

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي بلحاج بوشعيب لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent
Institut des Science et de la Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de master en :

***Domaine* : SCIENCE ET TECHNOLOGIE**

***Filière* : ELECTRONIQUE**

***Spécialité* : GENIE DE TELECOMMUNICATION**

Thème

**Utilisation des trajets multiples pour l'amélioration des performances de la
Transmission d'images JPEG.**

Présenté par :

- 1) Megherbi Souhila.
- 2) Maammar Aicha.

Devant les jurys composé de :

Mr.BENAZZA.B	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. BEN AISSA MOHAMED	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadreur
Dr. FEROUANI SOUHILA	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examinateur

Année universitaire 2014/2015

REMERCIEMENTS

Nous remercions Allah tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie jusqu'à la réalisation de ce travail.

Nous exprimons notre profonde

*gratitude à nos encadreurs Monsieur **Ben Aissa Mohamed** , Nous sommes particulièrement sensibles à l'honneur que me font Messieurs les membres du jury en acceptant de juger ce mémoire.*

Je les remercie sincèrement pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture et l'évaluation de notre travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à nos enseignants de graduation Veuillez, Mesdames et Messieurs, trouver dans ce travail une reconnaissance sincère pour tout le savoir que vous nous aviez prodigué tout au long de notre cursus avec autant de dynamisme, de compétence et de rigueur

Dédicaces

Au nom de Dieu, le clément, très miséricordieux

je dédie ce modeste à mon très cher père, ma très cher mère qui m'ont soutenu dans mes études que Dieu les protège .

A mes chers frères « Abdelkarim » « Rabie »

A mes chers sœurs « Mariem » « Nourhan »

A mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

A mes amies : Amine-Aïcha-fatima-asmaa –hanane.

A toutes la promotion les quelles j'ai rencontré ;

A tous ceux qui m'aiment ; et tous que j'aime .

A tout ceux que je n'ai pas cité leurs noms mais je n'oublie jamais leurs aides.

Souhila

Dédicaces

Au nom de Dieu, le clément, très miséricordieux.

je dédie ce modeste à mon très cher père, mes très cher mère et grande mère qui m'ont soutenu dans mes études que dieu les protège .

A mon chers frères « Mohamed ».

A mes chers sœurs « Hayet » « Fatima » « fatiha » « Choumissa »

A mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

A mes amies :Souhila-fatima-asmaa .

A ma promotion de master télécommunication 2013/2015

A tous ceux qui m'aiment et tous que j'aime

A tout ceux que je n'ai pas cité leurs noms mais je n'oublie jamais leurs aides.

Aicha

SOMMAIRE

Table de matières

Remerciement.....	ii
Dédicace.....	iv
Table des matières.....	v
Table des figures.....	vi
Acronymes et abréviations.....	x
1.Introduction générale.....	1

Chapitre I : Chaîne de transmission numérique

1.1Introduction	3
1.2Présentation de la chaîne de transmission numérique	3
1.2.1 Source de l'information	3
1.2.1 Codeur de source	4
1.2.3. Codeur de canal	4
1.2.4. L'émetteur.....	5
1.2.5 Le canal de transmission	5
1.2.5.1 Le milieu de transmission	6
1.2.5.2 Le bruit.....	7
1.2.6 Le récepteur.....	8
1.2.7 Décodeur de canal- source.....	9
1.3. Modulation numérique.....	10
1.3.1. Définitions et appellations.....	10
1.3.2. modulation à déplacement d'amplitude (MDA).....	10
1.3.3. modulation à déplacement de phase (MDP).....	10
1.3.4- Modulation d'amplitude en quadrature (MAQ).....	11
1.3.5 Les critères de choix d'une modulation.....	12
1.4. Canal de transmission.....	14
1.4. Canal de transmission.....	14

SOMMAIRE

1.4.1. Bande passante.....	14
1.4.2.1 Réponse impulsionnelle et fréquentielle.....	14
1.4.2.2 Canal à bruit additif blanc gaussien.....	15
1.4.2.3 Canal à évanouissements.....	15
1.5 Capacité d'un canal de transmission.....	17
1.6 Conclusion.....	19

Chapitre II : : System MIMO-STBC

2.1.Introduction.....	21
2.2. Les antennes MIMO.....	21
2.3. Architecteur MIMO.....	22
2.4. Caractérisation des Dispositif MIMO.....	24
2.4.1. Diversité.....	24
2.4.2.1 Construction des codes.....	25
2.4.2.2 Types de diversités.....	25
2.5 La diversité espace – temps.....	27
2.5 La construction de STBC.....	28
2.5.1 La construction d'Alamouti.....	28
2.6.conclusion.....	30

Chapitre III : Compression JPEG

3.1. Introduction.....	35
3.1.1. Compression d'images.....	35
3.2.généralité sur le traitement d'image.....	36
3.3 Principe général de la compression.....	36
3.3.1 Terminologie.....	36
3.3.2 Type de compression.....	37
3.3.2.1 Compression sans perte.....	37

SOMMAIRE

3.3.2.2 Compression avec perte.....	37
3.3.2.2.1 La transformée en cosinus discrète (DCT).....	37
3.4 La compression JPEG.....	38
3.4.1 La norme de compression JPEG.....	38
3.4.2 L'algorithme JPEG.....	38
3.4.2.1 Découpage en blocs.....	39
3.4.2.2 Transformée DCT.....	39
3.4.2.3 Quantification.....	40
3.4.2.4 Codage, compression RLE et Huffman.....	42
3.5.La décompression JPEG.....	42
3.6.Caractéristique de JPEG.....	43
3.7. avantages de JPEG.....	44
3.8.Petit défauts de JPEG.....	44
3.9.Conclusion.....	45

Chapitre IV : Résultat des simulations

4.1 INTRODUCTION.....	47
4.2 RESULTATS DE SIMULATION DU SCHEMA D'ALAMOUTI.....	48
4.3 APLICATION DU STBC POUR DIFFERENTES EFFICACITE SPECTRALE.....	50
4.3.1 Pour 2bits/s/Hz.....	50
4.3.2 Pour 3 bits/s/Hz.....	50
4.4 RESULTATS DE LA COMPRESSION JPEG.....	51
4.5 TRANSMISSION D'UNE IMAGE JPEG A TRAVERS UN SYSTEME STBC.....	53
4.5.1 Pour une efficacité spectrale de 2 bits/s/Hz.....	54
4.5.2 Pour une efficacité spectrale de 3 bits/s/Hz.....	56
4.5.3Conclusion.....	59
5.Conclusion générale.....	60

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : CHAÎNE DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE

Figure I.1 : chaîne de transmission numérique	3
Figure I.2 : canal de transmission	5
Figure I.2.1 : câble coaxial	6
Figure I.2.2 : faisceau hertzien.....	6
Figure I.3 : canal blanc gaussien (BBAG).....	7
Figure I.4 : constellation de la modulation d'amplitude à M états.....	10
Figure I.5 : modulation d'amplitude MDA 4 symétrique	10
Figure I.6: constellation des symboles en modulation de phase MDP-M.....	11
Figure I.7 : chronogramme de la modulation de phase MDP-4.....	12
Figure I.8 : constellation des symboles en modulation d'amplitude en quadrature (MAQ-4 et MAQ-16)	13
Figure I.9 : canal de transmission	15
Figure I.10 : densité de probabilité de la distribution de Rayleig	17
Figure I.11 : Capacité d'une transmission en fonction du SNR	15
Figure I.12 : capacité d'une transmission MIMO en fonction du SNR	20

CHAPITRE II : SYSTÈME MIMO-STBC

Figure II.1 : schéma du principe des antennes MIMO.....	22
Figure II.2 : Dispositif SIMO	23
Figure II.3 : Dispositif MISO	23
Figure II.4 : Dispositif MIMO	24
Figure II.5 : schéma d'un système de transmission sans fil MIMO	27

CHAPITRE III : COMPRESSION JPEG

Figure III.1 : l'image numérique et quelques informations de bas	35
Figure III.2 : chaîne de traitement d'image	36
Figure III.3 : Organigramme de compression	39

CHAPITRE IV : RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Figure IV.1 : schéma du système de transmission étudié	47
Figure IV.2 Performance du TEB pour une modulation BPSK pour le MMRC et la méthode d'alamouti	48
Figure IV.3 Performance du TEB pour une modulation BPSK pour le MMRC et la méthode d'alamouti	49
Figure IV.4 TEB en fonction du E_b / N_0 pour 2bits/S/HZ modulation MAQ-4 pour 1,2 et 3 antennes en réception	50
Figure IV.5 TEB en fonction du E_b / N_0 pour 3bits/S/HZ modulation MAQ-8 pour 1,2 et 3 antennes en réception	51

LISTE DES FIGURES

Figure IV.6 Image originale	51
Figure IV.7 : PSNR en fonction du taux de compression (bpp)	52
Figure IV.8 : Image reconstruite pour différents taux de compression	52
Figure IV.9 : Image originale	52
Figure IV.10 : TEB en fonction du E_b/N_0 pour 2 et 3 bits/s /HZ avec une et deux antennes en réception	53
Figure IV.11 : Image reconstruites pour la modulation MAQ-4 et le code G2 pour une antenne en réception	53
Figure IV.12 : Image reconstruites pour la modulation MAQ-4 et le code G2 pour deux antennes	53
en réception.	
Figure IV.13 : PSNR en fonction du RSB pour la modulation MAQ-4 et le code G2.....	54
Figure IV.14 : Image reconstruites pour la modulation MAP-8 et le code G2 pour une antenne en réception.	54
Figure IV.15 : Image reconstruites pour la modulation MAP-8 et le code G2 pour deux antennes en réception	58
Figure IV.16 : PSNR en fonction du rsb pour la modulation MDP-8 et le code G1.....	58

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I : CHAÎNE DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE :

Tableau I.1 : les valeurs de l'alphabet de MDA M Symétrique	9
-------------------------------------------------------------------	---

Chapitre II : SYSTÈME MIMO-STBC :

Tableau II.1 : Schème de transmission dans le temps	21
-----------------------------------------------------------	----

CHAPITRE IV : RÉSULTATS DES SIMULATIONS :

Tableau IV.1 : : Récapitulatif des performances des STBC d'Alamouti et de Tarokh pour différentes efficacités spectrales.....	46
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Acronymes et abréviations

PE	: Probabilité D'erreur.
TEB	: Taux D'Erreur Par Bit.
BBAG	: Canal Bruit Blanc Additif Gaussien .
MDA	: Modulation Par Déplacement D'Amplitude .
MDP	: Modulation Par Déplacement De Phase Différentiel.
MAQ	: Modulation D'amplitude De Deux Porteuses en Quadrature .
MDF	: Modulation Par Déplacement De Fréquence.
BP	: Bande Passante.
MIMO	: Multiple Input Multiple Output .
SISO	: Single Input Single Output.
SIMO	: Single Input Multiple Output.
MISO	: Multiple Input Single Output.
BER	: Taux D'erreur Binaire.
STT	: Spatio-Temporels En Treillis.
STB	: Spatio-Temporels En Bloc.
STBC	: Space Time Block Codes.
RGB	: Red, Green, Blue.
RLC	: RunLengthCoding.
VLC	: Variable LengthCoding.
LZW	: Lempel-Ziv-Welch.
DCT	: Transformée En Cosinus Discrète .
JPEG	: Joint Photographique Experts Group.
KLT	: Karhunen-Loeve Transform.
FFT	: Fast Fourier Transforme.

PSNR : Peak Signal to Noise Ratio.

RSB :Rapport Signal à bruit.

bpp : bit par pixels .

Introduction Générale :

Durant les deux dernières décennies, le développement des systèmes de communications sans fil a vu un essor impressionnant. Les débits ainsi que la qualité de service ne cessent de croître avec l'intégration de nouvelles applications. Ces dernières ont conduit à la saturation des ressources radiofréquences dans les lieux de haute densité, d'où la nécessité de fournir une capacité sans cesse croissante en termes d'efficacité spectrale élevée, des débits de données plus élevés, un plus grand nombre d'utilisateurs simultanés et une stabilité.

Pour palier aux exigences de ces applications, l'étude des systèmes à antennes multiples désignés en général par systèmes MIMO (Multiple- Input Multiple- Output) est devenue le centre d'intérêt de nombreux travaux de recherches. Dans la configuration classique des systèmes MIMO, les antennes sont co-localisées sur les deux terminaux, source et destination. L'observation principale est que, lorsque le nombre d'antennes émettrices et le nombre d'antennes réceptrices augmentent, la capacité du système augmente. Théoriquement, l'accroissement de la capacité est proportionnel au minimum entre le nombre d'antennes émettrices et le nombre d'antennes réceptrices. Ainsi, si nous augmentons en parallèle le nombre d'antennes émettrices et le nombre d'antennes réceptrices, l'efficacité spectrale du système croît alors linéairement.

Dans ce mémoire un système de communication numérique utilisant une technique de diversité spatiale dite STBC (Space Time Blocs Codes) d'Alamouti est présentée pour transmettre des images compressées JPEG.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres, organisé comme suit :

Le premier chapitre présente quelques généralités sur la chaîne de transmission numérique.

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation du système de transmission MIMO-STBC.

Dans le troisième chapitre, la présentation de la technique de compression JPEG est présentée.

Dans le quatrième chapitre, les résultats de la transmission d'images compressées JPEG par le système STBC-Alamouti pour différentes efficacités spectrales sont présentés et discutés.

I.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on présente la chaîne de transmission et les notions théoriques de chaque élément de cette chaîne. Un bref aperçu de quelques notions de base sur la théorie de codage sera donné dans un cadre classique qui englobe les théories de l'information de la communication.

La tâche d'un système de transmission numérique [1] est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible. Les transmissions numériques ont fait l'objet de très nombreuses études depuis la publication des travaux de 'SHANNON en 1948 qui ont posé les bases théoriques de ce domaine. Les résultats de nombreuses recherches compris la théorie de codage se sont rapidement concrétisés en pratique par l'amélioration de la conception des systèmes de transmission numérique.

Les systèmes de transmission numérique véhiculent de l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique. La tâche du système de transmission est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible.

Les trois caractéristiques principales permettant de comparer entre les différentes techniques de transmission sont les suivantes:

- **La probabilité d'erreur P_e** : par bit transmis permet d'évaluer la qualité d'un système de transmission. Elle est fonction de la technique de transmission utilisée, mais aussi du canal sur lequel le signal est transmis. Il est à noter que P_e est une valeur théorique dont une estimation non biaisée au sens statistique est le Taux d'Erreur par Bit TEB.
- **L'occupation spectrale** : du signal émis doit être connue pour utiliser efficacement la bande passante du canal de transmission. On est contraint d'utiliser de plus en plus des modulations à grande efficacité spectrale.
- **La complexité du récepteur** : dont la fonction est de restituer le signal émis.

I.2 PRESENTATION DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE :

Le schéma de base d'une chaîne de transmission [2] numérique est représenté sur la figure. I.1.

Le codage de source peut comporter plusieurs fonctions : numérisation, compression.

Le codage de canal : codage, transcodage, cryptage, brouillage.

CHAPITRE I : CHAÎNE ET CANAL DE TRANSMISSION ET MODULATIONS NUMÉRIQUES

Le contenu et le rôle de chacun des blocs présentés sur la figure. I.1 sont détaillés dans les paragraphes suivants :

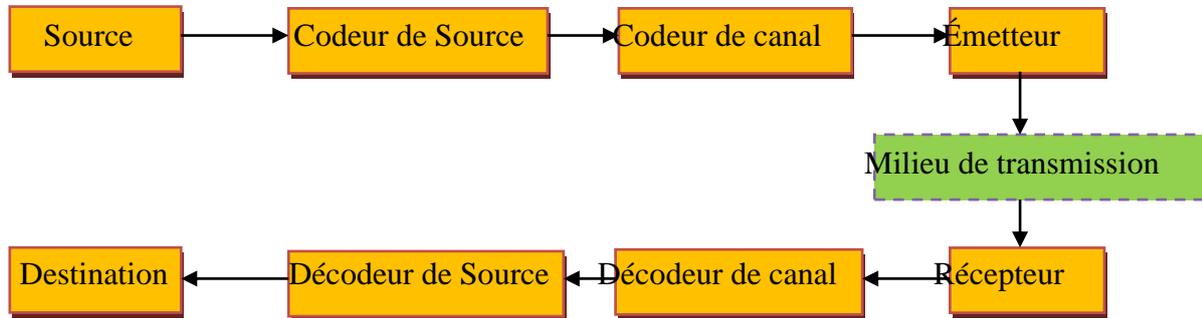


Figure I.1 : Chaîne de transmission numérique

I.2.1 Source de l'information :

Le message porteur d'information émis par la source peut être de nature analogique (signal de parole, etc.). Dans ce cas, le signal doit être numérisé. Nous rappelons que la numérisation s'effectue en deux grandes étapes : échantillonnage (qui doit respecter le théorème d'échantillonnage pour garantir une représentation fidèle du signal), puis quantification de ces échantillons et représentation binaire des valeurs quantifiées.

Exemple : Une source de nature analogique (parole, Musique, Image....), doit d'abord être numérisée au moyen de la double opération citée précédemment avant d'être transmis par des techniques numériques.

I.2.2 Codeur de source :

Le codage de source a pour intérêt la compression maximale de la taille du message, afin de minimiser les paramètres de la transmission (temps, puissance, bande passante, surface de stockage, etc.). Par conséquent on obtient une réduction considérable dans le coût de la transmission. La compression a pour rôle de substituer un message aussi court que possible au message émis par la source, dans les limites où cette substitution est réversible.

I.2.3. Codeur de canal :

Le codage de canal vise, quant à lui, à la protection du message contre les erreurs dues aux perturbations créées par le bruit présent dans le canal de transmission. Les perturbations engendrées induisent une qualité de restitution (souvent mesurée quantitativement par la probabilité d'erreur par bit P_e ou par message, trame, etc....).

Le codage de canal se propose d'assurer que le message à la réception est une représentation fidèle du message transmis ainsi la sûreté de transmission est garantie. Le «prix» qu'il en coûte est alors un accroissement de la taille du message. Il y a donc antagonisme entre codage de source et codage de canal, l'objectif du premier étant de diminuer la redondance du message de source, celui du deuxième d'en ajouter dans un but de protection.

I.2.4. L'émetteur :

Le message numérique issu du codeur de canal, en tant que suite d'éléments binaires, est une grandeur abstraite. Pour transmettre ce message il est donc nécessaire de lui associer une représentation physique, sous forme d'un signal électrique. C'est la première fonction de l'émetteur, appelée généralement opération de modulation. Le choix du type de signaux dépend des propriétés physiques du milieu de transmission que le signal va traverser. L'émetteur assure donc aussi une fonction d'adaptation du signal modulé au milieu de transmission. Parmi les autres traitements effectués par l'émetteur, On cite:

1. La transformation du message numérique en une suite d'impulsion électrique, opération que nous appelons codage en ligne dans le cas de la transmission en bande base (sans porteuse).

2. Le filtrage du signal modulé qui transforme le signal électrique en un autre mieux adapté à un canal de transmission passe-bande.

▪ **Filtrage d'émission:**

On peut citer le filtrage du signal modulé pour limiter sa bande. Lorsque la bande allouée à la transmission est centrée autour d'une fréquence élevée, le modulateur élabore parfois un signal dont le spectre est centré autour d'une fréquence dite intermédiaire plus basse, et l'émetteur effectue ensuite un changement de fréquence qui permet de centrer le signal modulé autour de la fréquence souhaitée. On distingue deux types de filtrage, soit avec passe bas pour un signal numérique en bande de base, soit avec passe-bande pour un signal modulé. Le filtrage apparaît alors comme une fonction essentielle, qui doit répondre au double but:

- Assurer le minimum de distorsion au signal qui va être traité par le récepteur.
- Limiter l'occupation des fréquences à la seule bande permise.

I.2.5 Le canal de transmission :

Le canal, au sens des communications numériques, est comme représenté à la figure I.2, inclut le milieu de transmission (lien physique entre l'émetteur et le récepteur : câble, fibre, espace libre, voire support d'enregistrement), le bruit (perturbation aléatoire issue du milieu, des équipements électroniques), et les interférences (provenant des autres utilisateurs du milieu de transmission, de brouilleurs intentionnels ou non). Mais aussi, éventuellement, le filtre d'émission placé physiquement dans l'émetteur.

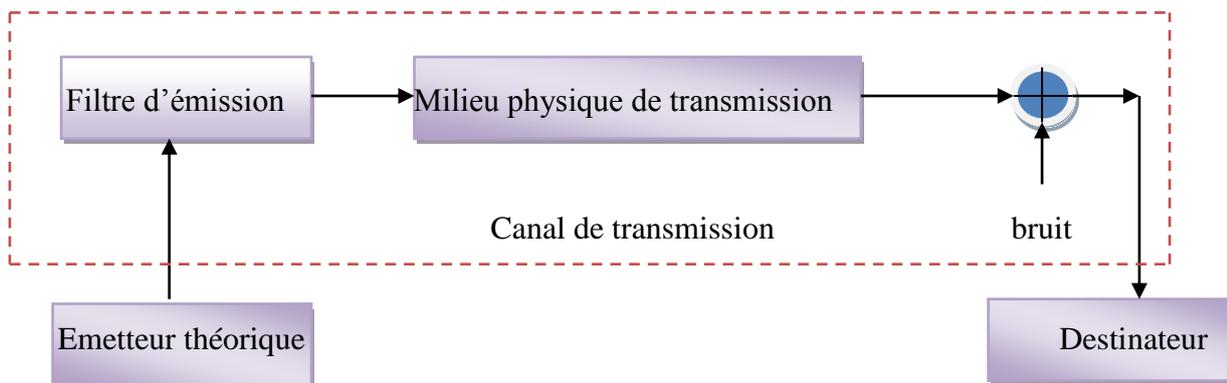


Figure I.2 : Canal de transmission

I.2.5.1 Le milieu de transmission :

Le milieu de transmission représente le lien physique entre l'émetteur et le récepteur, il est pratiquement constitué par l'un des supports suivants [3] :

- **La paire symétrique:**

La paire symétrique est constituée de deux conducteurs identiques torsadés. Les torsades de la ligne-généralement plusieurs paires sont regroupées sous une enveloppe protectrice appelée gaine pour former un câble.

La paire torsadée est sensible à l'environnement électromagnétique (parasite industriels, proximité de câble courant fort).

La paire torsadée (symétrique) est actuellement le conducteur le plus utilisé des raccordements téléphonique, liaison spécialisée en bande de base jusqu'à 64Kbit/s, réseau locaux jusqu'à 100Mbit/s sur 100m.

- **La paire coaxiale, ou câble coaxiale :**

Une paire coaxiale est constituée de deux conducteurs concentriques maintenus à part par un diélectrique. Le conducteur extérieur, tresse métallique en cuivre recuit blindage. L'ensemble est protégé par une gaine.

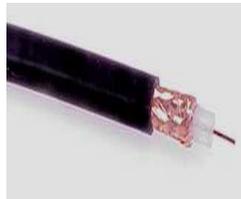


Figure I.2.1 : câble coaxial

Le câble coaxial possède des caractéristiques électriques supérieures à celles de la paire torsadées. Il autorise des débits plus élevés et est peu sensible aux perturbations électromagnétiques extérieures.

En transmission numérique, notamment dans les réseaux locaux, on utilise des câbles d'impédance 50Ω à des débits pouvant atteindre 10Mbit/S sur des distances de l'ordre du kilomètre. La bande passante est d'environ 300 à 400Mhz.

- **La fibre Optique:**

Une fibre optique est composée d'un fil de silice appelé cœur, entouré d'une gaine appelée manteau et d'une enveloppe de protection. Un système de transmission par fibre optique met en œuvre :

- Un émetteur de lumière (transmetteur), constitué d'une diode électroluminescente, qui transforme les impulsions électriques en impulsions lumineuses.
- Un récepteur de lumière, constitué d'une photodiode de type (PIN) qui traduit les impulsions lumineuses en signaux électriques.

Les fibres optiques sont caractérisées par :

- Une bande passante très large.
- Insensibilité aux parasites électriques et magnétiques.
- Atténuation très faible. .
- Vitesse de propagation élevée.

- Les faisceaux hertziens :



Figure I.2.2 : faisceau hertzien

Les ondes radioélectriques peuvent dans certains cas remplacer avantageusement les liaisons filaires, ces ondes utilisent des fréquences dans la bande de 400MHz à 40GHz. Ils peuvent être analogiques ou numériques.

I.2.5.2 Le bruit :

Le bruit qui s'ajoute au signal est une perturbation aléatoire qui peut être d'origine interne aux éléments de transmission, ou d'origine externe (bruit capté par l'antenne). Il joue un rôle d'autant plus important que le signal reçu est faible. Dans ces conditions, pour traiter le signal, le récepteur doit opérer avant toute chose une amplification du signal.

❖ Le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG) :

Les modèles utilisés pour représenter le canal de transmission défini ci-dessus sont relativement simples. Le plus simple et le plus classique est le canal à bruit, additif blanc gaussien (canal BBAG) [1] en sortie de ce canal. Le signal reçu résulte de l'addition du signal émis et d'un bruit figure I.3. Si on excepte ce bruit, le signal émis ne subit aucune modification : nous dirons que le canal est sans perturbation.

Le bruit additif est indépendant du signal. Il est modélisé par un processus aléatoire stationnaire, blanc gaussien et centré (la moyenne=0), de variance (σ^2) sa densité spectrale bilatérale de puissance est constante, égale à $N_0/2$.

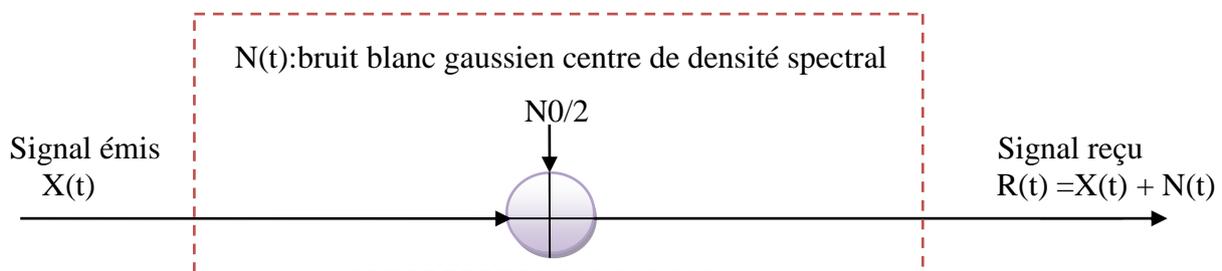


Figure I.3 : Canal bruit blanc gaussien (BBAG)

Un paramètre qui sert à caractériser le fonctionnement du récepteur est le rapport signal sur bruit, rapport des puissances de signal reçu et de bruit, évalué au niveau du récepteur. Si on réfère au modèle de canal BBAG, la puissance du signal utile est la même à l'entrée est la sortie du canal.

I.2.6 Le récepteur :

Le récepteur, qui a pour fonction de reconstituer le message émis par la source à partir du signal reçu, comprend des circuits d'amplification, de changement de fréquence et de démodulation (le signal est ramené en bande de base) pour les transmissions sur onde porteuse. Le filtrage est assuré par un filtre ayant les critères de Nyquist permettant l'extraction du message numérique du signal reçu. Pour cela, il procède de manière séquentielle en prenant une suite de décisions sur les symboles successifs du message émis.

I.2.7 Décodeur de canal- source :

Le décodage de canal et de source sont les opérations inverses respectives des fonctions de codage de canal et de source.

Plusieurs stratégies différentes peuvent être utilisées par le décodeur de canal.

- La première est la détection d'erreurs. Le décodeur observe la séquence reçue, il demande à l'émetteur de retransmettre la séquence dans laquelle une erreur a été détectée.
- La deuxième est la correction d'erreurs.

I.3. MODULATION NUMERIQUE :

La modulation a pour objectif d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Pour les transmissions en bande de base, la forme d'onde utilisée pour la mise en forme du signal physique est le plus souvent une porte. Cette opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse $S(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ centrée sur la bande de fréquence du canal.

Les paramètres modifiables sont :

- L'amplitude : A
- La fréquence : $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$
- La phase: φ_0

Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui ne prend que deux valeurs possibles. Dans les procédés de modulation M-aire, l'information est transmise à l'aide d'un symbole qui prend sa valeur parmi $M=2^n$ réalisations possibles, ce qui permet d'associer à un état de modulation un mot de n éléments binaires.

L'ensemble de ces symboles est appelé alphabet et forme une constellation caractéristique pour chaque modulation.

Les types de modulation les plus fréquemment rencontrés sont les suivants :

- Modulation par Déplacement d'Amplitude MDA.
(*Amplitude Shift Keying ASK*).
- Modulation par Déplacement de Phase MDP.
(*Phase Shift Keying PSK*).
- Modulation par Déplacement de Phase Différentiel MDPD.
(*Differential Phase Shift Keying DPSK*).
- Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature MAQ.
(*Quadrature Amplitude modulation QAM*)
- Modulation par Déplacement de Fréquence MDF.
(*Frequency Shift Keying FSK*).

I.3.1. Définitions et appellations :

- Un *symbole* est un élément d'un alphabet. Si M est la taille de l'alphabet, le symbole est alors dit M-aire. Lorsque $M=2$, le symbole est dit binaire. En groupant, sous forme d'un bloc, n symboles binaires indépendants, on obtient un alphabet de $M = 2^n$ symboles M-aires. Ainsi un symbole M-aire véhicule l'équivalent de $n = \log_2 M$ bits.

- **La rapidité de modulation R** : se définit comme étant le nombre de changements d'états par seconde d'un ou de plusieurs paramètres modifiés simultanément. Un changement de phase du signal porteur, une excursion de fréquence ou une variation d'amplitude sont par définition des changements d'états.

La "rapidité de modulation" $R = \frac{1}{T}$ s'exprime en "bauds".

Où T est période du symbole

- **Le débit binaire D** : se définit comme étant le nombre de bits transmis par seconde. Il sera égal ou supérieur à la rapidité de modulation selon qu'un changement d'état représentera un bit ou un groupement de bits.

Le "débit binaire" $D = \frac{1}{T_b}$ s'exprime en "bits par seconde".

Où $T_b = \frac{T}{n}$;

n est nombre de bits

Pour un alphabet M-aire, on a la relation fondamentale : $T = nT_b$ soit $D = nR$.

Il y a égalité entre débit de source et rapidité de modulation uniquement dans le cas d'une source binaire (alphabet binaire).

- **La qualité d'une liaison est liée au taux d'erreur par bit :**

➤ $TEB = \frac{\text{nombre de bits faux}}{\text{nombre de bits transmis}}$ - I.1-

On notera la différence entre P_e et TEB. Au sens statistique, on a $P_e = E(TEB)$. TEB tend vers P_e si le nombre de bits transmis tend vers l'infini.

- **L'efficacité spectrale** : d'une modulation se définit par le paramètre $\eta = \frac{D}{B}$ et s'exprime en "bit/seconde/Hz". La valeur D est le "débit binaire" et B est la largeur de la bande occupée par le signal modulé. Pour un signal utilisant des symboles M-aires, on aura : $h = \frac{1}{T_b} \log_2 M$ bit/sec/Hz. Remarquons que pour B et T donnés, l'efficacité spectrale augmente, comme on pouvait s'y attendre, avec le nombre de bit/symbole $n = \log_2 M$. C'est en effet la raison d'être de la modulation M-aire.

I.3.2. modulation à déplacement d'amplitude (MDA) :

Elle consiste à faire varier l'amplitude du signal selon la loi de transcodage associée. Celui-ci s'exprime alors:

$$s(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \phi) \quad \text{avec} \quad A(t) = \sum_k a_k h(t - kT_s) \quad \text{-I.2-}$$

Où :

- T_s est la période d'un symbole.
- $h(t)$ est un filtre de mise en forme des impulsions, par exemple une porte ($h(t) = 1$ si $t \in [0, T_s[$ et 0 ailleurs).
- ϕ est une phase de référence

CHAPITRE I : CHAÎNE ET CANAL DE TRANSMISSION ET MODULATIONS NUMÉRIQUES

- $a_k = (n \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots, \pm M-1)a_0$ la suite des symboles M-aires. Ce type de modulation est simple à réaliser mais est assez peu employé pour $M > 2$ car ses performances sont moins bonnes que celles d'autres modulations, notamment en ce qui concerne sa résistance au bruit.

❖ Les constellations "MDA M Symétrique"

On a toujours $M = 2^n$ amplitudes possibles du signal, mais ici les valeurs de l'alphabet sont telles que : $A_i = (2i - M + 1).a_0$ avec $i = 1, 2, \dots, M$.

Suivant les valeurs de n on obtient le tableau suivant :

n	M	Valeur de l'alphabet
1	2	$-1a_0, 1a_0$
2	4	$-3a_0, -1a_0, 1a_0, 3a_0$
3	8	$-7a_0, -5a_0, -3a_0, -1a_0, 1a_0, 3a_0, 5a_0, 7a_0$

Tab I.1: les valeurs de l'alphabet de MDA M Symétrique.

La constellation de la modulation à M états symétriques est donnée figure I.3 pour M prenant

Comme valeurs 2, 4 et 8.

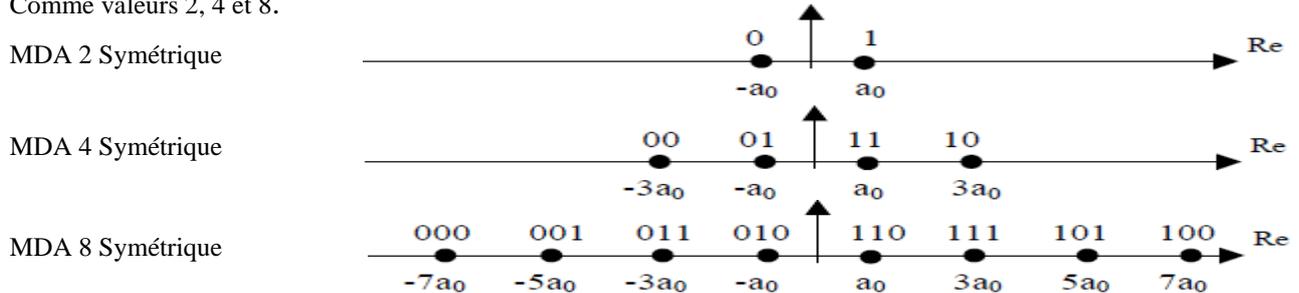


Figure I.4 : Constellation de la modulation d'amplitude à M états.

On remarquera que la disposition des symboles met en œuvre un code de Gray de telle sorte qu'un seul bit change lorsque l'on passe d'un point à un autre.

❖ Chronogramme de "MDA 4 Symétrique"

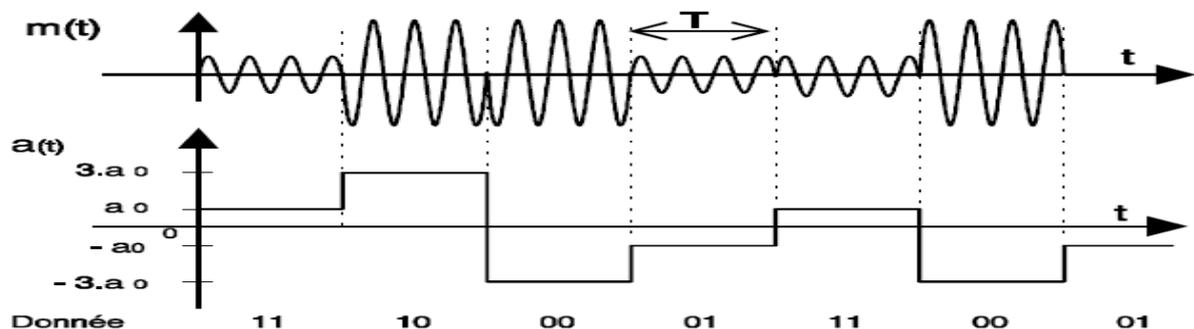


Figure I.5 : Modulation d'amplitude MDA 4 Symétrique

La figure I.4 met en évidence que deux bits sont transmis simultanément à chaque période T.

Elle met aussi en évidence qu'il n'est pas question ici de pratiquer une détection d'enveloppe à la réception.

❖ Conclusion sur la MD :

La tentation d'augmenter M (c'est à dire le nombre de bits transmis par symbole) est grande mais présente les avantages et les inconvénients suivants :

- □ L'efficacité spectrale $\eta = \frac{1}{T_B} \log_2 M$ augmente, (pour une largeur de la bande B donnée).
- □ Malheureusement, la probabilité d'erreur par symbole $P_s(e)$ augmente aussi, et, pour ne pas la dégrader, il sera nécessaire d'augmenter l'énergie émise par bit E_b .

Finalement, ce type de modulation est simple à réaliser mais est assez peu employé pour $M > 2$ car ses performances sont moins bonnes que celles d'autres modulations, notamment pour sa résistance au bruit.

I.3.3. modulation à déplacement de phase (MDP) :

Le seul paramètre susceptible de varier est la phase de l'onde porteuse. A la sortie du modulateur, le signal s'exprime:

$$s(t) = A \sum_k h(t - kT_s) \cos(\omega_0 t + \phi_k) \quad \text{-I.3-}$$

où A représente l'amplitude constante de l'onde porteuse et ϕ_k la valeur de la phase pendant un intervalle de temps $[kT_s, (k+1)T_s]$. Pour une modulation MDP-M, ϕ_k prend ses valeurs dans un alphabet de M éléments:

$$\phi_k = \phi + (2n + 1) \frac{\pi}{M} \quad (n = 1, 2, \dots, M) \quad \text{-I.4-}$$

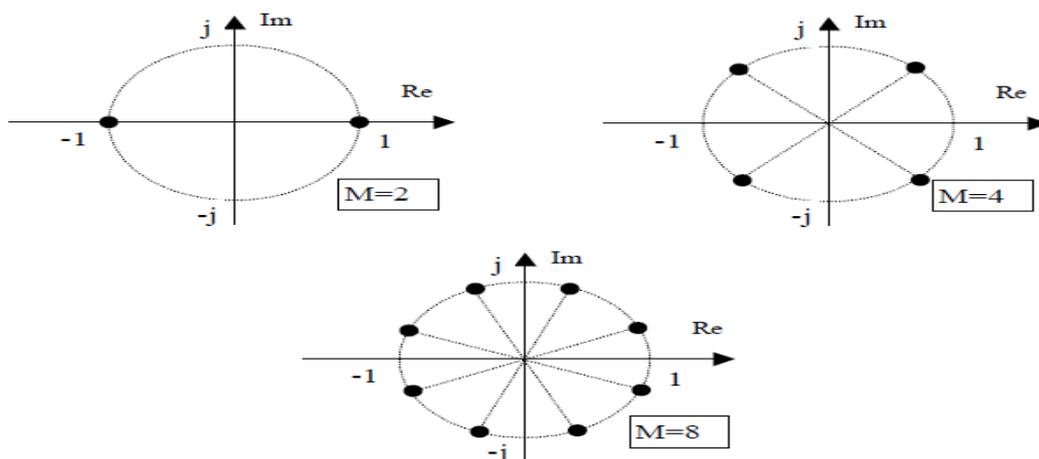


Figure I.6 : Constellation des symboles en modulation de phase MDP-M

La complexité de l'ensemble émission/réception de la MDP augmente avec M , mais reste raisonnable, ce qui en fait une modulation fréquemment utilisée pour M allant de 2 à 16 avec de bonnes performances. Un des inconvénients de la MDP, est l'existence de sauts de phase importants qui font apparaître des discontinuités d'amplitude.

On appelle "MDP-M" une modulation par déplacement de phase (MDP) correspondant à des symboles M-aires. La figure I.6 montre différentes constellations de MDP pour M= 2, 4 et 8.

❖ **Chronogramme de "MDP-4"**

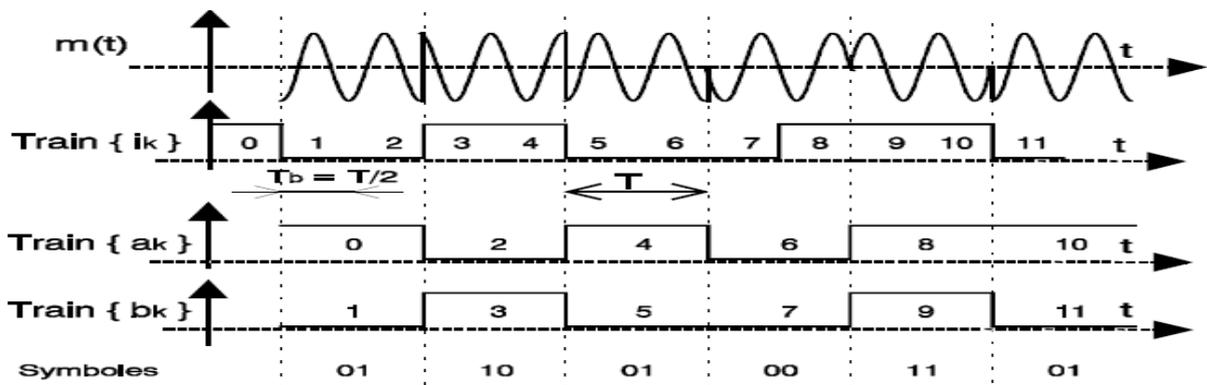


Figure II.7 : Chronogramme de la modulation de phase MDP-4 .

La figure II.7 représente un chronogramme de la modulation de phase MDP-4. Elle met en évidence la distribution des bits numérotés du train binaire entrant $\{ i_k \}$ vers les trains binaires $\{ a_k \}$ et $\{ b_k \}$ ainsi que le retard à introduire sur la voie en phase pour réaligner les deux flux de bits. On observe aussi que la phase du signal modulé $m(t)$ peut changer de $0, \pm \frac{\pi}{2}$, ou π radians lors du passage d'un symbole à un autre ce qui n'a, bien entendu, rien de surprenant lorsque l'on regarde la constellation de la MDP-4.

❖ **Conclusion sur la MDP :**

La tentation d'augmenter M (c'est à dire le nombre de bits transmis par symbole) est grande et présente les avantages et les inconvénients suivants :

- □ L'efficacité spectrale $\eta = \frac{1}{TB} \log_2 M$ augmente (pour une largeur de la bande B donnée).
- La probabilité d'erreur par symbole $P_s(e)$ augmente aussi, et, pour ne pas la dégrader il est nécessaire d'augmenter le rapport signal sur bruit, cette augmentation restant raisonnable jusque $M = 16$.
- Nous avons vu que la complexité de l'ensemble émission/réception de la MDP augmente avec M. Cependant cette complexité n'est pas très élevée et fait de la MDP une modulation fréquemment utilisée pour M allant de 2 à 16 avec de bonnes performances.
- Dans les inconvénients de la MDP, citons l'existence de sauts de phase importants de $\pm \pi$ radians qui font apparaître des discontinuités d'amplitude. Les modulations décalées sont une solution à ce problème.

I.3.4- Modulation d'amplitude en quadrature (MAQ) :

Les modulations précédentes ne constituent pas une solution satisfaisante pour utiliser efficacement l'énergie émise lorsque le nombre de points M est grand. En effet, dans la MDA les points de la constellation sont sur une droite, et dans la MDP les points sont sur un cercle. Or, la probabilité d'erreur est fonction de la distance minimale entre les points de la constellation, et la meilleure modulation est celle qui maximise cette distance pour une puissance moyenne donnée. Un choix plus rationnel est alors une modulation qui répartit les points uniformément dans le plan.

Pour ce faire, on écrit le signal modulé $s(t)$ sous la forme suivante:

$$s(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + b(t) \sin(\omega_0 t + \phi_0) \quad -I.5-$$

où les deux signaux $a(t)$ et $b(t)$ ont pour expression :

$$a(t) = \sum_k a_k h(t - kT_s) \quad \text{et} \quad b(t) = \sum_k b_k h(t - kT_s) \quad -I.6$$

Le signal modulé $s(t)$ est donc la somme de deux porteuses en quadrature, modulées en amplitude par les deux signaux $a(t)$ et $b(t)$. On considère généralement que les symboles a_k et b_k prennent respectivement leurs valeurs dans le même alphabet à M éléments donnant ainsi naissance à une modulation possédant $E = M^2$ états. Chaque état est donc représenté par un couple (a_k, b_k) ou par un symbole complexe $c_k = a_k + jb_k$. Dans le cas particulier mais très fréquent où M peut s'écrire $M = 2^n$, alors les a_k représentent un mot de n bits et les b_k représentent aussi un mot de n bits. Le symbole complexe $c_k = a_k + jb_k$ peut par conséquent représenter un mot de 2^n bits. L'intérêt de cette configuration est que le signal $s(t)$ est alors obtenu par une combinaison de deux porteuses en quadrature modulées en amplitude par des symboles a_k et b_k indépendants. Cette modulation prend naturellement le nom de modulation d'amplitude en quadrature (MAQ).

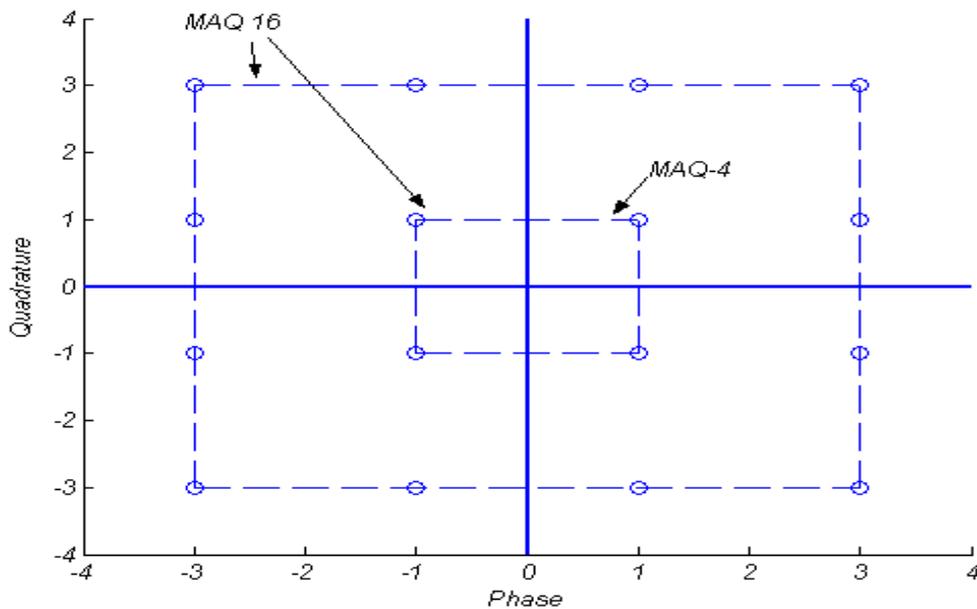


Figure I.8 : Constellation des symboles en modulation d'amplitude en quadrature (MAQ-4et MAQ-16).

I.3.5 Les critères de choix d'une modulation :

- La constellation qui suivant les applications mettra en évidence une faible énergie nécessaire à la transmission des symboles ou une faible probabilité d'erreur.
- L'occupation spectrale du signal modulé.
- La simplicité de réalisation (avec éventuellement une symétrie entre les points de la constellation).

APPLICATIONS :

Les domaines d'applications des diverses techniques de transmission numérique que nous venons d'exposer sont très variés. Quelques-uns sont décrits ci après.

- **Les modems téléphoniques :**

La transmission d'un grand débit sur le canal téléphonique (sur une bande de fréquence de 3500 Hz environ) a nécessité la mise en œuvre de modulations à grand nombre d'états comme la MAQ-16, la MAQ-32 et la MAQ-128.

- **Les faisceaux hertziens :**

Au début de la numérisation, les faisceaux hertziens faisaient usage de modulations simples comme la MDP-4 mais l'utilisation efficace du spectre radioélectrique disponible a nécessité le développement de faisceaux hertziens utilisant des modulations à grand nombre d'états comme la MAQ-16 et la MAQ-64. C'est la modulation MAQ-16 qui a permis la transmission d'un débit de 140 Mbit/s dans la bande 6,4-7,1 GHz pour des canaux espacés de 40 MHz. Aujourd'hui, des faisceaux hertziens utilisent la modulation MAQ-256 qui offre un débit de 280 Mbit/s pour des canaux espacés de 30 MHz.

- **Les transmissions par satellite:**

Les transmissions par satellite sont caractérisées par une forte atténuation de l'espace et une puissance limitée de l'émetteur à bord du satellite. Ces considérations privilégient l'efficacité en puissance (l'immunité au bruit) contre l'efficacité spectrale des liaisons. Les modulations les plus souvent utilisées sont la MDP-2, la MDP-4 et la MDP-8

- **Les radiocommunications avec les mobiles**

Les systèmes de radiocommunications numériques se répandent très rapidement dans le monde entier. Les systèmes cellulaires américains et japonais utilisent une modulation différente de celle employée dans le système européen. La modulation utilisée aux Etats-Unis et au Japon est la p/4-DQPSK qui est une MDP-4 dont on tourne les axes d'un angle de p/4 d'un symbole au suivant. Les rotations de phase de p qui se produisent en p sont ainsi interdites dans cette modulation. Cela élimine les passages par zéro de l'enveloppe du signal et réduit considérablement les fluctuations temporelles de celle-ci.

- **La radiodiffusion :**

La radiodiffusion de la télévision numérique par voie terrestre est basée sur la technique COFDM. Elle nécessite une modulation à grande efficacité spectrale comme la MAQ-64 pour diffuser une chaîne de télévision haute définition ou 3 à 4 chaînes de télévision standards dans une bande de fréquence de 8 MHz.

Les systèmes modernes de communication numérique sont complexes et requièrent des circuits de modulation et de démodulation de plus en plus sophistiqués. Nous avons examiné un certain nombre de modulations qui sont aujourd'hui utilisées. Il s'avère que le choix d'un type de modulation est toujours déterminé par les contraintes de

CHAPITRE I : CHAÎNE ET CANAL DE TRANSMISSION ET MODULATIONS NUMÉRIQUES

l'application. Le développement des transmissions numériques s'est appuyé sur les progrès rapides réalisés dans le domaine des circuits intégrés de traitement des signaux.

I.4. CANAL DE TRANSMISSION :

Lorsqu'il s'agit de transmettre des informations, plusieurs cas peuvent se présenter d'une part, il faut soit effectuer une liaison point à point entre un émetteur et un récepteur (téléphonie), soit diffuser l'information à partir d'un émetteur vers plusieurs récepteurs (radio/télé diffusion). En fonction du type de liaison (point à point ou diffusion), des contraintes économiques et matérielles, s'effectue le choix du média de transmission (câble coaxial ou paires torsadées, fibres optiques, vide ou air pour les communications Hertziennes, etc). Le média de transmission, au quel s'ajoutent les perturbations et déformations (bruits, diaphonie, distorsions) de l'information, est appelé canal.

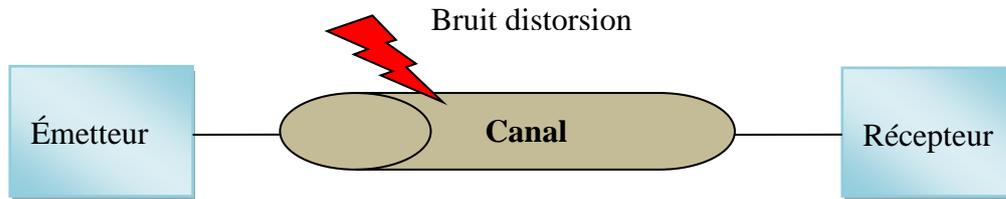


Figure I.9 : Canal de transmission

Dans le cas idéal un canal de transmission est transparent et adapté à la source d'information et au destinataire.

I.4.1. Bande passante :

Chaque canal de transmission a une bande passante limitée c'est-à-dire :

- Certains signaux se propagent correctement sur le support.
- Certains ne se propagent pas du tout.

La bande passante c'est la bande fréquence des signaux dont la puissance à la sortie, après

- transmission sur le support, est supérieure à un seuil donné (3dB).
- Par exemple la puissance d'un signal sinusoïdale est au pire divisé par 2.

$$\frac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}} = 2 \Rightarrow 10 \log_2 \left(\frac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}} \right)$$

I.4.2. Modélisation d'un canal de transmission :

I.4.2.1 Réponse impulsionnelle et fréquentielle :

Un canal de transmission peut introduire sur un signal plusieurs perturbations. On peut les représenter par un bruit additif et des distorsions.

La réponse impulsionnelle d'un canal de transmission linéaire $h(t)$ est:

$$S(t) = e(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad \text{I.7}$$

La réponse fréquentielle ou fonction de transfert est la transformée de fourrier de la réponse impulsionnelle:

$$H(\omega) = \exp[-\alpha(\omega) - j\beta(\omega)] \quad \text{I.8}$$

Où :

α est l'atténuation en Neper (Np).

β est le déphasage en radian.

$$\alpha = \ln\left(\frac{e_0}{s_0}\right) \quad \text{I.9} \quad \alpha(dB) = 20 \log_{10}\left(\frac{e_0}{s_0}\right) \quad \text{I.10}$$

Remarques :

- Lorsque 2 canaux linéaires sont en cascade, leurs fonctions de transfert se multiplient, Les déphasages et les atténuations s'ajoutent.
- Le canal de transmission idéal ne déforme pas le signal cependant il peut l'atténuer et Le retarder de façon uniforme.

I.4.2.2 Canal à bruit additif blanc gaussien :

Le modèle de canal le plus fréquemment utilisé pour la simulation de transmissions numériques, est le canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG) (notation en anglais AWGN : Additif White Gaussien Noise). Ce bruit modélise à la fois les bruits thermiques et le bruit d'origine externe du principalement aux bruits d'antennes. Le signal reçu s'écrit:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad \text{I.11}$$

Où:

- $s(t)$ est le signal émis
- $r(t)$ le signal reçu
- $n(t)$ représente le BBAG, caractérisé par un processus aléatoire gaussien de moyenne nulle, de variance

$$\sigma_n^2 \text{ et de densité spectrale de puissance bilatérale } \Phi_w = \frac{N_0}{2}$$

I.4.2.3 Canal à évanouissements :

Les communications radio ont souvent besoin d'un modèle plus élaboré prenant en compte les différences de propagation du milieu, appelées encore atténuations ou évanouissements, qui affectent la puissance du signal. Cette atténuation du signal est principalement due à un environnement de propagation riche en échos et donc caractérisé par de nombreux multi trajets, mais aussi au mouvement relatif de l'émetteur et du récepteur entraînant des variations temporelles du canal.

▪ Définition de l'étalement temporel :

Les composantes du signal ayant emprunté des chemins différents dans un canal à évanouissement arrivent au récepteur avec des retards différents. L'étalement temporel, noté T_m et défini par la différence entre le plus grand et le plus court des retards, permet de caractériser la dispersion temporelle du canal. La bande de cohérence du canal, notée B_c , correspond à la gamme de fréquences sur laquelle les amplitudes des composantes fréquentielles du signal, fortement corrélées, subissent des atténuations semblables. En dehors de cette bande de fréquence en revanche, les distorsions du signal deviennent non négligeables. En général, la bande de cohérence d'un canal est du même ordre de grandeur que l'inverse de son étalement temporel. Notons B_s la largeur de bande du signal transmis. Tant que $B_s \leq B_c$, toutes les composantes fréquentielles du signal subissent des atténuations semblables, et le canal est dit non sélectif en fréquence. Dans le cas contraire, aux moins deux composantes fréquentielles subissent des atténuations indépendantes, et le canal est dit sélectif en fréquence, traduisant ainsi ce manque de corrélation. Pour éviter ce phénomène générateur d'interférence entre symboles

(IES), on essaie en pratique de rendre la largeur de bande du signal très petite par rapport à la bande de cohérence du canal.

On représente par T_c le temps de cohérence du canal, durant lequel les distorsions temporelles du canal restent négligeables. Traditionnellement, T_c est du même ordre de grandeur que l'inverse de l'étalement fréquentiel B_m qui correspondent à la différence entre le plus grand et le plus petit décalage en fréquence inhérents aux multiples trajets.

Pour garantir la non sélectivité à la fois en fréquence et en temps, il faut respecter les conditions suivantes:

$T_m \ll T_s \ll T_c$, où T_s est la période symbole.

▪ **Canal à trajets multiples :**

Nous considérons que le canal subit des évanouissements lents, c-à-d que la durée d'un symbole est très inférieure au temps de cohérence du canal, et que le signal reçu ne varie donc pas ou très peu sur la durée d'un symbole. En tenant compte du bruit blanc additif gaussien, le signal équivalent en bande de base reçu à la sortie de ce canal à évanouissements lents comportant L trajets multiples s'exprime alors :

$$r(t) = \sum_{n=0}^{L-1} \alpha_n (t - \tau_n) + n(t) \quad \text{I.12}$$

où le bruit BBAG complexe est représenté par $n(t)$, α_n et τ_n caractérisent respectivement l'atténuation complexe et le retard affectant chaque trajet.

Si le modèle du canal considère qu'il n'y a pas de trajet direct :

- le module de α_n suit une loi de Rayleigh avec une variance $\sigma_{\alpha_n}^2$ et sa densité de probabilité est de la forme:

$$p(\alpha_n) = \frac{\alpha_n}{\sigma_{\alpha_n}^2} e^{-\frac{\alpha_n^2}{2\sigma_{\alpha_n}^2}} \quad \text{I.13}$$

la phase est en générale une variable aléatoire uniformément distribuée sur $[0, 2\pi[$.

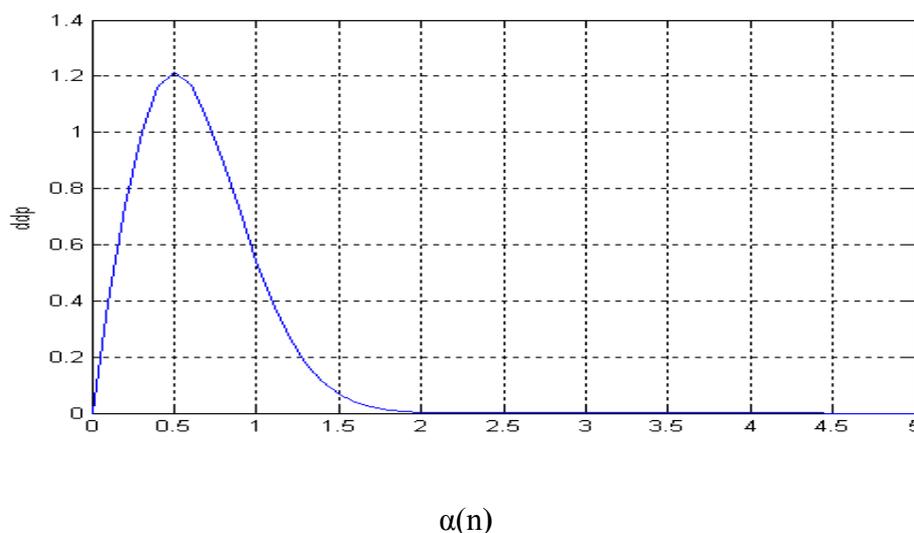


Figure I.10 : densité de probabilité de la distribution de Rayleigh.

I.4 CAPACITÉ D'UN CANAL DE TRANSMISSION :

La capacité C d'un canal perturbé par un bruit additif Gaussien est donnée par la relation suivante : (Théorème de SHANNON)

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_B} \right) \quad \text{I.14}$$

Où :

C : représente la capacité maximale de canal en bit/s

B : la bande occupée par le signal émis en Hertz

P_S : la puissance du signal émis en watt (W)

P_B : la puissance du bruit en W

Ainsi, pour transmettre une quantité d'information C sans erreur il est intéressant d'utiliser soit une large bande B et un faible rapport P_S/P_B , soit une bande B étroite et un fort rapport P_S/P_B .

La figure suivante illustre la capacité d'une transmission en fonction du rapport signal sur bruit SNR (P_S/P_B)

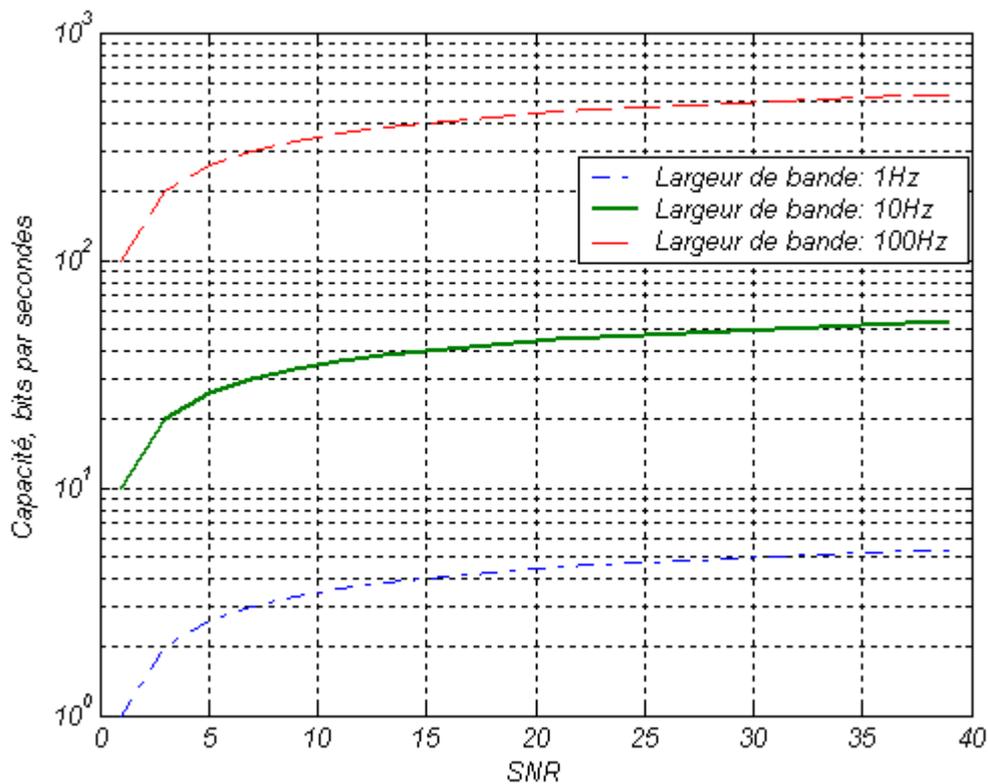


Figure I.16 : Capacité d'une transmission en fonction du SNR

Dans un système mono-antenne 'SISO' (Single Input Single Output), l'augmentation de la taille de la modulation ou de la bande de fréquence utilisée sont les seules solutions pour augmenter le débit de données.

Telatar [4] et Foschini [5], ont indépendamment montré que la capacité des systèmes multi-antennes (MIMO : Multi-Input Multi-Output) augmentait linéairement avec le nombre d'antennes émettrices, dépassant de manière significative la limite théorique de Shannon. L'aptitude des systèmes multi-antennes à résister aux évanouissements et aux interférences constitue par ailleurs un avantage supplémentaire incontestable.

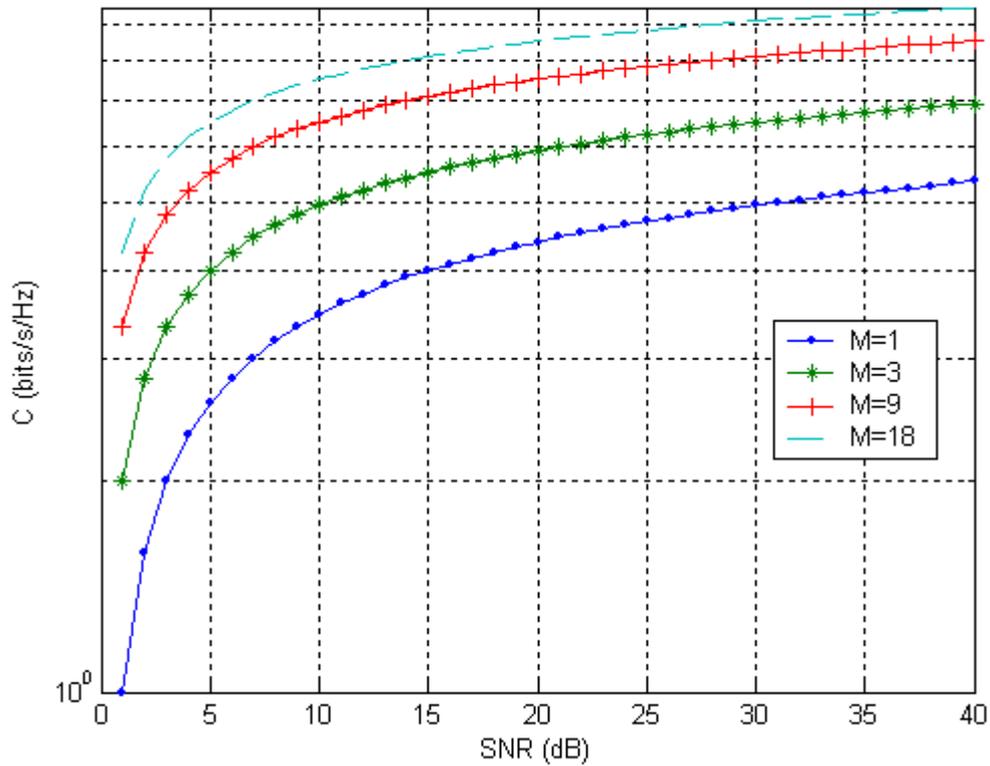


Figure I.17 : Capacité d'une transmission MIMO en fonction du SNR

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents blocs d'une chaîne de transmission numérique. Deux critères favorisent un système de transmission à un autre. Le premier est de transmettre le plus vite possible le maximum d'informations (débit).

Pour améliorer un système de transmission il faut utiliser la modulation la plus fiable et augmenter la capacité de canal pour ce système.

II.1. INTRODUCTION :

Le développement des applications multimédia sans fil impose la recherche de systèmes toujours plus performants en termes de capacité et d'efficacité spectrale. Cependant, la nécessité de maintenir des coûts de développement raisonnables est une autre contrainte fondamentale qui limite la complexité des systèmes développés. En effet, le meilleur système ne sera pas forcément le plus performant mais celui qui présente le meilleur compromis coût - efficacité.

Les recherches sur les diversités espace temps et espace fréquence ont montré qu'on peut obtenir des meilleures performances tout en gardant un système très simple. L'intérêt de ces systèmes est qu'on peut relativement déplacer la complexité nécessaire à l'une ou l'autre extrémité de la chaîne de communication pour obtenir une performance souhaitée. Dans le contexte de communication radio mobile, on fixe la complexité des dispositifs mobiles et on augmente quasiment à l'infini la complexité des stations de base peu nombreuses. Ces techniques de diversité permettent aussi d'apporter des modifications sur ces stations de base pour améliorer la performance nécessaire sans avoir besoin de changer les terminaux mobiles.

II.2. LES ANTENNES MIMO :

Le sigle MIMO veut dire *multiple input multiple output*, généralement utilisé pour désigner un système à plusieurs entrées et plusieurs sorties. Par ailleurs, on l'emploie pour désigner un type d'antennes intelligentes. Ce type utilise de multiples antennes à la fois à l'émission et à la réception, ce qui permet la diversité, et ainsi, une plus grande capacité de communication d'informations.

On peut exploiter cette dimension spatiale créée de différentes façons, on opte :

- ✓ soit pour la maximisation de la capacité du système en émettant des données indépendantes sur chaque antenne,
- ✓ soit pour la maximisation de la fiabilité du système, avec une capacité réduite, en exploitant la diversité du système via les techniques de codage spatio-temporel.

Les systèmes à antennes multiples appelés encore MIMO sont capables de fournir des débits d'autant plus élevés que les nombres d'antennes émettrices et réceptrices soient élevés. Ce qui a motivé un grand nombre de travaux de recherche visant à optimiser au mieux le codage canal, la modulation utilisée, les différents blocs constituant le codeur ou le décodeur. Lors de la conception des ces systèmes MIMO, il est impératif de construire un modèle mathématique qui reflète les principales caractéristiques du canal afin de pouvoir estimer les performances globales du système. Le degré de précision souhaité sur le modèle dépend de l'application

considérée, mais toute fois on constate que le canal MIMO est modélisé suivant le type de canal de Rayleigh et la fonction de transfert H est cette fois-ci une matrice d'ordre $N \times M$ puisqu'il ya M antennes en émission et N antennes en réception. Cette matrice s'écrit comme suit :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1M} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N1} & \cdots & h_{NM} \end{bmatrix}$$

Une des limitations de la communication sans fil est l'évanouissement ("fading") qui affecte la transmission. Une manière de combattre cet inconvénient majeur est l'utilisation en réception de plusieurs versions, idéalement

indépendantes, du signal transmis. On parle d'utilisation de diversité. Une forme de diversité est la diversité spatiale qui consiste en l'utilisation de plusieurs antennes en émission et en réception.

Cette technologie (MIMO) tire profit des réflexions engendrées par des obstacles. Ces réflexions sont habituellement considérées comme de perturbations par les réseaux classiques sans fil. La figure suivante illustre le principe de la technique MIMO.

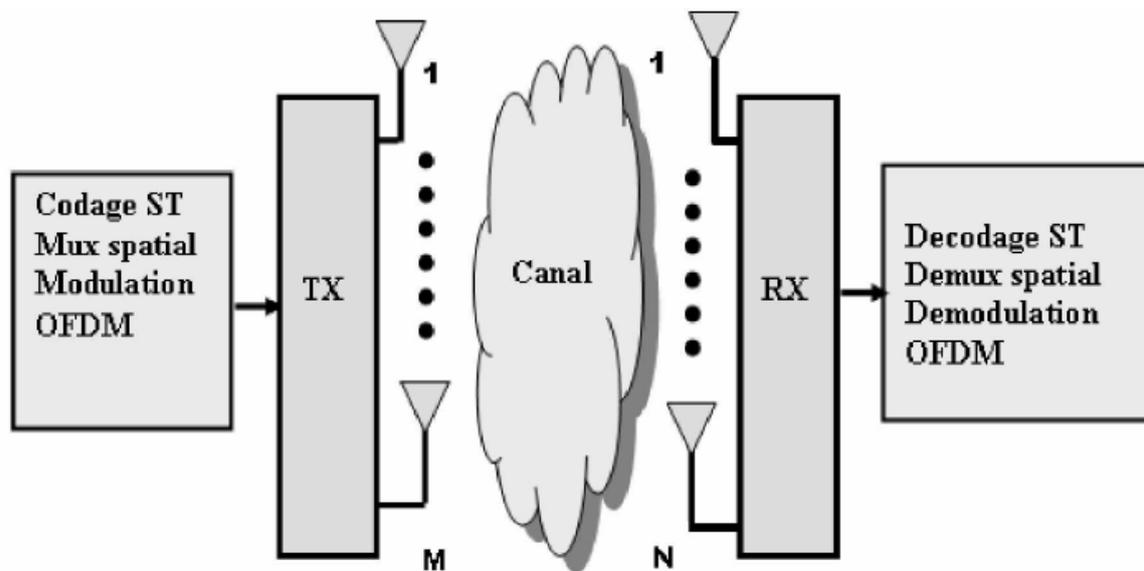


Figure II-1: Schéma du principe des antennes MIMO

II.3. ARCHITECTURE MIMO

De part le nombre d'antennes existant dans les différents dispositifs d'antennes, on peut distinguer plusieurs configurations (systèmes). Cependant, ces architectures et particulièrement l'architecture MIMO, utilisent différentes fonctions de traitement du signal telles que la technique de combinaison, le codage spatio temporel, le multiplexage spatial, etc,

Ceci afin de permettre une meilleure performance du dispositif antenne.

✚ **Système SISO (single input – single output)**

Il s'agit de l'architecture la plus traditionnelle où l'on dispose d'une seule antenne en émission et d'une autre en réception.

✚ **Système SIMO (single input – multiple output)**

Une antenne émet le signal et plusieurs antennes en réception l'interceptent.

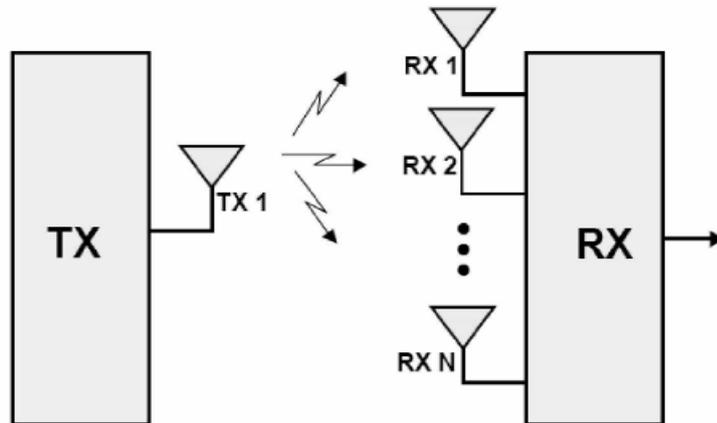


Figure II-2 : Dispositif SIMO

✚ Système MISO (multiple input – single output)

Plusieurs antennes émettent des signaux qui sont interceptés par une seule antenne en réception

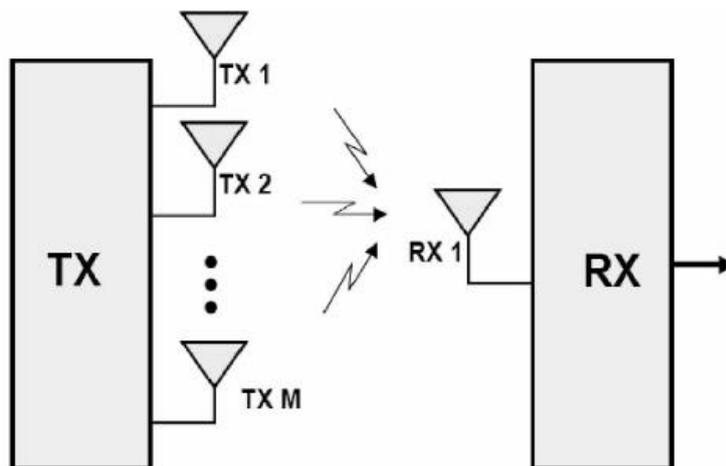


Figure II-3 : Dispositif MISO

✚ Système MIMO

On dispose ici de plusieurs antennes en émission et en réception ; la configuration MIMO est la plus générale, elle englobe les systèmes MISO et SIMO comme des cas particuliers.

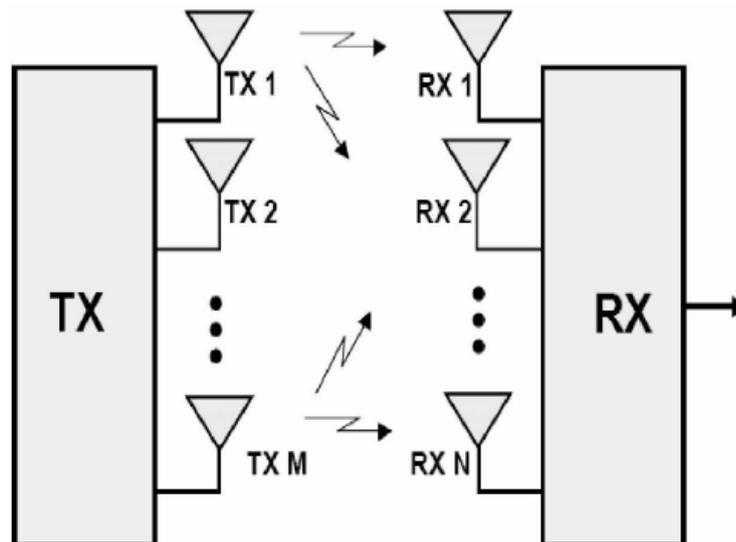


Figure II-4 : Dispositif MIMO

II.4. CARACTERISATION DES DISPOSITIFS MIMO :

II.4.1. Diversité

La diversité est une technique permettant de combattre les interférences et les évanouissements pouvant survenir dans un canal de communications lors d'une transmission de signal. Le principe sous jacent est de transmettre plusieurs répliques de la même information sur plusieurs canaux avec puissance comparable et 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 qualité acceptable. Deux principales catégories de diversité existent. La première catégorie consiste à transmettre d'une manière ou une autre, plusieurs répliques du même message. La seconde catégorie, quant à elle, consiste à n'envoyer qu'une copie, mais à compter sur des concepts tels que le multi parcours pour obtenir plusieurs versions du signal envoyé.

II.4.2.1 Construction des codes

La question fondamentale qui se pose maintenant est, comment concevoir le codage spatio-temporel et le décodeur qui lui est associé afin d'optimiser les performances de la liaison radio ? Les critères de performances généralement considérés sont :

- ✓ **L'efficacité spectrale** : elle s'exprime en bit par seconde par Hertz. Nous cherchons à avoir le débit le plus élevé possible. La limite ultime, où le débit est le plus élevé possible est définie par la capacité ; la capacité étant poussée à une valeur maximale en adoptant comme critère de construction du code, entre autres, une maximisation de l'information mutuelle entre l'entrée et la sortie.
- ✓ **La robustesse** : la robustesse de la transmission varie souvent à l'opposé de l'augmentation du débit. Elle peut être mesurée par le taux d'erreur binaire (BER). En effet, lors de l'étude des codes espace

temps proposés, le BER est le critère de performance considéré. C'est pour cela que l'un des objectifs principaux de tels codes est d'engendrer un maximum de diversité.

- ✓ **La complexité** : il est en général fort possible dans les réseaux sans fil qu'une des Deux extrémités de la liaison radio sont alimentées par une batterie. De ce fait, il est important que la complexité du mappage/démappage spatio-temporel soit la plus faible possible. Il est ainsi souhaitable d'avoir une conception des schémas de transmission et de réception de telle façon que la complexité soit non symétrique, avec la complexité la plus faible du côté alimenté par des batteries (le terminal mobile dans le cas des réseaux cellulaires).

Généralement, ces critères de performances sont contradictoires. Ici vient le rôle des ingénieurs qui doivent faire des choix et des compromis selon les applications (mobilité, conditions du canal physique, etc.) et les aspects économiques afin d'avoir des systèmes de transmission MIMO les mieux optimisés.

Une multitude de techniques de codage ont vu le jour dans le but d'une meilleure utilisation de la diversité de transmission. Ces techniques de codage spatio-temporel peuvent être classées en deux catégories : les codes Spatio-temporels en Treillis (STT) et les codes Spatio-temporels en Bloc (STB).

Cependant avant l'étude des spécificités de chacune de ces catégories nous passerons en revue les hypothèses liées à l'usage de ces codes, ainsi que leurs différents critères de construction afin de mieux percevoir l'optimisation qu'ils peuvent induire et par conséquent leur apport dans l'intelligence des systèmes antennes MIMO.

II.4.2.2 Types De Diversités

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

✚ 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'implémentation et ne requiert pas de ressources fréquentielles supplémentaires.

✚ Diversité de polarisation

Cette technique peut être utilisée par l'usage de polarisation orthogonale, puisque ceci démontre une faible corrélation d'évanouissement, et donc, offre un potentiel de diversité.

✚ Diversité angulaire

Cette technique est grandement liée 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 niveau de diversité. Cette technique est surtout utilisée pour les réseaux Internet sans-fil domestique pour accroître la capacité en débit du réseau.

✚ 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'étendu fréquentielle dû au multi parcours et aux distances à franchir par la transmission.

✚ Diversité de parcours

Cette technique est utilisable lorsque la largeur de bande du signal est plus grande que la largeur de bande cohérente du canal. C'est la technique derrière le multi parcours, où le récepteur profite de la présence de plusieurs versions du signal pour obtenir un gain en diversité.

✚ Diversité transformée

Dans ce cas-ci, la diversité spatiale est transformée au niveau du transmetteur en d'autres formes de diversité utilisable par le récepteur. Ceci est surtout utilisé lorsque le canal n'est pas connu du 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.

✚ Diversité temporelle

La diversité temporelle se traduit par l'envoi des répliques d'un même signal décalées d'une durée égale au temps cohérent du canal.

✚ Diversité spatio-temporelle (espace-temps)

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 aisé. Alamouti fut le premier à développer le codage en bloc spatio-temporel dans son article "A simple transmit diversity technique for wireless communications"

II.5 LA DIVERSITE ESPACE – TEMPS

Il existe depuis longtemps des techniques pour obtenir de la diversité pour les signaux en réception. La diversité en espace était obtenue en multipliant le nombre d'antennes de réception sans utiliser un codage temps-espace. Le récepteur aura recours ensuite aux techniques de recombinaison (*Maximum Receiver Ratio Combining*, MRRRC). Il existe deux types de diversités espace – temps créés à l'émetteur : Le Space Time Trellis Codes (STTC) proposé par Tarokh *et al.* [7][8] et le Space Time Block Codes (STBC) proposé par Alamouti [9] généralisé ensuite par Tarokh *et al.* [10]. Les deux techniques de diversités espace-temps utilisent plusieurs antennes d'émission (Tx) et plusieurs antennes de réception (Rx) pour envoyer et recevoir les informations en même temps. La transmission est faite suivant une règle bien précise et l'algorithme de décodage est développé en conséquence. Les différences entre ces deux méthodes résident dans la façon dont les informations sont conditionnées avant la transmission et l'algorithme utilisé pour décoder ces informations.

La figure suivante illustre le schéma d'un système de transmission sans fil MIMO (diversité spatiale) pour M antennes à l'émission et N antennes à la réception.

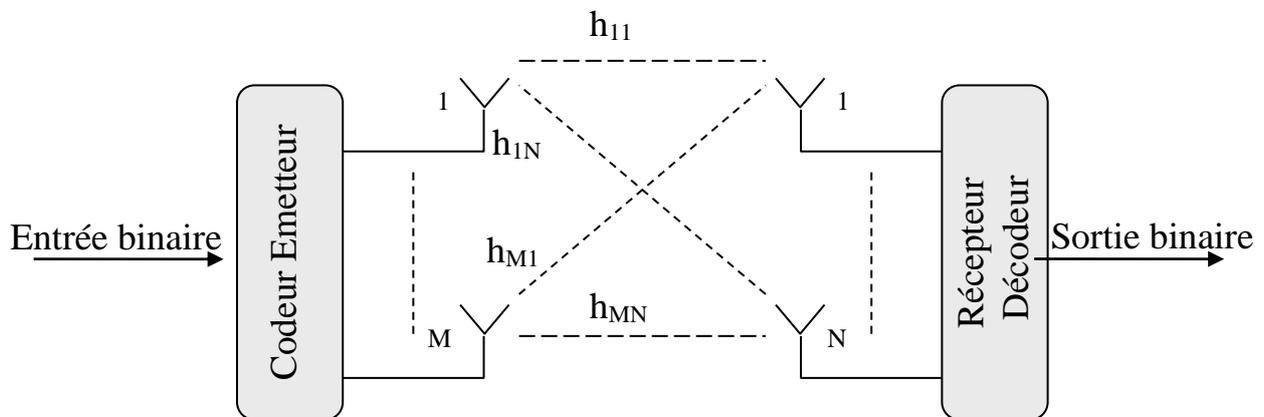


Figure II-5 : Schéma d'un système de transmission sans fil MIMO

Ce type de diversité est efficace contre l'effet *deep fading*, où les signaux sont temporairement fortement atténués. En effet, si les précautions nécessaires sont prises pour espacer les antennes d'émission et de réception de façon à ce que les canaux deviennent non corrélés entre eux, il existe alors un canal indépendant entre chaque paire d'antenne d'émission et de réception. Il y a alors plus de chances qu'au moins un chemin ne se retrouve pas dans le cas d'un *deep fading* en même temps que les autres. Ces trajets supplémentaires éviteront alors la perte d'information et donc amélioreront la performance générale du système.

- **Space Time Block Code**

Le Space Time Block Code (STBC) fonctionne en bloc. Chaque bloc est codé suivant des règles précises et de façon indépendante des autres blocs. Une erreur de décodage survenue dans un bloc ne met pas en péril d'autres blocs. Cette méthode de diversité espace-temps a été proposée par Alamouti [9] en utilisant deux antennes d'émission et N d'antennes de réception. Ce principe a été ensuite généralisé par Tarokh *et al* pour M antennes d'émission et N antennes de réception dans [11]. L'idée est d'envoyer un bloc de symboles sur plusieurs antennes d'émission. Les symboles envoyés pendant la durée d'un bloc sur toutes les antennes sont orthogonaux entre eux. On peut utiliser les symboles réels ou complexes pour la transmission. Les antennes d'émission et de réception sont positionnées de telle sorte qu'il n'y ait pas de corrélation entre ces antennes. Les canaux entre chaque paire d'antenne d'émission et de réception sont indépendants et non corrélés dans ces conditions. Due à l'orthogonalité des symboles, on peut utiliser un simple algorithme de recombinaison linéaire en réception pour récupérer les symboles transmis par toutes les antennes.

II.5 LA CONSTRUCTION DE STBC :

II.5.1 La construction d'Alamouti :

Alamouti a proposé dans [9] une méthode simple pour exploiter la diversité espace-temps en utilisant une construction très simple à deux antennes d'émission et N antennes de réception. Les symboles d'information seront traités par paire et ces deux symboles vont engendrer quatre symboles avec deux symboles sur chaque antenne. Deux signaux sont

transmis simultanément des deux antennes à un temps donné. Le signal transmis de l'antenne une est défini par s_0 et celui de l'antenne deux est défini par s_1 . Durant le deuxième instant donné, le signal $(-s_1^*)$ est transmis de l'antenne une et le signal s_0^* est transmis de l'antenne deux.

	ANTENNE 1	ANTENNE 2
<i>temps p</i>	s_0	s_1
<i>temps 2p+1</i>	$-s_1^*$	s_0^*

Table II-1 : Schème de transmission dans le temps

L'indice p indique le numéro de bloc STBC d'Alamouti (ASTBC). x_{2p} et x_{2p+1} sont les symboles d'information à transmettre.

Le symbole transmis par chaque antenne se propage suivant un chemin différent avant d'arriver à l'une des antennes de réception. Afin de faciliter la démonstration, on considère que le chemin ne change pas pendant la transmission des deux symboles par antenne et ce chemin peut être modélisé par un canal à fading. On a alors $2 \cdot N$ canaux de propagation pour un récepteur à N antennes. Les symboles envoyés subissent l'influence d'un bruit additif blanc gaussien (BBAG) de moyenne nulle et de variance σ^2 .

Le signal reçu sur l'antenne de réception i s'écrit sous la forme

$$r_{i,2p} = x_{2p} \cdot h_{i,1} - x_{2p+1}^* \cdot h_{i,2} + n_{2p} \quad \text{II-1}$$

$$r_{i,2p+1} = x_{2p+1} \cdot h_{i,1} + x_{2p}^* \cdot h_{i,2} + n_{2p+1} \quad \text{II-2}$$

Les équations (II-1) et (II-2) peuvent être écrites sous la forme matricielle

$$r_i = \begin{bmatrix} r_{i,2p} \\ r_{i,2p+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & -h_2 \\ h_1^* & h_2^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{2p} \\ x_{2p+1}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{2p} \\ n_{2p+1}^* \end{bmatrix} \quad \text{II-3}$$

$$r_i = H \cdot X + N \quad \text{II-4}$$

En développant, on trouve

$$\begin{aligned} H^H \cdot r_i &= H^H \cdot H \cdot X + N \\ &= \rho \cdot I \cdot X + N \end{aligned} \quad \text{II-5}$$

Avec $(\cdot)^H$ signifie la transposée conjuguée de la matrice et

$$\rho = |h_1|^2 + |h_2|^2 \quad \text{II-6}$$

Si on considère que le récepteur a parfaitement estimé le canal, H est alors connu. On peut alors procéder à la détection de maximum de vraisemblance (ML).

$$\hat{X} = \underset{X_k \in \Omega^2}{\operatorname{argmin}} (\sum_{i=1}^M \|\hat{r}_i - \rho \cdot X\|^2) \quad \text{II-7}$$

$$\text{avec} \quad \hat{r}_i = H^H \cdot r_i$$

Le fait que x_{2p} et x_{2p+1} soient indépendant entre eux fait qu'on peut rechercher le minimum des quantités suivantes pour chacun des symboles par

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} x_{2p} \\ x_{2p+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underset{x \in \Omega}{\operatorname{argmin}} (\sum_{i=1}^M |\hat{r}_{i,2p} - \rho \cdot x|^2) \\ \underset{x \in \Omega}{\operatorname{argmin}} (\sum_{i=1}^M |\hat{r}_{i,2p+1} - \rho \cdot x|^2) \end{bmatrix} \quad \text{II-8}$$

On réduit ainsi la complexité de $|\Omega|^2$ à $2 \times |\Omega|$.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les antennes mimo pour désigner un système à plusieurs entrées et plusieurs sorties, également nous avons présenté caractérisation des dispositifs mimo .

III.1. INTRODUCTION :

III.1.1. Compression d'images :

Avant d'aller plus loin, nous devons tout d'abord définir quelques termes liés aux images et à leur représentation en mémoire sur un support informatique. On considère d'abord ce qu'on appelle une image du monde réel, c'est-à-dire l'idéalisation de tout ce qu'on peut voir. On distingue cela d'une photo (ou image analogique), qui est ce qu'un récepteur (l'humain ou un appareil photo) perçoit d'une certaine image du monde réel à un moment précis. Il existe des modèles intéressants des images du monde réel faisant appel à la théorie des distributions ou à la théorie de la mesure.

Cependant, on se contentera de considérer seulement les images dites numériques, c'est-à-dire pouvant être mises en mémoire par un ordinateur sous la forme d'une chaîne de bits (de zéros et de uns). Elles sont obtenues par exemple par une photographie d'une image du monde réel à partir d'un appareil photo numérique ou à partir de la numérisation d'une image analogique par un scanner.

Le mode de représentation le plus commun d'une image numérique est la forme matricielle. On appelle chaque élément de base de l'image *un pixel*. Chaque pixel a une certaine valeur donnant de l'information sur la couleur de l'image en une petite région carrée de l'image (voir figure 1). Selon le nombre de bits utilisés pour encoder chaque pixel, nous pourrions avoir une information plus ou moins fine sur l'intensité lumineuse en chaque point de l'image. Pour les images en niveaux de gris, on utilisera généralement 8 bits par pixel, ce qui donne une possibilité de 256 tons de gris. Pour les images numériques en couleur, on décompose la lumière en trois couleurs primaires : le rouge, le vert et le bleu. On prend habituellement 8 bits pour représenter chaque composante RGB (red, green, blue), ce qui nous donne un total de 224 possibilités, soit environ 16 millions de couleurs. Quelques exemples de triplets RGB sont donnés dans la figure suivante.

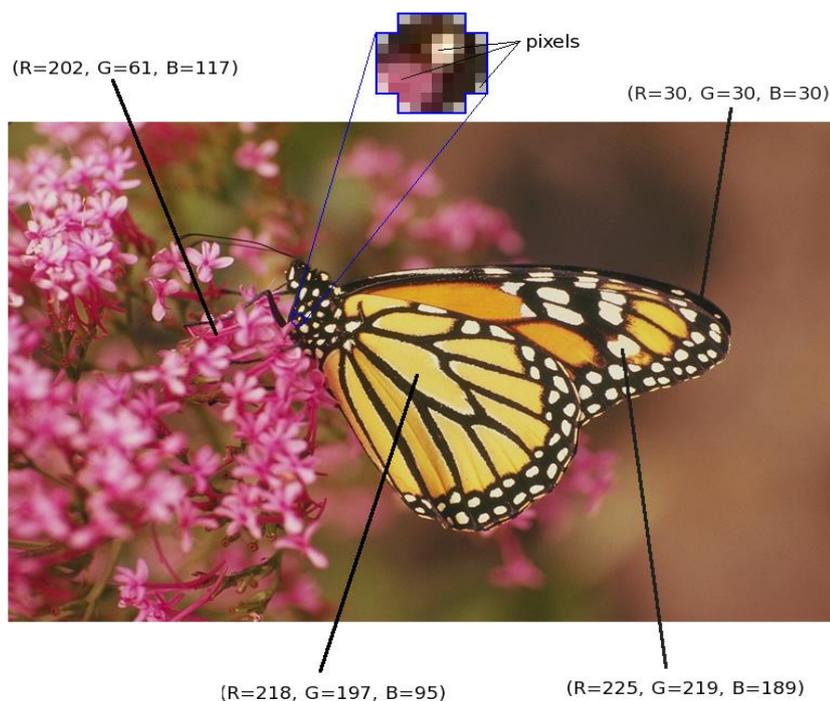


Figure III-1: l'image numérique et quelques informations de base

III.2.généralité sur le traitement d'image

Traitement de l'image est une méthode pour convertir une image sous forme numérique et d'effectuer certaines opérations sur elle, afin d'obtenir une meilleure image ou pour extraire des informations utiles de lui. C'est un type de dispense de signal dans lequel l'entrée est l'image, comme image de la vidéo ou la photographie et la sortie peut être l'image ou les caractéristiques associées à cette image. Normalement, le système de traitement d'images inclut le traitement des images en tant que deux signaux dimensionnels tout en appliquant déjà des méthodes de traitement du signal pour eux.

Il est parmi rapide des technologies de plus en plus aujourd'hui, avec ses applications dans les divers aspects d'une entreprise. Traitement de l'image des formes fondamentales domaine de recherche au sein de l'ingénierie et les disciplines de l'informatique aussi.

Traitement de l'image comporte essentiellement les trois étapes suivantes :

- ✓ Importation de l'image avec un scanner optique ou par photographie numérique.
- ✓ L'analyse et la manipulation de l'image qui comprend la compression des données et amélioration de l'image et des modèles des taches qui ne sont pas aux yeux des humains comme des photographies satellite.
- ✓ La sortie est la dernière étape dans laquelle résultat peut être altéré ou l'image du rapport qui est basé sur l'analyse d'image.

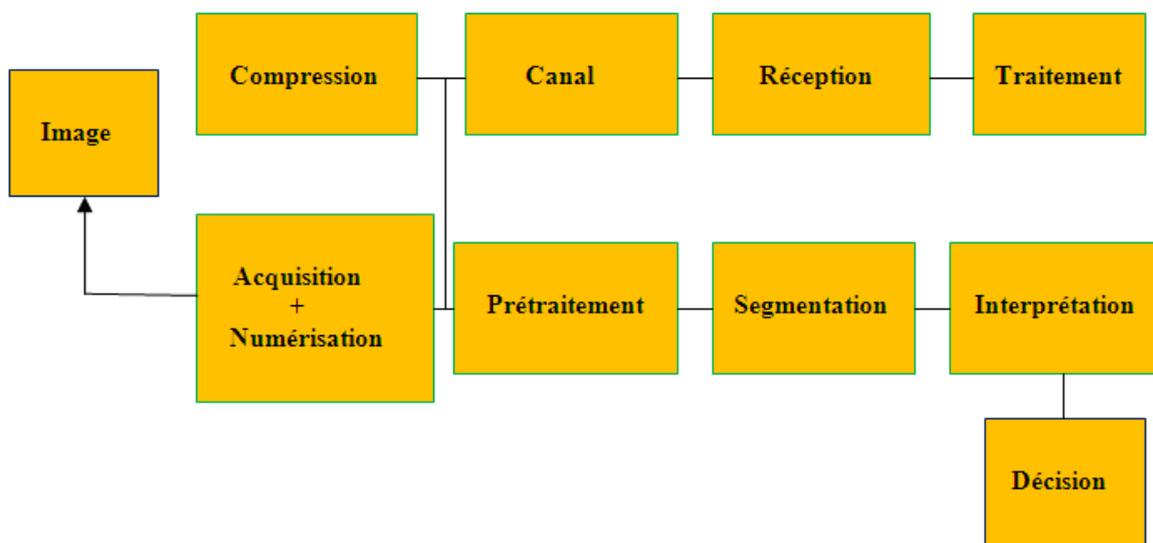


Figure III-2 : chaîne de traitement d'image.

III.3 Principe général de la compression

III.3.1 Terminologie

La compression est le processus de conversion d'un flux d'entrée en un autre flux avec un objectif de réduction de volume. La compression des données en informatique, est le fait de réduire par un moyen matériel ou logiciel un volume de données tout en préservant la sémantique du message.

III.3.2 Type de compression

III.3.2.1 Compression sans perte

Appelée aussi compression non destructrice. La compression sans perte est utilisée quand il est nécessaire de garder l'information intacte : il ne doit pas y avoir de différences entre le fichier original et ce même fichier après compression et décompression. Ce type de compression est vital non seulement pour le texte, mais également pour tout type de fichier devant conserver une qualité optimale (images TIFF ou programmes). La compression avec perte est réservée aux données dont la qualité se limite aux perceptions humaines. Ce type de compression on le trouve beaucoup dans le domaine où la précision est majeure comme l'imagerie médicale (IRM par ex.) ou la télédétection (imagerie satellite par ex.).

Les algorithmes de compression employés sont nombreux, les plus importants sont:

Codage à répétition: par ex. RLC (Run Length Coding)

Codage entropique: basé sur le codage à longueur variable ou VLC (Variable Length Coding), par ex : le codage de Huffman, le codage arithmétique, ...etc..

Codage dictionnaire ou codage Lempel-Ziv-Welch (LZW): Ce codage ne nécessite plus de connaître les probabilités des symboles comme dans le cas du codage entropique.

III.3.2.2 Compression avec perte :

C'est une compression destructrice, elle permet de sacrifier certains détails de l'image non récupérable en décompression au profit de réduction de poids. Cette dégradation peut être contrôlée selon la qualité qu'on veut obtenir en fonction du taux de compression choisie. Ce type de compression on le trouve généralement dans le domaine normal pratique là où la réduction du poids de les images est très important, comme le domaine multimédia par exemple (web, photographie) où la fidélité envers l'image original n'est pas très importante et le taux de compression sera plus grand que celui d'une compression sans perte du fait qu'on est juste limité par la qualité qu'on souhaite obtenir.

Les algorithmes de compression employés sont nombreux, Voici trois méthodes utilisées pour la compression avec pertes :

- La transformée en cosinus discrète.
- La compression par ondelettes.
- La compression fractale.

III.3.2.2.1 La transformée en cosinus discrète (DCT)

La transformée en cosinus discrète est une fonction mathématique complexe dont il existe plusieurs variantes. Elle est utilisée pour la compression destructrice des données, notamment pour les sons aux formats Vorbis, WMA et MP3 et pour les images et les vidéos suivant les normes JPEG et MPEG.

Lors de l'opération de compression des données dans ces différents formats, l'algorithme transforme les pixels de l'image ou les échantillons de la séquence audio en fréquences. Les fréquences qui ne correspondent pas à des données pertinentes pour l'œil ou l'oreille humaine sont éliminées par l'algorithme.

III.4 La compression JPEG :

IV.4.1 La norme de compression JPEG :

Le sigle JPEG veut dire « Joint Photographique Experts Group », il représente actuellement le standard de compression avec perte le plus utilisé pour les images naturelles. Cette norme de compression mondiale d'images fixes est apparue à la fin des années 80.

JPEG est une méthode de compression sophistiquée avec ou sans perte pour les images en niveaux de gris et en couleur. Elle ne gère pas bien la compression monochromatique. Elle marche aussi très bien pour des images en tons continus. Un avantage du JPEG est qu'il utilise beaucoup de paramètres laissant l'utilisateur ajuster le nombre de données perdues (et donc le niveau de compression).

La plupart des implémentations ne supporte que le mode avec perte. Ce mode inclut un codage progressif et hiérarchique.

III.4.2 L'algorithmme JPEG :

Les spécifications définissent une suite d'opérations minimale à respecter. C'est un schéma de codage basé sur la Transformée en Cosinus Discret (DCT). DCT est par nature avec perte, elle est capable d'atteindre de hauts degrés de compression avec un minimum de pertes si la différence entre deux pixels adjacents est faible. Dans la pratique JPEG est efficace uniquement avec des profondeurs de pixels d'au moins 5 ou 6 bits, le comité JPEG recommandant au minimum 8 bits. Pour des profondeurs de couleurs inférieure, il est préférable d'utiliser GIF, ou mieux encore PNG (*Portable Network Graphics*). Noter que pour des images en mode 24 bit, mais n'utilisant que très peu de couleurs, comme une saisie d'écran, GIF, ZIP ou PNG sont le plus souvent largement meilleurs que JPEG.

On peut diviser l'algorithmme JPEG en 5 différentes étapes.

- 1-Transformer l'image dans un espace de couleurs optimales.
- 2-Sous-échantillonnage de la chrominance en moyennant des groupes de pixels ensemble.
- 3-Appliquer une transformée en cosinus discrète (DCT) à un bloc de pixels pour retirer la redondance des données de l'image
- 4-Quantifier chaque bloc de pixels avec des fonctions optimisées pour l'œil humain.
- 5-Coder le résultat en utilisant l'algorithmme de Hoffman pour retirer les redondances résiduelles.
- 6-Le décodage reprend ces points dans l'ordre inverse en appliquant la fonction inverse.

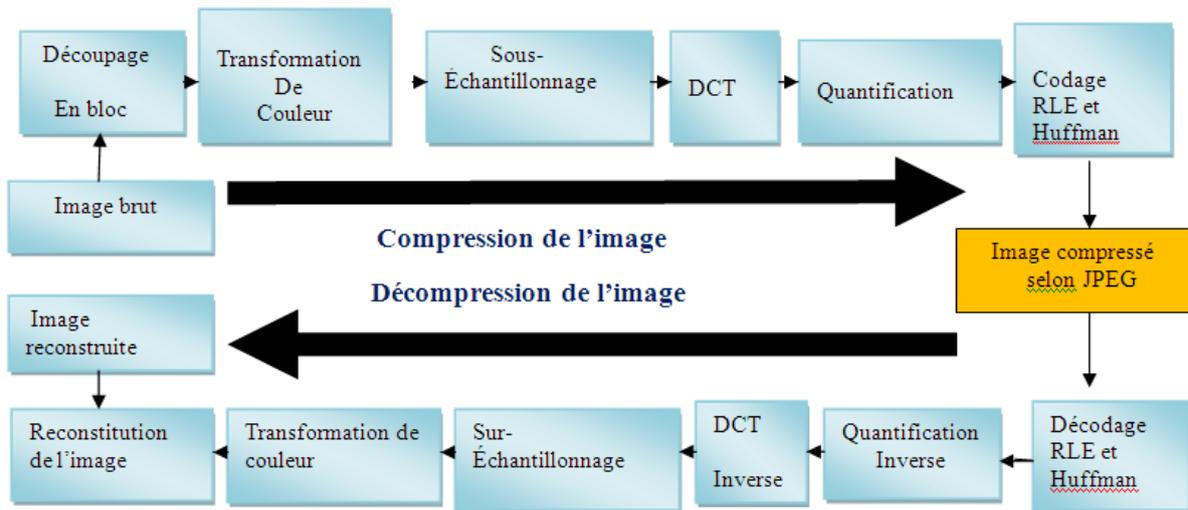


Figure III. 3: Organigramme de compression

III.4.2.1 Découpage en blocs :

Le format JPEG, comme le font généralement les algorithmes de compression à perte, commence par découper l'image en blocs ou carreaux généralement carrés de 64 (8 × 8) ou 256 (16 × 16) pixels.

III.4.2.2 Transformée DCT :

La transformée DCT (*Discrètes Cosine Transforme*, en français transformée en cosinus discrète), est une transformation numérique qui est appliquée à chaque bloc et pour chaque « couleur ». Cette transformée est une variante de la transformée de Fourier. Cette méthode permet de décrire chaque bloc en une carte de fréquences et en amplitudes plutôt qu'en pixels et couleurs. La valeur d'une fréquence reflète l'importance et la rapidité d'un changement, tandis que la valeur d'une amplitude correspond à l'écart associé à chaque changement de couleur.

À chaque bloc de $N \cdot N$ pixels sont ainsi associées $N \cdot N$ fréquences

La transformée DCT s'exprime mathématiquement par :

$$DCT(i, j) = \frac{2}{N} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \text{pixel}(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)i}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j}{2N} \right] \quad \text{III-1}$$

Et la transformée DCT inverse s'exprime par :

$$\text{pixel}(x, y) = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(i)C(j) DCT(i, j) \cos \left[\frac{(2x+1)i}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)j}{2N} \right] \quad \text{III-2}$$

Dans les deux cas, la constante C vaut :

$$C(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{pour } x = 0 \\ 1 & \text{pour } x > 0 \end{cases}$$

III-3

Pour illustrer la compression, a été repris un exemple complet provenant de *Digital Image Compression Techniques* de Majid Rabbani et Paul W. Jones.

Matrice (bloc de pixels) de base :

$$f = \begin{matrix} 139 & 144 & 149 & 153 & 155 & 155 & 155 & 155 \\ 144 & 151 & 153 & 156 & 159 & 156 & 156 & 156 \\ 150 & 155 & 160 & 163 & 158 & 156 & 156 & 156 \\ 159 & 161 & 162 & 160 & 160 & 159 & 159 & 159 \\ 159 & 160 & 161 & 162 & 162 & 155 & 155 & 155 \\ 161 & 161 & 161 & 161 & 160 & 157 & 157 & 157 \\ 162 & 162 & 161 & 163 & 162 & 157 & 157 & 157 \\ 162 & 162 & 161 & 161 & 163 & 158 & 158 & 158 \end{matrix} \quad \text{III-4}$$

En effectuant la transformée DCT, on obtient la matrice des fréquences suivante :

$$F = \begin{matrix} 1260 & -001 & -12 & -05 & 002 & -02 & -03 & 001 \\ -023 & -017 & -06 & -03 & -03 & 000 & 000 & -01 \\ -011 & -009 & -02 & 002 & 000 & -01 & -01 & 000 \\ -007 & -002 & 000 & 001 & 001 & 000 & 000 & 000 \\ -001 & -001 & 001 & 002 & 000 & -01 & 001 & 001 \\ 0002 & 0000 & 002 & 000 & -01 & 001 & 001 & -01 \\ -001 & 0000 & 000 & -01 & 000 & 002 & 001 & -01 \\ -003 & 0002 & -04 & -02 & 002 & 001 & -01 & 000 \end{matrix} \quad \text{III-5}$$

Le calcul d'une DCT est complexe. C'est l'étape qui coûte le plus de temps et de ressources dans la compression et la décompression JPEG, mais c'est peut-être la plus importante car elle nous a permis de séparer les basses fréquences et les hautes fréquences présentes dans l'image.

La puissance de calcul disponible aujourd'hui, alliée à des algorithmes de type FFT très efficaces, permet de rendre le temps de calcul tout à fait acceptable pour l'utilisateur courant, voire imperceptible pour les machines les plus puissantes.

Avantages de la DCT

L'avantages de la DCT est que c'est une transformation en général très proche de la transformée optimale (qui est la KLT ou Karhunen-Loeve Transform). La KLT qui est optimale est constituée des vecteurs propres de l'image, elle dépend donc de chaque image et la matrice de transformation doit être recalculée pour chaque image. Son utilisation est donc délicate. La DCT est indépendante de l'image et a des performances très proches de la KLT c'est donc la DCT qui est utilisée dans de nombreuses applications.

La DCT étant une opération mathématique proche de la transformée de Fourier, des algorithmes rapides existent pour la calculer (sur le principe de la FFT ou Fast Fourier Transforme).

III.4.2.3 Quantification

La quantification est l'étape dans laquelle on perd réellement des informations (et donc de la qualité visuelle), mais c'est celle qui fait gagner beaucoup de place (contrairement à la DCT, qui ne compresse pas).

La DCT a retourné, pour chaque bloc, une matrice de 8×8 nombres (dans l’hypothèse que les blocs de l’image font 8×8 pixels). La quantification consiste à diviser cette matrice par une autre, appelée matrice de quantification, et qui contient 8×8 coefficients savamment choisis par le codeur.

Le but est ici d’atténuer les hautes fréquences, c’est-à-dire celles auxquelles l’œil humain est très peu sensible. Ces fréquences ont des amplitudes faibles, et elles sont encore plus atténuées par la quantification (les coefficients sont même ramenés à 0).

Voici le calcul permettant la quantification :

$$F^*(u, v) \left[\frac{F(u, v) + \left\lfloor \frac{Q(u, v)}{2} \right\rfloor}{Q(u, v)} \right] \cong \text{entier le plus proche} \left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right) \quad \text{III-6}$$

Avec : $\lfloor x \rfloor$ entier directement inférieur à x

III-7

Et pour la quantification inverse :

$$\hat{F}(u, v) = F^*(u, v) \cdot Q(u, v)$$

Comme le montre l’image ci-dessous, la quantification ramène beaucoup de coefficients à 0 (surtout en bas à droite dans la matrice, là où sont les hautes fréquences). Seules quelques informations essentielles (coin en haut à gauche) sont gardées pour représenter le bloc.

L’intérêt est qu’au moment de coder le résultat dans le fichier, la longue suite de zéros nécessitera très peu de place !

Mais si la quantification est trop forte (= taux de compression trop élevé), il y aura trop peu de coefficients non nuls pour représenter fidèlement le bloc ; dès lors, à l’écran la division en blocs devient visible, et l’image apparaît « pixellisée ».

Dans notre exemple, nous avons pris la matrice de quantification suivante :

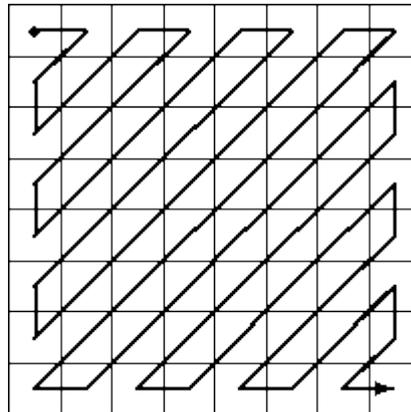
$$Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 024 & 040 & 051 & 061 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 026 & 058 & 060 & 055 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 040 & 057 & 069 & 056 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 051 & 087 & 080 & 062 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 068 & 109 & 103 & 0077 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 081 & 104 & 113 & 0092 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 0101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 0099 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \end{matrix} \quad \text{III-8}$$

Ce qui donne comme matrice des fréquences quantifiée :

$$F^* = \begin{matrix} & \begin{matrix} 79 & 00 & -1 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \\ -2 & -1 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \\ -1 & -1 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \\ 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \\ 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \\ 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \\ 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 & 00 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{matrix} & \end{matrix} \quad \text{III-9}$$

III.4.2.4 Codage, compression RLE et Huffman :

Le codage s'effectue en zigzag comme le montre la figure suivante et se termine par un caractère de fin :



III-10

III.5. La décompression JPEG :

Les étapes de la décompression s'effectuent dans l'ordre inverse de la compression suivant les méthodes définies précédemment (en même temps que la compression).

Voici dans notre exemple le résultat de la décompression :

$$f = \begin{matrix} 144 & 146 & 149 & 152 & 154 & 156 & 156 & 156 \\ 148 & 150 & 152 & 154 & 156 & 156 & 156 & 156 \\ 155 & 156 & 157 & 158 & 158 & 157 & 156 & 155 \\ 160 & 161 & 161 & 162 & 161 & 159 & 157 & 155 \\ 163 & 163 & 164 & 164 & 162 & 160 & 158 & 156 \\ 163 & 163 & 164 & 164 & 162 & 160 & 158 & 157 \\ 160 & 161 & 162 & 162 & 162 & 161 & 159 & 158 \\ 158 & 159 & 161 & 161 & 162 & 161 & 159 & 158 \end{matrix}$$

III-11

Ainsi que la matrice d'erreur :

$$e = \begin{matrix} -5 & -2 & 00 & 01 & 01 & -1 & -1 & -1 \\ -4 & 01 & 01 & 02 & 03 & 00 & 00 & 00 \\ -5 & -1 & 03 & 05 & 00 & -1 & 00 & 01 \\ -1 & 00 & 01 & -2 & -1 & 00 & 02 & 04 \\ -1 & 00 & 01 & -2 & -1 & 00 & 02 & 04 \\ -2 & -2 & -3 & -3 & -2 & -3 & -1 & 00 \\ 02 & 01 & 01 & 01 & 00 & -4 & -2 & -1 \\ 04 & 03 & 00 & 00 & 01 & -3 & -1 & 00 \end{matrix}$$

III-12

III.6. Caractéristique de JPEG :

JPEG n'est pas un algorithme de compression banal, c'est plutôt une méthode de compression d'image qui permet d'altérer une image, de produire des images de très petite taille avec une très pauvre qualité ou des images de grande taille avec une excellente qualité. En parlant de grande taille, cette dernière est quand même beaucoup plus petite que la taille originale.

JPEG est également différent dans le sens où c'est une méthode de compression avec perte contrairement à RLE ou LZW. Le grand avantage des systèmes à pertes étant qu'ils peuvent obtenir des taux de compression bien supérieurs à ceux obtenus avec des systèmes sans pertes. JPEG a été conçu spécifiquement pour éliminer des informations que l'œil humain a de la peine à voir. Par exemple, de faibles changements de couleurs ne sont pas perçus par l'œil humain alors que de faibles changements d'intensités le sont. Ou bien, une autre exploitation intelligente des limites de la vision humaine est une adaptation de la compression aux moindres sensibilités de l'œil aux nuances de bleu qu'aux nuances de vert.

JPEG a été conçu pour compresser des images en dégradés de hautes qualités telles que photographies, images en haute résolution. C'est pourquoi les animations ainsi que le ray-tracing, les documents en noir et blanc et les images vectorielles ne se compressent pas bien avec JPEG. Et pourtant, bien que JPEG n'ait pas été conçu spécialement pour compresser des images animées il est quand même à la base des formats MPEG et MJPEG.

Le taux de compression dépend fortement des caractéristiques de l'image. On considère en moyenne qu'une image peut être compressée jusqu'à 20-25 fois sans qu'elle subisse de détérioration notable. L'utilisateur final a la possibilité de gérer lui-même la qualité de l'image en utilisant un paramètre approprié appelé "facteur Q". Une valeur de 1 produit les plus petites images de la moins bonne qualité et une valeur de 100 produit les plus grandes images de la meilleure qualité qui soit. Ce facteur est différent pour chaque image et tout l'art réside à abaisser ce facteur au minimum tant que l'image obtenue est toujours semblable à l'image originale. En général, on commence avec un facteur de 75 et on avise après en fonction de ce que l'on obtient.

Mais JPEG n'est pas toujours la meilleure solution de compression et pour plusieurs raisons :

Comme nous l'avons vu, des images qui contiennent beaucoup de zones uniformes de la même couleur ne seront pas bien gérées.

Si une décompression très rapide est nécessaire, il faudra plutôt opter pour une solution matérielle que logicielle qui dans ce dernier cas peut se révéler relativement lente.

JPEG n'est pas trivial à implémenter. Il ne suffit pas de passer quelques soirées derrière sa machine pour obtenir son propre compresseur/décompresseur.

JPEG maîtrise bien les dégradés : les transitions brutales sont pas contre mal gérées. De ce fait, il est peu judicieux de stocker en JPEG des saisies d'écran, par exemple: elles seront mal rendues, et de surcroît, peu comprimées dans la mesure où l'on cherche une qualité acceptable.

III.7. avantages de JPEG :

Les principaux avantages de la compression JPEG sont :

Haut niveau de compression, spécialement dans les cas où la qualité de l'image est jugée de très bonne à excellente.

Utilisation de beaucoup de paramètres, ce qui permet aux utilisateurs avancés d'expérimenter la compression/qualité désirée.

Obtenir de bons résultats avec n'importe quelle image en tons continus, quelque soit la dimension, la couleur, la résolution ou autres caractéristiques de l'image.

Une méthode de compression sophistiquée mais pas trop complexe, ce qui autorise des implémentations logicielles et matérielles sur beaucoup de plates-formes.

Beaucoup de modes opérationnels :

1. Mode séquentiel : chaque composante de l'image est compressée en un seul passage de gauche à droite et de haut en bas.
2. Mode progressif : l'image est compressée en beaucoup de blocs et est vue grossièrement puis de plus en plus finement.
3. Mode sans perte : important lorsque l'utilisateur décide qu'aucun pixel ne doit être perdu.
4. Mode hiérarchique : l'image est compressée à de multiples résolutions ce qui permet aux blocs basse résolution d'être visionnés sans avoir à décompresser les blocs haute résolution.

III.8. Petit défauts de JPEG :

Visuellement, la quantification utilisée dans l'algorithme JPEG tend à lisser l'image.

Les changements graduels des nuances sont plus réguliers que dans l'image d'origine, sans que l'œil en soit pour autant choquer. Malheureusement, l'adoucissement de l'image fait perdre de la netteté aux contours et aux détails précis. Un effet de bord survient parfois sous la forme d'anneaux de couleurs près des contours restés nets, surtout lorsque le taux de compression est favorisé au détriment de la qualité d'image.

JPEG devient franchement mauvais lors de très forts taux de compression (100:1 ou plus). A ce moment, l'utilisation du codage par blocs devient grossier, et les blocs de 8*8 deviennent discernables à l'œil nu, ce qui a pour effet de simuler une division par 64 de la résolution de l'image. La dégradation est relativement brutale, conditionnée par la sensibilité de l'œil humain et la résolution du support de représentation (paradoxalement, un support médiocre est mieux adapté à de forts taux de compression qu'un support de haute qualité qui fait ressortir les défauts). En conséquence, on préférera d'autres méthodes de compression d'images lorsque les taux désirés dépassent 100:1, et même 50:1 pour certaines images.

Pour des taux de compression plus élevés, on préférera éventuellement la compression par ondelettes ou fractale : mais il n'y a pas de règle absolue. Il y a des situations où ces méthodes sophistiquées de compression avec pertes produisent un résultat moins efficace qu'une bête compression sans pertes avec une combinaison RLE-Huffman, ou RLE-LZW-Huffman. Et dans ce cas, la qualité du résultat est bien sûr infiniment meilleure que dans le cas de JPEG.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la compression d'images , également nous avons présenté L'algorithme JPEG et petit défauts de JPEG .

IV.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de simulation pour la transmission d'une image compressée par le standard JPEG à travers un système de transmission à base de STBC pour différentes efficacité spectrales. Dans un premier temps nous allons transmettre des données sans compression afin d'évaluer les performances en terme du Taux d'Erreur Binaire (TEB) en fonction de rapport signal à bruit (E_b/N_0) du système STBC. Ensuite, l'image compressée par le standard JPEG sera transmise à travers le même système de transmission et les performances en termes de Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) de l'image reçue et reconstruite en fonction du rapport signal à bruit (RSB) sont présentées. Les simulations sont effectuées sur un canal de Rayleigh.

La figure IV.1 représente le schéma bloc utilisée pour la transmission d'une image JPEG à travers un système à base de codage espace-temps en blocs (STBC).

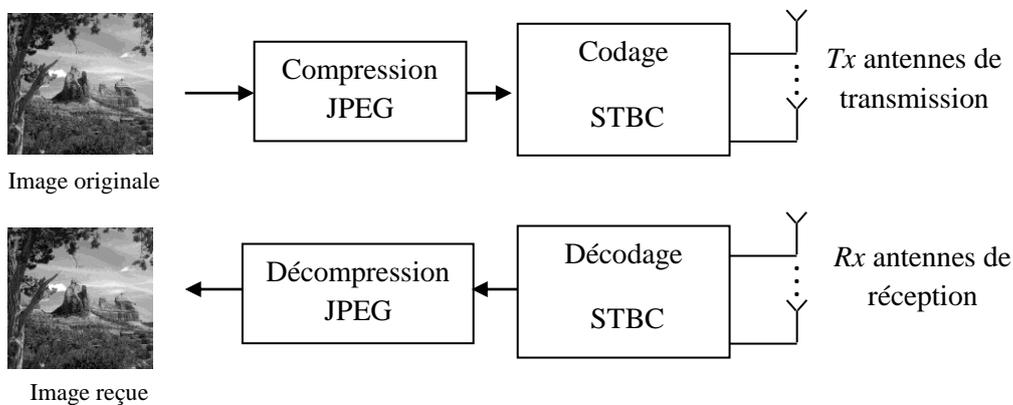


Figure IV.1 : Schéma du système de transmission étudié

L'image originale est compressé par la norme JPEG est codée par le système STBC étudié en chapitre II puis transmise. En réception l'image est décodée puis décompressée. Le taux d'erreur binaire est calculé à partir de l'image compressé et l'image reconstruite.

Avant de donner les courbes de performances des techniques de codage espace-temps, il est nécessaire de donner une définition du rapport signal sur bruit par bit E_b/N_0 . Comme pour les techniques à multiplexage spatial, l'énergie est normalisée en réception quel que soit le nombre d'antennes de réception et d'émission. L'énergie moyenne d'un symbole PSK ou QAM émis par antenne est définie par $E_s/(TxRx)$. Par rapport aux techniques de multiplexage spatial, les techniques de codage espace temps portent $R \log_2 M$ bits d'information codées pour une énergie reçue de E_s . L'énergie par bit au récepteur est donc égale à $E_b = E_s / (R \log_2 M)$. En termes de rapport signaux sur bruits logarithmiques, on obtient :

$$\frac{E_b}{N_0} |_{dB} = \frac{E_s}{N_0} |_{dB} + \log_{10} \frac{1}{R \log_2 M} \quad IV.1$$

Avec R le rendement du code espace-temps étant défini comme le rapport entre le nombre de symboles K et le nombre de durées symboles L pendant lequel ces symboles ont été émis

$R = K/L$. Le code d'Alamouti est le seul code espace-temps en blocs à exploiter la capacité optimale pour $Tx = 2$ et $Rx = 1$ grâce à son rendement unitaire.

La définition du rapport signal sur bruit par bit est donc la même pour les techniques de codage espace-temps que les techniques de multiplexage spatial. Les rendements de code des techniques à multiplexage spatial sont donc supérieurs à 1 car $R = Tx$. Le canal MIMO utilisé est un canal MIMO de Rayleigh constitué de canaux de Rayleigh non sélectifs en fréquence indépendants par couple d'antennes d'émission et de réception.

Le tableau IV.1 représente les performances du STBC des codes STBC d'Alamouti (G_2) et de Tarokh (G_4) pour différentes efficacité spectrales.

	1x1	1x2	Al2x1 (G_2)	Al 2x2(G_2)
K	1	1	2	2
L	1	1	2	2
$\eta=1 \text{ bits/s/Hz}$	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK
$\eta=2 \text{ bits/s/Hz}$	MAQ-4	MAQ-4	MAQ-4	MAQ-4
$\eta= 3\text{bits/s/Hz}$	MDP-8	MDP-8	MDP-8	MDP-8

Tableau IV-1 : Récapitulatif des performances des STBC d'Alamouti et de Tarokh pour différentes efficacités spectrales

IV.2 RESULTATS DE SIMULATION DU SCHEMA D'ALAMOUTI :

Alamouti a donné les résultats présentés sur la figure IV.2. Les résultats obtenus par les simulations effectuées donnent des résultats semblables à ceux obtenus par Alamouti (figure IV.3). Parmi les résultats que l'on tire de l'application d'Alamouti et des simulations effectuées, on peut citer que :

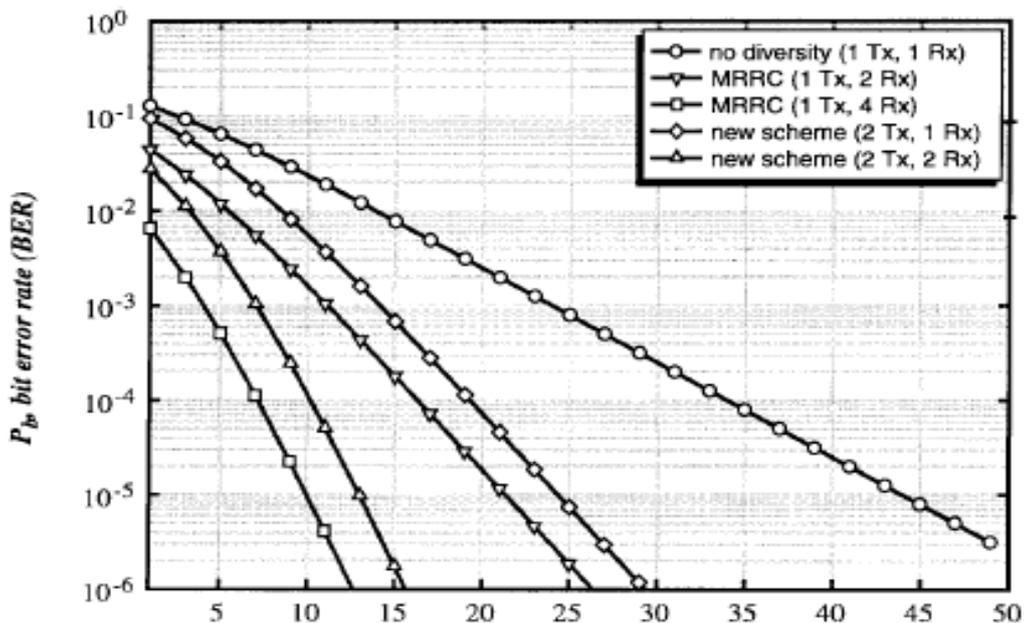


Figure IV.2 : Performances du TEB pour une modulation BPSK pour le MMRC et la méthode d'Alamouti

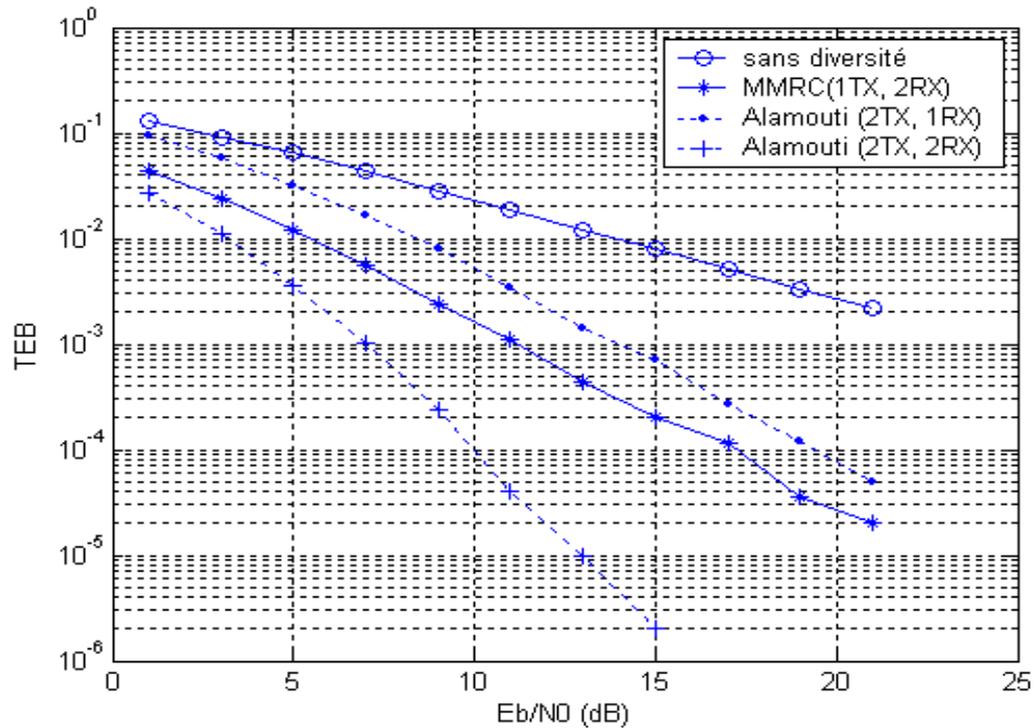


Figure IV.3 : Performances du TEB pour une modulation BPSK pour le MMRC et la méthode d'Alamouti [simulé]

- La qualité de signal de réception subissant une atténuation de rayleigh et l'ajout des interférences d'un bruit blanc gaussien peut être augmentée par l'utilisation du schéma d'Alamouti et du MMRC.
- les courbes du taux d'erreur binaire en fonction du E_b/N_0 d'Alamouti (Tx:2, Rx: 1) et MMRC (Tx:1, Rx:2) sont équivalentes et ont la même tendance.
- on remarque un décalage en décibel entre la courbe de TEB en fonction du E_b/N_0 pour Alamouti (Tx:2, Rx:1) par rapport au MMRC (Tx:1, Rx:2).
- Alamouti avance, que l'augmentation du nombre d'antennes engendre une amélioration croissante de la qualité de réception. D'après lui, cette croissance peut se faire linéairement.
- En augmentant le nombre de récepteurs pour le schéma d'Alamouti, le faisant passer de 1 à 2, pour deux antennes d'émission, on obtiens l'équivalent MMRC de (Tx :1, Rx :4). Cette simulation n'a pas été effectuée.

Pour pouvoir comparer les systèmes nous nous sommes placés à une même puissance de réception. Par conséquent, le système SISO émet une puissance d'émission P pour la seule antenne d'émission, le système Alamouti 2x1 émet une puissance d'émission $P/2$ par antenne d'émission, le système 1x2 émet une puissance $P/2$ pour la seule antenne d'émission, et enfin le système Alamouti 2x2 émet une puissance d'émission $P/4$ par antenne d'émission. Par conséquent, en considérant un contrôle de puissance pour pallier la perte de puissance en espace libre, la puissance de réception pour chacun des systèmes est P . L'hypothèse choisie de puissance

reçue constante P ne doit pas nous faire oublier qu'à puissance d'émission constante, un système Alamouti 2x1 perd 3 dB comparé à un système SIMO 1x2 car Alamouti 2x1 reçoit une puissance P alors que SIMO 1x2 reçoit une puissance $2P$. De même pour Alamouti 2x2, un gain d'antenne de 3 dB doit être ajouté aux performances. En fait, cette opération correspond à une normalisation du gain d'antenne égal à $TxRx$, car le fait de rajouter une antenne peut permettre d'ajouter un gain d'antenne aux performances mais peut aussi permettre de diminuer la puissance des antennes d'émission.

IV.3 APLICATION DU STBC POUR DIFFERENTES EFFICACITE SPECTRALE

Les simulations qui suivent présentent les performances du STBC en termes de TEB en fonction de E_b/N_0 sur un canal à atténuation pour les différentes efficacités spectrales illustrées en tableau IV.1.

IV.3.1 Pour 2bits/s/Hz

La Figure IV.4 montre les performances du STBC pour une efficacité spectrale de 2 bits/s/Hz. On peut voir de façon générale que les performances s'améliorent en fonction du nombre d'antennes de réception. On remarque aussi que la différence de performances entre deux antennes de réception et trois antennes de réception est plus petite que celle entre une antenne de réception et deux antennes de réception.

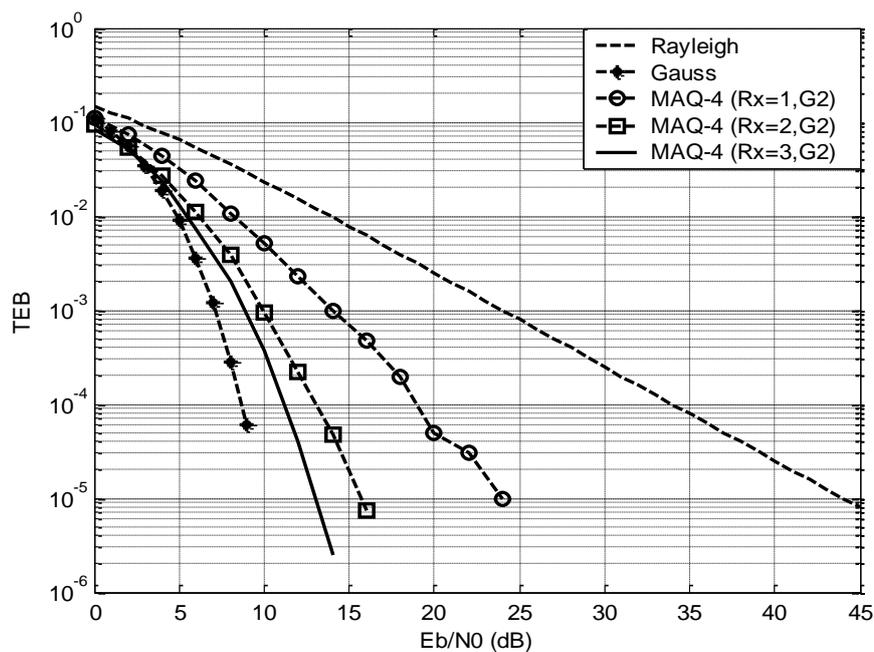


Figure IV.4 : TEB en fonction du E_b/N_0 pour 2 bits/s/Hz, modulation MAQ-4

pour 1,2 et 3 antennes en réception

IV.3.2 Pour 3 bits/s/Hz

La Figure IV.5 montre les performances du codage STBC sur un canal de rayleigh avec l'utilisation de la modulation MDP-8 et le code G_2 . On peut voir de façon générale que les performances s'améliorent en fonction du nombre d'antennes de réception. On observe une nette détérioration des performances d'environ 4 dB par rapport à la modulation MAQ-4 pour un TEB de 10⁻⁵.

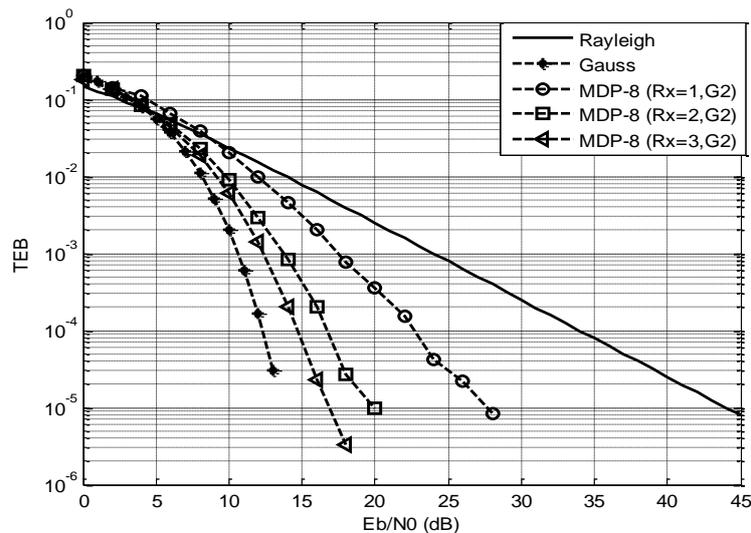


Figure IV.5 : TEB en fonction du E_b/N_0 pour 3 bits/s/Hz, modulation MDP-8

pour 1,2 et 3 antennes en réception

IV.4 RESULTATS DE LA COMPRESSION JPEG

La figure IV.6 représente l'image originale utilisée pour nos simulations (partie compression).

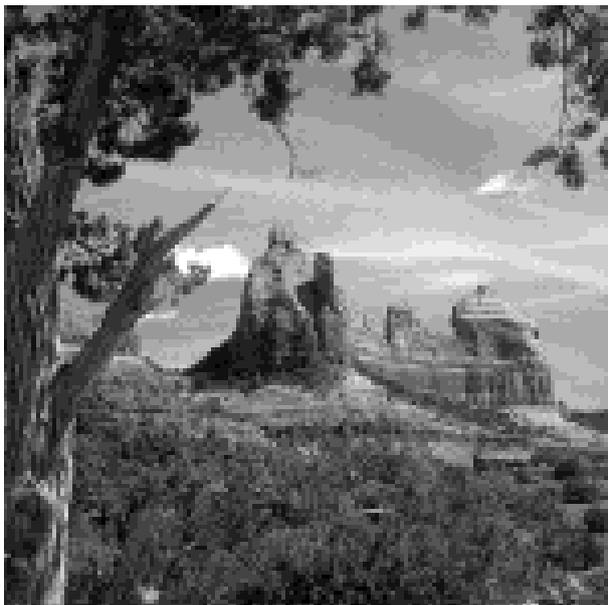


Figure IV.6 : Image originale

En appliquant la norme JPEG à l'image originale nous obtenons une image compressée. La qualité de l'image obtenue en mesurant le PSNR entre l'image originale et l'image compressée pour un Bit Par Pixels (bpp) ou taux de compression donnée est illustré en figure IV.7 et IV.8.

La figure IV.7 représente la variation du PSNR en fonction du taux de compression. En augmentant le taux de compression la qualité de l'image s'améliore ce qui se traduit sur la courbe par l'augmentation du PSNR.

La figure IV.8 représente les images reconstruites pour différents taux de compression. Nous remarquons que quand le débit binaire diminue, la qualité de l'image diminue. Ceci peut être illustré sur la figure IV.8 où l'effet mosaïque commence à apparaître sur l'image reconstruite pour un $\text{bpp}=0,79$ bit/pixels.

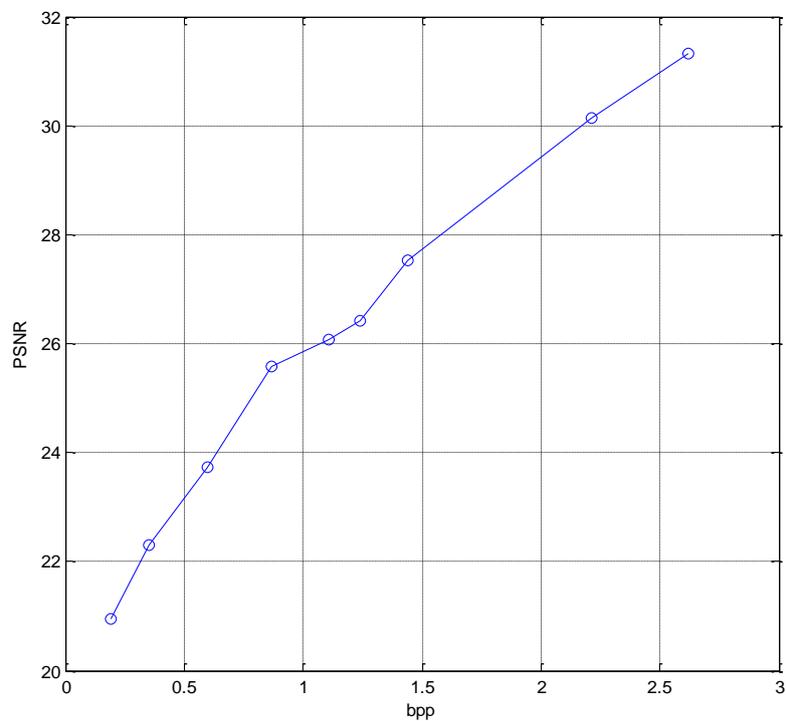
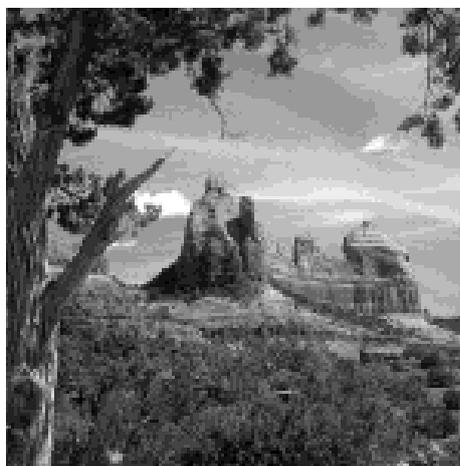
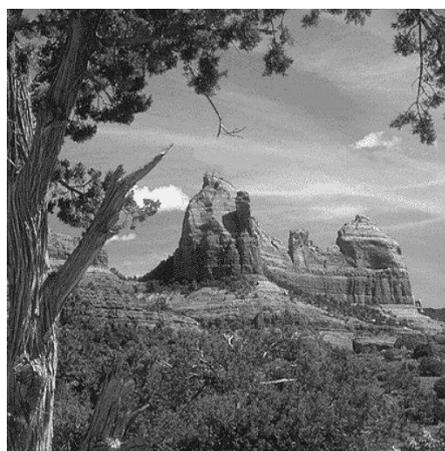


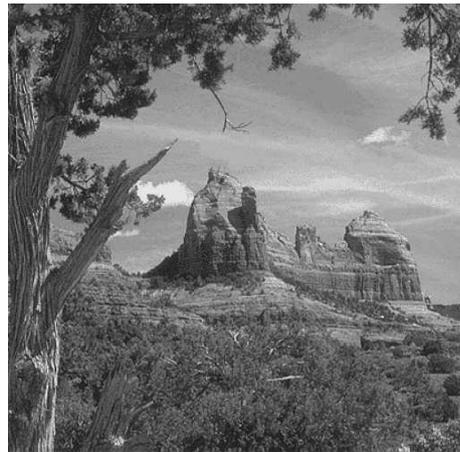
Figure IV.9 : PSNR en fonction du taux de compression (bpp)



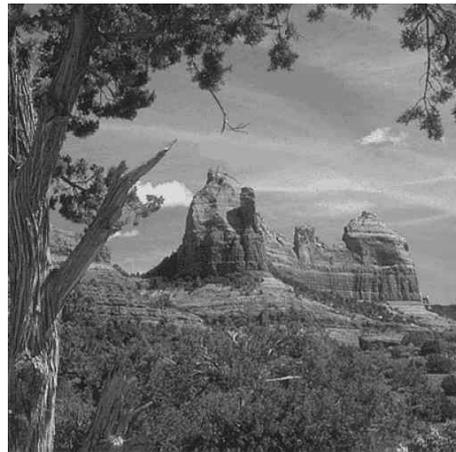
-a-
Image originale



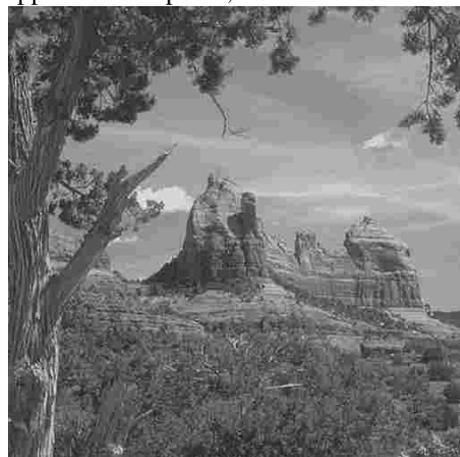
-b-
bpp=2.62 bits/pixel PSNR=31,33 dB



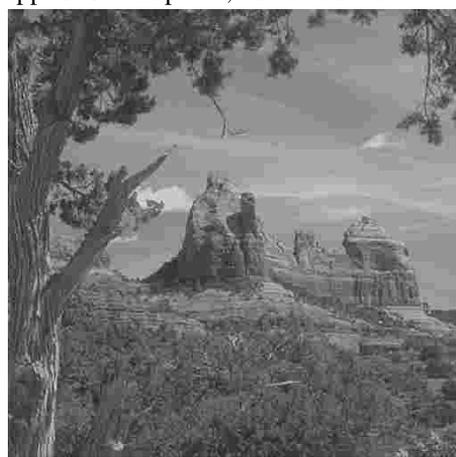
-c-
bpp=1.19 bits/pixel ; PSNR=26.19 dB



-d-
bpp=0.79 bits/pixel ; PSNR=25.16 dB



-e-
bpp=0.35 bits/pixel ; PSNR=22.31 dB



-f-
bpp=0.27 bits/pixel ; PSNR=21.16 dB

Figure IV.8 : Image reconstruite pour différents taux de compression

IV.5 TRANSMISSION D'UNE IMAGE JPEG A TRAVERS UN SYSTEME STBC :

Dans ce qui suit, nous étudions la variation du PSNR en fonction du RSB pour une deuxième image afin de diversifier le panel d'image (figure IV.9). Cette étude est effectuée pour une image compressé avec la norme JPEG ayant un bpp = 1.5 bits/pixel et un PSNR=38.11 dB après reconstruction (sans transmission).



Figure IV.9 : Image originale

La figure IV.10 illustre la variation du taux d'erreur binaire TEB en fonction du E_b/N_o pour la transmission de l'image compressée pour une et deux antennes en réception pour une modulation MAQ-4 et 8-PSK.

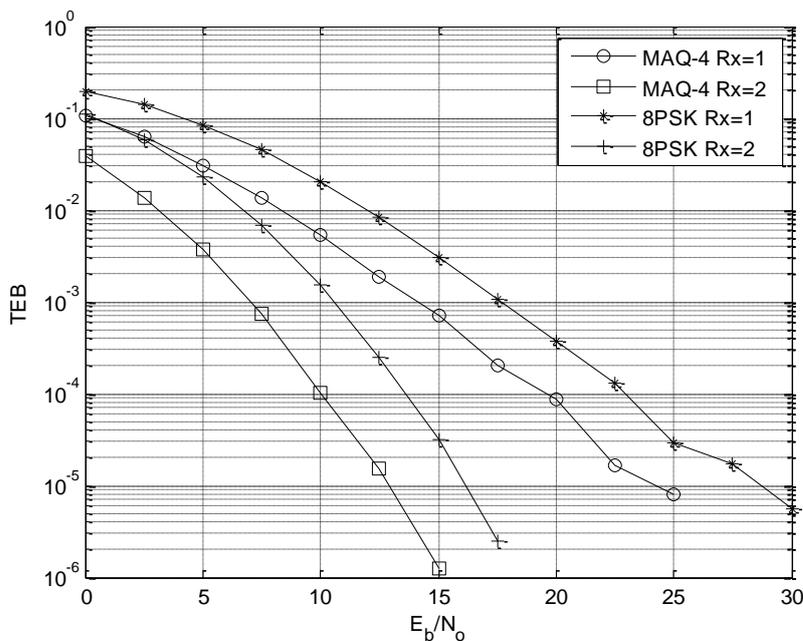


Figure IV.10 : TEB en fonction du E_b/N_o pour 2 et 3 bits/s/Hz avec une et deux antennes en réception

On remarque clairement qu'en utilisant deux antennes en réception la qualité de transmission s'améliore. La transmission de l'image compressée JPEG avec une modulation 8-PSK en utilisant deux antennes en réception donne de meilleurs résultats que l'utilisation de la MAQ-4 avec une antenne en réception. Le gain est d'environ 9 dB à un TEB de 10^{-5} .

IV.5.1 Pour une efficacité spectrale de 2 bits/s/Hz :

Les figures IV.11 et IV.12 représentent les images reconstruites après la transmission en utilisant une modulation MAQ-4 et le code G_2 , pour différents rapport Signal à Bruit : RSB (E_b/N_o) avec une et deux antennes en réception respectivement.



-a-
RSB=26 dB, PSNR=38.11



-b-
RSB=22 dB, PSNR=20.34



-c-
RSB=20 dB, PSNR=16.53

Figure IV.11 : Images reconstruites pour la modulation MAQ-4 et le code G_2 pour une antenne en réception



-a-
RSB=15 dB, PSNR=38.11



-b-
RSB=13.5 dB, PSNR=27.98



-c-
RSB=13 dB, PSNR=18.86

Figure IV.12 : Images reconstruites pour la modulation MAQ-4 et le code G_2 pour deux antennes en réception

On observe sur ces deux figures que la qualité de l'image s'améliore en augmentant le RSB.

La figure IV.13 illustre la variation du PSNR en fonction du RSB lors de la transmission de l'image compressée pour une et deux antennes de réception pour une modulation MAQ-4 et le code G_2 . On remarque que pour une antenne en réception l'image transmise après compression peut être parfaitement reconstruite (PSNR = 38,11 dB) pour un RSB = 26 dB. En ajoutant une antenne en réception l'image est parfaitement transmise pour un RSB de 14 dB, soit un gain de 12 dB.

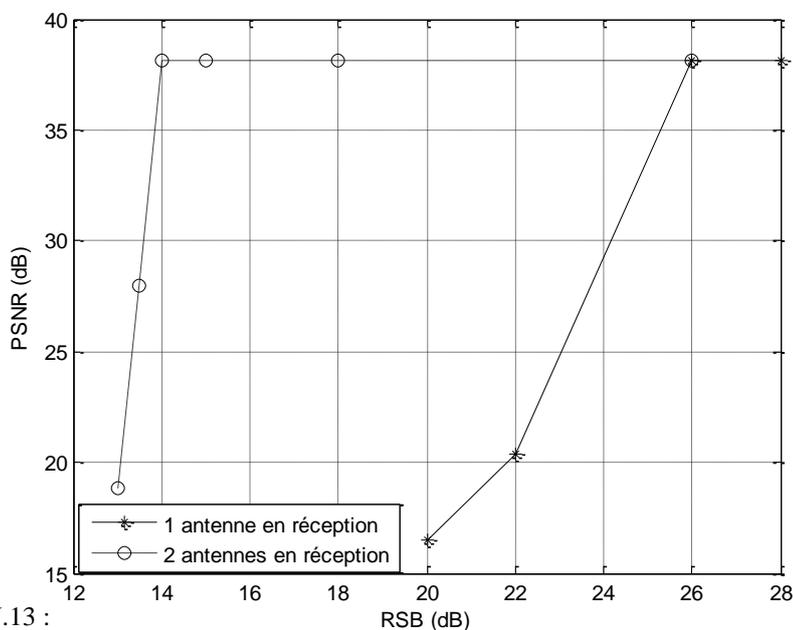


Figure IV.13 : PSNR en fonction du RSB pour la modulation MAQ-4 et le code G_2 .

IV.5.2 Pour une efficacité spectrale de 3 bits/s/Hz

Les figures IV.14 et IV.15 représentent les images reconstruites après la transmission en utilisant une modulation MDP-8 et le code G_2 , pour différents RSB avec une et deux antennes en réception respectivement.



-a-
RSB=27 dB, PSNR=38.05



-b-
RSB=24 dB, PSNR=21.68



-c-
RSB=21 dB, PSNR=14.18

Figure IV.14 : Images reconstruites pour la modulation MDP-8 et le code G_2 pour une antenne en réception



-a-
RSB=20 dB, PSNR=38.11



-b-
RSB=17 dB, PSNR=24.83



-c-
RSB=15 dB, PSNR=15.78

Figure IV.15 : Images reconstruites pour la modulation MDP-8 et le code G_2 pour deux antennes en réception

La figure IV.16 illustre la variation du PSNR en fonction du RSB lors de la transmission de l'image compressée pour une et deux antennes de réception pour une modulation MDP-8 et le code G_2 . On remarque que pour une antenne en réception l'image transmise après compression peut être parfaitement reconstruite (PSNR = 38,11 dB) pour un RSB = 27 dB. En ajoutant une antenne en réception l'image est parfaitement transmise pour un RSB de 20 dB, soit un gain de 7 dB.

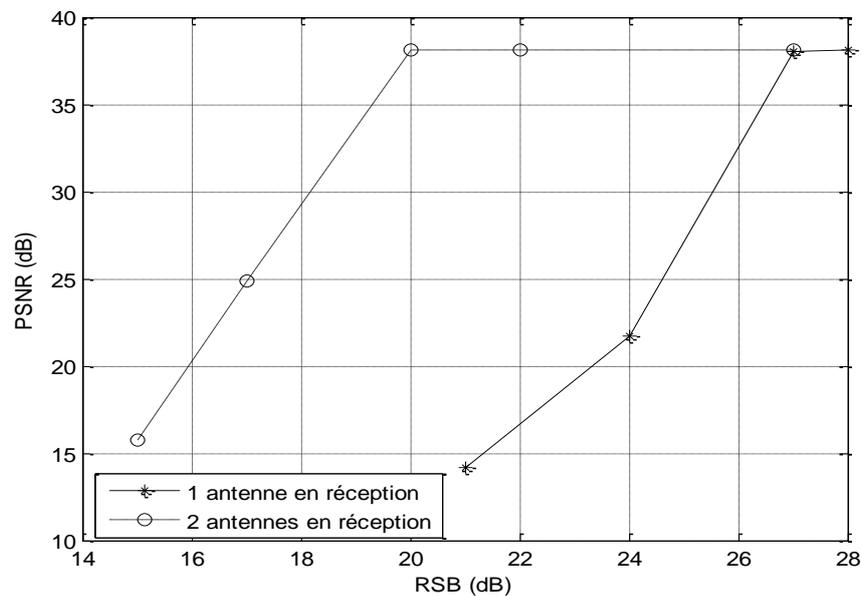


Figure IV.16 : PSNR en fonction du RSB pour la modulation MDP-8 et le code G_2 .

CONCLUSION :

Les résultats de simulations obtenus ont montré que l'utilisation d'un système MIMO permet d'améliorer nettement les performances du système de transmission. L'utilisation de la norme JPEG permet de réduire considérablement la quantité d'information avant la transmission et permet d'enlever la redondance de l'image.

Conclusion Générale :

Les techniques de diversité et plus particulièrement les techniques de diversité spatiale STBC d'Alamouti s'avèrent très efficaces pour réduire l'impact des évanouissements du canal sur les performances des systèmes. Ces techniques consistent à utiliser deux antennes à l'émission et une ou plusieurs antennes à la réception, permettant ainsi au récepteur de recevoir des copies différentes du même signal émis.

La norme internationale JPEG (The Joint Photograph Experts Group) qui est un effort conjoint entre L'ISO et le CCITT est proposée en 1992. Cette norme est la plus adaptée à la compression d'images photographiques possédant de nombreux niveaux de gris ou de couleurs. Elle n'est pas recommandée pour les images de petite taille ou les dessins au trait. JPEG est aujourd'hui le format d'image utilisé dans la quasi-totalité des appareils photos, et la plupart des images circulant sur internet.

Dans ce mémoire, les performances du système d'Alamouti pour la réduction d'erreurs lors de la transmission d'images compressées JPEG ont été présentées. Ainsi, les différentes étapes de JPEG ont été énumérées. Les résultats des simulations sont donnés pour démontrer comment le système d'Alamouti améliore les performances du système de transmission en termes de TEB et de PSNR .

Il a été montré que les performances de ce système de transmission pour une efficacité spectrale de 2 et 3 bits/s/Hz s'améliorent en fonction du nombre d'antennes en réception.

De plus, les performances de ce système avec une modulation 8-PSK pour deux antennes en réception sont meilleurs que celui utilisé avec une modulation MAQ-4 avec une antenne en réception. Le gain est d'environ 9 dB à un TEB de 10^{-5} .

Il serait intéressant dans de futur travaux d'étudier les performances de la transmission d'images ou de vidéos à travers un système MIMO-STBC pour différent codes spatio-temporel.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. Jaffrot « Introduction aux communications numériques » ENSTA—UET. 2001
- [2] O. Pothier « Codage de canal et turbo codes Cours I : introduction générale au codage de canal » ENST Brest 2000.
- [3] CLAUDE SERVIN « Télécoms I » Edition : DUNOD 2001.
- [4] I. E. Telatar. Capacity of multi-antenna Gaussian channels. *European Transactions on Telecommunications*, 10(6):585–595, 1999.
- [5] G. J. Foschini and M. J. Gans. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. *Wireless Personal Communications*, 6(3):311–335, march 1998.
- [6] Didier Le Ruyet, Systèmes Multi Antennes (MIMO), CNAM Electronique C2 Laboratoire Electronique et Communication.
- [7] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space time codes for high rate data wireless communication : performance analysis and code construction", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 44, pp 744-765, Mar. 1998
- [8] V. Tarokh, H. Jafarkhani and A. R. Calderbank, "STBC from Orthogonal Designs", *IEEE Trans. Inform Theory*, vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999.
- [9] S. M. Alamouti, "A simple transmitter diversity scheme for wireless communications", *IEEE J. Select. Areas. Commun.*, vol. 16, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [10] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space time codes for high rate data wireless communication : performance analysis and code construction", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 44, pp 744-765, Mar. 1998
- [11] V. Tarokh, H. Jafarkhani and A. R. Calderbank, "STBC from Orthogonal Designs", *IEEE Trans. Inform Theory*, vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999.
- [12] ISO/IEC "JTC1: Digital Compression and Coding of Continuous tone Still Images Part 1: Requirements and Guidelines," *JPEG-9-R6 CD10918-1*, 1992.
- [13] ISO/IEC, "Digital compression and coding of continuous tone still images: requirements and guidelines," International Standard Organization, 1994.
- [14] G. Lakhani, "DCT coefficient prediction for JPEG image coding image processing," ICIP, IEEE International Conference on Image Processing, San Antonio, Texas, 2007, pp.