

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

جامعة سعد دحلب البليدة -1-  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Filière : Télécommunications  
Spécialité : Systèmes des télécommunications

Présenté par :

**LAKEL Chaima**

&

**GUERBACHE Khadidja**

---

# OPTIMISATION ET AMELIORATION D'UN SYSTEME DE TRANSMISSION MICRO-ONDE - FAISCEAUX HERTZIEN -

---

Proposé par : DAHMANI Samir et BOUCETTA Imad Eddine

Année Universitaire 2022-2023

## **Remerciements :**

- ❖ *Avant tout, nous remercions ALLAH pour la santé, la force, et l'aide qu'il nous a donné pour élaborer ce travail.*
- ❖ *Nous remercions profondément **Mr DAHMANI Samir**, qui en tant que promoteur, nous a guidé dans notre travail et a su être à l'écoute, pour le soutien et l'aide qu'il nous a présenté pour la réalisation de notre mémoire.*
- ❖ *Nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères à notre promoteur au sein de l'entreprise ERICSSON, **Mr BOUCETTA Imad Eddine** pour sa disponibilité, la pertinence de ses conseils et sans oublié le personnel de l'entreprise accueillant.*
- ❖ *Nous tenons également à remercier les membres de jury, Mr. AITSAADI Hocine et Mme BOUTALEB Nassima, d'avoir accepté d'examiner notre travail.*
- ❖ *Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail.*

***Dédicace :***

*Je dédie ce modeste travail en premier lieu*

*A mon cher père qui m'a toujours soutenu*

*A ma défunte chère maman*

*A mes deux petites princesses « Khaoula » et « Meriem »*

*A toute la famille HABBAS et LAKEL*

*A mon binôme et sa famille « GUERBACJE »*

*A toutes mes adorables amies « meryouma, youss, houda, chimy, ran,  
mimi, lin lin et Jass »*

*A tous ceux qui j'aime ainsi que ceux qui m'aiment.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes très chers parents qui m'ont soutenue tout au long de ma vie.*

*Mes chers sœurs Amina, Safia, Zineb, Meriem et mon frère Amin.*

*A mon chère **MK** pour tout son aide et son soutien.*

*A toute la famille **GUERBACHE** et **KERKAR**.*

*A mes chers petits neveux et nièces.*

*A mon binôme chaima et à sa famille **LAKEL**.*

*A mes amis Mojo, Houta, Yasmin, Ahlam.*

*A toute personne qui ne cesse de m'encourager et de m'aider durant mes études.*

---

## ملخص:

كجزء من مشروع MASTER في نهاية الدراسة وتحت عنوان "تحسين نظام الاتصالات ذو التردد العالي الميكروي "FH"، لزيادة معدل التدفق في الإرسال، قادتنا هذه الدراسة الى التحقق من الطيف الكهرومغناطيسي المتاح للاتصالات المتنقلة إلى عدة مجالات ترددية. أظهرت الدراسة والتحسين على إيجاد تحسن كبير في خصائص ومميزات الاتصال باستعمال FH. في هذا التقرير سعينا إلى تحسين أنظمة إرسال الموجات الميكروية. يتم عرض المبادئ الأساسية لانتشار الموجات في الفضاء، مماثلة الطاقة والتشفير. بعد ذلك، يتم تفصيل تقنيات التحسين المختلفة لربط الاتصال الميكروي. في النهاية، يتم عرض نتائج عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها باستخدام برنامج Ellipse، مما يجعل من الممكن تقييم تأثير الميزات والمقاييس المختلفة على معدل الإرسال بواسطة الموجات الدقيقة.

**كلمات المفاتيح:** التحسين، موجات الراديو، مجال ترددي واسع، ترشيد الطاقة والتدفق العالي.

---

## Résumé :

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude MASTER intitulé « Optimisation et Amélioration d'un Système de Transmission Microonde Faisceaux-Hertzien », pour augmenter le débit de la transmission, une investigation du spectre électromagnétique disponible pour les communications mobiles nous a mené vers plusieurs bande de fréquences. L'étude et optimisation développés le long de ce travail a montré une grande amélioration dans les paramètres de la liaison Faisceaux-Hertzien dans la bande E. Dans ce rapport nous avons cherché à optimiser les systèmes de transmissions microondes par Faisceaux-Hertziens. Les principes de bases de la propagation, bilan énergétique, et du codage sont présentés. Ensuite, les différentes techniques d'optimisation d'une chaîne de transmission par micro-ondes sont détaillées. A la fin, les résultats de simulations réalisées à l'aide du logiciel Ellipse, permettant d'évaluer l'impact des différentes configurations et paramètres sur le débit de transmission par micro-ondes sont présentées.

**Mots clés :** optimisation, haut-débit, Faisceaux-Hertzien, large-bande.

---

## Abstract :

As part of our final year project of MASTER degree entitled "Optimization and Improvement of a Microwave Transmission System FH", to increase the transmission rate, an investigation of the electromagnetic spectrum available for mobile communications led us to several frequency bands. The study and optimization developed along this work showed a great improvement in the parameters of the FH link in the E band. In this report, we have proceeded into optimizing microwave transmission systems by Hertzian Link. The basic principles of propagation, power transmission, and coding are presented. Then, the different optimization techniques of a microwave transmission chain are detailed. At the end, the results of simulations carried out using the Ellipse software, showed results that evaluate the impact of the various configurations and parameters on the enhancement of the transmission data rate.

**Keywords :** optimization, broadband, radio-link, transmitted power, increased throughput.

---

## Liste des acronymes et abréviations

AM	Amplitude modulation
ANF	Agence Nationale des Fréquences.
ATPC	Automatic Tx power control
BER	Bit error rate
CCDP	Co-channel dual polarization
CS	Chanel spacing
dB	Decibel
E1	European Digital Signal 1
E2	European Digital Signal 2
E3	European Digital Signal 3
E4	European Digital Signal 4
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDM	Frequency Division Multiplexing
FD	Frequency diversity
FH	FaisceauxHertziens
GPS	Global Positioning System
HBA	Hauteur Bas d'Antenne
HSD	Hot stand by
IDU	Indoor Unit
IF	Intermediate Frequency
KPI	KeyPerformanceIndicators
LOS	Line Of Sight
LTE	Long-term evolution
MIC	Modulation par Impulsions Codées.
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NLoS	No line of sight
ODU	OutdoorUnit
PDH	Plesiochronous digital Hierarchy
QAM	Qadrature amplificate modulation
QPSK	Quadratic phase-shift keying
RX	Reception
RSL	ReceivedSignalLevel
SD	Space diversity

SDB	Super Dual band
SDH	Synchronous digital Hierarchy
SNR	Signal sur bruit
SFP	Small factor pluggable
STM	Synchronous Transport Module
TDM	Time division multiplexing
TD	ThresholdDegradation
XPD	Cross-polar discrimination
XPIC	Cross-PolarInterferenceCanceller

# Tableau des Matières

Introduction générale .....	1
<b><u>Chapitre1 : Généralités</u></b>	
1.1.INTRODUCTION .....	3
1.2.LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE.....	3
1.2.1Ondes électromagnétiques .....	3
1.2.2.Définitionduspectreélectromagnétique .....	4
1.2.3Domaines du spectre électromagnétique .....	4
1.2.4.Le spectre de fréquence .....	5
1.2.4.1.La bande d'intérêt.....	5
1.2.4.2. Les interférences .....	6
1.2.5.La propagation des ondes électromagnétique .....	7
1.2.5.1.Propagation dans l'espace libre .....	8
1.2.5.2.Propagation dans des lignes .....	8
1.3.Les systèmes de transmission .....	8
1.3.1.Supports de transmission .....	8
1.3.1.1.Lescâblesàpairessymétriques .....	8
1.3.1.2.Lescâblescoaxiaux .....	9
1.3.1.3.Les fibres optiques .....	9
1.3.1.4.Lesfaisceauxhertziens .....	10
1.3.1.5.LeVSAT .....	10
1.4.LESSYSTEMESDEMULTIPLEXAGE .....	11
1.4.1.Lemultiplexageenfréquence.....	11
1.4.2.Lemultiplexageentemps.....	11
1.4.3.Lemultiplexageenlongueur d'onde .....	12
1.5.LES TECHNOLOGIES DES COMMUNICATIONS .....	12
1.5.1.OrganisationdelatrameMICprimaireE1 .....	12
1.5.2.PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).....	13
1.5.3.SDH (Synchronous Digital Hierarchy).....	13
1.5.4.Ethernet.....	14
1.6.CONCLUSION .....	14



## **Chapitre2 : Transmission par Faisceaux hertziens**

2.1.INTRODUCTION .....	15
2.2.TRANSMISSION PAR FAISCEAUX HERTZIENS.....	15
2.2.1.Présentation d'un faisceau hertzien .....	15
2.2.2.Les Types de liaisons par faisceaux hertziens .....	16
2.2.2.1.Les faisceaux hertziens en visibilité directe LOS .....	16
2.2.2.2.Les faisceaux hertziens transhorizon NLOS.....	17
2.3.ANTENNES .....	18
2.3.1.Définition d'une antenne .....	18
2.3.2.Antenne parabolique.....	18
2.3.2.1.Types d'antennes paraboliques .....	18
2.3.2.2.Caractéristiques .....	19
2.3.2.2.1.Diagramme de rayonnement .....	19
2.3.2.2.2.Angle d'ouverture .....	20
2.3.2.2.3.Directivité.....	21
2.3.2.2.4.Gain .....	21
2.3.2.2.5.Polarisation.....	21
2.4.SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE LIAISON HERTZIENNE .....	22
2.5.L'AFFAIBLISSEMENT D'UNE LIAISON FH.....	23
2.5.1.Affaiblissement en espace libre .....	23
2.5.2.Affaiblissement dû à la pluie .....	23
2.6.LA MODULATION.....	24
2.6.1.La modulation QAM .....	24
2.6.2. L'intérêt de la QAM .....	24
2.7.BILAN DE LIAISON.....	25
2.8.CONCLUSION .....	26

## **Chapitre 3: l'optimisation d'une chaine de transmission**

3.1.INTRODUCTION .....	27
------------------------	----

3.2.SHEMA GENERAL DU PROCESSUS DE L’OPTIMISATION .....	27
3.3.LES CLES DE PERFORMANCES DE LA TRANSMISSION.....	28
3.3.1.RSL.....	28
3.3.2.la marge d’évanouissement .....	28
3.3.3.La disponibilité .....	29
3.4.LES TECHNIQUES D’OPTIMISATION .....	29
3.4.1.Les configurations des faisceaux hertziens .....	29
3.4.1.1.Configuration non sécurisée (1+0) .....	29
3.4.1.2.Configuration sécurisée .....	29
3.4.1.2.1.La configuration (1+1) .....	29
3.4.1.2.2.La configuration (2+0) .....	30
3.4.1.2.3.La configuration (4+0) .....	31
3.4.2.Double polarisation et XPIC.....	31
3.4.3.La modulation adaptative .....	32
3.4.4.Le contrôle automatique de la puissance ou ATPC.....	33
3.4.5.Mw-MIMO (Microwave MIMO).....	34
3.4.6.Super double bande ou SDB.....	34
3.4.7.Les équipements de transmission .....	35
3.4.7.1les équipements d’unité extérieure.....	35
3.4.7.1.1.Les antennes .....	35
3.4.7.1.2.Unité de radio (RAU).....	36
3.4.7.1.3.Le câble coaxial (IF câble) .....	37
3.4.7.2.les équipements de l’unité intérieure .....	37
3.4.7.2.1.Définition .....	37
3.4.7.2.2.Les composants de l’unité intérieure .....	38
3.4.8.Full outdoor .....	43
3.5.CONCLUSION .....	44

## **Chapitre 4: simulation des résultats et discussion**

4.1.INTRODUCTION .....	45
4.2.PRESENTATION DES OUTILS DE TRAVAIL.....	45

4.2.1.Le simulateur Ellipse .....	46
4.2.2.Logiciel Matlab.....	46
4.3.DESCRPTION DE LA WILAYA DE JIJEL.....	46
4.4.CAS 1 : PLANIFICATION DU LIEN .....	46
4.4.1.Etablissement du lien.....	46
4.4.2.La configuration du lien .....	48
4.4.3.Test d'interférence .....	51
4.5.CAS 2 : UPGRADE .....	54
4.5.1.Soft upgrade (Modernisation logique).....	54
4.5.2.Hard upgrade (Modernisation physique) .....	57
4.6.CAS DE LA BANDE E.....	58
4.7.CONCLUSION .....	58
Conclusion générale .....	60

## Liste des figures :

Figure.1. 1.propagation d'une electromagnétique.....	3
Figure.1. 2.représentation de spectre électromagnétique généralement.....	4
Figure.1. 3. les bands de fréquences.....	6
Figure.1. 4.interférence Co-canal.....	7
Figure.1. 5.interférence canal-adjacent.....	7
Figure.1. 6.la fibre optique.....	9
Figure.1. 7.transmission par faisceau hertzien.....	10
Figure.1. 8.communication via satellite.....	10
Figure.1. 9.principe du multiplexage fréquentiel.....	11
Figure.1. 10.principe du multiplexage temporel.....	11
Figure.1. 11.principe du multiplexage en longueur d'onde.....	12
Figure.1. 12.la trame MIC.....	12
Figure.1. 13.structure de la trame PDH.....	13
Figure.1. 14.la trame de STM.....	13
Figure.1. 15.la trame Ethernet.....	14
Figure.2. 1.Ellipsoide de Fresnel.....	16
Figure2. 2.les types de propagation.....	17
Figure.2. 3.les types d'antennes parabolique (prime focus,offset,cassegrain ).....	18
Figure.2. 4.représentation graphique de diagramme de rayonnement.....	19
Figure.2. 5.les lobes de rayonnement.....	20
Figure.2. 6.l'angle d'ouverture.....	20
Figure.2. 7.shéma principale d'une liaison hertzienne.....	22
Figure.2. 8.constellation 512-QAM.....	25
Figure.3. 1.processus de l'optimisation.....	27
Figure.3. 2.les KPIs de la transmission.....	28
Figure.3. 3.la configuration non sécurisée.....	29
Figure.3. 4.la configuration sécurisée (1+1) HSB.....	29
Figure.3.5.la configuration sécurisée (1+1) SD.....	30
Figure. 3. 6.la configuration sécurisée (1+1) FD.....	30
Figure.3. 7.la configuration (2+0).....	30
Figure.3. 8.la configuration (4+0).....	31
Figure.3. 9.la double polarisation.....	31
Figure.3. 10.l'influence de la pluie sur la modulation.....	32
Figure.3. 11.la modulation 4096 QAM.....	33
Figure.3. 12.le principe de Mv MIMO.....	34
Figure.3. 13.les dimensions des antennes.....	35
figure.3. 14.unité d'accès radio.....	36
Figure.3. 15.exemple de radio de troisième génération.....	36
Figure.3. 16.câble FI.....	37
Figure.3. 17.exemple d'unité de ventilation FAU.....	38

Figure.3. 18.modèle d'unité AMM X1 .....	39
Figure.3. 19.modèle d'unité AMM X2 .....	39
Figure.3. 20.modèle d'unité AMM X3 .....	40
Figure.3. 21.le ML 6XXX1 .....	40
Figure.3. 22.le ML 6XXX2 .....	41
Figure.3. 23.les différentes unités de NPU de deuxième génération.....	41
Figure.3. 24. NPU XXX3 .....	42
Figure.3. 25. MMU X10.....	42
Figure.3. 26.MMU XXX2 .....	42
Figure.3. 27. LTU de deuxième génération.....	43
Figure.3. 28. LTU de troisième génération .....	43
Figure.3. 29.full outdoor avec une antenne de 0.3m de diamètre.....	44
Figure. 4. 1.exemple des données de rapport LOSS.....	47
Figure.4. 2.création du lien.....	47
Figure.4. 3. représentation des icônes pour le choix des équipements.....	49
Figure.4. 4.le choix de canal.....	49
Figure.4. 5.le choix de la modulation et le Tx power .....	50
figure.4. 6.l'affichage du débit requis .....	51
Figure.4. 7.présence d'interférence .....	52
Figure.4. 8.exemple de la valeur d'interférence.....	52
Figure.4. 9.résultat de bilan de liaison.....	53
Figure.4. 10.graphe de débit par rapport au CS.....	54
Figure.4. 11 graphe de débit par rapport a la modulation.....	55
Figure.4. 12.optimisation de la modulation et le Tx power.....	55
Figure.4. 13.vérification d'augmentation de débit .....	56
Figure.4. 14.la tolérance des interférences .....	56
Figure.4. 15.le bilan de liaison du lien reconfiguré .....	56
Figure.4. 16.l'augmentation du débit en utilisant la configuration 2+0.....	57
Figure.4. 17.bilan de liaison du lien reconfiguré .....	57
Figure.4. 18.le choix des équipements et du CS.....	58

## Liste des tableaux

Tableau 1.1. Types de bandes de fréquences.....	5
Tableau 1.2. Les différents E1.....	13
Tableau 3.1. Diamètres d'antennes en fonction des bandes de fréquences et la distance....	35
Tableau 4.1. Choix de fréquence par rapport à la distance.....	48
Tableau 4.2. Représentation du débit en fonction de la modulation.....	50
Tableau 4.3. Recommandation de l'ETSI.....	53

## Introduction générale

Les télécommunications font référence à la transmission d'informations à distance, généralement par le biais de signaux électromagnétiques ou de câbles. Les systèmes de télécommunication sont utilisés pour une variété de fonctions, notamment la communication vocale, la diffusion de médias, la transmission de données. Les télécommunications sont une partie intégrante de notre vie quotidienne et ont considérablement changé la façon dont nous interagissons, travaillons et communiquons.

Les technologies de télécommunication modernes comprennent des systèmes de communication filaires et sans fil, ainsi que des réseaux de communication à longue distance qui permettent la transmission de données sur de grandes distances.

En somme, le passage de la télécommunication filaire à la communication sans fil a permis d'offrir des débits de plus en plus élevés tout en s'introduisant des défis uniques en matière de transmission des signaux électromagnétiques. Les défis liés à la transmission dans la communication sans fil sont nombreux telle que les interférences électromagnétiques, l'atténuation du signal, gestion de la bande.

La technologie ne cesse pas de se développer autour de ce sujet donc en passant à l'optimisation technique qui consiste à améliorer les performances techniques de ce système en utilisant des techniques et des outils appropriés. Cette démarche vise à maximiser l'efficacité et l'efficience en minimisant les coûts et en maximisant les avantages.

L'optimisation de ce système est un domaine clé de la recherche en télécommunications.

Les systèmes de transmission par micro-ondes sont largement utilisés pour les liaisons à haute vitesse à travers de longues distances.

Le passage de la télécommunication filaire à la communication sans fil a eu un impact significatif sur le débit de transmission de données et la partie transmission en général.

D'autre part, les fournisseurs d'équipements de télécommunications jouent un rôle important dans l'optimisation des systèmes de communication. Ils fournissent les équipements et les solutions qui sont utilisés pour améliorer les performances des réseaux de communication tel que : Ericsson, JuniperNet, CiscoSystems, SamsungElectronics..etc.

Le but de ce projet de fin d'étude est d'explorer les différents aspects de l'optimisation des systèmes de transmission par micro-ondes, en mettant l'accent sur les techniques et les outils qui peuvent être utilisés pour améliorer l'efficacité, la fiabilité et les performances des systèmes existants.

# Introduction générale

---

Le projet se concentrera sur les principaux défis liés à l'optimisation des systèmes de transmission par micro-ondes, tels que la réduction des pertes de signal, l'amélioration de la qualité du signal, la gestion de l'interférence et l'augmentation de la bande passante. Les techniques de modulation avancées, telles que la modulation d'amplitude en quadrature (QAM). Notre mémoire est composée de quatre chapitres, dans le premier chapitre, nous abordons brièvement des généralités sur les micro-ondes.

Le deuxième chapitre porte sur les concepts généraux de transmission dans un réseau sans fils, plus précisément sur les faisceaux hertziens et leurs caractéristiques.

Le troisième chapitre sera consacré à l'optimisation d'une chaîne de transmission en représentant les différentes générations des équipements de la transmission plus les techniques aidantes en transmission.

Le dernier chapitre servira à résoudre le problème de capacité dans la wilaya de JIJEL.

En fin de compte, ce projet de fin d'étude aura pour objectif de fournir une vue d'ensemble complète de l'optimisation des systèmes de transmission par micro-ondes, avec un accent particulier sur les techniques, les outils et les applications pratique.



## 1.1 Introduction

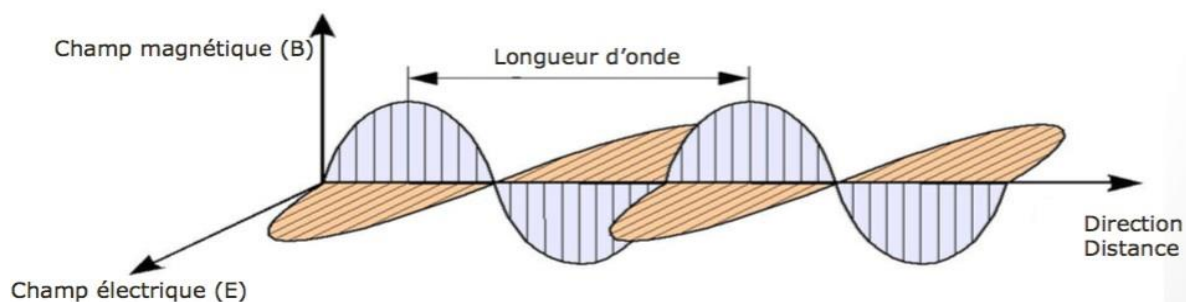
Le rôle de la télécommunication est de transmettre des informations entre différents utilisateurs et leur permettre de dialoguer. Ces informations peuvent provenir de sources ou de capteurs de nature physique variables, sous forme analogique ou numérique (voix, camera, vidéo, fichiers électroniques), et être transmises par le biais de divers supports de transmission à capacités limitées (air, lignes métalliques, fibre optique) vers différents blocs de réception (haut-parleur, écran d'ordinateur ou de portable). Il faut alors adapter le signal initial au canal envisagé, afin de transmettre l'information le plus fidèlement possible tout en optimisant l'utilisation du canal [1].

Le but de ce chapitre est de faire une définition générale sur les supports de la télécommunication, afin de focalisé sur le faisceau hertzien.

## 1.2 Le spectre électromagnétique

### 1.2.1 Ondes électromagnétiques

Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillant tous deux à la même fréquence. C'est aussi l'ensemble des fréquences à laquelle peut osciller une onde électromagnétique. Ces deux champs sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre et se propagent selon une direction orthogonale dans un milieu : air, espace,...etc.



*Figure 1.1.* Propagation d'une électromagnétique

La nature exacte d'une onde électromagnétique est en réalité la propagation, à la vitesse de la lumière, d'une déformation harmonique des propriétés électriques et magnétiques de l'espace, consécutive à une excitation. Un parallèle peut être fait avec l'onde que génère une goutte qui tombe à la surface de l'eau. A noter que le milieu dans lequel l'onde se propage reprend sa forme initiale après distorsion. Comme il est à noter que les ondes audio nese propagent pas dans le vide.

Une onde électromagnétique est caractérisée par trois grandeurs :

**La longueur d'onde ( $\lambda$ ) :** c'est la périodicité de l'oscillation de l'onde dans le temps ou l'espace. Elle est mesurée entre deux pics successifs, représentant la longueur du cycle de l'onde dans l'espace. L'unité est le mètre (m), correspondant à la distance parcourue par la lumière en  $1/3.10^8$  s (1983, Conférence Générale des Poids et Mesures).

**La période (T) :** C'est le temps que met l'onde pour réaliser un cycle. L'unité est la seconde.

**La fréquence ( $\nu$ ) :** c'est l'inverse de la période, elle symbolise le nombre de cycles par unité de temps. C'est le nombre d'oscillations du champ électromagnétique par seconde ; L'unité est le Hertz (Hz), sachant qu'un Hertz équivaut à une oscillation.

## 1.2.2 Définition du spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique est une classification qui présente l'ensemble des ondes électromagnétiques selon leur longueur d'onde et leur fréquence. Cette représentation est couramment utilisée pour illustrer le spectre électromagnétique c'est-à-dire le regroupement de tous les types d'ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde et de leur fréquence [2].

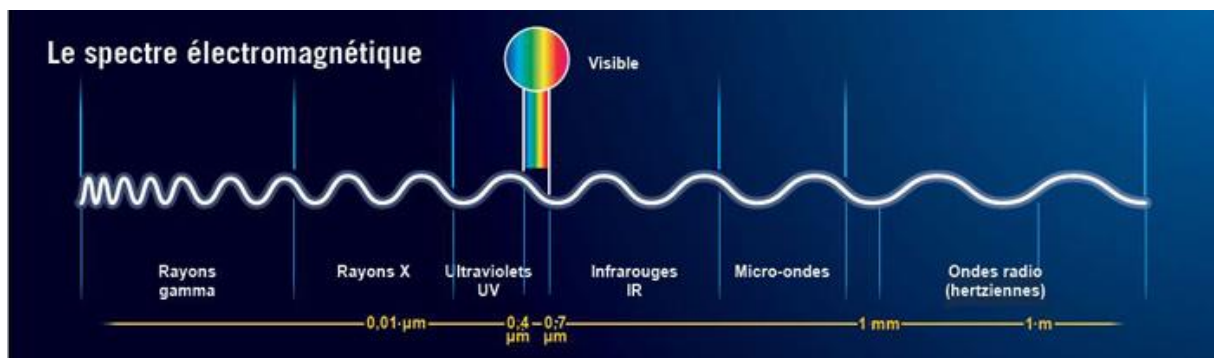


Figure 1.2. Représentation de spectre électromagnétique généralement

## 1.2.3 Domaines du spectre électromagnétique

On découpe habituellement le spectre électromagnétique en divers domaines selon la longueur d'onde et le type de phénomène physique émettant ce type d'onde.

**Ondes radioélectriques ou ondes hertziennes :** Oscillations d'électrons au sein d'un circuit électrique comme une antenne.

**Micro-ondes :** Oscillations d'électrons au sein de composants électriques spécifiques (comme une diode Gunn par exemple), rotation moléculaire.

**Téra hertz** (domaine submillimétrique, limite micro-ondes / infrarouge lointain) : Niveaux de vibration de molécules complexes.

**Infrarouge** : oscillations de particules, vibration moléculaire, transitions d'électrons de valence au sein d'atomes ou de molécules

**Lumière visible** : transitions d'électrons de valence de haute énergie, qui ont la particularité d'être détectées par l'œil humain.

**Ultraviolet** : transitions d'électrons de valence d'atomes ou de molécules de plus haute énergie encore, et donc non observables par l'œil humain.

**Rayons X** : transitions d'électrons des couches profondes au sein d'un atome, accélération ou décélération d'électrons libres de haute énergie.

**Rayons gamma** : transitions au sein du noyau atomique, souvent émis lors de la désexcitation de noyaux-fils issu de la désintégration radioactive d'un noyau instable, de façon spontanée ou sous l'effet d'une accélération au sein d'un accélérateur de particules.

#### 1.2.4 Le spectre de fréquence

Le spectre de fréquence est la partie du spectre électromagnétique qui achemine les ondes radio ; Il est subdivisé en neuf bandes de fréquences, désignées par des nombres entiers consécutifs conformément au tableau ci-après [3] :

Fréquences	Hz	Ondes	Exploitation
Bases	30-300 KHz	1-10km	Radios
Moyennes	300KHz-3 MHz	100m-1km	Radios
Hautes	3-30MHz	10-100m	Radios, mobiles d'administrations, etc.
Très hautes	30-300MHz	1-10m	Militaires, polices, pompiers, trafic maritime, etc.
Ultra hautes	300 MHz - 3GHz	10cm-1m	TNT, GSM, UMTS ,4G, etc.
Super hautes	3-30GHz	1-10cm	Radars, satellite, militaires, etc.
Extrêmement hautes	30-300GHz	1mm-1cm	Radars, satellite, militaires, etc. Et 5G

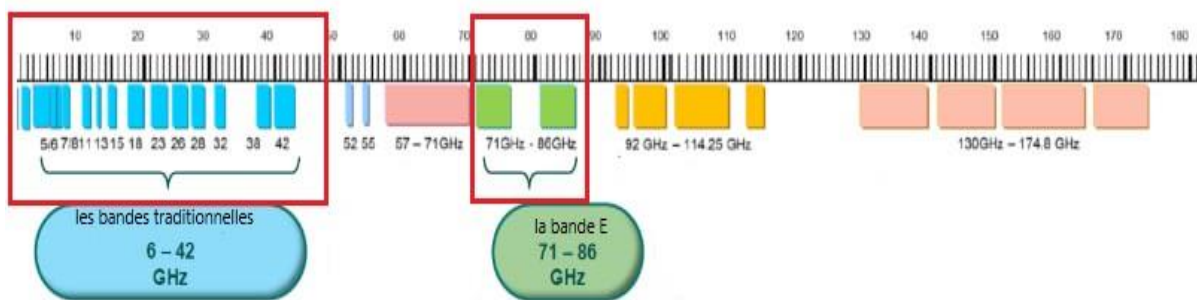
*Tableau 1.1.* Types de bandes de fréquences.

##### 1.2.4.1 La bande d'intérêt

La transmission c'est une opération qui permet d'acheminer un signal ou un message d'un émetteur vers un récepteur, d'un lieu à un autre par un support de transmission.

Parmi les bandes utilisées dans la transmission c'est les bandes traditionnelles et qui nous intéresse le plus c'est la bande E [5] qui fait partie des EHF, faisant partie du spectre Radio (30GHz a 300GHz), correspondant à des longueurs d'ondes entre 1mm et 1cm (ondes millimétriques). Notre choix repose sur cette bande en raison de :

- La disponibilité d'un large spectre de fréquences sur cette bande permettant l'assignation de canaux très larges (jusqu'à 2x5GHz, canaux multiples de 250MHz) ce qui permet d'obtenir des débits dépassant ceux des autres bandes inférieures, supérieurs à 1Gbps.
- Réduire de manière très importante le risque d'interférence entre les liens voisins, et cela est dû à la très petite longueur d'onde (onde millimétrique).
- Au niveau équipements, la disponibilité de plusieurs solutions basées sur des antennes directionnelles très performantes a facilité le développement de cette technologie.



*Figure 1.3.* Les bandes de fréquences

### 1.2.4.2 Les interférences

On parle d'interférence lorsqu'un point donné de l'espace de couverture reçoit en plus du signal utile (assurant le service) un signal dit interférent de puissance relativement élevée et porté sur une fréquence identique ou adjacente [3].

**Interférences Co-canal :** Ce sont des interférences induites par des signaux émis sur la même porteuse. Ceci se produit quand un point de la zone de couverture reçoit plusieurs signaux provenant de différents BTS et émis sur la même fréquence.

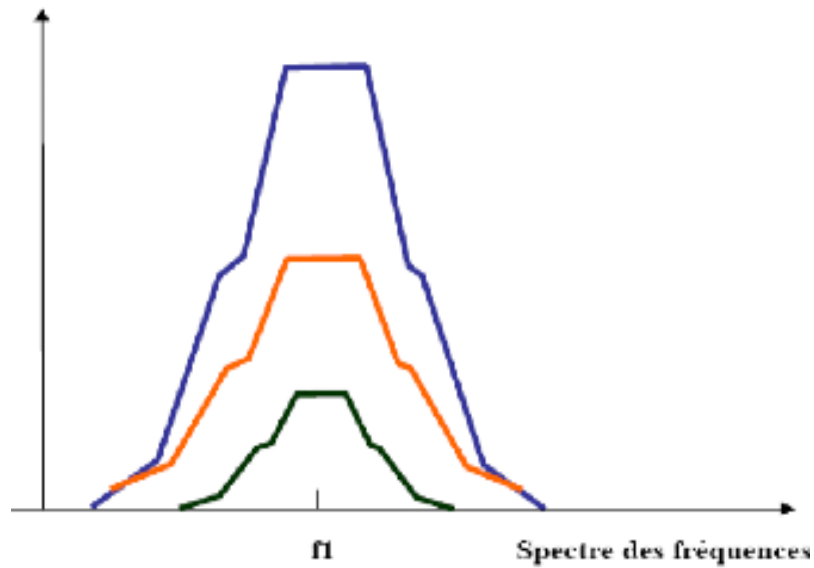


Figure 1.4. Interférence Co-canal

**Interférences canal-adjacent :** Les signaux émis sur des fréquences adjacentes entraînent des interférences non négligeables.

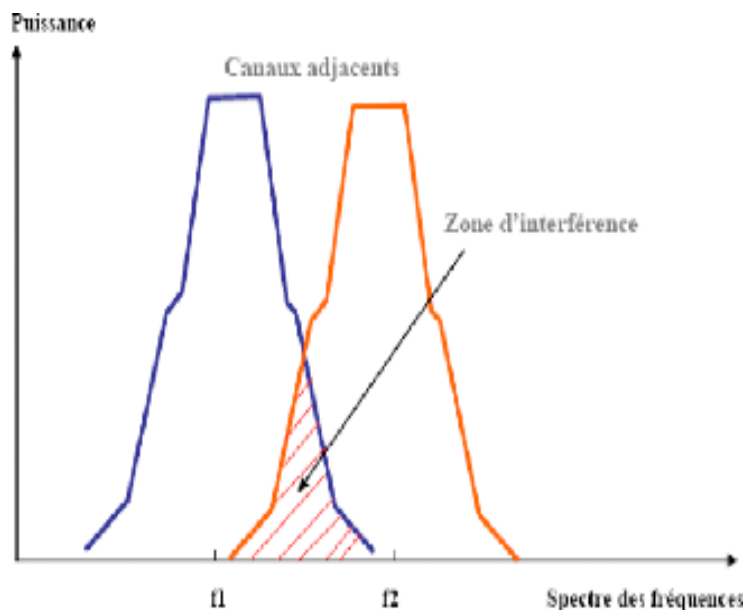


Figure 1.5. Interférence canal-adjacent

### 1.2.5 La propagation des ondes électromagnétique

Les ondes électromagnétiques se propagent de deux façons :

- Propagation dans l'espace libre (propagation rayonnée, autour de la terre par exemple).
- Propagation dans des lignes (propagation guide, dans un câble coaxial ou un guide d'onde)

### ***1.2.5.1 Propagation dans l'espace libre***

Les ondes électromagnétiques se propagent uniformément entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception pour transmettre les informations entre ces antennes, avec une puissance minimale d'un émetteur de radiodiffusion afin d'assurer une réception de meilleure qualité sur une zone déterminée.

### ***1.2.5.2 Propagation dans des lignes***

La propagation dans les lignes de transmission est essentielle dans les systèmes de communication, car elle permet le transfert fiable des signaux sur de longues distances. Elle est utilisée dans de nombreux domaines, notamment les réseaux de télécommunications.

## **1.3 Les systèmes de transmission**

Comprennent essentiellement les lignes de transmission proprement dites, c'est-à-dire les supports de transmission et les équipements de groupement des signaux à transmettre. Ce groupement est appelé multiplexage. Il en existe trois types : le multiplexage en fréquence, le multiplexage en temps et le multiplexage en longueur d'onde.

### **1.3.1 Supports de transmission**

Ces lignes peuvent être de nature très diverse (câbles, liaisons hertziennes, liaisons par satellites). Actuellement, pour les liaisons entre stations fixes de télécommunications, on peut classer les supports de transmission en cinq grandes catégories techniques : Les câbles à paires symétriques, les câbles coaxiaux, les faisceaux hertziens, les satellites artificiels et les fibres optiques [4].

#### ***1.3.1.1 Les câbles à paires symétriques***

Lignes bifilaires groupées à l'intérieur de câbles le plus souvent souterrains mais, parfois encore, aériens, dont la capacité varie en fonction du nombre d'abonnés à raccorder ou du trafic à écouler. Ces types de câbles sont utilisés essentiellement dans les réseaux locaux, soit pour le raccordement des abonnés à leur centre de rattachement, soit pour des liaisons inter-centraux, urbaines ou rurales.

En général, les câbles à paires symétriques sont utilisés pour la transmission de signaux à faible ou moyenne largeur de bande (téléphone, télex, transmissions de données à moyen débit), mais

on peut aussi les utiliser pour des transmissions de signaux à plus large bande (vidéo) sur de courtes distances.

### 1.3.1.2 Les câbles coaxiaux

Ils ont régné pendant longtemps sur le domaine des liaisons terrestres à grande distance et des liaisons intercontinentales par câbles sous-marins [2]. Ils sont utilisés aussi pour des « réseaux locaux à large bande », réseaux de télévision par câble, notamment, ou pour des liaisons interactives de vidéocommunication.

La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de sa longueur et des caractéristiques physiques des conducteurs et de l'isolant. Sur 1 km, un débit de plusieurs centaines de Mbit/s peut être atteint. Sur des distances supérieures à 10 km, l'atténuation des signaux réduit considérablement les débits possibles. C'est la raison pour laquelle on utilise désormais les fibres optiques sur les liaisons grandes distances [4].

### 1.3.1.3 Les fibres optiques

1977 : premières liaisons expérimentales

Elles ont connu, en une décennie, un développement fulgurant, aussi bien dans le domaine des liaisons intercontinentales par câbles sous-marins (mise en service du premier câble sous-marin en décembre 1988) que pour les liaisons terrestres à grande distance, où elles remplacent progressivement les liaisons par câbles coaxiaux et par faisceaux hertziens [5].

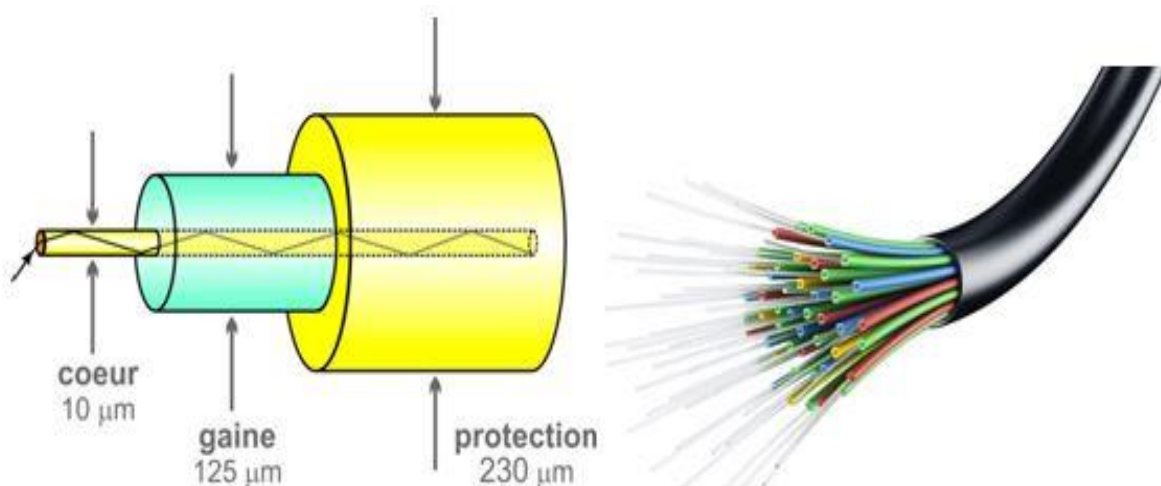


Figure 1.6. La fibre optique

## 1.3.1.4 Les faisceaux hertziens

Les FH désignent l'air ou le vide, ils permettent la circulation d'ondes électromagnétiques ou radioélectriques diverses entre un émetteur et un récepteur.

Destiné à la mise en œuvre de réseau de télécommunication, le faisceau hertzien numérique est rapidement mis en service, offre de grandes capacités de débit, est évolutif en fonction des besoins de l'utilisateur.

Le faisceau hertzien est souvent complémentaire de réseau de fibre optique pour assurer la continuité de certains points de raccordement. Les débits vont de 2 à 155 Mbit/s sur des fréquences de 1,5 à 38 GHz.

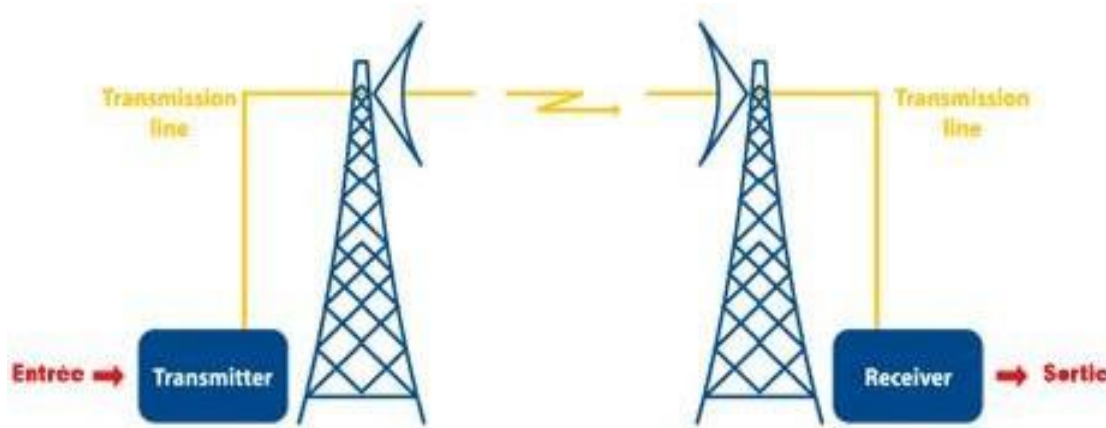


Figure 1.7. Transmission par faisceau hertzien

## 1.3.1.5 Le VSAT

La transmission en VSAT consiste à envoyer l'information d'une station à une autre via un satellite, le VSAT est utilisé dans les endroits isolés et où il n'y a pas de BTS à proximité pour mettre en cascade l'information en FH. [1].

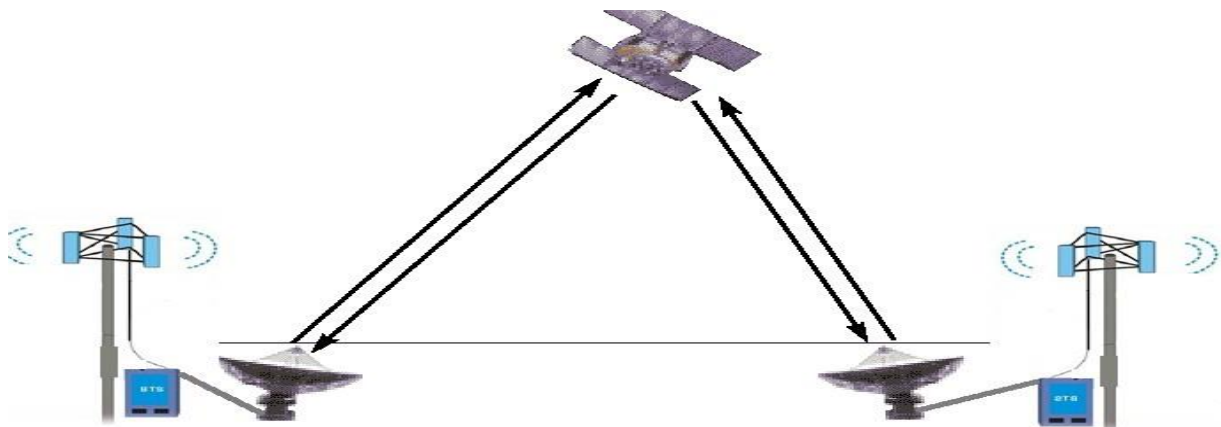


Figure 1.8. Communication via satellite



### 1.4 Les systèmes de multiplexage

On dispose actuellement de trois grands procédés de multiplexage : Le multiplexage en fréquence, le multiplexage en temps et le multiplexage en longueur d'onde.

#### 1.4.1 Le multiplexage en fréquence

Le multiplexage fréquentiel (ou FDM pour Frequency Division Multiplexing) consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes plus étroites et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif. Le multiplexage FDM a été utilisé pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.

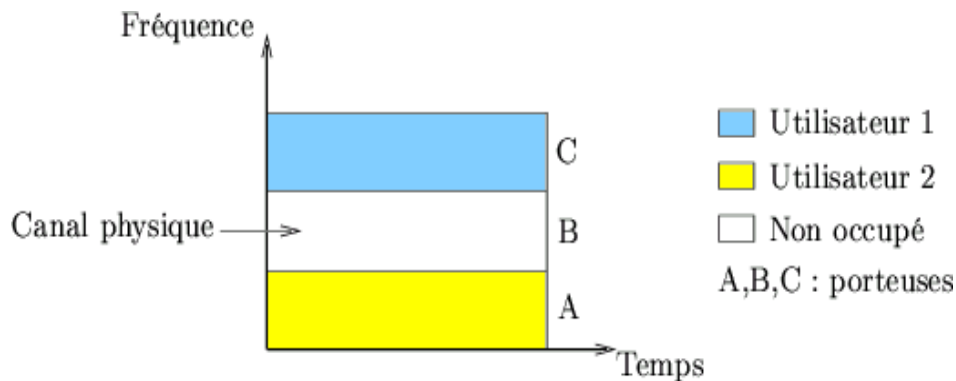


Figure 1.9. Principe du multiplexage fréquentiel [6]

#### 1.4.2 Le multiplexage en temps

Le multiplexage temporel (ou TDM pour *Time Division Multiplexing*) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant et à tour de rôle pour chaque utilisateur.

Le multiplexage TDM permet de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé.

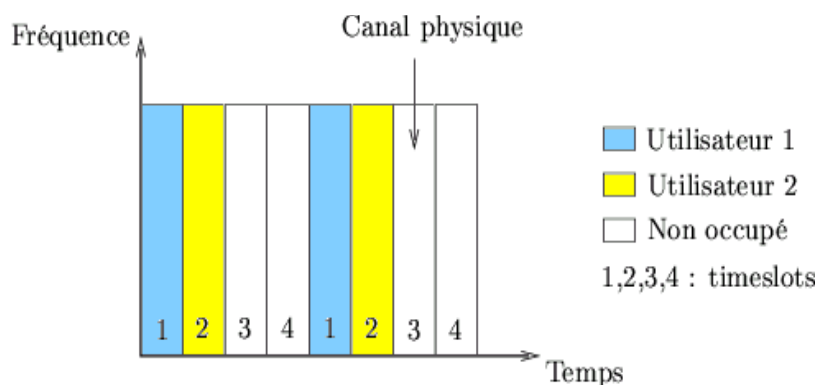


Figure 1.10. Principe du multiplexage temporel [6]

1.4.3 *Le multiplexage en longueur d'onde*

A l'inverse de la technologie TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes.

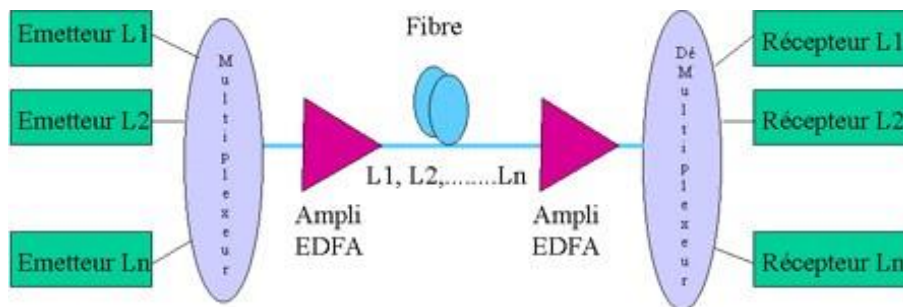


Figure 1.11. Principe du multiplexage en longueur d'onde [7]

1.5 Les technologies des communications

Dans le domaine des communications, différentes technologies ont été développées pour répondre aux besoins de transmission de données. Parmi ces technologies, PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy), Ethernet.

1.5.1 Organisation de la trame MIC primaire E1

Le système MIC normalisé par les Européens est appelé MIC E1 (Européen, 1<sup>er</sup> Niveau). La normalisation s'est arrêtée sur la transmission de 30 voies de données plus deux voies annexes appelées voies d'information par multiplexage temporel. On divise donc l'intervalle séparant 2 échantillons successifs pour une voie par 32 Intervalles de Temps égaux [8].

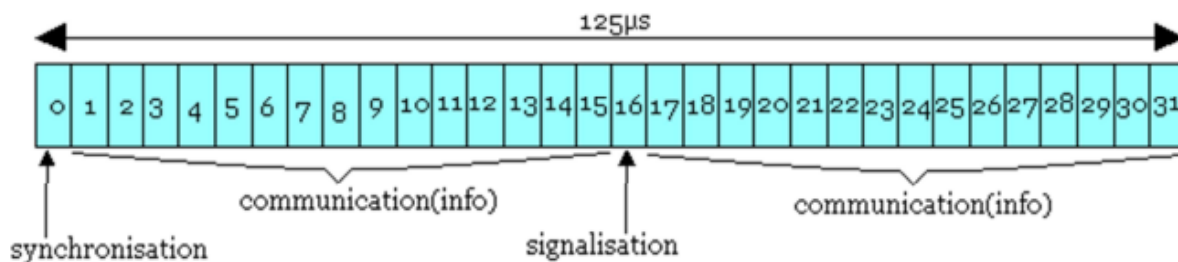


Figure 1.12. La trame MIC

**1.5.2 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)**

PDH est un ancien standard de transmission numérique asynchrone qui a été largement utilisé avant l'introduction de SDH. Il fonctionne sur des débits plus bas que SDH, tels que 2 Mbps (E1) et 64 Kbps (DS0). PDH présente des limitations en termes de flexibilité, de gestion de réseau et de capacité par rapport à SDH.

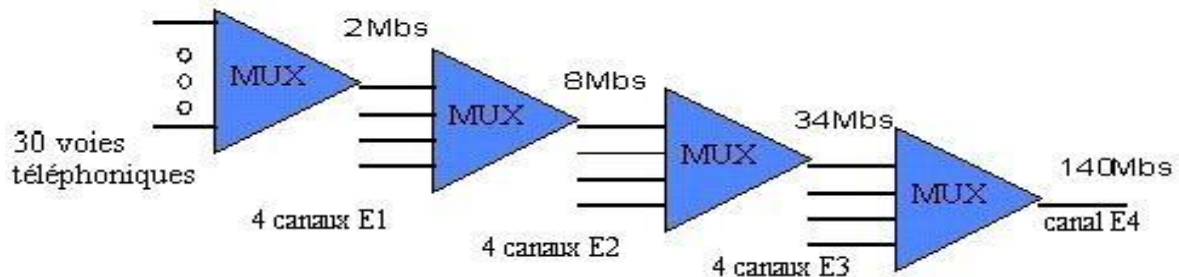


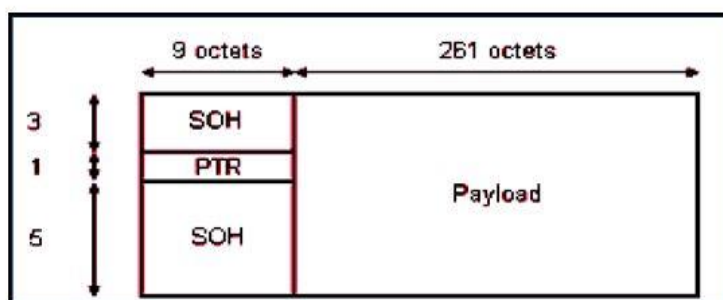
Figure 1.13. Structure de la trame PDH

Structure	Débit réel	Voies
MIC E1	2048 Mbit/s	30
E2=4*E1	8448 Mbit/s	120
E3=4*E2	34368 Mbit/s	480
E4=4*E3	139264 Mbit/s	1920

Tableau 1.2. Les différents E1.

**1.5.3 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)**

SDH est un standard de transmission synchrone utilisé principalement dans les réseaux de transport à longue distance. Il permet de transporter des signaux numériques à différents débits, tels que 2 Mbps, 34 Mbps, 155 Mbps, 622 Mbps, etc. SDH offre une haute capacité de transmission, une protection contre les pannes et des fonctionnalités avancées de gestion de réseau [9].

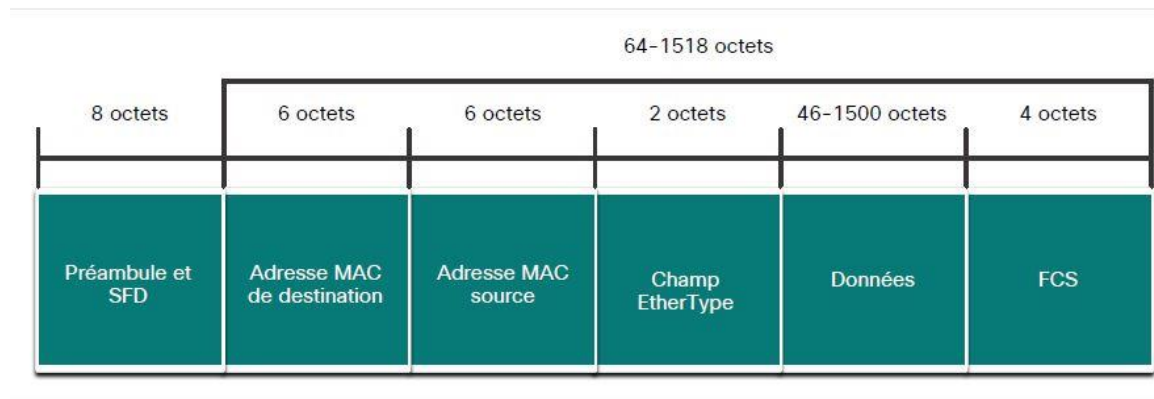


- SOH : Sur débit de section.
- PTR : pointeur.
- Payload : charge utile.

Figure 1.14. La trame de STM

### 1.5.4 Ethernet

Ethernet est une technologie de réseau local (LAN) largement utilisée pour la transmission de données. Il permet de connecter des ordinateurs, des serveurs et d'autres périphériques dans un réseau local. Ethernet utilise généralement des câbles en cuivre ou des fibres optiques pour transmettre les données à des vitesses allant de 10 Mbps à plusieurs Gbps (Gigabits par seconde). Ethernet a évolué au fil des ans pour prendre en charge des débits plus élevés, tels que Fast Ethernet (100 Mbps), Gigabit Ethernet (1 Gbps) et 10 Gigabit Ethernet (10 Gbps) [10].



*Figure 1.15.* La trame d'Ethernet

## 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit les différents aspects des télécommunications, et nous avons étudié le spectre électromagnétique, en examinant les ondes électromagnétiques, la définition du spectre et les différentes parties du domaine électromagnétique. Nous avons également abordé les interférences, qui peuvent avoir un impact sur la qualité des transmissions, nous nous sommes concentrés sur les systèmes de transmission. Nous avons également examiné les systèmes de multiplexage, qui permettent de combiner plusieurs signaux sur le même canal de transmission, augmentant ainsi l'efficacité spectrale. Et pour transférer les informations nous avons choisi les faisceaux hertziens que nous aborderons dans le prochain chapitre.

## 2.1 Introduction

Un système de communication a pour fonction d'assurer le transport de l'information entre un émetteur et un récepteur relié par un canal de transmission. Tout le problème de la transmission est de trouver une bonne transformation de l'information en un signal. C'est-à-dire que le récepteur doit trouver suffisamment d'information dans le signal reçu pour reconstituer l'information initiale. Les signaux sont transportés par le moyen de différents supports de transmission. Ce chapitre est consacré pour l'étude des liaisons hertziennes point à point qui sont les plus répandus.

## 2.2 Transmission par Faisceaux hertziens

### 2.2.1 Présentation d'un faisceau hertzien

Un faisceau hertzien est un système de transmission de données sans fil qui utilise des ondes électromagnétiques pour envoyer des signaux de communication entre deux points distants. Le système fonctionne en envoyant un signal radio à haute fréquence entre deux antennes paraboliques, également appelées "paraboles". Les signaux sont envoyés en ligne droite entre les deux antennes, créant ainsi un faisceau étroit de transmission [11].

La transmission de signaux numériques fait appel à quelques notions de base qui sont rappelées ci-après :

- a.* **Débit binaire** :  $D = 1/T_b$  où  $T_b$  est la durée d'un bit en seconde. Il peut atteindre les 155Mbits/s.
- b.* **Taux d'erreur de bits** :  $TEB = \text{nombre d'éléments binaires faux} / \text{nombre d'éléments émis}$ .
- c.* **Efficacité spectrale** :  $\eta = D/B$  où  $B$  est la bande occupée autour de la porteuse. L'efficacité spectrale s'exprime en bits/s/Hz.
- d.* **Fréquence intermédiaire (FI)** : Fréquence interne à l'émetteur et au récepteur servant de support à la modulation. En pratique la valeur du FI comprise entre 70 et 140MHz. Plus cette fréquence est élevée, plus le débit binaire transmissible sera important.
- e.* **Portée** : A débit donné, la portée se réduit lorsque la fréquence du FH augmente. En général, les bandes de fréquences de 23 et 38GHz sont utilisées pour des liaisons courtes distances 4 à 5 kilomètres. Les bandes de fréquences de 4 et 13 GHz permettent d'atteindre des portées de quelques dizaines de kilomètres, Voir 50km en utilisant des antennes de grands diamètres.

*f.* **Bande de fréquences** : Pour les opérateurs de téléphonie mobile, des bandes de fréquences sont allouées pour leurs faisceaux hertziens par l'IUT : 6GHz, 13GHz, 18GHz, 23GHz et 38 GHz.

### 2.2.2 Les Types de liaisons par faisceaux hertziens :

- Les liaisons par faisceaux hertziens à visibilité directe(LOS).
- Les liaisons par faisceaux hertziens transhorizon (NLOS).

#### 2.2.2.1 Les faisceaux hertziens en visibilité directe LOS

Dans cette catégorie le trajet entre l'antenne d'émission et de réception est suffisamment dégagé de tout obstacle.

Une liaison est dite en visibilité lorsque le signal se propage entre l'émetteur et le récepteur comme s'ils étaient en espace totalement dégagé de plusieurs dizaines de longueurs d'ondes. Le principe de cette propagation est basé sur l'ellipsoïde de Fresnel. En effet, le premier ellipsoïde de Fresnel délimite la région de l'espace où est véhiculée la plus grande partie de l'énergie du signal. Se situer dans cet ellipsoïde revient à se retrouver dans les conditions de la propagation en espace libre.

**Ellipsoïdes et zones de Fresnel** : Est un volume dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle (immeuble, colline...) à la propagation d'une onde mécanique ou électromagnétique. Il est généralement utilisé dans le cas de liaisons VHF, UHF ou hyperfréquences, qui seraient en espace libre sans la présence du ou des obstacles. La méthode de l'ellipsoïde de Fresnel permet alors d'évaluer l'atténuation supplémentaire apportée par l'obstacle.

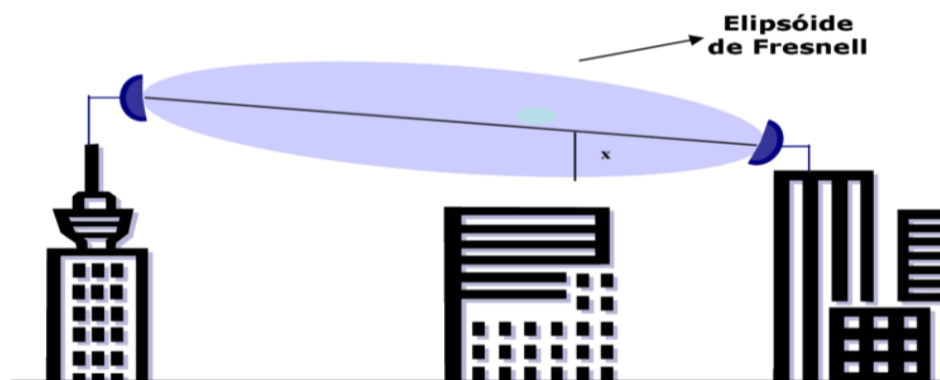
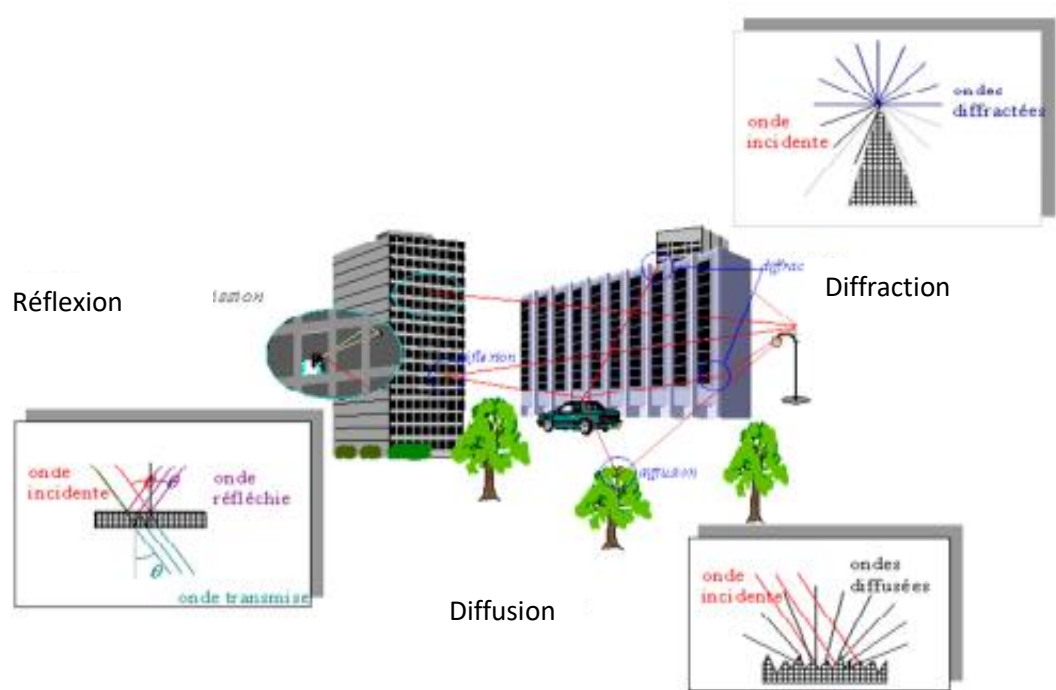


Figure 2.1. Ellipsoïde de Fresnel.

#### 2.2.2.2 Les faisceaux hertziens transhorizon NLOS

Dans ce cas, une liaison est en non-visible lorsque le premier ellipsoïde de Fresnel n'est pas du tout dégagé .donc on parle d'une propagation en non visibilité si l'antenne émettrice ne peut pas voir directement l'antenne réceptrice .c'est le cas où il y-a un obstacle (montagne, bâtiment, forêt, courbure terrestre.....) entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice [12].il y a quatre types différents de propagation : réflexion, transmission, diffraction et diffusion sont montrées sur la figure



*Figure 2.2.* Les types de propagation.

- **La diffraction** : Se produit lorsque la ligne de visée (LOS) entre l'émetteur et le récepteur est obstruée par un obstacle opaque dont les dimensions ne sont pas très importantes par rapport à la longueur d'onde. Exemple : en environnement urbain.
- **Diffusion** : La diffusion se produit dans le même cas que la diffraction mais lorsque les dimensions des obstacles sont comparables à la longueur d'onde. Exemple : feuillage de la végétation.
- **Réflexion** : La réflexion se produit lorsque l'onde émise rencontre un obstacle dont les dimensions sont tes largement supérieures à la longueur d'onde .la réflexion peut avoir pour effet une augmentation ou une diminution du niveau du signal reçu. Lorsqu'il y a un grand nombre de réflexions le niveau de signal reçu peut devenir instable. Exemple : réflexion par bâtiment.

- **Transmission** : La transmission se produit lorsque l'obstacle est en partie 'transparent' vis à vis de l'onde émise contrairement aux types précédents, Exemple : pénétration des ondes dans les bâtiments.

## 2.3 Antennes :

### 2.3.1 Définition d'une antenne

Une antenne est un conducteur électrique utilisé pour rayonner ou capter de l'énergie électromagnétique entre un émetteur/ récepteur et l'espace libre. L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes : convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Les antennes sont utilisées dans des gammes de fréquence de longueurs d'onde différentes, La liaison hertzienne nécessite l'utilisation des antennes parabolique. [13]

### 2.3.2 Antenne parabolique

Elle est composée principalement d'une source et de un ou plusieurs réflecteurs, le principe est de focaliser les OEM sur la source à l'aide de réflecteur.

#### 2.3.2.1 Types d'antennes paraboliques

- **"Prime focus"** : la source est placée au foyer primaire du réflecteur. Mais la source et son support font de l'ombre au signal reçu ou émis. Le rendement est moins bon.
- **"offset"** : la source est encore placée au foyer d'une portion de parabole mais elle ne fait plus d'ombre
- **"Cassegrain"** : Pour diminuer la longueur de l'antenne un réflecteur plan ou hyperbolique renvoie le rayonnement capté.

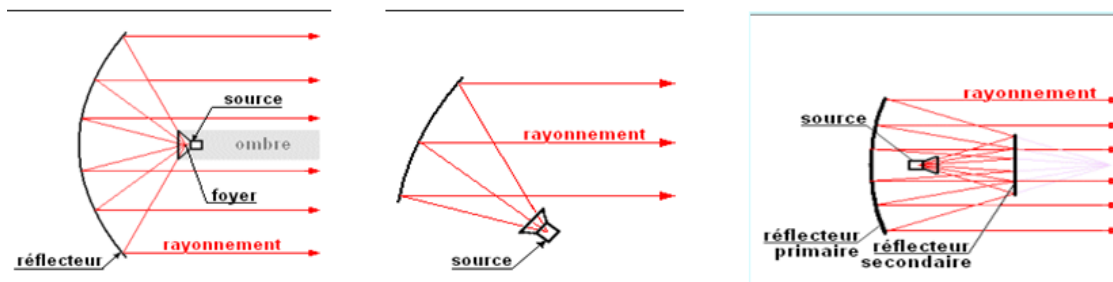


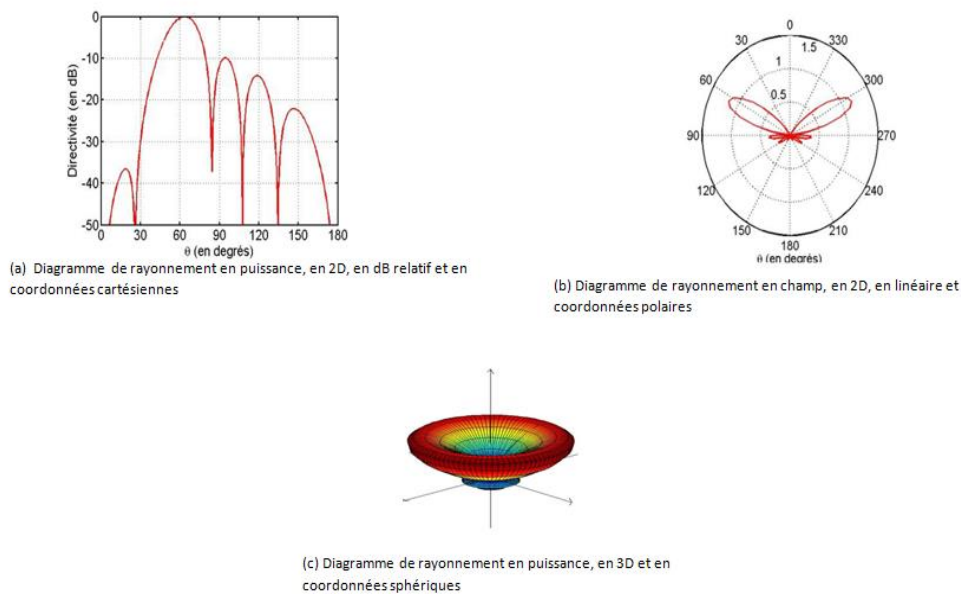
Figure 2.3. Les types d'antennes paraboliques (prime focus, offset, Cassegrain).



## 2.3.2.2 Caractéristiques :

### 2.3.2.2.1 Diagramme de rayonnement

C'est la représentation graphique du rayonnement de l'antenne dans l'espace, il est déterminé en zone lointaine (FAR FIELD) et varie en fonction des coordonnées directionnelles ( $\Theta$ ,  $\phi$ ).



**Figure 2.4.** Représentation graphique de diagramme de rayonnement.

- **Diagramme isotrope :** Ce diagramme est obtenu en utilisant une antenne appelée antenne isotrope, c'est une source ponctuelle fictive rayonnement d'énergie EM de façon identique dans toutes les directions ( $\Theta$ ,  $\phi$ ).
- **Diagramme Directionnel :** Le rayonnement est favorisé dans une ou plusieurs directions.
- **Diagramme Omni – directionnel :** Le rayonnement est uniforme (identique) au moins dans un plan.
- **Lobe de rayonnement :** Différents parties d'un diagramme de rayonnement sont appelés lobes, qui peuvent subdivise en lobe principal, lobes secondaires, lobes latéraux et lobes arrière. Un lobe de rayonnement est une partie du diagramme de rayonnement limité par des régions de rayonnement d'intensité relativement faible.
- **Lobe principal :** (ou faisceau principal) est le lobe de rayonnement contenant la direction du rayonnement maximum.

- **lobe latéral** : Un lobe latéral est un lobe de rayonnement dans n'importe quelle direction autre que le lobe prévu (généralement à côté du lobe principal et occupe l'hémisphère dans la direction du faisceau principal).
- **Lobe secondaire** : En général, les lobes secondaires présentent le rayonnement dans des directions indésirables, et ils devraient être réduits au minimum.
- **Lobe arrière** : est un lobe de rayonnement dont l'axe fait un angle approximativement  $180^\circ$  par rapport au faisceau de l'antenne.

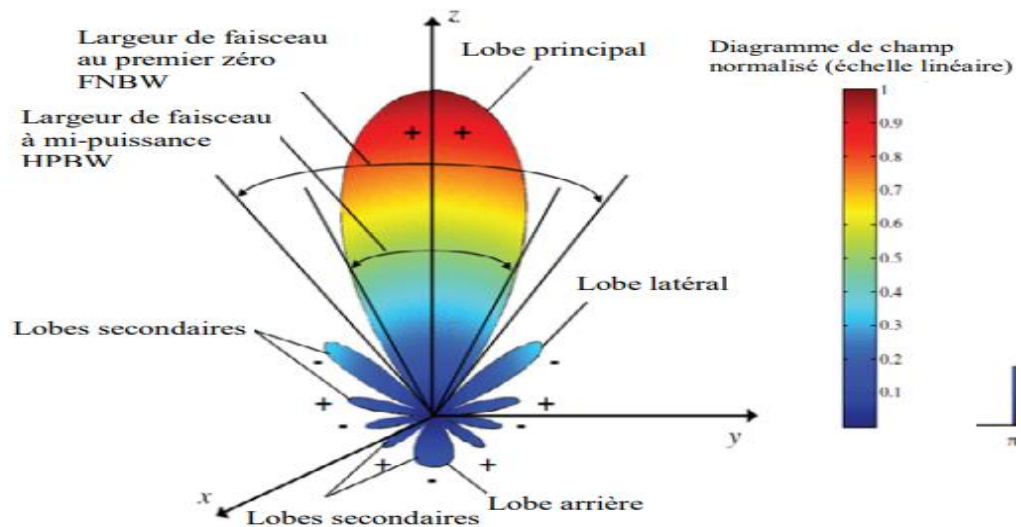


Figure 2.5. Les lobes de rayonnement.

### 2.3.2.2.2 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture d'une antenne défini comme l'angle de direction. C'est donc une séparation angulaire correspondant à une atténuation de -3dB sur le diagramme de rayonnement Cette donnée ne s'applique généralement qu'aux antennes directives utilisées dans des liaisons point à point. Elles présentent un lobe principal de rayonnement.

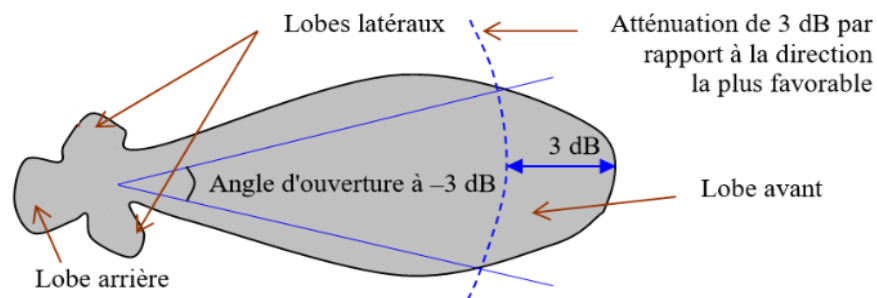


Figure 2.6. L'angle d'ouverture.

### 2.3.2.2.3 Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de l'intensité de rayonnement d'une antenne dans une direction donnée à l'intensité de rayonnement moyenne dans toutes les directions. Si la direction n'est pas indiquée, la direction de l'intensité de rayonnement maximale est utilisée. Ou plus simplement, la directivité d'une source non isotropique est égale au rapport de son intensité de rayonnement dans une direction donnée à celle d'une source isotrope. Elle peut être donnée par

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{ray}} \text{ (sans unité).} \quad (2.1)$$

Avec :

U : intensité de rayonnement.

$U_0$  : intensité de rayonnement d'une source isotropique.

$P_{ray}$  : la puissance rayonnée .

### 2.3.2.2.4 Gain

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Ce gain s'exprime en dB, il est d'environ 2 à 11dB pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18dB pour les antennes directionnelles. Le Gain d'une antenne de transmission (parabolique) est donné par la relation suivante :

$$G (dB) = 10. \log \left( k. \left( \frac{\pi.D}{\lambda} \right)^2 \right) \quad (2.2)$$

Avec :

K : Rendement du système d'illumination (source), généralement compris entre 0.5 et 0.8.

D : Diamètre du réflecteur parabolique.

$\lambda$  : Longueur d'onde d'utilisation.

D et  $\lambda$  doivent être exprimés dans la même unité.

### 2.3.2.2.5 Polarisation

La polarisation est un paramètre très important dans la caractérisation d'une antenne, essentiellement parce que si deux antennes devant communiquer ensemble proposent des polarisations non adaptées, la puissance transmise sera très fortement diminuée voire nulle. Lorsque l'on parle de la polarisation d'une antenne, il s'agit de la polarisation observée dans

la direction du gain maximum de l'antenne car la polarisation peut être différente en fonction de la direction considérée. [14]

## 2.4 Schéma de principe d'une liaison hertzienne

Le schéma de principe d'une liaison hertzienne est donné par la figure suivante [15] :

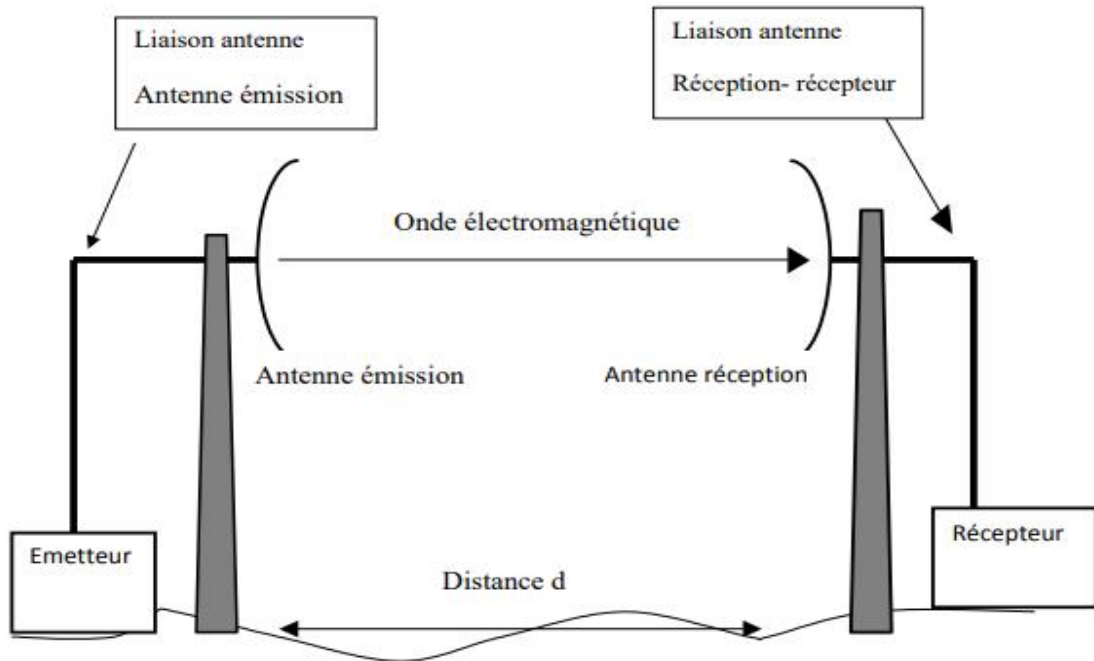


Figure 2.6. Schéma principale d'une liaison hertzienne.

- **Emetteur** : Il est caractérisé par sa puissance émise PE. Ici PE sera exprimée en dB.
- **Liaison émetteur- antenne émission** : Elle est généralement réalisée en câble coaxial. A plus haute fréquence (quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde.

Elle est caractérisée par son atténuation LE, exprimée en dB.

Dans les petits systèmes, où tout est intégré (Wifi, téléphone mobile, etc...) cette liaison n'existe pas (LE = 0dB).

- **Antenne émission** : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne GE, exprimé en dB.
- **Distance d** : C'est la distance entre l'émetteur et le récepteur. La distance entre l'émetteur et le récepteur, introduit une atténuation AEL (pour atténuation en espace libre) égale à :

$$Ael = 20 \log \frac{4\pi.d}{\lambda} \quad (2.3)$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

- **Liaison antenne réception-récepteur** : Commela liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation LR, exprimée en dB.
- **Antenne réception** : Elle est caractérisée par son gain d'antenne GR, exprimé en dBi.
- **Récepteur** : Le paramètre qui nous intéresse ici est PR, puissance reçue par le récepteur. Elle est généralement exprimée en dBm.

### 2.5 L'affaiblissement d'une liaison FH

Lorsque l'onde hertzienne se propage dans l'espace, elle subit un certain affaiblissement. Dans la gamme [13GHz, 38GHz], les phénomènes qui interviennent sont les suivants :

- Affaiblissement en espace libre.
- Affaiblissement dû à la pluie.

Les autres types d'affaiblissement potentiel (nuages, brouillage,...) n'interviennent pas ou peu dans cette gamme de fréquence. [16]

#### 2.5.1 Affaiblissement en espace libre

Lorsqu'une onde électromagnétique se propage, elle se disperse dans l'espace et subit donc un affaiblissement, même dans un milieu sans pertes.

L'affaiblissement en espace libre Ael calculé à partir de la formule suivante :

$$Ael (dB) = 92.4 + 20 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} (D) \quad (2.4)$$

D : Longueur de la liaison en km.

f : Fréquence porteuse en GHz.

Cet affaiblissement dépend donc uniquement de la fréquence porteuse et de la distance de la liaison.

#### 2.5.2 Affaiblissement dû à la pluie

Toute onde électromagnétique peut être absorbée en passant dans un milieu quelconque car elle excite les molécules qui la composent. Cela peut donc enlever une partie des photons pour faire changer le niveau énergétique du milieu. L'air est très peu absorbant mais la molécule d'eau

l'est. Plus la longueur d'onde porteuse du faisceau radar se rapproche de celle des gouttes d'eau, plus le dipôle de ces molécules sera excité et plus l'onde sera atténuée.

### 2.6 La modulation

Les modulations possibles sont des modulations d'amplitude, de fréquence et de phase. Le but d'une modulation est de transmettre des informations d'un émetteur à un récepteur, à travers un canal de transmission. Les données numériques doivent subir un certain nombre de transformations avant d'être transmises, et une autre série de transformations est effectuée dans le récepteur pour obtenir à nouveau les données numériques envoyées. Dans la transmission par faisceaux hertziens on utilise la modulation QAM.

#### 2.6.1 La modulation QAM

La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) est une technique de modulation utilisée dans les systèmes de communication pour transmettre des signaux numériques ou analogiques. Elle est largement utilisée dans diverses applications, telles que la télévision numérique, la téléphonie mobile, les modems hauts débit et les réseaux sans fil, elle combine la modulation d'amplitude (AM) et la modulation en quadrature (Q). Elle exploite deux composantes orthogonales, appelées I (In-Phase) et Q (Quadrature), pour transporter l'information sur un signal porteuse. Ces deux composantes sont combinées pour former un signal composite qui porte les données [17].

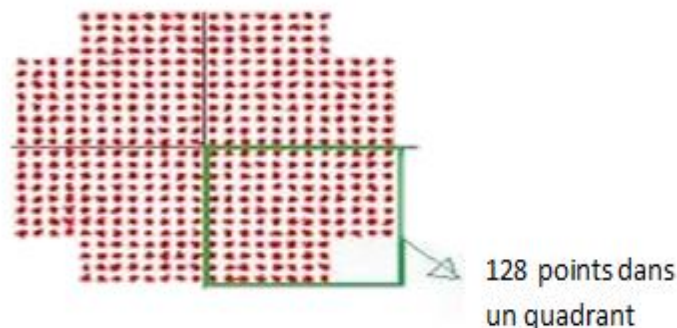
#### 2.6.2 L'intérêt de la QAM

- a. **Efficacité spectrale** : Les faisceaux hertziens sont des systèmes de communication sans fil qui utilisent des fréquences radio pour transmettre des signaux sur de longues distances. Comme les ressources spectrales sont limitées, il est important d'utiliser efficacement la bande passante disponible. La modulation QAM permet de transmettre plusieurs bits par symbole, ce qui améliore l'efficacité spectrale et permet de transmettre un débit de données plus élevé dans un même spectre de fréquence.
- b. **Résistance aux interférences** : Les faisceaux hertziens peuvent être soumis à diverses sources d'interférences, telles que d'autres signaux radio, des obstructions physiques ou des conditions météorologiques. La modulation QAM offre une certaine tolérance aux

interférences et aux distorsions, ce qui permet une meilleure qualité de transmission même en présence de perturbations.

- c. Adaptabilité aux conditions de canal* : Les faisceaux hertziens peuvent être soumis à des variations des conditions de propagation du signal, telles que les effets de fading ou d'affaiblissement du signal. La modulation QAM est flexible et permet de choisir différents ordres de modulation en fonction des conditions de canal. Les ordres de modulation plus élevés peuvent être utilisés pour des canaux de meilleure qualité, tandis que les ordres de modulation plus bas peuvent être utilisés lorsque les conditions de canal se détériorent. Cela permet d'optimiser la performance de transmission en s'adaptant aux variations des conditions de propagation.
- d. Compatibilité avec les équipements existants* : La modulation QAM est une technique de modulation bien établie et largement utilisée dans les systèmes de communication. Elle est compatible avec de nombreux équipements de transmission existants, tels que les modems, les antennes, etc. Cela facilite l'intégration de la modulation QAM dans les faisceaux hertziens sans nécessiter des modifications majeures de l'infrastructure existante.
- e. Débit de données élevé* : Les faisceaux hertziens sont souvent utilisés pour des applications nécessitant un débit de données élevé, tels que les liaisons de données, les transmissions vidéo ou les réseaux haut débit. La modulation QAM permet de transmettre un grand nombre de bits par symbole, ce qui permet d'atteindre des débits de données élevés dans les faisceaux hertziens.

**\*Exemple de la Modulation 512QAM :**



*Figure 2.8.* Constellation 512-QAM.

### 2.7 Bilan de liaison

Le bilan de liaison est un calcul qui détermine la qualité de notre lien de transmission, les résultats de ce calcul varient en fonction de la nature du support ainsi que de la modulation utilisée, la distance ... etc. il contient comme paramètres :

**La fréquence** : Les bandes de fréquence utilisées par les faisceaux hertziens 6GHz jusqu'à 42 GHz.

**Puissance émission** : C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer.

**Les gains** : Les antennes, principalement paraboliques, apportent un gain de puissance (de l'ordre de 25 à 45 dB) d'autant plus grand que leur diamètre est important.

**Les pertes** : C'est l'atténuation dans l'espace libre.

**Puissance reçue** : C'est le niveau de signal reçu .son expression est la suivante :

$$PR=PE+GE-AEL+GR-L \quad (2.5)$$

Dont :

*PR* : La puissance reçue en dB.

*PE* : La puissance émise en dB.

*GE* : Gain d'antenne coté d'émission.

*AEL* : Affaiblissement d'espace libre.

*GR* : Gain d'antenne coté de réception.

*L* : Atténuation

### 2.8 Conclusion

Au cours de chapitre nous nous sommes focalisés sur les liaisons FH point à point. Les faisceaux hertziens, fréquemment mis en œuvre comme solution de collecte, présentent des performances particulièrement intéressantes. Les débits peuvent varier entre 2 et 40 GHz pour chaque lien établi. Ensuite nous avons utilisé les antennes paraboliques qui sont des dispositifs essentiels pour émettre et recevoir les faisceaux hertziens.

Dans le chapitre suivant nous allons aborder les techniques de l'optimisation.



# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaine de transmission

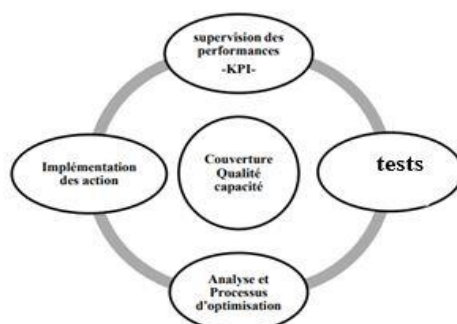
---

## 3.1 Introduction

L'optimisation d'un lien de transmission vise à améliorer la qualité de transmission du signal entre deux points de communication en utilisant efficacement les ressources disponibles. Les objectifs spécifiques peuvent varier selon les applications et les besoins tels que l'Augmentation du débit de transmission -minimisation des interférences -réduction de la consommation d'énergie-Utilisation des techniques de modulation avancées, comme la modulation d'amplitude en quadrature (QAM),-plus les équipements de transmission qui sont chargés de transporter le signal d'un point à un autre en garantissant la fiabilité de signal envoyé. Le réseau de transmission comporte plusieurs constructeurs d'équipements dont les plus utilisés sont Ericsson, NEC, HUAWEI, qui jouent un rôle crucial dans le transport fiable du signal d'un point à un autre, que ce soit à l'intérieur du SHELTER (IDU - Indoor Unit) ou à l'extérieur (ODU - Outdoor Unit).En résumé, l'objectif de l'optimisation d'un lien de transmission est d'assurer une transmission de signal efficace, fiable et économique entre les deux points de communication.

## 3.2 Schéma général du processus de l'optimisation

Le processus d'optimisation est un cycle périodique qui peut être appliqué plusieurs fois dans un réseau de communication, que ce soit immédiatement après le déploiement du réseau, ce qu'on appelle la pré-optimisation, ou à d'autres moments ultérieurs. Ce cycle comme le montre le schéma ci-dessous commence par la supervision des performances (KPI) et l'analyse des statistiques correspondantes. Ensuite, une analyse approfondie des KPI et des résultats des tests permettra de déterminer un ensemble d'actions à entreprendre. Une fois ces actions validées et mises en œuvre, le cycle recommence depuis le début pour évaluer les résultats, et ainsi de suite.



## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

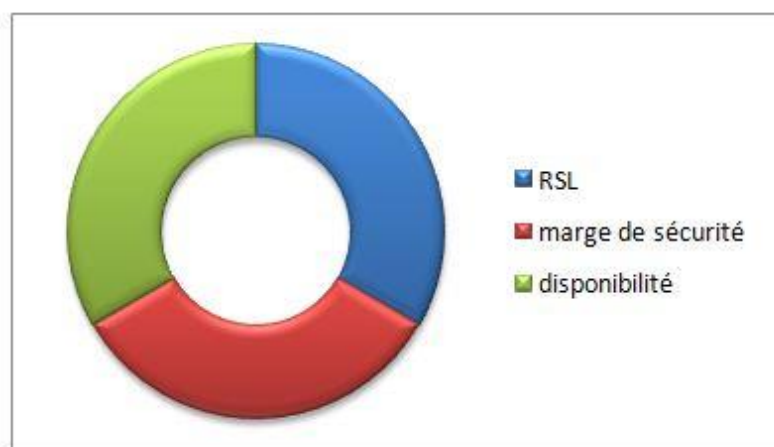
---

*Figure 3.1.*Processus de l'optimisation.

### 3.3 Les clés de performances de la transmission

Les KPI, ou indicateurs clés de performance, sont couramment utilisés comme des mesures permettant aux entreprises d'évaluer l'efficacité d'un projet. Ils offrent une indication quant à la proximité de l'objectif visé. Dans notre contexte spécifique, des KPI sont utilisés pour évaluer la performance de la transmission radio. Certains des KPI pertinents incluent :

*Figure 3.2.*Les KPIs de la transmission.



#### 3.3.1 RSL

Ou niveau du signal reçu, est une mesure de la puissance du signal reçu au niveau de l'antenne du récepteur. Il représente la force du signal de réception après avoir été affecté par le bruit et les pertes, et il ne peut pas être ajusté par le logiciel. On le trouve également sous l'appellation RX (dans le logiciel) et il est généralement exprimé en valeur négative en raison de l'équation du RSL. Une valeur optimale peut varier entre -37/-45 dB, ou selon la conception prévue.

#### 3.3.2 la marge d'évanouissement

La marge d'évanouissement, également connue sous le nom de fade margin, représente la différence en décibels (dB) entre le niveau d'intensité du signal reçu et la sensibilité du récepteur de la radio. Une valeur idéale se situe généralement entre 30 et 35 dBm.

$$\text{Fade Margin}(\text{dbm}) = \text{PRX}(\text{dbm}) - \text{Rx Sensitivity}(\text{dbm})(3.1)$$

#### 3.3.3 La disponibilité

# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

La disponibilité est une mesure exprimée en pourcentage qui évalue la durée pendant laquelle un service ou un composant informatique est opérationnel. Elle est calculée en soustrayant la somme des temps d'arrêt du temps total écoulé, puis en divisant ce résultat par le temps total écoulé. Sa valeur maximale est de 26 minutes.

## 3.4 Les techniques d'optimisation

### 3.4.1 Les configurations des faisceaux hertziens

Pour la configuration matérielle, il existe les méthodes de configuration suivantes :

**3.4.1.1 Configuration non sécurisée (1+0) :** Dans ce cas deux antennes qui fonctionnent en émission et en réception simultanément, avec la même fréquence et la même polarisation

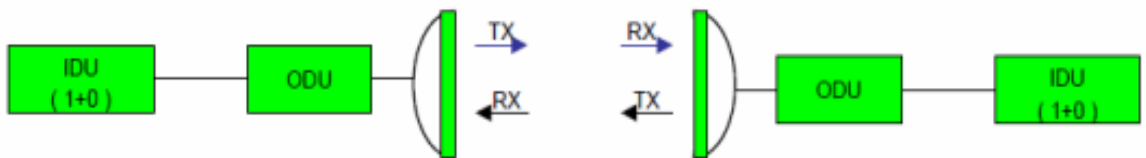


Figure 3.3. La configuration non sécurisée[18]

**3.4.1.2 Configuration sécurisée :** Dans ce cas on distingue divers types :

#### 3.4.1.2.1 La configuration (1+1)

- (1+1) La configuration "hot standby" elle est basée sur l'émission et la réception entre deux antennes (de même polarisation et de même fréquence) composées de deux ODU, qui sont couplés par un hybride (H)

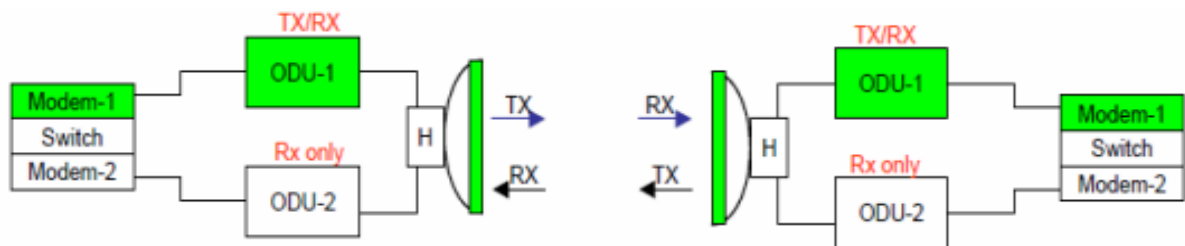


Figure 3.4. La configuration sécurisée (1+1) HSB[18]

- (1+1) La configuration "spacediversity" avec double antenne consiste à utiliser deux antennes (même fréquence et même polarisation) sur chaque site. Une antenne est

# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaine de transmission

dédiée à l'émission et à la réception, tandis que l'autre antenne est réservée exclusivement à la réception.

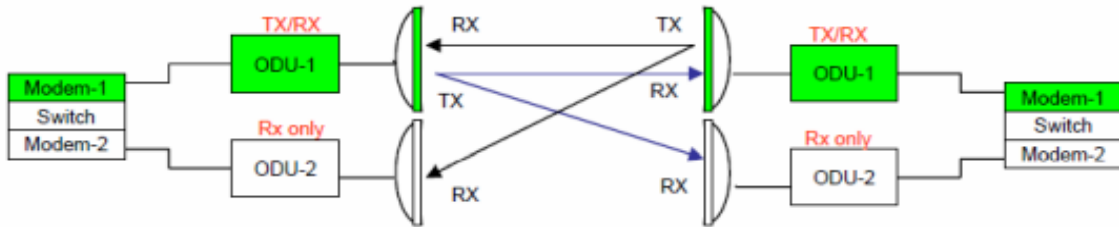


Figure 3.5. La configuration sécurisée (1+1) SD [18]

- (1+1) La configuration "frequency diversity" implique l'utilisation de deux antennes sur chaque site, fonctionnant simultanément avec des fréquences et des polarisations différentes.

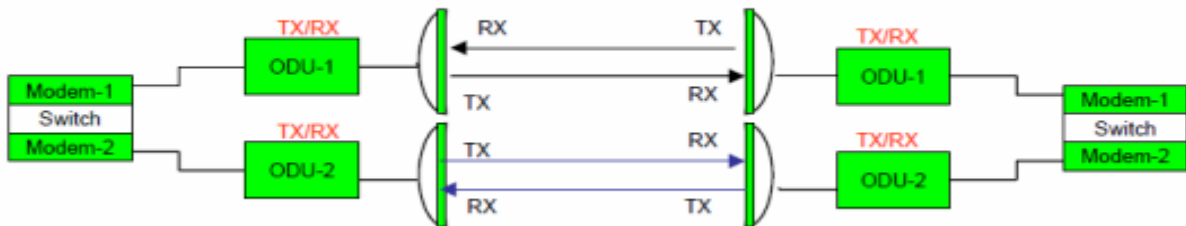


Figure 3.6. La configuration sécurisée (1+1) FD [18]

**3.4.1.2.2 La configuration (2+0) :** Cette configuration permet de doubler la capacité de la liaison en exploitant un seul canal avec deux polarités (H/V).

Pour la configuration << 2+ 2 >>, suit le même principe que la configuration << 2+ 0 >> mais, elle comprend 2 liens de protection en plus en cas de panne

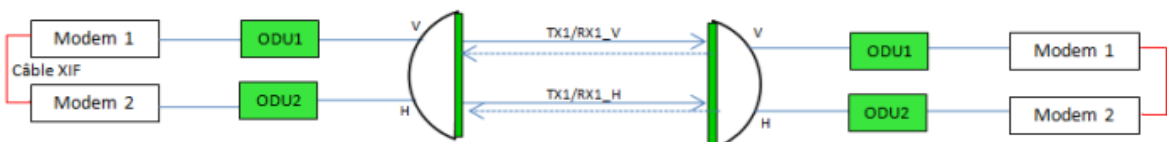
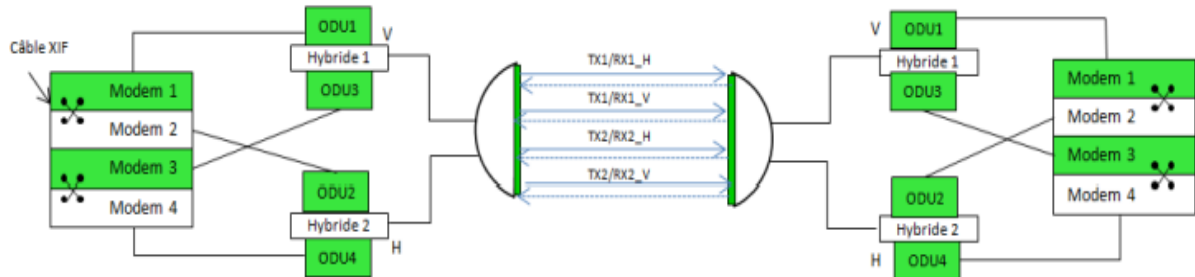


Figure 3.7. La configuration (2+0) [18]

# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

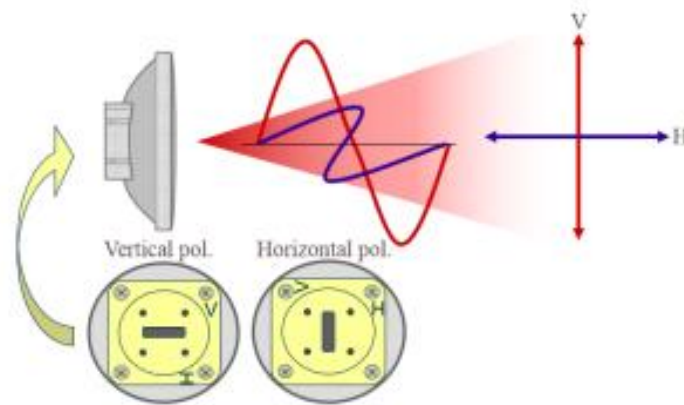
**2.4.1.2.3 La configuration (4+0) :** Cette configuration permet d'avoir quatre porteuses en exploitant juste deux canaux.



*Figure 3.8.*La configuration (4+0)[18]

## 3.4.2 Double polarisation et XPIC

La double polarisation est une configuration de protection (2+0), qui utilise deux RAU intégrée à une antenne où leur polarisation est réglé sur l'interface guide onde



*Figure 3.9.*La double polarisation

Dans la transmission du trafic nxE1 cette technique sert à la protection de la Radio Terminal, l'émission se fait dans une seule polarisation tandis que l'autre reste en veille en attente d'être activée en cas de dysfonctionnement. Dans le cas du trafic Ethernet, les deux polarisations sont utilisées simultanément pour doubler la capacité du canal des fréquences. Dans le cadre du double polarisation, on utilise également le XPIC, qui est une fonctionnalité utilisée dans les liaisons hyperfréquences pour augmenter la capacité et l'efficacité spectrale d'un lien. Le XPIC permet également d'annuler les interférences

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

**La solution XPIC :** Les interférences de polarisation croisée se produisent au niveau du récepteur en raison de problèmes liés au canal et à la perte de discrimination de polarisation (XPD) de l'antenne. La valeur minimale de l'XPD pour les bandes de 15 à 38 GHz est de 27dB.

### 3.4.3 La modulation adaptative

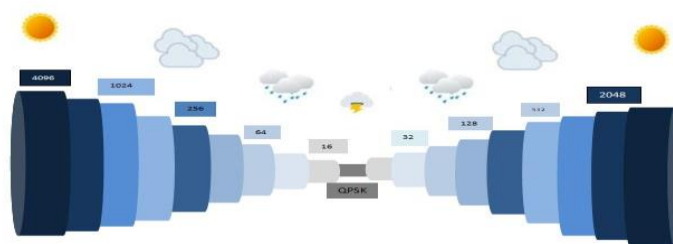
La modulation adaptative est une technique de modulation qui ajuste dynamiquement les paramètres de la modulation en fonction des conditions du canal de communication. Elle est utilisée pour améliorer la qualité de la transmission et augmenter le taux de transmission de données.

Le concept fondamental de la modulation adaptative repose sur la sélection de la modulation la plus appropriée en fonction de la qualité du canal de communication. Cette qualité peut être évaluée à l'aide de différentes mesures telles que le rapport signal sur bruit (SNR), le taux d'erreur binaire (BER) ou la puissance du signal reçu.

Lorsque la qualité du canal est bonne, la modulation adaptative peut utiliser une modulation à haut débit pour maximiser le taux de transmission de données. En revanche, si la qualité du canal se dégrade, la modulation adaptative peut basculer vers des modulations à débit plus faible pour maintenir une transmission fiable.

Dans notre cas, il est recommandé d'utiliser une modulation adaptative pour le trafic Ethernet, car cela permet d'optimiser l'utilisation du canal en fonction de ses variations. En revanche, pour le trafic SDH PDH, une modulation fixe peut être utilisée, car ces protocoles sont moins sensibles aux variations de la qualité du canal.

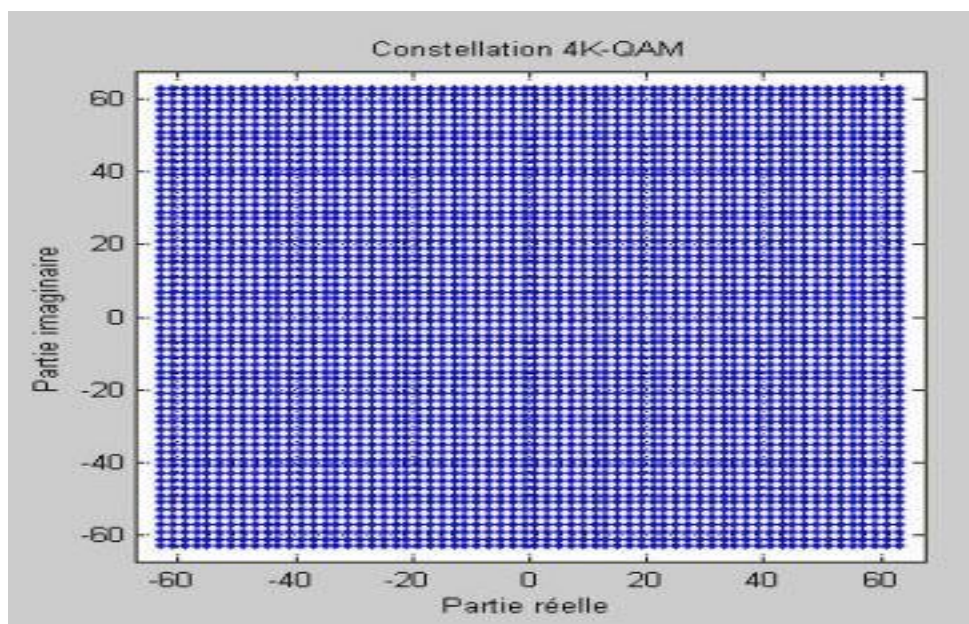
C'est une technique largement utilisée dans des technologies telles que le WiMax et en LTE. Par exemple, si les modulations disponibles sont le QPSK et le 4096QAM, dans le cas où le canal est marqué comme bon, 4096QAM sera sélectionnée, offrant un débit plus élevé mais une robustesse moindre. En revanche, si le canal se détériore, la modulation QPSK, plus robuste, sera privilégiée. La figure ci-après montre l'effet de la pluie sur : la modulation utilisée et les services offerts ;



## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

*Figure 3.10.* L'influence de la pluie sur la modulation

**La Modulation 4096 QAM** : actuellement les principaux fournisseurs d'équipement de transmission utilisent des transmissions à longue distance fiables en utilisant la modulation 4096QAM pour répondre au besoin en capacité élevé avec le développement de la technologie LTE et LTE-Ad, la figure suivante représente le codage sur 12 bits ;



*Figure 3.11.* La modulation 4096 QAM

### 3.4.4 Le contrôle automatique de la puissance ou ATPC

ATPC signifie Automatic Transmit Power Control, ou Contrôle Automatique de la Puissance de Transmission en français. C'est une technique essentielle utilisée dans les réseaux de communication sans fil. Son objectif est de réguler la puissance de transmission des stations de base et des terminaux mobiles, afin de maintenir une qualité de transmission optimale tout en minimisant la consommation d'énergie.

Le principe de base de l'ATPC est de mesurer la puissance du signal reçu et d'ajuster automatiquement la puissance de transmission en fonction de cette mesure. Si le signal reçu est faible, l'ATPC augmentera la puissance de transmission pour améliorer la qualité de la transmission. Si le signal reçu est fort, l'ATPC diminuera la puissance de transmission pour éviter la saturation du canal de communication.

L'ATPC peut être utilisé de manière indépendante ou en conjonction avec l'Adaptive Coding and Modulation (ACM) pour maximiser le temps de fonctionnement, la stabilité et la disponibilité de la liaison. Cela permet d'adapter dynamiquement les paramètres de modulation



## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

et de codage en plus de contrôler la puissance de transmission, pour optimiser la qualité et la fiabilité de la transmission

ATPC est une technologie clé pour assurer une transmission fiable dans toutes les conditions météorologiques, en particulier dans les régions où les précipitations sont importantes, ainsi que pour les liaisons plus longues présentant un affaiblissement ou une canalisation. . En ajustant automatiquement la puissance de transmission en fonction des variations du canal de communication, l'ATPC permet de maintenir des performances optimales, même dans des environnements difficiles.

### 3.4.5 Mw-MIMO (Microwave MIMO)

Parmi les avancées technologiques qui répondent aux besoins croissants de transmission à haut débit et de robustesse, une solution innovante a émergé ces dernières années dans les domaines de la radiocommunication et de la transmission : il s'agit de la technologie MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), également appelée Mw-MIMO (Microwave MIMO) dans le contexte des transmissions par micro-ondes utilisant le même canal et la même polarisation. La figure 3.12 suivante montre le principe de cette technologie [19].

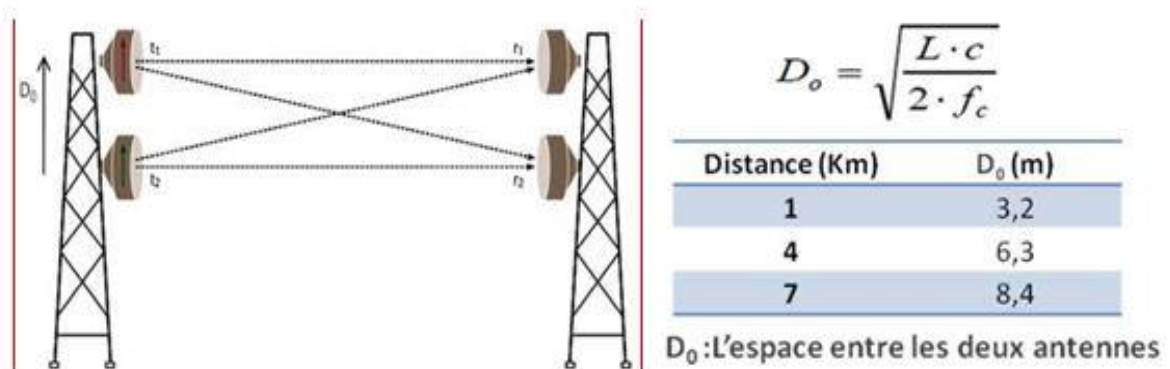


Figure 3.12. Le principe de Mv MIMO

### 3.4.6 Super double bande ou SDB

Il s'agit d'une technologie utilisée dans la transmission par micro-ondes, appelée la technologie d'agrégation de bandes croisée, Son concept principal consiste à exploiter simultanément la bande de fréquence traditionnelle comprise entre 6GHz et 42GHz ainsi que la bande E qui est comprise entre 71 GHz et 86 GHz.

La bande traditionnelle présente l'avantage de permettre la transmission sur de longues distances la bande E présente les avantages d'une transmission à haute capacité, pour combiner



# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

ces deux avantages (transmission sur de longues distances et à grande capacité), il est nécessaire d'utiliser des bandes doubles plus flexibles. Cette technologie est parfois appelée "booster multi-bande" chez ERICSSON.

## 3.4.7 Les équipements de transmission

### 3.4.7.1 les équipements d'unité extérieure

**3.4.7.1.1 Les antennes :** Les faisceaux hertziens utilisent la gamme des antennes directives. Ce type d'antennes se distingue par leur capacité à concentrer la puissance dans une direction privilégiée. Une antenne parabolique permet de réfléchir les ondes et de concentrer toute l'énergie dans une direction spécifique.

Les antennes utilisées dans les faisceaux hertziens varient en taille, allant de 0,2 mètres à 3,7 mètres de diamètre. Elles sont disponibles en configurations de polarisation simple ou double, offrant ainsi une plus grande flexibilité en termes de transmission et de réception des signaux.



Figure 3.13. Les dimensions des antennes

Le tableau ci-dessous récapitule le diamètre des antennes en fonctions des fréquences sélectionnées ainsi que les longueurs des bonds possibles.

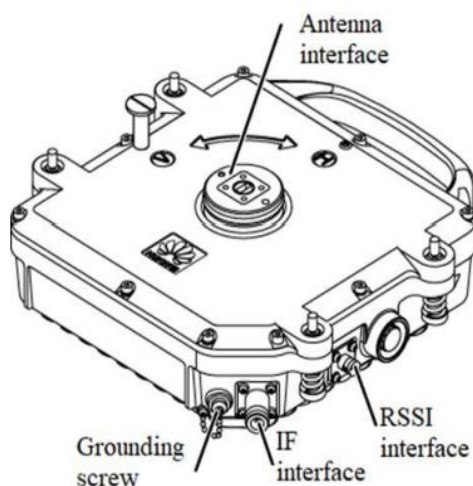
diamètre antennes	bandes de fréquences	longueur des bonds
De 0.2 à 2.4 m	15 GHz	<40km
De 0.3 à 2.4 m	18 GHz	<30km
De 0.3 à 1.2 m	23 GHz	<15km
De 0.2 à 0.6 m	38 GHz	<10km

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

**Tableau 3.1.** Diamètres d'antennes en fonction des bandes de fréquences et la distance.

### 3.4.7.1.2 Unité de radio (RAU)

La fonction de base de l'unité radio (RAU) est de générer et de recevoir les RF et le convertir au format du signal électrique via le câble radio, établissant ainsi la connexion entre la RAU et le MMU. Elle peut être utilisée en combinaison avec divers types d'antennes, qu'elles soient intégrées ou distinctes.



**Figure 3.14.** Unité d'accès radio

La principale différence qui distingue chaque unité radio (RAU) réside dans sa capacité de modulation. Par exemple, la deuxième génération de RAU d'Ericsson utilise uniquement la modulation C-QPSK dans les bandes de fréquences RF de 13, 15, 18, 23, 26 et 38 GHz. La version suivante prend en charge à la fois la modulation C-QPSK et toutes les modulations QAM dans les bandes de fréquences de 28, 32 et 38 GHz. En revanche, la troisième génération de RAU 6XXX supporte jusqu'à 4k QAM.



# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

*Figure 3.15.*Exemple de radio de troisième génération.

**3.4.7.1.3 Le câble coaxial (IF câble) :** C'est un câble coaxial fournit-48V pour l'ODU et véhicule le signal de fréquence intermédiaire (FI) issu du modem entre IDU et ODU. Il s'interface entre l'IDU et l'ODU. Il véhicule le signal de fréquence intermédiaire. L'émetteur récepteur (ODU) et la bande de base (IDU) sont connectés via des câbles coaxiaux. Ce câble coaxial peut transmettre des signaux de données d'I/O, une alimentation et des signaux d'alarme. Selon le modèle de câble, la longueur maximale du câble entre l'IDU-ODU est de 450 m. Il est important de respecter cette limitation pour garantir des performances optimales et éviter toute dégradation du signal



*Figure 3.16.*Câble FI.

## 3.4.7.2 les équipements de l'unité intérieure

**3.4.7.2.1 Définition :** L'unité intérieure IDU (Indoor Unit) est responsable de la conversion entre le signal numérique haut débit et le signal analogique de fréquence intermédiaire (FI). Son rôle principal consiste à réaliser la modulation et la démodulation du signal, qu'il s'agisse d'émission ou de réception.

Cette unité est capable de transporter des flux STM-1 d'une capacité de 155 Mbits/s, ce qui lui permet de prendre en charge des transmissions à haut débit.

L'IDU génère un signal analogique de fréquence intermédiaire (FI) à partir du signal numérique qui a été modulé en quadrature d'amplitude (QAM) avec une modulation de type QAM-2n (n bits de codage). Elle est également chargée de la démodulation du signal reçu. Une fois le signal FI généré, il est transmis ou reçu via un câble coaxial vers l'unité externe (ODU).

L'ODU, quant à elle, adapte le signal aux fréquences porteuses de niveau élevé nécessaires pour la transmission à très haute fréquence.

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

En résumé, l'unité intérieure (IDU) assure la conversion du signal entre le numérique et l'analogique de fréquence intermédiaire (FI). Elle est responsable de la modulation et de la démodulation du signal, tandis que l'unité externe (ODU) s'occupe de l'adaptation du signal pour la transmission à très haute fréquence.

### 3.4.7.2.2 Les composants de l'unité intérieure :

- *Carte d'alimentation* : La carte d'alimentation électrique, également connue sous le nom de carte d'énergie, est responsable de la réception de l'alimentation en courant continu (DC) provenant du redresseur ou de la DC Box, en fonction du type de liaison micro-ondes (MW Link) utilisée. Selon la configuration, elle peut accueillir une ou deux cartes, dont l'une est désignée comme principale et l'autre comme de secours (stand-by).
- *FAU* : Le système de refroidissement par air forcé est assuré par le FAU (Forced Air Unit), qui est installé directement au-dessus de l'AMM (Air Management Module). Le FAU est équipé d'un contrôle automatique de la vitesse du ventilateur et contient trois ventilateurs internes pour assurer un refroidissement efficace. Il dispose également de deux connecteurs DC -48 V pour une alimentation redondante, garantissant une alimentation continue en cas de défaillance d'une source d'alimentation. De plus, le FAU est équipé de deux connecteurs pour exporter les alarmes vers le PFU1 (Power Feed Unit 1), permettant la surveillance et la gestion des alarmes liées au système de refroidissement.



**Figure 3.17.**Exemple d'unité de ventilation FAU

- *Le magazine AMM* : Le module AMM (Air Management Module) est un panneau de connexion qui regroupe toutes les cartes électroniques, agissant comme un hub central.

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

Il permet aux cartes de se connecter entre elles et de communiquer via le panneau arrière. Les principales fonctions de l'AMM comprennent :

- Distribution de l'énergie électrique à toutes les cartes présentes.
- Diffusion des données de gestion à toutes les cartes.

L'AMM est généralement composé de trois composants essentiels :

- ❖ MMU (Modem Unit) ;
- ❖ NPU (Node Processor Unit) ;
- ❖ LTU (Line Termination Unit).

Les AMM de deuxième génération :

- AMM X1 : Cette configuration est adaptée pour les applications de sites finaux et de sites de répéteur, ainsi que pour les terminaux micro-ondes nécessitant une protection.



*Figure 3.18.* Modèle d'unité AMM X1.

- AMM X2 : C'est une solution appropriée pour les sites de taille moyenne.



*Figure 3.19.* Modèle d'unité AMM X2.

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

- AMM X3 : Il convient aux sites de hub de grande taille, elle a des emplacements qui sont équipés de MMU, de LTU, et de NPU.



*Figure 3.20.* Modèle d'unité AMM X3.

Les AMM de troisième génération : offre la plus grande capacité de nœuds dans le plus petit facteur de forme avec des nœuds fixes et semi-modulaires.

Ils prennent en charge plusieurs liaisons radio haute capacité avec une capacité allant jusqu'à 2,5 Gbps par liaison, en utilisant des schémas de modulation élevés (8k QAM, XPIC), l'agrégation de porteuses, le MIMO, le booster multi-bandes et des canaux larges comme 112MHz et plusieurs interfaces 10GE garantissent la flexibilité du déploiement et la préparation à l'avenir, supporte également le trafic TDM.

- ML6XXX1 : Prend en charge jusqu'à 8 radios pour un site d'agrégation de taille moyenne, avec des topologies de  $1+0/1+1/2+0/2+2/4+0$ . Équipé de NPUs (4 interfaces E1) et de MMUs (4 interfaces E1) de troisième génération. Dispose de 16 interfaces E1 pour LTU et d'une interface STM1.



*Figure 3.21.* Le ML 6XXX1.

- ML6XXX2 : Pour un site d'agrégation de grande taille, le système prend en charge jusqu'à 16 radios avec diverses topologies, telles que  $1+0/1+1/2+0/2+2/4+0$ . Il est équipé de NPUs et d'autres fonctionnalités de redondance de troisième génération. Les MMUs de troisième génération sont également présents, ainsi que des LTUs



# Chapitre 3 L'optimisation d'une chaine de transmission

avec 16 interfaces E1 ou une interface STM1. Le système comprend également des composants tels que PFU et FAU pour assurer un fonctionnement fiable et efficace



Figure 3.22. Le ML 6XXX2.

- unité de processeur de nœud /carte de contrôle (node processor unit) :Les fonctions essentielles du système de contrôle sont intégrées dans l'Unité de Traitement de Nœud (NPU). La présence d'une NPU est toujours nécessaire. Les principales fonctions de la NPU incluent la gestion du trafic, le contrôle et la supervision du système, la gestion du réseau de contrôle de données (DCN), l'agent maître SNMP, ainsi qu'une interface Ethernet 10BASE-T permettant la connexion à un réseau local. Elle assure également le stockage et l'administration des données d'inventaire et de configuration. De plus, chaque type de NPU dispose de fonctions spécifiques associées à ses caractéristiques particulières.

➤ Les NPU de 2 génération

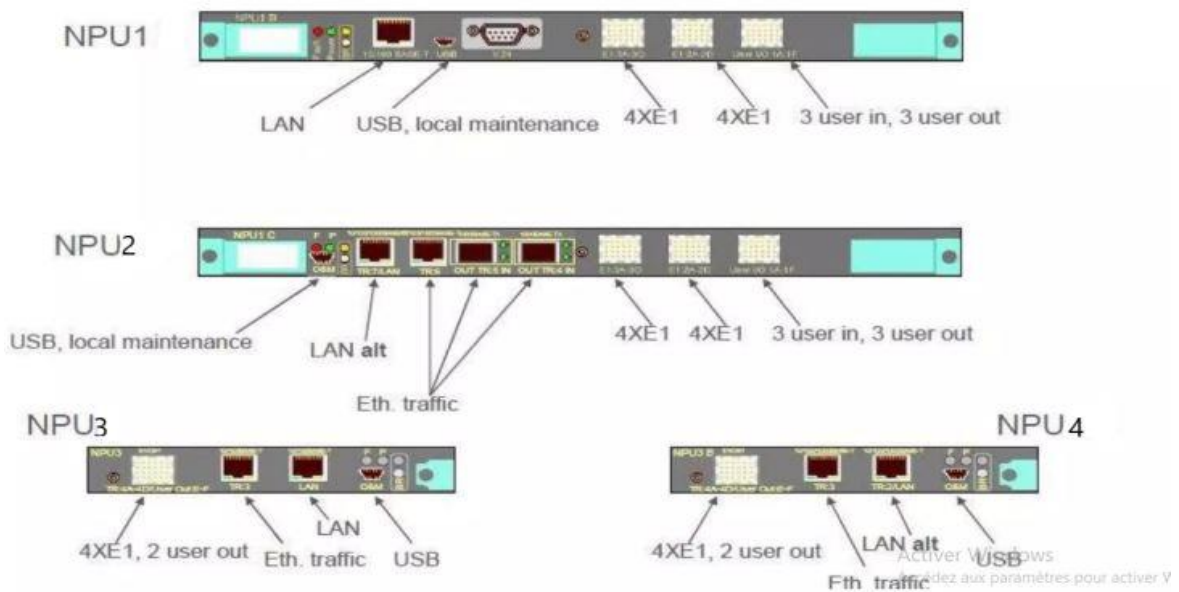
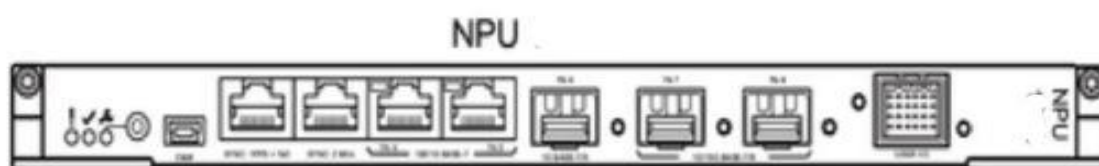


Figure 3.23. Les différentes unités de NPU de deuxième génération.

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

- Les NPU de latroisième génération : Il y a deux modèles de NPU de troisième génération : le NPU XXX2 et le NPU XXX3. Ils comprennent les caractéristiques suivantes : 2 ports RJ45 pour Ethernet 100 Mbps, 1 port Ethernet Gigabit, 1 port Ethernet SPF, 2 ports Ethernet de 1 ou 10 Gbps en SFP ou SFP+, et une fonction de gestion locale. Ces NPU sont utilisés avec les équipements ML 6XXX1 et ML 6XXX2. Cependant, le NPU XXX3 offre 4 interfaces E1 supplémentaires par rapport au NPU XXX2.



*Figure 3.24.*NPU XXX3.

- Le MMU : est la partie intérieure du terminal radio et détermine le trafic système de capacité et de modulation. Le MMU est totalement indépendant de la fréquence
- Le MMU de deuxième génération MMU X10 : Elle est compatible avec la technologie XPIC et offre également une nouvelle fonctionnalité appelée MIMO. De plus, elle prend en charge la configuration double carte, ce qui signifie qu'elle peut être connectée à deux RAU simultanément.



*Figure 3.25.*MMU X10

- Les MMU de troisième génération MMU XXX2 : est conçu pour utiliser deux porteuses et prend en charge la technologie XPIC. Il est compatible avec les



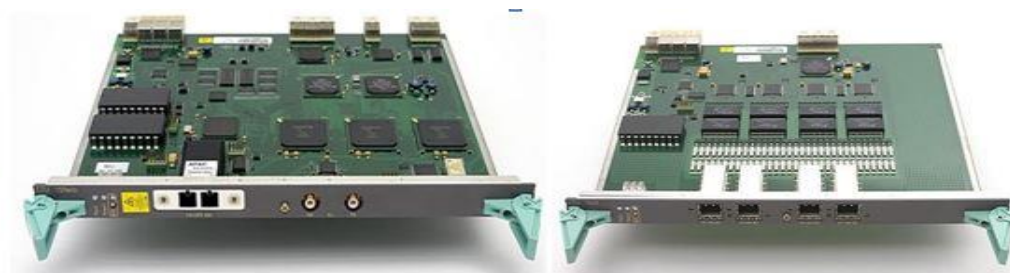


## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

topologies HSD/SD et peut être utilisé avec les modèles ML 6XXX1 et ML 6XXX2, ainsi qu'avec les NPU XXX2 et NPU XXX3

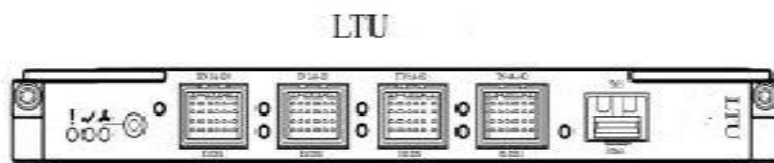
*Figure 3.26.MMU XXX2*

- LTU : Sont des modules utilisés pour connecter le trafic provenant d'un équipement externe. Ils offrent des interfaces pour le trafic PDH ou SDH, ce qui permet d'étendre les fonctionnalités du système.
  - LTU de deuxième génération



*Figure 3.27.LTU de deuxième génération.*

- LTU (Line Termination Unit) de 3eme génération : Il y a deux types de LTU de troisième génération disponible : LTU XXX1 et LTU XXX2. Ces LTU peuvent supporter jusqu'à 16 interfaces E1 et sont utilisées avec les systèmes ML 6XXX1 et ML 6XXX2. La principale différence entre les deux versions est que la LTU XXX2 dispose également d'une interface STM1 en plus des interfaces E1 [19].



*Figure 3.28.LTU de troisième génération.*

### 3.4.8 Full outdoor

Désigne généralement une configuration de réseau sans fil dans laquelle tous les équipements sont installés à l'extérieur, Cette configuration est souvent utilisée pour les réseaux de transmission sans fil à courtes distances.

## Chapitre 3 L'optimisation d'une chaîne de transmission

---

L'avantage principale de cette configuration est de réduire les coûts de construction et d'entretien du réseau, ainsi que minimiser les pertes de signal dues à la propagation à travers les locaux et les bâtiments.

Actuellement, les antennes disponibles pour cette configuration ont des diamètres de 0,3 et 0,6 mètres, offrant une portée maximale de 3,5 km et une capacité de trafic de 10 Gbps.



*Figure 3.29.* Full outdoor avec une antenne de 0.3m de diamètre.

### 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail le mécanisme d'optimisation, en mettant en évidence les différentes techniques utilisées pour réaliser cette opération. Nous avons examiné les aspects clés de l'optimisation et nous avons identifié les méthodes les plus couramment utilisées dans le domaine de la transmission.

De plus, nous avons présenté en détail les équipements de transmission qui jouent un rôle crucial dans la mise en œuvre de ces techniques d'optimisation. Nous avons discuté des caractéristiques et des fonctionnalités des différents équipements, en mettant en avant leur contribution à l'amélioration des performances du réseau de transmission.

Dans le prochain chapitre, nous passerons à la pratique en effectuant une simulation à l'aide du logiciel Ellipse. Cette simulation nous permettra de mettre en pratique les techniques d'optimisation que nous avons étudiées précédemment. Nous aurons l'occasion d'observer les résultats obtenus et d'évaluer l'efficacité de ces techniques dans un contexte réel.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

---

## 4.1 Introduction

Le chapitre traite de la planification et de l'optimisation des capacités de transmission filaire dans la wilaya de Jijel en utilisant le simulateur Ellipse. Nous commençons par présenter les outils de travail utilisés, notamment le simulateur Ellipse et le logiciel Matlab. Ensuite, nous décrivons la wilaya de Jijel, mettant en évidence ses caractéristiques géographiques et sa population.

Le cas 1 aborde la planification d'un lien de transmission. Nous collectons des données à partir des rapports LOS pour déterminer les paramètres nécessaires, tels que les codes des sites, les distances, la visibilité, etc. En utilisant le simulateur Ellipse, nous établissons la connexion entre les sites, choisissons la fréquence et la configuration appropriées, et configurons les équipements extérieurs et intérieurs. Nous effectuons également des tests d'interférence pour garantir la qualité de la liaison établie.

Le cas d'upgrade vise à augmenter la capacité d'un lien existant. Nous explorons deux approches : l'upgrade logique (soft upgrade) et l'upgrade physique (hard upgrade). L'upgrade logique consiste à modifier la modulation et la largeur du canal pour augmenter le débit. L'upgrade physique implique l'utilisation de configurations supplémentaires, telles que passer d'une configuration 1+0 à une configuration 2+0, pour augmenter le débit.

En résumé, ce chapitre présente une méthodologie détaillée pour la planification et l'optimisation des capacités de transmission filaire à l'aide du simulateur Ellipse. Il couvre la collecte des données, la sélection des paramètres, la configuration des équipements, les tests d'interférence et les upgrades logiques et physiques. Ces étapes permettent d'assurer une transmission optimale dans la wilaya de Jijel

## 4.2 Présentation des outils de travail

Nous avons utilisé le simulateur Ellipse pour optimiser les capacités de transmission filaire dans la wilaya de Jijel. Ce simulateur nous a permis de simuler différentes méthodes d'optimisation, tant au niveau logiciel que matériel.

### 4.2.1 Le simulateur Ellipse

Le simulateur Ellipse est un logiciel fiable conçu pour planifier, dimensionner et optimiser les réseaux de transmission sans fil ou filaire. Nous avons choisi d'utiliser Ellipse en raison de sa réputation de fournir des résultats précis et fiables grâce à ses méthodes d'ingénierie avancées.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

---

## 4.2.2 Logiciel Matlab

MATLAB est un logiciel de calcul numérique et de programmation développé par MathWorks. Il est largement utilisé pour une multitude d'applications, allant de la modélisation mathématique et de la simulation à l'analyse de données. Il est également utilisé dans la conception de systèmes de contrôle, la visualisation de données et l'exploration de données, entre autres domaines.

## 4.3 Description de la wilaya de Jijel :

La wilaya de Jijel, située au nord-est du pays, s'étend sur une superficie de 2 396,63 km<sup>2</sup> et est bordée par la mer Méditerranée au nord. Sa population est d'environ 684 933 habitants, avec une densité de population de 285 habitants par km<sup>2</sup>. La majorité de la superficie de la wilaya est montagneuse, représentant 82%, avec une plaine côtière le long de la mer. Jijel est réputée pour son attrait touristique, notamment pendant la saison estivale, ce qui en fait un choix idéal pour notre étude

## 4.4 CAS 1 : planification du lien

### 4.4.1 Etablissement du lien

La première étape de notre processus consiste à collecter les données à partir des rapports LOS. Ces rapports nous fournissent des informations telles que les codes des sites, les distances, la visibilité, la hauteur des antennes (HBA), le type des sites (pylône ou mat), les coordonnées GPS et l'azimut. De plus, nous extrayons également les informations sur les technologies qui seront installées, telles que la 2G, la LTE, etc., à partir du rapport AS3. Ces données nous permettront de déterminer la capacité requise pour le projet.

## Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

RAPPORT LOS		N	UTET (obstruction)	
Code site		Nom du site	BOUKHERTOUM	
Ville	AMIR ABD EL KADER	Wilaya	JIJEL	
Latitude (WGS84)		Adresse	BOUKHERTOUM	
Longitude (WGS84)		Site Type	TOWER	
Altitude (IRSM)	144M	Hauteur		
LOS VERS				
Site	Azimut (°)	Distance (m)	LOS à partir de (m)	COMMENTAIRES
	287			POSTE

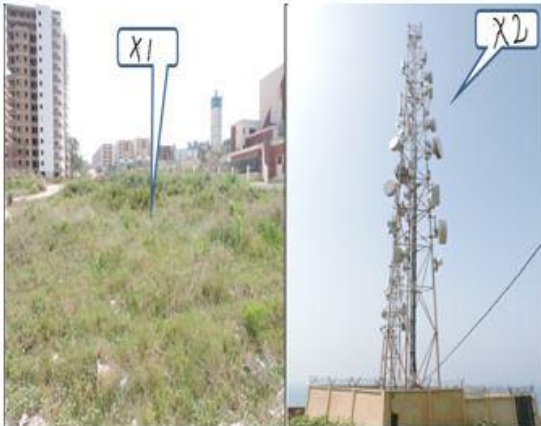


Figure 4.1. Exemple de données de rapport LOSS.

En utilisant les codes des sites comme entrée, nous utilisons le simulateur Ellipse pour représenter graphiquement le premier site. Ensuite, nous ajoutons le deuxième site afin de les connecter entre eux dans la simulation



Figure 4.2. Création du lien.

Après avoir établi la connexion entre les deux sites en cliquant sur le lien, une fenêtre s'affiche affichant la visibilité et la distance entre eux. À ce stade, nous choisissons la fréquence et la configuration appropriées.

### a. Le choix de fréquence

Les bandes de fréquences utilisées en télécommunication en Algérie sont attribuées par l'ANF (Agence Nationale des Fréquences) et comprennent les plages suivantes : 6 GHz, 11 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 38 GHz et 42 GHz.

Le choix de la fréquence est déterminé en fonction de la distance, comme indiqué dans le tableau suivant :

## Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

BANDES DE FREQUENCES	LONGUEUR DES BONDS
15 GHz-11 GHz-18 GHz	<40km
6 GHz	<30km
23 GHz	<15km
38 GHz-42GHz	<10km

**Tableau 4.1.** Choix de fréquences par rapport à la distance.

### *b. Le choix de configuration*

La sélection de la configuration de fréquence dépend de la topologie du réseau, en tenant compte de la distinction entre un site terminal et un site d'agrégation. Cette distinction est essentielle car un site d'agrégation est chargé de gérer à la fois son propre trafic et celui provenant d'autres liens.

Dans notre situation particulière, une configuration de 1+0 serait adéquate, ce qui signifie qu'un seul lien radio serait utilisé sans redondance.

#### **4.4.2 La configuration du lien**

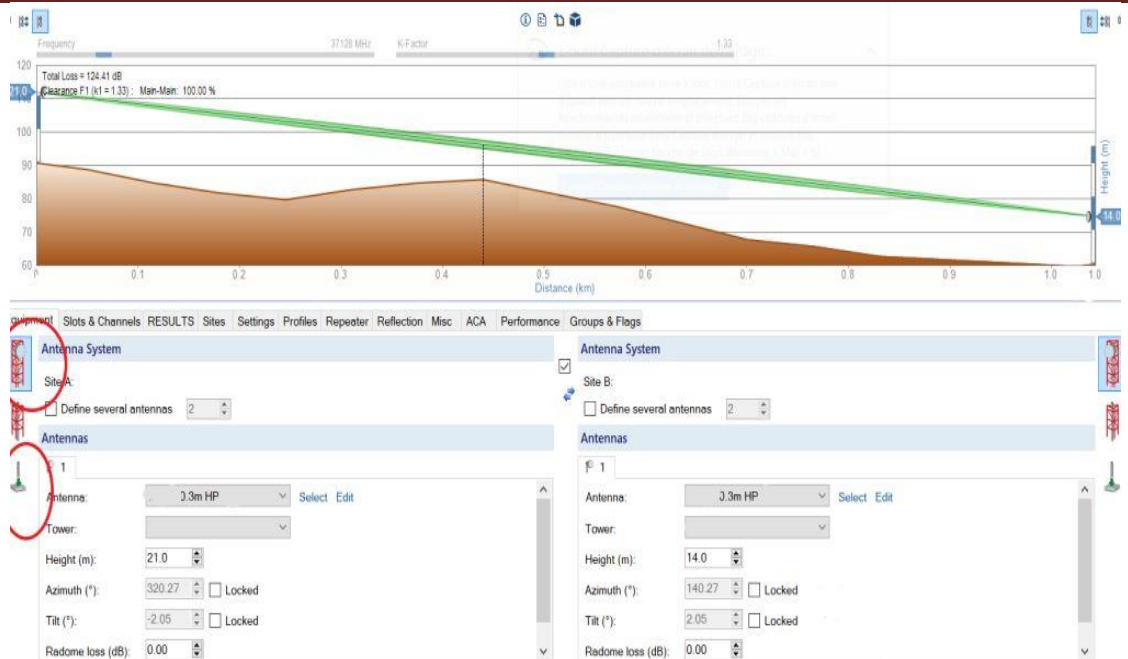
➤ Une fois que nous avons défini les paramètres requis, nous pouvons passer à la sélection des équipements, à la fois pour les composants extérieurs (OutDoor) et intérieurs (InDoor).

*a. OutDoor* : Le choix du diamètre de l'antenne est basé sur la distance entre les deux sites, comme indiqué dans le tableau. En général, nous utilisons des antennes de dernière génération pour assurer une performance optimale.

*b. InDoor* : En ce qui concerne les équipements intérieurs (Indoor), nous sélectionnons les châssis qui conviennent aux radios en termes de modulation, tout en prenant en compte le type de site afin de déterminer quelle génération est appropriée.

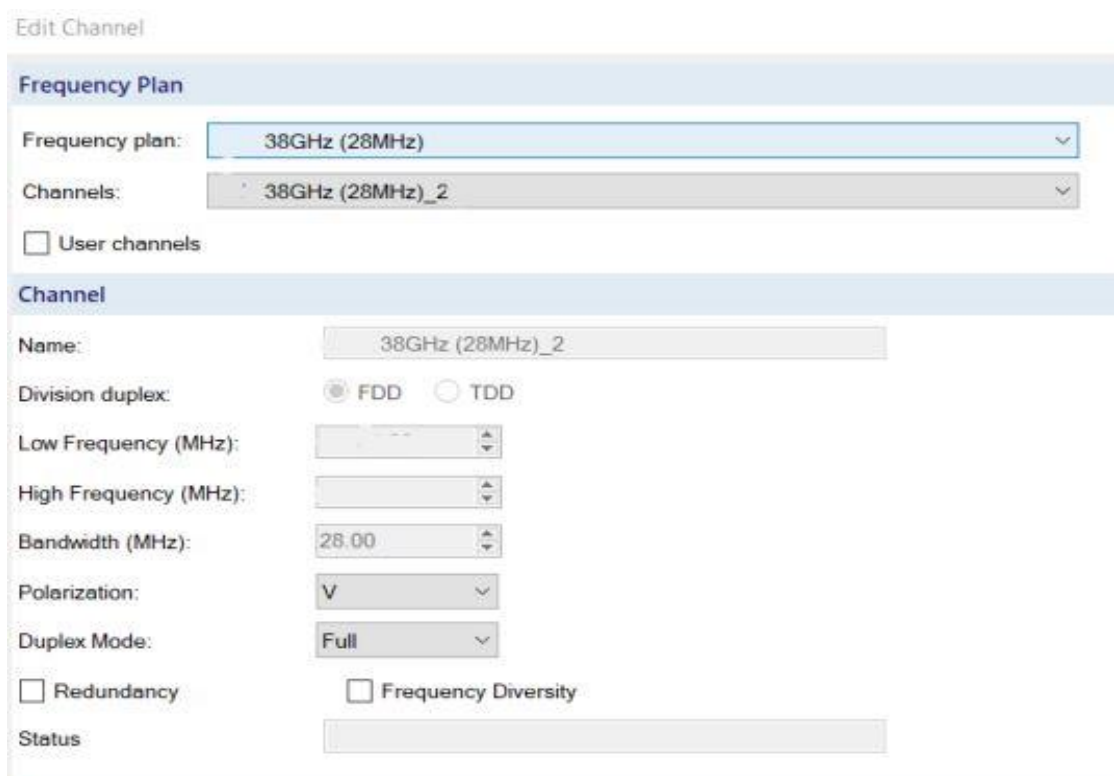
*c. Les pertes* : dues aux branchements des radios avec l'antenne n'ont pas été configurées car dans notre configuration 1+0, les radios sont directement connectées à l'antenne à l'aide d'un coupleur. Dans ce cas, le logiciel considère les pertes comme négligeables.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion



**Figure 4.3.** Représentation des icônes pour le choix des équipements

- Nous passons maintenant à la configuration des slots, où nous allons effectuer le choix des porteuses en fonction de l'espacement des canaux (CS)



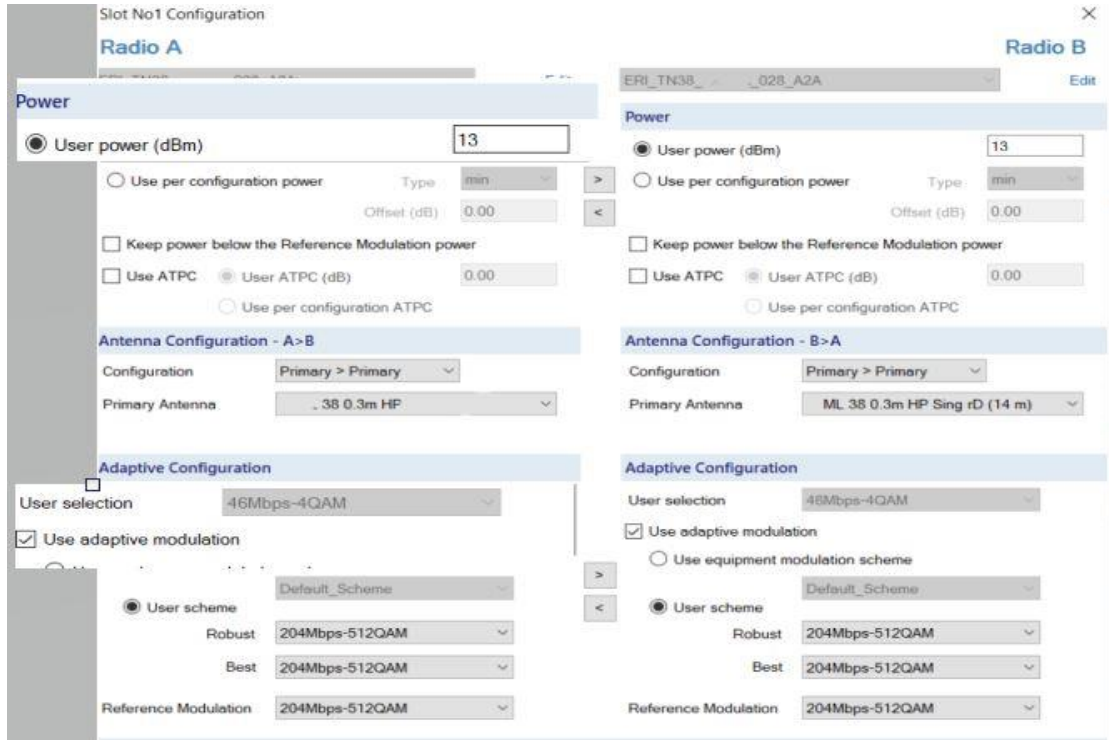
**Figure 4.4.** Le choix de canal.



# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

- Nous passons maintenant au paramétrage des canaux, où nous allons choisir la puissance d'émission (TX POWER) et la modulation en fonction du débit souhaité.

**Figure 4.5.** Le choix de la modulation et le Tx power.



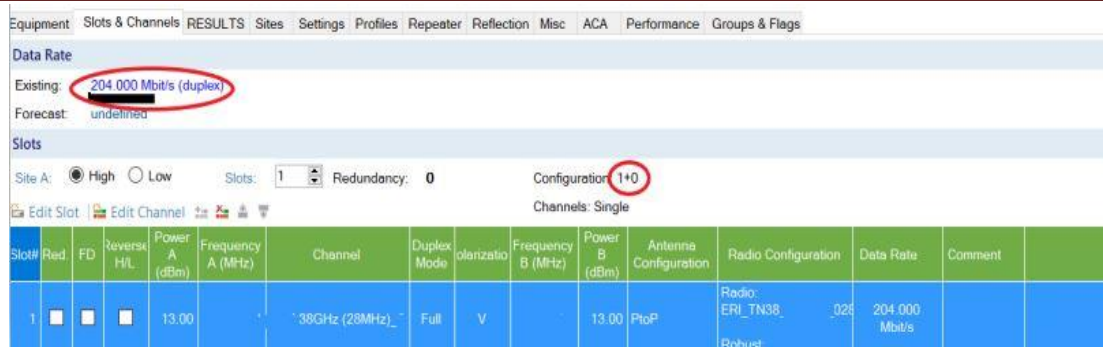
Ce tableau présente la capacité en fonction de la modulation et de l'espacement des canaux.

Modulation	Largeur du canal				
	7MHz	14 MHz	28 MHz	40 MHz	56 MHz
4QAM	10Mbps	21Mbps	46Mbps	66Mbps	93Mbps
16QAM	21Mbps	44Mbps	94Mbps	133Mbps	189Mbps
32QAM	26Mbps	54Mbps	114Mbps	167Mbps	236Mbps
64QAM	32Mbps	64Mbps	137Mbps	196Mbps	281Mbps
128QAM	37Mbps	74Mbps	160Mbps	228Mbps	326Mbps
256QAM	42Mbps	84Mbps	183Mbps	259Mbps	370Mbps
512QAM	46Mbps	95Mbps	204Mbps	290Mbps	413Mbps
1024QAM	-	-	255Mbps	317Mbps	452Mbps

**Tableau 4.2.** Représentation du débit en fonction de la modulation.



## Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion



Slot#	Reed	FD	Reverse H/L	Power A (dBm)	Frequency A (MHz)	Channel	Duplex Mode	olarizatio	Frequency B (MHz)	Power B (dBm)	Antenna Configuration	Radio Configuration	Data Rate	Comment
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13.00		38GHz (28MHz)	Full	V		13.00	ProP	Radio: ERI_TN38_028 Robust	204.000 Mbit/s	

**Figure 4.6.**L'affichage du débit requis.

Une fois que tous les paramètres sont configurés, il est nécessaire d'effectuer un test d'interférence sur la liaison de transmission afin de vérifier s'il y a des interférences avec les liaisons voisines.

### 4.4.3 Test d'interférence

L'analyse des interférences est d'une importance capitale pour garantir que nos nouvelles liaisons ne sont pas perturbées par d'autres liaisons opérant sur la même fréquence, et vice versa. Afin d'évaluer la présence d'interférences, il est essentiel de surveiller certains indicateurs de qualité. En examinant attentivement la valeur de ces indicateurs, nous pourrions évaluer la situation des interférences :

#### *a. Rapport signal sur interférences C/I*

Il correspond à la différence de puissance entre le signal utile et l'ensemble des interférences, résultant de la réutilisation de fréquences, de canaux ou d'autres sources d'interférences telles que les équipements parasites. Le rapport C/I est exprimé en décibels (dB).

#### *b. Le seuil de dégradation*

Il indique le seuil au-delà duquel la performance du système de transmission se dégrade de manière notable. Il représente le point où une interférence devient perceptible et commence à affecter la qualité de la transmission. Pour assurer une bonne qualité de service, il est recommandé que cette valeur ne dépasse pas 3 dB

En analysant les résultats obtenus lors du test d'interférence dans notre cas, nous constatons que le seuil de dégradation (TD) dépasse la limite, comme l'illustre le graphique ci-dessus. Cela indique clairement un problème de qualité de la liaison, et des mesures correctives seront nécessaires pour résoudre cette situation.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

		Channel 38GHz
Number of interferers		81
Worst I > Site	dBm	-37.38
Worst I > Site	dBm	-37.08
Total I > Site	dBm	-37.28
Total I > Site	dBm	-36.99
Worst TD > Site	dB	54.25
Worst TD > Site	dB	54.55
Aggregated TD > Site	dB	54.35
Aggregated TD > Site	dB	54.64
C Level > Site	dBm	-37.31
C Level > Site	dBm	-37.01
Worst C/I > Site	dB	0.07
Worst C/I > Site	dB	0.07
Aggregated C/I > Site	dB	-0.03
Aggregated C/I > Site	dB	-0.02
High/Low Conflict		OK
kTB ( )	dBm	-91.63
kTB	dBm	-91.63
Worst C/I from Site	dB	0.07
Worst C/I from Site	dB	0.07

Figure 4.7. Présence d'interférence.

Généralement pour résoudre ce problème, nous pensons à :

- Changer le canal.
- Changer la polarisation V/H ou bien le HBA des antennes.
- Changer la bande de fréquence carrément et c'est la solution pour 90% des cas.
- Le déroutage.

En ajustant les hauteurs des antennes (HBA), nous avons observé une diminution du niveau d'interférence à -89.01 dBm, ce qui est conforme à la recommandation de l'ETSI et considéré comme acceptable.

Site	Link	Slot	Direction	Channel	Frequency (MHz)	Bandwidth (MHz)	Polariz.	Interference level (dBm)	dB	Threshold degradation (dB)	Threshold / Interference level (dB)	Correlation
18621A	18621A	1	In		3	28	V	-89.01	45.62	4.84	28.01	No
		1	In		3	28	V		63.80	0.14	45.91	Yes

Figure 4.8. Exemple de la valeur d'interférence

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

Channel spacing (MHz)	RF input level (dBm)
7	-97
14	-94
28	-91
40	-89
56	-88
80	-86
112	-85

**Tableau 4.3.**Recommandation de l'ETSI.

Enfin, en tant que dernière étape, nous allons évaluer nos indicateurs de performance clés (KPI's) en utilisant le bilan de liaison. Cela nous permettra de vérifier la qualité de notre liaison établie.



**Figure 4.9.**Résultat de bilan de liaison.

En vérifiant les résultats du bilan de liaison, nous constatons que le niveau de signal reçu (RSL) est de -30.92 dBm, la marge d'évanouissement est de 31.08 dBm et la disponibilité est de 2 minutes et 12.7 secondes. Ces résultats sont considérés comme satisfaisants et indiquent une bonne qualité de la liaison établie.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

## 4.5 CAS d'upgrade

L'opération d'amélioration (upgrade) vise à mettre à niveau différents aspects du système afin d'augmenter sa capacité.

Dans notre situation spécifique, la capacité du lien établi est de 200 Mbit/s et nous souhaitons l'augmenter à 500 Mbit/s.

### 4.5.1 Soft upgrade (Modernisation logique)

L'action de passer d'un ordre de modulation à un autre ou de changer la largeur du canal est appelée une mise à niveau logicielle (soft upgrade). Cette opération est effectuée à l'aide du logiciel de simulation.

La relation entre la capacité de transmission et la bande passante utilisée est linéaire, ce qui signifie que plus la bande passante est large, plus le système a la capacité de transmettre des données à un débit élevé.

Cela est illustré par le graphique généré à l'aide de MATLAB ci-dessous :

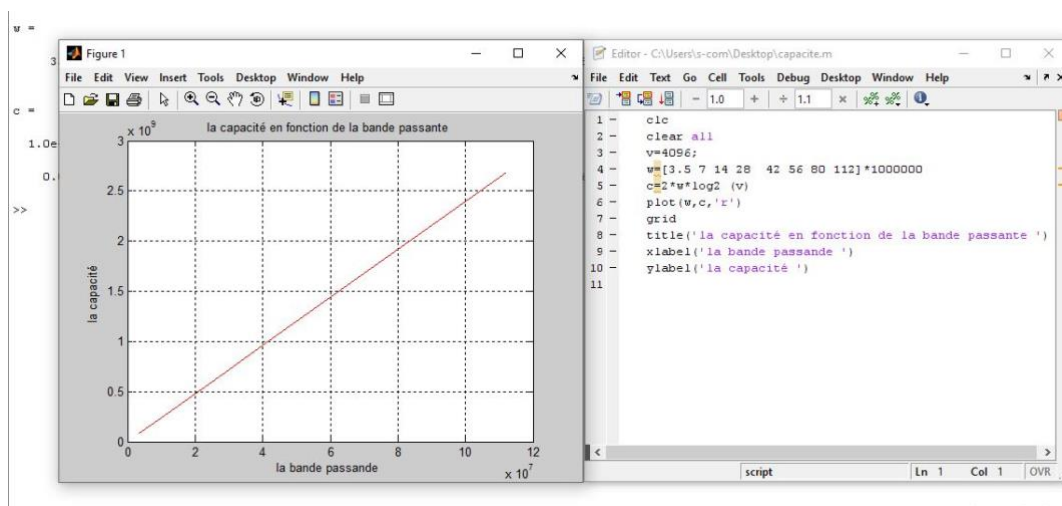


Figure 4.10. Graphe de débit par rapport au CS.

Dans le but de visualiser de manière claire la relation entre la modulation et le débit dans un système de transmission, nous avons créé un graphique en utilisant MATLAB. Ce graphique nous permet de voir comment une augmentation du niveau de modulation entraîne une augmentation du débit de transmissions.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

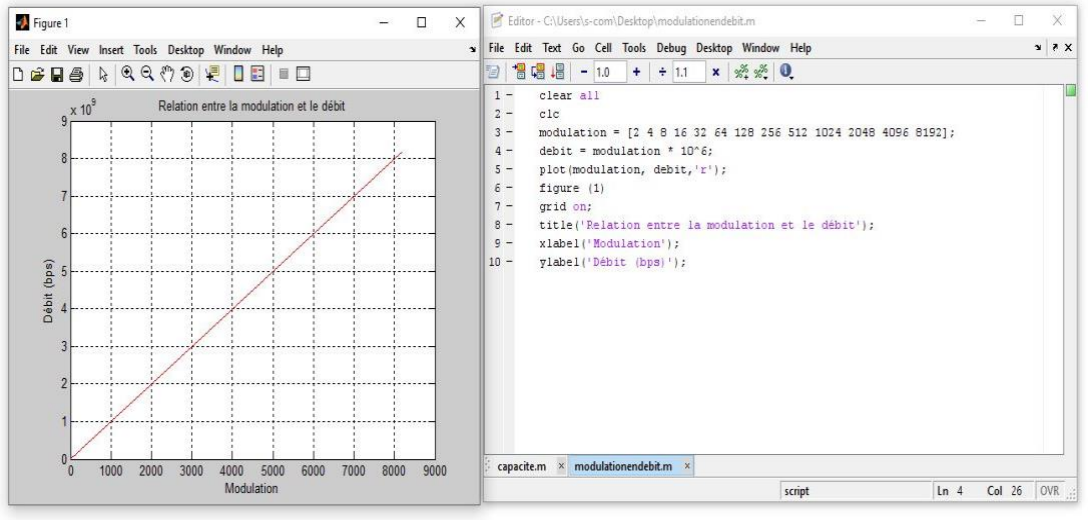


Figure 4.11. Graphe de débit par rapport à la modulation.

Pour augmenter la capacité de notre lien, nous avons deux propositions. La première consiste à changer la largeur du canal à 56 MHz, tandis que la deuxième proposition implique de modifier à la fois la modulation et l'énergie utilisée.

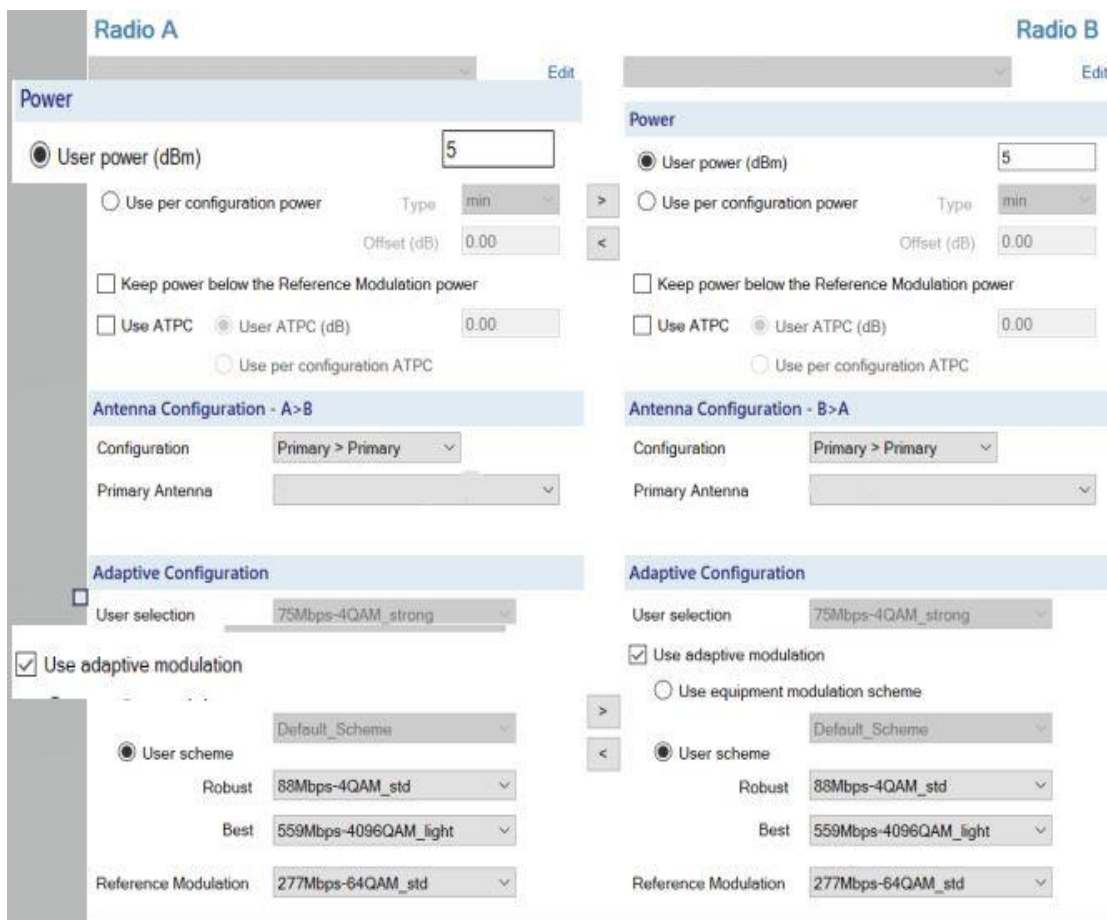


Figure 4.12. Optimisation de la modulation et le Tc power.

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

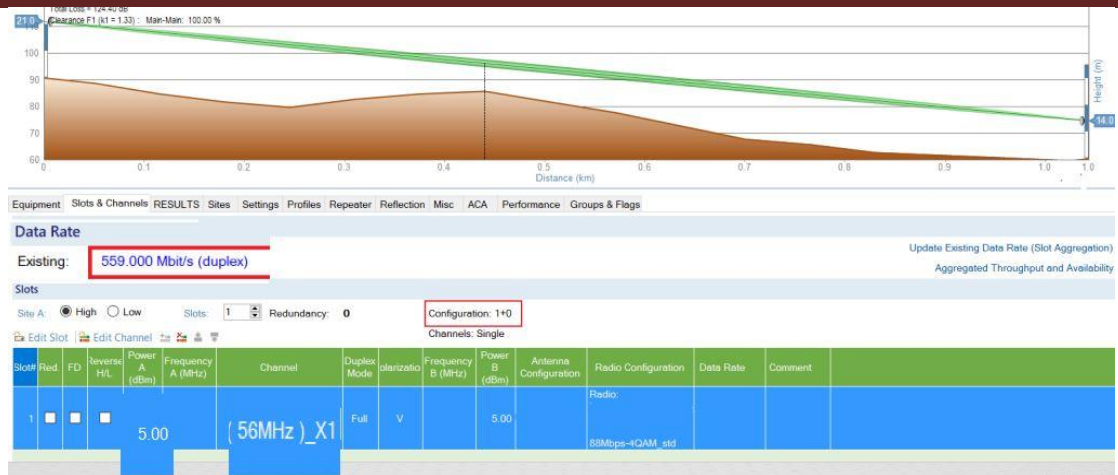


Figure 4.13. Vérification d'augmentation de débit.

Nous avons atteint notre objectif de passer à un débit de 500 Mbps.

Une fois la largeur du canal augmentée, il est nécessaire de procéder à un nouveau test d'interférence sur la liaison de transmission reconfigurée afin de vérifier les éventuelles interférences avec les liaisons voisines.

Slot	Instructor	Channel	Frequency (MHz)	Bandwidth (MHz)	Polarization	Interference level (dBm)	C/I	Threshold degradation (dB)	Threshold / Interference level (dB)	Correlation
1	In			56	H	-36.99	-02	54.54	-12.01	Yes
1	In			56	H	-37.28	-03	54.35	-11.72	Yes

Figure 4.14. La tolérance des interférences.

Dans notre cas avec un CS de 56MHz nous remarquons une absence d'interférence

BER 1E-6	Unit	A->B	B->A
TX Power	dBm		5
Transmitted Power	EIRP(dBm)	45,4	45,4
RX Level	dBm	-38,91	-38,6
Threshold	dBm	-69,5	-69,5
Thermal Margin (Fade Margin)	dB	30,59	30,90
RX KTB	dBm	-91,63	-91,63
<b>Total Performance</b>			
Total Performance (Year)	Unav. Time	2m26,02s	1m49,9s
Total Performance (Worst Month)	Unav. Time	1m34,47s	1m13,84s

Figure 4.15. Le bilan de liaison du lien reconfiguré.

RSL = -38.91 dBm, fade margin = 30.59dBm, disponibilité = 2m26.02s

Les résultats de bilan de liaison sont des bonnes valeurs.



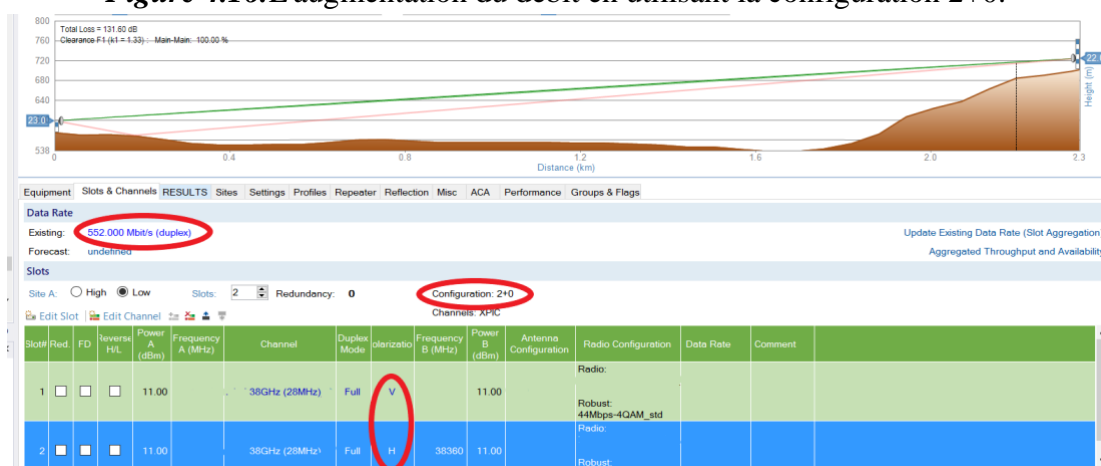
# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

## 4.5.2 Hard upgrade (Modernisation physique)

Le hard upgrade se réfère à l'amélioration matérielle ou physique d'un système existant. Il implique des modifications au niveau du matériel ou des composants physiques pour améliorer les performances ou la capacité du système.

Dans notre cas, l'objectif principal de cette modernisation est d'augmenter le débit du lien d'agrégation pour répondre à la demande croissante de bande passante. En passant d'une configuration 1+0 à une configuration 2+0, ce qui signifie l'utilisation de deux porteuses, nous pourrons utiliser simultanément deux équipements ou un équipement de 3ème génération. Cela permettra une répartition équilibrée du trafic et une augmentation significative du débit.

Figure 4.16. L'augmentation du débit en utilisant la configuration 2+0.



D'après le bilan de liaison, nous avons obtenu les résultats suivants :

RSL = -42,2 dBm, fade margin = 32,30 dBm, et disponibilité = 12m10, 42s. Ces indicateurs de performance (KPI) affichent de bonnes valeurs, ce qui indique que nous avons atteint notre objectif principal.

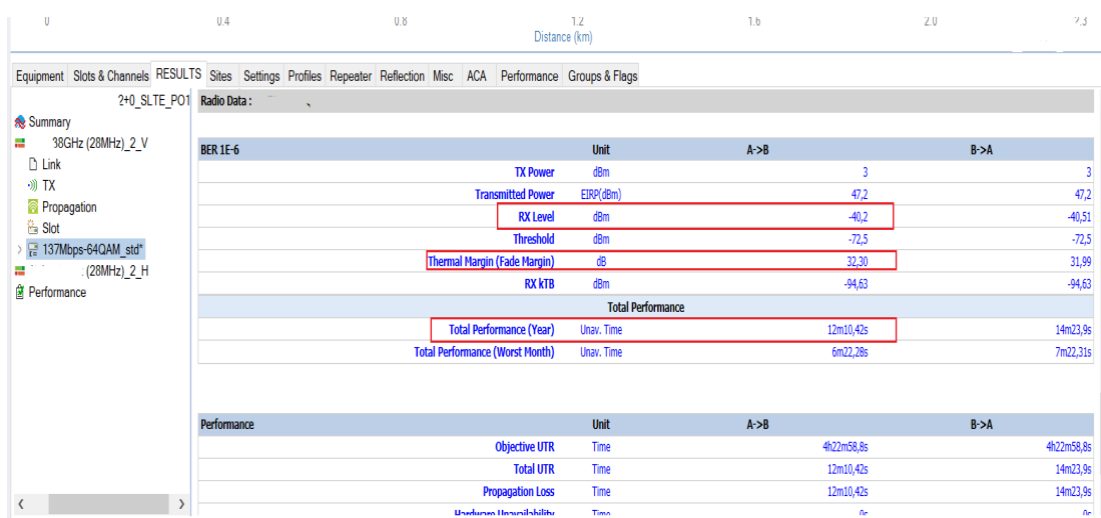


Figure 4.17. Bilan de liaison du lien reconfiguré.

## 4.6 Cas de la bande E

# Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

Dans le cadre de l'amélioration des performances de notre réseau de télécommunications, nous avons prévu de moderniser notre lien micro-ondes en utilisant la bande E. L'objectif principal de cette modernisation est d'augmenter le débit de transmission des données.

Pour cela, nous procéderons à l'acquisition des équipements nécessaires à la mise en œuvre de la bande E, notamment les radios qui seront intégrées avec des antennes FULL OUTDOOR. Les antennes de la bande E ont des diamètres variant de 0,2 à 0,6 mètres, adaptés aux distances de 3,5 km.

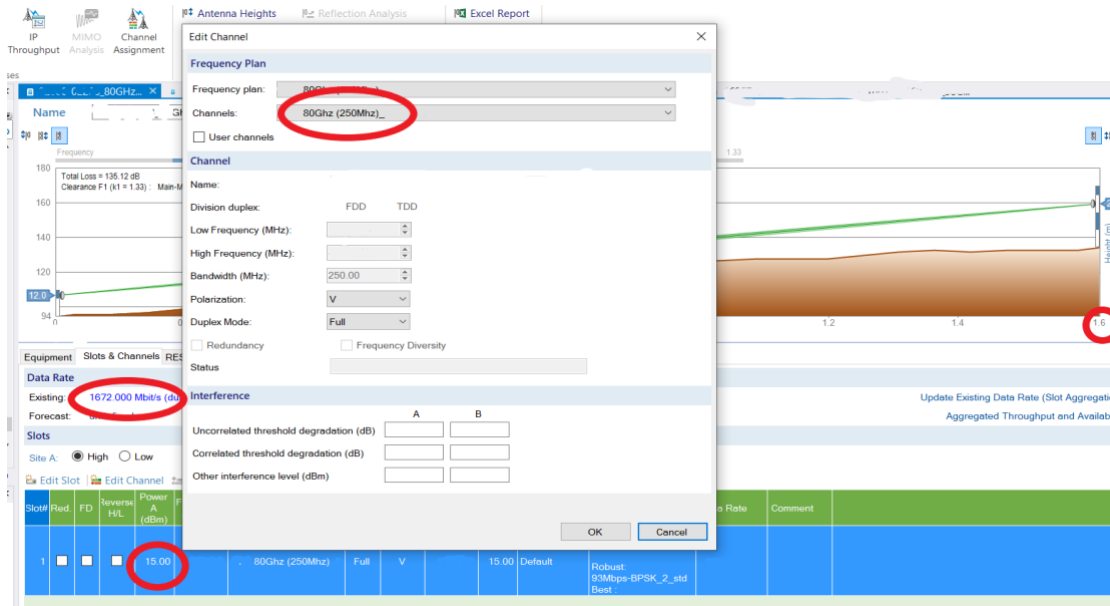


Figure 4.18. Le choix des équipements et du CS.

Ala fin nous remarquons l'augmentation de débit jusqu'à 1.6 GB sans vérification des KPIs.

## 4.7 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a été consacré à l'amélioration de la capacité et des performances d'un réseau de télécommunications en résolvant le problème de capacité entre les sites X1 et X2 dans la wilaya de Jijel. Nous avons adopté une approche méthodique en utilisant le simulateur Ellipse pour planifier, optimiser et moderniser le lien micro-ondes.

Dans un premier temps, nous avons planifié le lien en prenant en compte les exigences de trafic et en assurant une capacité de 200 Mb/s. Cela nous a permis de garantir un niveau de service adéquat pour les utilisateurs.

Ensuite, nous avons cherché à optimiser le lien afin d'augmenter son débit de transmission.

Nous avons utilisé différentes techniques telles que le changement de modulation,

l'ajustement de la largeur du canal et l'optimisation de la puissance d'émission pour atteindre

un débit plus élevé. De plus, nous avons effectué une modernisation matérielle (hard upgrade)



## Chapitre 4 Simulation des résultats et discussion

---

en passant à une configuration 2+0 pour permettre une répartition équilibrée du trafic et une augmentation significative du débit.

Enfin, nous avons exploré une autre solution en utilisant la bande E pour la modernisation d'un autre lien. Cette approche a permis d'augmenter davantage la capacité du lien et d'améliorer la qualité de service offerte aux utilisateurs. Les antennes Full Outdoor intégrées aux radios de la bande E ont été utilisées pour garantir une performance optimale sur des distances spécifiques.

Dans l'ensemble, ces différentes étapes de planification, d'optimisation et de modernisation ont abouti à des résultats satisfaisants. Les KPIs tels que le niveau de signal reçu (RSL), la marge d'évanouissement (fade margin) et la disponibilité ont montré des valeurs prometteuses, confirmant ainsi l'amélioration de la capacité et de la qualité de service du réseau.

En conclusion, cette approche de modernisation a permis d'augmenter la capacité du lien, de répondre aux besoins croissants en bande passante et d'offrir une expérience utilisateur améliorée. Elle a également démontré l'importance de l'utilisation de simulateurs et de techniques d'optimisation pour garantir des performances optimales dans les réseaux de télécommunications. Ces résultats positifs encouragent à poursuivre les efforts d'innovation et de modernisation pour répondre aux demandes croissantes de connectivité haute débit.

## Conclusion générale

En conclusion, ce projet de PFE a porté sur l'optimisation d'un système de transmission par faisceau hertzien (FH) utilisant des micro-ondes dans le but d'augmenter le débit de transmission. Nous avons examiné les défis associés à la transmission par faisceau hertzien et identifié des stratégies d'optimisation pour améliorer les performances du système.

Au cours de notre recherche qui est réalisé au sein de l'entreprise de télécommunications ERICSSON, vise à résoudre un problème dans la wilaya de JIJEL de point de vue débit basant sur des topologies point à point. Une fois terminé, nous résolvons ce problème en utilisant un outil de simulation «Ellipse».

Afin d'atteindre ce résultat, nous avons commencé par des généralités sur les micro-ondes.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudié les différents éléments du système de transmission par faisceau hertzien, tels que les antennes paraboliques, les émetteurs-récepteurs, les canaux de transmission et les protocoles de modulation. Nous avons également considéré les contraintes environnementales telles que les obstacles physiques et les conditions météorologiques, afin de garantir une transmission fiable et efficace.

Par la suite, dans le troisième chapitre, nous avons cité des techniques d'optimisation pour ajuster les paramètres du système tels que la puissance d'émission, les fréquences, l'espacement canal, la modulation, les équipements. nous avons cherché à optimiser ces composants pour maximiser la capacité de transmission et améliorer le débit

A la fin, et à travers des simulations et des expérimentations, nous avons évalué les performances du système avant et après l'optimisation. Les résultats ont démontré une amélioration significative du débit de transmission grâce à notre approche d'optimisation du système de transmission par faisceau hertzien.

Ce projet de recherche ouvre la voie à de nouvelles opportunités pour l'optimisation des systèmes de transmission par faisceau hertzien afin d'augmenter le débit. Les résultats obtenus fournissent des bases solides pour améliorer les performances des réseaux de communication utilisant cette technologie, ce qui est essentiel pour répondre à la demande croissante en matière de communication à haut débit.

Cette étude a été une opportunité pour approfondir nos connaissances dans le domaine des télécommunications et de la transmission hertzienne. Nous avons pu découvrir le domaine professionnel de la télécommunication et nous familiariser avec le logiciel de simulation et de planification Ellipse. Grâce à cette expérience, nous avons pu analyser l'un des problèmes actuels auxquels les opérateurs mobiles sont confrontés et contribuer à la recherche de solutions visant à améliorer la qualité de service des réseaux et optimiser leurs infrastructures et offrir

## Conclusion générale

---

des services de communication plus performants à leurs utilisateurs. Cette étude nous a ainsi permis d'apporter notre contribution dans l'effort d'amélioration de la transmission et de répondre aux besoins croissants des utilisateurs en matière de télécommunications.

En conclusion, ce projet a permis de mettre en évidence l'importance de l'optimisation du système de transmission par faisceau hertzien pour augmenter le débit de transmission. Les résultats obtenus offrent des perspectives prometteuses pour améliorer les performances des systèmes de transmission par micro-ondes utilisant cette technologie, offrant ainsi des solutions plus rapides et plus efficaces pour les besoins croissants en matière de communication à haut débit.

- [1] Arnaud BOURNEL : 'Systèmes de télécommunication/ partie I : Introduction et circuits télécom', 2002/2003.
- [2] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-nombre-onde-4544>.
- [3] [https://www.memoireonline.com/07/09/2367/m\\_Gestion-du-spectre-de-frequence-et-implementation-des-reseaux-de-telecommunications-cas-dun-res7.html](https://www.memoireonline.com/07/09/2367/m_Gestion-du-spectre-de-frequence-et-implementation-des-reseaux-de-telecommunications-cas-dun-res7.html).
- [4] [https://www.magoie.net/cours\\_system\\_telecom.pdf](https://www.magoie.net/cours_system_telecom.pdf)
- [5] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_optique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique)
- [6] [http://deptinfo.cnam.fr/Enseignement/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les\\_multiplexages.htm](http://deptinfo.cnam.fr/Enseignement/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les_multiplexages.htm)
- [7] [http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/multimedia/node63\\_ct.html](http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/multimedia/node63_ct.html)
- [8] ZIMMER Baptiste : 'Installation et mise en service Faisceau hertzien ALCATEL 9400UX'IUT Nancy Brabois. [http://www.theotech.sitew.com/fs/Root/cf18g-FAISCEAU\\_HERTZIEN.pdf](http://www.theotech.sitew.com/fs/Root/cf18g-FAISCEAU_HERTZIEN.pdf)
- [9] Stéphane Lohier et Dominique Présent : 'Réseaux et transmission', Edition DUNOD , 2016.
- [10] L. Goleniewski et K. Wilson Jarrett : 'Telecommunications Essentials'
- [11] L.Reynier : 'Liaisons hertziennes 1', 'Liaisons hertziennes 2', 'Liaisons hertziennes 3'.
- [12] Louis Reynier : 'Radiocommunication : Liaisons hertziennes, antennes, équipement, cours, études de systèmes', Editeur Ellipses Marketing, juin 2014.
- [13] : ZITOUNI Ahmed, 'Polycopié de Cours Antennes', UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF, 2018.
- [14] D. LEKKAM et M.BOUARABA, 'Etude de canal de transmission pour les liaisons FHN et satellitaire exploitées dans les réseaux mobiles cas : OTA (DJEZZY) ', mémoire de master en réseaux et télécommunications, UMMTO, 2013.
- [15] L.REYNIER, 'Bilan de liaison hertzienne', cours inédit G3 Radio transmission ISTA/GOMA, 2013-2014.
- [16] BENMOUSSA Rochdi, ' Etude et planification des liaisons de transmission par FH PDH ', mémoire d'ingénieur d'état en « automatique », Ecole MILITAIRE POLYTECHNIQUE, 11/02/2006.
- [17] Modulation d'amplitude en quadrature (MAQ - QAM) - Claude Giménès
- [18] NESIC CAIRO, International Training Center, PASOLINK NEO Training
- [19] 'Microwave Technology Evolution for 4.5G', HUAWEI report 12-2016.
- [20] Documentation interne d'ERICSSON.