



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira –

Faculté des sciences et sciences appliquées

Département de génie électrique

Mémoire de fin d'études en vue de

L'obtention du diplôme :

MASTER

Domaine : Science et Technologie

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Thème

**Etude de la diversité d'espace et de fréquence dans
les transmissions sans fils**

Réaliser par :

- Bouchouka Nourdine
- Bousbaine Smail

Encadré par :

Dr. Boucenna Mohamed Lamine

2017/2018

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions le Dieu, notre créateur de nos avoirs donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste. Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail. Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance. Nous vous remercions pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail et pour vos précieux conseils et remarques. Nous remercions également Monsieur Mouhcub Moussa pour son aide. Finalement, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenu et à tout ce qui participe de réaliser ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

Dédicaces

Ce travail modeste est dédié :

à ma chère mère ;

à mon cher père ;

*à tous mes proches de la famille Bouchouka, et plus
particulièrement, mes sœurs et mes frères tout à son
nom ;*

*À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université
de Bouira ;*

*Et à tout ce qui ont enseigné moi au long de ma vie
scolaire.*

Nourdine

Dédicaces

Dédicaces Ce travail modeste est dédié :

à ma chère mère ;

à mon cher père ;

à tous mes proches de la famille Bousbaine, et plus particulièrement, mes sœurs et mes frères tout à son nom ;

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de Bouira ;

Et à tout ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire.

Smaïl

Résumé :

Les transmissions sans fil des données sont sujettes à des dégradations ou des perturbations de la qualité de l'information émise. La technique de la diversité est parmi les solutions proposées pour améliorer la qualité de la transmission et limiter la perturbation de signal et assurer une qualité acceptable de la liaison.

La diversité se figure en plusieurs architectures et formes, nous citons en particulier la diversité de fréquence et la diversité d'espace qui sont très utilisées dans la pratique grâce à leur efficacité dans les liaisons en faisceau hertzienne.

Dans notre mémoire nous avons étudié les différentes caractéristiques des systèmes de transmission en diversité avec une étude comparative entre les différentes architectures en termes de capacité et gain de transmission.

ملخص :

تتعرض الإرسالات اللاسلكية للبيانات لإعاقات أو اضطرابات في جودة المعلومات المرسلّة. وجد الباحثون حلوًا ما يسمى بالتنوع لتحسين جودة الإرسال و الحد من انقطاع الإشارة و ضمان جودة مقبولة للرابط. ومن بين هذه التنوعات نجد تنوع الترددات و التنوع المكاني الذي يتم استخدامه على نطاق واسع في السنوات الأخيرة بفضل الكفاءة العالية لهذه التقنية و مساهمتها في حلول تداخل الوصلة الراديوية. لقد قمنا في مذكرتنا بتعريف الخصائص المختلفة لأنظمة نقل التنوع . وقد أجرينا دراسة مقارنة بين القدرات المختلفة لهذه الأنظمة.

Abstract :

Wireless data transmissions suffer from signal deterioration and disturbances which weaken the transmission quality. For that many solutions are presented literature to improve the transmission quality and to avoid signal deterioration. The diversity is one of these solutions based on different system architectures especially frequency and space diversity.

Our study is concentrated on some characteristics of diversity like capacity and transmitter gain, when we present a comparative study between different diversity systems.

Introduction générale	1
Chapitre I : Les phénomènes de propagation hertzienne	
I.1 Introduction	3
I.2 Faisceau Hertiens	3
I.2.1 Liaison Hertzienne.....	3
I.2.2 Caractéristiques des liaisons FH.....	3
I.2.3 Les canaux de transmission	4
I.3 Phénomènes de propagation Hertzienne	5
I.3.1 Propagation ionosphérique (réflexion)	5
I.3.1.1 Exemple de propagation ionosphérique	5
I.3.1.2 Avantages et Inconvénients de la propagation ionosphérique	5
I.3.2 La propagation par diffraction troposphérique	6
I.4 La Diversité	7
I.4.1 Principe de la diversité	8
I.4.2 Types de diversités	8
I.4.2.1 Diversité spatiale.....	8
I.4.2.2 Diversité de polarisation	9
I.4.2.3 Diversité angulaire	9
I.4.2.4 Diversité fréquentielle.....	9
I.4.2.5 Diversité de parcours	10
I.4.2.6 Diversité temporelle.....	10
I.4.2.7 Diversité spatio-temporelle	10
I.4.2.8 Diversité transformée	10
I.4.3 Type de combinaisons de diversité.....	11
I.4.3.1 Combinaison par sélection	11
I.4.3.2 Combinaison par rapport maximal.....	11
I.4.3.3 Combinaison par gain égal.....	12
I.5 Performance de la transmission en diversité.....	12
I.5.1 Efficacité totale.....	12
I.5.2 Gain Effectif Moyen (MEG)	13
I.5.3 Gain de Diversité (DG) et Gain de Diversité du système (DSG).....	14
I.6 Conclusion.....	14

Chapitre II: Les antennes MIMO

II.1 Introduction.....	16
II.2 Les techniques MIMO	16
II.3 Les principes du MIMO.....	16
II.4 Architecture des MIMO.....	17
II.5 Les caractéristiques des MIMO	18
II.6 Étude de la capacité d'un canal en diversité.....	19
II.6.1 Capacité du canal SISO	19
II.6.2 Capacité du canal SIMO.....	20
II.6.3 Capacité du canal MIMO	21
II.7 Exemples pratiques des diversités dans les liaisons FH.....	22
II.7.1 Diversité d'espace	22
II.7.2 Diversité de polarisation.....	22
II.7.2.1 Configuration du lien	23
II.7.2.2 Test de la diversité.....	25
II.7.2.3 Résultats	26
II.7.2.4 Résultats et discussions	27
II.8 conclusion	27

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Introduction	29
III.2 Etude et discussion	29
III.3 Gain en diversité.....	33
III.4 Conclusion.....	34
Conclusion générale	35

Figure I.1 : la propagation dans l'environnement terrestre	5
Figure I.2 : Liaison par diffusion troposphérique	6
Figure I.3 : Principe de la diversité à la réception	8
Figure I.4 : Principe diversité d'espace	9
Figure I.5 : Principe diversité de fréquence.....	10
Figure I.6 : Schéma général du processus de combinaison	11
Figure I.7 : Combinaison par gain égal.....	12
Figure II.1 : Système MIMO.....	17
Figure II.2 : Architecture de base des SISO, MISO, SIMO et MIMO.....	18
Figure II.3 : Système SISO	19
Figure II.4 : Système SIMO.....	20
Figure II.5 : Système MIMO.....	21
Figure II.6 : Deux antennes installées sur chaque pylone pour établir une liaison FH en diversité d'espace entre deux sites GSM.....	22
Figure II.7 : Deux antennes installées en diversité de polarisation	23
Figure II.8 : Lien en polarisation verticale (V)	23
Figure II.9 : Configuration du lien (Polarisation V).....	24
Figure II.10 : Lien en polarisation horizontale (H)	24
Figure II.11 : Configuration du lien (Polarisation H).....	25
Figure II.12 : TX (NE, V): Off et RX (FE, V)	25
Figure II.13 : TX (NE, V): Off et lien H	26
Figure II.14 : NE,H: Off, RX FE H.....	26
Figure II.15 : TX NE,H : Off et RX FE,V	27
Figure III.1 : Capacité de canal SISO	30
Figure III.2 : Capacité de canal SIMO	30
Figure III.3 : Capacité de canal MIMO.....	31
Figure III.4 : Capacité de système MIMO en fonction du nombre d'antennes ($N_T=N_R$).....	32
Figure III.5 : Comparaison entre les capacité SIMO, SISO et MIMO	32
Figure III.6 : Gain en diversité	34

Depuis l'établissement de la première liaison sans fil au cours du dix-huitième siècle, le monde de la télécommunication ne cesse plus de se développer en offrant à l'humanité des moyens de communications plus adéquates et plus rapides. En effet ces développements sont faits pour améliorer la qualité de la transmission et limiter les différentes perturbations du signal. En réalité, l'environnement externe avec toutes ses conditions difficiles peut nuire à la transmission et engendre par conséquent plusieurs phénomènes perturbateurs du signal transmis. L'évanouissement, l'interférence, la déconnexion, la réflexion multiple et d'autres phénomènes perturbent énormément le signal et affectent la qualité de la liaison. Pour cela, diverses solutions sont présentées au cours du temps par les chercheurs pour améliorer la transmission et limiter au maximum l'effet des différentes perturbations. La diversité est une technique employée au niveau des systèmes d'émission et de réception dont l'objectif est d'assurer la transmission avec une qualité plus acceptable. Cette technique se base sur un contrôle étroit de quelques paramètres des systèmes d'émission et de réception comme la fréquence, l'espace, la polarisation et d'autres.

Dans notre mémoire nous allons commencer dans le premier chapitre par introduire cette technique où nous exposons leurs différents types avec les caractéristiques de chacun.

Dans le deuxième chapitre nous allons définir les antennes MIMO (Multiple input Multiple output) et toutes ses caractéristiques et capacité ainsi que les architectures SISO (Single input single output) et SIMO (Single input Multiple output). Nous terminons ce chapitre par la présentation d'un exemple pratique des diversités utilisées dans les liaisons hertziennes.

Dans le troisième chapitre on rassemble toutes les études faites sur la capacité des systèmes MIMO, SISO et SIMO et aussi sur le gain en diversité de chacun de ces systèmes.

Chapitre I

I.1 Introduction

Les systèmes radio sont des supports de transmission qui utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement faisceaux hertzien FH. Dont un faisceau hertzien est un système de transmission numérique ou analogique, entre deux points fixes par ondes électromagnétique de l'espace. Les ondes radio sont transmises en faisceaux sur une fréquence porteuse dans la gamme des micro-ondes (généralement entre 1 et 40 GHz) par le biais d'antennes directives. Les antennes utilisées, le plus souvent des paraboles, ont une directivité élevée. Elles sont installées sur des emplacements convenables afin de couvrir de longues distances (visibilité directe quasi optique). Malgré de grandes largeurs de bande, une bonne directivité des antennes permet une utilisation économe du spectre des fréquences à disposition.

I.2 Faisceaux Hertziens

Un Faisceau Hertziens (FH) est une liaison radio spécialisée, composée de 2 antennes émettrices-réceptrices directionnelles pointées exactement l'une vers l'autre, sans obstacle intercalé. La propagation du signal est faite dans l'aire (espace libre) en employant des bandes de fréquences particulières qui conviennent pour chaque application de la liaison voulant établir. Dans les réseaux cellulaires par exemple, pour établir une liaison entre deux stations (antennes) séparées d'une distance importante avec l'existence des obstacles comme le cas lorsque le BSC (Base Station Contrôler) est très éloigné du MSC (Mobile Switching Center), il peut arriver que la liaison soit assurée par plusieurs couples de FH. Un FH dans les réseaux PDH(La hiérarchie numérique plésiochrone) a souvent un débit de 2 Mbit/s, il est donc nécessaire sur certains sites à capacité importante d'en utiliser plusieurs.

I.2.1 Liaison Hertzienne

Est composée d'une ou plusieurs liaisons FH. Comme le cas d'un ensemble des BTS (Base Tranceiver Station) d'une certaine zone géographique qui sont connectées à une BSC qui lui-même relié à un commutateur appelé MSC, lequel est connecté au réseau téléphonique, ainsi qu'aux réseaux de téléphonie mobile des opérateurs concurrents.

I.2.2 Caractéristiques des liaisons FH

L'avantage principal des liaisons hertziennes et qu'elles ne nécessitent pas de support physique entre l'émetteur et le récepteur de l'information .C'est le moyen de communication idéal pour les liaisons avec les objets mobiles: piétons, automobiles, bateaux, trains, avions, fusées, satellites, etc [1]. Les liaisons hertziennes sont intéressantes dans le cas de la diffusion (radio diffusion et télédiffusion), où l'on a un émetteur et plusieurs récepteurs. En effet pour couvrir une ville, il est plus simple et moins cher d'installer un émetteur et une antenne chez chaque particulier, plutôt que de relier par câble chaque particulier.

Les avantages principaux des liaisons hertziennes (par rapport aux autres supports) sont liés à l'absence de support physique ; Ce problème n'existe pas par rapport à une liaison filaire. Dans le cas des liaisons hertziennes, ceci impose une gestion stricte des fréquences : Chaque système de transmission radio dispose d'une certaine bande de fréquence qui lui est allouée [1]. Aussi, on s'inquiète à la confidentialité de transmission entre l'émetteur et le récepteur, lorsque n'importe quel «espion» peut intercepter les communications qui sont transmises en espace libre. Cet inconvénient est corrigé par l'utilisation de cryptage de l'information entre l'émetteur et le récepteur.

Pour transmettre un signal par liaison hertzienne, une solution simple pourrait être de transmettre le signal directement, en reliant directement le générateur d'information à une antenne. On réaliserait alors ce qu'on appelle une liaison en bande de base .Ceci n'est jamais réalisé en pratique. En effet, les signaux transmis généralement sont des signaux audio, vidéo, qui ont un spectre basse fréquence et assez étendu. Et qu'ils ne peuvent pas donc être transmis directement pour les raisons suivantes:

- ✓ le canal hertzien a une atténuation qui varie fortement avec la fréquence et coupe les basses fréquences [1].
- ✓ Les antennes devraient avoir des dimensions gigantesques pour avoir des performances honorables (plus la fréquence est haute et plus les antennes sont petites).
- ✓ Une fois qu'un générateur émettrait, il perturberait toutes les autres liaisons.

C'est pour ces raisons que les liaisons hertziennes sont réalisées à des fréquences élevées de telle manière que la bande occupée par le message à transmettre soit très inférieure à la fréquence de l'onde porteuse.

I.2.3 Les canaux de transmission

Un canal de propagation est un support physique permettant de transmettre une information entre un émetteur et un récepteur. Généralement ces supports sont classés en deux catégories: Les supports électromagnétiques transmettent l'information à l'aide d'un champ électrique et magnétique sur des média guidés comme les paires torsadées, micro-ruban et la fibre optique, ou non-guidés comme l'atmosphère, le vide ou un diélectrique. Les supports acoustiques propagent l'information de façon mécanique par le déplacement des molécules sur des médias de type air ou eau.

Suivant le type de médium (canal), l'information peut avoir une vitesse de propagation différente, ainsi la vitesse d'une onde acoustique est de 300 m/s alors que celle de l'onde électromagnétique est de 300000×10^3 m/s dans le vide où l'air. Dans cette partie, nous nous intéressons au canal de propagation d'ondes électromagnétique dans l'atmosphère. Nous allons décrire les phénomènes perturbant une onde électromagnétique.

I.3 Phénomènes de propagation Hertzienne

I.3.1 Propagation ionosphérique (réflexion)

Les couches ionisées de l'atmosphère, entre 80 et 500 km d'altitude, réfléchissent les ondes et les renvoient sur terre ou sur mer. La propagation ionosphérique permet des communications radio à grande distance. Les ondes se réfléchissent sur les couches ionisées situées l'une vers 100 km d'altitude (couche E) et l'autre entre 200 et 350 km (couche F). Par une succession de réflexions sur l'ionosphère et sur la terre ou la mer, les ondes peuvent parcourir des distances jusqu'à 40.000 km [2].

La propagation ionosphérique concerne les fréquences du spectre radioélectrique inférieures à 30.000 KHz et dépend de multiples facteurs dont le moment dans la journée, la saison, et l'activité solaire (cycle de 11 ans). La première couche (couche D) est très dense dans la journée, ne réfléchit pas les ondes mais atténue les fréquences basses.

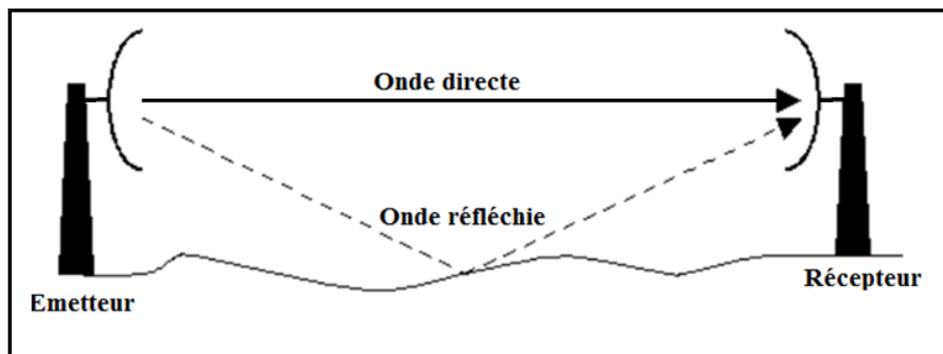


Figure I.1 la propagation dans l'environnement terrestre.

La réflexion peut se faire sur la terre, sur la mer, mais parfois aussi sur les hautes couches de l'atmosphère (ionosphère).

I.3.1.1 Exemple de propagation ionosphérique

Un exemple des propagations ionosphériques sont : La radiodiffusion en ondes courtes, qui couvre de grands pays (Afrique, Amérique du Sud, Australie, ...), des continents entiers ou l'ensemble du globe (radiodiffusion intercontinentale). Aussi, le trafic radio aéronautique, maritime et du service amateur.

I.3.1.2 Avantages et Inconvénients de la propagation ionosphérique

Il est possible de communiquer avec n'importe quel autre point de la surface terrestre en choisissant convenablement la puissance, la fréquence et le type d'antenne. En effet l'onde peut être réfléchi plusieurs fois et même faire le tour de la terre [3]. Cependant, Ce monde de propagation est moins fiable que les autres. De nombreux phénomènes peuvent faire varier l'intensité du signal reçu. C'est ce qu'on appelle l'évanouissement des ondes. Cet évanouissement est dû à des interférences entre ondes arrivant par différents chemins après réflexions sur les couches dont la hauteur et la composition varient au cours

du temps (variations lentes et irrégulières). Pour minimiser l'évanouissement, on a parfois recours aux techniques de diversité spatiale ou fréquentielle :

- **La diversité spatiale** : on place deux antennes sur chaque site; on émet simultanément avec les deux antennes d'émission et on choisit à chaque instant l'antenne de réception qui reçoit le plus grand signal. L'évanouissement n'affectera pas alors simultanément les quatre canaux possibles de transmission.
- **La diversité fréquentielle** : on n'utilise qu'une antenne par site, mais on travaille à deux fréquences.

I.3.2 La propagation par diffraction troposphérique

C'est, comme la propagation ionosphérique, un moyen de communiquer avec un correspondant au-delà de l'axe optique : si l'on pointe deux antennes très directives de façon à ce que leurs faisceaux se coupent à mi-chemin entre elles, et que l'une émet un signal puissant, l'autre antenne recevra une (très) petite partie de l'énergie émise, qui aura été diffractée par des particules dans la troposphère [3].

Les fréquences les plus appropriées pour ce mode de transmission se situent vers 900, 2000 et 5000Mhz, mais même dans ces gammes de fréquences, l'énergie captée est extrêmement faible, ce qui suppose donc des émetteurs très puissants, des antennes d'émission et de réception très directives et des récepteurs très sensibles. Les applications se concentrent surtout dans le domaine des communications à portée moyenne (300 à 500 km) à la place de faisceaux hertziens ou de câbles coaxiaux. Pour combattre l'évanouissement, on utilise souvent la diversité spatiale.

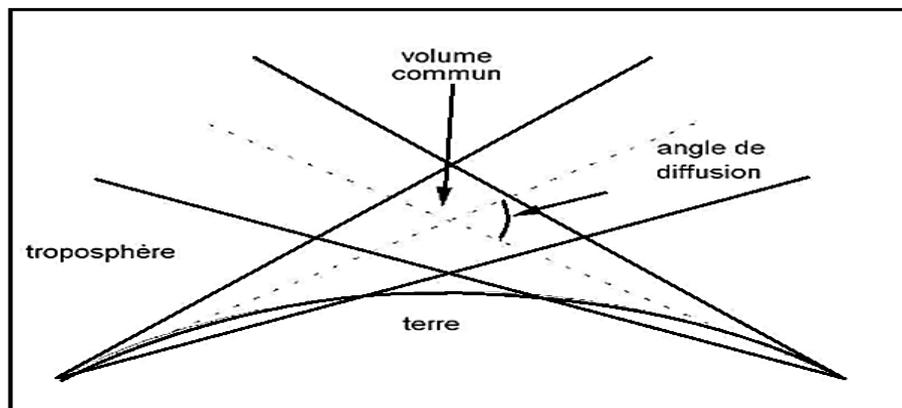


Figure I.2 Liaison par diffusion troposphérique.

I.4 La Diversité

La puissance d'un signal RF(Radio Fréquence) transmis entre deux antennes est atténuée à travers l'espace, ce qui peut affecter considérablement les performances en réception. Cette atténuation de la puissance entre l'émetteur et le récepteur est due au plusieurs phénomènes [4] parmi lesquels on peut citer :

- L'affaiblissement de parcours ou *slow fading* qui caractérise l'affaiblissement que subit une onde lorsqu'elle parcourt comme par exemple la distance entre la station de base (émetteur) et le terminal portatif (récepteur). Cet affaiblissement est dû non seulement à la dispersion de la puissance mais également aux obstacles rencontrés sur le chemin (immeubles, montagnes, ...). Donc, plus on s'éloigne de l'antenne émettrice, plus la puissance reçue est faible.

- L'évanouissement rapide ou *fast fading* qui est une atténuation variant entre une valeur maximale et minimale d'une façon irrégulière. L'utilisateur se déplace dans des zones en rencontrant des obstacles de tailles diverses ; comme des montagnes, immeubles ou tunnels. Ces derniers peuvent complètement atténuer le signal. Les conséquences de tels effets d'ombragement dépendent de la taille de l'obstacle et de la distance, la force du signal reçue variera inévitablement. Ce type d'évanouissements est appelé *shadow fading*. Les effets du *shadow fading* peuvent être minimisés grâce à une planification adéquate de la structure du réseau comme la solution de mettre en place la station de base dans un point le plus haut possible.

Cependant, ce n'est pas le *shadow fading* qui est le paramètre le plus imprévisible sur l'atténuation de la puissance. Le fading de Raleigh (*Rayleigh fading*), qui est une autre sorte d'évanouissement, entraîne des variations irrégulières du signal qui sont très problématiques à surmonter [4]. Ainsi, l'onde qui se propage peut suivre divers trajets de telles sortes que différentes copies déphasées du même signal peuvent arriver au récepteur avec un effet cumulatif ou soustractif. Ce phénomène est à l'origine de variations continues et imprévisibles des phases des signaux suivant le temps, entraînant des évanouissements répétitifs. Le *Rayleigh fading* est plus perceptible dans les zones urbaines. Pour éviter ce problème, une technique de réception spéciale appelée combinaison de récepteurs multiples mais plus connu sous le nom de diversité est envisageable.

La diversité est une technique permettant de combattre les interférences et les évanouissements pouvant survenir dans un canal de communications lors d'une transmission d'un signal. Le principe de base de la diversité est que le récepteur doit disposer de plusieurs versions ou sources du signal transmis, reçues sur des canaux indépendants. Si les deux signaux sont indépendants, il y a alors peu de chance qu'ils s'évanouissent au même moment. Nous voyons bien que le signal combiné possède un SNR(rapport signal sur bruit) moyen supérieur comparé à celui reçu par chacune des antennes, pour améliorer la qualité de la transmission et rendre les évanouissements moins importants.

Afin de réaliser une bonne diversité ; il faudra une bonne combinaison d'antennes pour avoir des signaux à évanouissement indépendants. Ainsi, une bonne technique de combinaison de signaux permettant de maximiser le SNR moyen à la sortie. (Figure I.3)

I.4.1 Principe de la diversité

La diversité [5] [6] est une technique utilisée dans les systèmes de transmission sans fil pour combattre l'évanouissement à petite échelle causé par les Multi-trajets. En effet, si plusieurs répliques de l'information sont reçues par des liaisons dont les évanouissements respectifs sont indépendants les uns des autres, il y a une très forte probabilité pour que l'une de ces liaisons au moins ne subisse pas de forte atténuation, augmentant ainsi la capacité ou la fiabilité de la liaison et la couverture des systèmes radio.

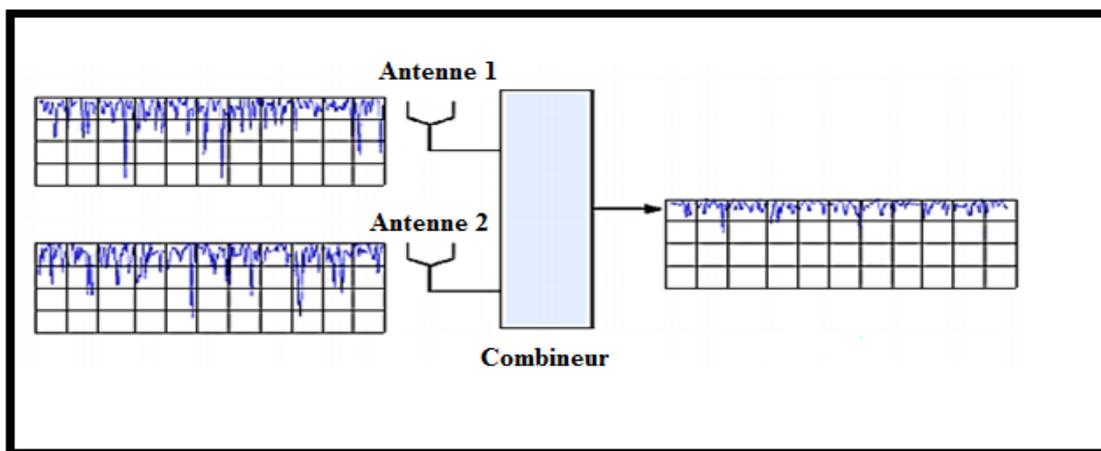


Figure I.3 Principe de la diversité à la réception.

I.4.2 Types de diversités

Il existe plusieurs types de diversité exploitable pour améliorer les performances d'un système de communication sans fil ; Ces techniques pourront être utilisées simultanément à travers des différents procédés de combinaison.

I.4.2.1 Diversité spatiale

La diversité spatiale, aussi connue sous le nom de diversité d'antenne, ou diversité matricielle est l'une des techniques les plus anciennes. Elle est facile d'implémenter et ne requière pas de ressources fréquentielles supplémentaires. L'objectif est d'avoir plusieurs antennes séparées d'une distance suffisante ($d > \lambda / 2$) pour avoir une séparation des canaux .La distance nécessaire dépend grandement de l'environnement, de l'antenne elle-même, ses dimensions, etc [7].

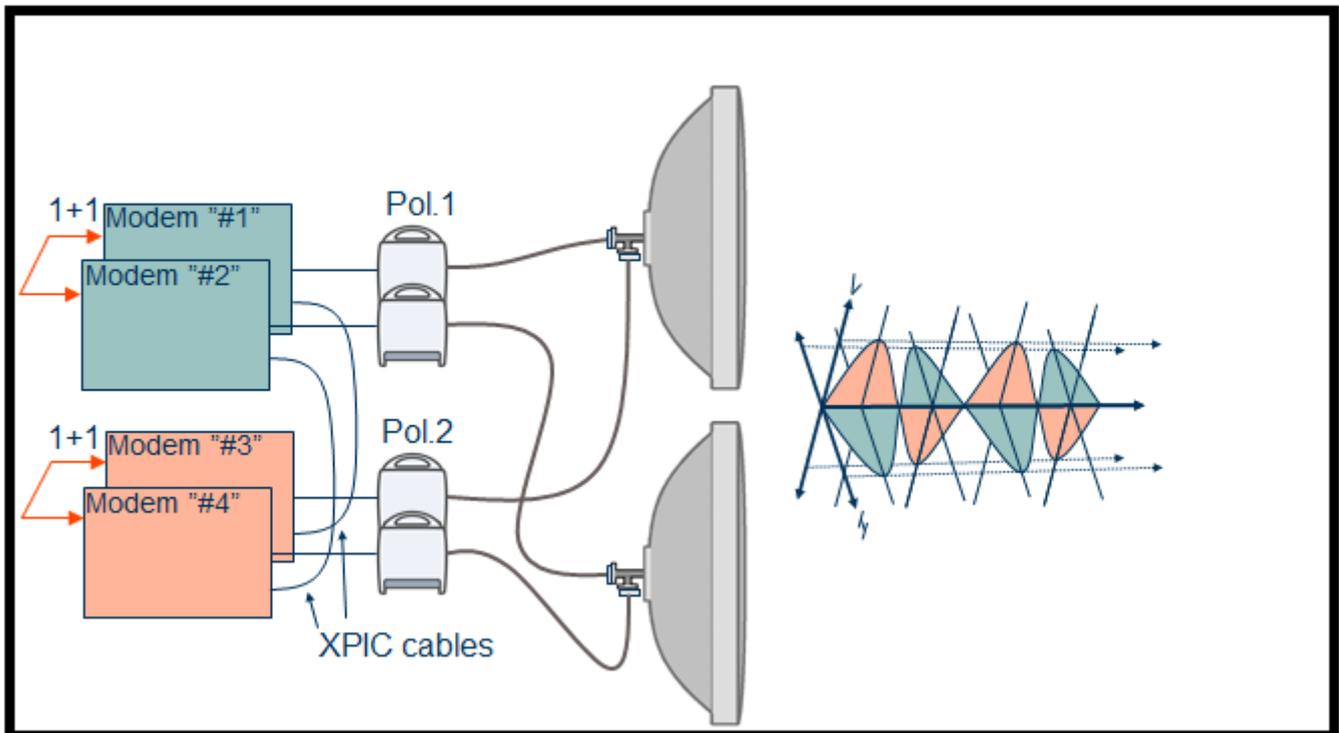


Figure I.4 principe diversité d'espace.

I.4.2.2 Diversité de polarisation

cette technique demande au récepteur l'analyse des ondes sur les deux plans même s'il n'est émis que sur un plan de polarisation. Un avantage comparatif de cette technique par rapport à la diversité spatiale est que l'on n'a pas besoin d'autant d'espace entre les antennes, ce qui est hautement attractif pour les unités mobiles [8].

I.4.2.3 Diversité angulaire

Cette technique est grandement reliée à la diversité spatiale, elle implique que lorsque les faisceaux émis par les antennes sont suffisamment séparés angulairement, il est possible que le niveau de corrélation soit assez bas pour profiter de ce niveau de diversité. Cette technique est surtout utilisée pour les réseaux Internet sans-fil domestique pour accroître la capacité en débit du réseau [9]. Comme la diversité de polarisation, elle n'a pas d'exigences en ce qui concerne l'espacement des antennes.

I.4.2.4 Diversité fréquentielle

Lorsque le canal est sélectif en fréquence, la diversité fréquentielle s'adapte bien à ce problème. Le principe est d'émettre le même signal ou des versions redondantes sur des porteuses dont les fréquences sont différentes et écartées d'au moins la bande de cohérence du canal. Les solutions sont multiples et citons entre autres : utilisation d'une modulation multi porteuse conjointement avec un entrelaceur et un codage, étalement de spectre par séquence directe ou par saut de fréquence. [10]

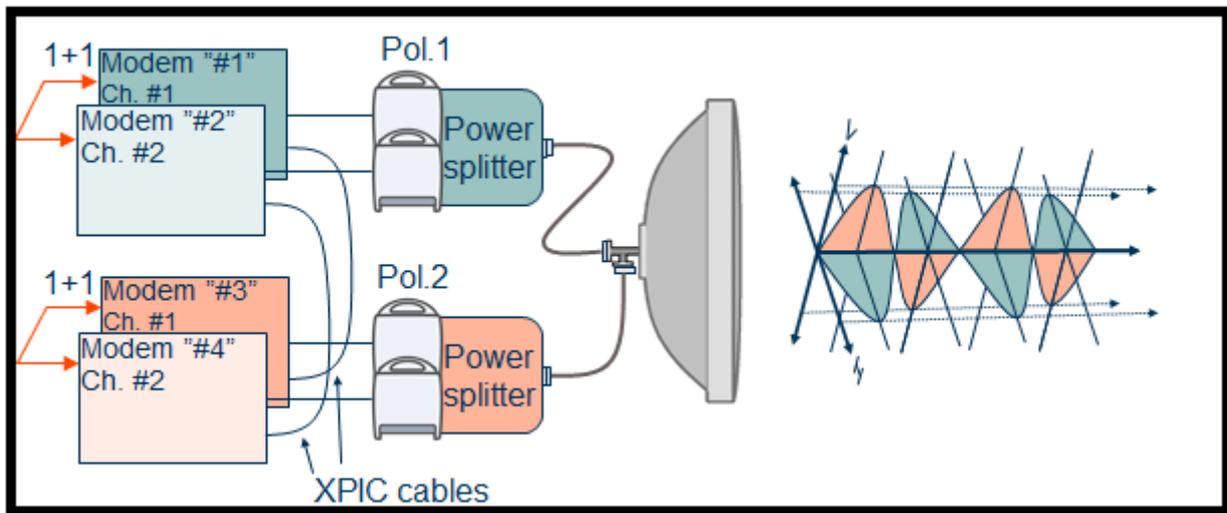


Figure I.5 principe diversité de fréquence.

I.4.2.5 Diversité de parcours

Cette technique implicite est utilisable lorsque la largeur de bande du signal est plus grande que la largeur de bande allouée du canal. C'est la technique qui exploite le multi-parcours, où le récepteur profite de la présence de plusieurs versions du signal pour obtenir un gain en diversité [9].

I.4.2.6 Diversité temporelle

La diversité temporelle fonctionne sur l'envoi des répliques d'un même signal décalées d'une durée égale au temps cohérent du canal. Tout dépendra également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse. Il faut alors que la vitesse du mobile demeure assez élevée ou que les délais entre les signaux restent suffisamment petits [11].

I.4.2.7 Diversité spatio-temporelle

La diversité spatio-temporelle est un exemple de combinaison de techniques de diversité. En effet, cette technique envoie une même information différée dans le temps via deux antennes émettrices. Ainsi, on atteint un niveau de diversité plus élevé. Alamouti fut le premier à développer le codage en bloc spatio-temporel dans son article [12].

I.4.2.8 Diversité transformée

La diversité spatiale peut être transformée au niveau du transmetteur en d'autres formes de diversité employées par le récepteur. Cette opération fut utile lorsque le canal n'est pas connu par le transmetteur, le problème est alors renvoyé au processus de combinaison qui devrait avoir connaissance du canal. Ici la diversité spatiale sera transformée soit en diversité fréquentielle (espace à fréquence) ou en diversité temporelle (espace à temps) via un codage approprié en émission. Nous allons par la suite discuter les techniques de combinaison de diversité.

I.4.3 Type de combinaisons de diversité

Plusieurs techniques de combinaisons sont connues, mais on ne vous présentera ici que les trois principales méthodes utilisées.

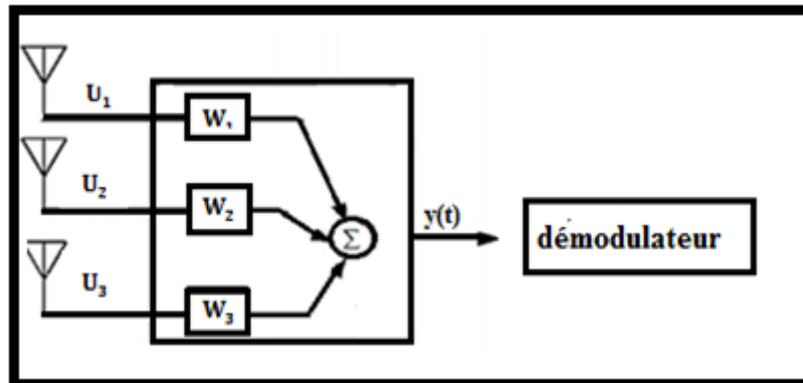


Figure I.6 Schéma général du processus de combinaison.

I.4.3.1 Combinaison par sélection

Technique la plus simple, et probablement la plus utilisée, elle consiste à choisir simplement le signal de la branche ayant le rapport signal à bruit le plus élevé. Le problème avec cette technique est qu'il est possible d'obtenir le signal ayant le plus d'interférences. Ne connaissant pas le signal transmis d'avance, il est difficile de connaître la part des interférences dans le SNR d'une branche.

Supposons que l'enveloppe du signal suit une fonction de densité de probabilité de Rayleigh. Si l'on définit γ_i comme étant la puissance instantanée du signal dans chaque branche, divisé par la moyenne de la puissance du bruit, donc le SNR instantané, et Γ comme étant la moyenne de la puissance du signal dans chaque branche divisé par la moyenne de la puissance du bruit, donc le SNR a alors la probabilité d'être soit plus petit ou égale à une valeur spécifique γ_s , donnée par $P_r[\gamma_i \leq \gamma_s] = 1 - e^{-\gamma_s/\Gamma}$. Il s'en suit que la probabilité que tous les γ_i , indépendants, soit simultanément inférieur à la valeur γ_s spécifiée est

décrite par $P_r[\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M \leq \gamma_s] = [1 - e^{-\gamma_s/\Gamma}]^M$, où M désigne le nombre de branches du récepteur. La moyenne de γ_s suit $E[\gamma_s] = \Gamma \sum_{k=1}^M \frac{1}{k}$. Si l'on considère la figure I.6, cette méthode correspondrait

seulement à sélectionner la branche au meilleur SNR.

I.4.3.2 Combinaison par rapport maximal

Cette technique nécessite que les M branches soient alignées en phase, puis pondérées proportionnellement au niveau du signal avant leur sommation. La distribution d'une telle méthode suit l'équation I.1. Il est démontré que c'est une méthode optimale de combinaison. On le comprend mieux en

visualisant l'équation I.2. cette méthode correspondrait donc à sommer toutes les branches en calibrant les poids W_n selon le niveau de SNR.

$$P_r = [\gamma \leq \gamma_m] = 1 - e^{(-\gamma_s/\Gamma)} \sum_{k=1}^M \frac{(\gamma_m/\Gamma)^{k-1}}{(k-1)!} \tag{I.1}$$

$$E[\gamma_m] = M\Gamma \tag{I.2}$$

I.4.3.3 Combinaison par gain égal

Cette méthode consiste simplement en une sommation après co-phasage de bande. Sa distribution se comporte de façon similaire à la méthode précédente et sa moyenne se comporte comme en équation I.3 Si l'on considère la figure I.7, cette méthode correspondrait donc à sommer toutes les branches en calibrant les poids W_n à un niveau de gain égal, ou à $\frac{1}{N}$, par exemple

$$E[\gamma_e] = \Gamma \left[1 + \frac{\pi}{4} (M - 1) \right] \tag{I.3}$$

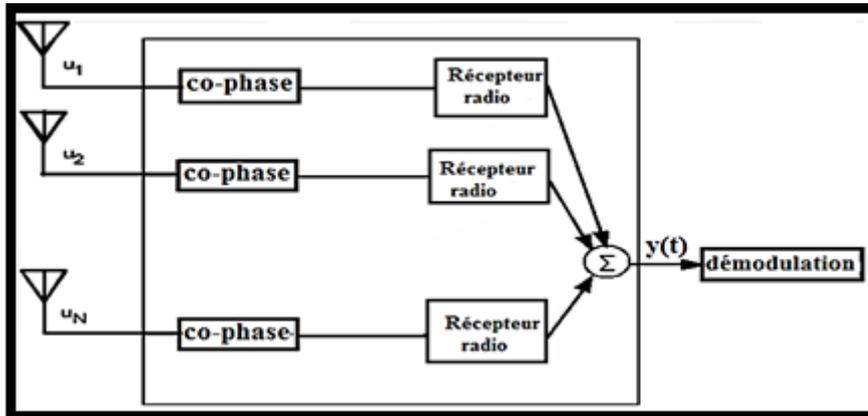


Figure I.7 Combinaison par gain égal.

I.5. Performance de la transmission en diversité

I.5.1 Efficacité totale

Dans les systèmes de communication entre mobiles, le diagramme de rayonnement de l'antenne joue très souvent un rôle mineur [13] ; c'est surtout l'efficacité totale de l'antenne (ou gain moyen (MG) de l'antenne) qui est le paramètre le plus important. Elle nous renseigne sur les performances de la liaison sans fil. Ceci est aussi valable pour les systèmes SIMO et MIMO. L'efficacité totale d'une antenne est définie comme étant le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance incidente sur son port d'alimentation. Elle prend en compte aussi bien les pertes de réflexion dues à la désadaptation entre le

câble coaxial et le port d'alimentation de l'antenne que les pertes ohmiques et diélectriques de l'antenne. Elle peut être calculée à partir de l'intégration des diagrammes de rayonnement dans tout l'espace

(Equation I.4) ou bien à partir des paramètres S et de l'efficacité rayonnée η_{ray} de l'antenne (Equation. I.5)

$$\eta_{tot} = MG = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (G_{\theta}(\theta, \varphi) + G_{\varphi}(\theta, \varphi)) \sin \theta d\theta d\varphi}{4\pi} \quad (I.4)$$

Où $G_{\theta}(\theta, \varphi)$ et $G_{\varphi}(\theta, \varphi)$ sont les gains des antennes dans les directions θ et φ .

$$\eta_{tot} = \eta_{ray} (1 - |s_{11}|^2) \quad (I.5)$$

L'efficacité rayonnée (η_{ray}) est définie comme étant le rapport entre la puissance rayonnée sur la puissance injectée dans l'antenne.

Dans un système à plusieurs antennes, nous devons aussi prendre en compte l'isolation ou les pertes d'insertion entre les différentes antennes, dans ce cas l'équation I.5 devient

$$\eta_{tot} = \eta_{ray} \left(1 - \sum_{n=1}^N |S_{n,i}|^2\right)$$

Où i représentant l'antenne n_i

I.5.2 Gain Effectif Moyen (MEG)

Hormis l'indépendance des signaux à évanouissements, l'autre condition pour l'obtention d'une bonne diversité est que chacun des signaux reçus par les antennes possède la même puissance moyenne. Ainsi le gain effectif moyen (MEG), représente la puissance reçue par chacune des antennes. C'est une caractéristique qui inclut le diagramme de rayonnement de l'antenne, l'efficacité de l'antenne et les effets de propagation. Il dépend aussi de l'environnement multi-trajet comme l'enveloppe de corrélation. L'auteur dans [14] propose l'équation I.6 pour déterminer le MEG.

$$MEG = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left(\frac{XPR}{XPR+1} G_{\theta}(\Omega) P_{\theta}(\Omega) + \frac{1}{XPR+1} G_{\varphi}(\Omega) P_{\varphi}(\Omega) \right) d(\Omega) \quad (I.6)$$

$G_{\theta}(\Omega)$ et $G_{\varphi}(\Omega)$ sont les composantes des gains de l'antenne en θ et φ respectivement.

Un coefficient k appelé rapport de puissance a été défini dans [15], en supposant que l'enveloppe de corrélation est faible. Ce coefficient (Equation. I.7) doit être supérieur à -3dB pour éviter une perte significative du gain en diversité.

$$k = \min\left(\frac{MEG2}{MEG1}, \frac{MEG1}{MEG2}\right) \quad (I.7)$$

I.5.3 Gain de Diversité (DG) et Gain de Diversité du système (DSG)

Le gain de diversité est défini comme l'amélioration du rapport signal sur bruit (SNR) des signaux relatifs combinés par rapport au signal sur bruit reçu sur une antenne seule. La fonction de distribution (CDF) d'un canal de type Rayleigh est donnée par la relation suivante:

$$P(\gamma \leq x) = \left(1 - e^{-\frac{x}{\Gamma}}\right) \quad (I.8)$$

I.6 Conclusion

Pour limiter l'impact des phénomènes d'interférences et d'évanouissement sur les liens de transmission radio (FH), la technique de la diversité est souvent utilisée. Par cette technique la liaison radio peut être assurée et garantie avec des performances beaucoup plus meilleures. Nous avons présenté dans ce chapitre le principe de cette technique et les différents modes et architectures qu'elle peut monter pour donner des solutions multiples et respectifs aux différents problèmes radio. Nous allons dans le chapitre suivant expliquer en mieux les avantages que peut apporter la technique de la diversité et en particulier les antennes MIMO.

Chapitre II

II.1 Introduction

L'application des techniques de diversité est connue dans plusieurs domaines de transmissions et en particulier dans les réseaux de communication sans fil comme le cas des réseaux cellulaires de la téléphonie mobile. Cela est due principalement à l'architecture de ce type de réseaux qui contient un nombre très important des liaisons FH souffrant en plusieurs points des problèmes d'évanouissement et d'interférences. Nous présentons dans ce chapitre quelques exemples d'application de la diversité, où en étudiant leurs mode de fonctionnement, caractéristiques et leurs performances en termes de la capacité du canal.

II.2 Les techniques MIMO

Les techniques MIMO sont apparues dans les années 90 grâce à Gérard. J. Foschini [16]. Le but étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elles se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur. La mise en place d'une telle structure permet au système utilisé d'atteindre des débits importants et cela sans changer la largeur de la bande alloué au signal ni sa puissance d'émission.

De plus, le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité. Concrètement, plusieurs répliques de la même information sont transmises sur plusieurs canaux ayant des puissances comparables et des évanouissements indépendants, et donc, il est fort probable qu'au moins un, ou plus, des signaux reçus ne soit pas atténué à un moment donné, rendant possible une transmission de bonne qualité. Cela a pour conséquence l'amélioration du rapport signal sur bruit et donc du taux d'erreurs binaires [16, 17].

II.3 Les principes du MIMO

Comme cela a été expliqué précédemment, la principale source des perturbations, que subit un signal lors de sa propagation, est le canal. En effet, à cause des phénomènes de propagation multi-trajets, le signal subit des évanouissements, des décalages fréquentiels ou même temporels. Contrairement aux systèmes classiques, les systèmes à diversité prennent avantage de ces types de propagation pour améliorer les performances du système. Pour mettre en place ces améliorations, les systèmes MIMO exploitent les technique de :

- *Diversité d'espace* : Aussi connue sous le nom de diversité d'antenne
- *Diversité fréquentielle* : Cette technique demande l'envoi du même signal sur des fréquences différentes. Il faut toutefois faire attention à la largeur de bande cohérente et à l'étendue fréquentielle due aux multi-trajets et aux distances à franchir par la transmission.

- *Diversité temporelle* : Lorsque l'on sépare l'envoi du même signal par le temps cohérence du canal, il est possible de profiter de la diversité temporelle. Tout dépend également de la vitesse de déplacement du mobile et de la fréquence porteuse.

II.4 Architecture des MIMO

Considérons un système MIMO (Figure II.1) composé de N_T antennes à l'émission et N_R antennes à la réception. L'information est émise par les N_T antennes à la fois. Lors de sa propagation, elle est portée par plusieurs canaux reliant chacun une antenne d'émission à une autre en réception.

À la réception on détecte un signal $y(t) \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ qui s'écrit : [18]

$$y(t) = Hx(t) + b(t) \quad (\text{II.1})$$

Avec : $H \in \mathbb{C}^{N_R \times N_T}$ la matrice du canal, $x(t) \in \mathbb{C}^{N_T \times 1}$ le signal émis et $b(t) \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ un bruit blanc additif gaussien.

$$X_{NT}(t) = [x_1(t) + x_2(t) + \dots + x_{NT}(t)] \quad (\text{II.2})$$

$$Y_{NR}(t) = [y_1(t) + y_2(t) + \dots + y_{NR}(t)] \quad (\text{II.3})$$

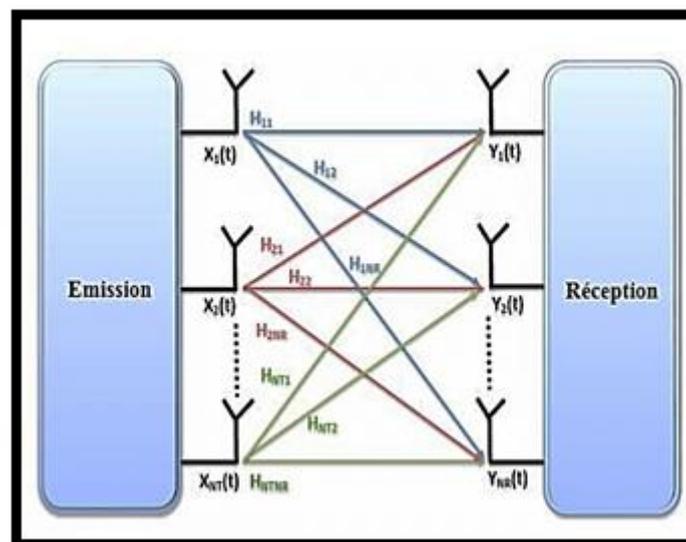


Figure II.1 Système MIMO.

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1NR} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2NR} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{NT1} & H_{NT2} & \dots & H_{NTNR} \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

Avec $H_{NT/NR}$ est le coefficient complexe du canal entre la $N^{\text{ème}}$ antenne d'émission et la $N^{\text{ème}}$ antenne de réception.

II.5 Les caractéristiques des MIMO

Un système MIMO se caractérise par l'utilisation de plusieurs antennes à l'émission ainsi qu'à la réception. Lorsqu'un tel système comprend, seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO. De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, il est nommé MISO. Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO[18] (Figure II.2).

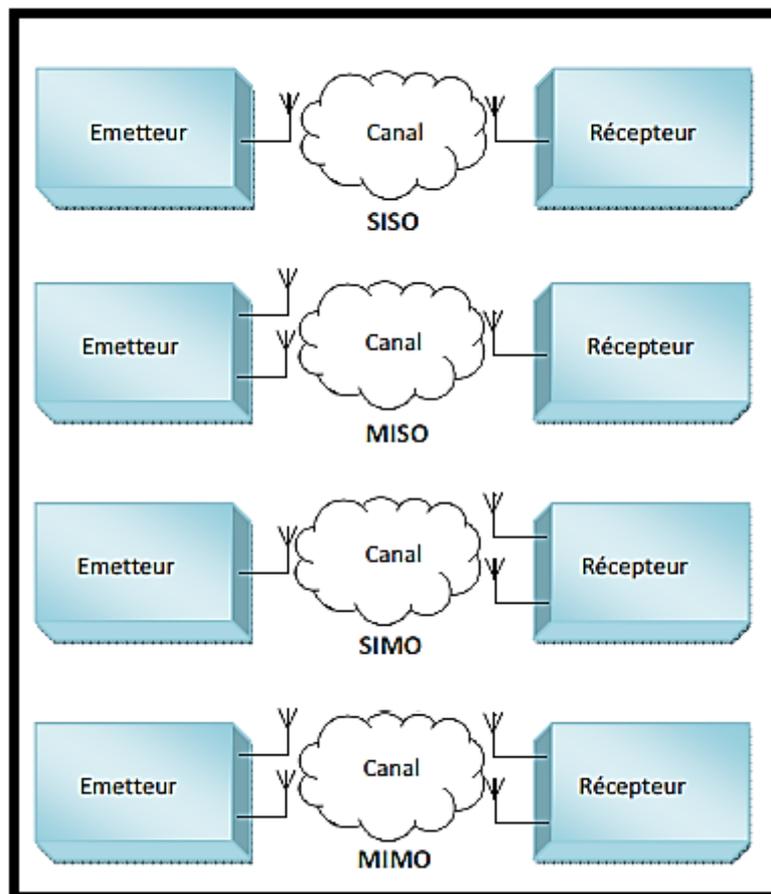


Figure II.2 : Architecture de base des SISO, MISO, SIMO et MIMO.

II.6 Étude de la capacité d'un canal en diversité

Nous allons ici comparer les capacités des différents canaux existants (SISO, SIMO, MIMO) sans connaissance préalable de l'état du canal. De même, nous allons aussi comparer les limites théoriques données par la capacité de Shannon [19] qui est l'espérance de la capacité $E[C]$ et qui ne peut être obtenue que dans un canal idéal, avec un codage idéal.

II.6.1 Capacité du canal SISO

Soit un système SISO (Figure II.3), avec h le gain du canal, γ le rapport signal sur bruit à l'antenne de réception ; la capacité est : [20.21]

$$C = \log_2 (1 + \gamma |h|^2) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.5})$$

Ainsi la capacité théorique sera alors :

$$C_t = E(C) = \log_2(1 + \gamma E(|h|^2)) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.6})$$

Or $E(|h|^2) = 1$, ainsi :

$$C_t = \log_2 (1 + \gamma) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.7})$$

Elle augmente, en fonction du logarithme de $1 + \gamma$. Lorsque le SNR est élevé, un gain de 3dB sur le γ ne fournira une augmentation que d'un bit par seconde par hertz (bit/s/Hz).

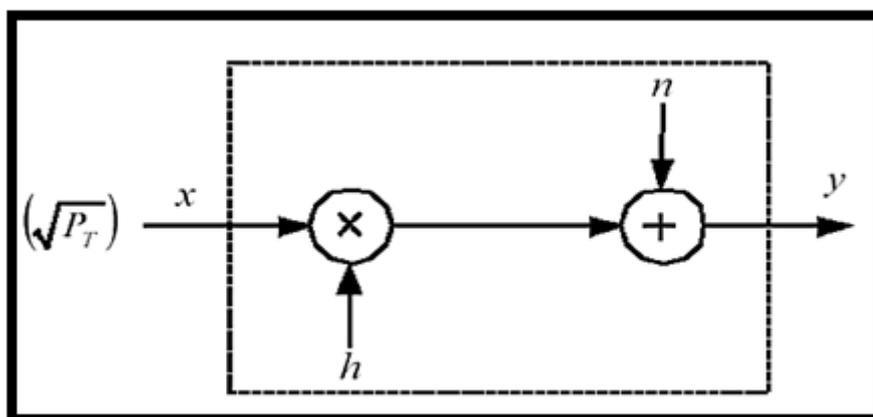


Figure II.3 : Système SISO.

II.6.2 Capacité du canal SIMO

Un canal SIMO est un système multi-antennes (Figure II.4) (réalisant par exemple, de la formation de voix en réception) avec une antenne à l'émission et N antennes à la réception. Avec h_i le gain complexe entre l'antenne émettrice et la i -ème antenne réceptrice, sa capacité sera alors : [20,21]

$$C = \log_2(1 + \gamma \sum_{i=1}^N |h_i|^2) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.8})$$

Sa capacité de Shannon est donnée par :

$$C_t = E = \log_2(1 + \gamma N^2) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.9})$$

Avec

$$E(\sum_{i=1}^N |h_i|^2) = N^2 \quad (\text{II.10})$$

Nous constatons que sa capacité augmente en fonction du logarithmique de $1 + \rho R N^2$, soit un peu plus vite que dans le cas SISO.

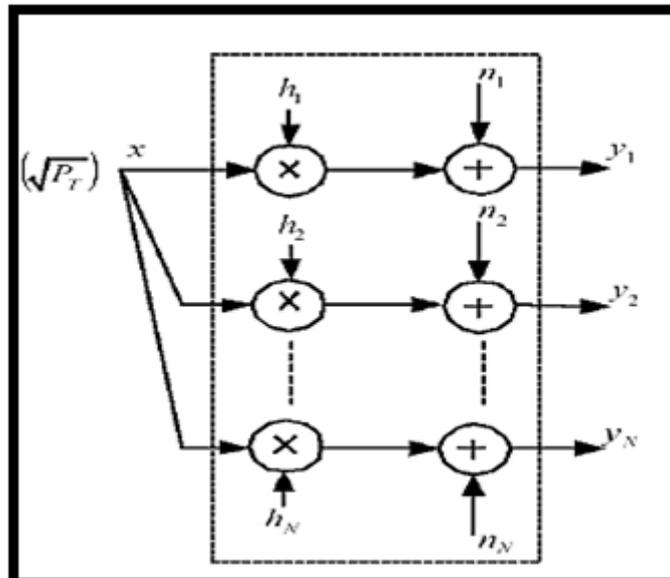


Figure II.4 : Système SIMO.

II.6.3 Capacité du canal MIMO

Pour un canal MIMO (Figure II.5), avec M antennes émettrices et N antennes réceptrices,[13]

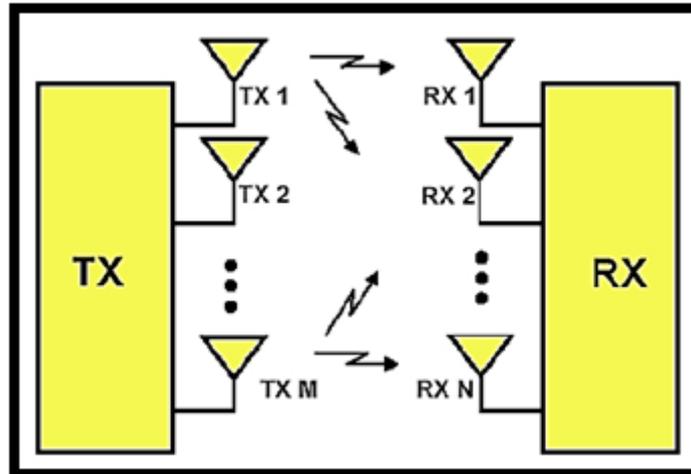


Figure II.5 Système MIMO.

La matrice complexe H du canal peut alors s'écrire :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & \cdot & \cdot & h_{1M} \\ \vdots & h_{22} & \vdots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \cdot & h_{NM} \end{bmatrix} \quad (\text{II.11})$$

h_{ij} est le gain complexe du canal entre la j-ème antenne émettrice et la i-ème antenne réceptrice.

$$C = \log_2 \left(\det \left[I_N + \frac{\gamma}{M} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right] \right) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.12})$$

Lorsque N et M sont grands, l'espérance de la capacité pour un canal de Rayleigh croît Proportionnellement à N :

$$E[C] \approx N \log_2(1 + \gamma) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{II.13})$$

La capacité augmente donc beaucoup plus vite que dans les cas SISO et SIMO grâce au grand nombre d'antennes.

II.7 Exemples pratiques des diversités dans les liaisons FH

II.7.1 diversité d'espace



Figure II.6 Deux antennes installées sur chaque pylone pour établir une liaison FH en diversité d'espace entre deux sites GSM.

La figure II.6 expose un exemple d'application de la diversité d'espace établie entre deux sites GSM pour assurer une liaison FH capable de véhiculer un trafic important dans le réseau. Tel que les deux antennes sont placées l'une sur l'autre et dérivées vers le même azimuth.

II.7.2 Diversité de polarisation

La figure II.7 ci-dessous montre une installation d'une antenne avec une diversité de polarisation pour établir une liaison FH dans le réseau GSM. Tel qu'une seule parabole supporte deux radios avec deux polarisation différentes ; l'une est polarisée verticalement et l'autre horizontalement.



Figure II.7 Deux antennes installées en diversité de polarisation.

II.7.2.1 Configuration du lien

Figure II.8 Lien en polarisation verticale (V).

La figure II.8 illustre le lien FH installé entre deux sites GSM. Nous observons que les deux sites envoient et reçoivent convenablement. Tel que le niveau de réception du premier site (Near end ou NE) reçoit un RSL (Reception Signal Level) égale -42.6 dBm. Aussi, le deuxième site (Far end ou FE) a un RSL égale -42.6 dBm. La figure II.9 démontre la configuration des différents paramètres de la liaison.

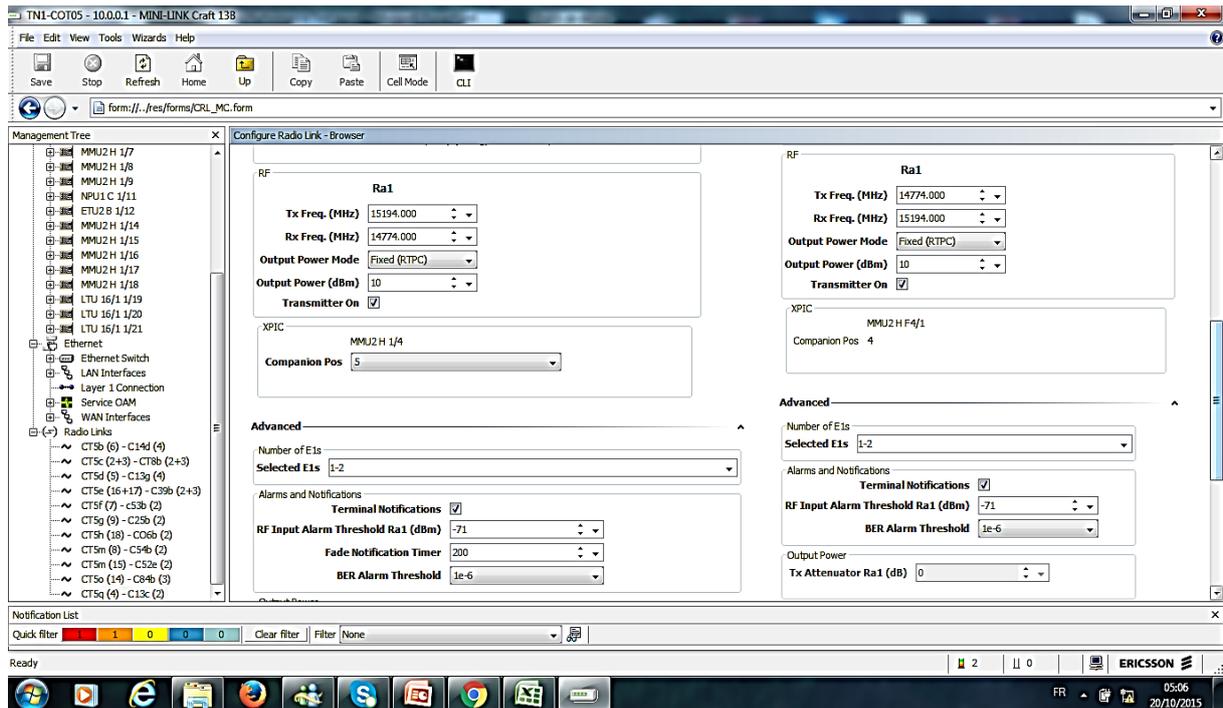


Figure II.9 Configuration du lien (Polarisation V).

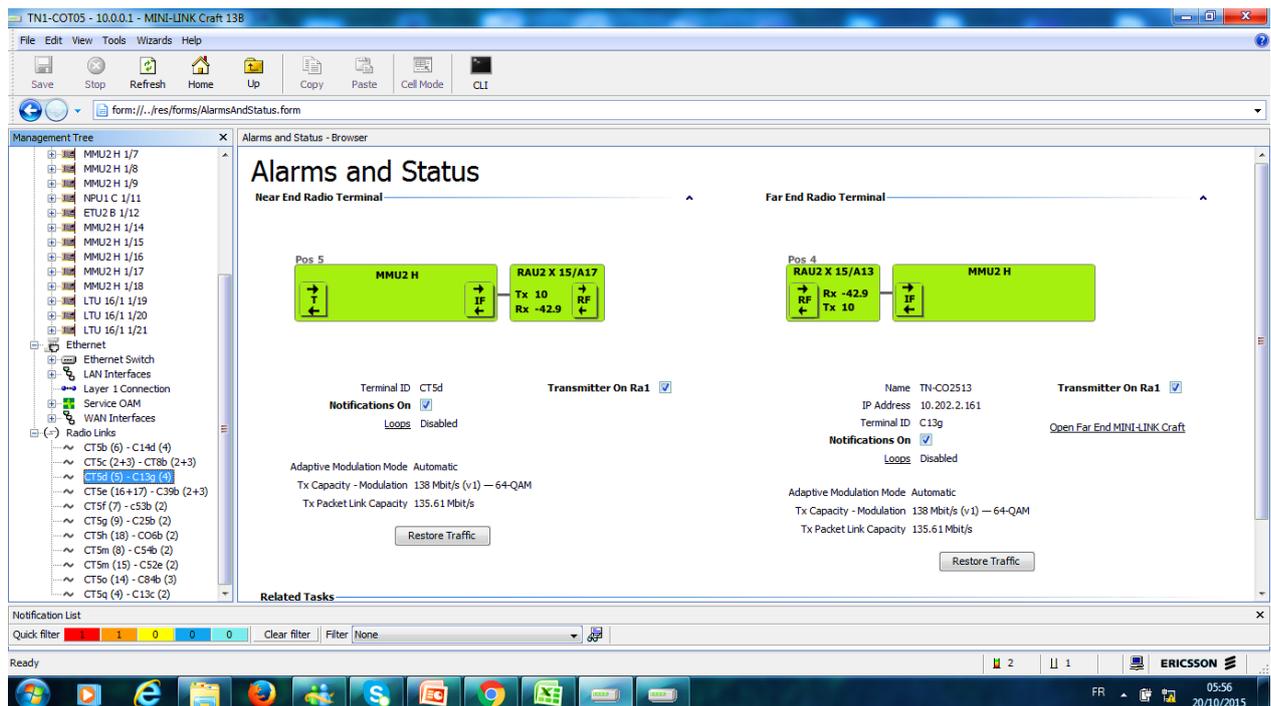


Figure II.10 Lien en polarisation horizontale (H).

La figure II.10 montre le même lien FH avec une polarisation horizontale. Nous observons que les deux sites envoient et reçoivent convenablement. Tel que le niveau de réception du site NE reçoit un RSL égale -42.9 dBm. Aussi, le site FE a un RSL égale -42.9 dBm.

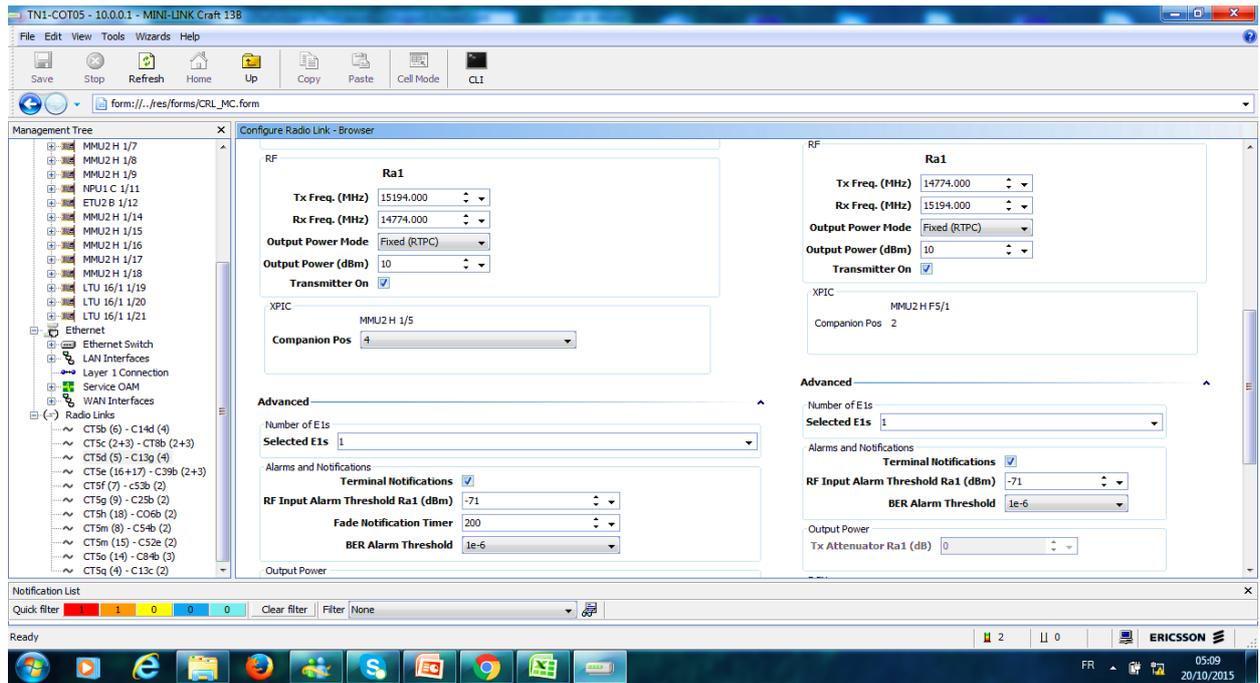


Figure II.11 Configuration du lien (Polarisation H).

II.7.2.2 Test de la diversité :

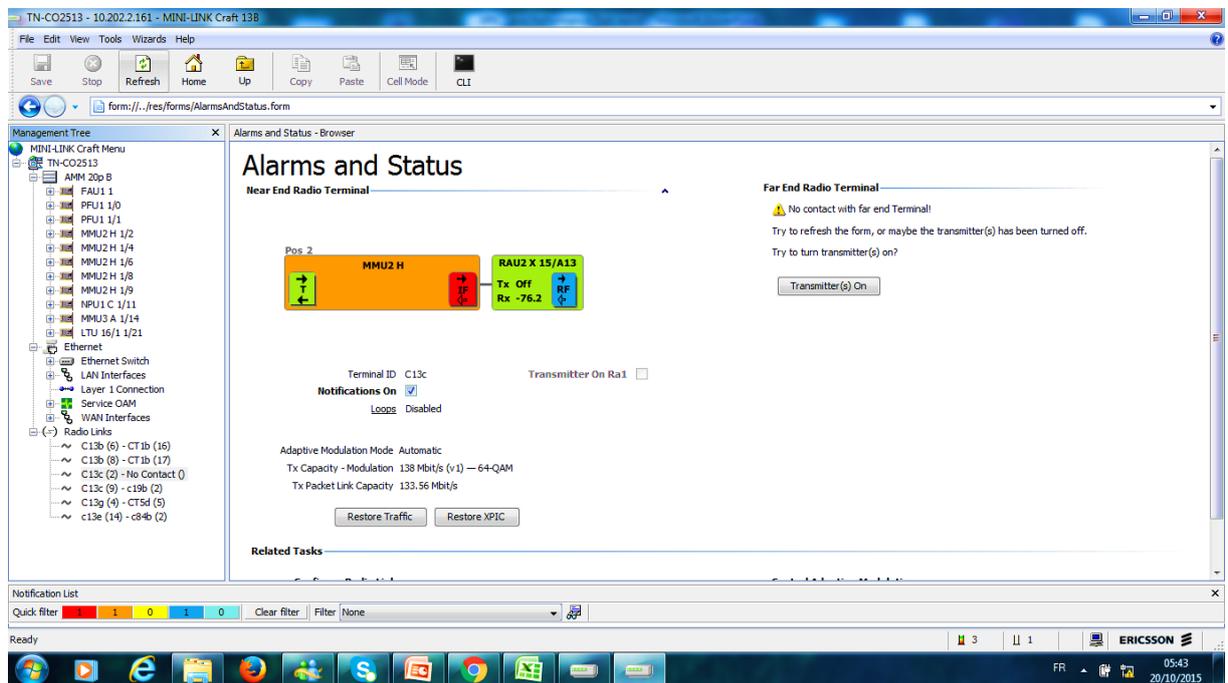


Figure II.12 TX (NE, V): Off et RX (FE, V).

La figure II.12 montre le RSL du FE égale -76.2 dBm. Cela est due à l'influence du lien H.

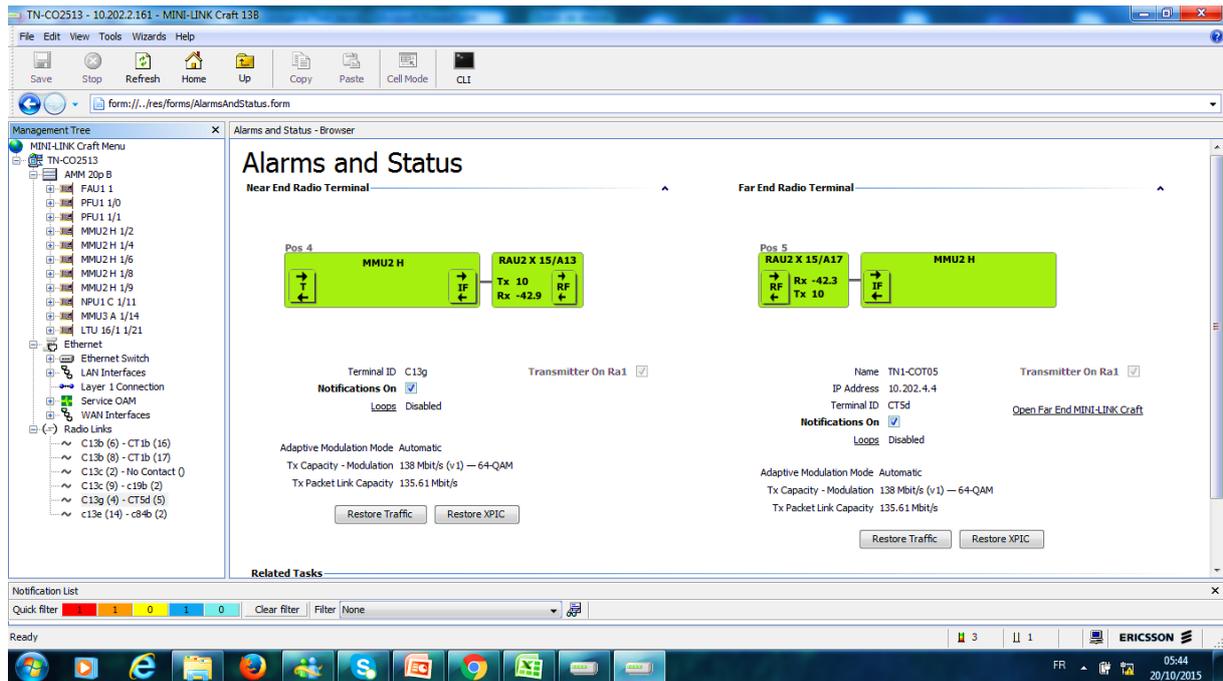


Figure II.13 TX (NE, V): Off et lien H.

II.7.2.3 Resultats

- $|RSL (FE, V)| = 76.2 \text{ dbm}$
- $|RSL FE H| = 42.9 \text{ dbm}$
- $|RSL FE, V - RSL FE,H| = 76.2 - 42.9 = 33.3 > 27 \text{ dbm}$.

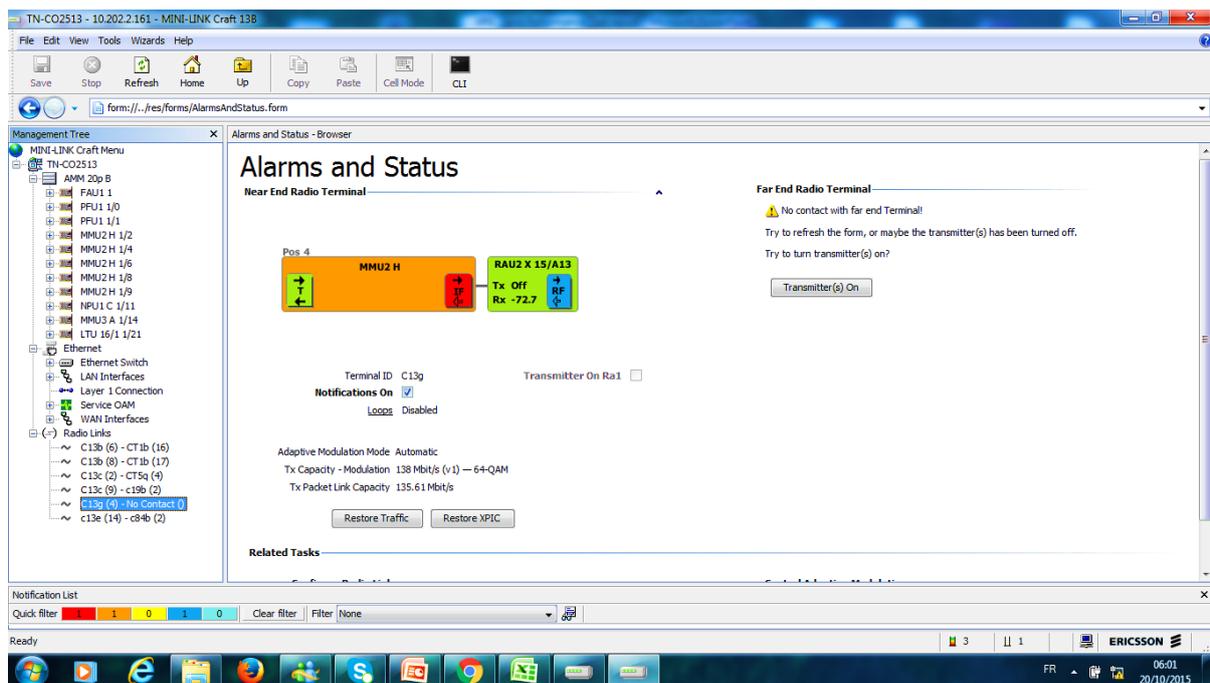


Figure II.14 TX NE,H: Off, RX FE H.

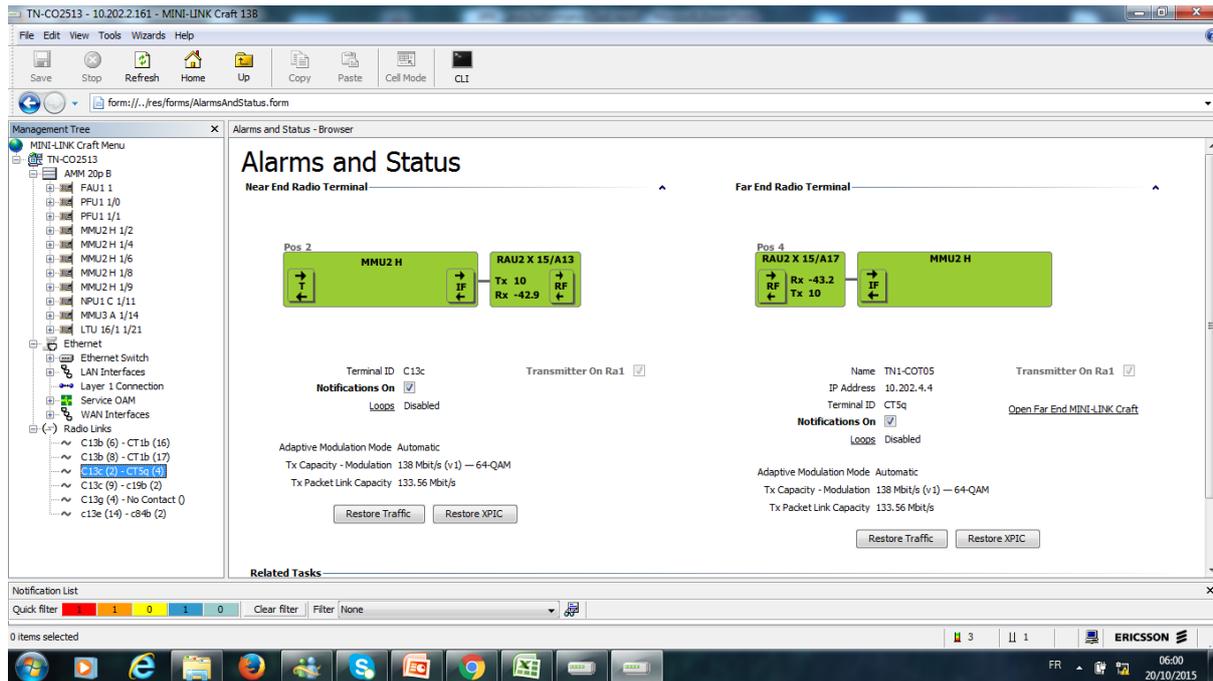


Figure II.15 TX NE,H : Off et RX FE,V.

II.7.2.4 Résultats et discussions

- $|RSL_{FE,H}| = 72.7$ dbm
- $|RSL_{FE,V}| = 42.9$ dbm
- $|RSL_{FE,H} - RSL_{FE,V}| = 72.7 - 42.9 = 29.8 > 27$ dbm

Le test de la diversité présenté dans les figures ci-dessus, confirme le bon état du lien concerné, avec de bonnes performances et un effet très négligeable de chaque lien sur l'autre.

II.8 Conclusion

L'étude des systèmes de transmission avec diversité différente SISO, SIMO et MIMO nous a permis de savoir la différence entre ces systèmes en architecture et aussi en termes de capacité de canal que peut offrir chacun de ces systèmes. Une étude théorique est présentée dans ce chapitre pour bien expliquer le principe de chaque type de diversité. Aussi, deux exemples pratiques sont illustrés dans la deuxième partie de ce chapitre pour donner des explications réelles sur la diversité. Tel que, le premier exemple sur la diversité spatiale et l'autre sur la diversité de polarisation sont pris du réseau GSM en Algérie.

Chapitre III

III.1 Introduction

Lors des deux premiers chapitres, nous avons présenté et discuté les différentes caractéristiques des antennes munies de la technique de la diversité appelées antenne MIMO dont nous avons évoqué la capacité et le gain en diversité; SISO, MISO et MIMO. Dans ce chapitre, nous présentons une étude complémentaire des développements précédents en se basant sur la simulation des différentes caractéristiques des antennes en diversité ; afin de pouvoir visualiser le comportement de leurs performances.

III.2 Etude et discussion

L'étude par simulation permet de voir le comportement des phénomènes ou caractéristiques étudiées, d'une façon plus large et plus détaillé. Tel qu'on peut visualiser des fonctions en faisant varier plusieurs paramètres à la fois. Ainsi, elle nous permet également de faire une étude comparative en mettant plusieurs caractéristiques sous études, dans la même figure. La capacité des systèmes d'antennes ou de transmissions établies avec diversité peut être présentée par simulation dans les figures ci-dessous; où nous employons le système d'équation déjà présenté dans le chapitre 2, tel que :

La capacité des systèmes SISO, MISO et MIMO sont respectivement les équations:

$$C_t = \log_2 (1 + \gamma) \quad \text{bit/ s/Hz} \quad (\text{III.1})$$

$$C_t = E = \log_2(1+\gamma N^2) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{III.2})$$

$$E[C] \approx N \log_2(1+ \gamma) \quad \text{bit/s/Hz} \quad (\text{III.3})$$

Et le gain en diversité est décrit par :

$$\log TE \leq -M, L \left(\log \left(\frac{SNR}{4} \right) + \log \left(\left(\prod_{l=1}^L \sigma_l^2 \right)^{1/L} \right) \right) \quad (\text{III.4})$$

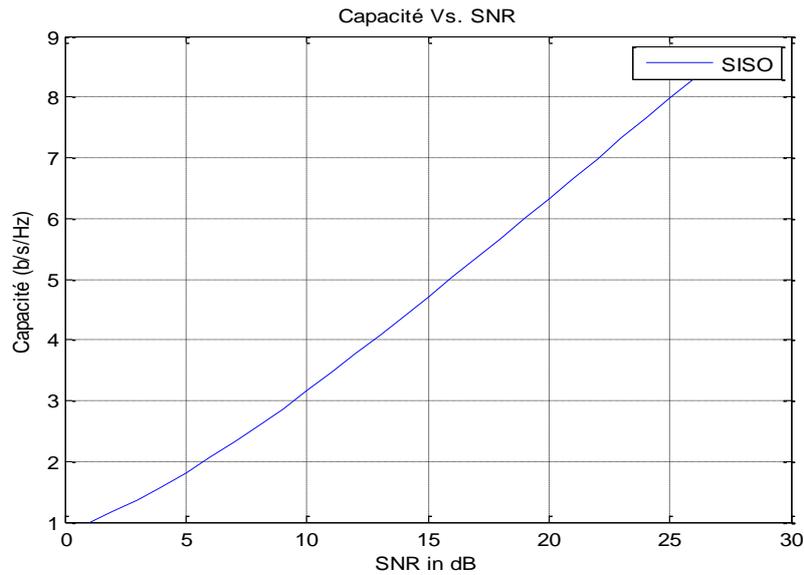


Figure III.1 capacité de canal SISO.

La figure III.1 représente la variation de la capacité du canal SISO en fonction de la variation du rapport SNR. La courbe montre une variation proportionnelle entre les deux termes, et explique l'effet de la capacité sur la qualité de la liaison. Le canal SISO qui comporte une seule antenne d'émission et seulement une antenne à la réception qui sont dotées d'un système de diversité, peut offrir une qualité considérable en jouant sur leur capacité.

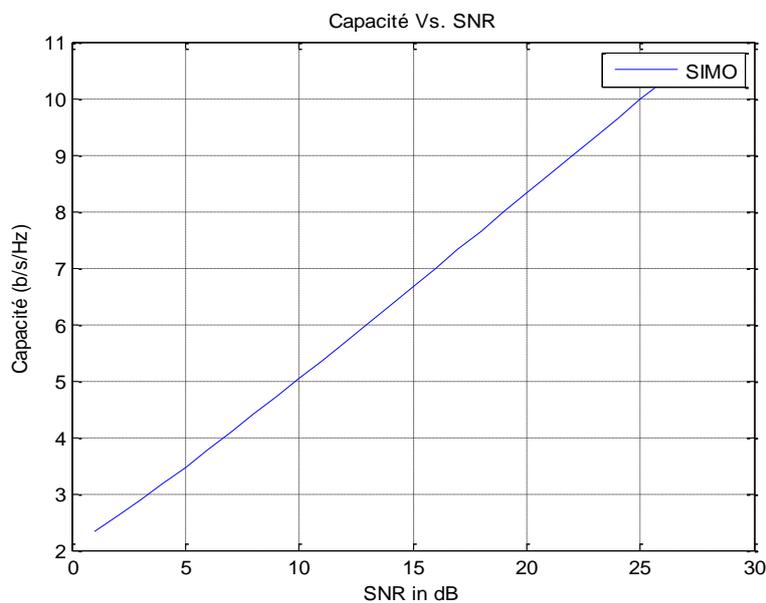


Figure III.2 Capacité de canal SIMO.

La figure III.2 représente la variation de la capacité du canal SIMO en fonction de la variation du rapport SNR. La courbe montre une variation proportionnelle entre les deux paramètres.

La qualité du canal qui exprimé par le rapport SNR, augmente progressivement avec l'augmentation de la capacité du canal par le fait d'appliquer une diversité des antennes à la réception du signal.

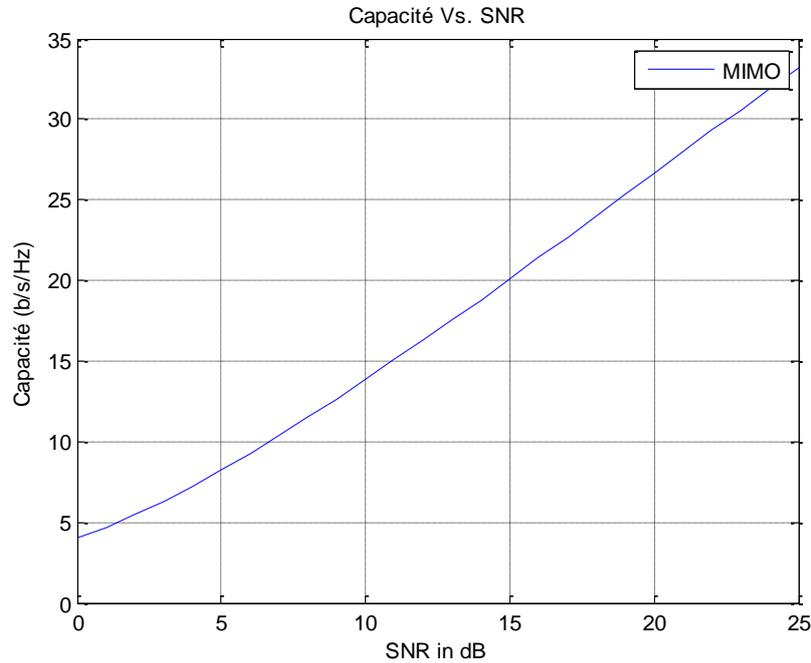


Figure III.3 Capacité de canal MIMO.

La figure III.3 représente la variation de la capacité du canal MIMO en fonction de la variation du rapport SNR. La courbe décrit une variation proportionnelle. Et la qualité de la transmission s'évolue progressivement avec l'élargissement de la capacité du canal de transmission. On observe que la qualité de la liaison augmente rapidement tout en appliquant la diversité avec une variation des antennes d'émission et de réception.

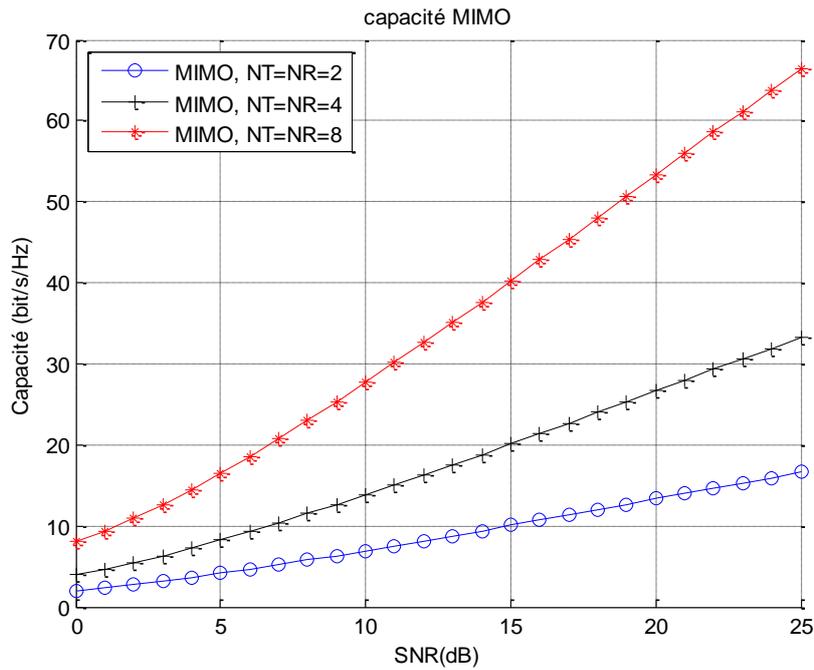


Figure III.4 Capacités des systèmes MIMO en fonction du nombre d’antennes (NT=NR).

Afin de prouver l’efficacité du concept multi-antennaire, la figure III.4 montre plus précisément que la capacité des systèmes MIMO croît linéairement avec le nombre d’antennes émettrices et réceptrices, si celui-ci est égal ($N_t = N_r$).

- Dans le cas MIMO (NT=NR=2) la capacité varie de 2 à 18 bps/Hz environ.
- Dans le cas MIMO (NT=NR=4) la capacité varie de 4 à 34 bps/Hz environ.
- Dans le cas MIMO (NT=NR=8) la capacité varie de 8 à 68 bps/Hz environ.

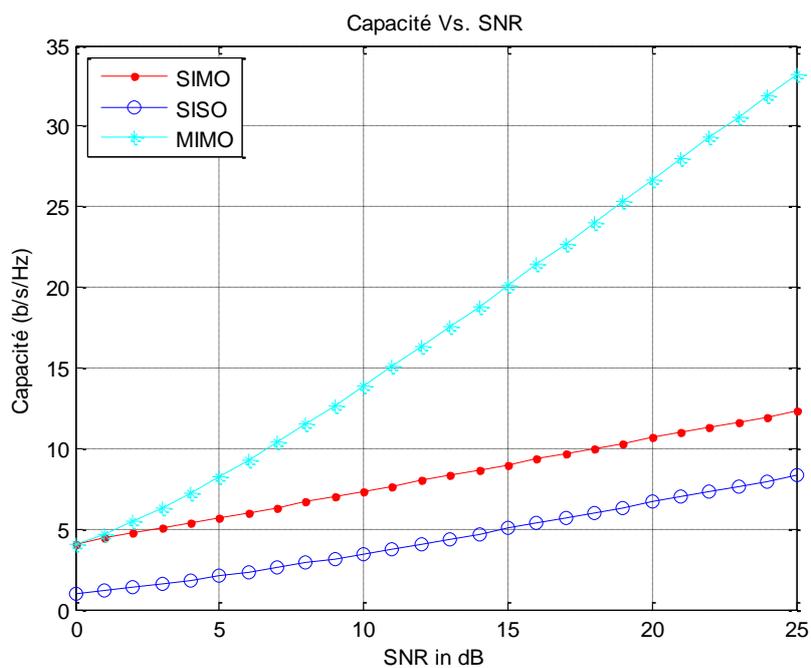


Figure III.5 Comparaison entre les capacité SIMO, SISO et MIMO.

Dans le cas SISO la capacité varie de 1 à 8 bps/Hz environ. Elle reste faible et croît lentement avec le SNR, ce qui illustre bien les limitations des transmissions SISO. Malgré les techniques actuelles, qui permettent de tirer le maximum d'un canal SISO, sa capacité est une borne qui ne peut être dépassée et un système multi-antennes, même sous-exploité, obtiendra de meilleures performances.

Dans le cas SIMO la capacité varie de 4 à 12.5 bps/Hz environ. la capacité suit une évolution logarithmique.

Dans le cas MIMO la capacité varie de 3.5 à 28.5bps/Hz. Pour un SNR de 0 dB, le système MIMO a une capacité presque équivalente à celle du système SIMO. La capacité MIMO augmente ensuite beaucoup plus rapidement que la capacité SIMO.

A partir de la figure III.5, nous pouvons comparer les variations des capacités des systèmes SIMO,SISO et MIMO en fonction du nombre d'antennes pour un SNR de 10dB. L'amélioration de la capacité est plus nette pour un SNR élevé. Pour un système SIMO, la capacité suit une évolution logarithmique que celle du système MIMO augmente linéairement quand nous augmentons le nombre d'antennes à l'émission et à la réception. La capacité augmente donc beaucoup plus vite dans le cas MIMO que dans les cas SISO et SIMO.

III.3 Le gain en diversité

On peut étudier le gain en diversité suite à l'usage de multiples antennes. Cela permet de combattre l'atténuation, et ainsi, de fournir au récepteur plusieurs versions du même signal par des transmetteurs indépendants. Plus le nombre de transmetteurs sera élevé, plus la probabilité qu'à un instant donné qu'un signal reçu ne soit pas très atténué augmente. La meilleure solution est l'utilisation de multiples antennes, simultanément à l'émission et à la réception. L'ordre de diversité atteinte sera le produit du nombre d'antennes à l'émission, avec le nombre d'antennes à la réception. L'équation III.4 décrit le taux d'erreur en fonction du SNR, du nombre d'antennes réceptrices, du rang de la matrice différentielle de deux blocs transmis par les transmetteurs et de la variance de la matrice différentiel. On observe que plus l'ordre de diversité augmente, plus le taux d'erreurs ne sera à la baisse car l'augmentation de l'ordre de diversité est directement synonyme d'une croissance du gain de diversité.

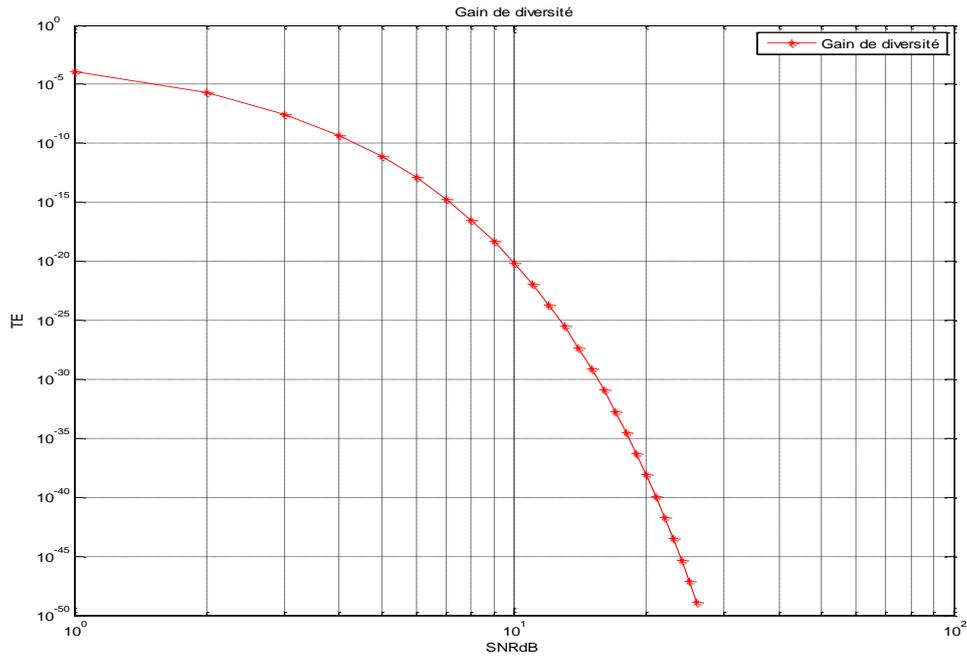


Figure III.6 Gain en diversité.

La figure III.6 illustre la variation du gain en diversité en fonction du rapport SNR et le taux d'erreurs TE. Nous pouvons remarquer que le gain augmente avec l'augmentation du SNR jusqu'à la valeur 2 dB, puis il prend à se stabiliser vers le niveau de 3 dB. Donc, la diversité affecte positivement notre système de transmission et augmente la qualité de la transmission, néanmoins, un taux d'erreur considérable est toujours enregistré.

III.4 Conclusion

L'ensemble des simulations présentées dans ce chapitre expose clairement l'avantage de la diversité sous ses différents modes d'architecture. Nous avons étudié séparément chaque mode de diversité pour savoir ses caractéristiques en capacité et son effet sur la qualité de la liaison. Et pour tirer une conclusion sur l'efficacité de chaque architecture, nous avons établi une comparaison entre toutes les architectures en les rassemblant sur la même figure. En effet, le mode MIMO s'avantage sur les autres modes pour offrir une capacité du canal avec une qualité de transmission meilleures que les autres architectures.

Les transmissions des données analogiques ou numérique dans les réseaux de communication sans fil sujettes de la dégradation de la qualité de transmission dans plusieurs situations critiques responsables de véhiculer d'un taux d'information très important, cela est dû principalement aux problèmes d'évanouissement et d'interférence qui affectent le signal transmis entre les stations émettrices et la station réceptrice. La solution «diversité» s'impose dans de telles situations pour améliorer la qualité de la transmission et limiter ainsi la perturbation de signal afin d'assurer une qualité très acceptable de la liaison. En effet plusieurs techniques peuvent être employés notamment la diversité d'espace et de fréquence qui est mieux détaillée dans ce mémoire. Pour savoir l'impact de cette technique, une étude théorique basée sur un système d'équations mathématiques est présente dans cette œuvre, elle est suivie par un ensemble de simulations sur les différentes caractéristiques des systèmes de transmission en diversité. L'intégration de la technique de la diversité dans une liaison sans fil peut améliorer la qualité de cette liaison et limiter aussi le taux d'erreur. Nous espérons dans le futur étudier la possibilité de faire intégrer deux ou trois types de diversité à la fois et voir leur effet sur la qualité de transmission.

- [1] Site internet: “ <http://www.Louisreynier.com>”, consulter le 12/06/2018.
- [2] Cour : “ la propagation des ondes radio” , Quentin on Yvelines-F5NED, 18 janvier 2011.
- [3] Site internet : “[http //: www.f5kes.r-e-f.org/?PROPAGATION-DES-ONDES.com](http://www.f5kes.r-e-f.org/?PROPAGATION-DES-ONDES.com)”, consulter le 07/07/2018
- [4] R.Vaughan,J, B. Andersen ,“Channel propagation and antennas for mobile communications”, The IEE electromagnetic waves series 50, 2003.
- [5] A.Portilla-Figueras, S Salcedo-Sanz, Klaus D.Hackbarth ,F. Lopez-Ferreras, G.Esteve-Asensio , “Novel Heuristics for Cell Radius Determination in WCDMA Systems and Their Application to Strategic Planning Studies”, Volume 4 ,2009
- [6] Zidane Terra , “Evaluation des systèmes radio mobiles à MC-CDMA”, Mémoire de projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique, Ecole nationale polytechnique, le Juin 2007.
- [7] Gautier, G. Burel, J. Letessier,O. Berder, “Blind estimation of scrambler offset using encoder redundancy”, In Proceedings of IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, volume 1, p 626,630, Pacific Grove (CA), USA, 2002.
- [8] Brown W.C.T, “Antenna Diversity for Mobile Terminal”, PhD dissertation, Université de Surrey 2002.
- [9] A. Diallo , “Système multi-antennes pour diversité et MIMO”,thèse de doctorat ,université Nice-Sofia , le 28/11/2007, p268
- [10] Baptiste Vrigneau, “Systèmes MIMO précodés optimisant la distance minimale : étude des performances et extension du Nombre de voies”, L'université de Bretagne, le 23 novembre 2006
- [11] A. Taleb, S. Boucif , “Les techniques d'accès dans les antennes adaptatives –MIMO en technologie –UWB”, Institut des Télécommunications d'Oran, 2005-2006

- [12] A. Badawi Hamit ,Fozin Tedjeugang J. collins ,“Les antennes intelligentes MIMO”,Institut des télécommunications ,Oran ,2005-2006.
- [13] Tavakol V. and Kildal P-S, “Relations between Radiation Characteristics of Small Antennas Located in Free Space and Close to Lossy Phantom”, in Int. Symposium on Antennas and Propagations, Albuquerque, USA, July 2006, pp. 2037-2040.
- [14] T. Taga, “Analysis for Mean Effective Gain of Mobile Antennas in Land Mobile Radio Environments”, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 39, N°2, May 1990, p117-131.
- [15] Brown W.C.T, “Antenna Diversity for Mobile Terminal”, PhD dissertation, Université Surrey 2002.
- [16] H.Zarouki , “Cross-layer design et accès multiple dans les réseaux sans fil MIMO: Application au réseau wimax” ,Thèse de doctorat ,université Tlemcen , 07 /2013,p22.
- [17] C. Tounou, “Contribution à l'étude de systèmes à diversité d'antennes sur terminaux compacts : Mesures de performances en environnement réel” , Thèse de Doctorat, Université de Limoges, Octobre 2008.
- [18] F.kaltenberger, S.yang , “MIMO-algorithms for wireless LAN” ,Wireless Congress , le novembre 2005.
- [19]R. Vaughan and J. B. Andersen , “Channel propagation and antennas for mobile communications”, The IEE Electromagnetic waves series 50, 2003.
- [20] L. Collin, “Optimisation de systèmes multi antennes basée sur la distance minimale”, l'Université de Bretagne Occidentale, le 17 décembre 2002.
- [21] S.Ferouani, “ Etude et implémentation d'un système MIMO un contexte OFDM” , thèse de magister , Tlemcen,2010.