure III- 2 MIMO massif vs système mmWave	26
Figure III- 3 MU-MIMO massif	26
Figure III- 4 Architectures possibles d'un réseau cellulaire mmWave	27
Figure III- 5 Schéma de base d'une chaîne de communication 5G.....	28
Figure III- 6 La configuration MIMO Beamforming [12]	33

Chapitre IV : les Résultats des simulations

Figure IV- 1 Gain du réseau en fonction de theta	37
Figure IV- 2 Gain du réseau en fonction de phi	38
Figure IV- 3 du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire).....	38
Figure IV- 4 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire)	39
Figure IV- 5 Gain du réseau en fonction de theta	40
Figure IV- 6 Gain du réseau en fonction de phi	41
Figure IV- 7 Gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire) .	41
Figure IV- 8 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire) ...	42
Figure IV- 9 Gain du réseau en fonction de theta	43

Figure IV- 10 Gain du réseau en fonction de phi	44
Figure IV- 11 Gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire)	44
Figure IV- 12 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire) ..	45
Figure IV- 13 Gain du réseau en fonction de theta	46
Figure IV- 14 Gain du réseau en fonction de phi	47
Figure IV- 15 Gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire)	47
Figure IV- 16 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire) ..	48

Abréviations

LMS Least Mean Squares

CFAR Constant False Alarm Rate.

NLMS Normalized Least Mean Square

SMI Sample Matrix Inversion

RLS Recursive Least Square

MVDR Minimum Variance Distortionless Réponse

MSINR Maximum Signal to Interférence plus Noise Ratio.

MMSE Minimum Mean Square Error.

RF Radio Fréquence

SNR Signal to Noise Ratio

FFC Formation de Faisceaux Conventionnelle.

FFA Formation de Faisceaux Adaptatifs.

MPDR Minimum Power Distortionless Response.

MVDR Minimum Variance Distortionless Response.

LCMV Linear Constrained Minimum Variance.

DDAs Direction D'angle Arrivé.

RLS Recursive Least Squares.

SINR Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio.

LCMV Linear Constrained Minimum Variance.

M2M Machine à Machine.

DBF Digital BeamForming.

ABF Analog BeamForming.

ULA Uniform and Linear Array.

URA Uniform and Rectangular Array.

ASK Amplitude-Shift Keying.

FSK Frequency-Shift Keying.

PSK Phase-Shift Keying.

5G 5^{ème} Génération.

4G 4^{ème} Génération.

3G 3^{ème} Génération.

2G 2^{ème} Génération.

AWGN Additive White Gaussian Noise.

MIMO Multiple-Input Multiple-Output.

D2D Device-TO-Device.

L'OFDM Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.

TDD Test-Driven Development.

DOA Dead On Arrival.

FR Facteur Réseau

AF Array Factor

Introduction générale

Introduction générale

La recherche dans le domaine de la formation de faisceaux adaptative est une technique avancée de traitement du signal pour la réception multiutilisateur dans les systèmes de cinquième génération (5 G). Il permet à une station de base d'ajuster son signal RF pour concentrer l'énergie dans la direction d'un utilisateur particulier tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs. Dans un système multi-utilisateurs, plusieurs utilisateurs partagent la même bande de fréquence et communiquent simultanément avec la station de base. Cela peut provoquer des interférences et réduire les performances globales du système. La formation de faisceaux permet aux stations de base de créer des faisceaux étroits ciblés sur des utilisateurs spécifiques tout en réduisant les interférences avec d'autres utilisateurs. La formation de faisceau adaptative va encore plus loin en ajustant dynamiquement la direction et la largeur des faisceaux en fonction de l'évolution de l'environnement radio. Ceci est réalisé en analysant les conditions du canal et les emplacements des utilisateurs en temps réel et en ajustant la formation de faisceaux en conséquence. La formation de faisceau adaptative peut améliorer considérablement la capacité et l'expérience utilisateur des systèmes 5G en utilisant plus efficacement le spectre disponible et en réduisant les interférences. Il s'agit d'une technologie importante pour atteindre des débits de données élevés, une faible latence et des connexions fiables dans les réseaux 5G.

Le premier chapitre de ce mémoire est consacré aux principes des algorithmes adaptatifs. Ces algorithmes prennent des données à l'aide de techniques d'apprentissage automatique et peuvent ajuster leur comportement en temps réel en fonction des nouvelles données qu'ils reçoivent. Les algorithmes adaptatifs sont couramment utilisés dans des domaines tels que la reconnaissance de formes, le traitement du signal, le contrôle de processus, la planification de mission et la prise de décision.

Le deuxième chapitre couvre l'algorithme adaptatif associé à la formation de faisceaux dont le but est de maximiser la force du signal reçu par une antenne dans une direction particulière tout en minimisant les interférences provenant d'autres directions. L'algorithme utilise un réseau d'antennes pour recevoir des signaux provenant de différentes directions et ajuste la phase et l'amplitude du signal reçu par chaque antenne pour former un faisceau étroit dans la direction souhaitée.

Le chapitre troisième décrit le Principe d'un système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs crée par un réseau d'antennes.

Le chapitre quatrième présente l'analyse des résultats de simulation de l'auto-adaptation par formation de faisceaux pour la détection multiutilisateurs appliquée à un système de cinquième génération (5G).

Chapitre I : Principe des algorithmes adaptatifs

I.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier le principe des algorithmes adaptatifs. L'algorithme adaptatif est un algorithme qui modifie son comportement au moment de son exécution, en fonction des informations disponibles et d'un mécanisme (ou critère) de récompense défini a priori. Ces informations peuvent être l'histoire de données récemment reçues, des informations sur les ressources de calcul disponibles ou d'autres informations acquises au moment de l'exécution (ou connues a priori) liées à l'environnement dans lequel elles fonctionnent. [1]

Parmi les algorithmes adaptatifs les plus utilisés est le LMS pour least Mean squares, qui représente une classe d'algorithmes de descente de gradient stochastique utilisés dans le filtrage adaptatif et l'apprentissage automatique. Dans le filtrage adaptatif, le LMS est utilisé pour imiter un filtre souhaité en trouvant les coefficients de filtre qui se rapportent à la production du moindre carré moyen du signal d'erreur (différence entre le signal souhaité et le signal réel) [1].

Un exemple d'algorithme adaptatif dans les systèmes radar est le détecteur (CFAR) pour constant false alarm rate.

Dans l'apprentissage automatique et l'optimisation, de nombreux algorithmes sont adaptatifs ou ont des variantes adaptatives, ce qui signifie généralement que les paramètres de l'algorithme tels que le taux d'apprentissage sont automatiquement ajustés en fonction des statistiques sur l'optimisation jusqu'à présent (par exemple, le taux de convergence). [1]

I.2 Les antennes intelligentes

Les systèmes d'antennes intelligentes sont d'une grande importance dans les applications de communication sans fil et radar, « figure I-1 ». Ils améliorent efficacement la capacité du système et réduisent les interférences dans le même canal. Les antennes intelligentes offrent des excellentes performances par rapport aux antennes existantes en ce qui concerne la consommation d'énergie, la capacité de l'utilisateur ainsi que la suppression du bruit. Elles peuvent aussi diriger le lobe principal du faisceau vers l'utilisateur réel. Par cette méthode, la puissance Maximale sera rayonnée vers la cible, ce qui donnera un très bon gain dans cette direction. Une antenne intelligente peut également être utilisée pour augmenter la capacité du réseau, atténuer les interférences, réutiliser les fréquences et réduire l'ensemble des coûts d'infrastructure. L'antenne adaptative est un réseau d'antennes qui permet de former des

diagrammes de rayonnement dynamiques orientés dans des directions privilégiées facilitant ainsi la poursuite d'une cible tout au long de son trajet. Ces diagrammes s'adaptent constamment à l'environnement radio au fur et à mesure que ce dernier change [2].

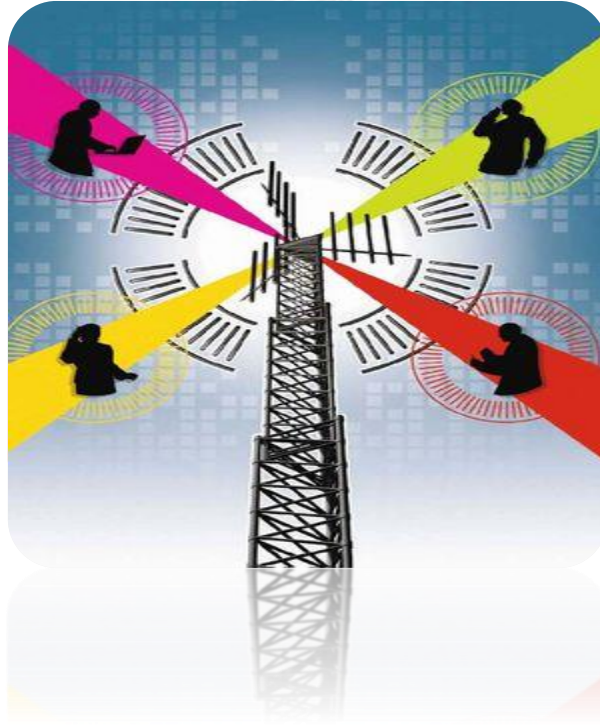


Figure I- 1 les antennes intelligentes [2]

I.3 Réseaux d'antennes adaptatives

Ce type de système se compose d'un réseau d'antennes et d'un processeur récepteur adaptatif en temps réel qui attribue des poids aux éléments de l'antenne réseau afin d'optimiser le signal de sortie selon des algorithmes de contrôle prédéfinis, « figure I-2 ». Un système d'antennes réseau adaptatives est capable, grâce à une boucle retour de décision interne, de modifier son diagramme de rayonnement, sa réponse fréquentielle et d'autres paramètres, pendant son fonctionnement [3].

Les systèmes d'antennes adaptatives représentent les systèmes les plus avancés des systèmes d'antennes intelligentes. De même que pour le système à commutation faisceaux, l'antenne adaptative adapte son diagramme de rayonnement en fonction de la position des utilisateurs et des signaux parasites mais, contrairement au premier (à

commutation faisceaux), ce dernier n'utilise pas de diagramme de rayonnement préétabli [3].

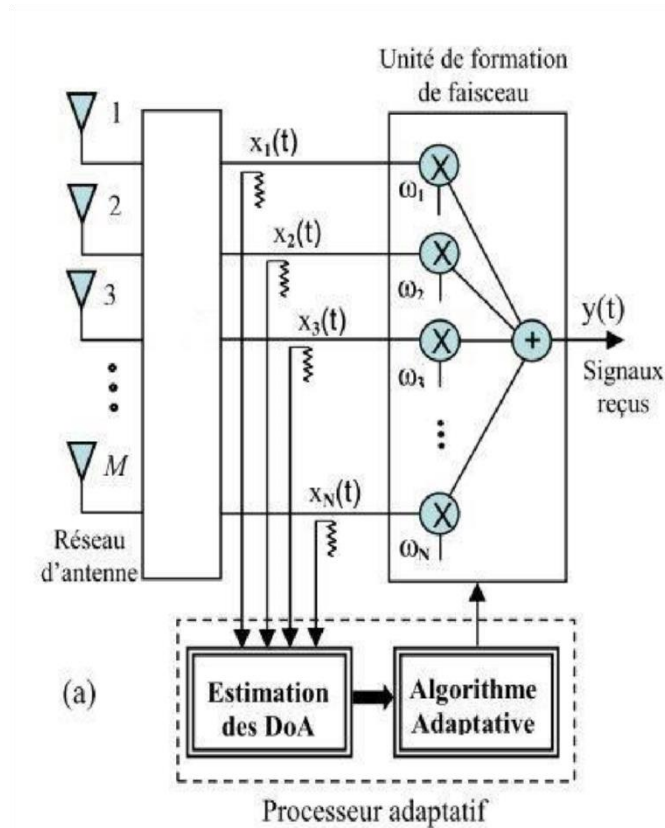


Figure I- 2 Structure d'un réseau d'antennes adaptatif en réception [3]

Le principe de cette structure est le suivant : d'abord, la station de base capte et détermine les directions d'arrivées (DOA) des sources émises dans son environnement électromagnétique en utilisant les algorithmes de détection de DOA. Ensuite, le système identifie et sépare le signal utile provenant de l'utilisateur des autres signaux parasites. Enfin, il calcule les pondérations et forme le faisceau d'énergie orienté vers le signal utile pour suivre un mobile tout au long de la communication et crée des zéros dans les directions interférentes pour limiter l'interférence créée par les autres signaux émis et ainsi réduire le niveau des signaux brouilleurs émis par d'autres mobiles [3].

I.4 L'Algorithme adaptatif

Un algorithme adaptatif est un algorithme qui est capable de changer automatiquement son comportement en fonction de son contexte d'exécution pour atteindre des performances optimales. Les changements peuvent être sur les données manipulées par l'algorithme, des paramètres de configurations de l'environnement d'exécution et de l'occupation des ressources. Ces algorithmes sont des algorithmes au sens classique, le terme adaptatif est ici utilisé pour souligner le fait que le comportement de l'algorithme peut varier de façon importante selon l'environnement.

Il a ainsi la possibilité d'agir sur les facteurs suivants :

- ♣ La sollicitation des ressources,
- ♣ Les paramètres de configuration,
- ♣ Les informations propres à l'environnement,
- ♣ Les données utilisées par l'algorithme lui-même.

I.4.1 Fonctionnement des algorithmes adaptatifs

Les algorithmes adaptatifs sont un type d'algorithme qui peut s'adapter automatiquement aux nouvelles données ou aux modifications de l'environnement. Cela contraste avec les algorithmes traditionnels, qui sont conçus pour fonctionner avec un ensemble spécifique de données et de conditions et ne peuvent pas facilement s'adapter aux nouvelles données ou aux changements de l'environnement.

Il existe de nombreux types d'algorithmes adaptatifs différents, mais ils partagent tous le même principe de base de pouvoir s'adapter automatiquement aux nouvelles données ou aux changements de l'environnement. Cela les rend bien adaptés aux applications où les données ou les conditions peuvent changer au fil du temps, comme dans l'apprentissage automatique ou l'exploration de Données [4].

I.4.2 le type d'algorithmes adaptatifs

Les différents algorithmes adaptatifs peuvent être divisés en deux groupes principaux, « Figure I-3 » :

- ✚ Méthodes aveugles

✚ Méthodes non aveugles.

Une large classification des algorithmes adaptatifs est présentée dans le schéma suivant :

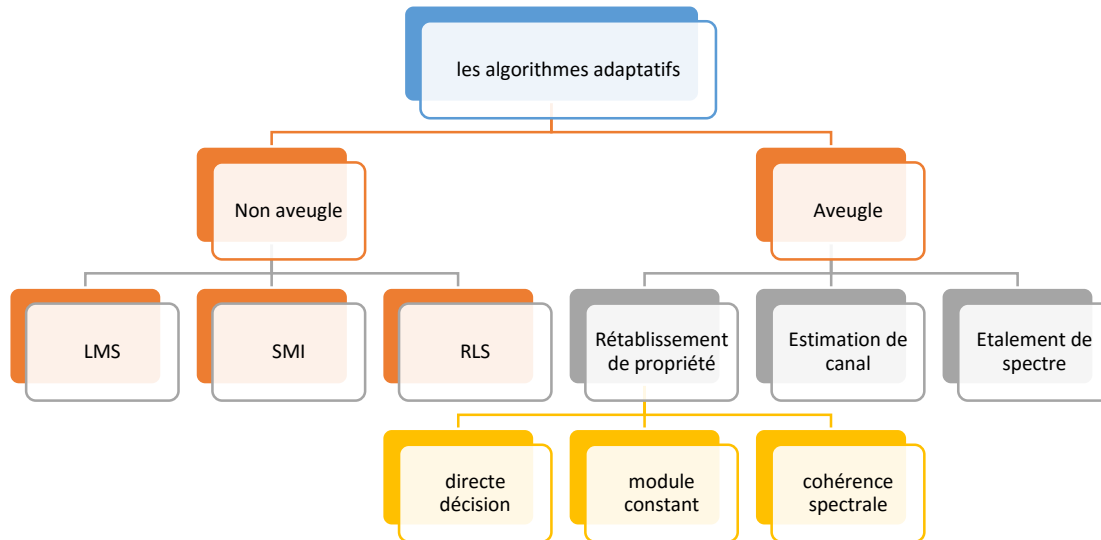


Figure I- 3 Différents types d'algorithmes adaptatifs [2]

Dans un système de suivi de cible radar, il est souhaitable d'adopter une adaptation à haute vitesse des poids et de rejeter les interférences et le bruit. Pour cela, de nombreuses recherches ont été faites pour déterminer l'algorithme optimal.

Dans cette optique une étude a été réalisée en comparant les performances de cinq algorithmes non aveugles, Least Mean Square (LMS), Normalized Least Mean Square (NLMS), Sample Matrix Inversion (SMI), Recursive Least Square (RLS) et hybride LMS/SMI, en variant le nombre des éléments rayonnants N et le déplacement entre les éléments du réseau d . Les performances de chaque algorithme sont mesurées en termes de stabilité de la formation de faisceau, de largeur de faisceau, de niveau maximal des lobes latéraux, de profondeur nulle et de taux de convergence.

Cet étude montre, qu'en augmentant le nombre d'éléments rayonnants d'antenne, la performance globale de l'antenne intelligente s'améliore dans tous les algorithmes. La convergence des algorithmes adaptatifs de formation de faisceaux est insensible au changement de déplacement entre les éléments d'antenne.

L'algorithme LMS présente de bonnes performances et une formation de faisceau stable, à l'exception du fait que sa convergence est lente et dépend du nombre d'éléments d'antenne. Les

Algorithmes LMS et NLMS introduisent le niveau le plus bas des lobes latéraux. Egalement, NLMS réalise les meilleures performances en ce qui concerne la convergence de vitesse, la stabilité de la formation de faisceau, le faible niveau des lobes latéraux, la simplicité de calcul et la profondeur de zéro appropriée.

Les algorithmes SMI et RLS améliorent la convergence au détriment du niveau élevé des lobes latéraux et de l'instabilité de la formation de faisceau. Ces algorithmes donnent les valeurs nulles les plus profondes dans les directions des signaux brouilleurs.

L'algorithme hybride LMS/SMI améliore également la convergence, diminue l'erreur quadratique moyenne et minimise la complexité de calcul au détriment du niveau élevé des lobes latéraux et de l'instabilité de la formation de faisceau.

Une autre étude réalisée, a été effectuée sur les performances des mêmes algorithmes LMS, NLMS et SLMS en faisant varier la taille des étapes.

Pour les grandes valeurs de pas, LMS ne fonctionne pas pour la formation de faisceau. Le taux de convergence est également l'un des inconvénients des algorithmes LMS car il dépend directement de la valeur de la taille du pas.

NLMS a donné encore une fois, une bonne convergence ainsi que des résultats exacts pour une large variation de la taille des pas. Il a été observé que NLMS surpassait les autres algorithmes en termes de localisation de l'utilisateur et réduisait également les niveaux de lobe latéral pour différentes valeurs de taille de pas. La difficulté de calcul de NLMS est également supérieure à celle de LMS [2].

I.5 Les algorithmes adaptatifs aveugles et non-aveugles

Il s'agit d'algorithmes capables de changer automatiquement leurs comportements en fonction de leurs contextes d'exécution pour atteindre des performances optimales. Les algorithmes de formation de voies sont conçus pour optimiser certains critères Spécifiques, tel que le critère de Minimum Variance Distortionless Réponse (MVDR), le critère de Maximum Signal to Interférence plus Noise Ratio (MSINR), et le critère de Minimum Mean Square Error (MMSE). Le dernier critère est souvent utilisé comme critère d'optimisation où le filtre spatial est optimisé pour réduire au minimum la valeur de la moyenne carrée de l'erreur du signal. Lorsque

l'optimum d'un critère peut être atteint par un algorithme, ce dernier est qualifié d'optimal au sens du critère considéré. Plusieurs algorithmes, différents en complexité, existent pour obtenir les pondérations optimales [3]. Ces algorithmes d'adaptation peuvent être divisés en deux groupes principaux :

I.5.1 Les algorithmes adaptatifs aveugles

Les algorithmes adaptatifs aveugles n'exigent aucune connaissance du signal désiré, ils exploitent uniquement des propriétés connues du signal désiré reçu. « La figure I-4 » montre le principe du filtre adaptatif aveugle où l'on voit que le signal de référence $d(k)$ à partir du signal de sortie $y(k)$.

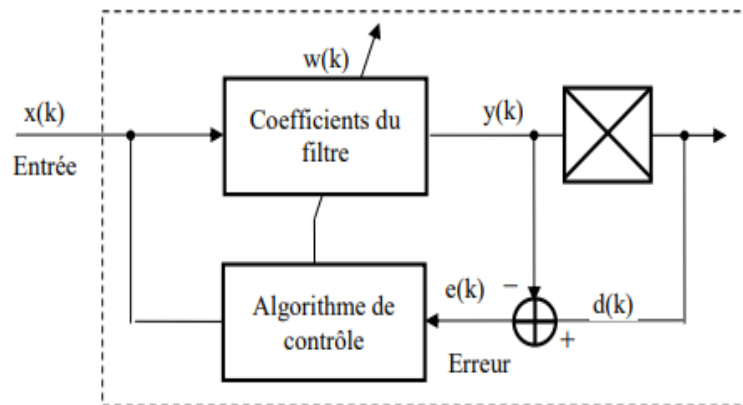


Figure I- 4 le principe du filtre adaptatif aveugle [5]

En général, la plupart des signaux numériques de communication possèdent certains types de propriétés telles que la propriété du module constant ou la propriété spectrale auto-cohérence. Ces propriétés peuvent être altérées au niveau du récepteur à cause des interférences, du bruit et la variabilité du canal de communication dans le temps. Le réseau adaptatif au niveau du récepteur essaie de les restaurer en utilisant un algorithme basé sur la propriété de rétablissement de ces propriétés en espérant obtenir une version reconstituée du signal transmis à la sortie du réseau [5].

I.5.2 Les algorithmes adaptatifs non-aveugles

Dans l'algorithme adaptatif non-aveugle, le signal désiré $d(k)$ est connu par l'émetteur et le récepteur, Il est envoyé de l'émetteur au récepteur au cours de la période d'apprentissage. Le formateur de faisceau dans le récepteur utilise les informations du signal désiré pour calculer le vecteur de pondération optimal w . Après la période d'apprentissage, les données sont transmises et le formateur de faisceau (beamformer) utilise le vecteur des pondérations calculé précédemment pour traiter le signal reçu. Ceci est illustré dans le schéma

De « la figure I-5 » [5].

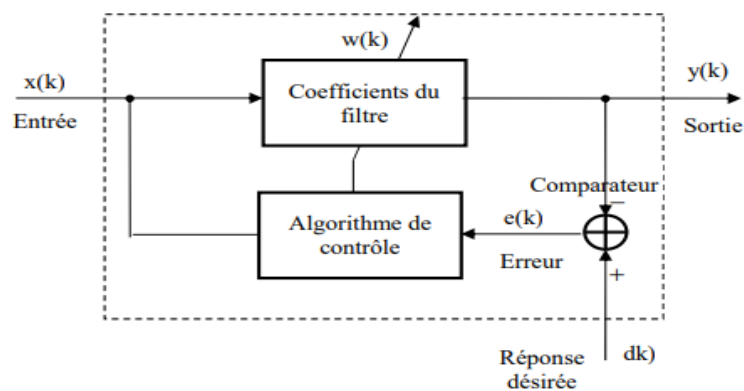


Figure I- 5 le principe du filtre adaptatif non aveugle [5]

Si le canal radio et les caractéristiques des interférences restent inchangés d'une période d'apprentissage à l'autre, le vecteur des pondérations w contiendra alors les informations sur le canal et les interférences, et leurs effets sur le signal reçu seront compensés dans la sortie de réseau.

D'une façon générale, l'algorithme doit se préoccuper des facteurs suivants :

- fournir un écart le plus faible possible entre la grandeur estimée par l'algorithme et sa valeur réelle (inaccessible à la mesure).
- au départ, il n'y a aucun paramètre à déterminer, l'algorithme doit converger le plus rapidement possible vers la solution.
- savoir s'adapter en cas de non stationnarité du système.
- la plus grande simplicité possible ceci pour pouvoir l'implanter facilement.
- une robustesse vis-à-vis du bruit éventuel.
- Il doit être stable avec une précision satisfaisante.

I.6 conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre le principe d'un réseau d'antennes adaptatives ainsi que les différents types d'algorithmes adaptatifs utilisés. Cependant il existe des algorithmes adaptatifs dits aveugles et autres dits non aveugles. Ces algorithmes diffèrent de la façon dont ils voient les signaux reçus, pour les premiers ils n'ont pas besoin de signal de référence pour leur convergence mais pour les seconds algorithmes, ils ont besoin de signal de référence pour orienter leur faisceaux vers l'utilisateur d'intérêt.

Dans le chapitre suivant nous allons faire l'étude de l'association d'un algorithme adaptatif pour la formation de faisceaux.

Chapitre II :
L'algorithme
adaptatif associé à la
formation de
faisceaux

II.1 Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédant les différents types d'algorithmes adaptatifs associés à un réseau d'antennes. Le but de cette association est de créer ou de générer des faisceaux radioélectriques qui seront dirigés vers des utilisateurs d'intérêts, dans notre cas se sont des stations mobiles ou MS pour mobile station. Nous allons considérer par la suite que ces algorithmes utilisent un signal de référence pour détecter le signal d'intérêt et annuler les interférences ou les brouilleurs, dans ce cas ils sont dits non aveugles.

II.2 La formation de faisceaux

La formation de faisceau, également connue sous le nom de filtrage spatial, est une technique de traitement du signal utilisée dans les réseaux d'antennes et de capteurs pour transmettre ou recevoir des signaux de manière directionnelle. Ceci est accompli en combinant les éléments d'une antenne à réseau phasé de telle manière que les signaux interfèrent de manière constructive dans certaines directions, mais de manière destructive dans d'autres directions. La formation de faisceaux peut être utilisée côté émetteur ou côté récepteur pour obtenir une sélectivité spatiale. Cette amélioration est appelée gain (ou perte) d'émission/réception par rapport à l'émission/réception d'une antenne isotrope (omnidirectionnelle).

II.2.1 Principe de la technique de la formation de faisceaux

Le beamforming ou formation de faisceaux est une technique de traitement des signaux utilisée pour les systèmes de transmission sans fil haut débit. Il peut également être considéré comme un filtre spatial pour chaque direction d'intérêt. Ce filtre va permettre de récupérer ou d'émettre des signaux dans des directions particulières avec un gain maximum, c'est-à-dire de favoriser le gain pour la direction d'intérêt et d'atténuer les signaux émis dans les directions non souhaitées (interférences). A la sortie de ce filtre, on n'aura que les signaux dans la direction d'intérêt « Figure II-1 ». On montre que les systèmes d'antennes connues sous le vocable « d'antennes intelligentes » (Smart Antennas) utilisent la technique de formation de faisceaux (Beamforming) pour permettre de récupérer ou d'émettre des signaux dans des directions particulières avec un gain maximum.

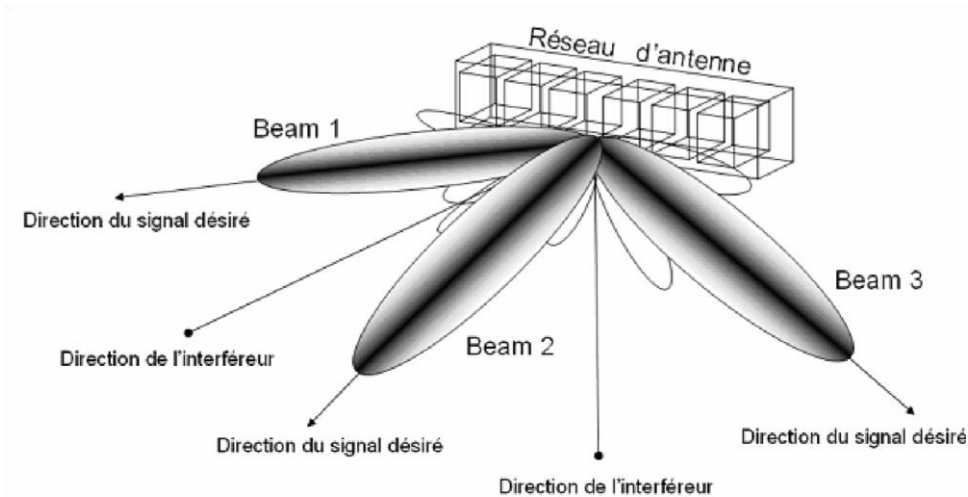


Figure II- 1 le Principe de la formation de faisceaux [6]

Le formateur de faisceaux étant un outil très important dans les réseaux d'antennes il est essentiel d'en connaître les différents types ainsi que les techniques mises en œuvre et leurs avantages respectifs [6].

II.2.2 Fonctionnement de la formation de faisceaux

Dans les communications sans fil, une antenne émet des faisceaux radio, avec plusieurs antennes, la forme du faisceau radio peut être ajustée en contrôlant les signaux radio transmis par chaque antenne, « figure II-2 ».

Dans un système à plusieurs antennes, lorsque des signaux transmis par différentes antennes arrivent à un endroit, un trou spatial peut se produire si deux faisceaux ont une atténuation égale mais des phases opposées. La technologie Beamforming permet de superposer deux faisceaux avec le meilleur effet en précompensant les phases des antennes d'émission [7]

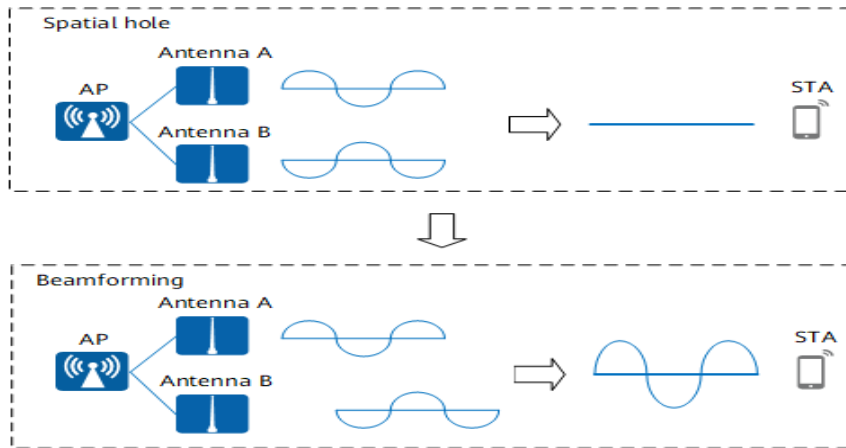


Figure II- 2 la technologie de formation faisceaux [7]

II.3 Systèmes utilisant les techniques de formation de faisceaux

Dans le cas de la formation de faisceaux, on cherche à optimiser la liaison émission/ réception en répartissant les puissances sur les antennes d'émission de manière à obtenir le maximum d'énergie par symbole émis dans une direction donnée. Pour cela, les mêmes symboles sont émis sur les différentes antennes d'émission comme l'illustre « la figure II-3 ».

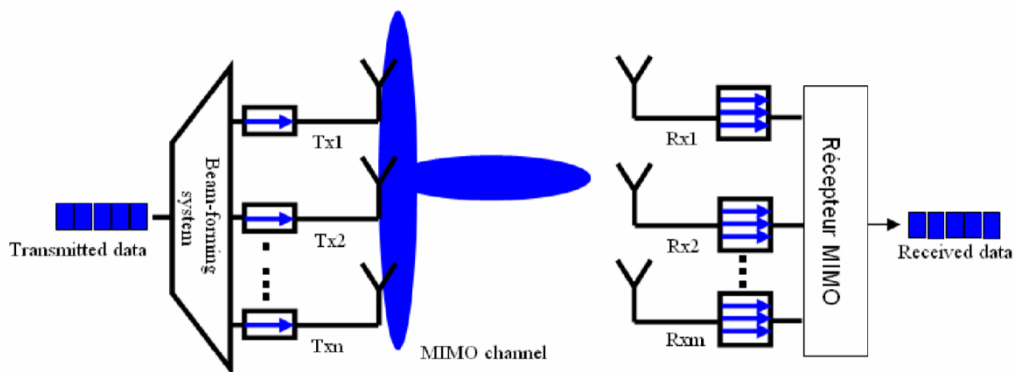


Figure II- 3 Systèmes utilisant des techniques de formation de faisceaux [7]

La formation de faisceaux consiste à focaliser le faisceau de l'antenne (à l'émission et/ou à la réception) dans des directions privilégiées prédéfinies. Cela se traduit par la multiplication par des coefficients complexes, appelés poids ou pondération, des signaux reçus sur chaque élément du réseau d'antennes, « figure II-4 ». Les signaux pondérés sont ensuite additionnés pour former à la sortie du réseau un signal donné par [8] :

$$Y(t) = W^H \cdot X(t) \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$$W^H = [W_0^*, W_1^*, \dots, W_{N-1}^*] \quad (\text{II.2})$$

Où le vecteur w^H représente l'Hermitien (transposé conjugué) du vecteur des poids complexes.

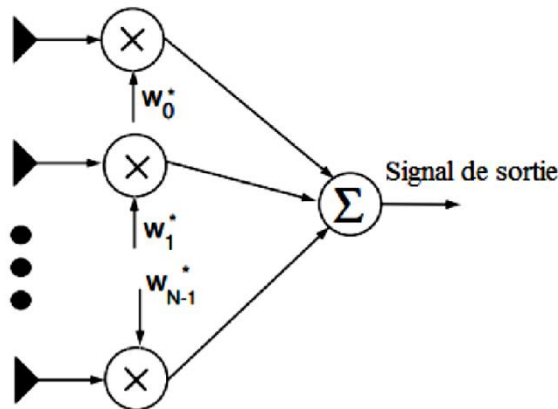


Figure II- 4 Principe du beamforming [8]

Le formateur de faisceaux étant un outil très important dans les réseaux d'antennes il est essentiel de connaître les différents types ainsi que les techniques mises en œuvre.

On distingue trois types de réseau formateur de faisceaux :

- ✚ Réseau de formation analogique de faisceaux (Analog Beamforming).
- ✚ Réseau de formation numérique de faisceaux (Digital Beamforming).
- ✚ Réseau de formation Hybride de faisceaux.

II.3.1 Réseau de formation analogique de faisceaux

Réalise la formation de faisceaux sur un support RF (Radio Fréquence) (ligne de transmission, guide d'onde). La formation analogique est limitée par la complexité du réseau (de formation de faisceaux), « figure II-5 ».

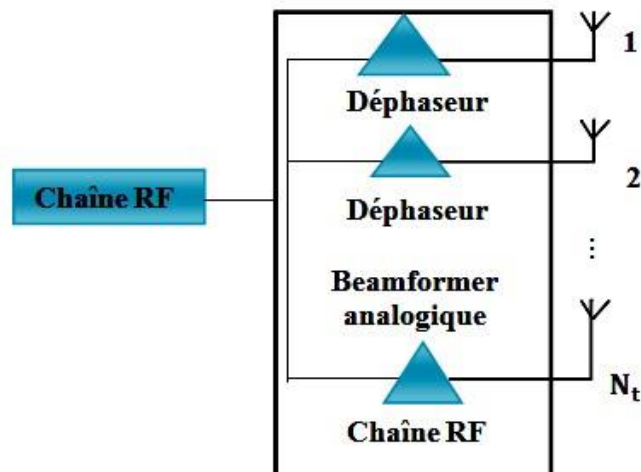


Figure II- 5 Formation de faisceaux analogique [9]

II.3.2 Réseau de formation numérique de faisceaux

Ce type réalise la formation de faisceaux sur un support numérique. Elle présente la combinaison de deux technologies : la technologie d'antenne et la technologie numérique.

La formation numérique de faisceaux permet de former de nombreux faisceaux. Notons que le fait de travailler avec des signaux numérisés facilite les calculs de pondération. Par ailleurs, l'application de la loi d'alimentation par des coefficients numériques permet d'introduire plus facilement de la reconfigurable dans le système, « figure II-6 ». Cependant, le formateur de type numérique résout ces inconvénients du fait qu'il utilise des techniques de traitement numérique des signaux [9].

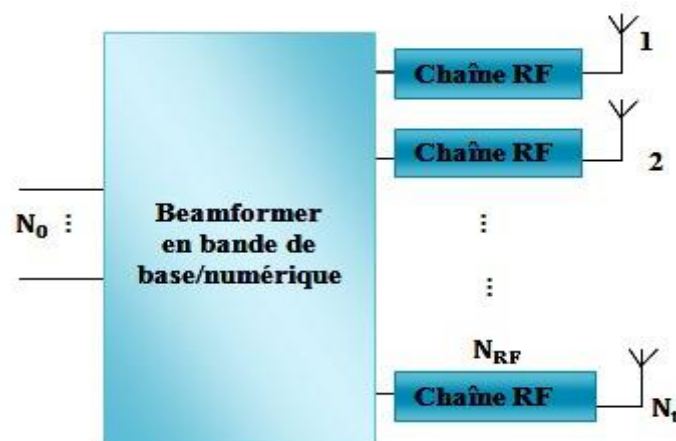


Figure II- 6 Formation de faisceaux numérique [9]

II.3.3 Réseau de formation Hybride de faisceaux

La formation de faisceau analogique et la formation de faisceau numérique sont 2 méthodes ayant leurs propres avantages et inconvénients, pour cette raison, une autre méthode est nécessaire pour surmonter les inconvénients, c'est-à-dire la méthode hybride de formation des faisceaux, « figure II-7 ».

Il existe deux types d'architectures hybrides de faisceau, la première est, les antennes sont attaché à chaque système radiofréquence présent dans la chaîne, le second contient un groupe d'antennes présentes dans le système qui sont connecté à la chaîne radio fréquence unique. L'avantage de l'utilisation de la méthode hybride de formation de faisceau est presque optimal en performance ainsi que la diminution du matériel et de la complexité en traitement du Signal [9].

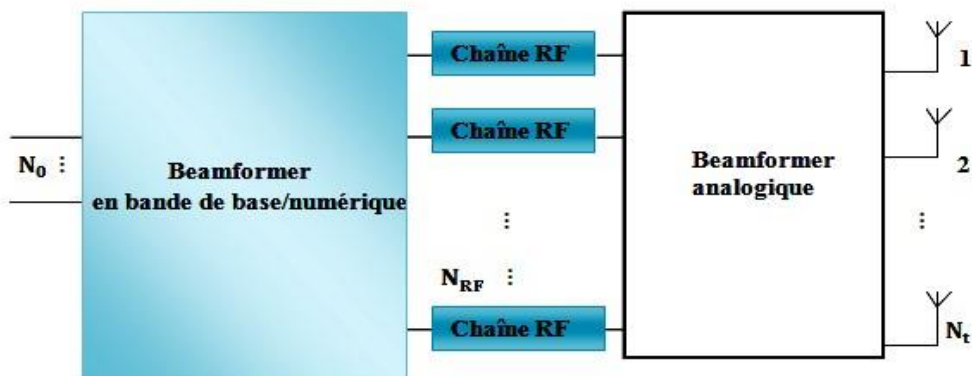


Figure II- 7 Formation de faisceaux hybride [9]

II.4 Algorithmes de formation de faisceaux

Suivant le calcul des poids complexes, on distingue deux principales catégories de formateurs de faisceaux :

- Formation de faisceaux conventionnelle (FFC) : formation de voies permettant de pointer le faisceau dans la direction voulue.
- Formation de faisceaux adaptatifs (FFA) : en plus de la formation de faisceaux conventionnelle, elle permet de rejeter les interférences éventuelles.

II.4.1 Formation de faisceaux conventionnelle (FFC)

La FFC est une méthode classique de formation de faisceaux basée sur la connaissance des directions d'incidence des différentes sources, « figure II-8 ». Elle focalise le faisceau dans la

direction du signal utile indépendamment du signal global reçu. Le mode de fonctionnement de ce type de formateur se résume de la manière suivante :

Dans une première étape on estime les angles d'arrivée de toutes les sources. Dans la deuxième étape est calculé les pondérations qui sont choisies de façon à sommer en phase les signaux provenant d'une direction (θ_0, φ_0) donnée [9]. Et enfin de sommer de façon cohérente les signaux ainsi obtenus en dernière étape.

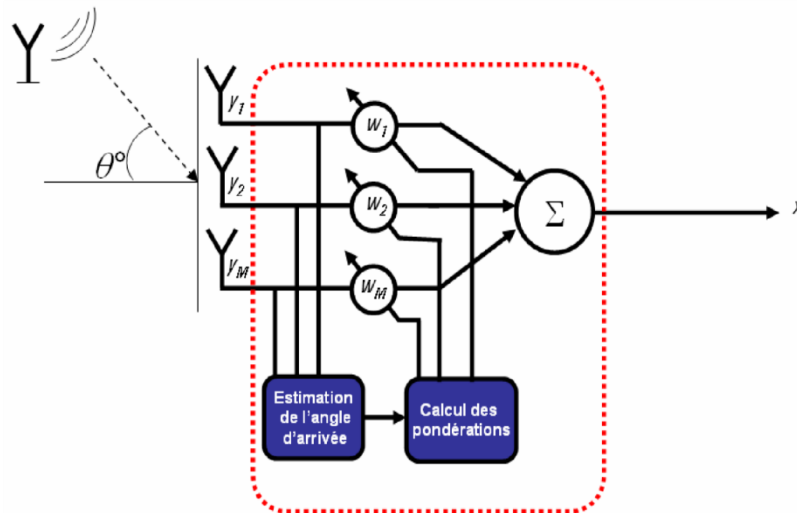


Figure II- 8 Configuration de l'antenne pour la formation de voies [9]

- La pondération selon la FCC est donnée par :

$$W_{FCC} = a(\theta_0, \varphi_0) \quad (II.3)$$

Le réseau se focalise alors dans cette direction où une amplitude optimale est obtenue.

- Le signal à la sortie de FF s'écrit :

$$Y(t) = a^H(\theta_0, \varphi_0) \times x(t) \quad (II.4)$$

Où $a^H(\theta_0, \varphi_0)$ représente l'Hermitien du vecteur directionnel de la direction visée et $x(t)$ est le vecteur des signaux reçus au niveau du réseau d'antenne.

- On obtient alors :

$$y(t) = a^H(\theta_0, \varphi_0)a(\theta_0, \varphi_0) \times s(t) + a^H(\theta_0, \varphi_0) \times b(t) \quad (II.5)$$

Où $b(t)$ est le vecteur des bruits.

- Qui s'écrit encore :

$$y(t) = \|a(\theta_0, \varphi_0)\|^2 \times s(t) + a^H(\theta_0, \varphi_0) \times b(t) \quad (\text{II.6})$$

II.4.2 Formation de faisceaux adaptatifs (FFA)

La formation de faisceaux adaptatifs cherche à introduire une dépendance vis-à-vis des données. Le calcul de la pondération est fait en fonction des données permettant de satisfaire un critère choisi. Différentes méthodes se basant sur le calcul et la mise à jour du vecteur des poids complexes w sont utilisées pour améliorer la qualité du canal de communication. Parmi ces méthodes, les plus utilisées sont le formateur MPDR (Minimum Power Distortionless Response), le formateur par séquence de référence, le formateur MVDR (Minimum Variance Distortionless Response) et le formateur LCMV (Linear Constrained Minimum Variance) est une des techniques de formation de faisceau adaptative qui est couramment appliquée pour annuler les signaux interférents et orienter ou produire un faisceau puissant vers le signal souhaité via ses vecteurs de poids calculés [9].

▶ Le formateur MPDR

Le principe de ce formateur est de trouver le vecteur de pondération $\vec{w}(t)$ qui minimise la puissance globale en sortie de FF tout en maintenant un gain unité dans la direction souhaitée (θ_0, φ_0) . Ceci devrait permettre de réduire la puissance des brouilleurs.

Soit $x(t) = \vec{w}^H \times \vec{y}_t$ le signal global (utile, interférences et bruit) en sortie de FF.

La puissance à la sortie s'écrit :

$$P_{\text{sortie}} = E[x(t)x^H(t)] \quad (\text{II.7})$$

E étant l'espérance mathématique.

La résolution de ce problème conduit à la pondération suivante :

$$W_{\text{mpdr}} = \frac{R^{-1}\vec{a}(\theta_0, \varphi_0)}{\vec{a}^H(\theta_0, \varphi_0)R^{-1}\vec{a}(\theta_0, \varphi_0)} \quad (\text{II.8})$$

Où R^{-1} est l'inverse de la matrice de covariance du signal reçu et $\vec{a}(\theta_0, \varphi_0)$ est le vecteur directionnel dans la direction visée. Pour le calcul de cette pondération, on utilise des critères

qui sont basés sur la connaissance de la direction(s) d'incidence de la source utile. Contrairement à la méthode de formation de voies classiques, les DDAs (Direction d'angle d'arrivée) des interférents ne sont pas nécessaires. La complexité de ce formateur dépend alors d'une part du nombre d'échantillons requis pour l'estimation de la matrice de covariance mais aussi de la complexité associée à l'inversion de cette dernière [6].

➤ Le formateur par séquence de référence

Dans cette technique, on suppose qu'au moins une partie de la forme d'onde du signal à recevoir soit connue au récepteur. Les poids complexes sont ajustés pour minimiser l'erreur quadratique moyenne entre la sortie du formateur de faisceaux $y(t) = w^H X(t)$ et la forme d'onde du signal $s(t)$. L'expression de cette erreur quadratique moyenne est donnée par

Source spécifiée non valide.:

$$E = [\|w^H x(t) - s(t)\|^2] = w^H R w - w^H E[X(t)s^H(t)]^H - E[X(t)s^H(t)]^H w + p \quad (\text{II.9})$$

Où $E[X(t)s^H(t)] = R_{XS}$

Représente l'inter corrélation entre le vecteur signal reçu au niveau du réseau d'antennes $\mathbf{x}(t)$ et le signal pilote $s(t)$. \mathbf{R} est la matrice de covariance du signal reçu et P la puissance du signal pilote. La pondération de ce formateur est la solution de :

$$\text{Min}E = [\|w^H x(t) - s(t)\|] \quad (\text{II.10})$$

Cette méthode de FF ne nécessite pas la connaissance de la direction d'arrivée du signal utile comme le cas pour la méthode MPDR. Par contre, la connaissance du signal utile est nécessaire

$$W_{seq} = R^{-1} E[x(t)s^H(t)] = R^{-1} R_{xs} \quad (\text{II.11})$$

Ce formateur nécessite une séquence de référence pour la synchronisation trame et symbole ainsi que pour la l'égalisation. En outre, il est sensible à toute mauvaise synchronisation [10].

Parmi les algorithmes de ce type de formateur les plus utilisés, on trouve :

- ♣ L'algorithme à gradient stochastique LMS (Least Mean Square).

- ♣ L'algorithme de moindres carrés récursives RLS (Recursive least squares Algorithm)
- ♣ Le formateur Minimum Variance Distortionless Response (MVDR)

Le principe de cette méthode de FF consiste à choisir les poids minimisant le bruit et les interférences à la sortie du formateur de faisceaux. Ceci est équivalent à la maximisation du rapport signal à bruit plus interférences (SINR) en sortie du formateur de faisceaux. Les puissances des signaux utiles et interférents sont estimées à partir des matrices de corrélation des signaux. Les poids sont calculés de façon à maximiser le rapport de ces puissances et annuler éventuellement les interférences [10].

En présence d'interférences, le signal reçu au niveau du réseau d'antennes s'écrit :

$$x(t) = a(\theta_0, \phi_0) \times s(t) + x_I(t) + b(t) \quad (\text{II.12})$$

Avec $x_I(t)$ représentant le vecteur des signaux interférents.

L'expression du signal en sortie du formateur de faisceaux est donnée par :

$$Y(t) = w^H \times a(\theta_0, \phi_0) s(t) + w^H \times \{x_I(t) + b(t)\} \quad (\text{II.13})$$

La puissance du signal en sortie de FF, P_F s'écrit :

$$P_F = E[\{w^H \times a(\theta_0, \phi_0) s(t)\} \times \{w^H \times a(\theta_0, \phi_0) s(t)\}^H] \quad (\text{II.14})$$

$$P_F = E[\|w^H \times a(\theta_0, \phi_0) s(t)\|^2] \quad (\text{II.15})$$

En notant P_s la puissance du signal $s(t)$: $P_s = E[s(t)s(t)^H]$

$$P_F = P_s \|w^H a(\theta_0, \phi_0)\|^2 \quad (\text{II.16})$$

Soit $x_I(t)$ et $b(t)$ les vecteurs représentant la contribution du bruit et des signaux interférents.

La puissance des bruits et interférences en sortie s'écrit :

$$P_{BI} = E[\{w_i^H (X_I(t) + b(t))\} \times \{w^H (X_I(t) + b(t))\}^H] \quad (\text{II.17})$$

Soit $P_{BI} = w^H E[(X_I(t) + b(t))(X_I(t) + b(t))^H] w$

Soit $R_I = E [(x_I(t) + b(t) (x_I(t) + b(t))^H]$ la matrice de covariance des bruits et des interférences, la puissance des bruits s'écrit :

$$P_{BI} = w^H R_I w \quad (\text{II.18})$$

Le SINR représente le rapport de la puissance du signal utile à celle des interférences et du bruit. D'après les équations (II.16) et (II.18) on obtient :

$$\text{SINR} = \frac{P_S \|w^H a(\theta_0, \varphi_0)\|^2}{w^H R_I w} \quad (\text{II.19})$$

La maximisation du SINR est équivalente la minimisation de la puissance du bruit et des interférences en sortie de FF. Calculer la pondération MVDR revient à résoudre :

$$\min_w w^H R_I w \quad (\text{II.20})$$

Sous la contrainte :

$$w^H a(\theta_0, \varphi_0) = 1 \quad (\text{II.21})$$

La résolution de ce problème conduit à la pondération suivante :

$$W_{MVDR} = \frac{R_I^{-1} a(\theta_0, \varphi_0)}{a^H(\theta_0, \varphi_0) R_I^{-1} a(\theta_0, \varphi_0)} \quad (\text{II.22})$$

Nous remarquons que l'équations ci-dessus ne contient pas le signal utile.

Bien que la méthode MVDR soit robuste et fournisse de bons résultats, elle est sensible aux erreurs sur la direction du signal utile qui peuvent causer une dégradation significative des performances du système. En effet, dans le cas où la connaissance de la direction du récepteur est erronée, le transmetteur focalise son faisceau dans une direction autre que la direction du récepteur [10].

➤ Formation de faisceaux Linear Constrained Minimum Variance(LCMV)

Récemment, de nombreux algorithmes robustes de formation de faisceaux ont été présentés dans la littérature. Ces algorithmes sont pour la plupart basés sur le critère MVDR. Cela permet de tenir compte d'éventuelles erreurs sur la DOA de la cible et d'éviter ainsi le phénomène d'annulation de cette dernière. Ce phénomène peut en effet se produire lorsque

le signal utile est présent dans la matrice de covariance et que la focalisation n'est pas réalisée exactement dans la direction d'arrivée de la cible [10].

Parmi ces techniques, nous pouvons citer le LCMV (Linear Constraint Minimum Variance). Ces techniques permettent de pointer des faisceaux vers un ensemble de directions autour d'une direction voulue. Dans la littérature, il a été montré que le formateur de faisceaux LCMV offre de meilleures performances avec une complexité réduite comparativement aux autres techniques. La méthode LCMV généralise la technique MVDR en imposant une contrainte plus générale qu'une contrainte de non distorsion sur le filtre spatial. Elle permet en effet d'imposer un ensemble de contraintes directionnelles afin d'élargir le faisceau formé par le réseau d'antennes.

Le critère d'optimisation selon LCMV s'écrit [10]:

$$\min_w W^H R_I W \quad (\text{II.23})$$

Sous la contrainte :

$$C^H \times w = f \quad (\text{II.24})$$

Où C représente la matrice de l'ensemble des contraintes linéaires et f est un vecteur de dimension égale au nombre de contraintes.

L'application de la méthode de Lagrange sur ce problème conduit au vecteur de pondération optimale suivant :

$$w_{LCMV} = R_I C (C^H R_I^{-1} C)^{-1} f \quad (\text{II.25})$$

II.4 Conclusion

Nous avons abordé dans ce chapitre les différents types de formateurs de faisceaux, le formateur de faisceaux analogique, le formateur de faisceaux numérique et l'hybride qui est l'association des deux premiers formateurs. Nous avons vu ensuite les différents algorithmes utilisés dans la formation de faisceaux comme le MPDR et en terminant par LCMV.

Dans le prochain et dernier chapitre nous allons choisir un type de formateur de faisceaux associé à un réseau d'antennes adaptatifs.

**Chapitre III : Principe
d'un système de
communication
numérique 5G basé sur la
formation de faisceaux
adaptatifs**

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude d'une chaîne de communications 5G, nous allons voir son étude et le principe de base. Cette chaîne contient l'élément de base qui est la formation de faisceaux ou le beamforming. Ce dernier peut être réalisé à l'émission ou à la réception ou les deux à la fois.

Avant d'entamer ce chapitre, nous allons rappeler quelques architectures 5G existantes. Tout d'abord, les chercheurs ont développé diverses technologies qui sont employées dans Les systèmes 5G. Quelques technologies probables incluent des ondes millimétriques, MIMO massif, des modulations autres que l'OFDM, communications équipement à équipement (D2D), communications machine à machine (M2M) et autres. Avec l'exigence des latences de plus en plus faibles et les limitations de la bande dans le spectre traditionnel des systèmes cellulaires, les réseaux mobiles sont portés à migrer d'un réseau centré par la BS vers un réseau centré par le terminal de l'utilisateur. Ce changement d'architecture est représenté dans « la figure III-1 ». La croissance dans le trafic a motivé le développement des réseaux cellulaires vers le déploiement des cellules plus petites que les macros cellules hexagonales utilisées avant. On cherche à concevoir des réseaux où l'utilisateur n'est plus le dernier élément récepteur du réseau mais plutôt un participant dans le stockage, le relais et la livraison des données dans le réseau [11].

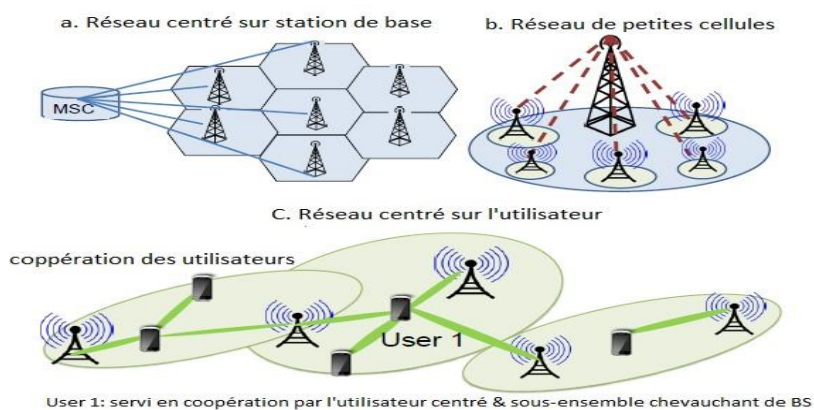


Figure III- 1 Migration graduelle vers une architecture centrée autour de l'utilisateur

« La figure III-2 » présente deux systèmes fortement recommandés pour les réseaux cellulaires 5G : le système MIMO massif à 6GHz et le système mmWave.

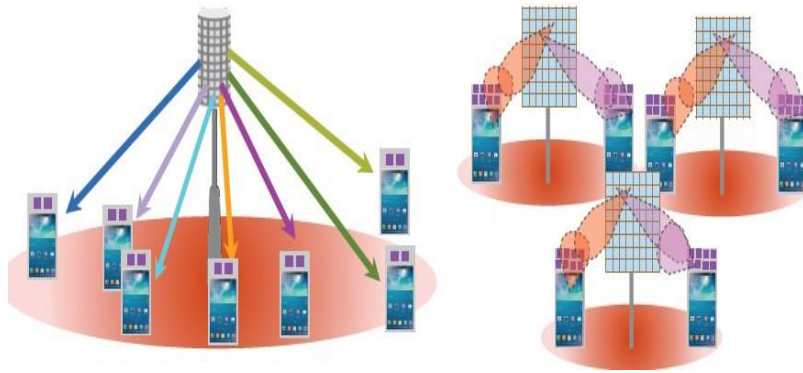


Figure III- 2 MIMO massif vs système mmWave

III.2 Système MU-MIMO massif

C'est un système à multiples antennes M avec K utilisateur par station de base qui se caractérise par $M \gg K$ et qui fonctionne dans le mode TDD, qui utilise un processus linéaire pour la voie montante et descendante « figure III-3 ». C'est une stratégie de transmission multi antenne afin de supporter plusieurs utilisateurs actifs simultanément et traiter les techniques d'émission et réception très simple pour être presque optimal avec suffisamment d'antennes [11].

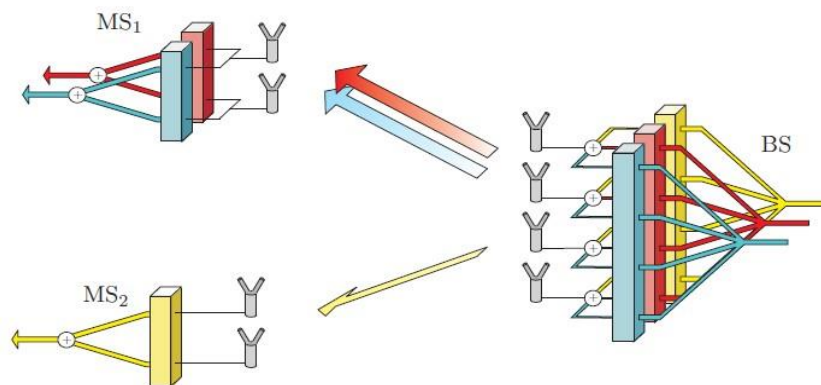


Figure III- 3 MU-MIMO massif

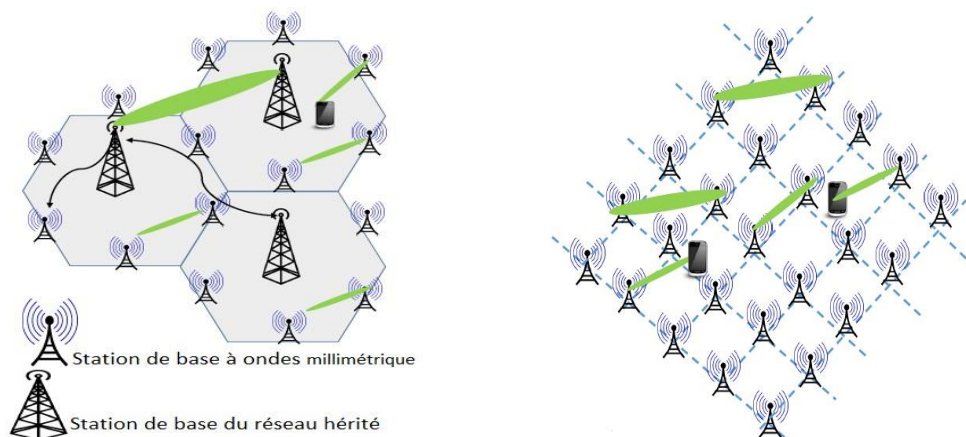
III.2.1 Système cellulaire mmWave

Ce système utilise une architecture hybride analogique/numérique et fonctionne dans la bande des ondes millimétriques. Il présente trois principales différences par rapport au système précédent : 1) les équipements utilisateurs sont munis d'un grand nombre d'antennes grâce aux dimensions réduites des antennes millimétriques, 2) les cellules sont plus petites, avec moins d'utilisateurs partageant les mêmes ressources, et 3) une architecture hybride de beamforming est utilisée.

L'intégration des nouvelles stations de base 5G dans le réseau existant (4G, 3G, 2G) est un défi majeur. Deux approches sont proposées : la commutation entre les réseaux 4G et 5G pour une meilleure expérience utilisateur, ou l'utilisation exclusive des ondes millimétriques pour les données, tandis que le contrôle du système utilise les réseaux 4G traditionnels.

Le système mmWave repose sur le beamforming hybride pour compenser les pertes de propagation des ondes millimétriques. Il est possible d'utiliser des faisceaux étroits pour les données et des faisceaux plus larges pour les canaux de contrôle. Le beamforming offre des gains significatifs en améliorant le rapport signal-sur-bruit (SNR) et en réduisant les interférences grâce à la sélectivité spatiale des antennes directionnelles. Les systèmes utilisant les ondes millimétriques bénéficient de l'utilisation d'un grand nombre d'éléments d'antenne dans des réseaux compacts pour créer des faisceaux hautement directionnels et exploiter les réflexions et la diffusion des ondes.

Selon l'architecture du système de beamforming, les coefficients de pondération nécessaires pour former le faisceau peuvent être appliqués dans le domaine numérique (Digital Beamforming : DBF) ou analogique (Analog Beamforming : ABF) [11].



(a) Réseau hybride 4G/mmWave

(b) Réseau mmWave de petites cellules

Figure III- 4 Architectures possibles d'un réseau cellulaire mmWave

Chapitre III : Principe d'un système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

Après avoir donné un aperçu général sur les technologies existantes ou à venir, nous allons donner ci-après l'étude et le principe de base d'une chaîne de communication 5G.

III.3 Schéma de base d'une chaîne de communication 5G.

Le principe est donné dans « la figure III-5 » ci-dessous, en partant de la source en passant par différents blocs et arrivant au destinataire. Ce système contient plusieurs antennes à la station de base. Ces antennes sont rassemblées dans un réseau d'antennes qui peut être uniforme et linéaire (ULA : Uniform and Linear Array), uniforme et rectangulaire (URA : Uniform and rectangular Array), cylindrique, sphérique... d'où de différentes formes et contenant des centaines voire un millier d'antennes.

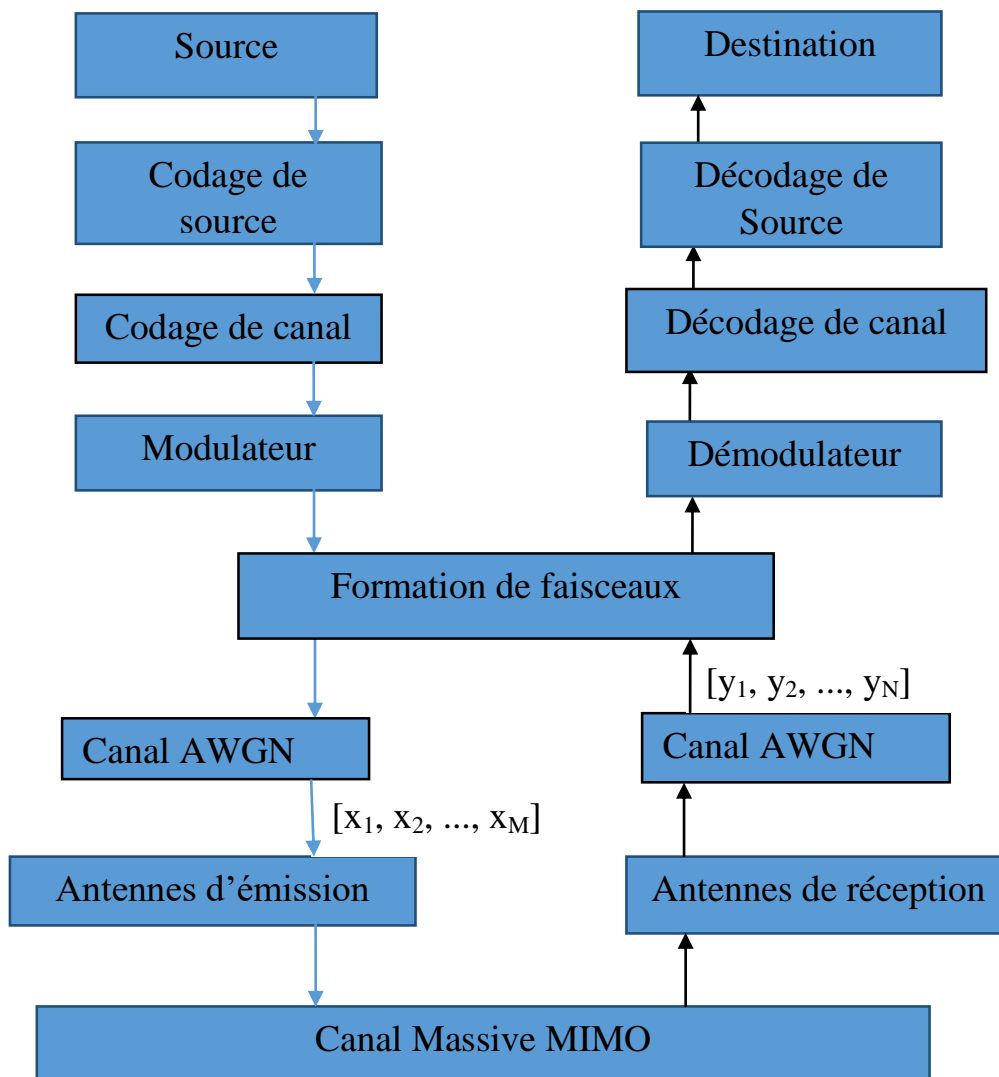


Figure III- 5 Schéma de base d'une chaîne de communication 5G

III.3.1 Explication de chaque bloc :

1. La Source : il s'agit de la source d'informations, qui peut être de différents types, tels que la voix, la vidéo et les données.
2. La Destination : "Destination" indique le message envoyé par "Source". Il peut s'agir d'un utilisateur, d'un appareil, d'un serveur ou de toute autre entité capable de recevoir et de traiter les messages envoyés. Le récepteur effectue des opérations telles que le décodage de canal et le décodage de source pour extraire le message d'origine de la transmission et le rendre compréhensible pour l'utilisateur final.
3. Le Codage source : Le codage source est le processus de conversion des données à transmettre en une forme plus adaptée à la transmission sur un canal de communication numérique. L'objectif est de réduire la redondance des données transmises et d'améliorer l'efficacité de la transmission. L'encodage de la source est effectué par un encodeur source à source avant la modulation. Les données sont transmises sous forme de symboles de modulation après le codage de la source. À destination, un processus inverse appelé décodage source est effectué pour récupérer les données d'origine. Le décodage de source est effectué par le décodeur de source à la destination après démodulation.
4. Le Codage de canal : Cette étape encode les données pour éviter les erreurs de transmission. Il existe différents types de codes de canal tels que les codes de contrôle de parité, les codes de convolution, les codes Reed-Solomon, etc.
5. La Modulateur : Cette étape consiste à moduler les données pour les transmettre sur le canal de transmission. Il existe différents types de modulation tels que l'amplitude-shift keying (ASK), frequency-shift keying (FSK), phase-shift keying (PSK) et cette étape consiste à moduler les données pour les rendre compatibles avec le canal de transmission.
6. Démodulateur : Cette étape consiste à extraire les données modulées du signal reçu.
7. Beamforming : Cette étape permet de diriger la puissance du signal émis vers le récepteur. Elle est réalisée à l'aide d'antennes d'émission et/ou de réception.
8. Antennes de transmission : ces antennes permettent la transmission de signaux dans la direction souhaitée à l'aide de techniques de formation de faisceaux.

Chapitre III : Principe d'un système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

9. Antennes de réception : ce sont les antennes utilisées pour recevoir le signal transmis. L'antenne de réception peut également être une antenne unique ou un groupe d'antennes disposées dans un faisceau
10. Canal AWGN : Il est inclus dans le canal de transmission et peut être affecté par des erreurs causées par le bruit et le bruit de distorsion, qui est généralement modélisé comme une gaussienne blanche additive.
11. Récepteur : Correspond à la partie qui reçoit le signal émis par l'antenne réceptrice et la traite pour en extraire les informations utiles. Cette partie comprend plusieurs étapes, telles que le décodage du canal pour corriger les erreurs de transmission, le démodulateur pour extraire le signal modulé et le décodage de la source pour restituer les informations d'origine transmises par la source.
12. Décodage de canal : cette étape détecte et corrige les erreurs de transmission qui peuvent s'être produites.
13. Décodage source : Cette étape consiste à extraire les données brutes des informations transmises.
14. Canal Massive MIMO : Ce bloc représente une technologie de réseau sans fil qui utilise un grand nombre d'antennes pour augmenter la capacité du canal et améliorer la qualité de la transmission.

Pour chacune de ces étapes, des équations mathématiques spécifiques peuvent être utilisées pour calculer les paramètres nécessaires à l'émission et à la réception du signal. Par exemple, la modulation peut être obtenue en utilisant une modulation numérique telle qu'une modulation de phase ou une modulation d'amplitude. Le codage de canal peut être effectué à l'aide de codes correcteurs d'erreurs tels que les codes Reed-Solomon ou les codes convolutifs. La formation de faisceaux peut être effectuée à l'aide d'un algorithme d'optimisation tel qu'un algorithme de gradient ou un algorithme génétique. Enfin, le décodage de canal peut se faire à l'aide d'algorithmes de détection d'erreur.

III.3.2 Aspect mathématique du système

Dans un système de communication utilisant un canal MIMO ou Massive MIMO comme celui de la figure 5, les équations peuvent être décrites par la matrice de canal H , le vecteur

Chapitre III : Principe d'un système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

de signal transmis X , le vecteur de signal reçu Y , et le bruit N . Ainsi, à la sortie des antennes d'émission, le signal transmis X peut être décrit comme suit :

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T \quad (\text{III.1})$$

Où x_1, x_2, \dots, x_M sont les signaux transmis par chaque antenne.

À l'entrée des antennes de réception, le signal reçu Y peut être décrit comme suit :

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T \quad (\text{III.2})$$

Où y_1, y_2, \dots, y_N sont les signaux reçus par chaque antenne.

La matrice de canal H peut être représentée comme suit

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & \dots & h_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & \dots & h_{NM} \end{bmatrix} \quad (\text{III.3})$$

Où h_{ij} représente le canal entre l'antenne i de transmission et l'antenne j de réception.

Le bruit N peut être représenté comme un vecteur gaussien blanc avec une moyenne nulle et une variance σ^2 .

Ainsi, la relation entre le signal transmis X , le signal reçu Y , la matrice de canal H et le bruit N peut être décrite comme suit :

$$Y = HX + N \quad (\text{III.4})$$

Où N représente le bruit qui corrompt le signal lors de la traversée du canal, à ne pas confondre avec le nombre d'antennes N .

Donc la capacité instantanée d'un canal MIMO est donnée par :

$$C = \sum_{i=1}^m \log_2 \left(1 + \frac{P}{N} |\lambda_i|^2 \right) \quad (\text{III.5})$$

Cette capacité s'écrit aussi :

$$C = \log_2 \det \left[I_M + \frac{P}{N} HH^* \right] \quad (\text{III.6})$$

Nous définissons la capacité moyenne comme l'espérance de la capacité :

$$C_{moy} = E[C] = E[\log_2[\det(I_M + PHH^*)]] \quad (\text{III.7})$$

Nous constatons donc que la capacité augmente linéairement avec la valeur minimale entre le nombre d'antennes à l'émission et celui à la réception. L'utilisation simultanée de plusieurs antennes en émission et réception permet ainsi d'exploiter la dimension spatiale. L'exploitation de la diversité spatiale favorise l'amélioration des performances et/ou du débit.

Où le produit HX décrit la contribution du signal transmis à la réception, et le terme N représente le bruit de fond. La matrice H est généralement complexe et peut être estimée à l'aide d'algorithmes de traitement du signal. Le vecteur Y peut également être soumis à des processus de démodulation et de décodage pour extraire l'information transmise,

« La figure III-5 ».

III.4 Le MIMO Beamforming :

Les méthodes de formation de faisceaux adaptatifs consistent à ajouter des signaux reçus par des réseaux d'antennes après pondération avec des poids spécifiques à chaque antenne.

L'émetteur se compose de M antennes et le récepteur est très similaire dans son principe à la partie émission, composé de " N " antennes de réception, et les canaux de propagation MIMO se composent de canaux directs et L canaux retardés [12].

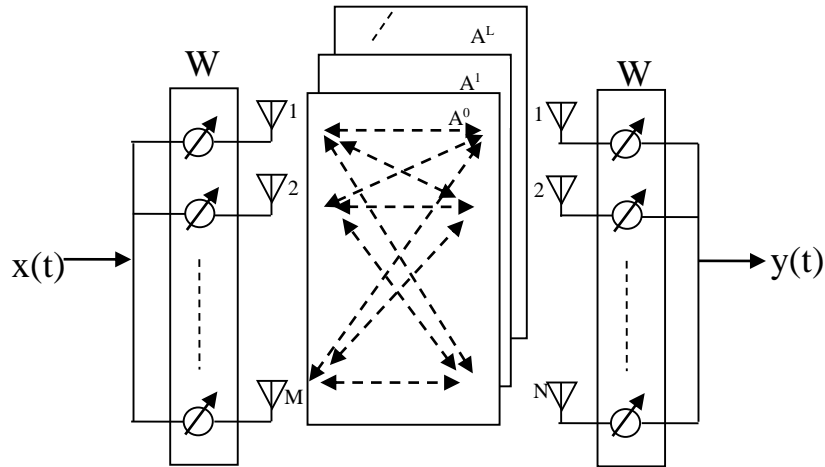


Figure III- 6 La configuration MIMO Beamforming [12]

Pour un système de transmission sans fil haut débit, « figure III-6 », le canal de propagation MIMO peut être modélisé de la manière suivante :

$$H(\tau) = \sum_{i=0}^L A^i \cdot \delta(\tau - i \cdot \Delta_\tau) \quad (\text{III.8})$$

H : la matrice du canal MIMO de taille $M \times N$.

$\delta(\tau)$: Impulsion de Dirac.

Δ_τ : l'unité de temps retard.

L : Nombre de canaux retardés.

$$A^i = \begin{pmatrix} a_{11}^i & a_{21}^i & \dots & a_{1M}^i \\ a_{21}^i & a_{22}^i & \dots & a_{2M}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}^i & a_{N2}^i & \dots & a_{NM}^i \end{pmatrix} \quad (\text{III.9})$$

a_{nm}^i : La $i^{\text{ème}}$ réponse entre la $m^{\text{ème}}$ antenne d'émission et la $n^{\text{ème}}$ antenne de réception du canal retardé.

Pour $i=0$, A^0 est le canal direct.

Pour $i=1 \dots L$, A^i ce sont les canaux retardés.

Les vecteurs de pondérations d'émission et de réception sont définis comme suit :

$$W_t = [W_{t1}, W_{t2}, \dots \dots \dots W_{tM}]^T \quad (\text{III.10})$$

Chapitre III : Principe d'un système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

$$W_r = [W_{r1}, W_{r2}, \dots \dots W_{rN}]^T \quad (\text{III.11})$$

La sortie de chaque antenne est combinée linéairement avec le vecteur de poids :

$$y(t) = \sum_{i=0}^L W_r^H \cdot A^i \cdot W_t \cdot S_0(t - i \cdot \Delta_\tau) + W_r^H \cdot n(t) \quad (\text{III.12})$$

$S_0(t)$: le signal source subdivisé en M branche, qui seront multipliées par le vecteur de pondération d'émission w_t .

$n = [n_1, n_2, \dots \dots n_N]^T$: Le vecteur du bruit blanc gaussien(AWGN).

Le SNR est définie par l'expression suivante :

$$\eta(W_t, W_r) = \frac{W_r^H \cdot A^0 \cdot W_t \cdot W_t^H \cdot (A^0)^H \cdot W_r}{\sum_{i=0}^L W_r^H \cdot A^i \cdot W_t \cdot W_t^H \cdot (A^i)^H \cdot W_r + \gamma \cdot W_r^H \cdot W_r} \quad (\text{III.13})$$

$\frac{1}{\gamma} = \frac{p_s}{p_n}$: Le rapport de puissance de signal sur bruit, avec $\begin{cases} p_s = \langle |s_0|^2 \rangle \\ p_n = \langle |n_N|^2 \rangle \end{cases}$

Cette équation contient les vecteurs de pondérations d'émission et de réception, on ne peut pas déterminer ces vecteurs de manière analytique.

♣ Estimations du vecteur de pondération de réception

Pour déterminer ce vecteur il faut que le vecteur de pondération d'émission soit donné.

$$W_r^{(\text{opt})} = R_{nr}^{-1} \cdot A^0 \cdot W_t / \|R_{nr}^{-1} A^0 \cdot W_t\| \quad (\text{III.14})$$

♣ Estimations du vecteur de pondération d'émission

Pour déterminer ce vecteur il faut que le vecteur de pondération de réception soit donné.

$$W_t^{(\text{opt})} = R_{mt}^{-1} \cdot A^0 \cdot W_r / \|R_{mt}^{-1} (A^0)^H \cdot w_r\| \quad (\text{III.15})$$

Chapitre III : Principe d'un système de communication numérique 5G basé sur la formation de faisceaux adaptatifs

Les deux dernières équations deviennent non linéaires en même temps, et l'algorithme itératif peut estimer les vecteurs de poids d'émission et de réception d'une manière simple pour maximiser le SNR.

L'opération itérative ($k > 1$) est décrite de la manière suivante :

$$\bar{W}_r(k) = R_{nr}^{-1}(k-1) \cdot A^0 \cdot W_t(k-1) \quad (\text{III.16})$$

Ou

$$R_{nr}(k) = \sum_{i=1}^L A^i \cdot W_t(k) \cdot W_t^H(k) \cdot (A^i)^H + \gamma I \quad (\text{III.17})$$

Ce qui donne :

$$W_r = \bar{W}_r(k) / \|\bar{W}_r(k)\| \quad (\text{III.18})$$

$R_{nr}(k-1)$: La matrice hermitienne mise à jour, en utilisant le vecteur de poids de transmission précédent pour trouver le vecteur de poids de réception $W_r(k)$.

Le vecteur poids de transmission est donné par :

$$\bar{W}_t(k) = R_{mt}^{-1}(k) (A^0)^H \cdot W_r(k) \quad (\text{III.19})$$

Ou

$$R_{mt}(k) = a_0 \sum_{i=1}^L A^i \cdot W_r(k) \cdot W_r^H(k) \cdot (A^i)^H + \gamma I \quad (\text{III.20})$$

III.5 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre l'essentiel d'une chaîne de communication 5G, nous avons commencé par rappeler les différentes technologies 5G existantes en passant par les MU-Massif MIMO et les mmWave, dans un second lieu nous avons entamé le principe de base d'une chaîne 5G dont le cœur était la formation de faisceaux adaptatifs, les équations nécessaires à la compréhension de notre système sont largement données et expliquées en incluant tous les paramètres. Dans le chapitre suivant nous allons faire des simulations sur notre système 5G avec des paramètres de la 5G comme la fréquence porteuse le nombre d'antennes etc...

Chapitre IV :

Les Résultats de

simulations

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous proposons une étude en utilisant l'environnement MATLAB, des simulations de système MIMO beamforming basé sur un algorithme adaptatif pour représenter le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$, une fois en fonction de theta et une fois en fonction de phi.

IV.2 Les résultats avec adaptation et sans adaptation

Les simulations sont obtenues par un réseau d'antennes rectangulaire et uniforme (URA) à $N \times M$ éléments avec la distance entre antenne est $d = \lambda/2$, $\lambda = c/f$ étant la longueur d'onde, $f = 30$ GHz est la fréquence porteuse et $c = 3 \times 10^8$ m/s est la vitesse de la lumière.

Ce réseau est placé dans une station de base et capte des signaux à bande étroite de même fréquence porteuse f .

IV.2.1 Sans adaptation

Le diagramme du module de $FR(\theta, \varphi)$ en décibel en fonction de θ, φ , est donné sur les figures suivantes :

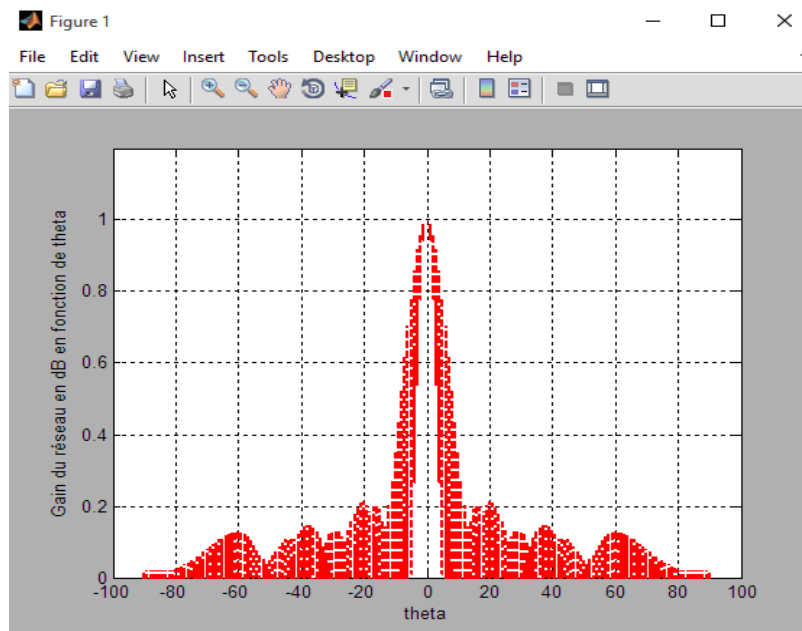


Figure IV- 1 Gain du réseau en fonction de theta

« La Figure IV-1 » représente le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ en fonction de theta

Chapitre 4 : Résultats de simulation

Axe x : Theta, Axe y : Gain du réseau en dB, La courbe est tracée en rouge en utilisant des tirets, Plage de l'axe x : -100 à 100, Plage de l'axe y : 0 à 1.

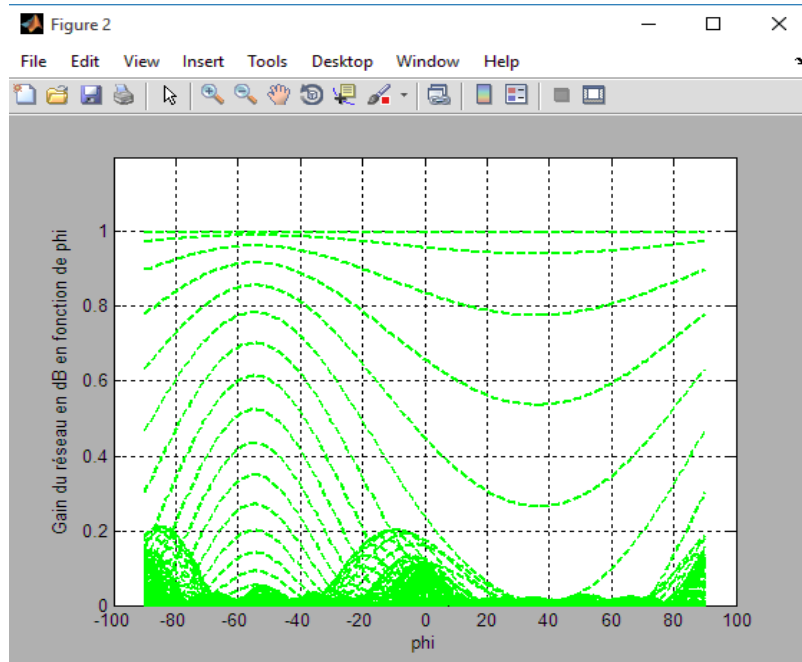


Figure IV- 2 Gain du réseau en fonction de phi

« La Figure IV-2 » représente le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ en fonction de phi.

Gain du réseau en fonction de phi, Axe x : Phi, Axe y : Gain du réseau en dB, les courbe est tracée en vert en utilisant des tirets, Plage de l'axe x : -100 à 100, Plage de l'axe y : 0 à 1.2.

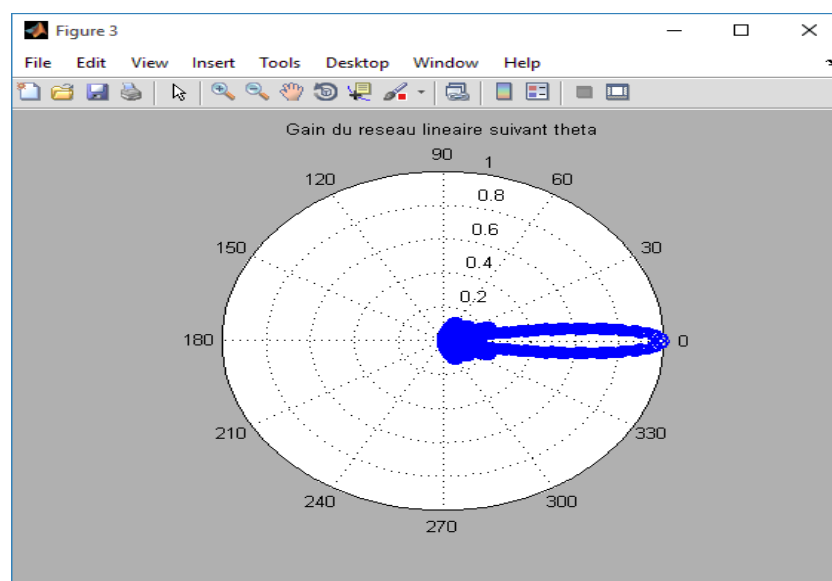


Figure IV- 3 du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire)

Chapitre 4 : Résultats de simulation

« La Figure IV-3 » représente le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) en fonction de theta les coordonnées polaires sont utilisées pour représenter le faisceau, l'angle theta est converti en radians ($\theta * \pi / 180$), le module du gain du réseau est représenté par des points bleus reliés par des lignes continues.

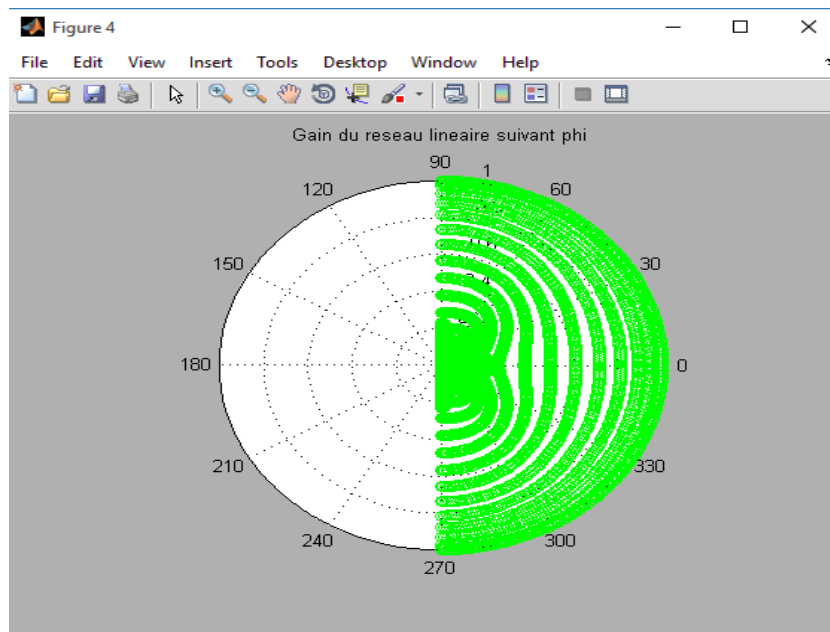


Figure IV- 4 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire)

La « Figure IV-4 » représente le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) en fonction de phi les coordonnées polaires sont utilisées pour représenter le faisceau, l'angle phi est converti en radians ($\phi * \pi / 180$), le module du gain du réseau est représenté par des points verts reliés par des lignes continues

Ces figures permettent de visualiser le gain du réseau dans différentes directions, à la fois en utilisant des graphiques cartésiens « Figure IV-1 et Figure IV-2 » et des graphiques polaires « Figure IV-3 et Figure IV-4 ».

IV.2.2 Avec adaptation

Dans ce cas on fait intervenir le vecteur W obtenu par l'algorithme adaptatif LMS qui contient les poids qui sont sur chaque antenne du réseau d'antennes

- Les figure obtenue **Pour $\theta_u = 50, \varphi_u = 70$**

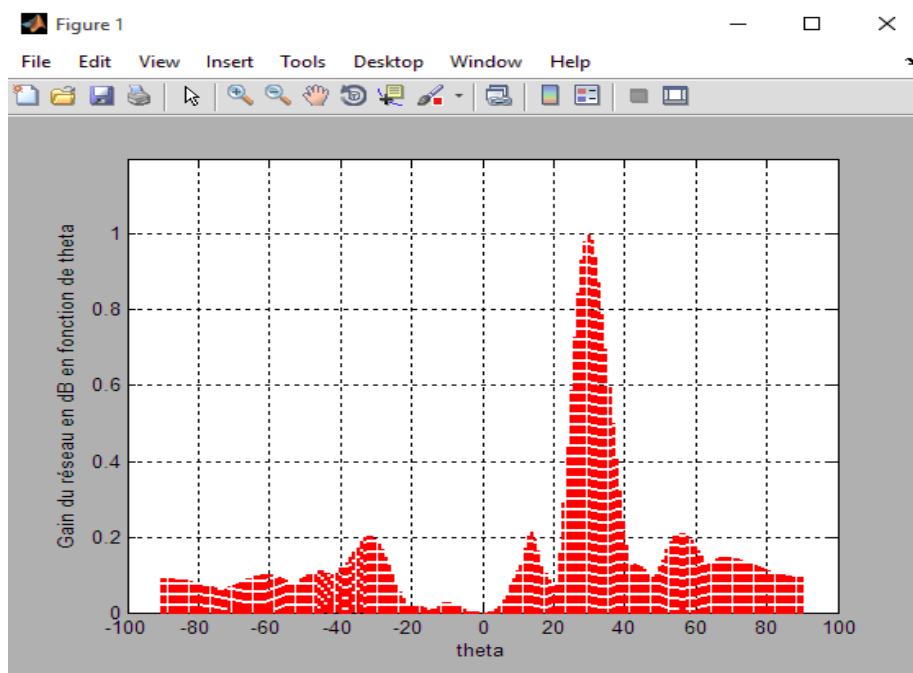


Figure IV- 5 Gain du réseau en fonction de theta

« La Figure IV-5 » représente le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ adapté suivant les angles θ et φ en fonction de theta gain du réseau en fonction de theta cette figure représente le gain du réseau en fonction de l'angle theta, l'axe x représente l'angle theta, qui varie de -90° à 90° , L'axe y représente le gain du réseau en décibels (dB), la courbe est tracée en rouge en utilisant des tirets.

La plage de l'axe x est définie de -100 à 100 pour inclure une marge autour des valeurs d'angle réelles, La plage de l'axe y est définie de 0 à 1.2 pour mieux visualiser la variation du gain.

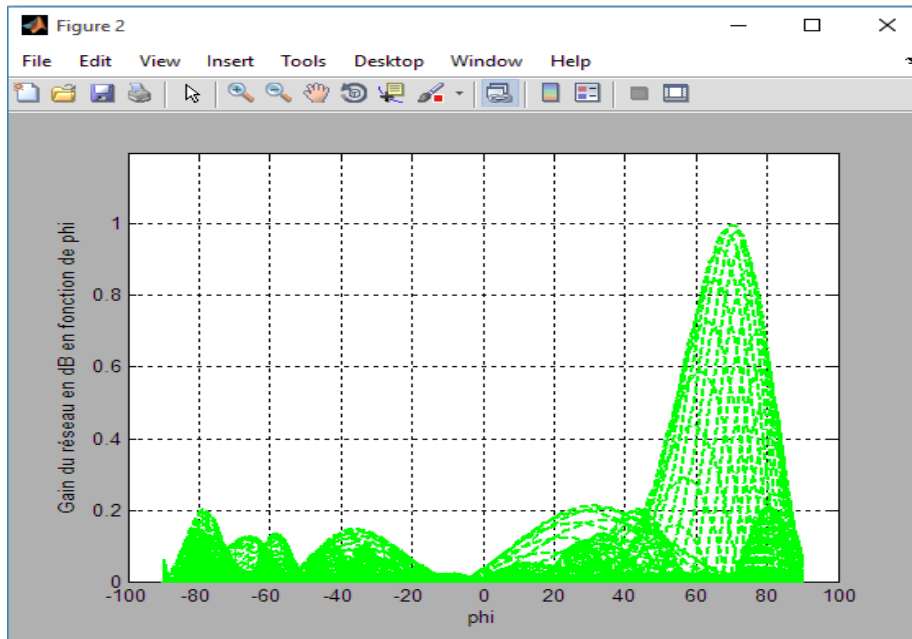


Figure IV- 6 Gain du réseau en fonction de phi

« La Figure IV-6 » représente le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ adapté suivant les angles θ et φ , en fonction de phi,

La plage de l'axe x est définie de -100 à 100 pour inclure une marge autour des valeurs d'angle réelles. la plage de l'axe y est définie de 0 à 1.2 pour mieux visualiser la variation du gain.

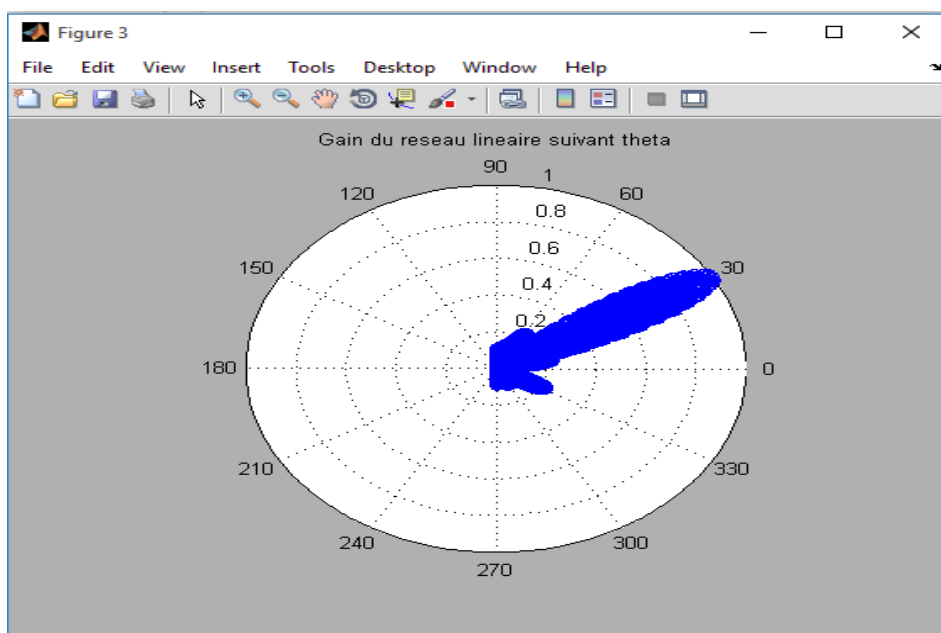


Figure IV- 7 Gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire)

« La Figure IV-7 » représente le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) adapté suivant les angles θ et φ , en fonction de theta Cette figure représente le gain du réseau linéaire en utilisant une visualisation polaire en fonction de l'angle theta .Les coordonnées polaires sont utilisées pour représenter le faisceau L'angle theta est converti en radians ($\theta * \pi / 180$) pour le tracé. le module du gain du réseau est représenté par des points bleus reliés par des lignes continues. Cette figure permet de visualiser le faisceau qui se dirige vers l'angle theta = 0 degré.

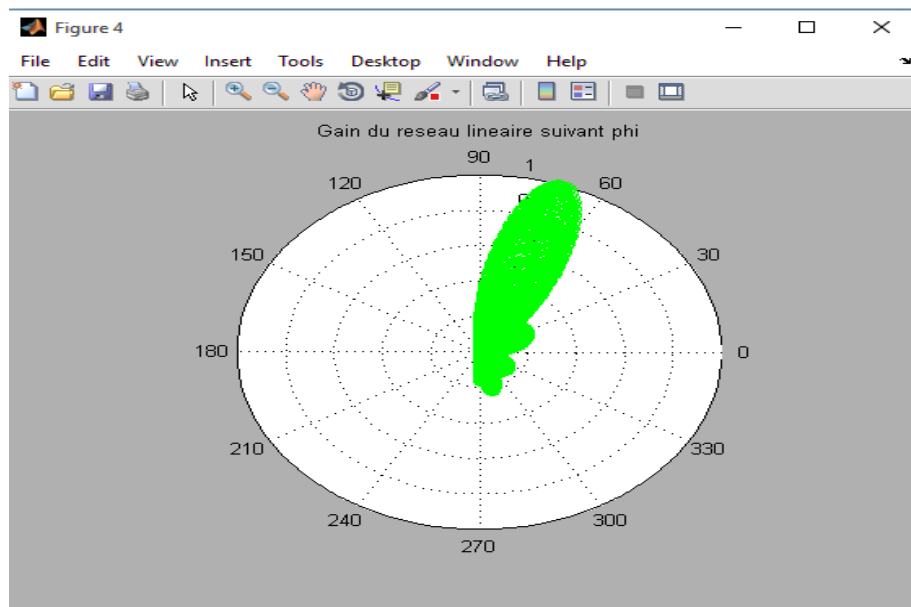


Figure IV- 8 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire)

« La Figure IV-8 » représente le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) adapté suivant les angles θ et φ , en fonction de phi

Cette figure représente le gain du réseau linéaire en utilisant une visualisation polaire en fonction de l'angle phi. Les coordonnées polaires sont utilisées pour représenter le faisceau. L'angle phi est converti en radians ($\varphi * \pi / 180$) pour le tracé. Le module du gain du réseau est représenté par des points verts reliés par des lignes continues. Cette figure permet de visualiser le faisceau qui se dirige vers l'angle phi = 0 degré.

Chapitre 4 : Résultats de simulation

Ces figures permettent de visualiser les caractéristiques du faisceau et le gain du réseau dans différentes directions, en tenant compte des paramètres spécifiés dans le programme.

➤ Pour $\theta_u = 10$, $\varphi_u = 20$

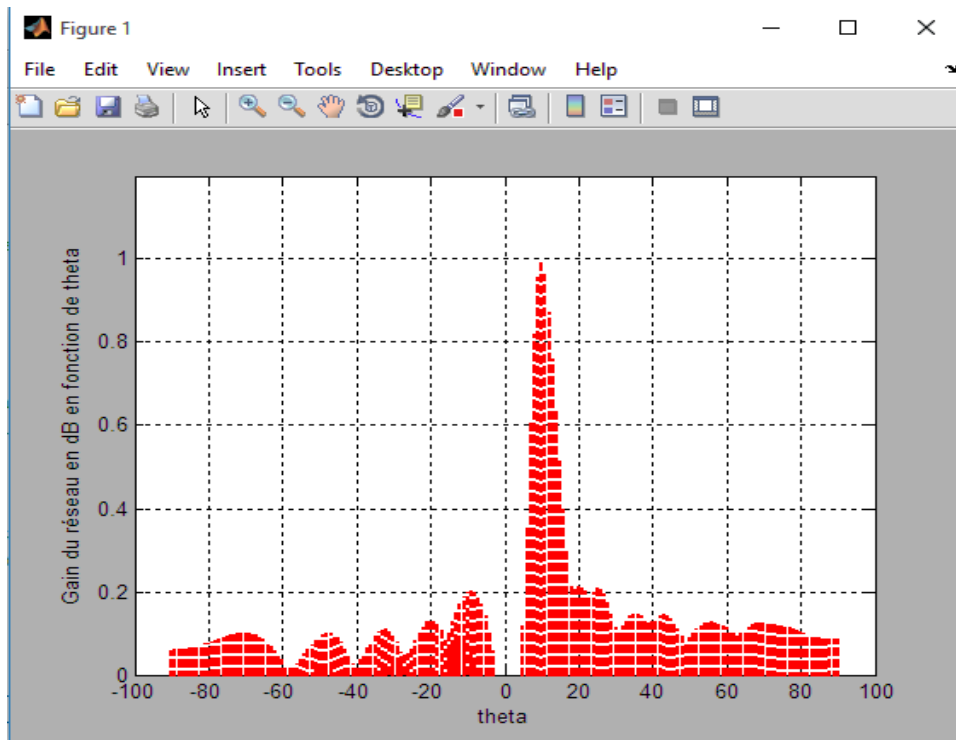


Figure IV- 9 Gain du réseau en fonction de theta

« La Figure IV-9 » représente le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ adapté suivant Les angles θ_u et φ_u , en fonction de theta

En changeant theta, le pic du gain du réseau se déplacera vers l'angle theta correspondant. Si augmentez theta, le pic se déplacera vers des angles plus élevés, et si diminuez theta, le pic se déplacera vers des angles plus bas. Cela permet de visualiser comment le gain du réseau varie en fonction de l'angle d'arrivée du signal utile.

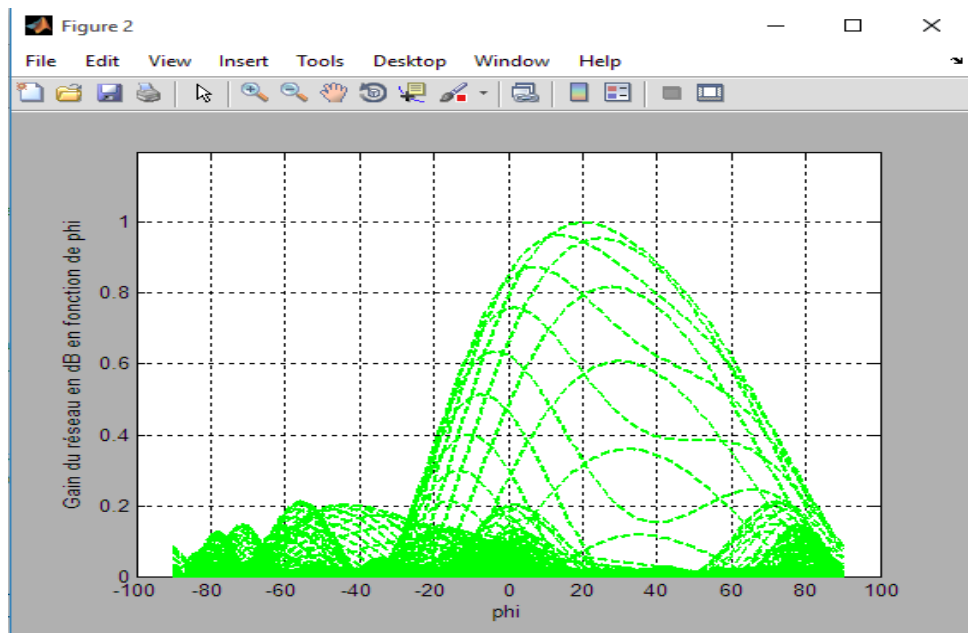


Figure IV- 10 Gain du réseau en fonction de phi

«La Figure IV-10 » représente le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ adapté suivant les angles θ_u et φ_u , en fonction de phi. En modifiant φ_u , le pic du gain du réseau se déplacera vers l'angle phi correspondant. Si vous augmentez φ_u , le pic se déplacera vers des angles plus élevés, et si vous diminuez φ_u , le pic se déplacera vers des angles plus bas. Cela permet de visualiser comment le gain du réseau varie en fonction de l'angle de déviation par rapport à l'axe y.

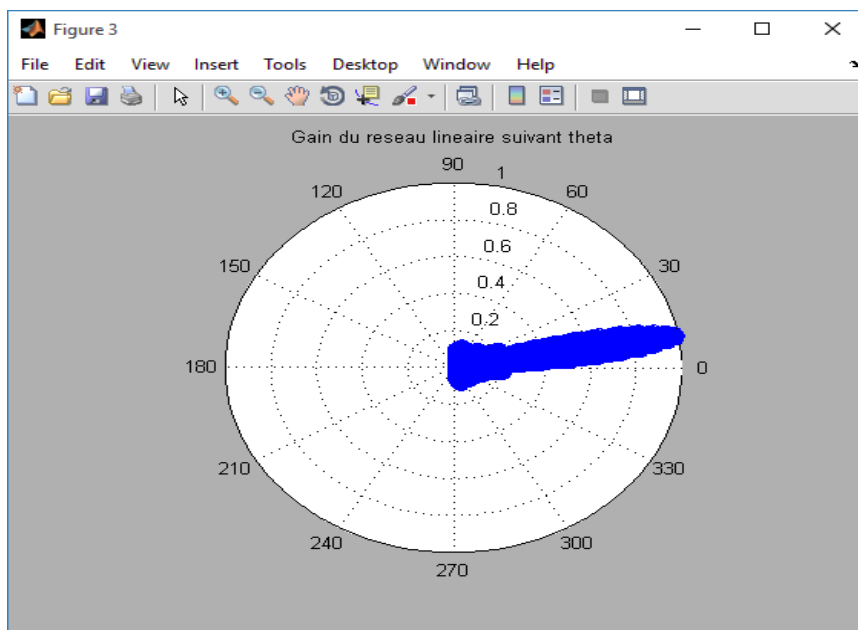


Figure IV- 11 Gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire)

« La Figure IV-11 » représente le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) adapté suivant les angles θ et φ , en fonction de theta en ajustant thetau, le faisceau représenté se dirigera vers l'angle theta correspondant. Si augmentez thetau, le faisceau sera dirigé vers des angles plus élevés, et si diminuez thetau, le faisceau sera dirigé vers des angles plus bas. Cela permet de visualiser la direction principale du faisceau émis par le réseau en fonction de l'angle theta.

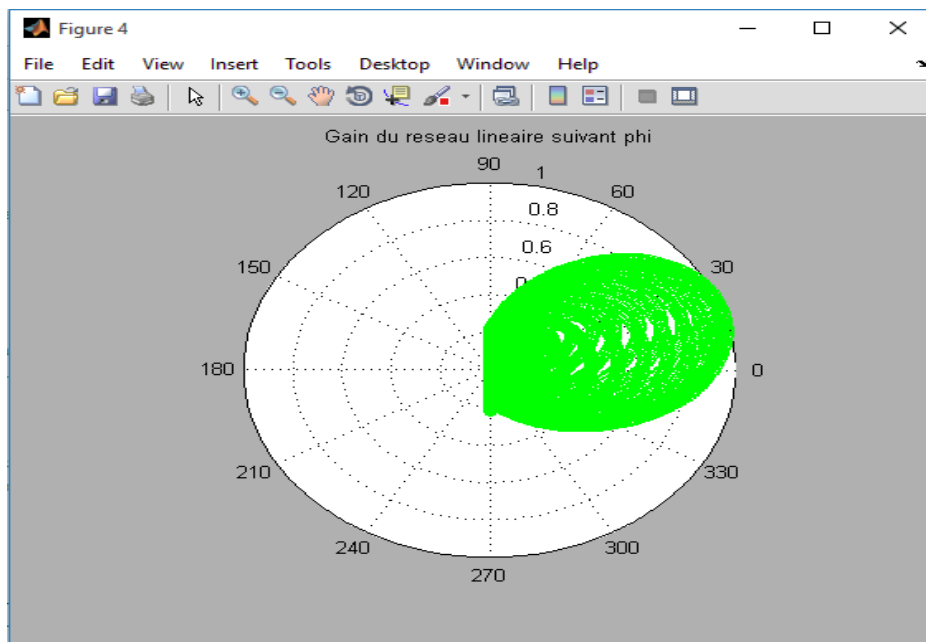


Figure IV- 12 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire)

« La Figure IV-12 » représente le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) adapté suivant les angles θ et φ , en fonction de phi en modifiant phiu, le faisceau représenté se dirigera vers l'angle phi correspondant. si augmentez phiu, le faisceau sera dirigé vers des angles plus élevés, et si vous diminuez phiu, le faisceau sera dirigé vers des angles plus bas. Cela permet de visualiser la direction principale du faisceau émis par le réseau en fonction de l'angle phi.

En ajustant les valeurs de thetau et phiu, vous pouvez orienter le faisceau du réseau dans différentes directions et observer comment cela modifie les figures obtenues, vous permettant ainsi d'étudier les caractéristiques de directivité et de focalisation du réseau d'antennes.

➤ Pour $\theta_u = 30, \varphi_u = 70$

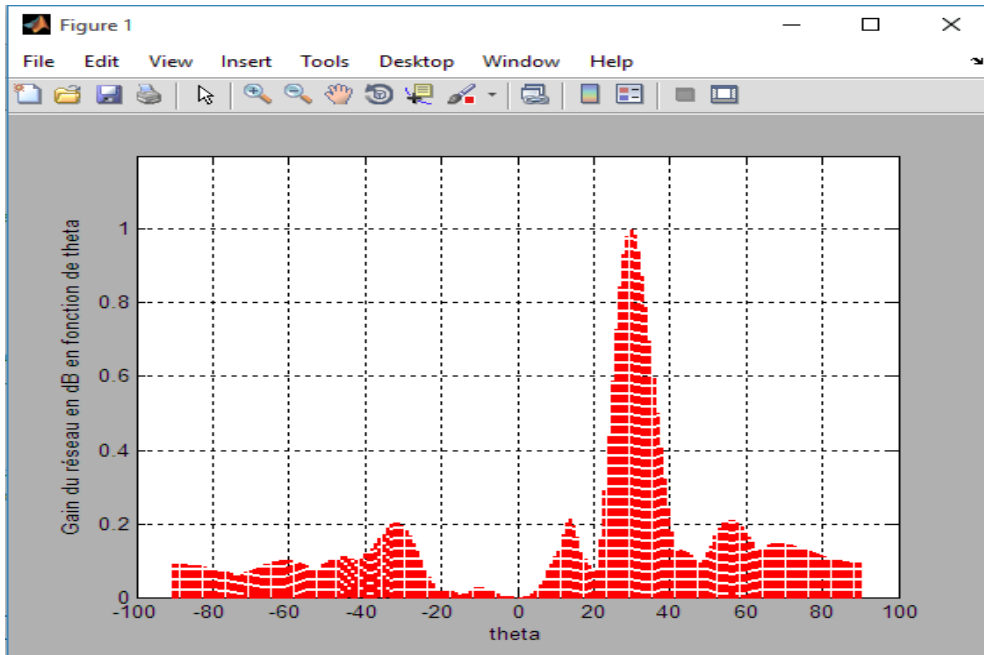


Figure IV- 13 Gain du réseau en fonction de theta

« La Figure IV-13 » représenté le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ adapté suivant Les angles θ_u et φ_u , en fonction de theta En changeant theta à 30, le pic du gain du réseau se déplacera vers cet angle theta spécifique. La plage d'affichage de l'axe x sera ajustée pour montrer le déplacement du pic. Cela signifie que le gain du réseau sera maximisé pour l'angle theta de 30 degrés.

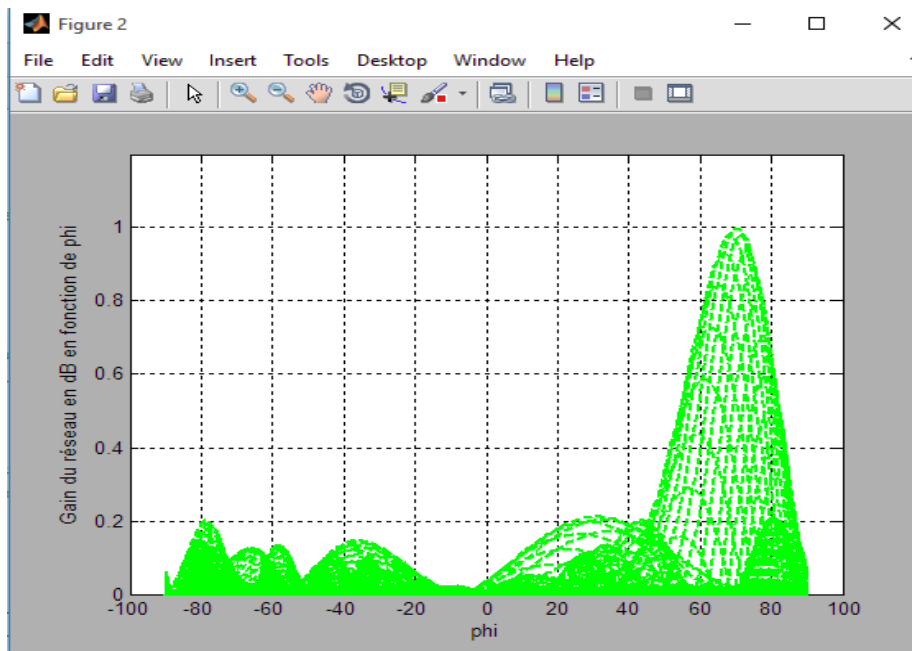


Figure IV- 14 Gain du réseau en fonction de phi

« La Figure 33 » représenté le module du facteur réseau $FR(\theta, \varphi)$ adapté suivant les angles θ_u et φ_u , en fonction de phi gain du réseau en fonction de phi : en modifiant phiu à 70, le pic du gain du réseau se déplacera vers cet angle phi spécifique. La plage d'affichage de l'axe x sera ajustée pour montrer le déplacement du pic. cela signifie que le gain du réseau sera maximisé pour l'angle phi de 70 degrés.

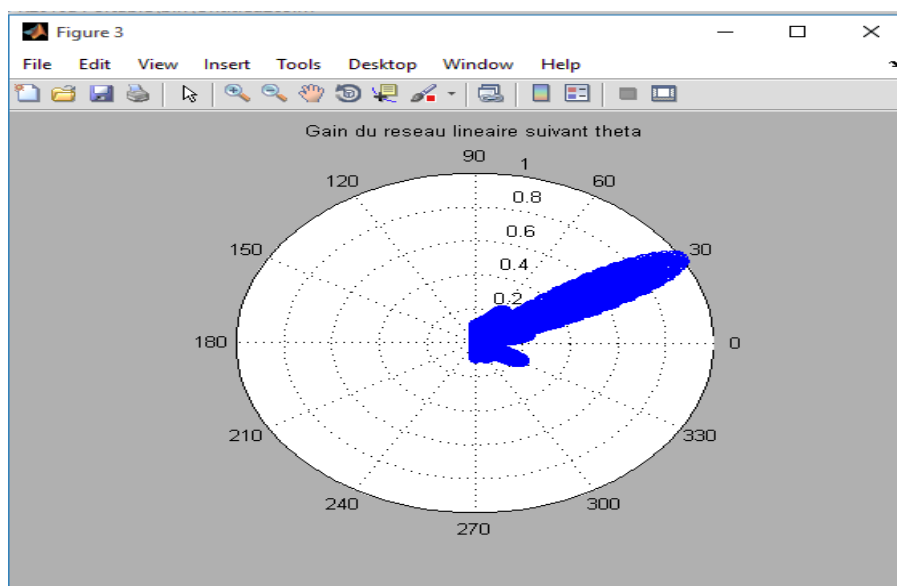


Figure IV- 15 Gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire)

« La Figure IV-15 » représenté le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) adapté suivant les angles θ_u et φ_u , en fonction de theta gain du réseau linéaire suivant theta (visualisation polaire) : En ajustant theta à 30, le faisceau représenté se dirigera vers l'angle theta de 30 degrés. La courbe polaire montrera l'amplitude du gain du réseau en fonction de l'angle theta, mettant en évidence la direction principale du faisceau.

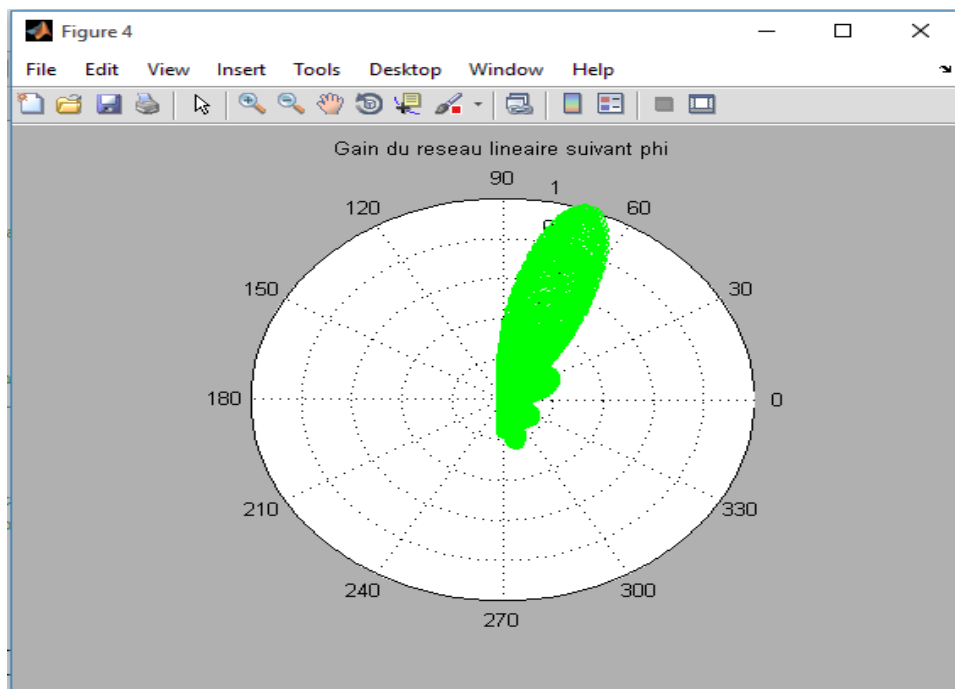


Figure IV- 16 Gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire)

« La Figure IV-16 » représentent le diagramme de rayonnement du module de FR (θ, φ) adapté suivant les angles θ_u et φ_u , une fois en fonction de phi gain du réseau linéaire suivant phi (visualisation polaire) : en modifiant phi à 70, le faisceau représenté se dirigera vers l'angle phi de 70 degrés. La courbe polaire montrera l'amplitude du gain du réseau en fonction de l'angle phi, mettant en évidence la direction principale du faisceau.

En résumé, en ajustant les valeurs de theta et phi, pouvez contrôler la direction principale du faisceau émis par le réseau d'antennes et observer comment cela affecte les figures obtenues, notamment le gain du réseau en fonction de theta et phi, ainsi que les visualisations polaires du faisceau.

IV.3 La différence entre tous les résultats obtenus

La différence dans l'effet des figures du programme dépend des valeurs utilisées pour les variables θ_u et ϕ_u . Ces variables contrôlent la direction du signal utile dans les calculs du gain du réseau.

Dans le programme que j'ai simulé, les valeurs par défaut de θ_u et ϕ_u étaient respectivement 10 et 20. Ces valeurs déterminent la direction du signal utile utilisée pour calculer le gain du réseau. En modifiant ces valeurs, vous pouvez ajuster la direction du faisceau du réseau et observer comment cela affecte les figures obtenues.

Dans le programme que j'ai simulé, les valeurs de θ_u et ϕ_u ont été modifiées pour être respectivement 30 et 70. Par conséquent, les figures obtenues dans ce programme représenteront le gain du réseau dans une direction différente de celles du premier programme. Les courbes tracées dans « la figure IV-13 et IV-14 » montreront comment le gain du réseau varie en fonction de ces nouvelles directions.

De plus, « les figures IV-15 et IV-16 », qui représentent le gain du réseau en fonction de θ et ϕ dans une visualisation polaire, montreront également le changement de la direction du faisceau principal du réseau. Vous pourrez observer comment le faisceau principal se déplace vers les nouvelles directions définies par θ_u et ϕ_u .

En résumé, la différence dans l'effet des figures réside dans le fait que les nouvelles valeurs de θ_u et ϕ_u modifient la direction du faisceau principal du réseau et donc l'apparence des courbes et la position du pic de gain. Cela permet d'étudier les caractéristiques de directivité du réseau d'antennes dans différentes directions.

IV.4 Conclusion

Les résultats obtenus à partir des programmes précédents ont permis d'explorer et d'analyser le comportement d'un réseau d'antennes en fonction de différents paramètres. Les figures générées ont donné une visualisation claire du gain du réseau en fonction de l'angle d'observation, de comprendre l'effet de la direction du signal utile sur la directivité du réseau.

En modifiant les valeurs des angles d'orientation du signal utile, nous avons pu observer comment le faisceau principal du réseau se déplace et se focalise dans différentes directions. Cela nous donne la possibilité d'ajuster la directivité du réseau pour répondre aux exigences spécifiques d'une application donnée, que ce soit dans le domaine des communications, des systèmes radar ou d'autres domaines liés aux antennes.

Les graphiques en 2D représentent le gain du réseau en fonction de l'angle d'observation dans Les plans horizontal et vertical, tandis que les graphiques polaires mettent en évidence le faisceau principal qui se dirige vers un angle spécifique. Ces représentations visuelles nous permettent de mieux comprendre le comportement du réseau dans différentes directions et d'optimiser sa performance.

En résumé, les résultats obtenus nous fournissent des informations précieuses sur la directivité et la focalisation des faisceaux dans un réseau d'antennes. Ils nous aident à prendre des décisions éclairées lors de la conception et de l'optimisation de réseaux d'antennes pour des applications spécifique.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, l'auto-adaptation par formation de faisceaux pour la détection multiutilisateurs est une technologie prometteuse appliquée aux systèmes de cinquième génération (5G). Elle offre des avantages significatifs en termes de capacité, de débit de données et d'efficacité spectrale. En utilisant des techniques avancées de formation de faisceaux, les réseaux 5G peuvent optimiser la transmission du signal et améliorer la qualité de service pour les utilisateurs multiples simultanément.

L'auto-adaptation par formation de faisceaux permet aux stations de base de diriger le signal radio directement vers les utilisateurs spécifiques, en évitant les interférences et en augmentant l'efficacité du spectre. Cette approche permet également d'optimiser la puissance du signal en fonction des besoins individuels des utilisateurs, ce qui se traduit par une meilleure expérience utilisateur et une utilisation plus efficace des ressources disponibles.

L'application de l'auto-adaptation par formation de faisceaux dans le contexte de la 5G est particulièrement pertinente en raison de l'augmentation de la densité d'utilisateurs et des exigences croissantes en matière de débit de données. En utilisant cette technologie, les opérateurs de télécommunications peuvent répondre à la demande croissante de connectivité haute débit, de la connectivité des objets à Internet (IoT) à la réalité virtuelle et augmentée, en offrant une meilleure couverture et des performances améliorées.

Cependant, il convient de noter que l'implémentation de l'auto-adaptation par formation de faisceaux peut présenter des défis techniques, notamment en termes de complexité du système, de consommation d'énergie et de gestion des interférences. Des recherches continues sont nécessaires pour surmonter ces défis et optimiser davantage cette technologie.

Nous avons vu au premier chapitre le principe d'une antenne intelligente ainsi que les réseaux d'antennes utilisant des algorithmes adaptatifs.

Le deuxième chapitre est dédié à la formation de faisceaux associée à ces algorithmes adaptatifs ainsi que leur fonctionnement.

Le troisième chapitre introduit le principe d'une chaîne de communication 5G partant de la source vers le destinataire via un canal Massive MIMO utilisant la formation de faisceaux.

Conclusion générale

En fin le dernier chapitre était consacré à la simulation de la chaine de communication 5G du précédant chapitre. Les résultats obtenus par des simulations sont largement suffisants et ont montré l'avantage apporté par la formation de faisceaux en dirigeant les faisceaux du réseau d'antennes vers le ou les utilisateurs d'intérêts.

Nous espérons dans l'avenir utilisé des algorithmes adaptatifs à base d'autres techniques comme l'intelligence artificielle et ainsi pouvoir faire une comparaison entre les résultats obtenus avec ces nouvelles technique et nos résultats actuels.

Bibliographie

- [1] A. Zaknich, «Adaptive algorithm,» From Wikipedia, the free encyclopedia, 15 11 2021. [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_algorithm.
- [2] Sara Smihly, Mounir RIFI, «Utilisation des antennes adaptatives dans les systèmes RADAR de poursuite,» 2019. [En ligne]. Available: <https://revues.imist.ma/index.php/RMT/article/download/16965/9596>.
- [3] T. S. KOUIDRI Yassine, «Etude des Antennes MIMO massives à Formation de Faisceaux,» univ-tlemcen.dz, 6 7 2021. [En ligne]. Available: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/16785>.
- [4] A. F. Anyone, «adaptive algorithm,» AI For Anyone, [En ligne]. Available: <https://www.aiforanyone.org/glossary/adaptive-algorithm>.
- [5] M. Benazzouz, «COMPARAISON DES PERFORMANCES DES ALGORITHMES DE FORMATION ADAPTATIFS AVEUGLES (LMS, RLS) ET,» 2010/2011. [En ligne].
- [6] K. Mabrouk, «archive ouverte HAL,» kias mabro thèse kais mabrouk, 12 12 2008. [En ligne]. Available: <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00409794/document>.
- [7] RIHAB, «HUAWEI,» Qu'est-ce que la formation de faisceaux (beamforming)?comment le beamforming?, 30 9 2021. [En ligne]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/fr/qu-est-ce-que-la-formation-de-faisceaux-beamforming-comment-fonctionne-le-beamforming/thread/778639-100377>.
- [8] M. R. T. roméo, «université d'antananarivo,» ETUDES DE PERFORMANCES DES TECHNIQUES, 24 5 2019. [En ligne]. Available: http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/andrianomenjanaharySantatsoaO_ESPA_MAST_19.pdf.

- [9] B. I. /. B. A. f. Sadia, «lagh-univ.dz,» séparation de parole adaptative basée sur la technique , 2021. [En ligne]. Available: <http://dspace.lagh-univ.dz/handle/123456789/2993>.
- [10] I. Chahbi, «semantic scholar,» exploitation des antennes multiples pour l'optimisation dans les réseaux sans fil, 25 2 2011. [En ligne]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Exploitation-des-antennes-multiples-pour-dans-les-Chahbi/b2f7699143d35c2ee6703db9d0ad778bd70e35d3>.
- [11] S. K. /. M. Nouara, «université de bouira,» 2018/2019. [En ligne]. Available: <http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/10334/1/M%C3%A9moire.pdf>.
- [12] L. B. /. M. Latifa, «Etude l'association des antennes MIMO à Maximisation du,» theses-algerie.com, 6 2015. [En ligne]. Available: <https://www.theses-algerie.com/3209524865234502/memoire-de-master/universite-abou-bekr-belkaid---tlemcen/etude-l-association-des-antennes-mimo-%C3%A0-maximisation-du-rapport-signal-sur-bruit-avec-la-technique-multi-porteuses-ofdm>.