الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGN EMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
U NIVERSITE D R. Y AHIA FARES DE M EDEA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Projet de synthèse

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Spécialité* : *système des télécommunications

THEME

Compression d'en-tête IP pour une transmission micro-ondes optimisée

Présenté par :
- HABES MOHAMED Lamine
- MEDJEBER Foudhil

Encadré par :
- KHEDDAR Hamza

Année Universitaire **2017-2018**

Dédicaces

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

A celle qui a tout donné, tout sacrifié, a la lumière de ma vie,

La femme de mon cœur, " ma mère ".

A celui qui m'a toujours disponible pour nous, et prêt à nous aider,

A l'homme qui à toujours souhaité me voir à la hauteur, " mon père ".

A mes frères et toute la famille

A Akram, Amel

A toute la famille **HABES** et **MATMOURA** sans exception

A mes chers amis Issam, Mehdi, Sidahmed, Yousef, Ayoub, Fares,

Hsino, Mohamed, et tous mes amis.

A mes très chers collègues et toute la promotion 2018.

A la fin je salue mes salutation avec fierté à mon cher ami et

Mon binôme ***MEDJEBER*** *Foudhil*

Med lamine

Dédicaces

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

A celle qui a tout donné, tout sacrifié, a la lumière de ma vie,

La femme de mon cœur, " ma mère ".

A celui qui m'a toujours disponible pour nous, et prêt à nous aider,

A l'homme qui toujours souhaité me voir à la hauteur, " mon père ".

A ma femme et mes chers enfants.

A toute la famille MEDJBER

A tous mes amis.

A mes très chers collègues et toute la promotion 2018.

A la fin je salue mes salutation avec fierté à mon cher ami et

Mon binôme ***HABES Med Lamine***

Remerciement

Tout d'abord nous remercions Dieu pour nous avoir guidés vers le chemin de la lumière et du savoir, pour nous avoir donné le courage et la volonté afin de pouvoir réaliser ce travaille, On tient à remercier nos chers parents qui nous ont soutenus.

On remercie aussi vivement notre encadreur Mr. KHEDDAR Hamza Pour la confiance qu'il nous a témoignée, pour son aide précieux et Les conseils formateurs qu'il nous a prodigués afin d'améliorer notre Mémoires.

Nous tiens de remercier tout particulièrement Monsieur BENADJAOUD Abid Access Network Transmission Manager qui a bien voulu m'accueillir e au sein du département transmission et s'est montré très disponible pour répondre à mes questions.

Nous tenons également à remercier les membres du jury, pour l'honneur
Qu'ils nous ont accordé, en acceptant de juger notre travail.

Nous remercions aussi les enseignants du génie électrique.

Nous profonds remerciements vont également à toutes les

Personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin

Pour l'achèvement de ce projet trouvent ici l'expression

De notre vive et sincère reconnaissance, en particulier nos familles et nos

amis.

TABLE DES MATIERES

Table des matières……..….I

Liste des Figures……....IV

Liste des tableaux…….…....….V

Liste des Abréviations……...VI

INTRODUCTION GENERALE…….....1

CHAPITRE I: Les générations de système mobile

Introduction

I.1.La communication sans-fils…….....3

I.2.Les applications des systèmes de télécommunication……..…4

I.3.Les générations de système mobile…….....5

I.3.1.La première génération de systèmes cellulaires (1G)…….....5

I.3.2.La deuxième génération de système cellulaire (GSM) ……..……....6

I.3.2.1.La technique d'accès du Réseau GSM…….....6

I.3.2.2 L'architecture du réseau 2G…….....7

I.3.2.3.Les équipements d'un réseau GSM…….....7

I.3.3.La Troisièmes génération de système cellulaire (UMTS)……...8

I.3.3.1. La technique d'accès du Réseau UMTS…….....9

I.3.3.2.Architecture de l'UMTS…….....9

I.3.3.3. Les équipements du réseau UMTS……..…....10

I.3.4.La Quatrième génération de système cellulaire LTE…….....11

I.3.4.1. La technique d'accès du Réseau LTE……..…….....11

I.3.4.2. Architecture générale du réseau 4G……..…….....12

I.3.4.3. Les Equipements du Réseau LTE ….....13

I.4. Comparaison entre les générations des réseaux mobiles…….....15

I.5. L'évolution du débit : de la 1G à la 4G+…….....15

Conclusion ……..…….....16

CHAPITRE II : lien de transmission hertzienne

Introduction 18

II.1.Transmission Hertzienne.....18

II.1.1.La ligne de vue (LOS) line-of-sight.....19

II.1.2.La zone de Fresnel.....20

II.1.3.La première Zone de Fresnel.....19

II.1.4. Bilan de liaison.....21

II.1.5.Contrôle automatique de la puissance d'émission.....23

II.2.Configuration des liens Hertziennes.....24

II.2.1.IDU (Indoor unit) 24

II.2.2.ODU (outdoor unit).....24

II.2.3.Antenne.....25

II.2.4.Types de configuration.....26

II.2.4.1.Configuration 1+0.....26

II.2.4.2.Configuration1+1 (HSB) Hot standby.....26

II.2.4.3.Configuration SD.....27

II.2.4.4.Configuration XPIC.....28

II.3.Etude et Simulation avec logiciel Pathloss.....28

II.3.1.Coordonées des Sites 29

II.3.2.Introduction et présentation du logiciel pathloss4.0.....29

II.3.3.Module et fonctions (Résumé).....30

II.3.4.Module de données du Terrain.....30

II.3.5.Simulation de la liaison A42X020 vers A42M162 avec pathloss4.0.....31

II.3.5.1.Introduire les coordonnées GPS.....31

II.3.5.2.Génération du profil de la liaison.....31
II.3.5.3.Dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel.....32
II.3.5.4.Etablir le bilan de la liaison avec pathloss 4.0.....33
II.3.6.Vérification du lien en réalité 34
II.3.6.1.Station de supervisionU2000.....35
II.3.6.2.Vérification de l'A42X020-A42M162. *Par la station* U2000.....35
II.3.6.3.Comparaison des résultats (U2000 et Pathloss).....36
Conclusion
CHAPITRE III : Capacité des liaisons de transmission hertzienne
Introduction
III.1.Augmentation de la capacité des liens de transmission.....38
III.1.1. Modernisation matérielle.....38
III.1.2. Modernisation software.....38
III.1.2.1.Augmentation de la bande passante.....38
III.1.2.2.Augmentation de la modulation.....39
III.1.2.3 Modulation adaptative.....41
III.2.Compression de l'entête.....42
III.2.1.Efficacité spectrale.....42
III.2.2.Choisir un modèle de trafic réseau.....43
III.2.2.1. Le modèle de trafic 1(Voice-Intensive).....43
III.2.2.2. Modèle de trafic 2(données intensivités).....44
III.2.2.3. Mécanisme de compression d'en-tête.....44
III.3. Etude réelle de compression de l'entête.....46
III.4. L'utilisation globale des techniques d'augmentation de capacité....47
Conclusion 49

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Terminaux de la première Génération…….....5

Figure I.2 : Technique d'accès FDMA…….6

Figure I.3 : Méthode d'accès TDMA…….…..6

Figure I.4 : Architecture du réseau GSM…….....8

Figure I.5 : Méthode d'accès CDMA…….....9

Figure I.6 : Architecture de l'UMTS…….....11

Figure I.7 : Méthode d'accès OFDMA.....12

Figure I.8 : Architecture générale du réseau 4G.....13

Figure I.9 : Comparaison entre les générations des réseaux mobiles.....15

Figure II.1 : Propagation des ondes radio.....19

Figure II.2 : LOS Radio et LOS optique.....20

Figure II.3 : le Rayon de La première Zone de Fresnel.....21

Figure II.4 : Bilan de liaison faisceau hertzien.....23

Figure II.5 : Contrôle automatique de la puissance d'émission.....24

Figure II.6 : Demi-lien d'une liaison Hertzienne.....25

Figure II.7 : Configuration1+1.....26

Figure II.8 : Configuration1+1.....27

Figure II.9 : Coupleur…….....27

Figure II.10 : Configuration SD…….….27

Figure II.11 : Configuration XPIC.....28

Figure II.12 : Table d'entrée Pathloss.....30

Figure II.13 : Donnée de terrain de la liaison A42X020-A42M162.....31

Figure II.14 : Vue du profile.....32

Figure II.15 : Profil de dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel de la liaison.....33

Figure II.16 : Feuille de travail sur pathloss4.0.....34

Figure II.17 : Feuille de travail résume le bilan de liaison.....34

Figure II.18 : Vue générale des liens intégrés.....35

Figure II.19 : Vérification de la puissance d'émission et de réception.....35

FigureIII.1 : Capacité avec bande passante de 14 MHz.....38

Figure III.2 : Capacité avec bande passante de 28 MHz.....39

Figure III.3 : Bilan de liaison avec une modulation 32 QAM.....40

Figure III.4 : Bilan de liaison avec une modulation 1024 QAM.....41

Figure III.5 : Variation automatique de la modulation en fonction du climat.....42

Figure III.6 : Gain de capacité après la compression de l'entête.....47

Figure III.7 : Augmentation globale de la capacité.....48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : L'évolution du réseau mobile de la 1G à la 4G.....16

Tableau II.1 : Coordonnées GPS des sites.....29

Tableau II.2 : Tableau de comparaison du ($P_{e/}$ RSL) entre Pathloss et U2000.....36

Tableau III.1 : Gain de compression en fonction de la taille de trame (frame).....45

Tableau III.2 : Gain de capacité -3GPP trafic model 1.....46

Tableau III.3 : Gain de capacité -3GPP trafic model 2.....46

LISTE DES ABREVIATIONS

2G : deuxième génération

3G : troisième génération

4G : quatrième génération

AUC : AUthentification **C**entre

BTS : Base **T**ransceiver **S**tation

BSC : Base **S**tation **C**ontroller

BSS :

CDMA : Code **D**ivision **M**utiple **A**ccess

EIR : Equipement **I**dentity **R**egister

EPS : Evolved **P**acket **C**ore

FDMA : Frequency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

GSM : Globale **S**ystem for **M**obile communication

GMSC : Gateway **MSC**

GGSN : Gateway **GPRS S**upport **N**ode

HLR : Home **L**ocation **R**egister

HSS : Home **S**uscriber **S**ervice

IP : Internet **P**rotocol

LTE : Long **T**erm **E**volution

MSC : Mobile **S**witching **C**entre

MME : Mobility **M**anagement **E**ntity

NSS : Network **S**ub-**S**ystem

OSS : Opération **S**ub-**S**ystem

OFDMA : Orthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

PDN-GW : Packet **D**ata **N**etwork **G**ateway

P-GW : Packet **G**ateway

RSS : Radio **S**ub-**S**ystem

RNC : Radio **C**ontroller **N**etwork

SGSN : Serving **GPRS S**upport **N**ode

SGW : Service **G**ateway

TDMA : Time **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

UMTS : Universal **M**obile **T**élécommunication **S**ystem

UTRAN : Terratial **R**adio **A**ccess **N**etwork

VLR : Visitor **L**ocation **R**egister

W-CDMA : Wideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess

LOS : Ligne-**O**f-**S**ight

FSL : Free-**S**pace **l**oss

IDU : InDoor Unit

ODU : OutDoor Unit

MDU : Modulator, **D**émodulator **U**nit

HSB : Hot **S**tand**B**y

SRTM : Shuttle **R**adar **T**opography **M**ission

E2E : End to **E**nd

ICMP : Internet **C**ontrol **M**essage **P**rotocol

ملخص

الغرض من هذا المشروع هو دراسة شبكات الاتصالات المتنقلة وتطويرها بالإضافة إلى حلول جديدة في مجال الإرسال .

الكلمات المفتاحية : الخدمة بشكل مستقل ، الموقع الجغرافي ، التغطية ، القدرة ، الشبكة الخلوية

الكلمات المفتاحية:

Résumé

Le but de ce projet est l'étude des réseaux de télécommunication mobiles et sont développement ainsi que les nouveaux solutions à déployés dans le domaine de transmission pour l'augmentation de capacité.

Mots clés :

Transmission, performance, Bande passante, capacité, modulation, l'entête, compression.

Abstract

The purpose of this project is a general telecommunication mobile study and its development introducing a new transmission increase capacity solutions.

Keywords:

Transmission, performance, bandwidth, capacity, modulation, header, compression.

Introduction générale

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus présents Dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive De câbles.

Le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroitre, plusieurs Génération ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G) et ont connues une évolution Remarquable, en apportant un débit exceptionnel qui ne cesse d'augmenter, Une bande passante de plus en plus large, font aujourd'hui partie de notre quotidien et sont devenus indispensables pour la majorité des habitants d'une nation, aussi bien pour leur vie professionnelle que privée. Les exemples d'applications sont multiples : téléphones cellulaires, liaisons satellitaires, liaisons hertziennes, réseaux locaux, capacité des liaisons de transmission hertzienne.

Pour atteindre cet objectif nous avons divisé notre travail comme suivant :

Le premier chapitre, nous apprenons l'évolution des réseaux mobiles et de leurs véhicules et leurs applications dans plusieurs domaines.

Le deuxième chapitre, étude et simulation avec logiciel Pthloss.

Le troisième chapitre, utilisant les méthodes pour augmenter la capacité de lien de transmission hertzienne.

CHAPITRE I

Les générations des réseaux mobiles

Introduction

Depuis quelques années, de nombreuses évolutions réalisées dans les environnements mobiles et les réseaux sans fil suscitent un intérêt croissant pour l'informatique mobile. L'exploitation de ces nouveaux terminaux introduit de nouvelles problématiques et crée de nouveaux besoins. Ils permettent à des usagers (éventuellement mobiles) d'avoir accès à des services indépendamment de leurs positions physiques. Dans cette nouvelle vision, une grande variété de services sera offerte non seulement au grand public mais aussi aux personnes dépendantes, comme les personnes âgées, handicapées, etc. Ces services sont proposés par deux acteurs : les opérateurs réseau et les fournisseurs services.

L'accessibilité totale en toute mobilité à des services de plus en plus consommateurs en ressour ces réseau et en traitements interactifs et temps réels, nécessitent des solutions et des supports technologiques pour gérer les multiples modes d'accès de transport et les contrôles spécifiques à chaque service ou application, comme le service temps réel et le transport faible de données, la vidéo conférence ou le transfert de flux vidéo temps réel comportement transactionnel, paiement, etc.

I.1. La communication sans-fils

Depuis peu, les systèmes de communication sans-fil offrent aux utilisateurs la possibilité de profiter des joies des télécommunications quelle que soit leur localisation géographique. Pourtant, la communication sans-fil est presque aussi vieille que la communication filaire.

En 1887, Heinrich Hertz vérifie par l'expérience les théories de Maxwell. Ces dernières, établies de façon mathématique par James Maxwell, nous disent que toute perturbation électrique donne naissance à des oscillations électromagnétiques. Ces oscillations seront amenées à être connues sous le nom d'ondes hertziennes. En 1890, Edouard Branly découvre le premier récepteur sensible aux ondes hertziennes. A partir des travaux de Branly, l'italien Gugliemo Marconi invente le premier appareil de télégraphie sans-fil en 1895,puis, Marconi.

Va de succès en succès en augmentant les distances de transmission pour atteindre, en 1903, la transmission complète d'un message sur une distance de 3400 km. Jusqu'à la fin des années 1980, la technologie sans-fil a surtout été utilisée dans le cadre de la radio, de la télévision ou des communications réservées à d'importants organismes comme l'armée. L'arrivée des téléphones cellulaires GSM (Global System for Mobile communication) a offert à tous la possibilité de communiquer de n'importe où, avec n'importe qui. Cependant, un tel

dispositif nécessite le déploiement d'une infrastructure coûteuse devant assurer le relais entre les téléphones portables et le réseau téléphonique filaire.

I.2. Les applications des systèmes de télécommunication

Les applications des systèmes de télécommunications englobent :

- **Voix et son :** Le transport de la voix par téléphonie fut la première avancée des télécommunications juste après le premier télégraphe.Le téléphone est l'appareil qui sert à tenir une conversation bidirectionnelle avec une personne lointaine, il est utilisé à titre privé pour garder le contact.
- **Image et vidéo:** La transmission d'images fixes par ligne téléphonique remonte au bélinographe, est toujours utilisée sous le nom abrégé de fax comme échange de pages photocopiées, documents commerciaux ou techniques. Le radio facsimilé qui permet de transmettre des images par radio est utilisé surtout pour la diffusion de cartes météo, soit directement depuis les satellites d'observation soit retransmises vers les navires ou les terrains d'aviation.
- **Texte et données** :Le télégraphe est l'ancêtre des transmissions de données et la première application des télécommunications : transmettre des caractères, donc un message, par signaux optiques, puis sur une ligne puis par ondes radio (radiotélégraphie). Le télétype puis le radio télétype l'ont automatisé.

I.3. Les générations de système mobile

I.3.1. La première génération de systèmes cellulaires (1G)

Le concept cellulaire provient des réseaux de première génération mis en service au début des années 1980 ; Reposait sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 :

- le microprocesseur
- le transport numérique des données

On trouve dans la (figure I.1) Ci-dessous quelques modèles des terminaux appartient à la première génération [1].



Figure I.1 *Terminaux de la première Génération.*

Les inconvénients de cette technologie sont :

- Les appareils utilisés étaient particulièrement volumineux.
- Chaque utilisateur se trouvant dans la zone de couverture avait une bande de fréquence allouée à son téléphone basé sur la technique d'accès FDMA (figure I.2), sans possibilité de se déplacer d'une cellule vers une autre (technique du handover).

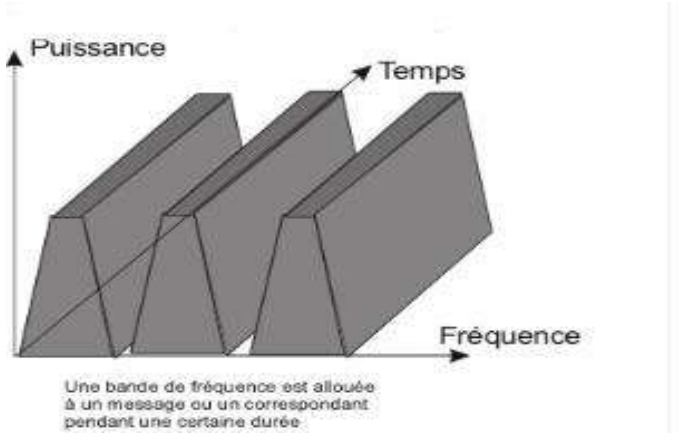


Figure I.2 *Technique d'accès FDMA.*

I.3.2. La deuxième génération de système cellulaire (GSM)

Dans les années 90 avec l'apparition du GSM (Global System for Mobile communications), La seconde génération (notée 2G) a marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique (1G) vers le numérique. Ayant un débit maximal de 9600 bits/s, fonctionne avec un mode commutation par circuit (temporel) [2].

I.3.2.1. La Technique d'accès du Réseau GSM

Le Réseau GSM est basé sur la technique d'accès ***TDMA (Time Division Multiple Access)*** (figure I.3), par cette technique, une même bande de fréquences est partagée par un certain nombre d'utilisateurs qui se voient attribués un intervalle (appelé *slot ou IT*) de temps unique.

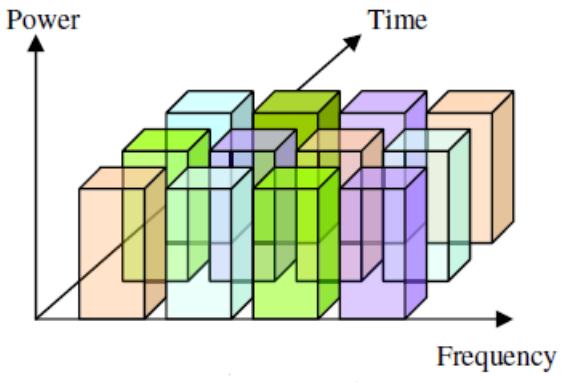


Figure I.3 *Méthode d'accès TDMA.*

L'ensemble des IT mis ensemble forment une trame. Dans le cas de la norme européenne GSM, chaque canal de 200 kHz est divisé en huit tranches de temps de 0; 577 [ms] chacun, ces systèmes permettent d'avoir, dans des conditions réelles d'utilisation, une capacité en termes de nombre d'utilisateurs8 fois supérieure à celle des systèmes qui se basent sur le FDMA.

I.3.2.2. L'architecture du réseau 2G

Le réseau GSM est composé de trois sous-Systèmes:

- **Sous système radio « Radio Sub-system »** : Il assure et gère les transmissions radios ·
- **Sous système Réseau « NSS Network Sub System » :** Il comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour appels et gestion de la mobilité.
- Sous-système d'exploitation et de maintenance « OSS Opération Sub-System) qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau [2].

I.3.2.3. Les équipements d'un réseau GSM

- BTS (Base Transceiver Station): ensemble d'émetteurs-récepteurs gérant la transmission radio pour assurer la couverture du réseau.

- BSC (Base Station Controller) : commutateur gérant la ressource radio (allocation canal radio, décision du hand-over).
- MSC (Mobile Switching Centre) : centre de commutation de mobile assure la commutation dans le réseau.
- HLR (Home Location Register) : base de données contenant le profil et la localisation grossière des abonnés, en général couplé avec l'AuC, Authentication Center.
- VLR (Visitor Location Register) : enregistrement de localisation pour visiteur contenant une base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.
- Le GMSC (Gateway MSC) : est un commutateur connecté directement aux réseaux externes en mode circuit.Toutes les communications entrantes et sortantes, en mode circuit, passent nécessairement par un GMSC.
- EIR (Equipment IdentityRegister) : base de données des terminaux (liste noire ou blanche).
- AUC : Authentification Center, centre d'authentification Assure l'authentification des terminaux du réseau.

  On peut résumer l'architecture et les équipements appartiennent au Réseau GSM dans la Figure Ci-dessous :

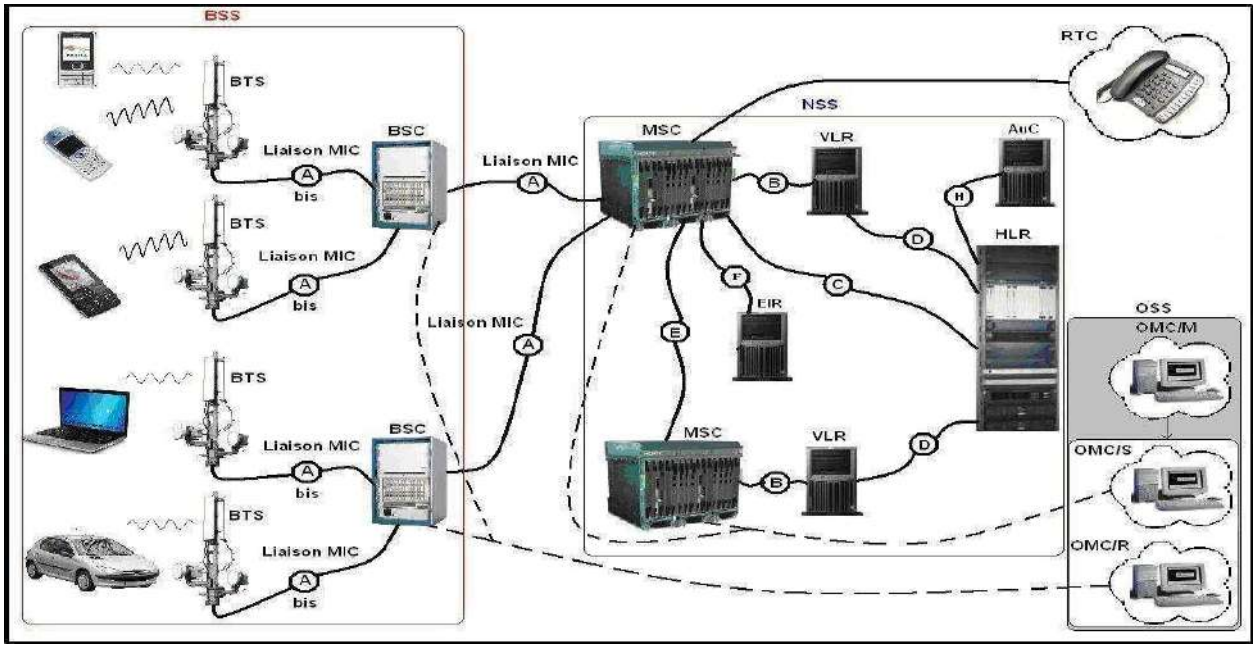


Figure I.4 *Architecture du réseau GSM.*

I.3.3. La Troisièmes génération de système cellulaire (UMTS)

La principale norme 3G utilisée en Europe s'appelle UMTS(Universal Mobile Télécommunications System), Utilisant un codage W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) [8].La technologie UMTS utilise la bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 384 kbps à 2 Mbps. La WCDMA réside dans l'utilisation de technique d'étalement de spectre dont les avantages :

- Tous les utilisateurs utilisent la totalité de la bande passante.
- Ils sont différentiés grâce à des codes individuels [3].

I.3.3.1. La Technique d'accès du Réseau UMTS

Le principe de base est celui de l'étalement de spectre. Le multiplexage par répartition de codes (Code Division Multiple Access) ne nécessite ni une allocation fixe des fréquences comme en FDMA, ni un séquence ment strict comme en TDMA (figure I.5).

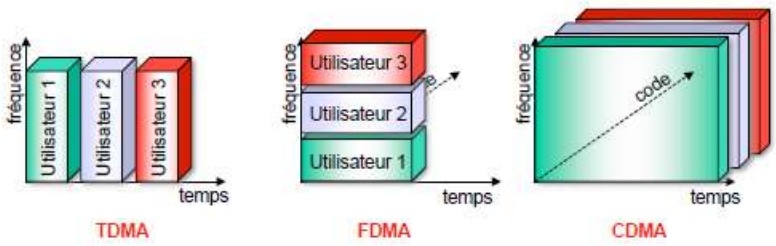


Figure I.5 *Méthode d'accès CDMA.*

Pour comprendre le mécanisme de multiplexage par répartition de code prenons l'analogie suivante: imaginons qu'un homme et une femme parlent en même temps. Ils occupent à peu près la même bande de fréquences et la même fenêtre temporelle. Néanmoins, il est possible d'identifier les 2 voix, malgré l'entremêlement des spectres, elles ont des caractéristiques différentes et donc de séparer les 2 signaux vocaux. La difficulté consiste à trouver des méthodes qui génèrent des signaux aisément différenciables. Techniquement, cela se fait au moyen de codes comme il est déjà illustré dans la (figure I.5). Le facteur limitatif le plus important est celui des inter-corrélations entre les utilisateurs l'ors qu'ils recourent à des codes distincts [6].

I.3.3.2. Architecture de l'UMTS

Le réseau UMTS est composé de trois sous-Systèmes

- **Sous système radio « Radio Sub-system »** : il est représenté par UTRAN, UMTS terrastial Radio Access Network : Il support toutes les fonctionnalités radio.
- **Sous système Réseau « NSS Network Sub System » :** il correspond au réseau cœur qui est responsable de la communication et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.
- Sous système d'exploitation et de maintenance « OSS Opération Sub-System) qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau [3].

I.3.3.3. Les équipements du réseau UMTS

- **Node B** :La principale fonction du Node B (*Ou Station De Base*) est de gérer la couche physique de l'interface air, le Node B supporte également quelques fonctions de gestion des ressources radio comme le contrôle de puissance en boucle fermée .le Node B est l'équivalent de la BTS *(Base Transmitter Station)*en GSM, convertit le flux de données entre les interfaces lub et Uu et participe à la gestion des ressources radio.

- **RNC** : (radio controller network) C'est l'élément de réseau en charge du contrôle des ressources radio de l'UTRAN. Il s'interface avec le réseau cœur, généralement à un MSC et à un SGSN et il gère le protocole RRC (radio resourse control) qui définit les messages et les procédures entre le mobile et l'UTRAN .Le RNC est l'équivalent du BSC (base station controller) en GSM.

- **HLR** (home location register) est la base de données de référence qui gère l'ensemble des abonnés et leurs profils, le HLR stocke également des données de localisation de l'abonné en termes de zone MSC/VLR et/ou de zone SGSN, c'est-à-dire à un niveau que l'on pourrait qualifier de macroscopique.

- **MSC/VLR (mobile switching centre /visitor location register)** correspond au commutateur (MSC) et à la base de données (VLR) qui fournissent des services circuits à un terminal utilisateur présent dans leurs zone .le MSC permet la commutation des connexions circuit alors que le VLR contient une copie du profils de l'abonné et certaines informations plus précisés relatives à la localisation de l'abonné. il est courant d'appeler « domaine circuit », la partie du réseau gérée par le MSC/VLR.

- **GMSC (Gateway MSC)** est un commutateur connecté directement aux réseaux externes en mode circuit .toutes les communications entrantes et sortantes, en mode circuit, passent nécessairement par un GMSC.

- **SGSN (Serving GPRS Support Node)** possède des fonctionnalités similaires au MSC/VLR mais est utilisé pour les communications paquets. la partie du réseau gérée par le SGSN est couramment appelée « domaine paquet ».
- **GGSN (Gatway GPRS Support Node)** sont très proches de celles du GMSC, mais le GGSN fait partie du domaine paquet et non circuit. Il ne traite donc que des connexions en mode paquet [3].

Pour comprendre bien l'architecture de L'UMTS ci-dessous la figure I.6 démontre l'interconnexion entre les déférents équipements [4].

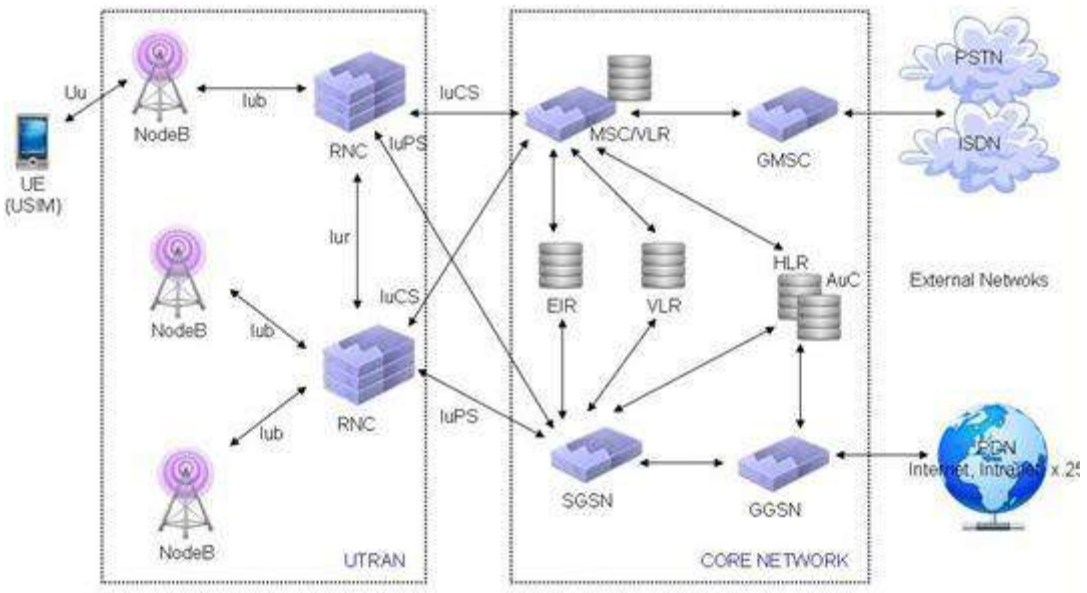


Figure I.6: *Architecture de l'UMTS.*

I.3.4. La Quatrième génération de système cellulaire LTE

Le LTE (Long Term Evolution) fait partie des normes UMTS, mais comprend de nombreuses modifications et améliorations, notamment :

- Elles peuvent supporter des débits allant de 10 Mbit/s (catégorie 1), jusqu'au débit maximal prévu par la norme LTE (100 Mbit/s pour la catégorie 5).
- Tous les terminaux LTE doivent être compatibles avec les largeurs de bande de fréquences allant de 1,4 à 20 MHz [5].

I.3.4.1. La Technique d'accès du Réseau LTE

Le LTE est basé sur des techniques d'accès OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), c'est une technique de Multiplexage d'Accès par porteuses orthogonales, elle fait partie de la famille FDMA, Chaque opérateur dispose d'une bande de fréquence laquelle doit être utilisée à bon escient pour couvrir un ensemble d'utilisateur.

Le FDMA consiste à allouer des bandes de fréquences à différents utilisateurs, à l'image de la transmission radio : Chaque radio à sa propre fréquence grâce à l'orthogonalité comme le montre la figure ci-dessous :

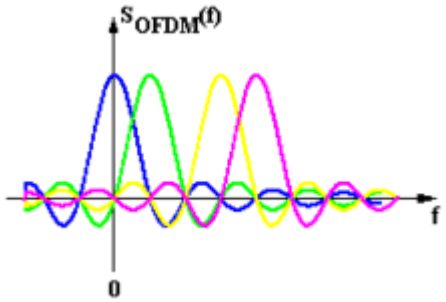


Figure I.7 *Méthode d'accès OFDMA.*

I.3.4.2. Architecture générale du réseau 4G

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved PacketCore) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN) [5].

- **Coeur Réseau « EPC »Evolved PacketCore**

Le cœur de réseau appelé «EPC » (Evolved Packet Core) utilise des technologies full IP , c'est-à- dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet des temps de latence réduits, le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants, les réseaux des autres opérateurs mobiles, les réseaux de téléphonie fixe et le réseau Internet. EPC simplifie le

réseau d'architecture à tout IP, comme il assure la mobilité entre 3GPP based system, et aussi non 3GPP based system par exemple WIMAX et CDMA2000 [8].

- **Réseau d'accèsl'E-UTRAN (Evolved UTRAN)**

La partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base «eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2), ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3GUMTS. Cette partie est responsable du management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

La figure suivante récapitulel'architecture générale du réseau 4G

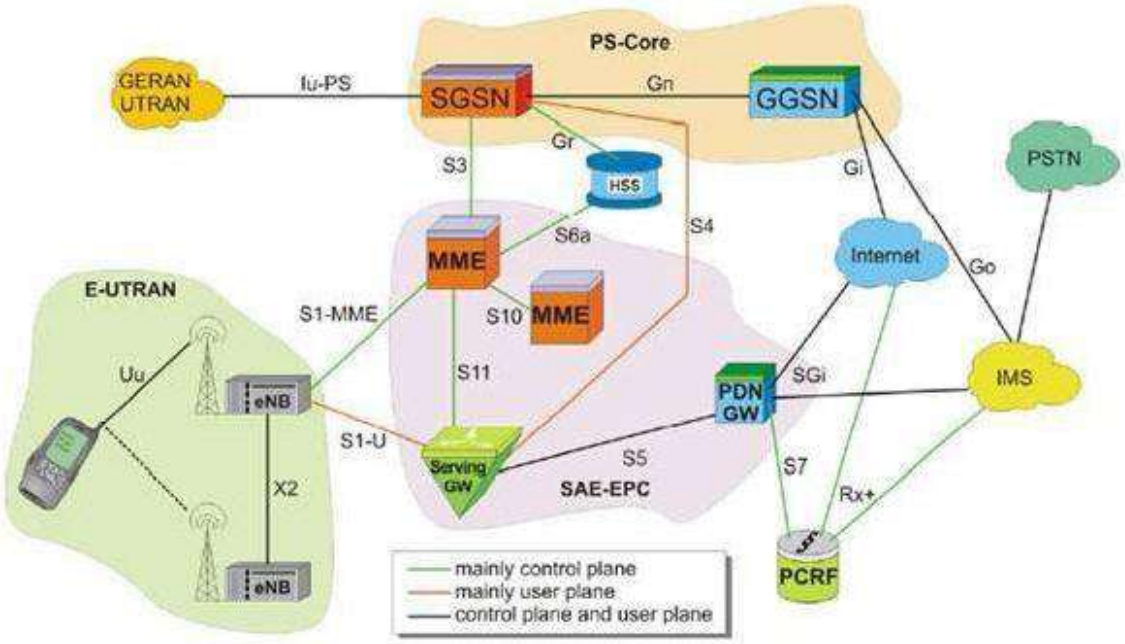


Figure I.8 *Architecture générale du réseau 4G*

I.3.4.3. Les Équipements du Réseau LTE

- **MME (Mobility Management Entity)** Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW

(Serving-GetWay) à travers une connexion. Comme elle réalise le dernier point de la protection par codage, donc par conséquent c'est le point qui valide l'interception de signalisation. Ainsi, qu'elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur, et assure l'établissement, la maintenance, et l'élargissement de la porteuse radio services [9].

- **HSS (Home Suscriber Service k)** Base de données similaire au HLR en GSM / WCDMA réseau cœur qui contient les informations du suscriber-related (les abonnées voisins), et porte l'appel de contrôle et la session management. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité, le débit et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.
- **PDN-GW (Packet Data Network Gateway)** C'est une porteuse du chemin de données entre UE et PDN à trois segments : La porteuse radio entre UE et eNodeB, la porteuse des données entre eNodeB et SGW, la porteuse des données entre SGW et PGW.

- **PCRF (Policy and ChargingRulesFunction)** Elle est responsable de la prise de décision principale du contrôle. Elle fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs.

- **SGW (Serving Gateway)** C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur ServingGetWay (SGW)qui achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeBhandover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE), comme les paramètres de la porteuse service et le routage des informations.

- **P-GW (Packet-Switch GetWay)** fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE, ainsi que les applications de la QoS, et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM système et le non 3GPP système.
- **SGSN (Serving GRPS Support Node)** Cette partie interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité.

L'equipment de l'E-UTRANLa partie radio du réseau, appelée « eUTRAN » est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base «eNodeB » avec des liaisons en fibres optiques et des liens IP reliant les eNodeB entre eux (liens X2), ainsi que des fonctions de contrôle qui étaient auparavant implémentées dans

les RNC (Radio Network Controller) des réseaux 3GUMTS. Cette partie est responsable du management des ressources radio, la porteuse, la compression, la sécurité, et la connectivité vers le réseau cœur évolué.

I.4. Comparaison entre les générations des réseaux mobiles

Chaque génération de réseau mobile à connus une amélioration remarquable-t-elle qu'on peut attribuer à chaque technologie ça propre équipement comme il est résumé dans la figure ci-dessous :

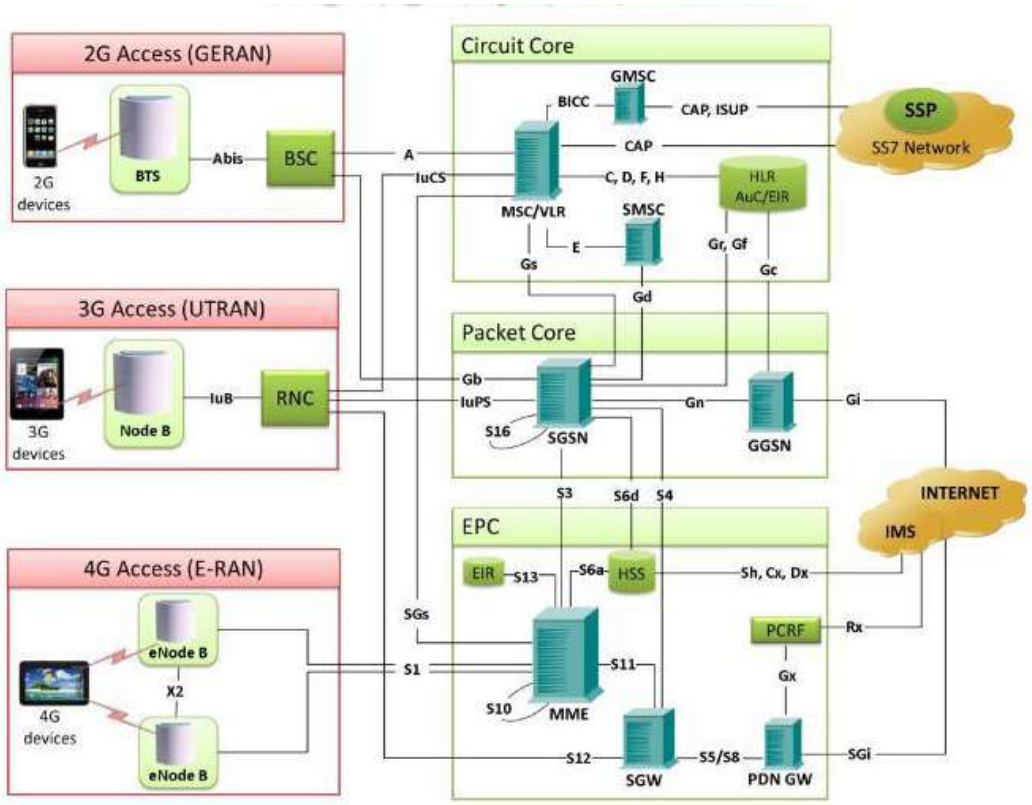


Figure I.9 *Comparaison entre les générations des réseaux mobiles*

I.5. L'évolution du débit : de la 1G à la 4G+

Le tableau ci-dessous résume les différentes générations de téléphonie mobile, de la 1G à la 4G+. Il mentionne également les débits de téléphonie mobile des différentes générations, ce qui donne une bonne idée de l'évolution de la technologie. Pour illustrer cette évolution, imaginons que vous souhaitiez télécharger un film Divx de 700 Motets (1 octet = 8 bits) sur un smartphone ou une tablette tactile. Le service voix du GSM a un débit de 9.05 kbps, ce qui donne une durée de téléchargement de 7.2 jours.

Remarque : Cette durée est théorique puisque seul le service voix est disponible en GSM. A partir de la 2.5G, des services d'échanges de données (téléchargement de fichiers et accès Internet, par exemple) sont accessibles. Jusqu'à la 3G, les durées de téléchargement sont prohibitives pour ce type d'application (plus de 9 heures pour le GPRS, 4 heures pour le EDGE).

Tableau I.1: *L'évolution du Réseau Mobile : de la 1G à la 4G+*

Génération	Acronyme	Description	Intitulé	Débit indicatif (*download*) en bits/s	Durée de download d'un DivX (700 Mo)
1G	Radiocom 2000		Radiocom 2000 (analogique) de France Télécom, SFR2000 de SFR	analogique	
2G	GSM	Échanges de type voix uniquement	Global System for Mobile Communication	9,05 kbps	7.2 jours
2.5G	GPRS	Échange de données ou (exclusif) voix	Global Packet Radio Service	171,2 kbps	9.1 heures
2.75G	EDGE	Basé sur réseau GPRS existant	Enhanced Data Rate for GSM Evolution	384 kbps	4 heures
3G	UMTS	Voix + données	Universal Mobile Telecommunications System	144 kbps rurale, 384 kbps urbaine, 1,9 Mbps point fixe	10.8 heures, 4 heures, 49 min
3.5G	HSPA	Évolution de l'UMTS	High Speed Packet Access (HSDPA/HSUPA)	14,4 Mbps	6 min 28
3.75G	HSPA+ Dual Carrier	Évolution de l'UMTS	High Speed Packet Access +	42 Mbps	2 min 13
4G	LTE		Long Term Evolution	150 Mbps	37 secondes
4G ou 4G+	LTE-Advanced	Agrégation de spectre	Long Term Evolution Advanced	1 Gbps à l'arrêt, 100 Mbps en mouvement	56 secondes, 5,6 secondes

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les différents approches et méthodologies de conception des systèmes mobiles, nous avons passé en revu quelque notion de base et on a présentée manière générale les types des systèmes mobiles 1G, 2G, 3G, et le 4G. On a bien détaillé l'architecteur de chaque génération afin de mieux comprendre le fonctionnement de chaque réseau.

Comme on a vue dans les déférents technologies des réseaux des télécommunications mobiles, l'évolution du réseau de télécommunication a engendré la croissance des données des utilisateurs de quelque dizaines de kbps à centaines de Mbps et Afin de supporter ce trafic on est besoin d'un Réseau de transport très fiable qu'il est basé sur deux supports principales sont la fibre optique et les liaisons de transmission Hertzienne.

CHAPITRE II

Lien de transmission hertzienne

Introduction

Dans les réseaux de télécommunications aujourd'hui, la transmission numérique est utilisée presque exclusivement, dans lequel le trafic analogique, tels que les appels vocaux, est converti aux signaux numériques (un processus appelé échantillonnage) pour faciliter transmission longue distance et commutation.

Trois types de supports (couches physiques) peuvent être utilisés pour transmettre informations dans le monde des télécommunications:

- **Câble de cuivre** (paire torsadée et câbles coaxiaux), pour faible et moyenne capacité de transmission sur une courte distance.
- **Transmission à fibre optique**, pour transmission de moyenne et grande capacité sur toute distance.
- **Transmission sans fil,** y compris : Basse (i.e. radio mobile) et moyenne capacité (i.e. micro-ondes et point à point) sur des distances courtes et moyennes, satellite pour la transmission de faible et moyenne capacité sur des longues distances

II.1. Transmission Hertzienne

La transmission par micro-ondes est une alternative de transmission à des applications très intéressante allant de la couverture des zones rurales, des zones faiblement peuplées de pays en développement qui ont des infrastructures inefficaces ou minimales et aux pays industrialisés bien développés qui ont besoin de l'expansion de leurs réseaux de télécommunications.

La plupart des liaisons hertziennes utilisent des fréquences d'environ 2 à 60 GHz (et récemment à 90 GHz) avec des longueurs maximales de bond d'environ 200 km (125 mil).

Selon l'IEEE, les ondes électromagnétiques entre 30 et 300 GHz sont appelés ondes millimétriques (mmW) au lieu de micro-ondes (µW) car les longueurs d'onde pour ces fréquences sont de l'ordre de 1 à 10 mm.

La propagation par ondes millimétriques a ses propres particularités, mais le spectre de 30 à 300 GHz présente un intérêt croissant pour les fournisseurs de concepteurs de systèmes en raison de la large bande passante disponible pour le transport communications à cette gamme de fréquences. De telles largeurs de bande sont utiles dans le soutien des applications telles que la transmission de données à haute vitesse et la distribution vidéo.

La planification de l'utilisation du spectre à ondes millimétriques doit tenir compte les caractéristiques de propagation des signaux radioélectriques dans cette gamme de fréquences.

Alors que les signaux dans les bandes de fréquences inférieures peuvent se propager sur plusieurs kilomètres et pénétrer plus facilement à travers les bâtiments, les signaux d'ondes millimétriques peut voyager seulement quelques miles ou moins et ne pénètre pas bien dans les matériaux solides, cependant ces caractéristiques de la propagation par ondes millimétriques ne sont pas nécessairement désavantageux.

Les ondes millimétriques peuvent permettre des liens de communications plus denses, ainsi ils offrant une utilisation du spectre très efficace, et ils peuvent augmenter la sécurité des transmissions de communication. La fréquence radio et les mécanismes de propagation pour les fréquences micro-onde et millimétrique comprennent la diffraction, la réfraction, la réflexion et la diffusion comme indiqué dans la figure II.1 ci-dessous [10].

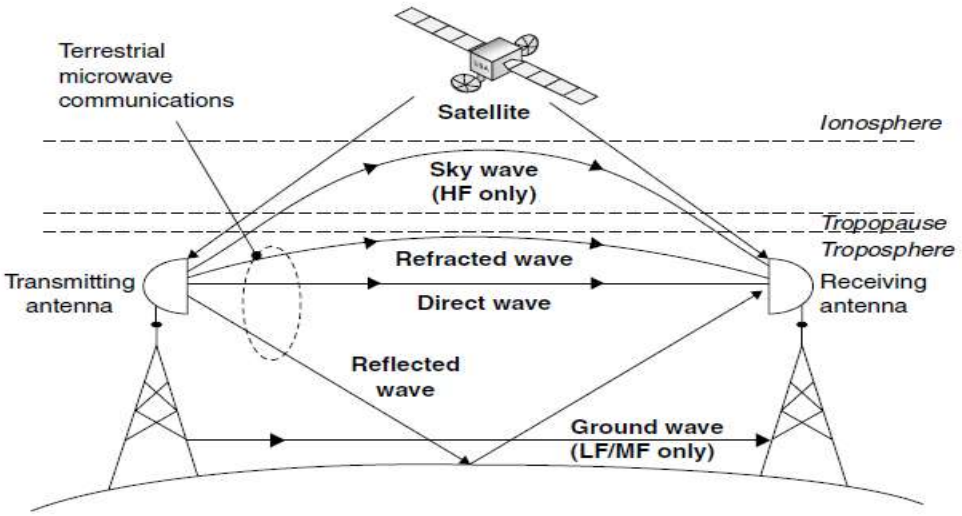


Figure II.1 *Propagation des ondes radio [11].*

II.1.1. La ligne de vue

Les communications point à point micro-ondes fonctionnent dans un mécanisme de propagation appelé visibilité, ainsi nommé pour sa similitude à la propagation de la lumière.

Les communications radio micro-ondes nécessitent un chemin clair entre les antennes parabolique, communément appelée condition de visibilité directe, ou en anglais : Line-Of-Sight (LOS). LOS existe quand il y a un chemin direct entre deux points séparés et n'a pas d'obstacles (par exemple, bâtiments, arbres, collines ou montagnes) entre eux.

Les chemins partiellement obstrués peuvent également être examinés en incluant la perte de diffraction due au l'obstruction dans les calculs de trajectoire.

Les chemins non obstrués sont toujours préférés, et les temps d'arrêt et le pourcentage de fiabilité calculé pour les chemins obstrués peut ne pas être fiable.

Il existe une différence critique entre le LOS optique (également appelé LOS visuel) et LOS radio (ou radio visibilité).

LOS visuel considère seulement une visibilité visuelle (vue à l'œil nu ou a l'aide de jumelles), entre les extrémités du chemin (figure II.2).

Radio LOS prend en compte le concept des ellipsoïdes de Fresnel et leur clairance critères.

Dans les conditions atmosphériques normales, l'horizon radio est autour de 30 pour cent au-delà de l'horizon optique.

II.1.2. La Zone de Fresnel

Le physicien français du début du XIXe siècle, Augustin Fresnel, fait une observation importante sur le comportement de la lumière. Fresnel a noté qu'un rayon de lumière passant près d'un objet solide est sujet à la diffraction, ou en flexion. Cette diffraction provoque l'intensité de l'original faisceau lumineux pour augmenter ou diminuer, en fonction de la proximité de l'objet à la poutre. Cette caractéristique du rayonnement électromagnétique est connue comme l'effet de Fresnel, et la lumière et les ondes radio sont soumis à la même loi de la physique.

Si un objet tel qu'une crête de montagne ou un bâtiment est proche de chemin du signal radio, il peut affecter la qualité et la force du signal, la diffraction des ondes radio par de tels objets peut affecter la force du signal reçu, cela arrive même si l'obstacle n'obscurcir pas directement le chemin visuel direct. Cette zone est connue sous le nom de zone Fresnel, doit être libre de toute obstruction.

Il est possible, par exemple, d'avoir un chemin hyperfréquence avec LOS optique mais sans LOS radio, pour cella le LOS Radio est plus stricte que LOS optique [12].

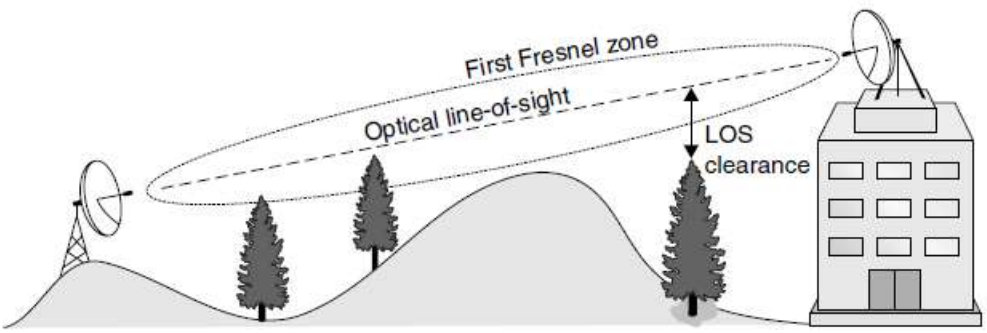


Figure II.2 *LOS Radio et LOS optique.*

II.1.3. La première zone de Fresnel

La première zone de Fresnel est donc un ellipsoïde dont la surface correspond à une différence de chemin de demi-longueur d'onde et représente le plus petit volume de toutes les autres zones de Fresnel. Le rayon de la première zone de Fresnel (Figure II.3) est le paramètre actuellement utilisé pour établir autorisation appropriée. Pour calculer le rayon de l'ellipsoïde au centre du trajet, là où il est le plus grand, on utilise la formule suivante:

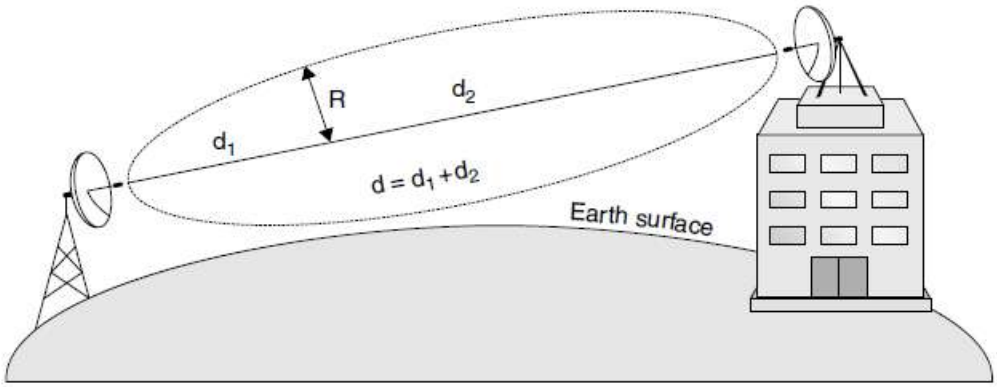


Figure II.3 *le Rayon de La première Zone de Fresnel*.

d = Distance entre les antennes (Km)

R = Rayon de la premire zone de Fresnel (m)

f = fréquence en (Hz)

La formule générale pour calculer le Rayon de la $n^{ième}$ Zone de Fresnel est comme suite [13]

$$R = \sqrt{\frac{n * \lambda * d1 * d2}{f * (d1 + d2)}} \qquad (II.1)$$

II.1.4 Bilan de liaison

Un ingénieur micro-ondes commence la conception de la liaison par micro-ondes en faisant un calcul budgétaire du lien, impliquant le gain et les facteurs de perte associés aux antennes, émetteurs, récepteurs, lignes de transmission, et l'environnement de propagation, utilisé pour déterminer la distance maximale à laquelle un émetteur et un récepteur peuvent réussir de fonctionner.

Les objectifs de l'émetteur sont de générer la fréquence porteuse qui doit être utilisé pour la communication, pour moduler cette fréquence porteuse avec l'information désirée, et enfin,

pour amplifier le signal de sorte qu'il atteigne un niveau de puissance suffisamment élevé pour qu'il puisse voyager à la distance de communication souhaitée avec le récepteur.

Le récepteur amplifie le signal reçu (ce qui est beaucoup à ce stade plus faible que quand il a été transmis), filtre tous les signaux indésirables (signaux interférents) que le récepteur a ramassés et enfin détecte les informations transmîtes dans la fréquence porteuse.

On peut calculer le bilan de l'liaison basant sur les facteurs ci-dessous :

- **Perte d'espace libre** (Free-Space Loss **FSL**) : Les ondes électromagnétiques sont atténuées pendant la propagation entre deux points géométriquement séparés, le modèle de perte de L'espace libre est utilisé pour prédire la force du signal reçu lorsque l'émetteur et le récepteur ont un trajet en visibilité directe non obstrué entre eux [14].

$$LFSL = (\frac{4\pi d}{\lambda})^2 \qquad (II.2)$$

d = distance entre l'émetteur et le récepteur

λ= *La longueur d'onde*

- **Pertes de branchement L_{TX} et L_{RX} :** pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrées, il est nécessaire de relier par un câble coaxial ou un guide d'onde de l'émetteur à l'antenne. Ces déports induisent des pertes linéiques de 1 à plusieurs dB, auxquels s'ajoutent les pertes dues aux connecteurs et autres éléments de branchements.
- **Puissance d'émission (P_e) :** c'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer.
- **Seuils de réception :** définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné, ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation (vis-à-vis du bruit thermique). Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ils sont généralement compris entre -70 et -95 dBm.
- **Gain de l'antenne (**$G_{atx/}$ $G_{arx)}$**:** les antennes principalement sont des paraboliques apportent un gain de puissance (de l'ordre de 25 à 45dB) d'autant plus grand que leur diamètre est important

$$RSL = Pe - LcTx + GaTx - LRx + GaRx - LFSL \qquad (II.3)$$

On peut schématiser le bilan de liaison FH comme il est montré dans la figure ci-dessous :

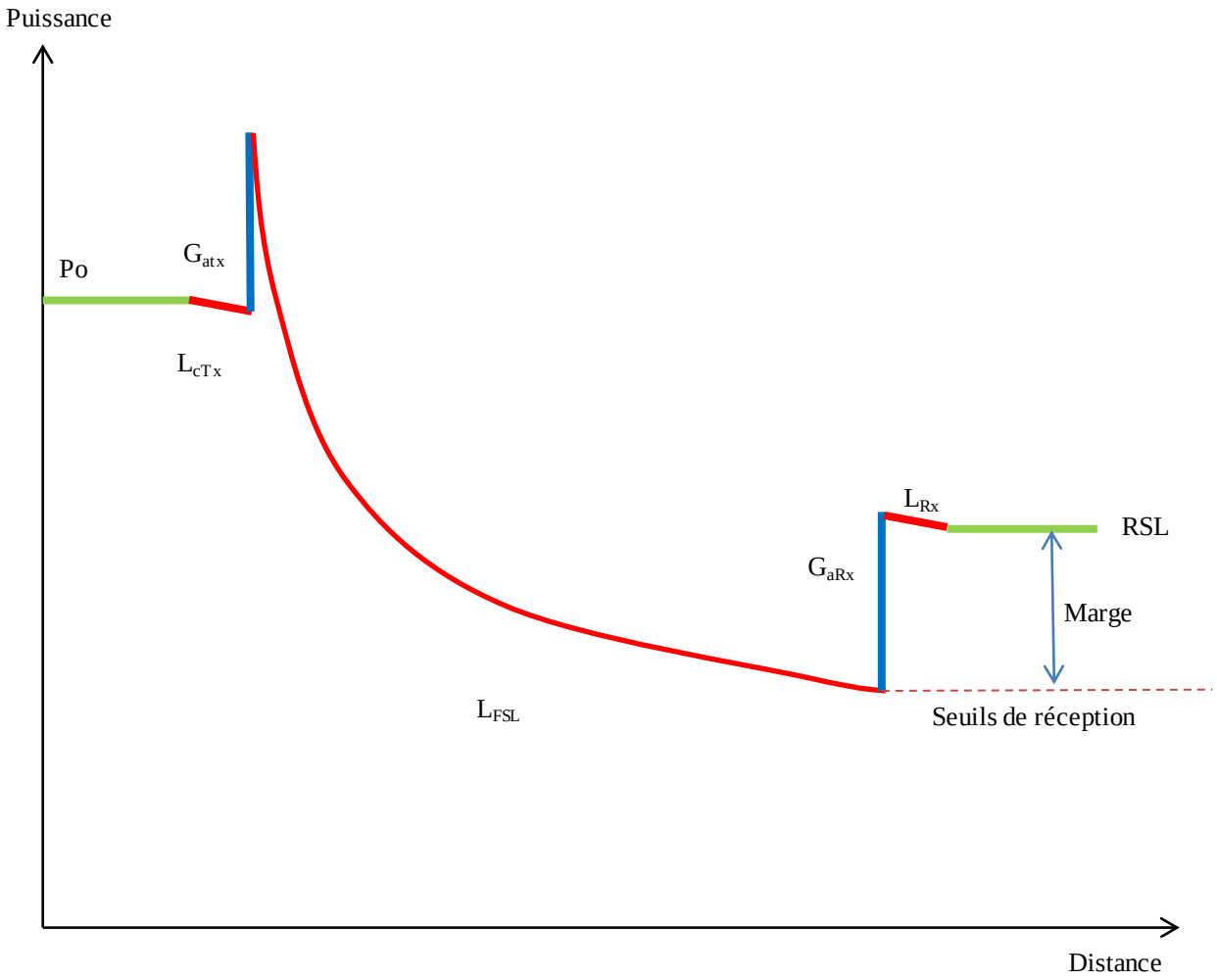


Figure II.4 *bilan de liaison faisceau hertzien.*

II.1.5 Contrôle automatique de la puissance d'émission

Le contrôle automatique de la puissance d'émission (ATPC) permet à la puissance de sortie de l'émetteur de tracer automatiquement la fluctuation de niveau à l'extrémité de réception dans la plage de contrôle ATPC, cette caractéristique réduit les interférences avec les systèmes voisins et le BER résidu.

On peut voir la variation de la puissance d'émission en fonction du RSL dans la figure ci-dessous :

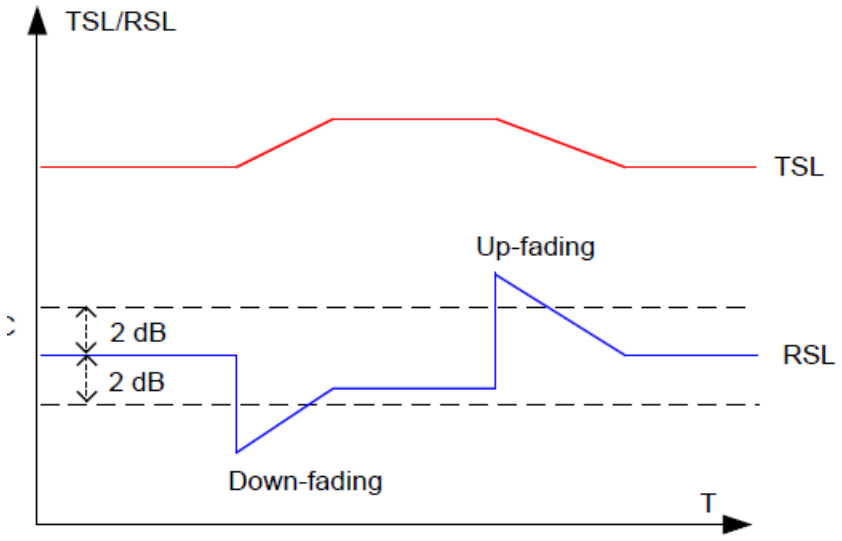


Figure II.5 *Contrôle automatique de la puissance d'émission.*

II.2. Configuration des liens Hertziennes

On générale un lien de transmission est composés deux extrémité A et B talque chaque extrémité est composé d'un ODU, IDU et de l'antenne. L'ODU est un système intégré disponible dans plusieurs modèles. Les architectures et les principes de fonctionnement des différents modèles ODU sont similaires :

II.2.1 IDU (Indoor unit)

Généralement il est constitués d'une section d'interface interchangeable ou reconfigurable et d'un sous-système de traitement de signal de modulation / démodulation numérique, traitement bande de base, configuration et supervision de l'ODU.

IDU est connecté avec l'ODU via un câble coaxial, câble Ethernet, ou un câble F.O

II.2.2 ODU (outdoor unit)

Le coffret extérieur comporte l'émetteur, récepteur complet, il est indépendant de la capacité, mais il dépend de la fréquence, il se compose de plusieurs unités dont :

- **Interface câble** : Réceptionne les signaux de données et les sépare de la tension d'alimentation.
- **MDU (modulator, démodulator unit)**

A l'émission, c'est un filtre numérique, il convertit également le signal numérique en analogique.

A la réception, il effectue une partie de la fonction CAG (commande automatique du gain), et il convertit le signal analogique en numérique.

- **Amplificateur émission :** Il permet de régler le niveau de sortie par le logiciel (pas de 1dB). [15]

II.2.3 Antenne

L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes, elle assure l'interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation, une antenne est un dispositif réciproque.

En émission l'antenne reçoit un courant et une tension, elle génère un champ électrique et un champ magnétique.

En réception l'antenne reçoit un champ électrique et un champ magnétique, elle génère une tension et un courant. [16]

On peut voir dans la figure ci-dessous un montage d'un demi-lien d'une liaison hertzienne.

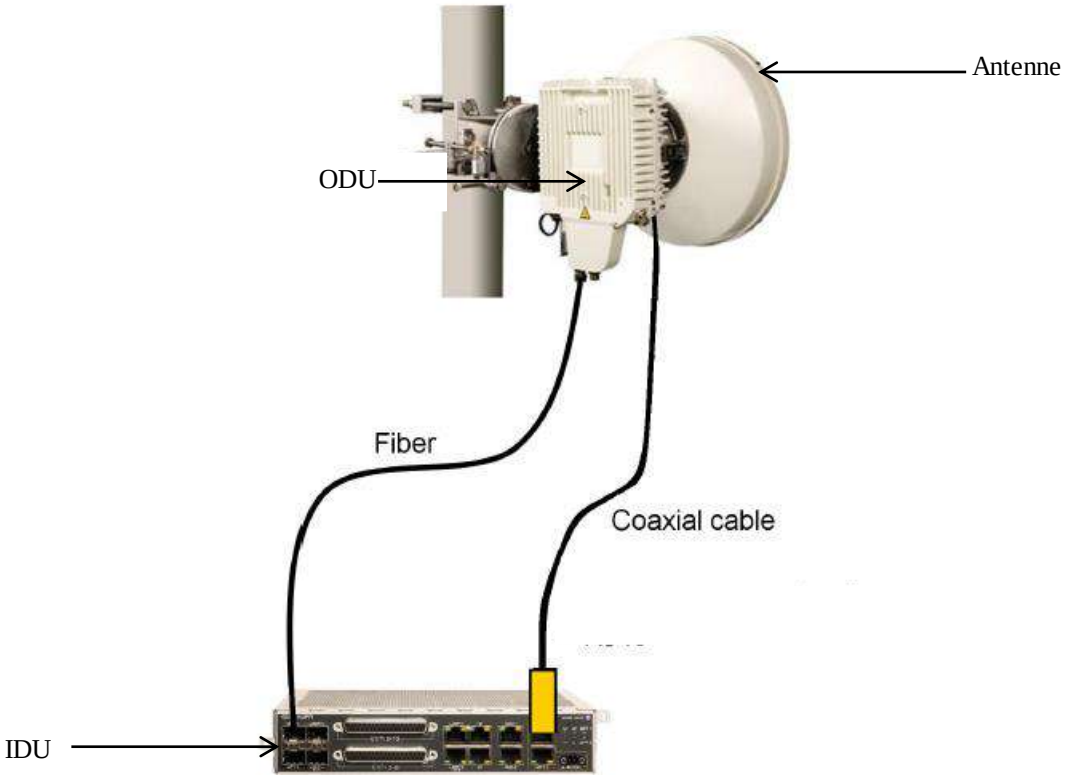


Figure II.6 *demi-lien d'une liaison Hertzienne.*

II.3. Types de configuration

Selon l'importance, le besoin de capacité et l'emplacement du lien dans le réseau on peut distinguer différent type de configuration :

II.3.1. Configuration 1+0

C'est la plus simple configuration qu'on peut installer, on peut réaliser cette configuration avec l'utilisation d'un IDU, ODU et une antenne comme il a déjà montré précédemment, elle est recommandée pour les liens moins d'importance coté trafic, généralement est utilisée pour porter un ou deux sites au maximum.

II.3.2. Configuration 1+1 (HSB) Hot standby

Elle consiste à construire une redondance dans la chaîne radio pour donner une protection physique au lien de transmission, à savoir la configuration. Cela implique souvent deux modems distincts logés dans un seul IDU avec chaque modem son propre ODU connecté, cette protection est utilisée quand le lien porte plus de 2 site radios. Le concept est illustré dans la figure ci-dessous:

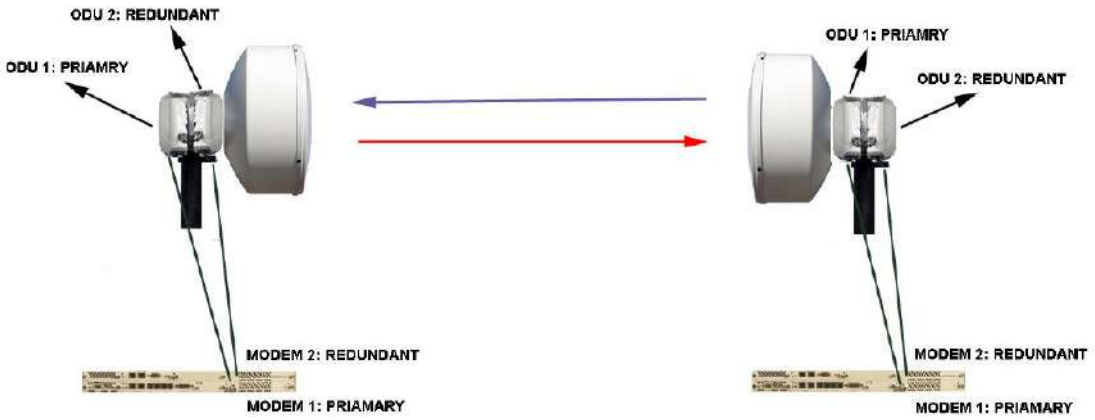


Figure II.7 *Configuration 1+1*[17].

Pour donner une bonne visibilité de cette configuration on montre les figure suivante comment les ODU sont connectés avec le coupleur.

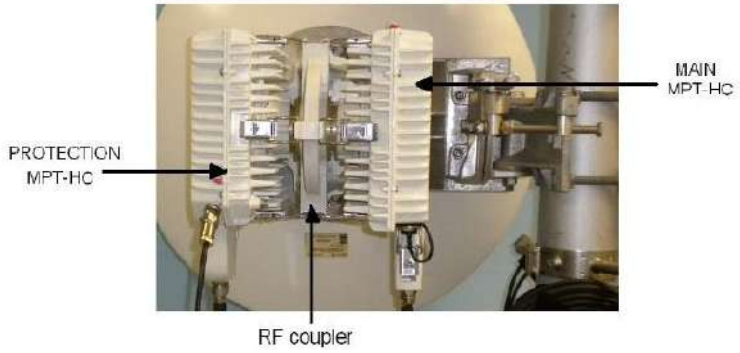


Figure II.8 *Configuration1+1*



Figure II.9 *Coupleur*

II.3.3. Configuration SD

Dans certains cas, les conditions de liaisons FH sont très difficiles en raison de distances de liaison et / ou de la présence d'une masse d'eau dans le chemin de liaison, la surface de l'eau peut souvent être une forte source de réflexion qui pourrait introduire un interférence par trajets multiples au niveau du récepteur, et même dans le cas d'un grand volume d'eau, l'état de la surface de l'eau peut parfois être instable et les conditions de propagation au récepteur peut en conséquence varier, ce qui pourrait conduire à une performance incohérente.

Afin de fournir de meilleures performances de liaison, une configuration de diversité en espace (SD) peut être utilisée, et dans ce cas deux antennes distinctes sont déployées pour chaque demi-liaison, le récepteur peut alors choisir le meilleur des deux signaux reçus par les deux antennes, ce qui pourrait améliorer de manière significative la condition de liaison contre le multiples trajet multiples

Les inconvénients de cette configuration sont les coûts supplémentaires avec les deuxièmes ensembles ainsi que l'espace réservé pour le déploiement.

La figure suivante récapitule cette configuration.

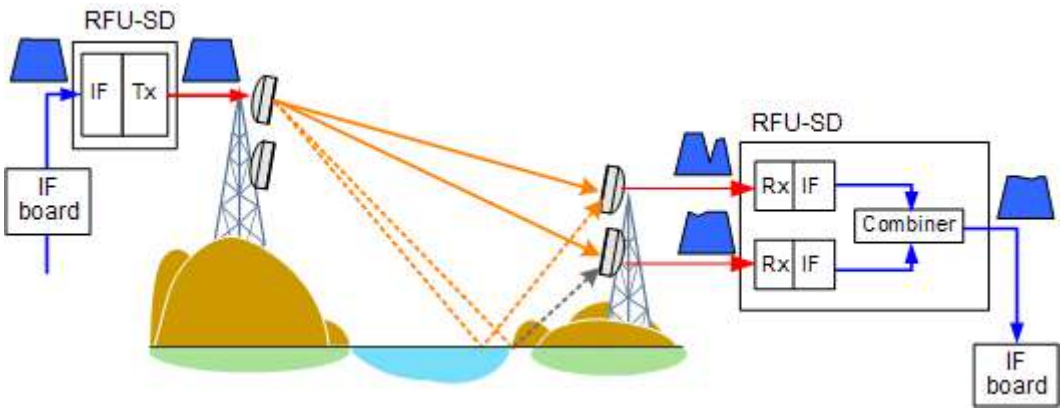


Figure II.10 *Configuration SD* [18]

II.3.4. Configuration XPIC

C'est une configuration de protection ainsi que pour but d'augmenter la capacité des liens à la fois, avec cette solution le designer des liens Hertzien exploite le spectre de fréquence par l'utilisation d'une fréquence en deux polarisation V et H ou la capacité du lien sera doublée sont impacté les performances ou le bilan de liaison.

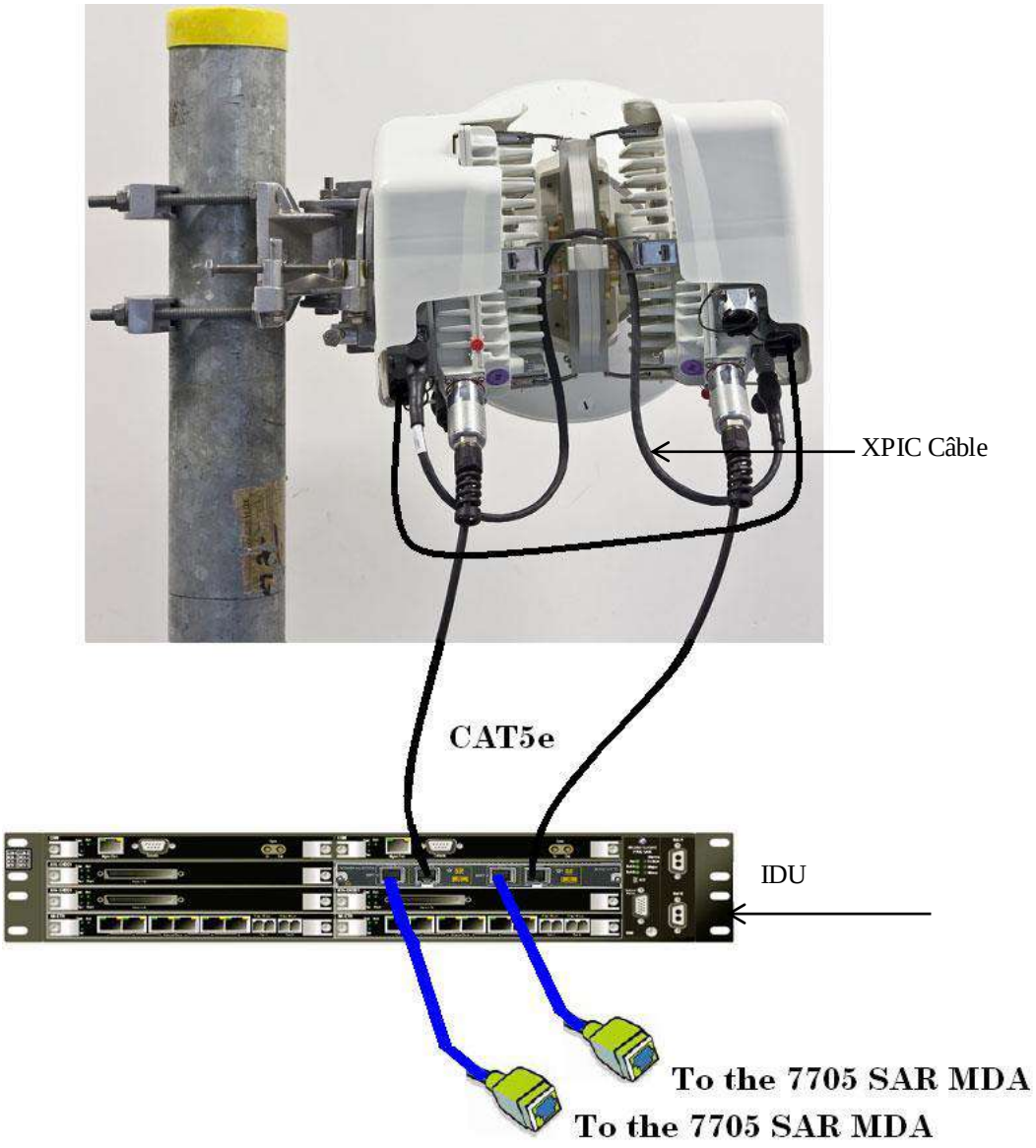


Figure II.11 *Configuration XPIC*

II.4. Etude et Simulation avec logiciel Pathloss

L'étude d'une liaison hertzienne est une étape très importante dans la réalisation d'un réseau de transmission. Elle apporte une vision concrète et assez détaillée de ce que donne la liaison

hertzienne, dont on entend beaucoup parler, en situation réelle d'exploitation, une autre phase cruciale de cette étude est le survey qui consiste à faire une sortie sur le terrain pour effectuer une prise des coordonnées des structures à interconnecter et les coordonnées des obstacles éventuels on utilisant un équipement de positionnement *GPS,* nous avons choisi à étudier la liaison **A42X020 vers A42M162** qu'elle appartient réellement au réseau de **Djezzy** dans la wilaya de Tipaza .

II.4.1. Prise des coordonnées des structures à interconnecter à l'aide d'un récepteur GPS

Le récepteur GPS est l'outil idéal qui permet de recueillir les coordonnées géographiques exactes des sites (emplacements choisi pour installer les pylônes). Cela s'explique par le fait qu'il reçoit en permanence, des signaux provenant du système GPS, système constitué d'au moins 24 satellites orbitant à 20 200 Km d'altitude et à l'aide de son calculateur intégrée, il détermine les coordonnées. Et les Résultats du Survey de transmission, Les coordonnées recueillies à l'aide du GPS sont les suivantes :

Tableau II.1 *Coordonnées GPS des sites.*

Nom du site	Latitude	**Longitude**
A42X020	36 34 26.40 N	002 03 09.50 E
A03M162	36 34 29.60 N	002 04 41.20 E

II.4.2. Introduction et présentation du logiciel pathloss4.0

Le dimensionnement passe par une étude du profil qui fournit les hauteurs d'antennes et le type d'antennes directives à installer, l'outil de dimensionnement utilisé pour l'ingénierie de transmission à Alcatel Lucent (soutraiton de djezzy) est un logiciel nommé **PATHLOSS** dans sa **version 4.0**.

Le **PATHLOSS4.0** est un logiciel élaboré pour des simulations de transmission hertzienne afin de palier le mieux possible aux problèmes de propagation du signal en espace libre et de prévoir les caractéristiques d'équipements et les techniques à déployer pour s'assurer que le signal est reçu avec une fiabilité fixée par l'opérateur.

Il intègre plusieurs paramètres tels que les données géographiques du terrain de l'ensemble du globe. C'est un logiciel capable de situer n'importe quel point à partir de ses coordonnées GPS grâce à sa base de données fiable. Le dimensionnement revient donc à introduire les coordonnées GPS des deux points, afin d'avoir une vue approximative des données de

parcours du terrain. Une fois le parcours défini, il est aussi possible de faire varier les paramètres en ajoutant d'éventuels obstacles (arbres, immeubles, foret,...) susceptibles de constituer l'état réel du terrain.

Ci-dessus une figure qui présente la table d'entrée sur pathloss4.0

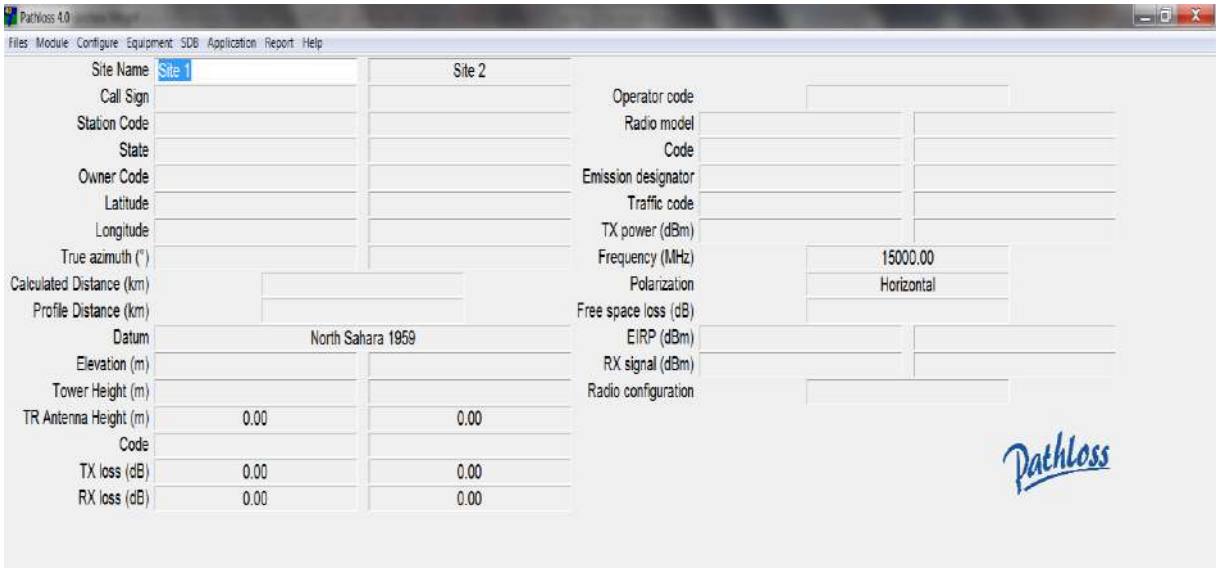


Figure II.12 *Table d'entrée Pathloss*.

II.4.3. Module et Fonctions (Résumé)

Le Module Résumé est le démarrage par défaut affiché dans le programme Pathloss4.0 et fournit les fonctions suivantes:[19]

- un emplacement central pour l'entrée des paramètres de données de chemin d'accès pour les données du site et des options spécifiques à l'application.
- l'interface avec la base de données de site pour Pathloss4.0.
- la saisie des données et l'analyse des interférences en utilisant la base de données du site sont faites dans ce module.
- le type d'application soit comme micro-ondes (point au point ou point à multipoint) ou VHF-UHF.

II.4.4. Module de données du Terrain

Ce Module est utilisé pour créer ou modifier un profil de trajet en utilisant la saisie manuelle des données, une table à digitaliser, ou une base de données du terrain. Des profils de terrain sont créés dans ce module en utilisant l'une des méthodes suivantes:

- La saisie manuelle des distances et des altitudes de cartes topographiques.
- Entrée directe des données à distance altitude à partir de cartes topographiques en utilisant une tablette de numérisation.
- Conversion des données à distance d'élévation dans les fichiers textes provenant d'autres sources.
- Distance - données d'élévation sont lues à partir d'une base de données de terrain.

II.4.5. Simulation de la liaison A42X020 vers A42M162 avec pathloss4.0

II.4.5.1. Introduire les coordonnées GPS

Pathloss4.0 permet de générer le profil de la liaison **A42X020-A42M162** et de donner la distance exacte entre les deux sites, après lui introduire les coordonnées GPS mesurés avant, et ce dernier permet de choisir l'intervalle de fréquence selon le type d'équipement utilisé, et le résultat est montré sur la figure suivante :

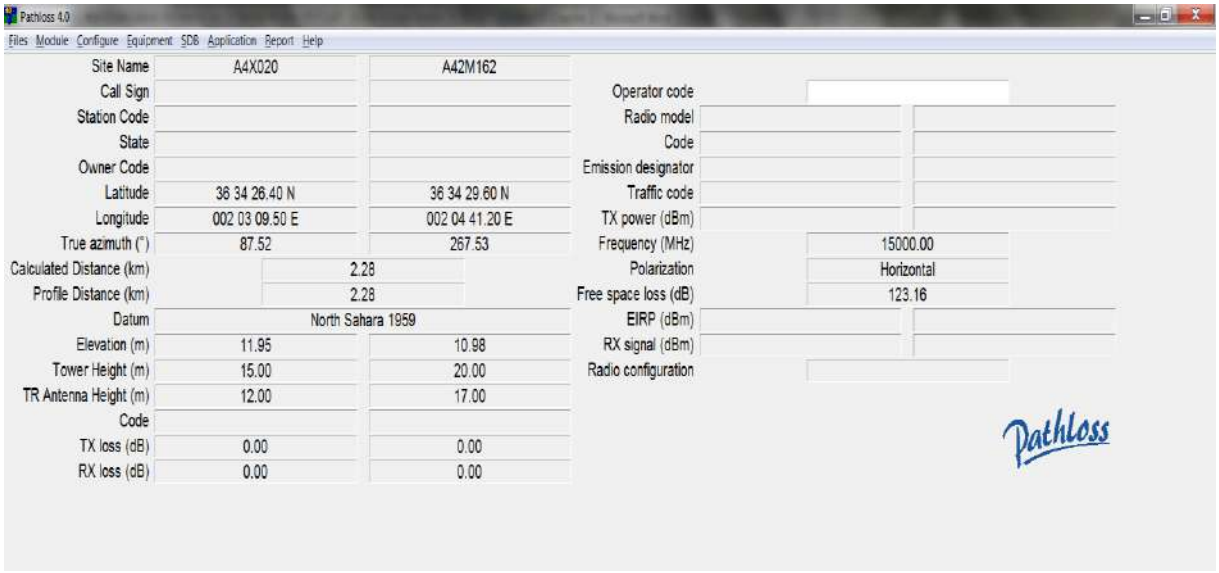


Figure II.13 *Donnée de terrain de la liaison **A42X020-A42M162**.*

II.4.5.2. Génération du profil de la liaison

Avec la base de données **SRTM** (Shuttle Radar Topography Mission), le logiciel peut donner un schéma géographique en deux et en trois dimensions d'un morceau de terre soit un carré ou un cube avec les mêmes dimensions de la distance calculée entre les deux sites.

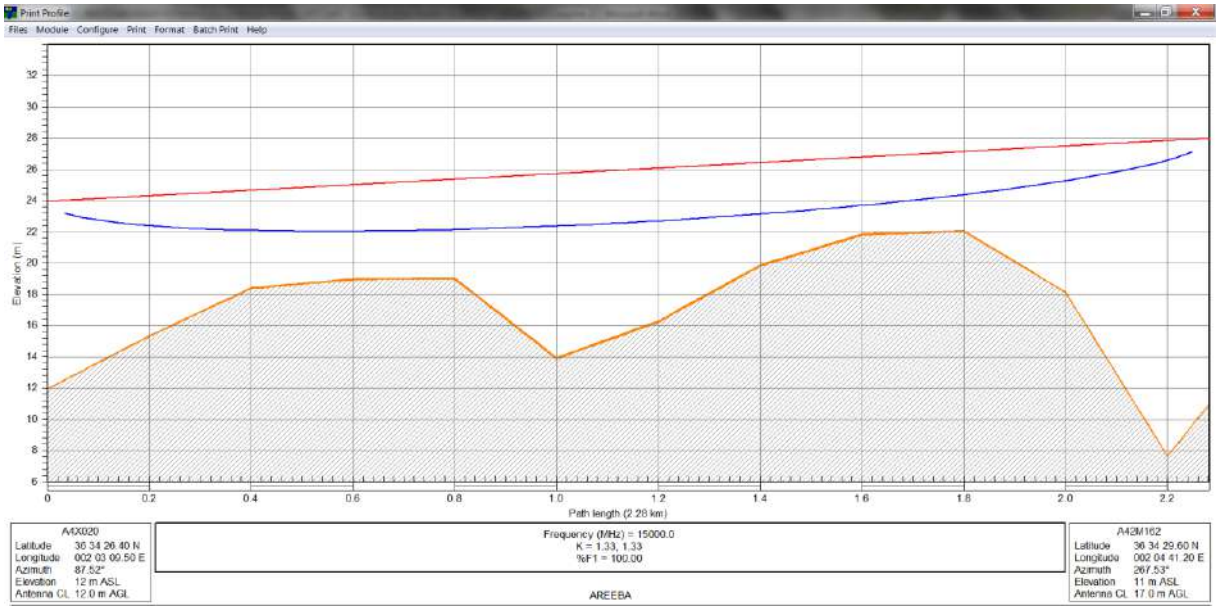


Figure II.14 *Vue du profile*

II.4.5.3. Dégagement de l'Ellipsoïde de Fresnel

Il nous faut dans ce sous-titre, trouver une règle donnant le dégagement minimum de l'Ellipsoïde de Fresnel nécessaire sur une liaison hertzienne pour que la diffraction du rayon de celui-ci sur les obstacles éventuels soit négligeable.

L'Ellipsoïde de Fresnel délimite la région de l'espace où est véhiculée la plus grande partie de l'énergie du signal (60% environ). Se situer dans cet ellipsoïde revient à se retrouver dans les conditions de la propagation en espace libre, c'est-à-dire que le signal se propage sans diffraction.

La grandeur correspond à la valeur strictement minimale pour laquelle l'espace entourant le rayon direct joignant les deux antennes est dégagé de tout obstacle.

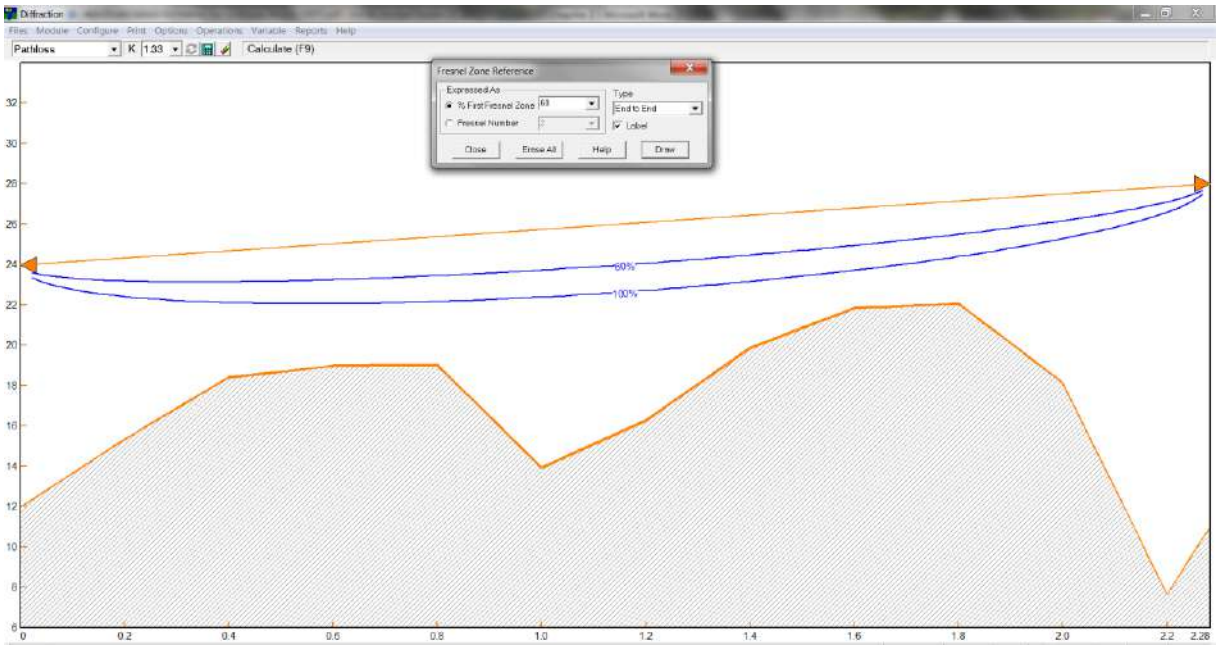


Figure II.15 *Profil de dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel de la liaison*.

- Rouge : visibilité optique
- 1er bleu : 60%(dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel).
- 2eme bleu : 100%(dégagement de l'ellipsoïde de Fresnel).

II.4.5.4. Etablir le bilan de la liaison avec pathloss 4.0

Le Pathloss a une fenêtre de travail qui nous permet de calculer le bilan de liaison grâce à des algorithmes intégrés basés sur les lois de propagation d'onde qui prend en considération le profil, la fréquence, le taux de précipitation les types d'antenne, les pertes qui affecte la propagation d'onde de l'émission jusqu'à la réception et le type de configuration.

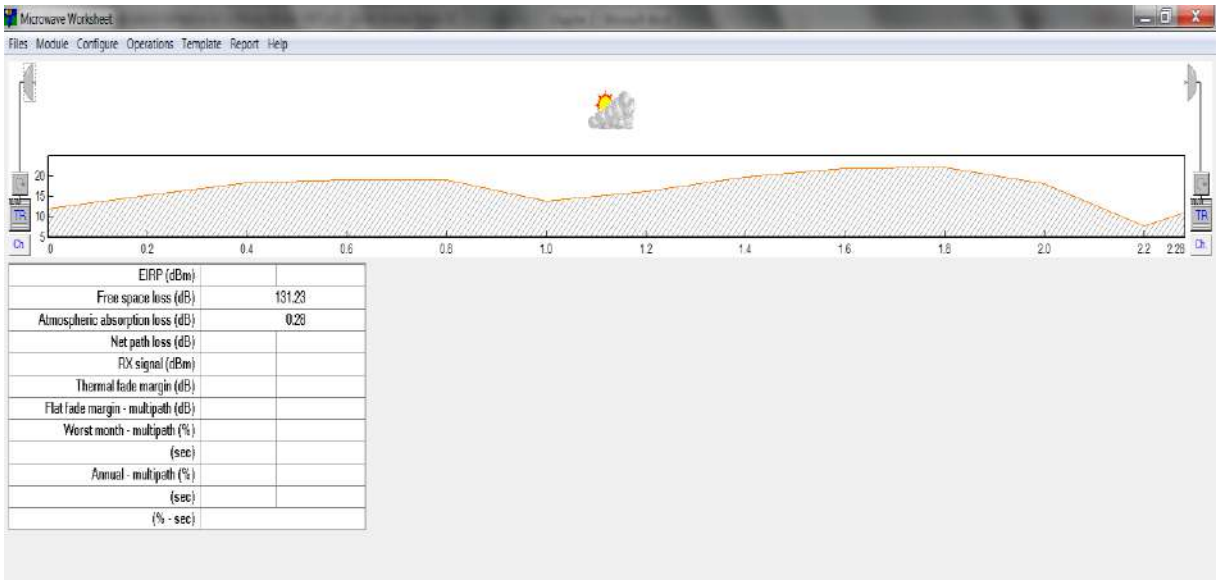


Figure II.16 *Feuille de travail sur pathloss4.0 pour établir un bilan de liaison.*

Après l'insertion des donnés requis on peut voir le résultat obtenus qui sera utilisé comme référence le jour de réception du lien sur terrain comme il est indiqué dans la figure suivante.

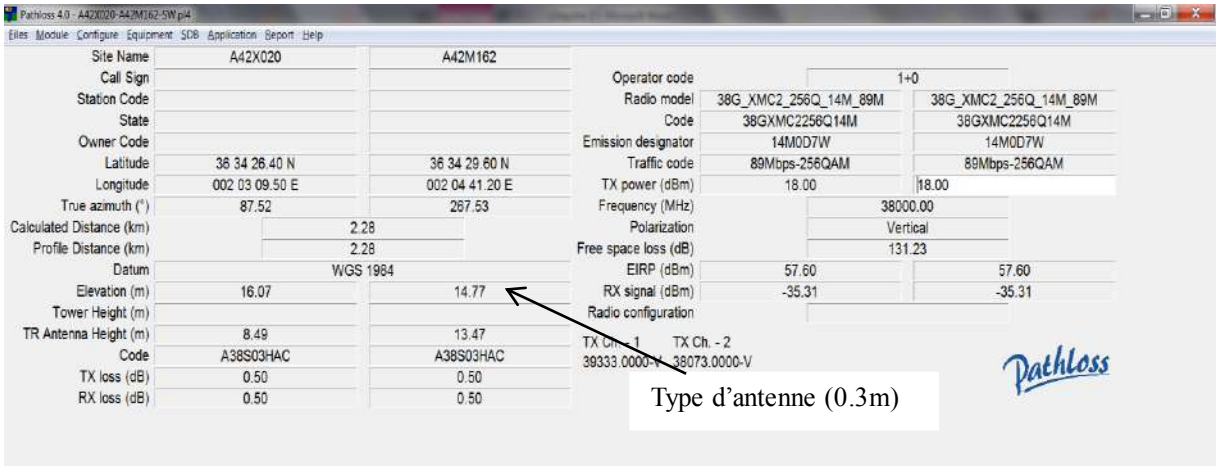


Figure II.17 *Feuille de travail résume le bilan de liaison.*

II.4.6. Vérification du lien en réalité

Afin de vérifier le l'état du lien et de confirmé çà crédibilité on doit vérifier les paramètres du bilan de liaison et de les comparés avec notre étude de simulation effectuée avec Pathloss.

Cette vérification et faisable garce à une station de supervision qui interroge tous les liens du réseau de **Djezzy** de l'équipementier chinois **Huawei** qui s'appelle **U2000.**

II.4.6.1. Station de supervision et de mangement du Réseau de transmission U2000 : Elle fournit la gestion E2E (end to end) de tous les équipements micro-ondes (équipement **Huawei**) et de simplifier les opérations d'exploitation et de maintenance et le contrôle à distance.

II.4.6.2. Vérification de l'A42X020-A42M162. *Par la station* U2000 : Apres la mise en service du notre lien on peut vérifier l'intégration de notre lien de comparé les résultats.

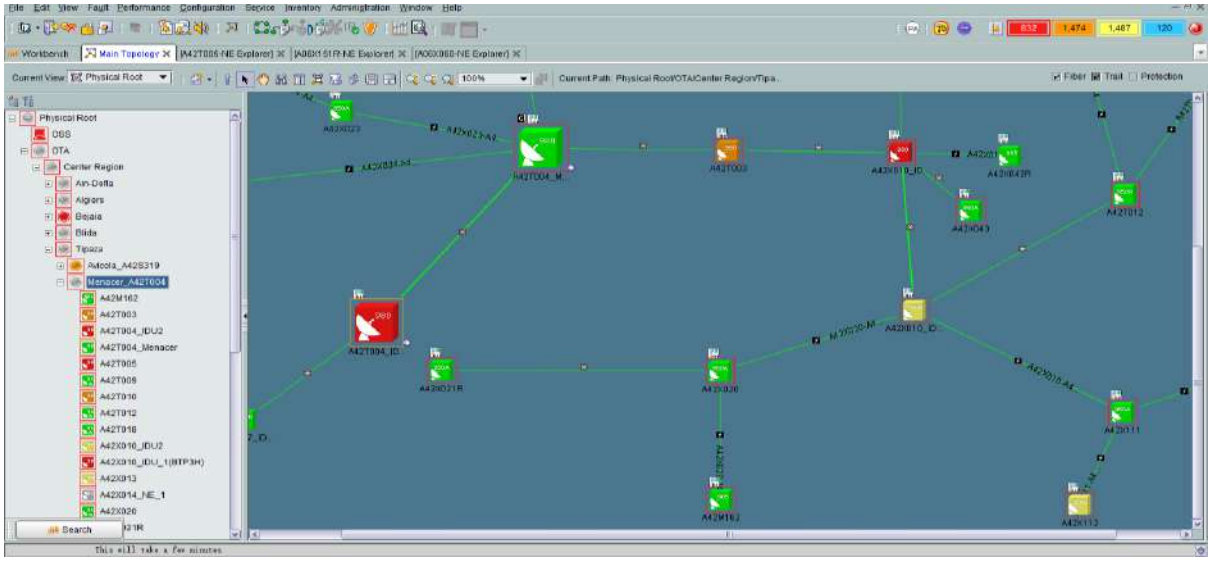


Figure II.18 *Vue générale des liens intégrés*

On peut voir ci-dessous l'étape de vérification de la puissance d'émission et de réception

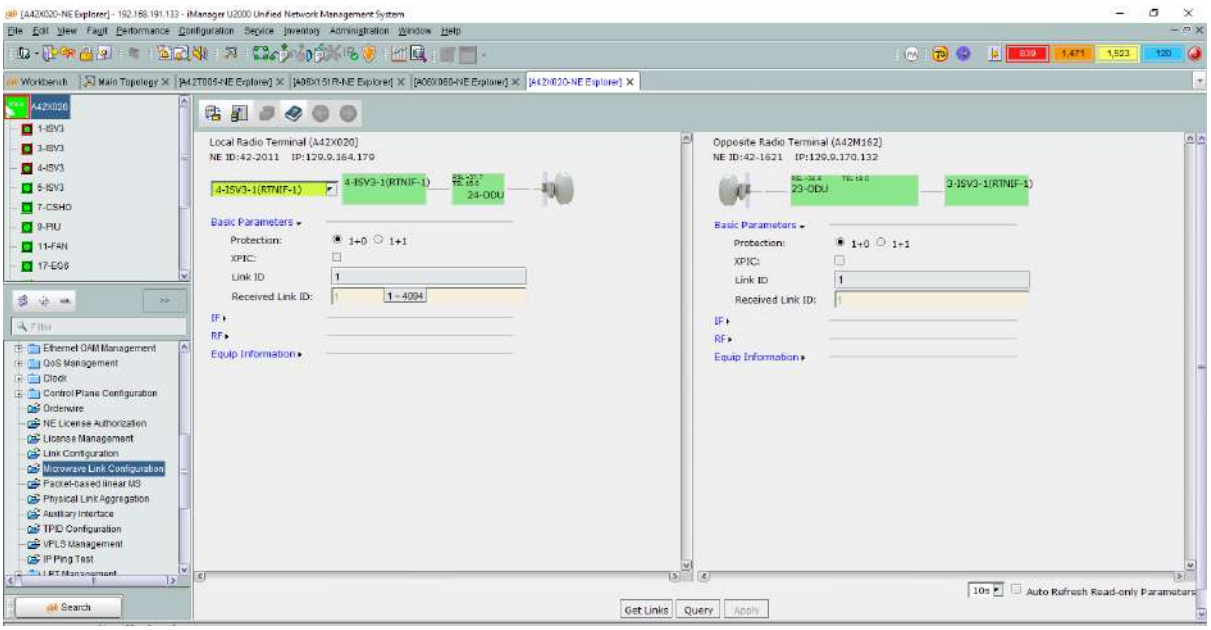


Figure II.19 *Vérification de la puissance d'émission et de réception.*

La figure précedente présente des mésures instanatnés recupérés par l'équipemnt est envoyé vers la station de supervision (U2000) telle qu'ona :

- Puissance d'émission (mesuré) Pe= 18 dBm.
- Puissance de réception (mesuré) RSL=-37.7 dBm.

II.4.6.3. Comparaison des résultats (U2000 et Pathloss)

Comme on a déjà parlé (**Figure II.16)** Feuille de travail résume le bilan de liaison sera utilisé comme référence le jour de réception du lien sur terrain comme on a les résultat obtenu dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.2 *Comparaison de (P_e/ RSL) entre Pathloss et U2000.*

	Pathloss	**U2000**
P_e (dBm)	18	18
RSL(dBm)	-35,31	-37,7

On a une déférence de 2 dB entre l'étude et le niveau de réception réelle qu'il est acceptable car il est inférieur à 3 dB (Valeur de tolérance).

Conclusion

Nous avant dons ce chapitre présenté une généralité sur les faisceaux hertziens et son importance dans la transmission, on a travaillé sur un logiciel de simulation sur un lien existe réellement dans le réseau et de vérifier les résultats pour avoir une idée générale sur la faisabilité et les déploiements sur terrain.

CHAPITRE III

Capacité des liaisons de transmission hertzienne

Introduction

Le déploiement du transport sans fil dans un monde centré sur les données implique une nouvelle approche de la planification du réseau, qui nécessite un équilibre entre l'optimisation de la qualité de l'expérience utilisateur et la réduction du coût total de possession. Comme les services à large bande deviennent mobiles, il existe un besoin émergent d'une livraison fiable, prévisible et de grande capacité à n'importe quel endroit, dans ce chapitre en vas entamer les différents modèles de prévision de capacité et de ratio de contention et on discute à l'importance de la compression de données dans les liaisons point à point sans fil [20].On peut distinguer de moyenne pour augmenter la capacité d'un lien micro-ondes :

III.1. Modernisation matérielle : Cette action nécessite une modification physique du lien comme en allant d'une configuration 1+0 vers une configuration XPIC ou la capacité sera double.

III.2. Modernisation software : Dans ce cas on ne touche pas le matérielle mais on joue que sur l'un des paramètres suivants :

III.2.1. Augmentation de la Bande passante : La capacité du lien est proportionnelle avec la bande passante alloué, mais cette solution est limitée coté ressource fréquentielle surtout l'orque on se trouve dans un site porte plusieurs ou on peut ce trouvé dans un état d'interférence [21], (figures III.1, III.2) montrent le changement de capacité lorsqu'on utilise une bande de fréquence de 14 MHz et de 28 MHz.

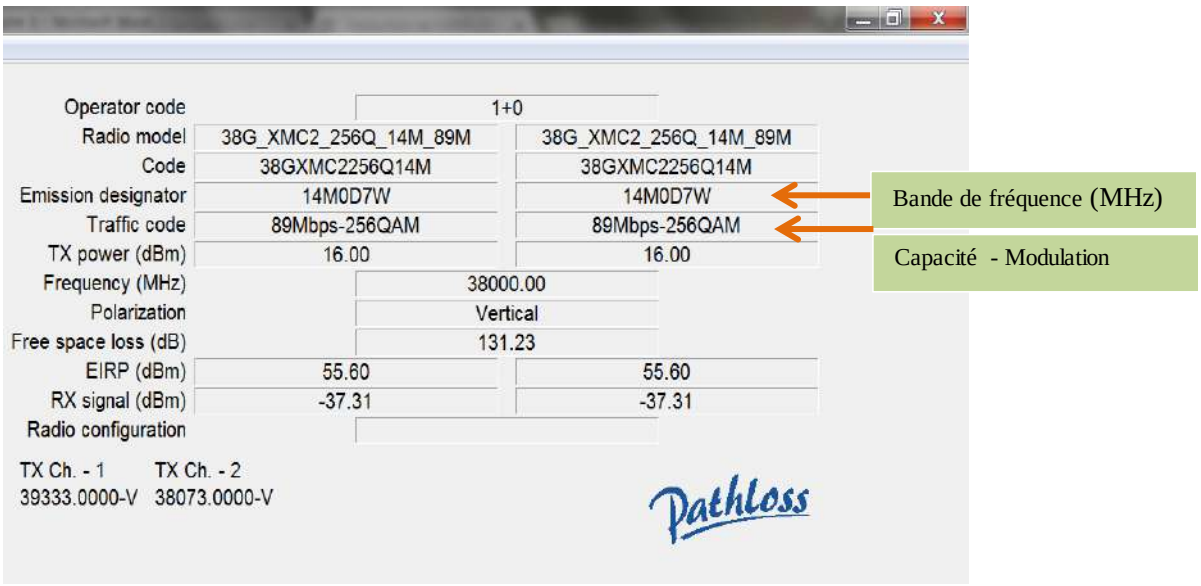


Figure III.1 *capacité avec bande passante de 14 MHz.*

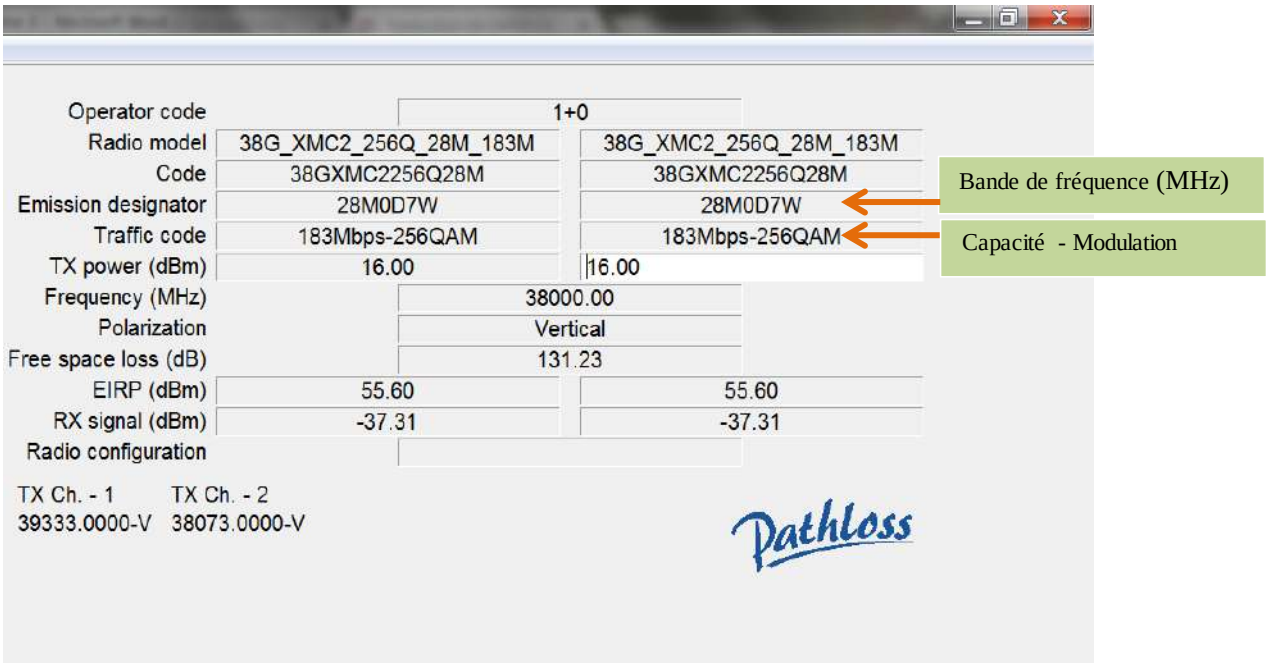


Figure III.2 *capacité avec bande passante de 28 MHz.*[22]

On constate que l'augmentation de la bande de fréquence n'influe pas sur le niveau de réception et même la sensibilité d'équipement en réception.

III.2.2. Augmentation de la Modulation

Lorsque on est limité par rapport au spectre de fréquence on est besoin d'une autre solution qu'elle est indépendante à la bande de fréquence, c'est d'augmenter la modulation avec cette solution on augmente la capacité du lien, mais par contre la sensibilité d'équipement au niveau de réception ainsi que les performances du lien sera négativement impacté, et si on prend un exemple deux modulations déférentes (32 QAM et 1024 QAM) on aura les valeurs les résultats suivantes :

- **Modulation 32 QAM/ Bande passante 28 MHz/ Capacité de 110 Mbps)**

  Avec cette configuration on a 99.995 % de disponibilité par ans, et de 39.59 dB comme une marge de sécurité.

- **Modulation 1024 QAM/ Bande passante 28 MHz/ Capacité de 215 Mbps)**

Après l'augmentation de la modulation et le gain obtenu de la capacité on trouve une dégradation importante dans les performances du lien ou on a une disponibilité de 99.965 % par ans, et de 19.59 dB comme une marge de sécurité comme il est montré dans les figures ci-dessous :

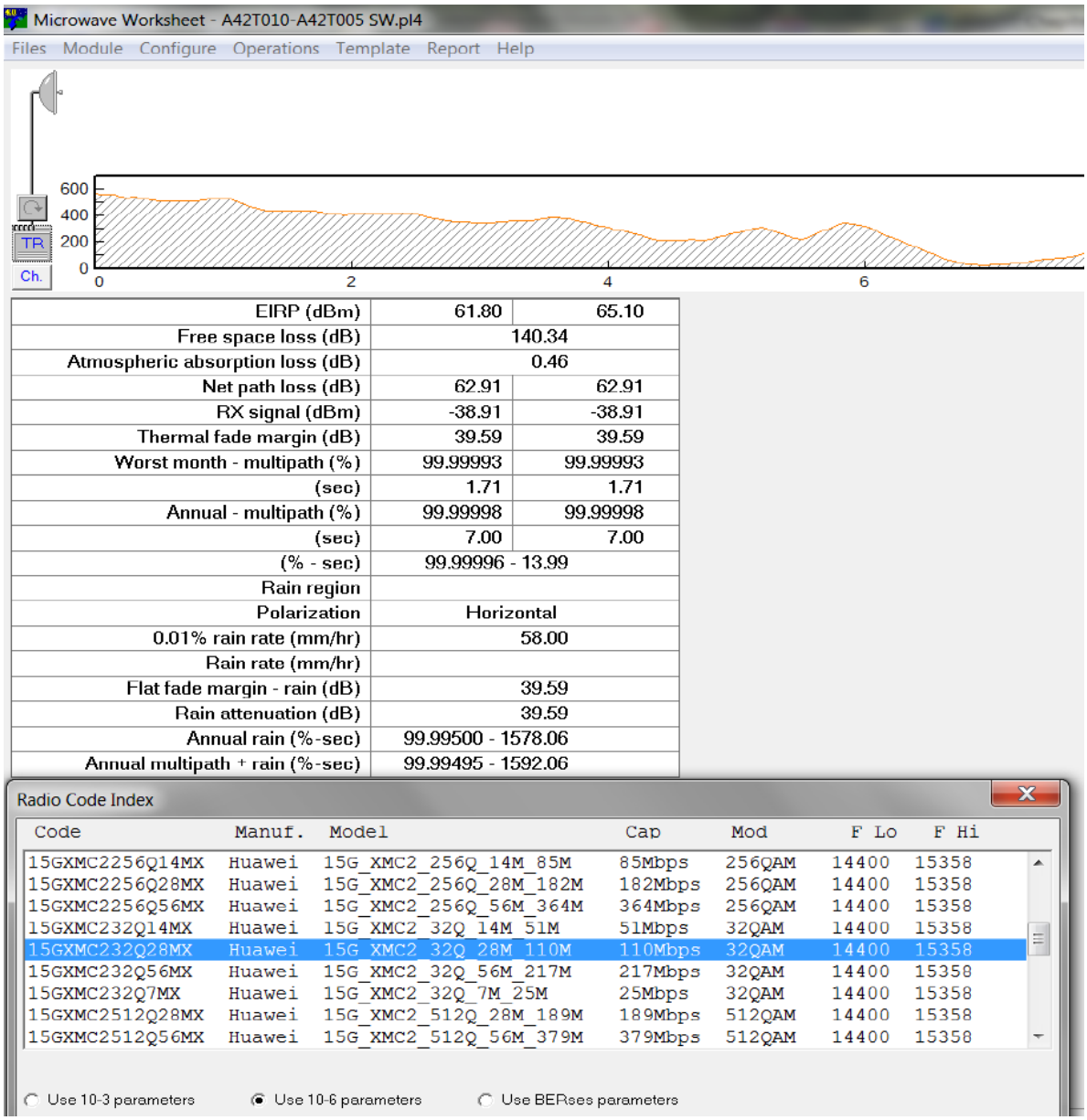


Figure III.3 *Bilan de liaison avec une modulation de QAM32.*

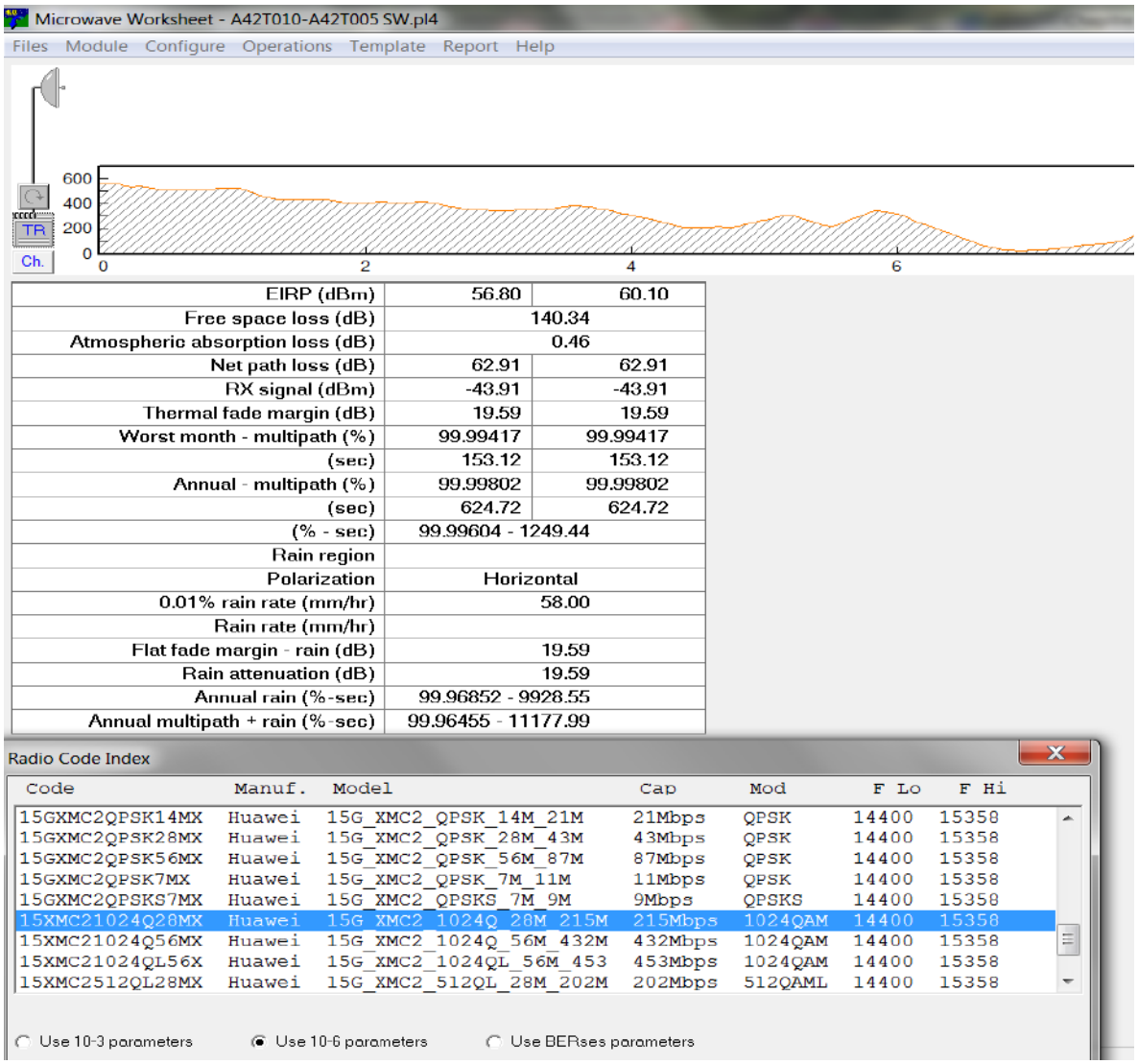


Figure III.4 *Bilan de liaison avec une modulation de QAM1024.*

III.2.2.3 Modulation adaptative

La technologie de modulation adaptative (AM) ajuste le schéma de modulation automatiquement basé sur la qualité du canal.

- **Schéma de modulation et capacité de l'interface radio**

Lorsque la technologie AM est adoptée, dans le cas du même espacement des canaux (bande de fréquence), la capacité du lien varie en fonction du schéma de modulation, plus la modulation est élevée, plus la bande passante des services transmis est élevée.

Lorsque la qualité du canal est bonne (par exemple, les jours où les conditions météorologiques sont favorables), l'équipement adopte un schéma de modulation à haut

rendement pour qu'il puisse transmettre les maximum services, cela améliore l'efficacité de la transmission et l'utilisation du spectre de fréquence.

Si la qualité du canal se détériore (par exemple, les jours de mauvais temps), l'équipement adopte un schéma de modulation à faible rendement pour transmettre uniquement les priorités de service les plus élevées.

Dans la bande passante disponible tout en éliminant les services de priorité inférieure. Ci-dessous un exemple d'un canal de 28 MHz avec une modulation adaptative. [23]

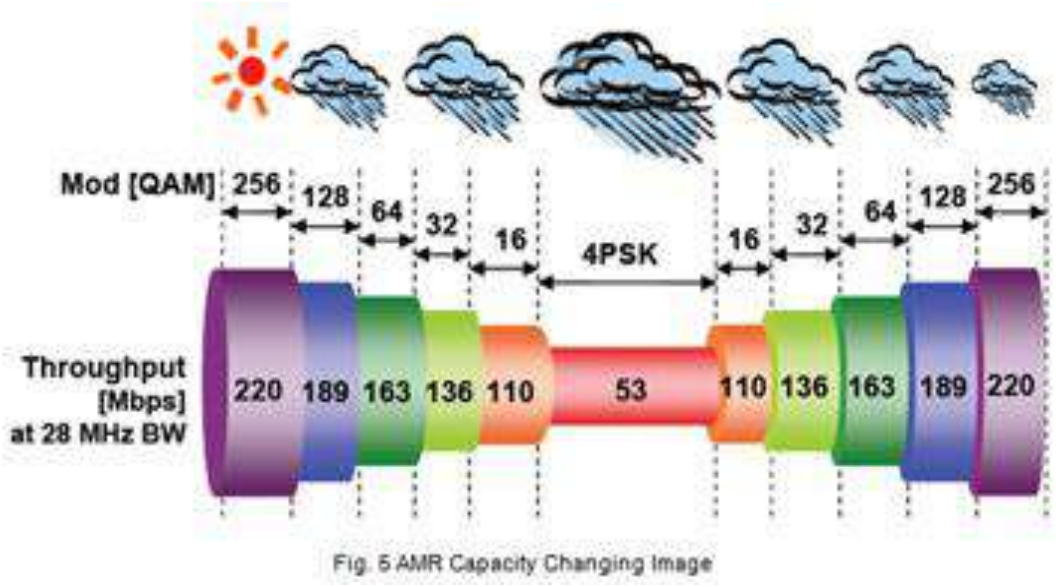


Figure III.5 *Variation automatique de la modulation en fonction du climat*. [24]

III.3. Compression de l'entête IP

Traditionnellement, dans les réseaux sans fil, les discussions sur la capacité étaient étroitement associées à la modulation et au débit de symboles et de la bande passante fréquentielle, à l'introduction de réseaux mobiles entièrement IP a encouragé l'adoption d'une approche à plusieurs niveaux pour améliorer l'utilisation du spectre de l'infrastructure de liaison sans fil. [25]

III.3.1 Efficacité spectrale

L'efficacité spectrale fait référence au débit d'une connexion sans fil pour une bande passante spécifiée. Les techniques suivantes peuvent être utilisées pour améliorer l'efficacité spectrale:

• Modulation. En règle générale, plus le meilleur est élevé, plus la vulnérabilité aux interférences sonores est grande.

• Compression d'en-tête IP de couche 2 à 4 et une compression de charge utile, améliore l'efficacité spectrale en réduisant la charge de trafic. [26]

III.3.2 Choisir un modèle de trafic réseau

La principale préoccupation lors de la conception d'un réseau pour tirer parti des avantages d'une nouvelle technologie innovante, est de choisir un scénario de base raisonnable qui soit le plus sûr possible et laisse suffisamment de marge pour les erreurs de planification de service. Aux fins de la présente discussion, le modèle de trafic réseau de la Recommandation UIT-T G.82613 est scénario de base.

III.3.2.1 Le modèle de trafic 1 (Voice-Intensive) : a été sélectionné comme référence, approuvé en 2008, le document G.8261 traite la synchronisation des réseaux à commutation par paquets et repose sur des modèles de trafic 3GPP, la recommandation propose deux modèles de Backhaul de trafic mobile, l'un centré sur la voix, l'autre centré sur les données. Comme la synchronisation est dépendent fortement des performances du réseau en termes de débit de paquets, le délai de transport…etc., cette recommandation spécifie les différentes tailles des paquets en deux modèles de trafic de base comme suit :

- **Modèle de trafic 1 (voix-intensif)**

Dans ce modèle, 3GPP décrit un réseau dans lequel 80-90% du trafic est conversationnel, et dans lequel la durée moyenne d'appel est de 1 à 2 minutes, et afin de simuler le trafic dans ce modèle, 80% de la charge devrait être constituée de petits paquets à débit binaire constant, les 20% restants contenant un mélange de paquets de taille moyenne et maximale. Le profil de taille de paquet est:

- 80% de la charge de trafic contient des paquets de taille minimale (64 octets).
- 15% de la charge de trafic contient des paquets de taille maximale (1518 octets).
- 5% de la charge de trafic contient des paquets de taille moyenne (576 octets).

III.3.2.2 Modèle de trafic 2 (données intensives)

Ce modèle est axé sur les données et contient des paquets plus volumineux que dans le modèle de trafic 1. Afin de simuler le trafic dans ce modèle, 30% de la charge devrait être constituée de petits paquets à débit binaire constant, les 70% restants contenant mélange de paquets de taille moyenne et maximale. Le profil de taille de paquet est :

• 60% de la charge contient des paquets de taille maximale (1518 octets).
• 30% de la charge contient des paquets de taille minimale (64 octets).
• 10% de la charge contient des paquets de taille moyenne (576 octets).

Avec l'augmentation de la charge de données dans les réseaux mobiles, cette affirmation est contre-intuitive et nécessite une brève explication. Les petits paquets représentent toujours la majorité des paquets dans un réseau et une grande partie de la charge réelle. Ces petits paquets sont de types différents mais consistent principalement comme suite :

• Les paquets vocaux

• Les paquets ICMP

• Messages ACK

Afin de pouvoir juger de l'efficacité des réseaux sans fil, la capacité de liaison est mesurée en termes de débit réel au niveau Ethernet, et pas seulement par le débit de symboles dérivé du schéma de modulation et de la bande passante du canal. Lorsque on regarde les réseaux sans fil de ce point de vue, il est clair qu'il y a des avantages significatifs à obtenir en réduisant la surcharge de paquets, en particulier lorsque de petits paquets sont transmis. Parmi les champs d'en-tête qui peuvent être éliminés sont:

• Lacune inter-trame (Inter-Frame Gap) avec champs de 12 bytes.

• Mac Préambule et délimiteur de début de trame (MAC Preamble and Start-of-Frame Delimiter) avec champs de 12 bytes.

III.3.2.3 Mécanisme de compression d'en-tête IP

La compression d'en-tête IP améliore considérablement l'utilisation des liens en éliminant les informations non nécessaires pour traverser le lien. Chaque flux est affecté d'un code qui permet au côté récepteur de reconstruire la trame d'origine, la compression réduit le sur débit

au niveau Ethernet de 44 octets à seulement 4 octets par trame, (bien sûr, il y a un surcoût supplémentaire associé à la transmission de paquets sur un média sans fil). Comme la taille de l'en-tête est constante, il existe une relation inverse entre la taille du paquet et le gain de capacité relative.

En plus de la compression d'en-tête de couche 2, des gains supplémentaires peuvent être dérivés de la compression des en-têtes de couche 3 et de couche 4. Le tableau III.1 ci-dessous montre le gain par taille de paquet. Notez que ces résultats de compression d'en-tête multicouche sont pour les paquets IPv4 standard. [27]

Tableau III.1 : *Gain de compression en fonction de la taille de trame (frame).*

Trame Ethernet (Octet)	Augmentation de capacité avec la compression de l'entête		
	Suppression Couche 1	délimiteur début et fin de trame	Compression Multicouche
64	27%	45%	150%
96	18%	29%	84%
128	14%	22%	55%
256	7%	11%	23%
512	3.5%	5%	10%
1518	1%	2%	3.6

Si nous appliquons la Recommandation IUT-T G.8261 du modèle voix-central sur un système hertzien basé sur Ethernet utilisant des techniques de compression multiples, nous pouvons espérer des gains significatifs. Pour illustrer cela, nous avons un exemple de 28 MHz de canaux, et les tableaux suivants présentent les gains possibles dans ces deux scénarios en appliquant les deux modèles G.8261 en utilisant diverses techniques de modulation.

Les deux scénarios sont représentés dans les deux tableaux suivants :

Tableau III.2 : *Gain de capacité -3GPP trafic model 1.*

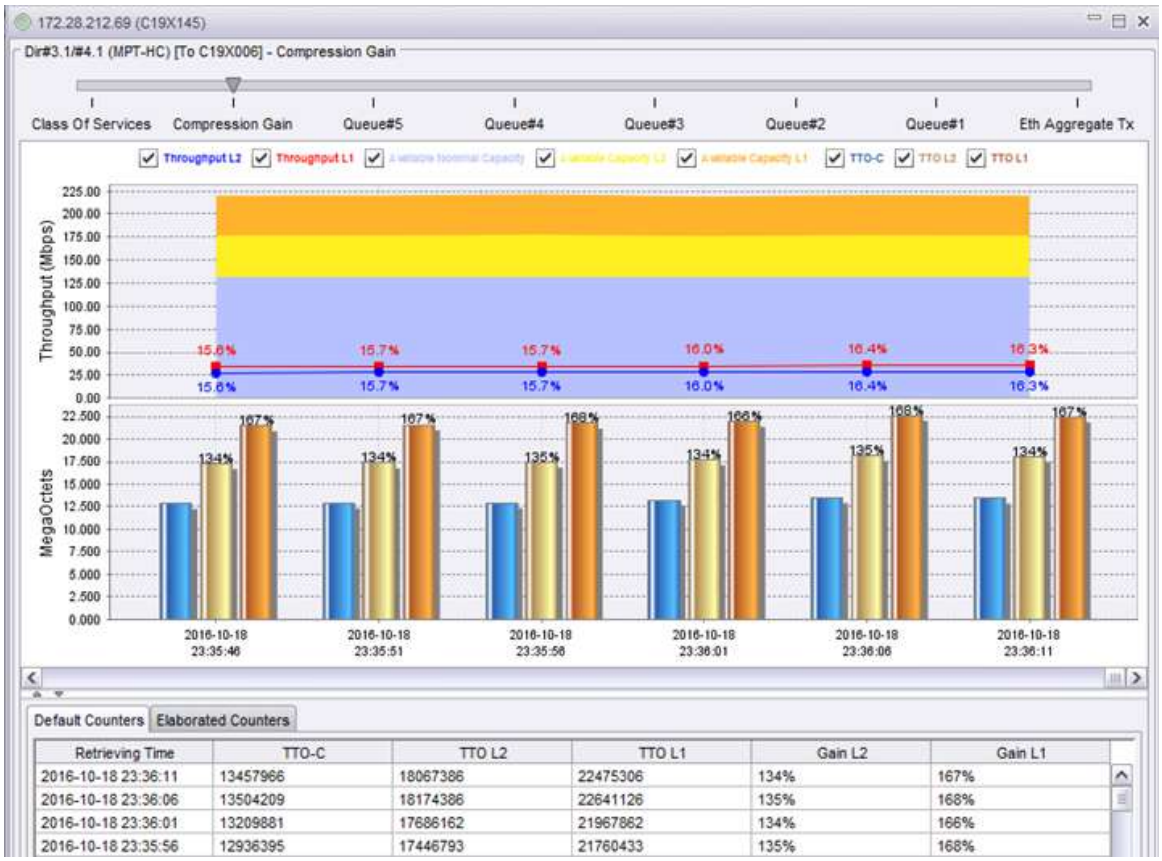
Bande passante (MHz)	Modulation	Profile	capacité radio (Mbps)	Capacité Ethernet avec compression de C2 (Mbps)	
				64 Byte	3GPP Traffic Model de **trafic 1**
ETSI 28	QPSK	0	41	58	54
ETSI 28	8 PSK	1	55	78	73
ETSI 28	16 QAM	2	78	111	105
ETSI 28	32 QAM	3	105	151	142
ETSI 28	64 QAM	4	130	188	176
ETSI 28	128 QAM	5	158	229	215
ETSI 28	256 QAM	6	176	255	240
ETSI 28	256 QAM	7	186	268	253

Tableau III.3 *Gain de capacité -3GPP trafic model 2***.**

Bande passante (MHz)	Modulation	Profile	capacité radio (Mbps)	Capacité Ethernet avec compression de C2 (Mbps)	
				64 Byte	3GPP Traffic Model de **trafic 2**
ETSI 28	QPSK	0	41	58	48
ETSI 28	8 PSK	1	55	78	64
ETSI 28	16 QAM	2	78	111	92
ETSI 28	32 QAM	3	105	151	124
ETSI 28	64 QAM	4	130	188	155
ETSI 28	128 QAM	5	158	229	189
ETSI 28	256 QAM	6	176	255	210
ETSI 28	256 QAM	7	186	268	221

III.4. Étude réelle de compression de l'entête IPv4

Dans le cas réelle on a choisis des tests élaborés sur un lien de transmission existe dans le réseau de l'opérateur des téléphones Mobiles **(DJEZZY)** en collaboration avec le fournisseur d'équipements micro-ondes **Nokia.** Ce lien micro-onde déployé dans la wilaya de Sétif connus par le code C19X145-C19X006 et les résultats des tests extraits à partir de la station de supervision sont comme suit :



Retrieving Time	TTO-C	TTO L2	TTO L1	Gain L2	Gain L1
2016-10-18 23:36:11	13457966	18067386	22475306	134%	167%
2016-10-18 23:36:06	13504209	18174386	22641126	135%	168%
2016-10-18 23:36:01	13209881	17686162	21967862	134%	166%
2016-10-18 23:35:56	12936395	17446793	21760433	135%	168%

Figure III.6 *Gain de capacité après la compression de l'entête*.

Comme il est montré dans la (figure III.5**)** on remarque bien le gain de capacité obtenue à partir de la compression de l'entête niveau 1 et 2 ou le débit initial été de 128 Mbps et après la compression niveau 1 et 2 est devenue respectivement 175 et 214 Mbps.

III.5. L'utilisation globale des techniques d'augmentation de capacité

L'augmentation totale de la capacité disponible en utilisant ces techniques dépend de la configuration spécifique (figure.III.3) illustre les résultats du scénario de base suivant :

- Canal de 28 MHz fonctionnant à modulation fixe 128 QAM.
- 50% du trafic IP acheminé consiste en paquets de plus petite taille.
- Capacité initiale est 160 Mbps.

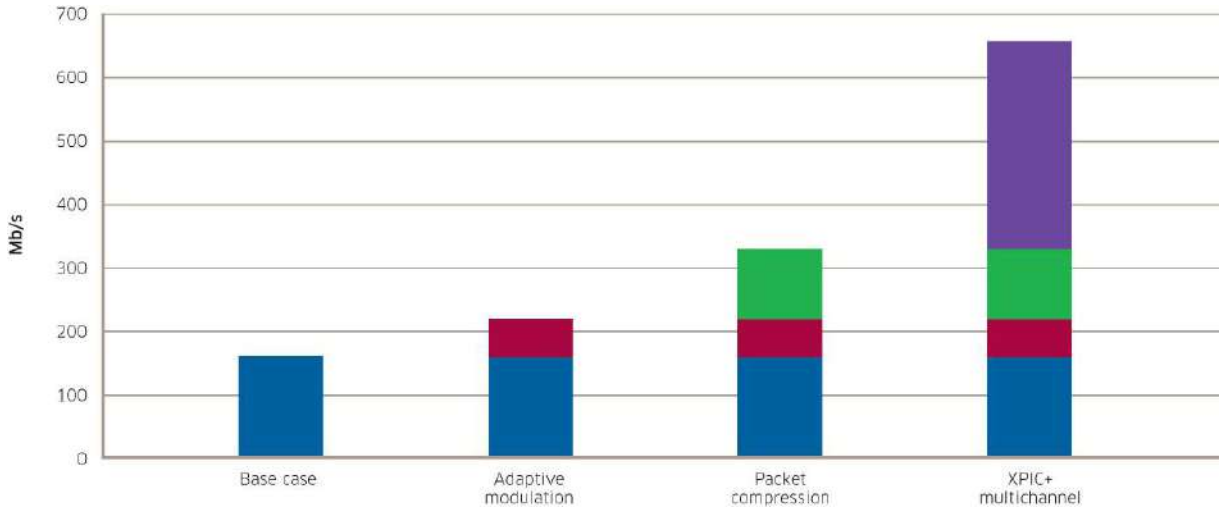


Figure III.7 *Augmentation globale de la capacité*. [28]

Ces techniques augmentent la capacité de 156 Mbps à environ 650 Mbps comme suit:

- La modulation adaptative 1024 QAM ajoute encore 20% à 25%.
- La compression de paquets fournit un gain de 40%.
- L'utilisation de l'XPIC double la capacité.

Conclusion

Lors de l'étude des nouveaux générations des réseaux mobiles on a convaincu que la nécessité de déployé un réseau de transport capable de suivre ce développement est indispensable.

On a détaillé notre plan de charge et de commencer de choisir les solutions existes sur le marché et de trouver Lors de la planification des nouveaux services attrayants pour l'utilisateur mobile à large bande, les gains de capacité par la compression d'en-tête constituent une analyse de rentabilité claire pour la mise en œuvre des réseaux Mobiles.

La planification des pires scénarios peut être une stratégie coûteuse. La bonne décision peut avoir un impact énorme sur le coût de possession du réseau, mais surtout, peut se traduire par une excellente qualité d'expérience des abonnés, protégeant ainsi la base de revenus de l'opérateur.

Bibliographie

[1]https://support.chinavasion.com/1g-2g-3g-4g---the-evolution-of-wireless-generations (Consulté le 08/06/2018).
[2] X. Lagrange, P. Godlewski, S. Tabbane, Réseaux GSM, Editions Hermès Science (5ème édition), Paris 2000, ISBN 2-7462-0153-4.
[3] UMTS : Les origines, l'architecture, la norme, Pierre LESCUYER, 2° édition chez Dunod Réseaux 3G : Principes, architectures et services de l'UMTS, de Pierre LESCUYER WCDMA (UMTS) .
[4] P. Lescuyer, principes, architectures et services de l'UMTS, 3e édition (24 mai 2006))
[5] LTE et les réseaux 4G Yannick Bouguen Éric Hardouin François-Xavier Wolff Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
[6] Deployment Handbook, Christophe CHEVALLIER, Christopher BRUNNER, Andrea GARAVAGLIA, Kevin P. MURRAY, Kenneth R. BAKER.
[7] https://reseauxtelecom.wordpress.com/2011/11/14/comprendre-le-reseau-gsmpartie-1/ (Consulté le 10/06/2018).
[8]http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts (consulté le 10/06/2018)
[9]http://www.ariase.com/fr/guides/4g-lte-mobile.html (consulté le 10/06/2018)
[10] H. Lehpamer, Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment, The McGraw-HillCompanies, Second Edition, New York, 2010.
[11] H. Lehpamer, Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment, The McGraw-HillCompanies, Second Edition, New York, 2010.
[12] I.Henne &P.Thorvaldsen, Planning of line-of-sightradio relay systems Nera,Bergen 1999.
[13] S.Kumar & S. Shukla, Wave Propagation and Antenna Engineering Paperback, 30, New Delhi, 2016.
[14] H. Lehpamer, Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment, The McGraw-HillCompanies, Second Edition, New York, 2010.
[15] J. Mullett, Introduction to wireless telecommunications systems and networks , Thomson Delmar learning, New Delhi 2007.
[16] http://www.louisreynier.com/liaison/hertzienne (consulté le : 11/06/2018)
[17] https://www.solectek.com (consulté le : 11/06/2018)
[18] OptiX RTN 980 Radio Transmission System, Huawei Technologies, China, 2012.
[19] Logiciel pathloss, version 4,Contract Telecommunication Engineering Ltd,Canada.
[20] https://www.ceragon.com/(consulté le : 11/06/2018)
[21] S.Kumar & S. Shukla, Wave Propagation and Antenna Engineering Paperback, 30, New Delhi, 2016.
[22] Logiciel pathloss, version 4,Contract Telecommunication Engineering Ltd,Canada.
[23] OptiX RTN 980 Radio Transmission System, Huawei Technologies, China, 2012
[24] https://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/index.html ((consulté le : 13/06/2018)
[25] P.Volpato An Introduction to Packet Microwave Systems and Technologies, Artech Housue, London, 2017.
[26] W.Gao, Energy and Bandwidth-Efficient Wireless Transmission, Springer international publishing, Switzerland, 2017.
[27] https://www.ceragon.com/(consulté le : 11/06/2018)

[28] « SAM »Station de suprvision d'équipement de tranmission NOKIA
[29] H. Lehpamer, Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment, The McGraw-HillCompanies, Second Edition, New York, 2010.