



République Algérienne Démocratique Et Populaire

**Ministère De l'Enseignement Supérieur
Et de La Recherche Scientifique**

**Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
Faculté des Sciences**



Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Présenté par :

➤ **DOUMER ANIS.**

➤ **CHERIFI YASSER.**

❖ En vue de l'obtention du diplôme de Master en :
Réseaux et télécommunications.

Thème :

***Réseau de transmission pour la 5G, en utilisant les
dernières technologies.***

❖ Promotrice :

➤ **Dr YASMINE GUERBAI.**

❖ Encadreur :

➤ **Mr MAMMERI ABDELAZIZ.**

Année universitaire : 2022-2023.

Remerciements.

Nous remercions tout d'abord par excellence sa grandeur « le bon dieu », qui nous a donné le courage et la patience tout au long de notre vie.

*Nos premiers remerciements vont à notre promotrice **Mme YASMINE GUERBAI**, qui a suivi et veillé sur le bon déroulement de ce travail avec ses conseils, ses remarques constitutives, et surtout pour sa compréhension et son encouragement.*

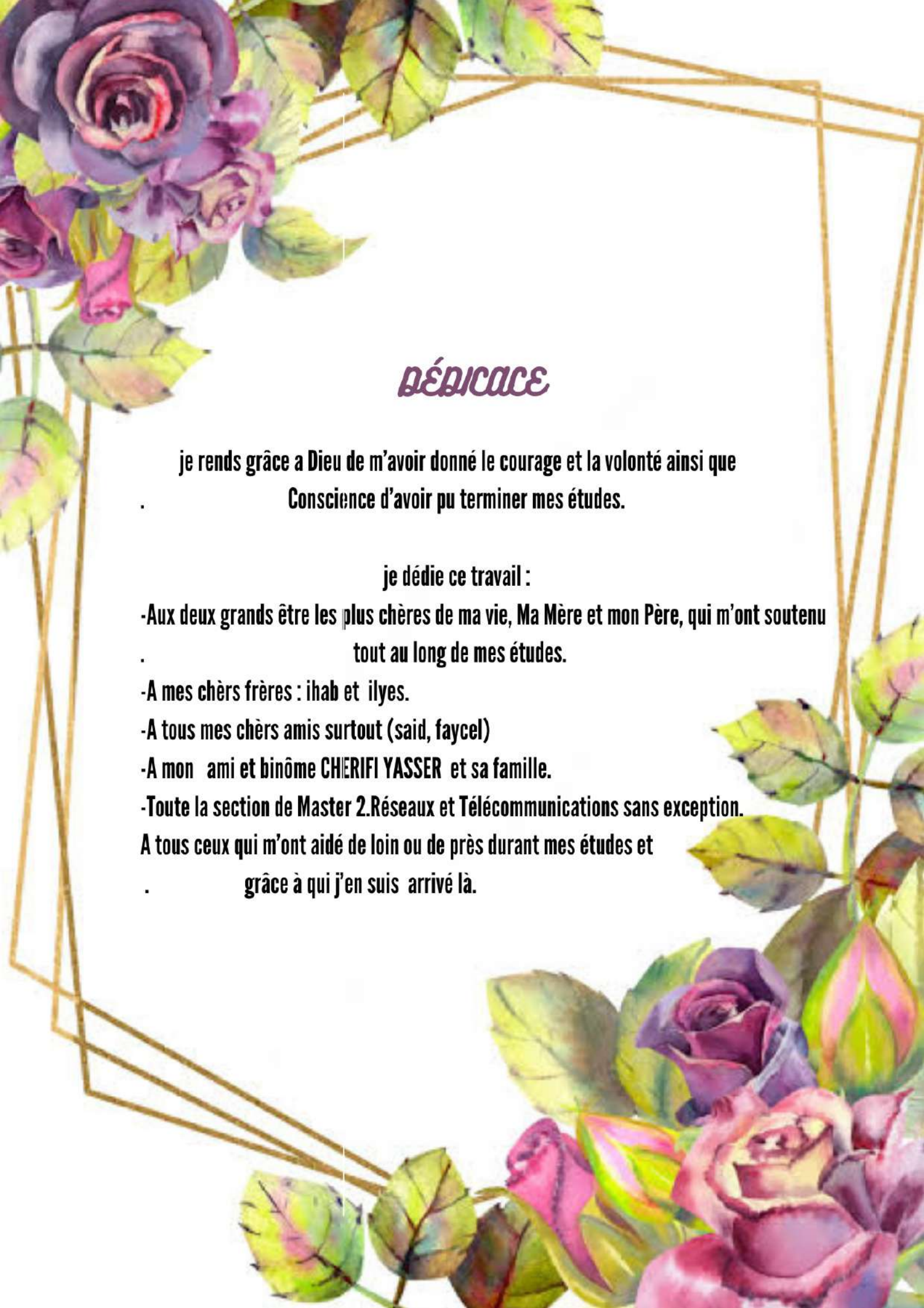
*Nous adressons aussi nos remerciements à notre co-promoteur **Mr MAMMERI ABDELAZIZ** de nous avoir pris en charge et bien encadré durant l'expérimentation et reconnaissance et à toute l'équipe **d'ATM MOBOLIS** qui a contribué à notre formation durant notre stage.*

Par conséquent, tous ces moyens nous ont permis de réaliser notre travail dans sa meilleure forme.

Nous remercions le président du jury et les examinateurs d'avoir accepté de juger notre travail.

Tous nos infinis remerciements vont à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus universitaire, pour le riche s'avoir qu'ils nous ont transmis avec rigueur et dévouement.

Enfin, nous tenons à remercier également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

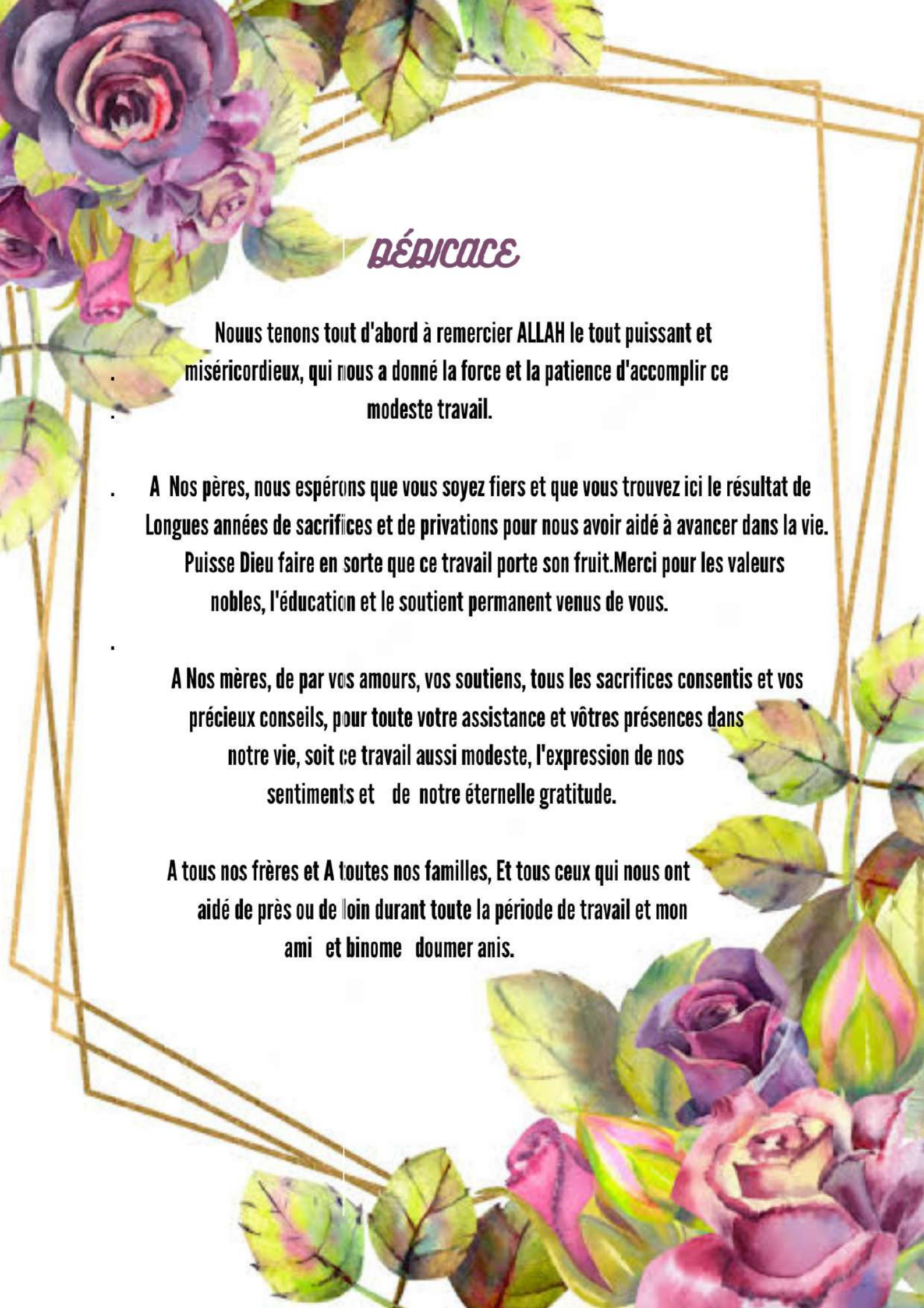


DÉDICACE

je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que
Conscience d'avoir pu terminer mes études.

je dédie ce travail :

- Aux deux grands être les plus chères de ma vie, Ma Mère et mon Père, qui m'ont soutenu
tout au long de mes études.
 - A mes chers frères : ihab et ilyes.
 - A tous mes chers amis surtout (said, faycel)
 - A mon ami et binôme CHERIFI YASSER et sa famille.
 - Toute la section de Master 2.Réseaux et Télécommunications sans exception.
- A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant mes études et
grâce à qui j'en suis arrivé là.



DÉDICACE

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

A Nos pères, nous espérons que vous soyez fiers et que vous trouvez ici le résultat de Longues années de sacrifices et de privations pour nous avoir aidé à avancer dans la vie.

Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venus de vous.

A Nos mères, de par vos amours, vos soutiens, tous les sacrifices consentis et vos précieux conseils, pour toute votre assistance et vôtres présences dans notre vie, soit ce travail aussi modeste, l'expression de nos sentiments et de notre éternelle gratitude.

A tous nos frères et A toutes nos familles, Et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin durant toute la période de travail et mon ami et binome doumer anis.

تركز هذه الرسالة على دراسة شبكة النقل للجيل الخامس باستخدام أحدث التقنيات. من خلال تقديم نظرة عامة على تطور شبكات النقل من G2 إلى G4 ، واستكشاف روابط الميكروويف والتأكيد على تخطيط روابط الإرسال وتحديد أبعادها ، بالإضافة إلى تقديم حل النطاق الإلكتروني ، فإننا نساهم في المعرفة والنجاح تنفيذ G5. أثناء استخدام المحاكى أو برنامج Ellipse المخصص للتخطيط وتحديد الأبعاد ، يعتمد مستقبل الاتصالات اللاسلكية على شبكة نقل قوية وفعالة ، وتهدف هذه الأطروحة إلى تقديم مساهمة كبيرة في هذا التطور.

الكلمات المفتاحية : شبكة النقل ، G5.

Résumé

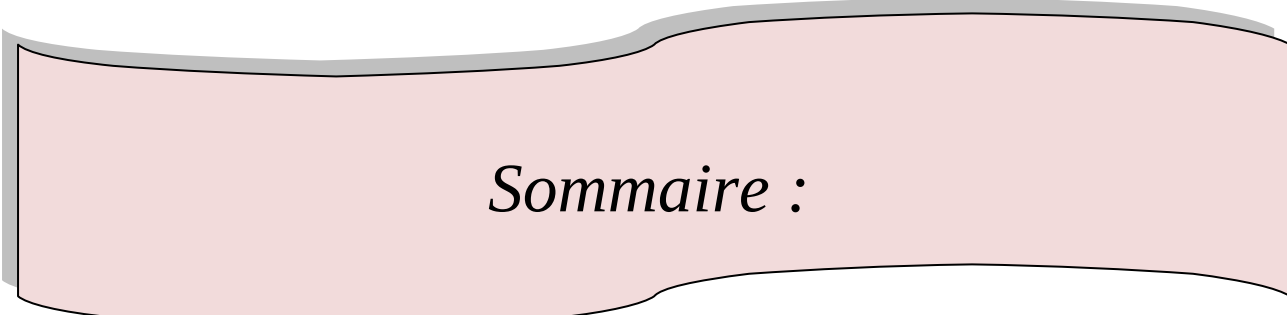
ce mémoire se concentre sur l'étude du réseau de transmission pour la 5G en utilisant les dernières technologies. En fournissant une vue d'ensemble de l'évolution des réseaux de transmission de la 2G à la 4G, en explorant les faisceaux hertziens et en mettant l'accent sur la planification et le dimensionnement des liaisons de transmission, ainsi qu'en présentant la solution E-band, nous contribuons à la connaissance et à la mise en œuvre réussie de la 5G. Tout en utilisant le simulateur ou le logiciel Ellipse destiné à la planification et le dimensionnement L'avenir des communications sans fil repose sur un réseau de transmission solide et efficace, et ce mémoire vise à apporter une contribution significative à cette évolution.

Mots clés : réseau de transmission, 5G.

Abstract

This thesis focuses on the study of the transmission network for 5G using the latest technologies. By providing an overview of the evolution of transmission networks from 2G to 4G, exploring microwave links and emphasizing the planning and dimensioning of transmission links, as well as presenting the E-band solution, we contribute to the knowledge and successful implementation of 5G. While using the simulator or the Ellipse software intended for planning and dimensioning, the future of wireless communications relies on a solid and efficient transmission network, and this thesis aims to make a significant contribution to this evolution.

Keywords: transmission network, 5G.



Sommaire :

Introduction générale

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles

I.1.Introduction	2
I.2.Définition du concept cellulaire	2
I.2. historique des réseaux mobiles	3
I.2.1. La première génération 1G	3
I.2.2. La deuxième génération 2G/Gsm	3
I.2.3. La troisième génération 3G/UMTS	4
I.2.4. La quatrième génération 4G/LTE	4
I.3.Architecture de GSM	4
I.3.1.La station mobile(MS)	5
I.3.2.Le sous-système radio(BSS)	5
I.3.2.1.Les BTS	5
I.3.2.2.Les BSC	5
I.3.3 Base Station Subsystem (BSS)	5
I.3.4. Sous-système fixe (NSS).....	5
I.3.4.1.Les MSC.....	6
I.3.4.2.Equipment Identity Register (EIR).....	6

I.3.4.3. Visitor Location Register (VLR)	6
I.3.4.4. Home Location Register (HLR)	6
I.3.4.5. Centre d'authentification (AUC).....	7
I.3.4.6. Enregistreur des identités des équipements (EIR).....	7
I.4. Architecture de UMST	7
I.4.1. Le réseau cœur (CN)	8
I.4.2. Le réseau d'accès Radio (UTRAN)	8
I.4.3. Le terminal utilisateur (UE).....	9
I.5. Architecture de LTE	9
I.5.1. Les modules complémentaires de la 4G.....	10
I.5.1.1. MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8).....	10
I.5.1.2. HSS : Home Subscriber Service.....	10
I.5.1.3. PDN-GW: Packet Data Network GateWay.....	11
I.5.1.4. SGW: Serving Gateway.....	11
I.5.1.5. PCRF.....	11
I.5.1.6. SGSN : Serving GRPS Support Nom.....	11
I.6. présentation des technologie de transmission	12
I.6.1. Transmission analogique.....	12
I.6.2. Transmission numérique.....	12
I.6.3. FDMA (Frequency Division Multiple Access).....	12
I.6.4. TDMA (Time Division Multiple Access).....	12
I.6.5. CDMA (Code Division Multiple Access).....	13
I.6.6. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	13

I.7.Conclusion.....	14
---------------------	----

Chapitre II : Généralités sur les réseaux de transmission par les faisceaux hertziens.

II.1.INTRODUCTION	15
II.2.Faisceaux hertziens	16
II.2.1.Définition	16
II.2.2.Constitution	16
II.3.L'histoire des faisceaux hertziens (FH)	17
II.4.Caractéristiques de faisceaux hertziens	17
II.4.1-Utilisation	17
II.4.2. Avantages et limites de cette technologie.	18
II.5. Les bande de fréquences	18
II.5.1.1. E-band	19
II.5.1.2.Configurations de fréquence de la bande E	19
II.5.2.1. V-band	20
II.5.2.2.Utilisation de la Band V	20
II.6.DB (Dual Band)	21
II.6.1.Définition	21
II.6.2.Pourquoi le Bi-Band	21
II.7. Equipements d'une liaison hertzienne	22
II.7.1 Les équipements de Transmission microwaves HUAWEI	22
II.7.1.1 Equipment optix RNT 900 (905 \910\950\980)	22
II.7.1.2.Fonction micro-ondes dans l'optix RNT 900	23

II.7.1.3.Equipement optix RNT 300 (310 \360\380)	24
II.7.1.4.Fonction Micro-Ondes dans l'Optix RNT 300	25
II.7.2.Le câble IF	26
II.7.3.Le coupleur hybride	26
II.7.4. pôle	27
II.7.5.Une antenne directive	27
II.8. Configurations des liaisons hertziennes	29
II.8.1 Configuration non sécurisée (1+0)	29
II.8.2. Configuration sécurisée	29
II.8.2.1. La configuration (1+1)	29
II.8.2.2.La configuration (2+0)	31
II.8.2.3.La configuration (4+0)	32
II.9.Modulation QAM.....	33
II.9.1.La modulation 2QAM.....	33
II.9.2.La modulation 4QAM.....	33
II.9.3.Modulation 8QAM.....	34
II.9.4.La modulation 16QAM	34
II.9.5. La modulation 64QAM.....	35
II.9.6.La modulation 128QAM.....	35
II.9.7.La modulation 512QAM.....	36
II.10. Facteurs pouvant affecter la propagation	37
II.10.1. Dégagement/ diffraction	37
II.10.2. Réflexion, trajets multiples	37
II.10.3.La réfraction	37
Conclusion.....	38

Chapitre III: Etude de cas de planification & dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseau 4G.

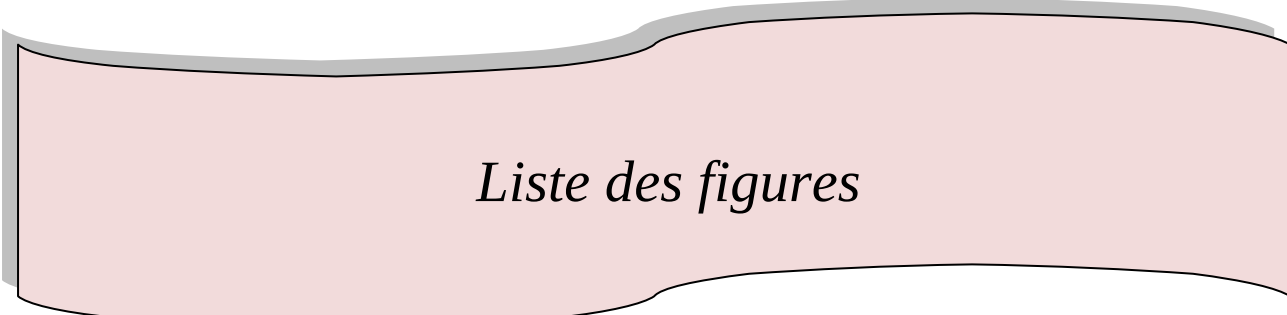
III.1.INTRODUCTION	40
III.2.A propos d'ATM MOBILIS	40
III.3.Logiciel Ellipse	41
III.4. Planification d'un nouveau site	41
III.5.Le choix du channel spacing.....	43
III.6.le choix d'une fréquence.....	44
III.7.La sélection de la polarisation.....	44
III.8.Comparaison des configurations de transmission sans fil : 4+0 vs 2+0 vs 1+0.....	45
III.8.1.Configuration 4+0	45
III.8.2.Configuration 2+0	45
III.8.3.Configuration 1+0	45
III.9. exemple une liaison de type (1+0).....	46
III.10. exemple une liaison de type (4+0).....	49
Conclusion	52

Chapitre IV : La solution E-band pour la 5G.

IV.1.Introduction	53
IV.2.Les avantages de l'E-band par rapport au K-band.....	53
IV.3.Planification de la liaison de transmission en configuration 1+0 avec la fréquence E-band.....	54
IV.4.CONCLUSION	60

Conclusion générale

Conclusion générale	61
---------------------------	----



Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles.

<i>Figure I.1 :</i> Evolution des réseaux mobiles cellulaires.	3
<i>Figure I.2 :</i> Architecture du GSM.	4
<i>Figure I.3 :</i> Architecture globale du réseau UMTS.	7
<i>Figure I.4 :</i> L'architecture de la 4G.	9
<i>Figure I.5 :</i> L'architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE.	10

Chapitre II : Généralités sur les réseaux de transmission par les faisceaux hertziens.

<i>Figure II.1 :</i> Structure d'une liaison FH(1).	16
<i>Figure II.2 :</i> Structure d'une liaison FH(2).	16
<i>Figure II.3:</i> différents bandes de fréquence micro-ondes.....	19
<i>Figure II.4 :</i> Les bandes de fréquence.	19
<i>Figure II.5 :</i> Les canaux d'E-Band.	20
<i>Figure II.6:</i> Illustré d'installation et d'alimentation de V-Band.	20
<i>Figure II.7 :</i> présentation Dual Band.	21
<i>Figure II.8:</i> RNT 310.	25
<i>Figure II.9:</i> RNT 360.	25
<i>Figure II.10:</i> RNT 380.	25

Figure II.11: exemple d'une câble IF (Intermediate Frequency).	26
Figure II.12 : Le coupleur hybride.	27
Figure II.13 : un exemple d'un antenne.	27
Figure II.14 : Le gain d'une antenne.	27
Figure II.15: La configuration non sécurisée (1+0).	29
Figure II.16 : La configuration sécurisée (1+1) « hot standby Single antenna configuration »	30
Figure II.17: La configuration sécurisée (1+1) « hot standby –Space diversity Double antenna Configuration »	30
Figure II.18 : La configuration securisée (1+1) Twin path –Frequency diversity.	31
Figure II.19: La configuration (2+0).	32
Figure II.20 : La configuration (4+0).	32
Figure II.21 : Modulation 2QAM.	33
Figure II.22 : Modulation 4QAM.	35
Figure II.23 : Modulation 8QAM.	34
Figure II.24 : Modulation 16QAM.	35
Figure II.25 : Modulation 64QAM.	35
Figure II.26 : Modulation 128QAM.	36
Figure II.27 : Modulation 512QAM.	36
Figure II.28 : Propagation par diffraction et trajets multiple.	37
Figure II.29 : Indice de réfraction réduit N mesurée en basse atmosphère.	38

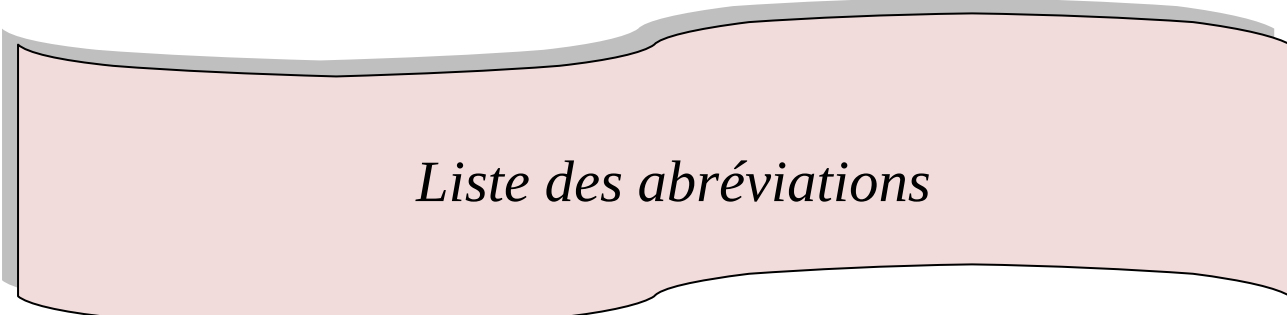
Chapitre III : Etude de cas de planification & dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseaux 4G (volet de Transmission).

<i>Figure III.1 :</i>	<i>Interface du logiciel Elipse « en adrar » et créer de nouveaux site inim et ingm.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure III.2 :</i>	<i>Création d'un lien entre les deux sites.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure III.3 :</i>	<i>Création un lien sans aucun obstacles.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure III.4 :</i>	<i>Parametre de frequence (01).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure III.5 :</i>	<i>Choix de type d'antenne (01).....</i>	<i>47</i>
<i>Figure III.6 :</i>	<i>Choix d'équipements Radio (01).....</i>	<i>47</i>
<i>Figure III.7 :</i>	<i>Configuration modems (01).....</i>	<i>48</i>
<i>Figure III.8 :</i>	<i>Bilan de liaison (01).....</i>	<i>48</i>
<i>Figure III.9 :</i>	<i>Choix de type d'antenne (02).....</i>	<i>49</i>
<i>Figure III.10 :</i>	<i>Choix d'équipements Radio (02).....</i>	<i>50</i>
<i>Figure III.11 :</i>	<i>Configuration modems (02).....</i>	<i>50</i>
<i>Figure III.12 :</i>	<i>Bilan de liaison (02).....</i>	<i>51</i>

Chapitre IV : La solution E-band pour la 5G.

<i>Figure IV.1 :</i>	<i>Choix de type d'antenne (03).....</i>	<i>54</i>
<i>Figure IV.2 :</i>	<i>Choix d'équipements Radio (03).....</i>	<i>55</i>
<i>Figure IV.3 :</i>	<i>Configuration modems (3).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure IV.5 :</i>	<i>Bilan de liaison (3).....</i>	<i>56</i>
<i>Figure IV.4 :</i>	<i>augmentation de chanel spacing.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure IV.5 :</i>	<i>le résultat de la capacité.....</i>	<i>57</i>

<i>Figure IV.6 :</i> Bilan de liaison (3).....	58
<i>Figure IV.7 :</i> Exemple de liaison réel a Tlemcen.....	59



Liste des abréviations

Liste des abréviations :

-1&@;?-

1G :	La première génération.
2G :	La deuxième génération.
3G :	La troisième génération.
4G :	La quatrième génération.
5G :	la cinquième génération.

-A-

AES :	standard de cryptage avancé.
AM :	Modulation adaptative.
ATPC:	contrôle automatique de la puissance de transmission.
AUC :	Authentication Center.

-B-

BBU :	Baseband Unit.
BSS :	Base Station Subsystem.
BTS:	Station de base.

-C-

. CDMA:	Code Division Multiple Access.
CN:	Core Network.
CPRI :	Common Public Radio Interface.
CS-OFDMA:	Single Carrier Frequency Division Multiple Access.

-D-

DB:	Dual Band.
------------	------------

-E-

EIR:	Equipment Identity Register.
EPC :	Evolved Packet Core.
EPS:	Evolved Packet System.
E-UTRAN :	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.

Liste des abréviations :

FDMA:	Frequency Division Multiple Access.
FH:	Faisceaux hertziens
-G-	
GSM :	Global System for Mobile Communications
GPRS:	General Packet Radio Service.
-H-	
HLR:	Le Home Location Register.
HSS:	Home Subscriber Server.
-I-	
IDU:	équipement Indoor.
IF :	Intermediate Frequency.
IMEI:	International Mobile Equipment Identity
-L-	
LTE:	Long Tern Evolution.
-M-	
MCM:	Multi Carrier Modulation.
MME :	Mobility Management Entity.
MMS :	Multimedia Messaging Service.
MS:	La station mobile.
MSC :	Mobile Switching Centers.
-N-	
NSS :	Sous-système fixe.
-O-	
ODU :	équipement Indoor.
ODUs :	Outdoor Units.
OFDM:	Orthogonal Frequency Division Multiplex.
OFDMA:	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access.
-P-	

Liste des abréviations :

PCRF: Policy Charging Rule Function.

PDN-GW: Packet Data Network GateWay.

PGW: Packet Gateway.

PLA : Packet Link Aggregation.

-R-

RF : Radio Fréquence.

RRU : Remote Radio Unit.

-S-

SAE: Système d'Archivage Électronique.

SIM : subscriber identity mobile.

SGSN: Serving GRPS Support Nom.

SGW: Serving Gateway.

SMS: Short Message Service.

-T-

TDMA: Time Division Multiple Access.

-U-

UE: User Equipment.

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System.

UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access Network.

-V-

VLR: Visitor Location Register.

-W-

W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access.

WLAN: Wireless Local Area Network.

-X-

XPIC : interférence de polarisation croisée.

LISTE DES TABLEAUX

***Chapitre II :Généralités sur les réseaux de transmission par
les faisceaux hertziens.***

Tableau II.1 : Les caractéristiques d'Optix RTN (905\910\950).23

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La cinquième génération (5G) des réseaux mobiles, représente une avancée majeure dans le domaine des communications sans fil. Elle promet des vitesses de transmission plus rapides, une latence réduite et une capacité accrue, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles possibilités et applications révolutionnaires. Cependant, pour tirer pleinement parti de la 5G, il est essentiel de mettre en place un réseau de transmission performant et adapté aux dernières technologies.

Le présent mémoire se consacre à l'étude du réseau de transmission pour la 5G, en mettant l'accent sur l'utilisation des dernières technologies disponibles. Il vise à explorer les évolutions des réseaux de transmission de la 2G à la 4G, à examiner les généralités sur les réseaux de transmission par les faisceaux hertziens, à réaliser une étude de cas de planification et dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseau 4G, et à présenter la solution E-band comme une option prometteuse pour la 5G. De plus, dans la mesure du possible, une simulation de la technologie IBT (Intelligent Beam Tracking) des E-band, proposée par le fournisseur Huawei, sera effectuée.

Le premier chapitre de ce mémoire s'intéresse à l'évolution des réseaux de transmission de la 2G à la 4G. Nous examinerons les avancées réalisées en termes de débit, de capacité et de performance, mettant en évidence les défis rencontrés et les solutions adoptées pour répondre aux besoins croissants des utilisateurs.

Le deuxième chapitre sera consacré aux généralités sur les réseaux de transmission par les faisceaux hertziens. Nous étudierons en détail le fonctionnement de cette technologie, ses composants clés, ainsi que ses avantages et ses inconvénients. Cette compréhension approfondie nous permettra d'évaluer l'efficacité et la pertinence des faisceaux hertziens dans le contexte de la 5G.

Le troisième chapitre se concentrera sur une étude de cas spécifique, à savoir la planification et le dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseau 4G. Nous analyserons les considérations techniques essentielles, telles que la distance, la capacité et la qualité du signal, afin de garantir une connectivité optimale pour les utilisateurs.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous aborderons la solution E-band comme une option pour la 5G. Nous explorerons les avantages offerts par cette technologie utilisant les faisceaux hertziens dans la bande de fréquences E-band, et nous nous pencherons plus spécifiquement sur la technologie IBT proposée par Huawei. Si possible, une simulation de cette technologie sera réalisée pour évaluer ses performances.

En conclusion, ce mémoire vise à fournir une vision complète du réseau de transmission pour la 5G en utilisant les dernières technologies. En explorant les évolutions passées, les généralités sur les faisceaux hertziens, les études de cas et les solutions prometteuses, nous espérons contribuer à une meilleure compréhension de ce domaine en pleine expansion. Il est essentiel de développer un réseau de transmission performant pour la 5G afin de garantir des performances optimales et de tirer pleinement parti des avantages offerts par cette technologie de pointe. En comprenant l'évolution des réseaux de transmission, en explorant les faisceaux hertziens en tant que solution potentielle et en examinant de près la planification et le dimensionnement des liaisons de transmission, nous serons en mesure de prendre des décisions éclairées pour le déploiement de la 5G.

Chapitre I :

L'évolution des réseaux de transmission 2G-4G

I.1.Introduction

Les réseaux de télécommunications mobiles ont connu une évolution considérable depuis leur apparition, notamment avec l'introduction de nouvelles technologies et la mise en place de normes et de protocoles de communication plus sophistiqués.

Les réseaux mobiles de deuxième à quatrième génération, communément appelés 2G, 3G et 4G, ont permis des avancées majeures en termes de débits de transmission de données, de qualité de service, d'accès à l'Internet mobile et de support de nouveaux services et applications.

Dans ce chapitre nous allons décrire ces générations de réseaux mobiles.

I.1.2.Définition du concept cellulaire

Le réseau cellulaire est un réseau de communications spécialement destiné aux équipements mobiles. Il permet la communication entre ces unités mobiles ainsi qu'avec l'ensemble des abonnés. L'onde radio dans le cas d'un réseau cellulaire est le lien entre le mobile et l'infrastructure de l'émetteur[1].

Par définition, un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne grâce à des fréquences formant un spectre hertzien. Ce réseau permet à des millions d'utilisateurs de téléphoner en même temps tout en étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité.

Le premier réseau mis en service était déjà basé sur le concept de motif cellulaire, concept défini au sein des laboratoires « Bell Labs » au début des années 1970. Cette technique est une composante technologique clé des réseaux mobiles car elle permet de réutiliser les ressources du réseau d'accès radio sur plusieurs zones géographiques données appelées cellule. À une cellule est ainsi associée une ressource radio (une fréquence, un code...) qui ne pourra être réutilisée que par une cellule située suffisamment loin afin d'éviter tout conflit intercellulaire dans l'utilisation de la ressource. Conceptuellement, si une cellule permet d'écouler un certain nombre d'appels simultanés, le nombre total d'appels pouvant être supportés par le réseau peut être contrôlé en dimensionnant les cellules selon des tailles plus ou moins importantes. Ainsi, la taille d'une cellule située en zone urbaine est habituellement inférieure à celle d'une cellule située en zone rurale. Les réseaux mobiles sont tous basés sur ce concept de cellule, c'est pourquoi ils sont aussi appelés réseaux cellulaires [2].

I.2.historique des réseaux mobiles

Un réseau mobile est un réseau cellulaire qui permet l'utilisation simultanée de téléphones sans fil, immobiles ou en mouvement, y compris lors de déplacements à grande vitesse et sur grande distance. Depuis 30 ans, plusieurs générations technologiques se succèdent permettant de passer d'un service de communication téléphonique de la voix et transmission de message texte, à des services de données, l'internet mobile, le très haut débit et les objets connectés : G1, GSM/2G, 3G/UMTS, 4G/LTE [4].

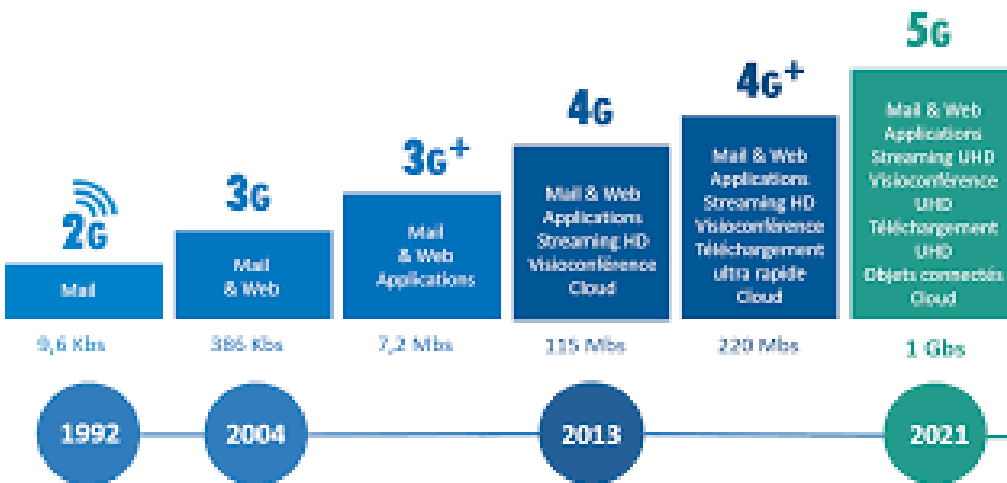


Figure I.1 : Evolution des réseaux mobiles cellulaires[3].

I.2.1.La première génération 1G

La première génération (1G), apparue au début des années 1970, comprenait des systèmes et des plates-formes de communications analogiques essentiellement dédiés à la transmission de la voix. Même si ces systèmes étaient intrinsèquement analogiques, ils utilisaient la signalisation numérique dans de nombreux aspects de leur réseau, y compris l'interface air. Le qualificatif analogique caractérise plutôt la même méthode utilisée pour transporter l'information (sans code) sur ses systèmes [4].

I.2.2.La deuxième génération 2G/GSM

La deuxième génération (2G) repose sur une technologie numérique qui a été développée à la fin des années 1990. L'un de ses standards qui a rencontré le plus large succès est le GSM (Global System for Mobile communication), idéal pour la communication de type voix où les ressources ne seront allouées que

I.2.historique des réseaux mobiles

Un réseau mobile est un réseau cellulaire qui permet l'utilisation simultanée de téléphones sans fil, immobiles ou en mouvement, y compris lors de déplacements à grande vitesse et sur grande distance. Depuis 30 ans, plusieurs générations technologiques se succèdent permettant de passer d'un service de communication téléphonique de la voix et transmission de message texte, à des services de données, l'internet mobile, le très haut débit et les objets connectés : G1, GSM/2G, 3G/UMTS, 4G/LTE [4].



Figure I.1 : Evolution des réseaux mobiles cellulaires[3].

I.2.1.La première génération 1G

La première génération (1G), apparue au début des années 1970, comprenait des systèmes et des plateformes de communications analogiques essentiellement dédiés à la transmission de la voix. Même si ces systèmes étaient intrinsèquement analogiques, ils utilisaient la signalisation numérique dans de nombreux aspects de leur réseau, y compris l'interface air. Le qualificatif analogique caractérise plutôt la même méthode utilisée pour transporter l'information (sans code) sur ses systèmes [4].

I.2.2.La deuxième génération 2G/GSM

La deuxième génération (2G) repose sur une technologie numérique qui a été développée à la fin des années 1990. L'un de ses standards qui a rencontré le plus large succès est le GSM (Global System for Mobile communication), idéal pour la communication de type voix où les ressources ne seront allouées que

pour la durée de la conversation et qui permet également la transmission des données, notamment des messages courts (SMS) et des messages multimédias (MMS), et une itinérance international est assurée[5].

I.2.3.La troisième génération 3G/UMTS

En 1999, le 3GPP a publié le Release'99 de la troisième génération des réseaux cellulaires, dénommée UMTS. Cette dernière repose sur une approche d'étalement de spectre et sur une technologie d'accès multiple, dénommée W-CDMA . An de gérer la mobilité, l'UMTS se base sur un mécanisme de handover horizontal [6].

I.2.4.La quatrième génération 4G/LTE

C'est la génération de téléphonie mobile (et parfois fixe) succédant à la 2G et 3G. Elle permet le très haut débit mobile (débit théorique 150 Mbit/s, si ce n'est plus, et ainsi atteindre le très haut débit mobile. En réalité, la bande passante s'avère toutefois partagée entre les utilisateurs. Moins il y a d'utilisateurs utilisant le réseau et plus le débit est donc élevé [7].

Les réseaux mobiles très haut débit ont été introduits à partir de 2009, offrant des vitesses de téléchargement allant jusqu'à 100 Mbits/s. Les réseaux 4G/LTE offrent également une meilleure qualité de voix et une plus grande capacité de données que les réseaux 3G [8].

I.3 Architecture de GSM

Le réseau GSM (Global System for Mobile Communications) est une norme de communication cellulaire utilisée dans le monde entier. Voici l'architecture générale d'un réseau GSM :

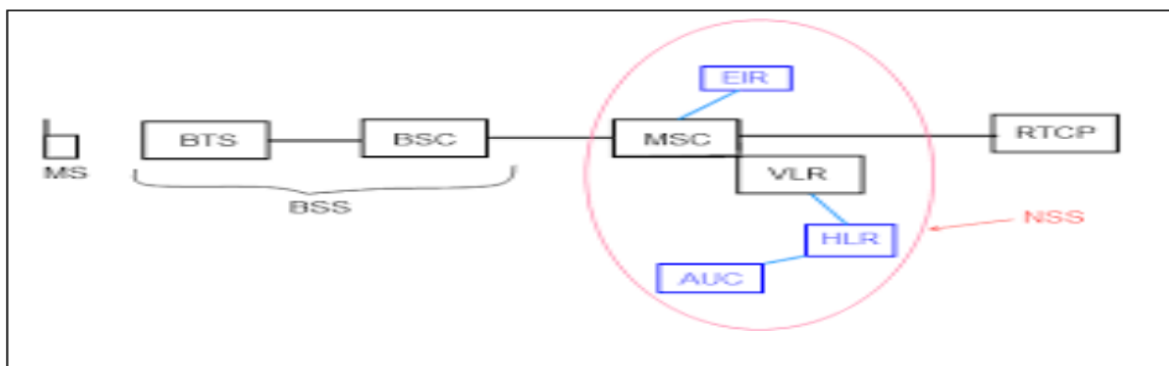


Fig I.2 : Architecture du GSM [9].

I.3.1 La station mobile(MS)

Une station mobile ou MS est composée d'un équipement mobile ME (terminal GSM) et d'une petite carte possédant une mémoire, microprocesseur. Elle sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal utilisé. Cette carte est appelée module d'identité de l'abonné (subscriber identity mobile, carte SIM). Il est donc possible de continuer et recevoir des appels tout en utilisant ces services simplement grâce à l'insertion de la carte SIM dans un terminal quelconque [10].

I.3.2 Station de base (BTS)

La station de base (BTS) est un ensemble d'émetteur récepteur qui assure le contrôle du dialogue radioélectrique entre le mobile et le réseau, elle gère les problèmes liés à la transmission radioélectrique (modulation, démodulation, égalisation, codage et correction d'erreurs, ...) d'un réseau. Elle fournit un point d'entrée dans le réseau aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. Il existe plusieurs types de BTS conçues de manière à fonctionner tout en respectant les conditions de la norme GSM ; parmi lesquels nous citons ;

- Les stations de base rayonnantes,
- La station de base ciblée,
- Les micros stations de base
- Les micros stations de base. [11].

I.3.3 Base Station Subsystem (BSS)

Le sous-système de station de base comprend la station de base et le contrôleur de station de base.

I.3.4 Sous-système fixe (NSS)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à

l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes chiffrement, authentification ou roaming [12].

❖ Le NSS se compose essentiellement des entités suivantes ;

I.3.4.1. Switching Center (MSC)

Les Mobile Switching Centers (MSC), également connus sous le nom de commutateurs mobiles, sont généralement liés aux bases de données VLR. Ils jouent un rôle essentiel en assurant l'interconnexion entre les réseaux mobiles et le réseau fixe public. Le MSC est responsable de diverses fonctions, telles que l'établissement de communications entre deux téléphones mobiles via différents MSC, la transmission de messages courts et la gestion des transferts d'appels (handover) lorsque le MSC question est impliqué.

I.3.4.2. Equipment Identity Register (EIR)

L'EIR est une base de données contenant les identités des terminaux IMEI. Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau. L'accès au réseau peut être refusé parce que le terminal n'est pas homologué, qu'il perturbe le réseau ou bien parce qu'il a fait l'objet d'une déclaration de vol [13].

I.3.4.3. Visitor Location Register (VLR)

Le Registre de Localisation Visiteur (VLR) est une base de données locale qui stocke des informations relatives aux abonnés lorsqu'ils se déplacent dans une zone de service donnée. Le VLR contient des données telles que l'emplacement de l'abonné, les services actifs et les informations de facturation associées.

I.3.4.4. Home Location Register (HLR)

Le Home Location Register (HLR) est une base de données qui stocke les informations de localisation et les caractéristiques des abonnés dans un réseau. Selon des critères tels que la capacité des serveurs, la fiabilité et l'efficacité opérationnelle, un réseau peut posséder plusieurs HLR. Contrairement au

VLR, qui enregistre la localisation des visiteurs, le HLR enregistre la localisation nominale des abonnés.

I.3.4.5. Centre d'authentification (AUC)

Il mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AUC (Authentication Center) de chaque abonné est associé au HLR. Pourtant le HLR fait partie du « sous-système fixe » alors que l'AUC est attaché au « sous-système d'exploitation et de maintenance ». L'AUC avec l'IMSI et le MSISDN fait partie des données clés insérées dans la carte SIM de chaque abonné [14].

I.3.4.6. Enregistreur des identités des équipements (EIR)

L'EIR (Equipment Identity Register) est une base de données qui stocke les identités des terminaux mobiles IMEI. Lorsqu'un abonné fait une demande de service, cette base de données peut être consultée pour vérifier si le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau. Si le terminal n'est pas homologué, s'il perturbe le réseau ou s'il a été signalé comme volé, l'accès au réseau peut être refusé. En résumé, l'EIR joue un rôle crucial dans l'identification et la validation des terminaux mobiles sur le réseau.

I.4. Architectures du réseau UMTS

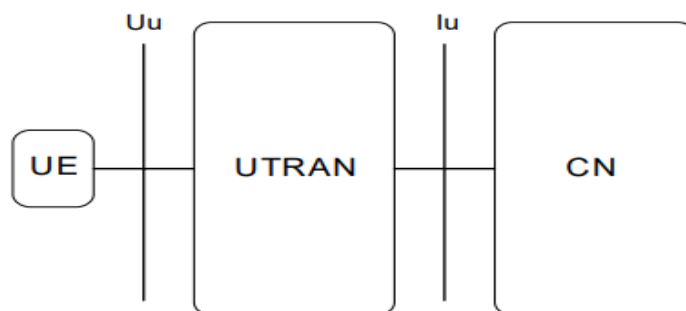


FIGURE 1.3 : Architecture globale du réseau UMTS.

Le réseau UMTS repose sur une architecture flexible et modulaire. Cette architecture n'est associée ni à une technique d'accès radio, ni à un ensemble prédéfini de services, ce qui assure sa compatibilité avec d'autres réseaux mobiles de deuxième et troisième génération et garantit son évolution. L'architecture peut être adaptée en fonction des besoins des opérateurs de télécommunications. Une telle architecture, comme l'illustre la figure 1.6, est composée de trois «domaines» : le domaine de l'équipement de l'utilisateur UE (User Equipment), celui du réseau d'accès radio «universel» UTRAN et celui du réseau cœur CN. [15].

Le réseau 3G se compose principalement des éléments suivants ;

I.4.1. Le réseau cœur (CN)

Enfin, le réseau cœur CN (Core Network) regroupe tous les équipements qui assurent des fonctions telles que le contrôle des appels, la gestion de la sécurité et l'interface avec les réseaux externes. Ces réseaux externes se divisent en deux catégories : les réseaux circuit (Réseau Numérique à Intégration de Service RNIS) et les réseaux paquet (Internet). Le CN joue un rôle essentiel en assurant la connectivité, la gestion des appels et la sécurité au sein du réseau de télécommunications.

I.4.2. Le réseau d'accès Radio (UTRAN)

Le réseau d'accès radio est responsable de l'acheminement des informations de l'utilisateur vers le réseau cœur. Il agit comme une passerelle entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur en utilisant les interfaces "Uu" et "lu". Ces interfaces permettent la transmission bidirectionnelle des données entre l'utilisateur et le réseau cœur. Le réseau d'accès radio joue un rôle crucial dans l'établissement de la connectivité et le transfert des informations entre l'utilisateur et les services du réseau cœur.

Cependant, il est chargé d'autres fonctions telles que ;

- **Sécurité** : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.
- **Mobilité** : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.

- **Gestion des ressources radio** : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- **Le contrôle du Handover.**

I.4.3. Le terminal utilisateur (UE)

Le domaine UE (User Equipment) englobe tous les équipements terminaux qui permettent à l'abonné d'accéder à l'infrastructure et aux services du réseau via l'interface Uu. Le domaine UE se compose de deux parties distinctes : le domaine de l'équipement mobile (ME, Mobile Equipment)

I.5.L'architecture de LTE

Les réseaux LTE sont des réseaux cellulaires constitués de milliers de cellules radio qui utilisent les mêmes fréquences hertziennes, y compris dans les cellules radio mitoyennes, grâce aux codages radio OFDMA et SC-FDMA. La figure 4 présente l'architecture du réseau LTE. [16]

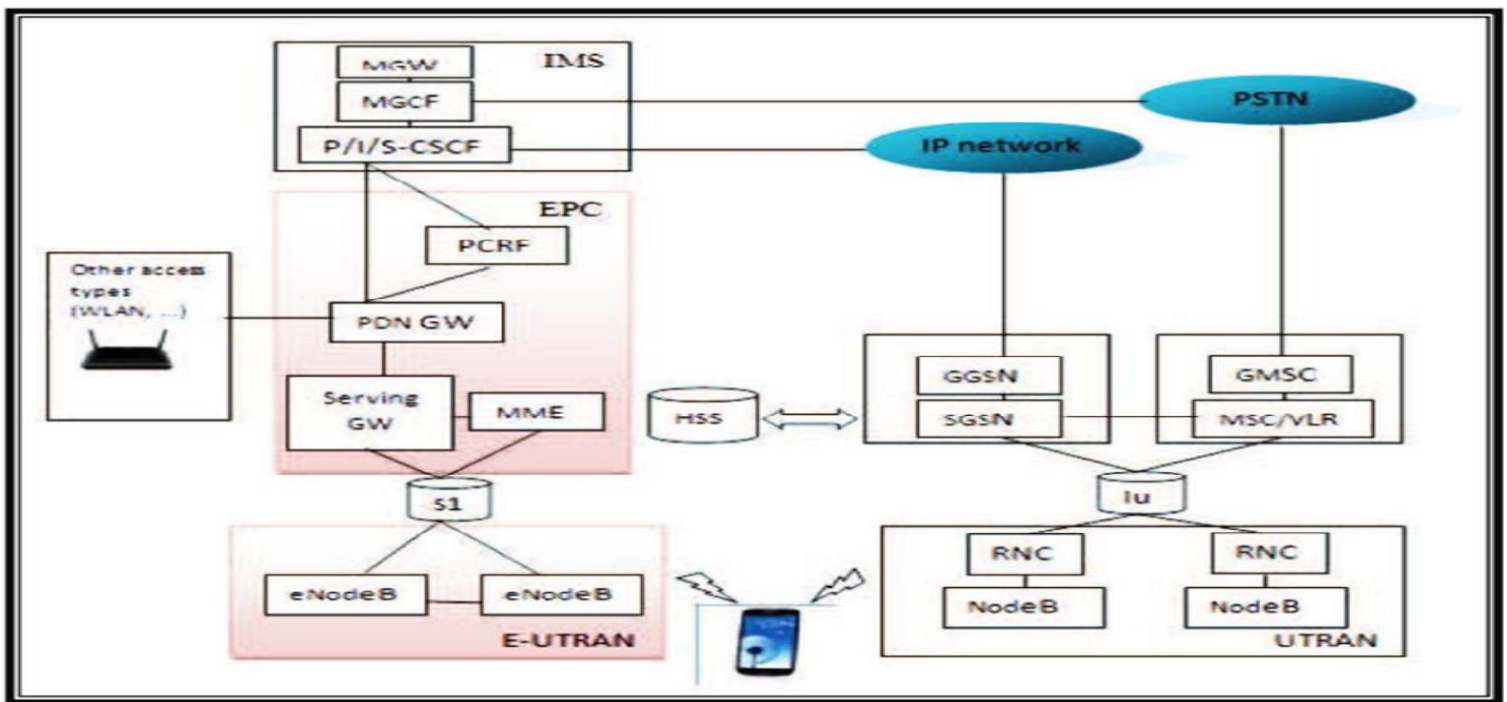


Figure I.4 : L'architecture de la 4G.

Les nouveaux blocs spécifiés pour l'architecture, connus aussi sous le nom d'EPS (Evolved Packet System), sont l'EPC (Evolved Packet Core) et l'E-UTRAN (Evolved UTRAN). La figure 5 présente une architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE

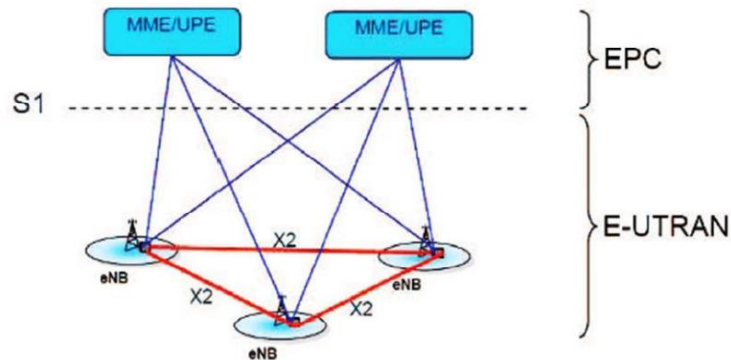


Figure I.5 : L'architecture simplifiée de la partie EPS du réseau LTE [16]

I.5.1. Les modules complémentaires de la 4G

I.5.1.1. MME : Mobility Management Entity (3GPP Release 8)

C'est l'entité de gestion de mobilité qui gère l'authentification des utilisateurs, l'attribution des adresses IP et la gestion de la mobilité des utilisateurs entre les cellules eNodeB.

Il se compose des fonctions principales dans le plan de contrôle. Il sert à :

I.5.1.2. HSS : Home Subscriber Service :

Dans la technologie LTE, le service HLR est réutilisé et renommé « Home Subscriber Server » (HSS). Le HSS est un HLR évolué qui contient toutes les informations pour les réseaux GSM/GPRS/3G/LTE et IMS. À la différence de la 2G et 3G, l'interface vers le HLR est supportée par le protocole MAP (protocole du monde SS7), HSS utilise l'interface dite S6 qui utilise le protocole « Diameter » (protocole du monde IP). Le HSS est une base de données qui peut être utilisée simultanément par les réseaux 2G et 3G, LTE/SAE et IMS [17].

I.5.1.3. PDN-GW: Packet Data Network GateWay:

C'est la passerelle de données qui gère la connexion entre le réseau LTE et les réseaux de données externes, tels que l'Internet et les réseaux d'entreprise

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.

I.5.1.4. SGW: Serving Gateway

La SGW (Serving Gateway), est un élément plan de données au sein de LTE/SAE. Son objectif principal est de gérer la mobilité du plan utilisateur, elle agit également comme une frontière principale entre le Radio Access Network, RAN et le réseau cœur. La SGW maintient également les chemins de données entre les eNodeBs et les passerelles PDN. De cette façon, le SGW forme une interface pour le réseau de données par paquets à l'E-UTRAN. Aussi quand les UEs se déplacent dans les régions desservies par des eNodeBs différentes, la SGW sert de point d'ancrage de mobilité veillant à ce que le chemin de données soit maintenu.

I.5.1.5.PCRF

Il fournit au PGW les règles de taxation nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable[18].

I.5.1.6. SGSN

Interconnecte le LTE, UMTS, et le réseau GSM pour augmenter la mobilité

En résumé, l'architecture de LTE est basée sur un système de réseau d'accès radio (E-UTRAN) et un système de réseau cœur (EPC), qui travaillent ensemble pour fournir des services de communication de données mobiles haute vitesse.

I.6.présentation des technologie de transmission

I.6.1.Transmission analogique

Cette technique utilise des signaux continus pour transférer des données. Elle est utilisée pour les transmissions de signaux audio et vidéo analogiques, tels que les transmissions téléphoniques, les signaux de télévision analogique et les signaux de radio.

1.6.2.Transmission numérique

Cette technique utilise des signaux discrets pour transférer des données. Elle est utilisée pour les transmissions de données numériques, telles que les transmissions Internet, les transmissions de SMS et les transmissions de signaux de télévision numérique.

1.6.3 FDMA (Frequency Division Multiple Access)

L'accès multiple à répartition dans les fréquences (FDMA) est la méthode la plus ancienne, celle-ci a été utilisée en analogique. Son but est de faire véhiculer un appel unique dans un seul sens par l'intermédiaire de canaux dans un seul sens. Cette méthode permet une transmission continue, elle n'a besoin que d'un faible entête. En fonction des besoins de signalisation un ou plusieurs canaux de contrôle sont utilisés. Cette méthode ne nécessite pas la complexité des mobiles, mais demande un coût d'équipement fixe élevé (nécessité d'utiliser un duplexeur).

1.6.4.TDMA (Time Division Multiple Access)

L'accès multiple à répartition dans le temps (AMRT), en anglais (time division multiple access TDMA) est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il s'agit d'une division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) ou une longueur d'onde peut être allouée à plusieurs abonnés simultanément.

Chaque porteuse (canal physique) supporte huit intervalles de temps (time slot) attribués à huit communications, c'est-à-dire que 8 personnes utilisent la même bande de fréquence, mais ils parlent l'un après l'autre. Un inconvénient de cette technique est qu'il faut transmettre une synchronisation (horloge) qui soit la meilleure possible pour que chaque utilisateur puisse récupérer ses données reçues et en émettre sans interférence avec les autres abonnés.

Le GSM utilise le multiplexage TDMA auquel on ajoute la FDMA pour optimiser les ressources fréquentielles ; ce type de multiplexage peut être schématisé par la figure suivante où quatre canaux seulement ont été pris de toute la bande passante [19].

I.6.5.CDMA (Code Division Multiple Access)

Les systèmes CDMA incluent un certain nombre de dispositifs qui ne sont pas forcément présents dans les autres systèmes de communication. Ces propriétés sont très importantes à préciser parce qu'elles permettent de différencier les systèmes. Elles jouent aussi un rôle important pour augmenter la capacité du système, améliorer la qualité de service et développer la performance du système du point de vue du débit/surface[20].

I.6.6.OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Un des éléments clés du LTE (Long Term Evolution) est l'utilisation de la technologie OFDM en tant que porteuse du signal, ainsi que l'utilisation de ses systèmes d'accès associés, l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) et la SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). L'OFDM est une méthode de Modulation Multi-Porteuse (MMP), MCM - Multi Carrier Modulation) utilisée grâce à ses propriétés intéressantes, particulièrement pour les systèmes de transmissions mobiles à haut débit de données tel que le WLAN, WiMax et bien sûr le 4G LTE. L'OFDM présente de nombreux avantages, y compris sa robustesse contre l'évanouissement du signal par trajets multiples et contre les interférences. Cette technologie a été utilisée depuis les années 60 par les militaires pour leurs systèmes de communications câblés. Malgré son excellent comportement spectral, l'OFDM n'a été commercialisé que récemment, principalement à cause du coût élevé de son implémentation. Le développement technologique, surtout dans le domaine de la microélectronique a rendu son implémentation commerciale possible.

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept de base de la téléphonie mobile ainsi que les différentes générations de réseaux mobiles qui ont commencé par la première génération analogique et passant par l'ère du numérique avec la deuxième et la troisième génération pour arriver à la quatrième génération qui a amélioré les débits. Pour les réseaux faisceaux hertzien nous avons présenté un bref aperçu et qui sera question de notre étude approfondie dans le prochain chapitre.

Chapitre II :

*Des Généralités sur les réseaux de transmission par les
faisceaux hertziens*

I.Introduction

Le deuxième chapitre de ce mémoire se concentre sur les faisceaux hertziens (FH) en tant que technologie de transmission essentielle dans les réseaux de communication. Nous commencerons par définir les faisceaux hertziens et examiner leur constitution. Ensuite, nous plongerons dans l'histoire des faisceaux hertziens pour mieux comprendre leur évolution et leur importance dans le domaine des télécommunications. Nous étudierons également les caractéristiques des faisceaux hertziens, leur utilisation et les avantages ainsi que les limites de cette technologie.

Nous aborderons ensuite les différentes bandes de fréquences utilisées dans les faisceaux hertziens, en mettant l'accent sur la bande E et la bande V. Nous explorerons les configurations de fréquence spécifiques à chaque bande et discuterons de l'utilisation de la bande V pour les petites cellules dans les réseaux de communication mobiles ou privés.

Un aspect important que nous aborderons est le concept de Dual Band (Bi-Band), qui offre une technologie innovante d'agrégation de liens entre les bandes. Nous analyserons la définition et les raisons de l'utilisation du Dual Band dans les faisceaux hertziens.

Nous examinerons également les équipements essentiels d'une liaison hertzienne, tels que les équipements de transmission microwaves HUAWEI et leurs fonctions spécifiques. Nous discuterons également du câble IF, du coupleur hybride, du pôle et de l'antenne directive, qui sont des éléments clés dans le déploiement et le fonctionnement des liaisons hertziennes.

Ensuite, nous nous pencherons sur les différentes configurations de liaisons hertziennes, en mettant l'accent sur les configurations sécurisées telles que le 1+1, le 2+0 et le 4+0. Nous étudierons les avantages et les caractéristiques de chaque configuration pour mieux comprendre leur utilisation dans divers scénarios.

Enfin, nous aborderons les facteurs pouvant affecter la propagation des faisceaux hertziens, tels que le dégagement/diffraction, la réflexion et les trajets multiples, ainsi que la réfraction. Nous explorerons comment ces facteurs peuvent influencer la qualité et la stabilité des liaisons hertziennes.

II.2 .Faisceaux hertziens

II.2.1 Définition

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux (aujourd'hui principalement numériques) bilatérale et permanente entre deux points fixes : on parle de liaison point à point. Il utilise comme support les ondes radioélectriques avec des fréquences porteuses de 1.5 GHz à 38 GHz (domaine des micro-ondes), très fortement concentrées à l'aide des antennes directives. A débit donné, la portée se réduit lorsque la fréquence du FH augmente [21].



Figure II.1.Structure d'une liaison FH(1).

II.2.2 Constitution

-Le système de transmission par faisceaux hertziens est constitué par :

- Des stations terminales utilisant les émetteurs et des récepteurs dirigeant dans le même sens.
- Des stations relais : utilisant les émetteurs et les récepteurs dans le sens contraire[22].

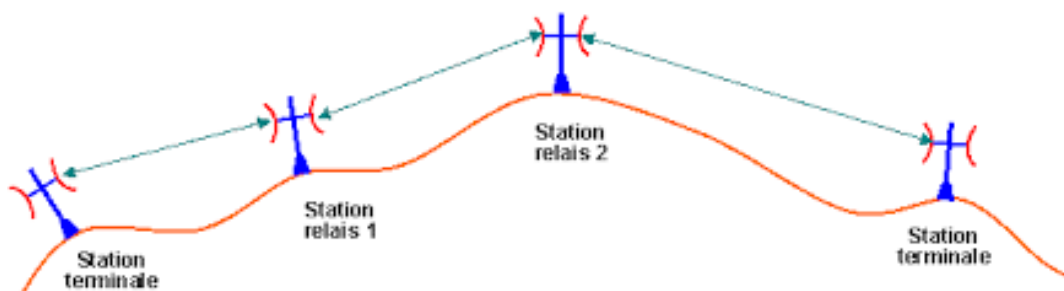


Figure II.2 : Structure d'une liaison FH(2).

II.3.L'histoire des faisceaux hertziens (FH)

- 1931 : après de multiples recherches, une première liaison entre Calais et la ville Douvres est effectuée.
 - 1942 : l'ANTRC, fabrication du premier faisceau hertzien (FH) aux États-Unis, anciennement appelé VHF, puis "câble hertzien".
 - 1944 : cette technologie fut transmise aux Français en dotation à l'époque du débarquement.
 - 1944 - fin des années 80 : mise en service pour les transmissions des forces, pour ensuite servir à la D.O.T.
 - Pendant les années 60 : la technologie se développe pour donner vie à 3 nouvelles gammes de faisceaux hertziens. Chacun de ces appareils répond à des besoins spécifiques, les faisceaux hertziens de l'Avant (QR-MH-8), de descente de site (QR-TH-3) ou bien de franchissement de coupures ou encore des grandes unités (ARIANE ou GR-MH-11). Afin de pouvoir respecter les besoins confidentialité nécessaires à l'époque de la guerre froide, le RITA a été mis en place. Cet appareil a permis par le chiffrement de jonction, de respecter un degré de discrétion acceptable.
 - Pendant les années 70 : France Télécom fait l'usage des faisceaux hertziens pour des besoins régionaux.
 - 2006 - 2010 - 2012 et 2014 : les conditions de l'utilisation sont réglementées et revues par les autorités.
 - Février 2013 : le Plan France Très Haut Débit a été initié par le président de la République.
 - 2018 : l'Institut Fraunhofer a permis d'atteindre un débit de 40 Gbit/s pour 1 km de distance, ce qui en fait une avancée scientifique car quasiment équivalente à la puissance de la fibre optique.
- Par exemple, l'ADSL en France propose un débit de 6 Mbit/s, soit un total de 6 000 fois moins[23].

II.4.Caractéristiques de faisceaux hertziens

II.4.1.Utilisation

Les faisceaux hertziens sont une technologie de transmission de données utilisant des liaisons point à point en hyperfréquence. Ils permettent de concentrer la puissance dans une direction précise grâce à l'utilisation d'antennes très directives, ce qui minimise les pertes de puissance. La bande de fréquences utilisée pour la transmission se situe entre 1 et 40 GHz et varie en fonction du débit de données et de la distance entre les deux points [23].

Les faisceaux hertziens sont employés dans diverses technologies, notamment les réseaux cellulaires. Ils permettent d'assurer la transmission de données et de voix entre les cellules voisines, ainsi qu'entre la station de base et le réseau cœur.

II.4.2. Avantages et limites de cette technologie

Ils sont sans fil et robustes, ce qui les rend adaptés aux environnements difficiles et éloignés. De plus, ils peuvent transmettre tous les types de flux, y compris la voix, les données et la vidéo.

Comparativement à la fibre optique, les faisceaux hertziens sont moins coûteux et offrent un meilleur rapport qualité/prix.

Ils sont également faciles et rapides à installer, avec une liaison hertzienne pouvant être mise en place en seulement 4 à 5 jours.

En outre, les faisceaux hertziens permettent de connecter les personnes vivant dans des zones topographiques difficiles, éloignées ou mal desservies par les réseaux terrestres.

- Ils permettent des transmissions de haute qualité et à haute vitesse, avec un taux de transfert de données élevé et une faible latence.

- Ils sont également très fiables

- ils peuvent être utilisés dans des conditions météorologiques difficiles.

Cependant, les faisceaux hertziens présentent également des limites ;

Les ondes sont vulnérables aux masquages et aux obstacles tels que les reliefs, la végétation et les bâtiments, qui peuvent perturber la transmission des signaux.

- Les conditions météorologiques telles que la pluie, la réfractivité de l'atmosphère et les phénomènes de réflexion peuvent également perturber la transmission des signaux, ce qui peut affecter la qualité de la liaison.

- Les paraboles doivent avoir une vue directe ;

- la transmission des données en "espace libre" présente des risques de confidentialité et de traçabilité, car les communications peuvent être interceptées. Il est donc important de mettre en place des mesures de sécurité appropriées, telles que le cryptage des données, entre l'émetteur et le récepteur.

II.5. Les bande de fréquences

Lors du dimensionnement d'un réseau, l'opérateur doit choisir une bande de fréquence disponible tout en respectant les inconvénients suivants [24] :

- Les spécifications géographiques de la zone.
- La densité des utilisateurs.
- Disponibilité du spectre.

- La faible interférence avec les autres réseaux.

La figure suivant illustre les différentes bandes de fréquence :



Figure II.3: diffèrent band de fréquence micro-ondes [25].

II.5.1.1. E-band

La bande E dans le domaine des micro-ondes extérieures couvre une plage de fréquences allant de 71 GHz à 86 GHz. Cette bande est utilisée dans des systèmes de transmission de qualité opérateur. Grâce à une disponibilité importante de spectre, elle offre une capacité de transmission plus élevée et des procédures d'octroi de licences plus rapides. Les faisceaux de micro-ondes dans la bande E sont plus étroits par rapport aux bandes de fréquences traditionnelles, ce qui réduit les interférences entre les sites. Cela permet un déploiement dense des sites et facilite la réutilisation des ressources spectrales[33].

II.5.1.2. Configurations de fréquence de la bande E

La figure suivante illustre la plage des fréquences de la band E :

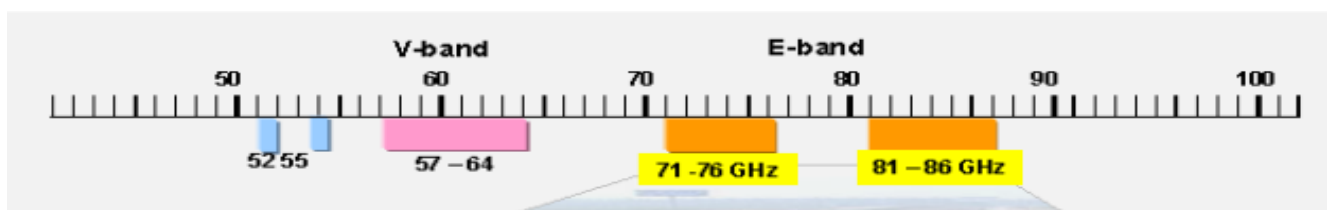


Figure II.4 : Les bandes de fréquence.

Cette bande avec très large spectre disponible, de 10 GHz et de 19 canaux de 250 MHz.

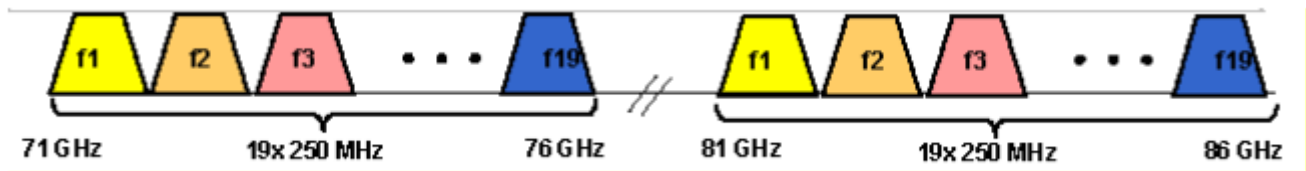


Figure II.5 : Les canaux d'E-Band.

II.5.2.1. V-band

La bande V fait référence à une plage de fréquences dans la partie hyperfréquence du spectre électromagnétique. Selon la désignation standard de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE), elle s'étend de 40 à 75 GHz. Cette bande de fréquences est utilisée dans diverses applications, notamment les communications sans fil à haut débit, les systèmes de radars et d'imagerie, ainsi que d'autres applications nécessitant des capacités de transmission élevées[25].

II.5.2.2.Utilisation de la Band V

L'utilisation de la bande V permet de fournir des solutions de rétrolien (backhaul) à courte distance avec une grande capacité pour les petites cellules d'un réseau de communications mobiles ou privés. Cette bande de fréquences offre des performances élevées et une capacité de transmission accrue, ce qui en fait une option idéale pour répondre aux exigences croissantes de connectivité dans les environnements à haute densité de trafic. Grâce à son spectre dédié, la bande V permet une transmission efficace des données, offrant ainsi une connectivité fiable et rapide pour les petites cellules du réseau.

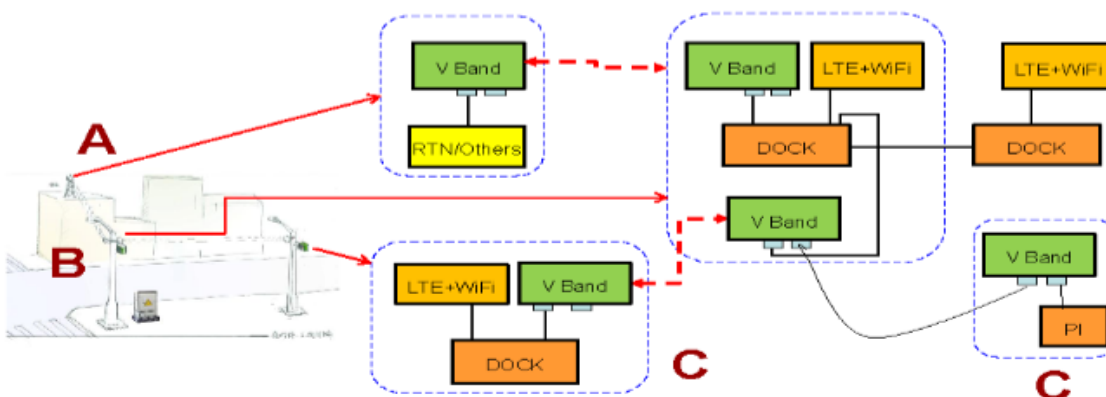


Figure II.6.: Illustré d'installation et d'alimentation de V-Band.

II.6.DB (Dual Band)

II.6.1.Définition

La technologie Dual Band offre une solution innovante d'agrégation de liens entre différentes bandes de fréquences. Elle combine l'agrégation physique de liens (PLA), la modulation adaptative (AM) et la qualité de service (QoS) pour permettre la liaison entre les systèmes fonctionnant dans la bande commune (6-42 GHz) et la bande E (71-76 GHz et 81-86 GHz). Cette approche permet d'obtenir une large bande passante et une transmission à longue distance, offrant ainsi des performances améliorées en termes de capacité et de portée. En intégrant ces fonctionnalités, la technologie Dual Band permet une utilisation plus efficace du spectre disponible et une meilleure connectivité pour les réseaux de communication[34].

II.6.2-Pourquoi le Bi-Band

La bande E présente plusieurs limitations potentielles, telles que des distances de liaison courtes, une sensibilité accrue aux pannes de pluie et aux mouvements des pôles ou des tours, ainsi qu'une installation d'antenne complexe et chronophage. La technologie Multi-Band a été développée pour résoudre ces problèmes. Avec une capacité pouvant atteindre 10 Gbit/s et des distances de liaison allant jusqu'à 10 km, cette solution offre un alignement facile de l'antenne et une résistance aux effets de mouvement de la tour. Elle est désormais disponible dans une seule unité extérieure intégrée avec une antenne à montage direct. En combinant les systèmes à bande commune (6-42 GHz) et la bande E (71-76 GHz et 81-86 GHz), la technologie Multi-Band permet d'obtenir une large bande passante et une transmission à longue distance, offrant ainsi des performances améliorées et une meilleure connectivité.

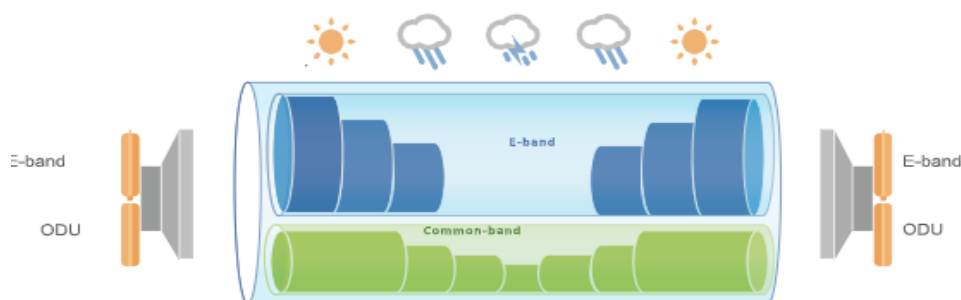


Figure II.7 : présentation Dual Band [25].

II.7. Equipements d'une liaison hertzienne

II.7.1 Les équipements de Transmission microwaves HUAWEI

II.7.1.1 Equipement optix RNT 900 (905 \910\950\980)

Le RTN 900 Optix est un système de transmission de faisceau hertzien intégré de nouvelle génération développé par Huawei. Il offre une solution complète pour la transmission de faisceau hertzien sans interruption, adaptée aux réseaux de communications mobiles et aux réseaux privés. Le système est conçu pour répondre aux exigences de transmission des services 2G, 3G et LTE, tout en offrant des possibilités d'évolution et de convergence pour les futurs réseaux.

Le RTN 900 Optix comprend cinq types de produits : Optix RTN 905, RTN 910 Optix, RTN 950 Optix, RTN 950A Optix et RTN 980. Ces produits offrent différentes capacités et fonctionnalités, permettant aux utilisateurs de choisir celui qui convient le mieux à leurs besoins. Les cartes des modèles RTN 910/950/950A/980 Optix sont enfichables, ce qui facilite leur installation et leur configuration[27].

Nom de produit	IDU	Caractéristique
OptiX RTN 905		-1 U high IDU. * Five types of integrated chassis (1A/2A/1C/1E/ 2E). -One or two microwave links.
OptiX RTN 910		- 1 U high IDU. - Boards pluggable. - Integrated service ports on system control, switching, and timing boards. - One or two IF boards.

OptiX RTN 950	  	- 2 U high IDU. - Boards pluggable. - 1+1 protection for system control, switching, and timing boards. -A maximum of six IF boards.
OptiX RTN 950A		- 2 U high IDU. - Boards pluggable. -Integrated service ports on system control, switching, and timing boards. - A maximum of six IF boards.
OptiX RTN 980		- 5 U high IDU -Boards pluggable. - 1+1 protection for system control, switching, and timing boards. - Integrated service ports on system control, switching, and timing boards. -A maximum of fourteen IF boards.

Tableau II.1 : Les caractéristiques d'Optix RTN (905\910\950)[25].

II.7.1.2.Fonction micro-ondes dans l'optix RNT 900

Le système RTN 900 Optix intègre plusieurs fonctionnalités liées aux micro-ondes, dont voici quelques-unes :

- XPIC (interférence de polarisation croisée) : Cette fonction utilise le protocole CCDP (co-channel dual-polarization) pour annuler les interférences entre signaux polarisés croisés. Elle permet d'augmenter la capacité en utilisant deux signaux polarisés avec la même fréquence.
- ATPC (contrôle automatique de la puissance de transmission) : Cette méthode ajuste automatiquement la puissance d'émission en fonction de l'atténuation du signal. Elle détecte le signal au niveau du récepteur et adapte la puissance d'émission en conséquence.
- Modulation adaptative (AM) : La fonction AM permet d'ajuster le schéma de modulation en fonction de la qualité des canaux. Cela permet d'optimiser la transmission en adaptant la modulation aux conditions du canal.
- Cryptage AES (standard de cryptage avancé) aux interfaces radio : Le système RTN 900 Optix utilise le cryptage basé sur le standard AES pour sécuriser les données utilisateur transmises sur les liaisons micro-ondes. Cela garantit la confidentialité et l'intégrité des données.
- Compression de l'en-tête de trame Ethernet : Cette fonction améliore les capacités de transmission des services Ethernet en comprimant les en-têtes de trame Ethernet. Cela permet d'optimiser l'utilisation de la bande passante et d'améliorer l'efficacité de la transmission des données [28].

II.7.1.3.Équipement optix RNT 300 (310 \360\380)

L'équipement Optix RTN 300 (modèles 310, 360 et 380) est une solution de transmission à micro-ondes hautement intégrée, conçue pour la construction et l'expansion de réseaux à large bande à haute disponibilité. Il offre une grande flexibilité en termes de capacité, de canaux et de bandes de fréquences (bande E, bande V, etc.).

Les émetteurs-récepteurs de la série Optix RTN 300 sont conçus pour une installation facile sur divers supports tels que poteaux, lampadaires et murs. Ils sont également faciles à entretenir et résistants, assurant un fonctionnement fiable même dans des conditions difficiles. Ces équipements sont capables de fonctionner dans une large plage de températures, allant de -35°C à 55°C (-0°F à 130°F).

L'Optix RTN 300 est une solution robuste et performante, adaptée aux besoins de connectivité haut débit et de fiabilité des réseaux modernes.



Figure II.8: RNT 310



Figure II.9: RNT 360



Figure II.10: RNT 380

RNT 310 : RTN 310 est un produit complet extérieur de la série du système de transmission radio OptiX RTN.

RNT 360 : Le système de transmission radio OptiX RTN 360 est un produit de transmission radio en full-plein air qui fonctionne à la bande de V (une bande de fréquence allant de 59 GHz à 64 GHz).

RNT 380 : Utilise le canal de fréquence E-band, pour la liaison terrestre de service à courte distance. Il prend en charge une bande passante maximale de 4Gbit/s et est relié par une antenne de 0.3 et 0.6m de diamètre et des distances entre 350 m à 5 Km avec une configuration de lien (1+1), (1+0), (2+0).

II.7.1.4.Fonction Micro-Ondes dans l'Optix RNT 300

Dans l'Optix RTN 300, plusieurs fonctions liées aux micro-ondes sont disponibles pour améliorer la performance et la fiabilité de la transmission. Voici quelques-unes de ces fonctions :

- Technologie à double polarisation dans le même canal avec CCDP : Cette technologie permet d'utiliser deux signaux polarisés avec la même fréquence dans un seul canal. La technologie XPIC est utilisée pour éliminer les interférences entre ces deux ondes électromagnétiques, ce qui augmente la capacité et améliore la qualité de la transmission.
- PLA (Packet Link Aggregation) : Le PLA permet d'agréger plusieurs liaisons micro-ondes pour une bande passante Ethernet supérieure et une fiabilité de transmission accrue. Il autorise tous les chemins de transmission Ethernet, ce qui permet d'optimiser la capacité de transmission des données.

- ATPC (Automatic Transmit Power Control) : Cette fonction ajuste automatiquement la puissance d'émission en fonction de l'atténuation du signal. Elle détecte le signal au niveau du récepteur et adapte la puissance d'émission pour maintenir une qualité de transmission optimale.
- Modulation Adaptative (AM) : La fonction AM permet d'ajuster le schéma de modulation en fonction de la qualité des canaux. Cela permet d'optimiser la transmission en adaptant la modulation aux conditions spécifiques du canal.
- CPRI (Common Public Radio Interface) : Le CPRI est un protocole de transmission qui permet l'échange de paquets entre l'unité de contrôle en bande de base (BBU) et l'unité de radio distante (RRU). Cela facilite la communication entre les différentes parties du réseau et permet une gestion efficace des ressources[29].

II.7.2.Le câble IF

Le câble IF (Intermediate Frequency) est un câble coaxial utilisé pour alimenter l'ODU avec une tension de 48V et transporter le signal de fréquence intermédiaire entre l'IDU (Indoor Unit) et l'ODU. Le signal de fréquence intermédiaire est généré par le modulateur dans l'IDU et est transmis à l'ODU via le câble IF. Ce câble joue un rôle crucial dans la transmission du signal entre les deux unités, permettant ainsi la communication et la transmission des données dans le système de faisceaux hertziens.



Figure II.1: exemple d'une câble IF (Intermediate Frequency).

II.7.3.Le coupleur hybride

Le coupleur hybride est utilisé lorsque deux ODUs (Outdoor Units) doivent partager la même antenne. Il agit comme un dispositif de couplage et de séparation du signal RF (Radio Fréquence). Les

ODUs sont connectés au coupleur hybride, qui à son tour est connecté à l'antenne. Cette configuration permet aux ODU de transmettre et de recevoir des signaux via l'antenne de manière simultanée et efficace.



Figure II.12 :Le coupleur hybride.

II.7.4. pôle

Le pôle est une structure en charpente métallique utilisée comme support pour installer les équipements d'émission et de réception à l'extérieur, tels que les ODU, les coupleurs et les antennes. Il joue un rôle essentiel dans l'établissement d'une liaison en visibilité directe, c'est-à-dire lorsque les équipements sont en ligne de vue directe les uns des autres. La hauteur du pôle est déterminée en fonction des paramètres requis pour assurer cette visibilité directe[30].

II.7.5. Une antenne directive



Figure II.13 : un exemple d'un antenne.

Une antenne directive ; est un dispositif utilisé dans les communications hertziennes pour assurer la transmission ou la réception des ondes radioélectriques. Elle agit comme une interface entre le circuit électrique et le milieu de propagation, permettant de convertir les signaux électriques en ondes électromagnétiques qui sont ensuite émis ou reçus dans l'espace de propagation.

❖ Il existe différents types d'antennes, parmi lesquels on peut citer :

- Les antennes filaires, telles que les dipôles, les monopôles et les antennes Yagi.
- Les antennes à fentes, qui fonctionnent sur le principe de la propagation d'ondes dans des fentes de longueur appropriée.
- Les antennes patch, qui sont des antennes planaires constituées d'une plaque métallique et d'un substrat diélectrique.
- Les antennes à ouverture, telles que les cornets, qui sont des antennes à forme conique qui permettent de concentrer les ondes radioélectriques dans une direction donnée.
- Les antennes à réflecteurs, telles que les paraboles, qui utilisent un réflecteur courbé pour concentrer les ondes radioélectriques en un point focal[31].

Le gain d'une antenne est une mesure de sa capacité à concentrer l'énergie des ondes électromagnétiques dans une direction particulière. Il est lié à la directivité de l'antenne, ainsi qu'à la qualité de l'énergie émise ou reçue dans cette direction. Par rapport à une antenne isotrope, qui est une antenne de référence ayant un gain égal à un ($g = 1$), le gain d'une antenne directive (comme une antenne parabolique) est plus élevé. Le gain d'une antenne est exprimé en décibels isotropes (dbi), qui représentent le gain par rapport à l'antenne isotrope[22].

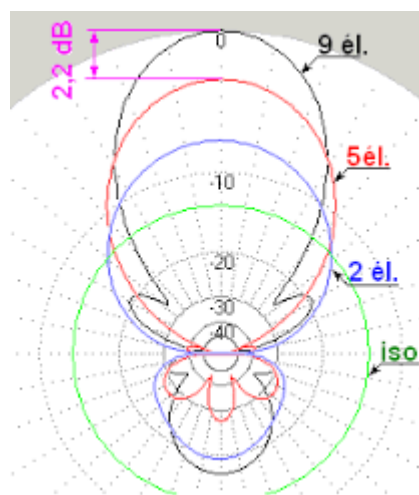


Figure II.14 : Le gain d'une antenne.

II.8. Configurations des liaisons hertziennes

-Pour la configuration des matériels il existe plusieurs types de configuration :

- Configuration non sécurisée.
- Configuration sécurisée[25].

II.8.1 Configuration non sécurisée (1+0)

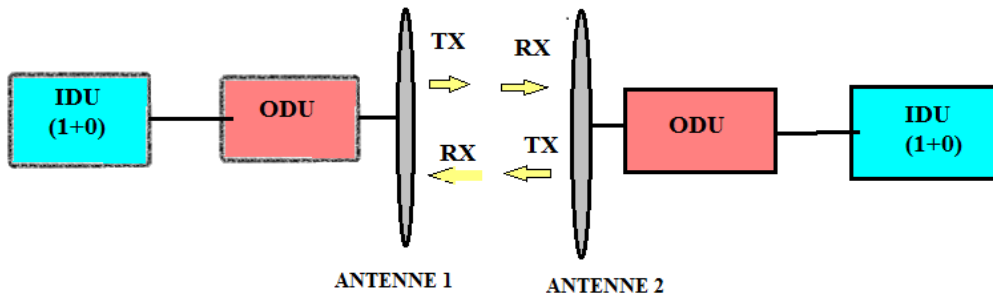


Figure II.15: La configuration non sécurisée (1+0)

Dans ce cas deux antennes qui fonctionnent en émission et en réception Simultanément, avec la même fréquence et la même polarisation.

II.8.2. Configuration sécurisée

Dans ce cas on distingue divers types :

II.8.2.1. La configuration (1+1)

(1+1) « hot standby Single antenna configuration »: 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)[25].

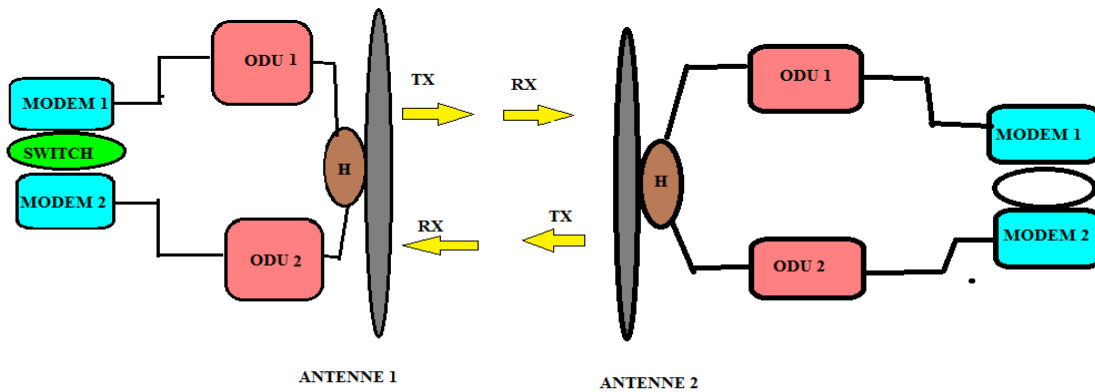


Figure II.16 : La configuration sécurisée (1+1) « hot standby Single antenna configuration »

(1+1) « hot standby –Space diversity Double antenna configuration »: deux antennes (même fréquence et même polarisation) dans chaque site, l'une fait l'émission et la réception et l'autre réservée pour la réception[25].

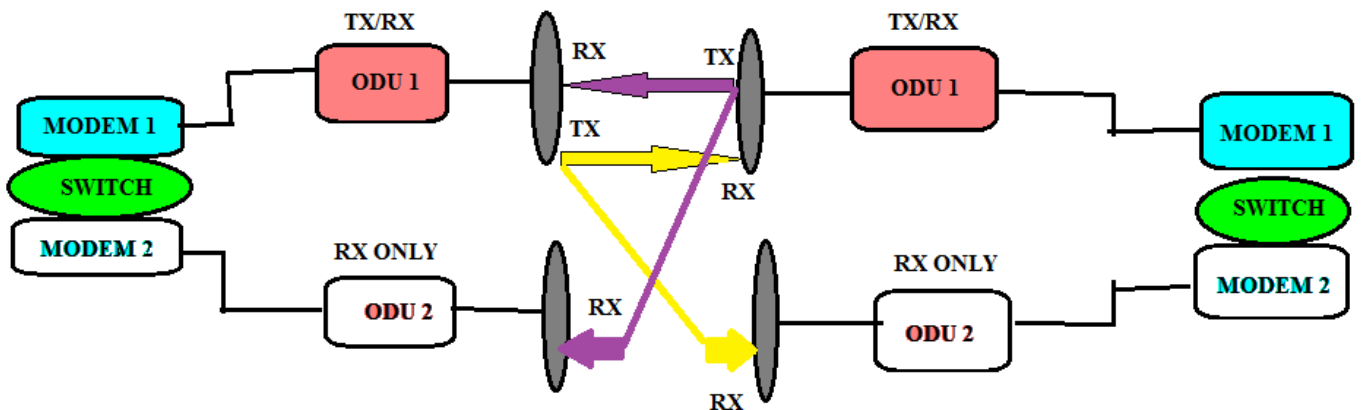


Figure II.17: La configuration sécurisée (1+1) « hot standby –Space diversity Double antenna configuration

»

(1+1) «Twin path –Frequency diversity»: deux antennes dans chaque site fonctionnent simultanément avec différentes fréquences et polarisations

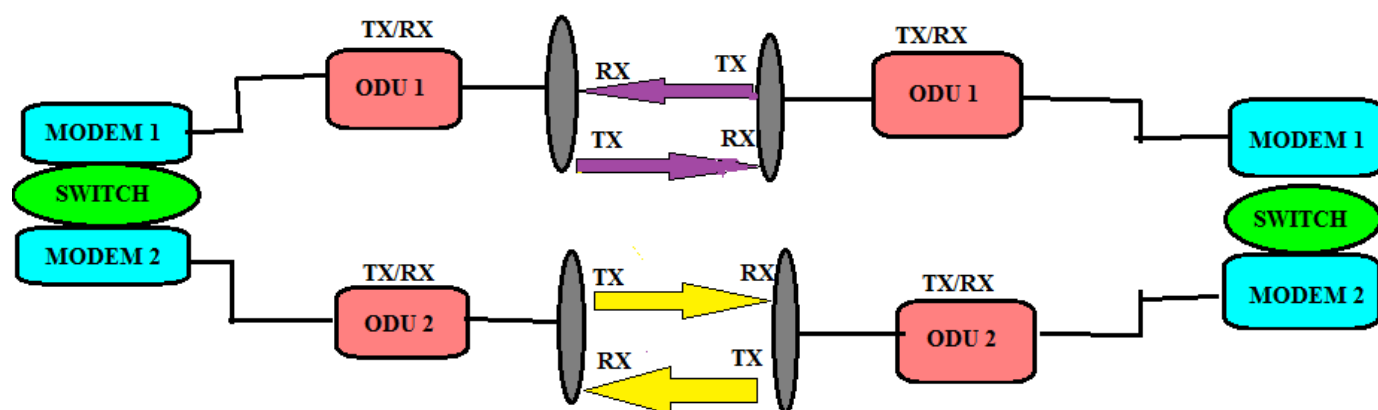


Figure II.18 : La configuration sécurisée (1+1) Twin path –Frequency diversity

II.8.2.2.La configuration (2+0)

Cette configuration permet de doubler la capacité de la liaison en exploitant un seul canal avec deux polarités (H/V).

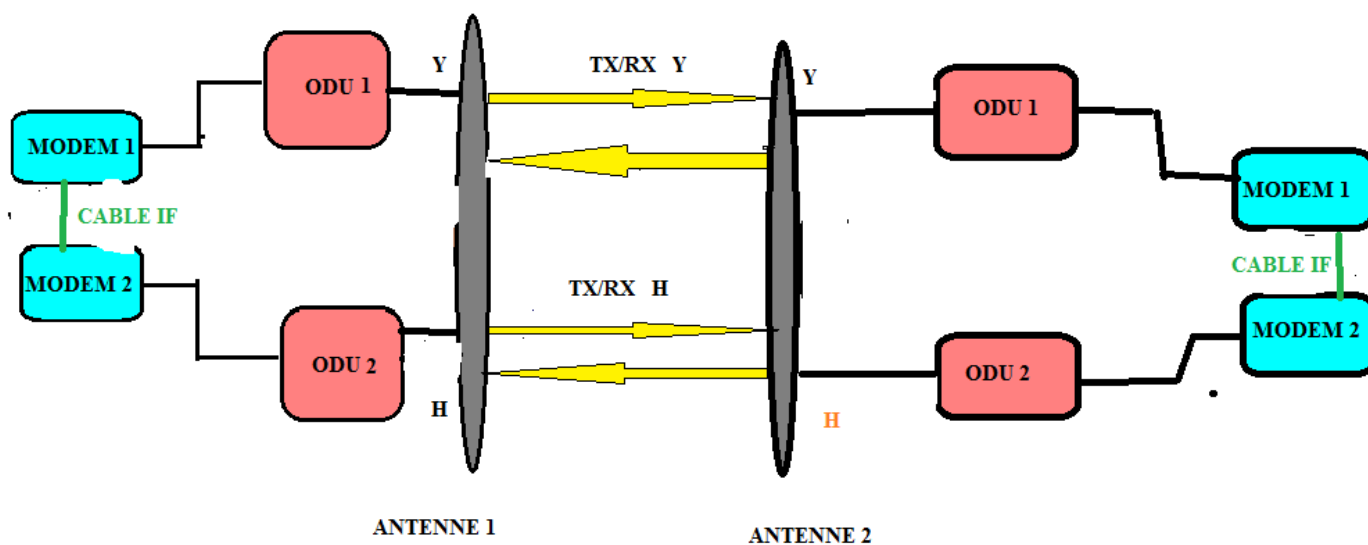


Figure II.19: La configuration (2+0).

II.8.2.3. La configuration (4+0)

Cette configuration permet d'avoir quatre porteuses en exploitant juste deux canaux.

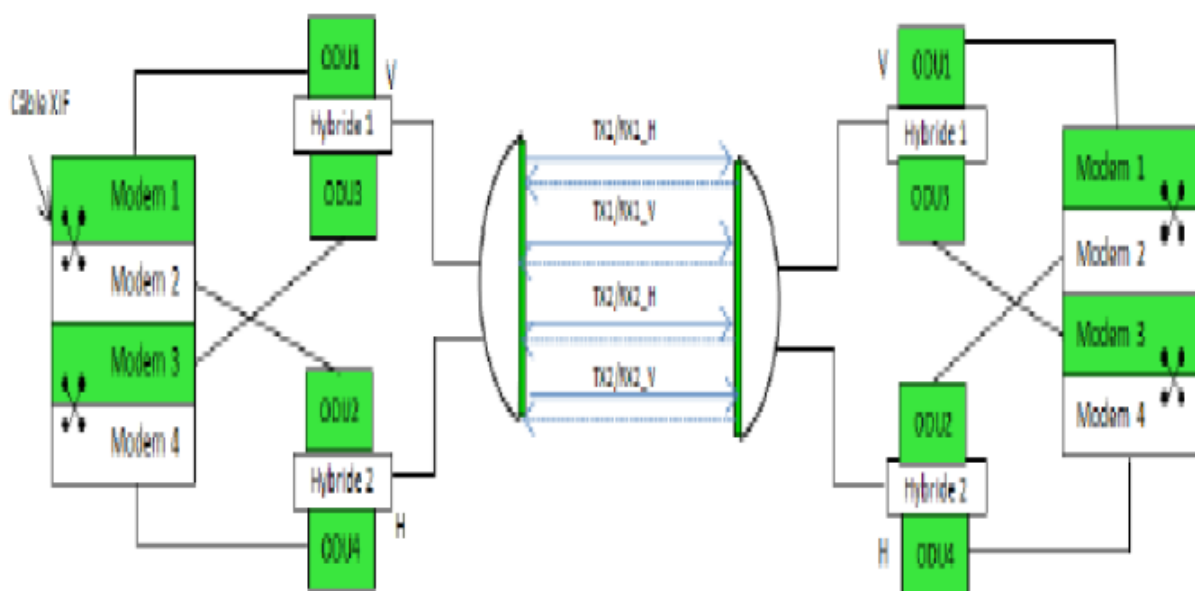


Figure II.20 : La configuration (4+0) [25].

II.9.Modulation QAM [6]

La plupart des systèmes de faisceaux hertziens fonctionnent avec une modulation d'amplitude en quadrature de phase (QAM), qui combine la modulation de phase et la modulation d'amplitude pour offrir des débits binaires élevés. Cette technique présente l'avantage d'être peu sensible aux non-linéarités en amplitude des équipements. En utilisant la modulation QAM, il est possible d'avoir 2^n états du signal, ce qui permet de transmettre n bits par symbole. Ces 2^n points sont obligatoirement situés dans un plan complexe appelé constellation.

Les deux signaux sont additionnés par un coupleur de sortie.

$$S(t) = P \cdot \cos \omega_0 t + Q \cdot \sin \omega_0 t$$

Les signaux P et Q sont des signaux à deux états de phase. La modulation se fait donc sur $n = 2 \text{ bits/symbole}$ ce qui fait 22 états.

On distingue donc de plusieurs modulation QAM (2QAM, 4QAM, 8QAM, 16QAM et 32QAM)

II.9.1.La modulation 2QAM

On transmet 1bits/symbole :

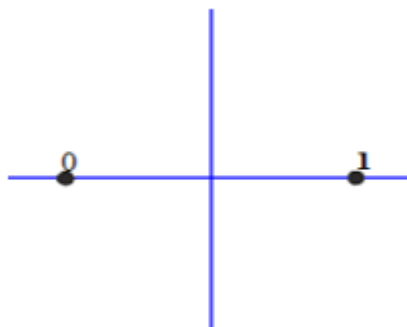


Figure II.21 : Modulation 2QAM

II.9.2.La modulation 4QAM

On transmet 2bits/symbole.

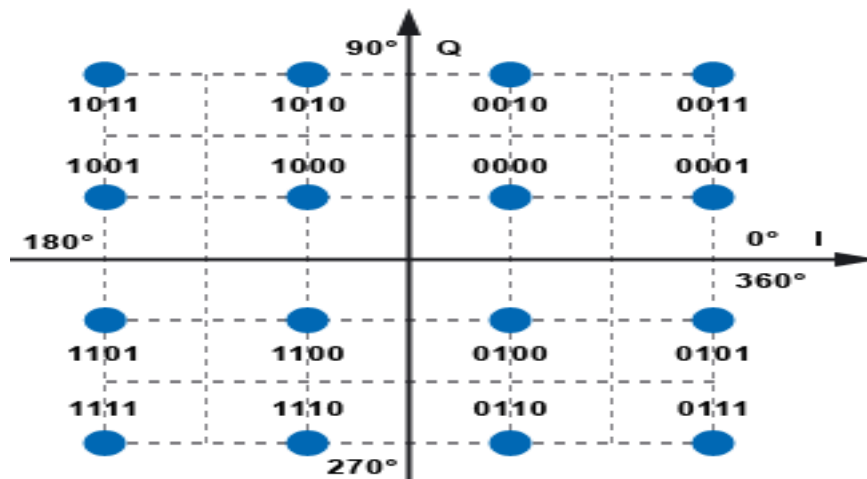


Figure II.22 : Modulation 4QAM.

II.9.3. Modulation 8QAM

On transmet 3bits/symbole

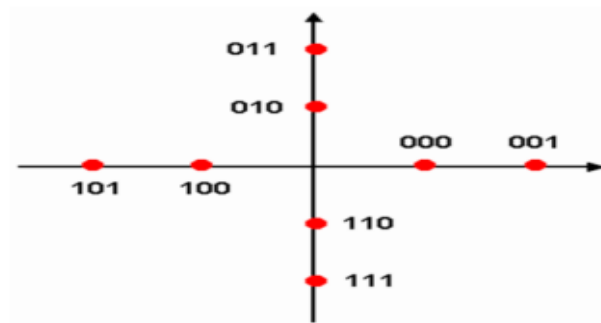


Figure II.23 : Modulation 8QAM.

II.9.4. La modulation 16QAM

16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation), ce type de modulation utilise 4 bits par symbole et elle donne 16 (2⁴) états en introduisant deux niveaux de modulation d'amplitude, au lieu d'un seul.

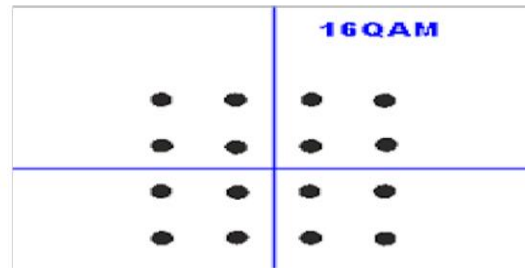


Figure II.24 : Modulation 16QAM.

II.9.5. La modulation 64QAM

Ce type de modulation utilise 6 bits par symbole et elle donne 26(64) états. Les modulations 16QAM et 64QAM sont introduites pour augmenter le débit en bits par seconde sans augmenter la largeur du canal de communication, diminuant, ainsi, le bruit du signal modulé.

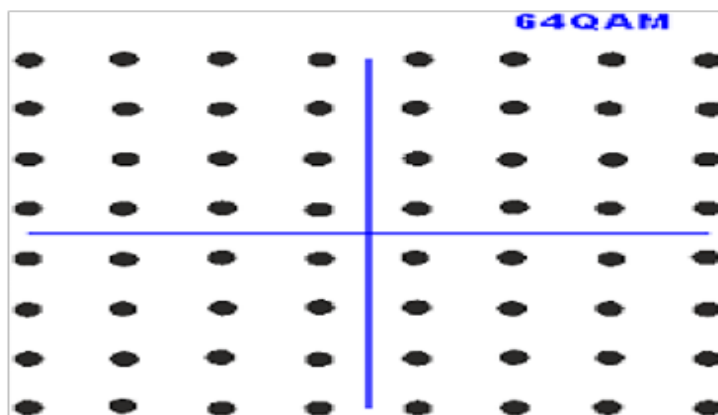


Figure II.25 : Modulation 64QAM.

II.9.6. La modulation 128QAM

La modulation 128QAM offre une plus grande capacité de transmission de données par rapport à des modulations moins complexes, telles que la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ou la

modulation 16QAM. Cependant, elle est plus sensible aux effets du bruit et de l'interférence, ce qui peut limiter sa portée effective.

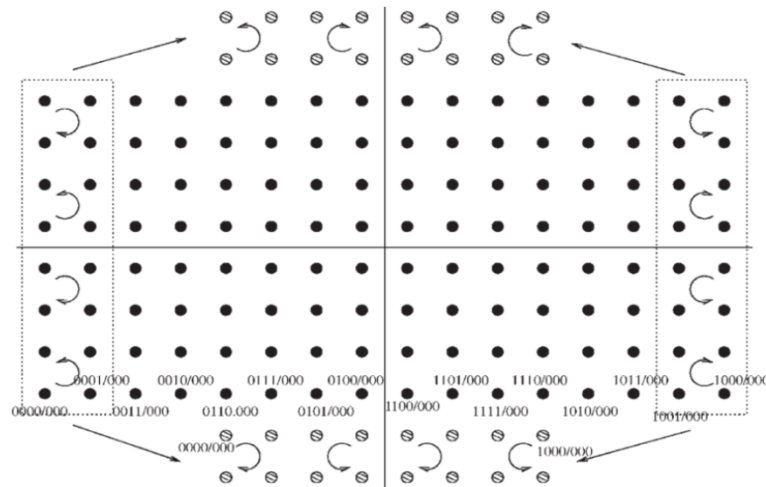


Figure II.26 : Modulation 128QAM.

II.9.7. La modulation 512QAM

La modulation 512QAM offre une capacité de transmission encore plus élevée que la modulation 128QAM, ce qui en fait une option attrayante pour les systèmes de communication à haut débit. Cependant, elle est également plus sensible au bruit et à l'interférence, ce qui peut réduire sa portée effective et nécessiter des techniques avancées de traitement du signal pour maintenir une qualité de transmission élevée.

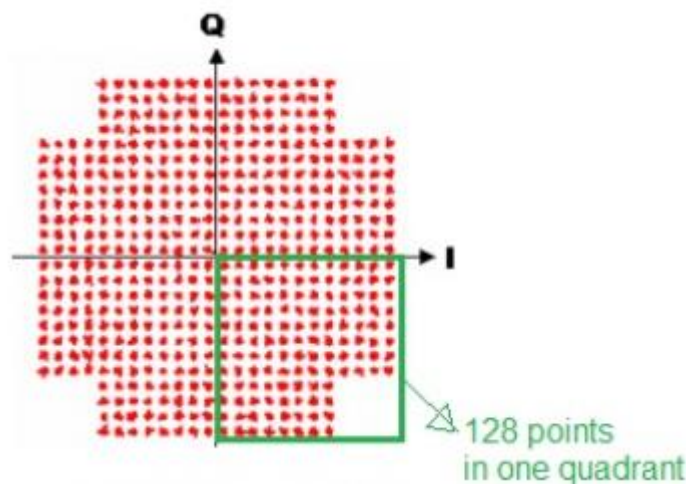


Figure II.27 : Modulation 512QAM.

II.10. Facteurs pouvant affecter la propagation

II.10.1. Dégagement/ diffraction

L'ellipsoïde de Fresnel est parfois partiellement obstrué par un obstacle. On distingue habituellement trois types d'obstacle : *Lame*, pour des obstacles « minces » ; *Rugueux*, pour une paire d'obstacles de type « lame » ; *Sphérique*, pour des obstacles obstruant le faisceau sur une distance importante. Pour chacun, des méthodes de calcul permettent de prévoir l'atténuation supplémentaire à prendre en compte dans les bilans[23].

II.10.2. Réflexion, trajets multiples

Le signal reçu est la somme du signal principal, et de tous les signaux réfléchis (sur le sol, la végétation, et surtout les étendues d'eau) propagés selon des chemins différents, appelés "trajets multiples". Les interférences générées entre tous ces signaux entraînent des sur-champs et des sous-champs parfois extrêmement importants mais également des distorsions (évanouissements sélectifs). La réflexion principale est le phénomène de multi-trajet dominant. Il existe cependant d'autres cas d'importance. On parle de multi trajets lorsqu'au point de réception l'onde émise arrive par des trajets différents suite à des réflexions. Le multi trajet est à l'origine du fading à la réception [23].

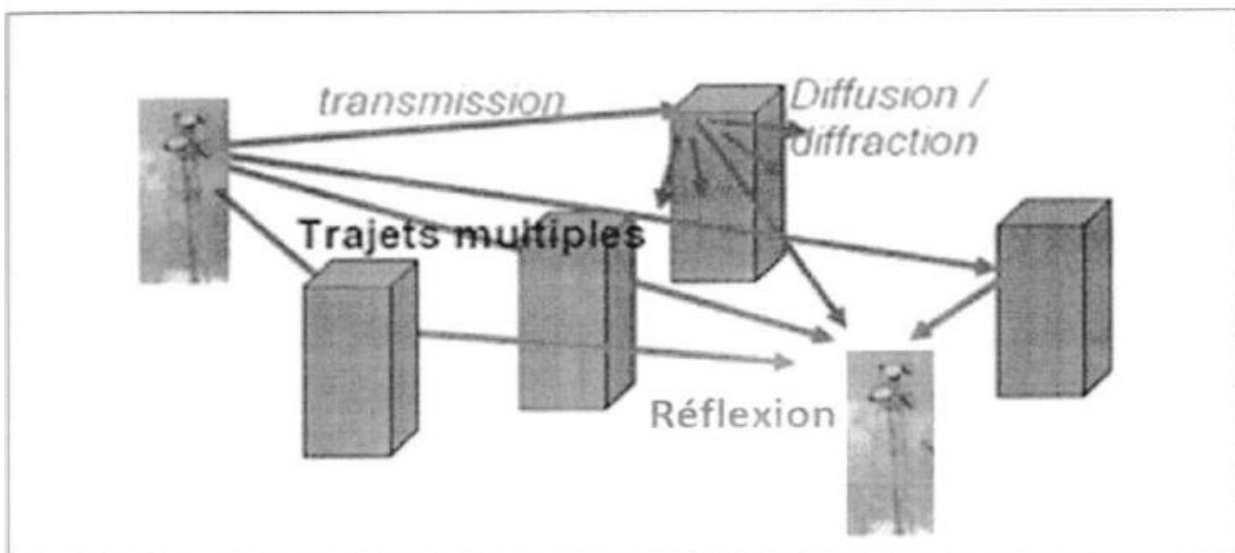


Figure II.28. Propagation par diffraction et trajets multiple [25].

II.10.3. La réfraction

Les réfractions sur le sol pouvant être à l'origine des évanouissements profonds par interférences entre faisceau direct et faisceau réfléchi, lorsqu'ils arrivent en opposition de phase et que le coefficient de réflexion est élevé. C'est notamment le cas sur les eaux calmes miroitantes. La profondeur de l'évanouissement est le rapport exprimé en décibels, entre la puissance reçue calculée à l'espace libre et la puissance reçue au moment de l'évanouissement. L'établissement d'un projet de faisceau hertzien nécessite la connaissance de la valeur moyenne et des variations possibles de la courbe des rayons. Des mesures de l'indice de réfraction ont mis en évidence que dans une zone donnée et dans les premières couches atmosphériques, l'indice pouvait souvent être considéré de façon très grossière comme une fonction linéaire de l'altitude[22].

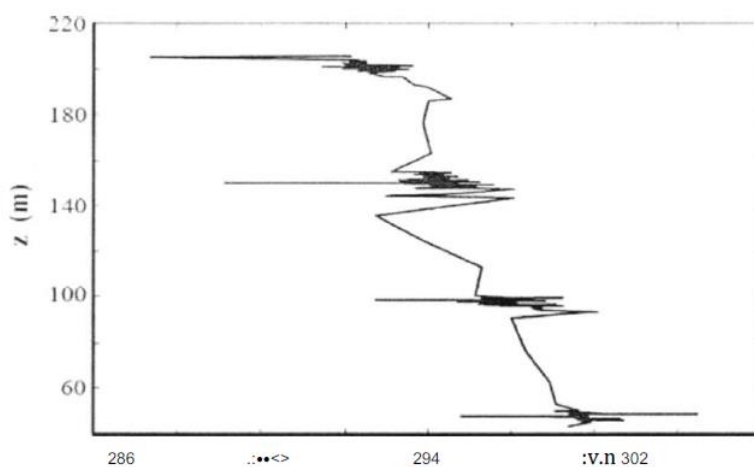


Figure II.29 : Indice de réfraction réduit N mesurée en basse atmosphère [25].

Conclusion

En conclusion, ce chapitre nous a permis de mieux comprendre les généralités des réseaux de transmission par faisceaux hertziens. Nous avons exploré les principes fondamentaux de cette technologie de transmission sans fil, mettant en évidence ses avantages tels que la grande capacité, la faible latence et la flexibilité dans le déploiement. De plus, nous avons examiné les évolutions technologiques dans ce domaine, telles que l'utilisation de l'antenne à formation de faisceaux et les avancées dans les techniques de modulation et de codage. Ce chapitre jette les bases nécessaires pour comprendre le rôle crucial des faisceaux hertziens dans les réseaux de transmission de la 5G.

À travers cette étude de cas approfondie sur la planification et le dimensionnement des liaisons de transmission pour les réseaux 4G, nous avons pu observer l'importance d'une conception optimale pour assurer des performances optimales du réseau. Les résultats de cette étude de cas fournissent des informations précieuses qui nous guideront dans le prochain chapitre, où nous explorerons la solution E-band pour la 5G. Nous examinerons comment cette solution peut répondre aux besoins de capacité et de

débit de données croissants de la 5G, et nous étudierons en particulier la technologie IBT (intelligent beam tracking) proposée par Huawei, qui pourrait représenter une avancée majeure dans les réseaux de transmission pour la 5G.

III.1.INTRODUCTION

Dans ce troisième chapitre, nous aborderons une étude de cas de planification et de dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseau 4G. En mettant l'accent sur les défis spécifiques liés à la conception de ces liaisons, nous explorerons les étapes clés de la planification, de la collecte de données à la configuration des antennes. À travers cette étude de cas, nous illustrerons comment assurer des performances optimales pour les liaisons de transmission dans le contexte de la 4G.

III.2.A propos d'ATM MOBILIS

Filiale du Groupe Télécom Algérie, Mobilis est le premier opérateur mobile en Algérie, devenu autonome en août 2003.

Depuis sa création, Mobilis s'est fixé des objectifs principaux qui sont : la satisfaction client, la fidélisation client, l'innovation et le progrès technologique, qui lui ont permis de faire des profits et d'acquérir près de 20 Million d'abonnés en un temps record.

Optant pour une politique de changement et d'innovation, Mobilis travaille en permanence sur son image de marque et veille constamment à offrir le meilleur à ses clients.

En déployant un réseau de haute qualité, en assurant un service client satisfaisant, et en créant des produits et services innovants, Mobilis est positionné comme étant un opérateur proche de ses partenaires et de ses clients, renforcé par sa signature institutionnelle : « Ensemble construisons l'avenir ». Son slogan est une promesse d'écoute et un signe de son engagement à assumer son rôle dans le développement durable grâce à sa participation dans le progrès économique, son respect de la diversité culturelle, son engagement d'assumer son rôle social et sa participation à la protection de l'environnement.

Se munissant des valeurs : Transparence, Loyauté, Dynamisme et Innovation. Mobilis optimise sa qualité de service et veille à fidéliser ses clients.

Mobilis c'est aussi :

- Une couverture réseau totale de la population.
- Un réseau commercial en progression atteignant ainsi les 178 Agences Mobilis
- Plus de 82.965 points de vente indirecte.
- de plus de 4500 Stations de Base Radio (BTS)
- de Plateformes de Service des plus performantes.
- de l'innovation et un développement de plusieurs offre et services :

Chapitre III :

*Etude de cas planification & dimensionnement d'une liaison
de transmission pour un réseau 4G*

« Mobilis, s'affirme une entreprise dynamique, innovante, loyale et transparente et continue sa compétition saine, dans un marché très concurrentiel ou le sérieux, la crédibilité et la proximité sont les clés de la réussite.

III.3. Logiciel Ellipse

L'opérateur téléphonique ATM MOBILIS a choisi le logiciel Mentum Ellipse en raison de la fiabilité de ses résultats. Mentum Ellipse offre un support complet pour la planification des réseaux de transmission, notamment pour le backhauling mobile. Grâce à ce logiciel, les ingénieurs de planification des liaisons micro-ondes peuvent améliorer le retour sur investissement de leurs réseaux de transport et de backhaul, ainsi que leur efficacité opérationnelle.

Mentum Ellipse propose une technologie de pointe pour la planification des liaisons hertziennes, qu'il s'agisse de liaisons point à point ou point à multipoint. Les fonctionnalités de planification innovantes du logiciel permettent aux ingénieurs de transmission de concevoir et d'optimiser la topologie du réseau, le routage du trafic et l'utilisation des liaisons. En intégrant les données de gestion des performances du réseau en temps réel et les charges de trafic dans le processus de planification, les ingénieurs peuvent optimiser la capacité du réseau de backhauling pour correspondre aux charges de trafic réelles et prévues, évitant ainsi les goulots d'étranglement et répondant aux objectifs de disponibilité.

III.4. Planification d'un nouveau site

L'opérateur téléphonique ATM MOBILIS utilise le logiciel Mentum Ellipse pour l'organisation de nouveaux sites, dans cette partie on va décrire les étapes servant à planifier des sites nouveaux :

On ouvre le logiciel Mentum Ellipse (figure 3-4),

❖ Nous avons créer deux sites FH et l'avons nommé : INIM et INGM

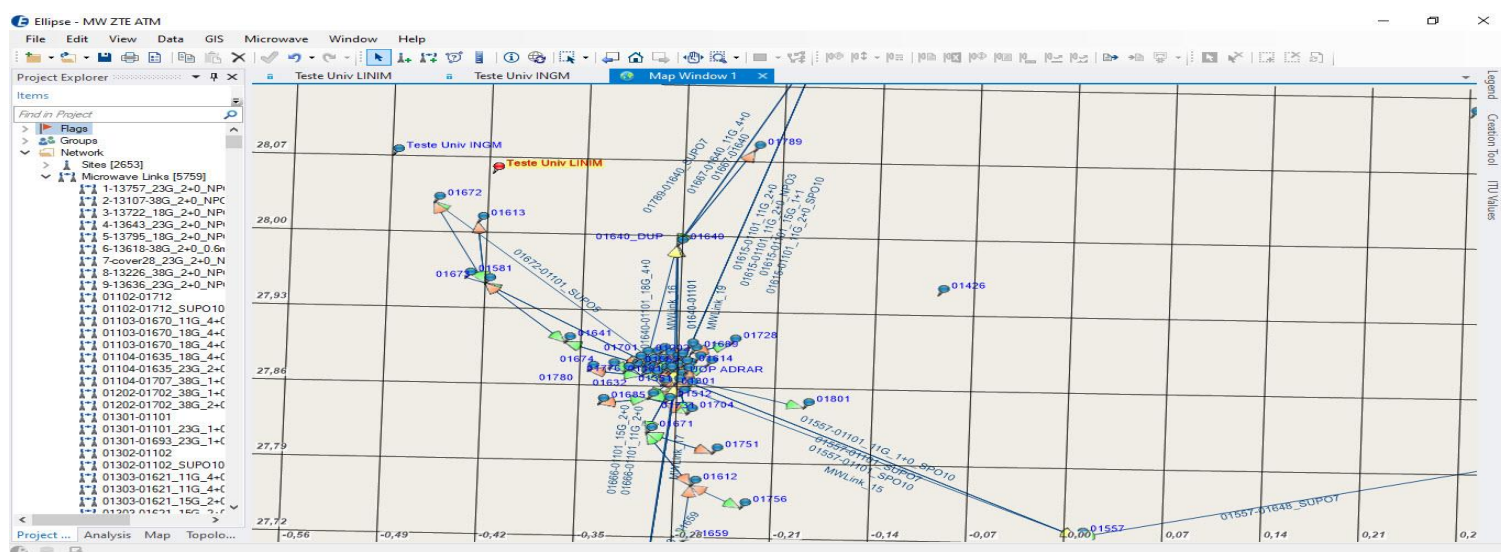


Figure III.1 : Interface du logiciel Ellipse « en adrar » et créer de nouveaux site inim et ingm

- On constate que plusieurs sites sont connectés entre eux.
- ❖ On a créé un lien entre les deux sites et l'avons nommé : `linim-ingm`.

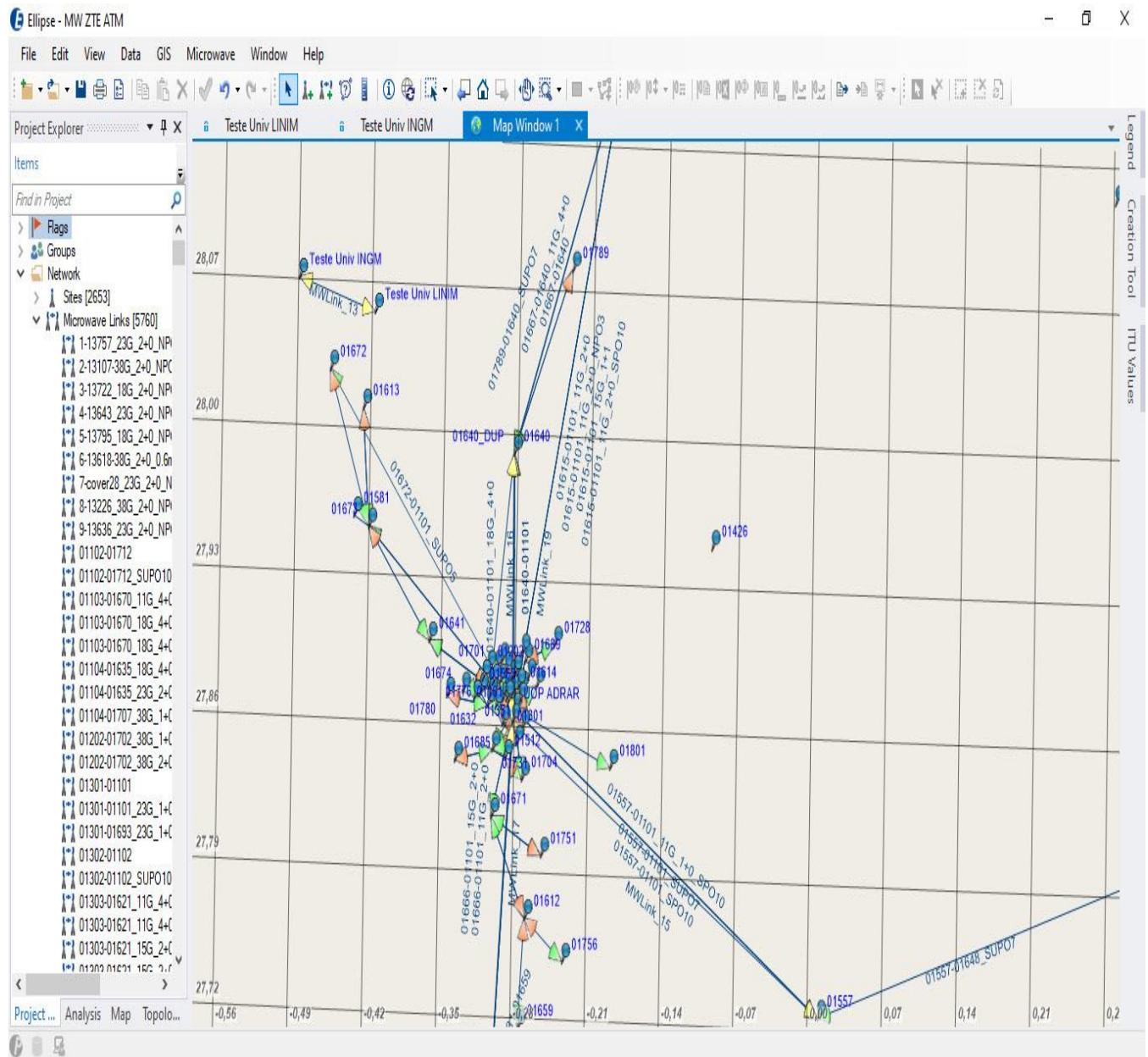


Figure III.2 : Création d'un lien entre les deux sites.

- ❖ on aura trois possibilités sur la couleur du lien : vert, orange ou rouge
- Le lien rouge entre les deux sites : à cause d'un obstacle que ce soit une montagne ou bien une infrastructure.
- Le lien orange entre les deux sites : car il y a un petit obstacle dans ce cas on ne les relie pas pour éviter le mauvais signal.
- Le lien vert : pas des obstacles
-

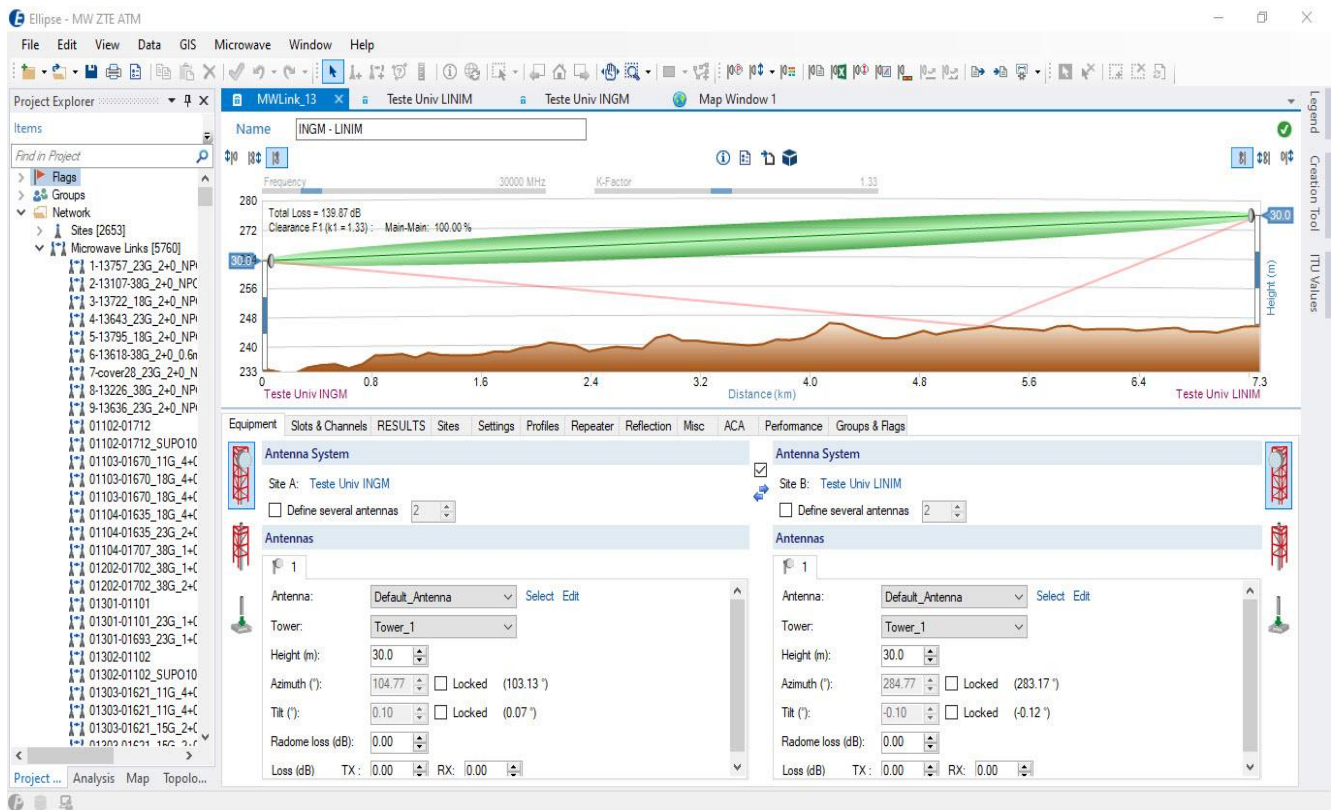


Figure III.3 : Création un lien sans aucuns obstacles

- Une fois assuré la visibilité direct des deux antennes (en vert), il reste à configurer l'affaiblissement toléré, choisir le type d'antenne radio.

III.5. Le choix du channel spacing

Le channel spacing, également connu sous le nom d'espacement des canaux, fait référence à la distance entre les canaux adjacents dans un système de communication sans fil. Il indique la différence de fréquence entre deux canaux voisins. Le channel spacing est généralement exprimé en unité de mesure, telle que kilohertz (kHz) ou megahertz (MHz).

Si vous augmentez le channel spacing, cela signifie que vous augmentez la distance entre les canaux adjacents. Cela peut avoir plusieurs implications :

- Capacité du système : En augmentant le channel spacing, vous pouvez potentiellement augmenter la capacité du système en permettant l'utilisation de plus de canaux. Cependant, cela dépend également de la largeur de bande disponible et des limitations réglementaires.
- Interférences : Un plus grand channel spacing peut aider à réduire les interférences entre les canaux adjacents. Cela peut être particulièrement important dans les environnements où plusieurs systèmes de communication coexistent et partagent la même bande de fréquences.
- Utilisation de la bande de fréquences : L'augmentation du channel spacing peut permettre une utilisation plus efficace de la bande de fréquences disponible. Cela peut être bénéfique lorsque la

disponibilité de la bande est limitée et que vous souhaitez maximiser l'utilisation des ressources spectrales.

Cependant, il est important de noter que l'augmentation du channel spacing peut également avoir des implications négatives :

- Capacité réduite : Si vous augmentez trop le channel spacing, cela peut entraîner une réduction de la capacité du système, car vous avez moins de canaux disponibles pour le transfert des données.
- Utilisation inefficace de la bande de fréquences : Un channel spacing trop élevé peut entraîner une utilisation inefficace de la bande de fréquences, car des ressources spectrales précieuses peuvent rester inutilisées.

Le choix du channel spacing dépend des spécifications du système, des réglementations en vigueur et des objectifs de performance spécifiques. Il est important de trouver un équilibre entre la capacité, l'utilisation de la bande de fréquences et les contraintes liées aux interférences pour optimiser les performances du système de communication sans fil.

III.6.le choix d'une fréquence

le choix d'une fréquence appropriée dans un système de communication sans fil dépend de la disponibilité réglementaire, des niveaux d'interférences, des caractéristiques de propagation, des besoins en bande passante et en débit de données, ainsi que de la coexistence avec d'autres systèmes. Une analyse approfondie de ces facteurs vous permettra de sélectionner la fréquence la plus adaptée pour votre application spécifique.

III.7.La sélection de la polarisation

La polarisation verticale et horizontale sont deux types de polarisations linéaires couramment utilisées dans les systèmes de communication sans fil :

- Polarisation verticale : La polarisation verticale se réfère à la direction verticale de l'oscillation du champ électromagnétique d'une onde de communication. Dans ce cas, le champ électromagnétique oscille de haut en bas par rapport au sol ou à une référence horizontale. La polarisation verticale est souvent utilisée dans les systèmes de communication terrestres pour minimiser les interférences avec d'autres signaux polarisés horizontalement.
- Polarisation horizontale : La polarisation horizontale se réfère à la direction horizontale de l'oscillation du champ électromagnétique d'une onde de communication. Dans ce cas, le champ électromagnétique oscille de gauche à droite par rapport au sol ou à une référence verticale. La polarisation horizontale est également couramment utilisée dans les systèmes de communication terrestres et est souvent utilisée pour éviter les interférences avec les signaux polarisés verticalement.

La sélection de la polarisation verticale ou horizontale dépend des conditions du canal de communication, de l'orientation des antennes et des exigences spécifiques du système. Dans certains cas, une polarisation croisée, où les signaux sont transmis simultanément avec les deux polarisations, peut être utilisée pour améliorer la qualité et la fiabilité de la communication.

III.8.Comparaison des configurations de transmission sans fil : 4+0 vs 2+0 vs 1+0

Les configurations 4+0, 2+0 et 1+0 font référence à des schémas de configuration utilisés dans les systèmes de transmission sans fil. Voici les avantages de chaque configuration :

III.8.1.Configuration 4+0 :

- Grande capacité : La configuration 4+0 permet de fournir une grande capacité de transmission en utilisant quatre canaux radio distincts. Cela permet de gérer des volumes de trafic élevés et d'offrir une meilleure performance globale.
- Tolérance aux pannes : En utilisant quatre canaux radio, la configuration 4+0 offre une certaine redondance, ce qui signifie que si l'un des canaux présente une défaillance, les autres canaux peuvent prendre le relais, assurant ainsi une continuité de service.
- Évolutivité : La configuration 4+0 offre une évolutivité élevée, ce qui signifie qu'elle peut être étendue pour prendre en charge davantage de canaux radio si nécessaire, permettant ainsi d'augmenter la capacité du système.

III.8.2.Configuration 2+0 :

- Économie de coûts : La configuration 2+0 utilise deux canaux radio, ce qui peut permettre une réduction des coûts par rapport à la configuration 4+0, tout en offrant une capacité de transmission raisonnable.
- Flexibilité : Avec deux canaux radio, la configuration 2+0 offre une certaine flexibilité dans le dimensionnement du système en fonction des besoins spécifiques de la zone de déploiement.
- Adaptabilité aux conditions du site : La configuration 2+0 peut être particulièrement adaptée aux sites où les contraintes d'espace ou de ressources électriques sont limitées.

III.8.3.Configuration 1+0 :

- Simplicité et facilité de déploiement : La configuration 1+0 est la plus simple, ne nécessitant qu'un seul canal radio. Cela facilite le déploiement et la mise en service du système.
- Coût initial réduit : La configuration 1+0 peut offrir un coût initial réduit, car elle utilise moins d'équipements et de ressources par rapport aux configurations multi-canaux.
- Convient aux petites zones de couverture : La configuration 1+0 peut être adaptée aux petites zones de couverture où la capacité de transmission requise est relativement faible.

Le choix de la configuration dépend des besoins spécifiques du réseau, tels que la capacité requise, les contraintes budgétaires, les contraintes de déploiement et les objectifs de performance. Chaque configuration présente des avantages et des compromis différents en termes de capacité, de coûts et de flexibilité.

III.9. exemple une liaison de type (1+0)

Nous avons pris comme exemple une liaison de type (1+0),

- ❖ On clique sur le lien entre les nouveau site « figure 3-13 » on voit apparaître un tableau pour la configuration de plusieurs paramètres comme :
 - Le choix du type d'antenne « la distance entre les deux sites si elle est grande on utilise un grand diamètre »,
 - La hauteur « zone urbain, sub urbain, montagne ... »,
 - L'azimut « par rapport à la direction horizontale »,
 - Tilt « vertical....ça dépend de la zone et le lieu du site »,
 - Frequency « une grande distance une petite fréquence et vice et versa »,
 - Tx power,
 - La configuration,
 - hauteur de la structure.
- ❖ On a utilisé un bande de fréquence de 38GHZ

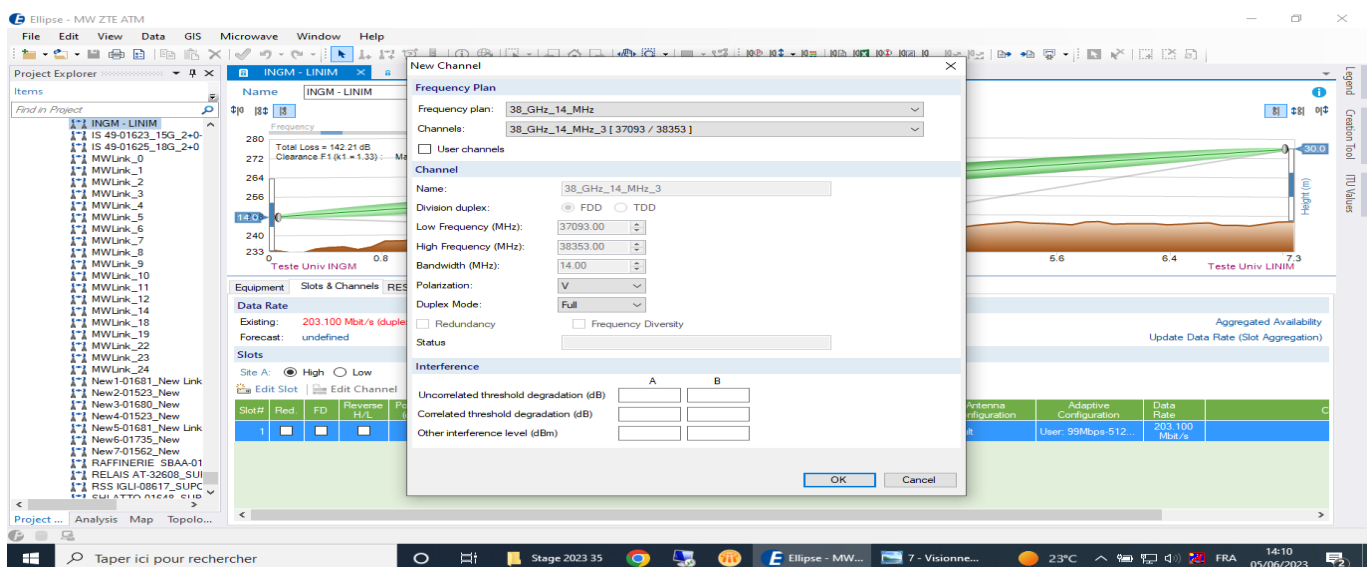


Figure III.4 : Paramètre de fréquence (01).

- ❖ Par contre le choix de type d'antenne comme indiqué sur la figure suivante est de type UX03 37 0400
 - LE 37 GHZ correspond à la fréquence
 - Le 0.3 link correspond à le diamètre.

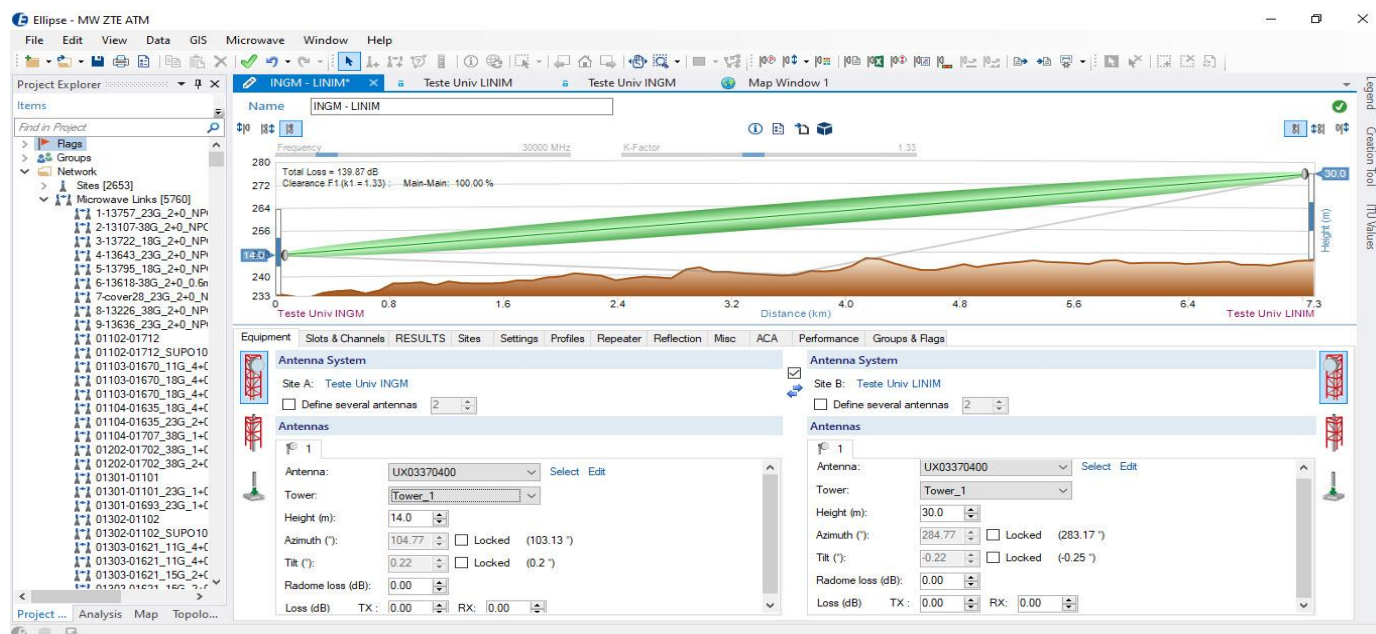


Figure III.5 : Choix de type d'antenne (01).

❖ Finalement le choix de type radio est effectué en se basant sur la fréquence émission/réception ainsi que le type de modulation pour obtenir le meilleur résultat de liaison. Pour notre cas la fréquence est de 38 GHz, la modulation 512 QAM et un équipement de type IPI.

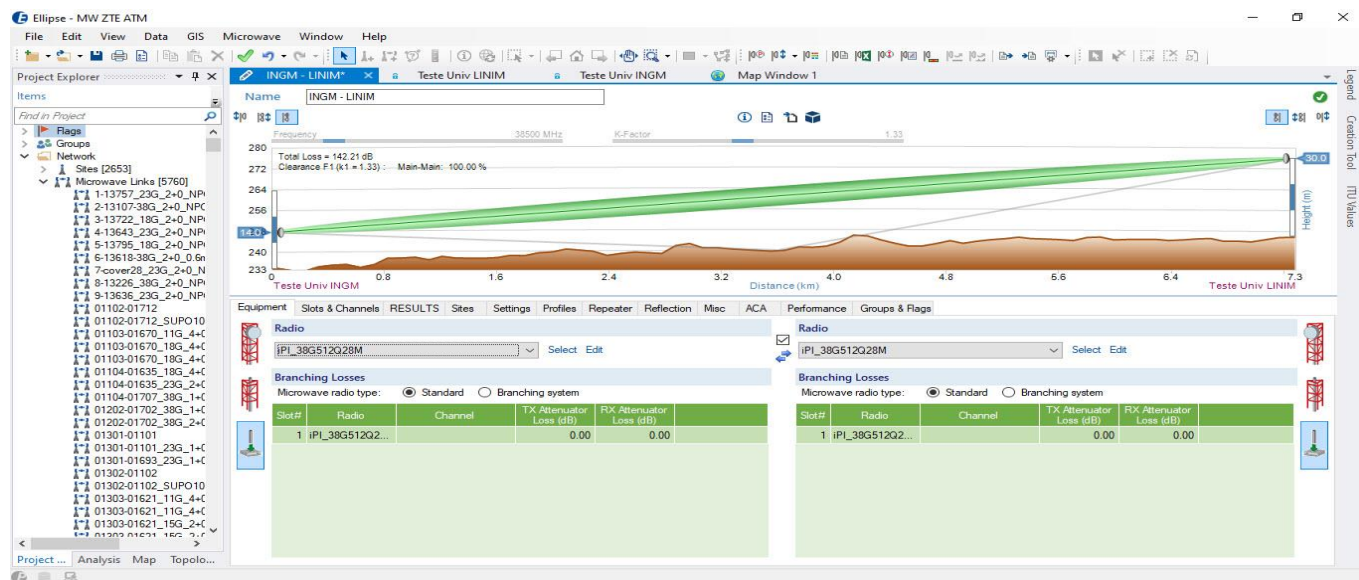
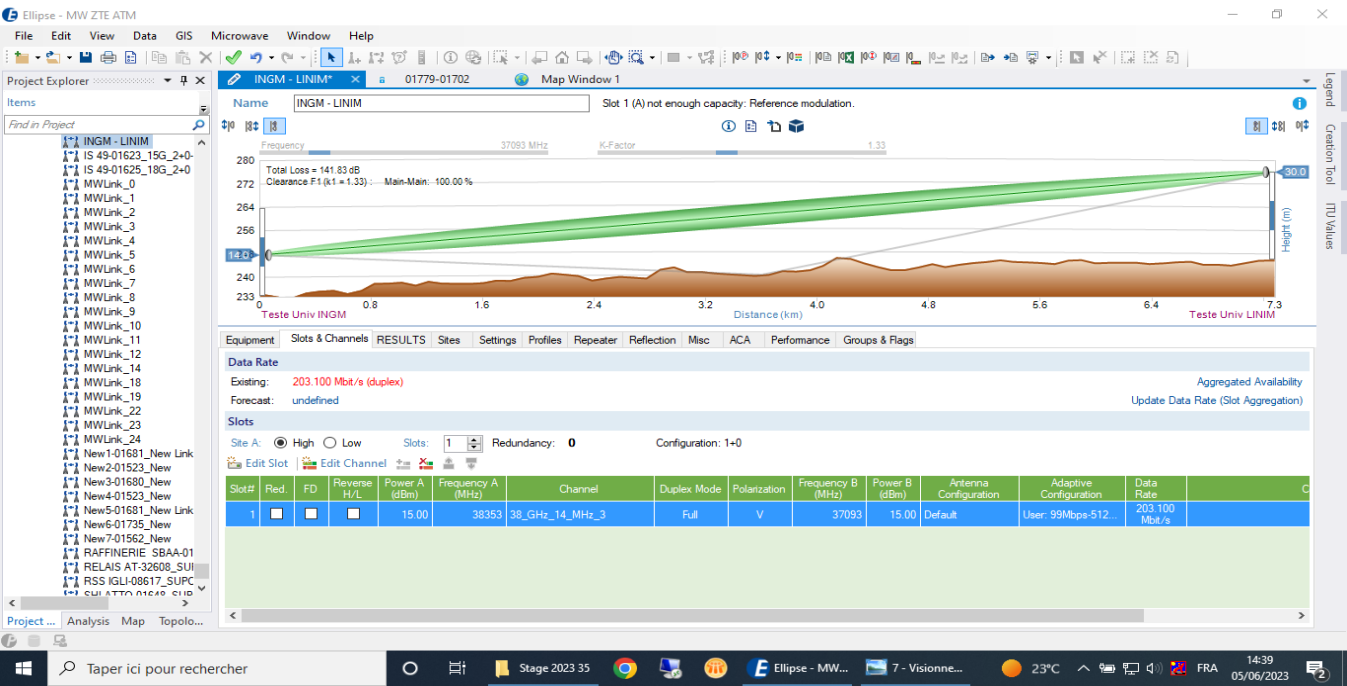
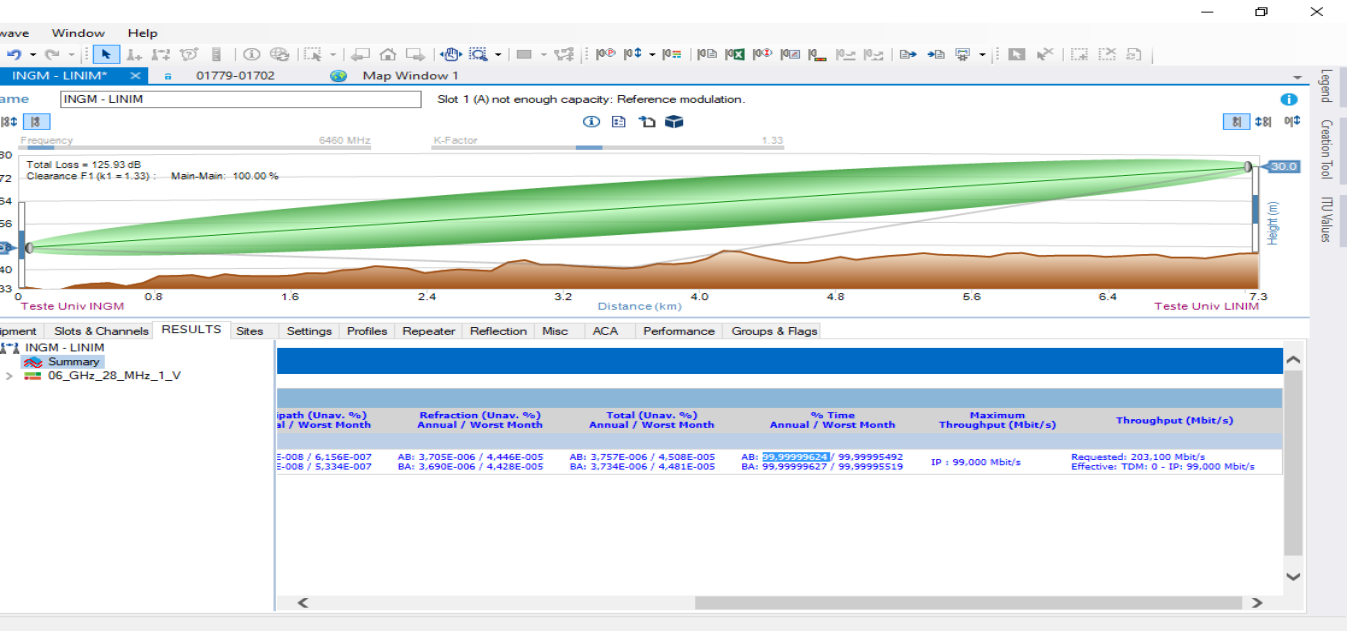


Figure III.6 : Choix d'équipements Radio (01)

❖ Cette partie concerne de polarisation (VERTICAL), du Channel spacing (14MHZ) et de hauteur du site premier par rapport au site second(HIGHT) , hybride (TDM et Ethernet) égale 203.100Mbit /s.



- ❖ Il est important de vérifier les différents paramètres qui sont :
- Les temps annuel du fonctionnement en terme de pourcentage est égale à 99.999%.
- La différence entre la puissance d'émission et celle réception doivent être (au-dessus 32dbm).



III.10. exemple une liaison de type (4+0)

Nous avons pris un autre exemple d'une liaison de type (4+0), il est accepté une perte maximum(4.5db/m) pour les liaisons (4+0) comme indique la figure suivante.

- ❖ On a changé le type d'antenne comme indiqué sur la figure suivante est de type UX09 05 9071,
- LE 05 (06 GHZ) correspond à la fréquence.
- le 09 correspond à le diametre
- On garder la même distance entre les deux sites 7.3 km.
- On garder les mêmes hauteur.

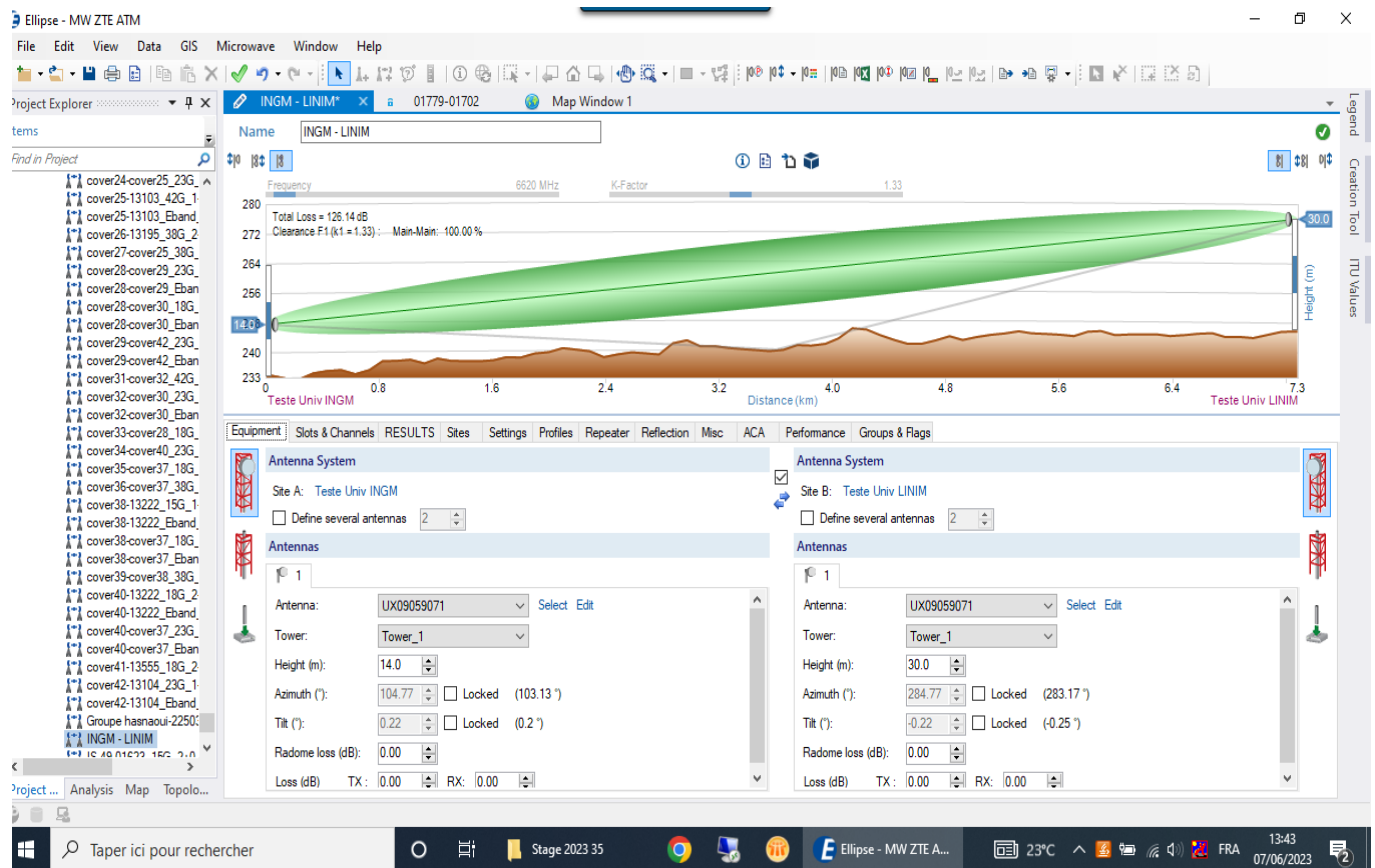


Figure III.9 : Choix de type d'antenne (02).

- ❖ On choisi le type d'équipement radio (IPI)approprié a cette liaison (frequence de 06 GHZ) .
- ainsi que le type de modulation(1024QAM) pour obtenir le meilleur résultat de liaison

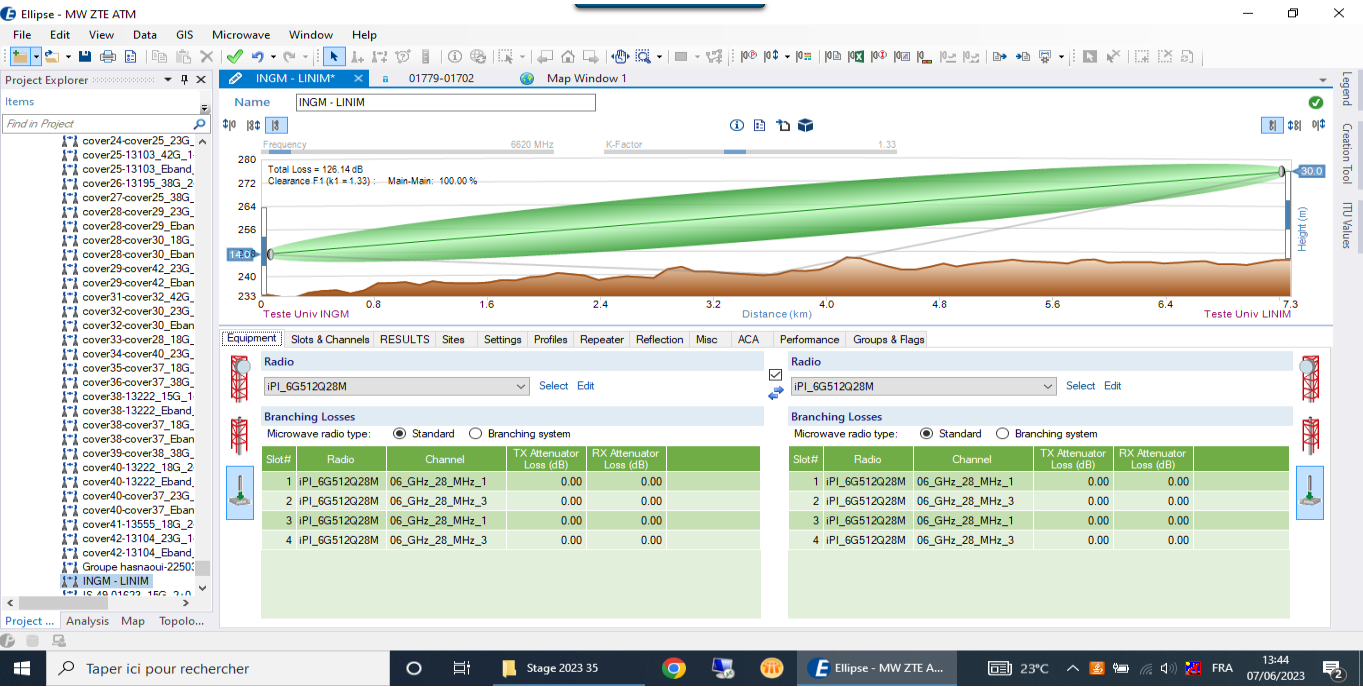


Figure III.10 : Choix d'équipements Radio (02).

❖ Cette partie concerne de polarisation (2 vertical et 2 horizontal), du Channel spacing (28MHZ) et de hauteur du site premier par rapport au site second , ainsi le débit totale qu' il faut pour véhiculer le trafic hybride (TDM et Ethernet) égale $203.100 * 4 = 812.400 \text{ Mbit /s}$

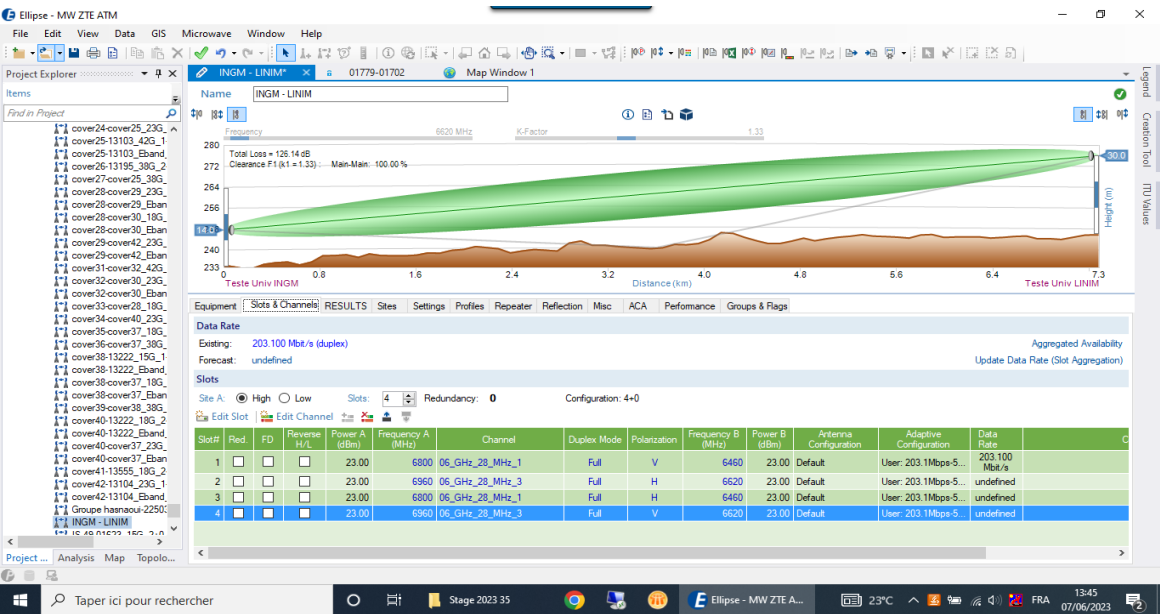


Figure III.11 : Configuration modems (02)

➤ La configuration 4+0 offre une capacité élevée dans les systèmes de communication. Grâce à l'utilisation de quatre canaux de transmission simultanés sans agrégation de porteuses, cette configuration permet d'obtenir une capacité globale plus importante. En combinant plusieurs

canaux, il est possible de maximiser l'utilisation des ressources spectrales disponibles, ce qui se traduit par un débit accru et la prise en charge d'un plus grand nombre d'utilisateurs. De plus, la configuration 4+0 améliore la fiabilité du système en offrant une redondance et une résilience accrues. En cas de défaillance d'un canal, les autres canaux peuvent prendre le relais pour assurer une continuité de service. Toutefois, il est important de noter que la configuration 4+0 nécessite une infrastructure réseau adaptée et des équipements compatibles pour assurer des performances optimales.

❖ Bilan de liaison

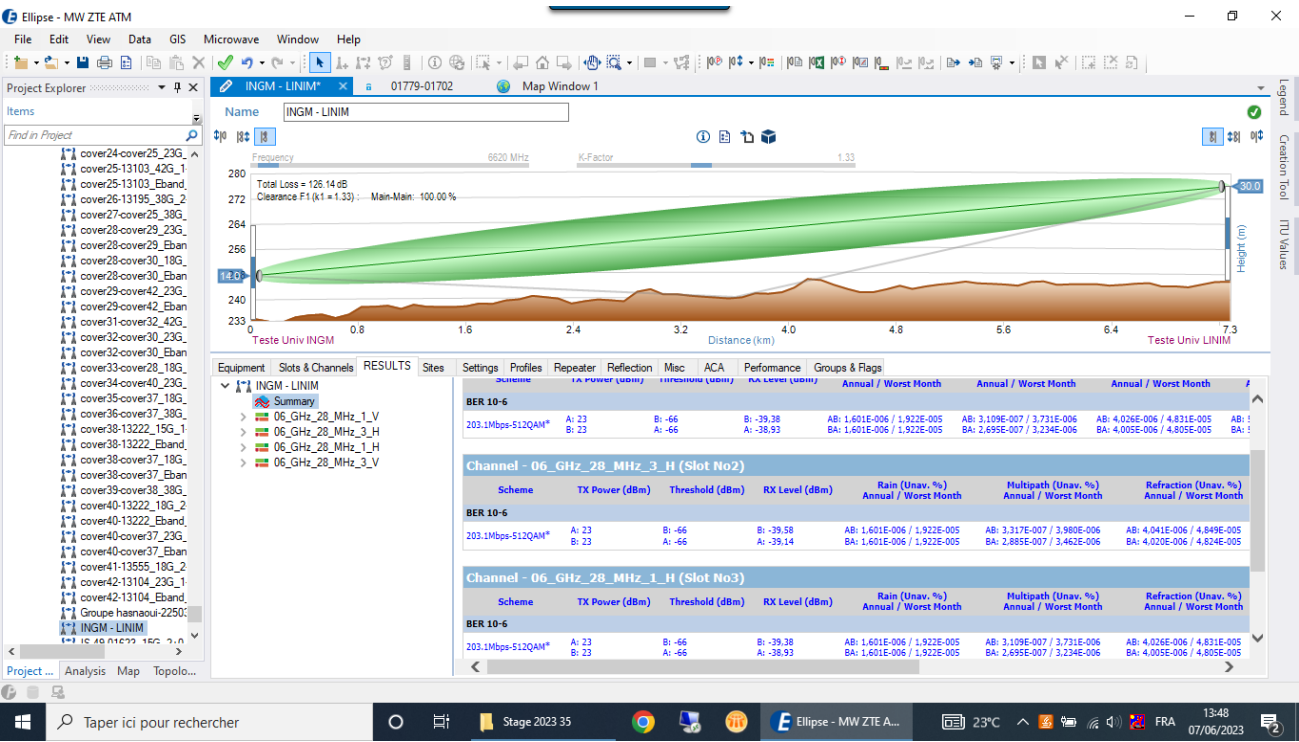


Figure III.12 : Bilan de liaison (02)

- Les temps annuel du fonctionnement en terme de pourcentage est égale à 99.999%.
- La différence entre la puissance d’émission et celle réception doivent être (au-dessus 32dbm).

CONCLUSION

En conclusion, ce chapitre nous a permis de comprendre les enjeux de la planification et du dimensionnement des liaisons de transmission pour les réseaux 4G. Nous avons examiné les différentes étapes et considérations nécessaires pour garantir des performances optimales, en tenant compte des exigences de bande passante élevées, de la mobilité des utilisateurs et de la coexistence avec d'autres services sans fil. Cette étude de cas nous a permis de mettre en pratique les concepts et les techniques de planification de liaisons de transmission, contribuant ainsi à l'amélioration des performances des réseaux 4G.

En se basant sur les résultats de notre étude de cas et la compréhension des exigences en matière de transmission dans les réseaux 4G, il est temps de se pencher sur les solutions avancées pour la 5G. Dans le prochain chapitre, nous explorerons en détail la solution E-band, qui offre des avantages significatifs en termes de capacité et de débit de données pour les réseaux de nouvelle génération. Nous discuterons également de la technologie IBT (intelligent beam tracking) proposée par Huawei, qui pourrait améliorer encore davantage les performances des réseaux de transmission E-band.

Chapitre IV :

La solution E-band pour la 5G

IV.1.Introduction

Le quatrième chapitre 04 de ce mémoire se concentre sur une solution clé pour répondre aux exigences de capacité de la 5ème génération des réseaux de télécommunications: la bande E. Dans ce chapitre, nous explorerons les avantages et les caractéristiques de la bande E, ainsi que son utilisation dans les réseaux de communication mobile et privée.

ce chapitre mettra en évidence l'importance de la bande E en tant que solution clé pour répondre aux exigences de capacité de la 5G. Nous examinerons comment son utilisation peut contribuer à améliorer les performances des réseaux de télécommunications et à répondre à la demande croissante de services numériques avancés. En comprenant les avantages et les limites de la bande E, nous serons en mesure de prendre des décisions éclairées dans la mise en œuvre de cette solution pour nos projets pratiques.

IV.2.Les avantages de l'E-band par rapport au K-band

l'utilisation de la solution E-band dans les réseaux de transmission pour la 5G offre des avantages significatifs en termes de capacité et de débit de données. Comparé au K-band, l'E-band permet de répondre aux exigences croissantes de la 5G en termes de transmission de données à haut débit. Cependant, il est important de prendre en compte les caractéristiques spécifiques de chaque bande de fréquences et de les adapter en fonction des besoins et des contraintes de déploiement pour assurer des performances optimales dans les réseaux de transmission de la 5G.

Les avantages de l'E-band par rapport au K-band dans les réseaux de transmission pour la 5G sont les suivants :

- Large bande passante : L'E-band offre une bande passante plus large que le K-band, ce qui permet de transporter une plus grande quantité de données. Cela est essentiel pour prendre en charge les applications gourmandes en bande passante de la 5G, telles que la réalité virtuelle, la vidéo haute définition et les communications machine à machine.

- Capacité accrue : En raison de sa large bande passante, l'E-band permet une capacité accrue de transmission de données. Cela se traduit par des débits plus élevés et une meilleure expérience utilisateur dans les réseaux de la 5G.
- Faible interférence : L'E-band présente une faible interférence avec d'autres bandes de fréquences, ce qui favorise une meilleure qualité de service. Il réduit les risques d'interférence avec d'autres équipements sans fil, ce qui permet d'assurer des communications plus fiables et stables.
- Atténuation atmosphérique réduite : Les fréquences utilisées dans l'E-band sont moins sensibles à l'atténuation atmosphérique par rapport au K-band. Cela signifie que les signaux dans l'E-band peuvent se propager sur de plus longues distances sans subir une dégradation significative de la qualité du signal.
- Meilleure utilisation du spectre : Étant donné que l'E-band utilise des fréquences plus élevées, il permet une meilleure utilisation du spectre disponible. Cela permet d'exploiter plus efficacement les ressources disponibles et d'offrir des services de communication plus performants dans les réseaux de la 5G.

IV.3. Planification de la liaison de transmission en configuration 1+0 avec la fréquence E-band

Nous avons pris comme exemple une liaison de type (1+0), et l'utilisation de la fréquence E-band.

- ❖ Tel que décrit ci-dessous, pour une distance de 7,3 Km est pour nous permettre d'émettre une grande capacité, nous avons choisi une antenne du type '906-HAE8003A' (fréquence 80 GHz).

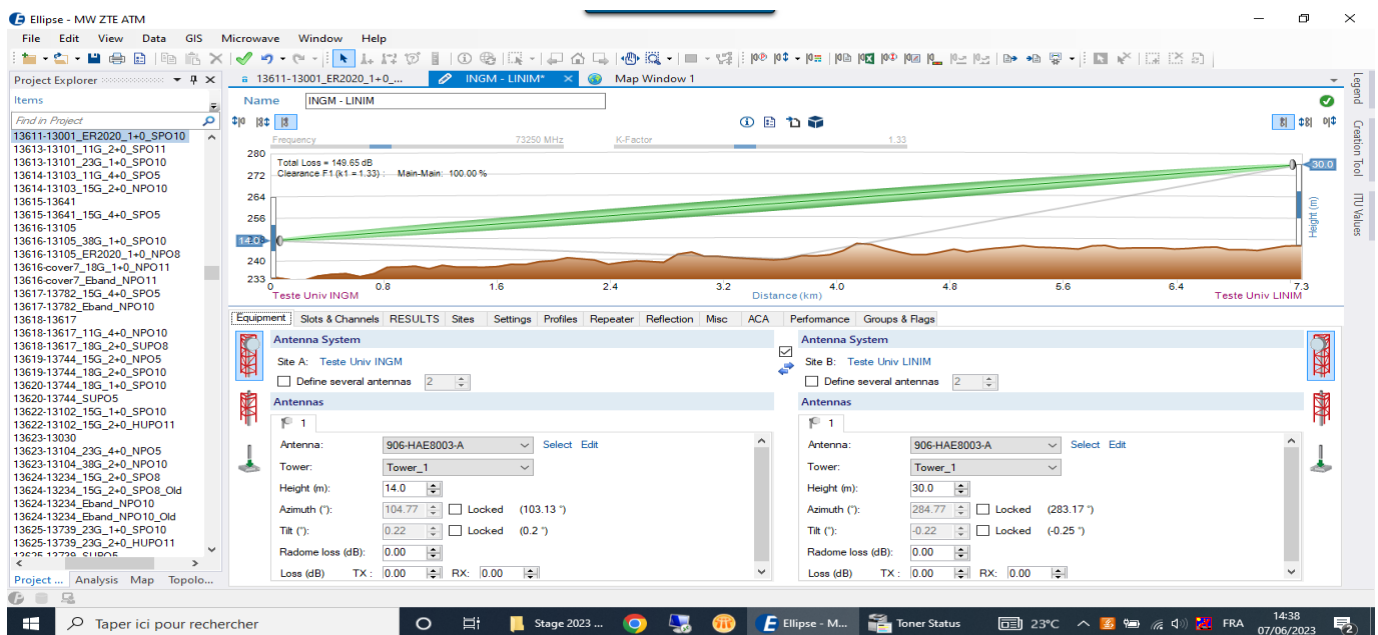


Figure IV.1 : Choix de type d'antenne (03).

- ❖ L'ODU se réfère à une unité extérieure qui gère la transmission et la réception des signaux, il est responsable de la transmission des signaux sur une certaine bande passante. Le "channel spacing" est une mesure de la largeur de chaque canal dans cette bande passante. Lors de la configuration de l'ODU, le choix du "channel spacing" détermine la quantité de spectre allouée à chaque canal et peut influencer la capacité et l'efficacité globales du système de communication.

Dans notre cas on a travaillé avec un channel spacing 250Mbps :

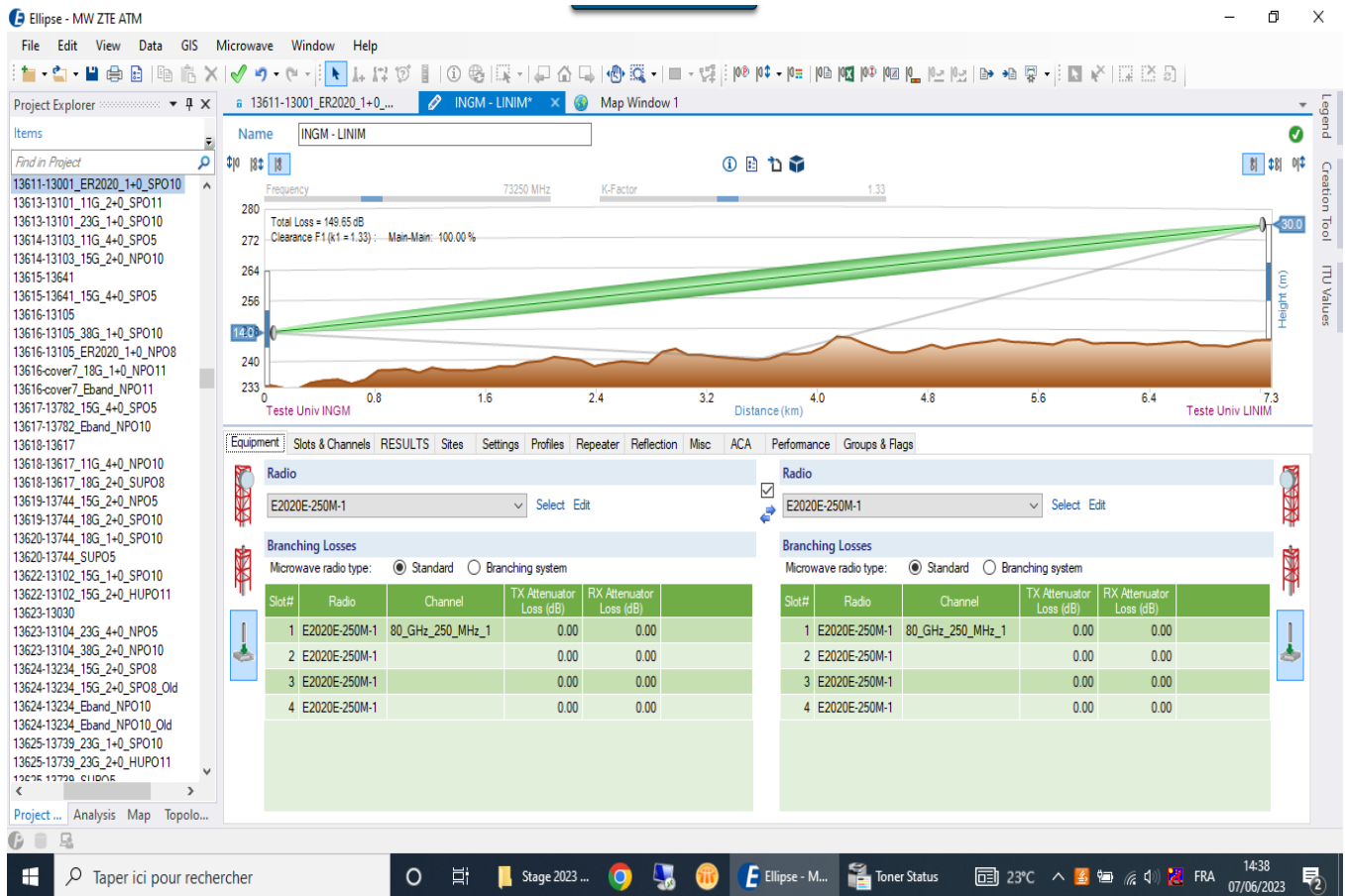


Figure IV.2 : Choix d'équipements Radio (03).

- ❖ dans cette partie on a choisi une polarisation vertical en mode full duplex pour permettre la transmission simultanée dans les deux directions (bidirectionnelle) sur la même fréquence tout en utilisant une polarisation verticale des ondes électromagnétiques. pour cela on eu une capacité de 764 :

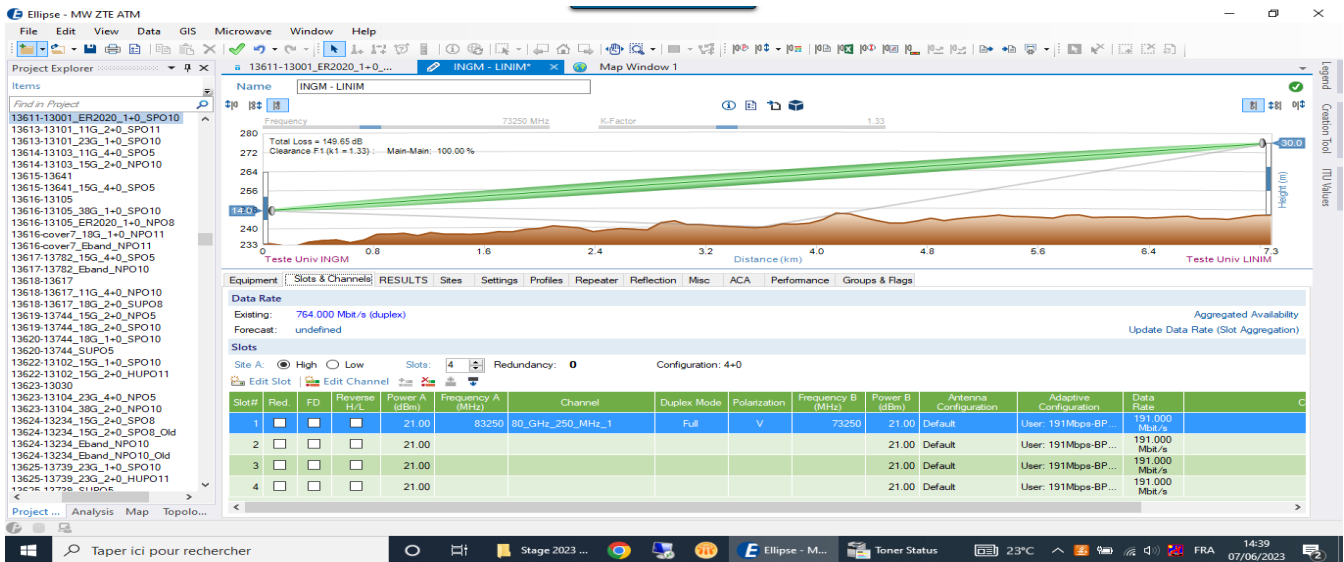


Figure IV.3 : Configuration modems (3).

- ❖ on voit que le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre LINIM et INGM pendant une année est de 9,99974083 %. Si 100% valent 365 jours, 9,99974083 % alors cette liaison est valable. Donc, il y a une augmentation de temps de disponibilité de la liaison :

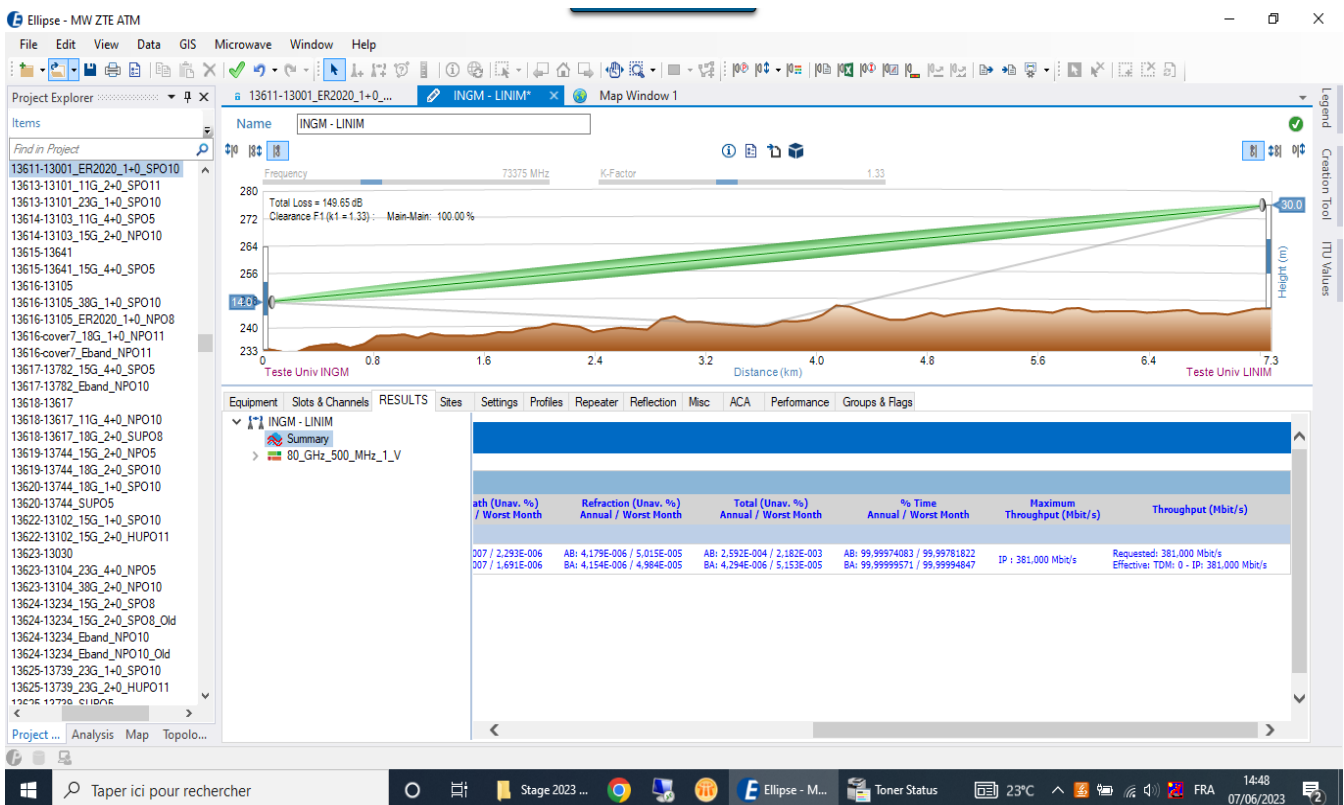


Figure IV.5 : Bilan de liaison (3).

- ❖ dans cette partie on a changé le chanel spacing et gardé les mêmes paramètres de la polarisation, la fréquence :

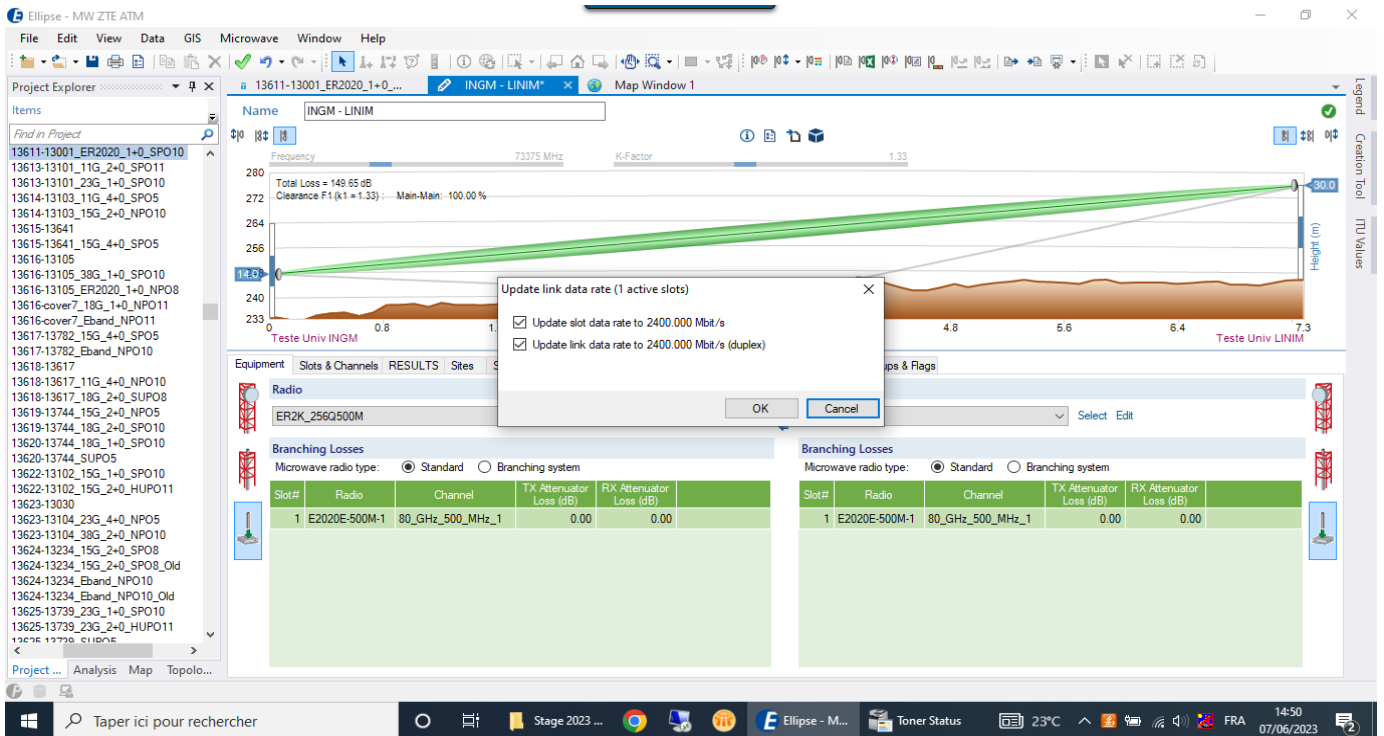


Figure IV.4 : augmentation de chanel spacing.

- ❖ pour cela on eu une grande capacité de 2400Mbps:

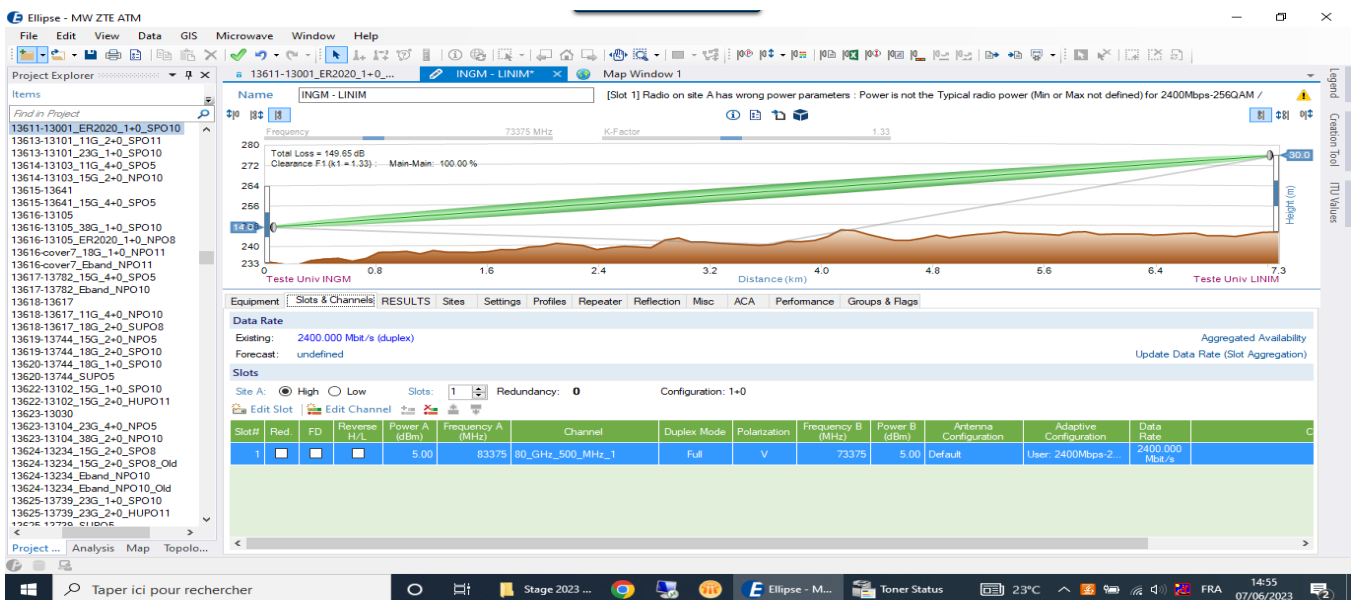


Figure IV.5 : le résultat de la capacité.

- ❖ Le pourcentage de la disponibilité de la liaison entre LINIM et INGM pendant une année est de 9,99974083 %. Si 100% valent 365 Jours, 9,99974083 % Alors cette liaison est valable. Donc, il y a une augmentation de temps de disponibilité de la liaison.

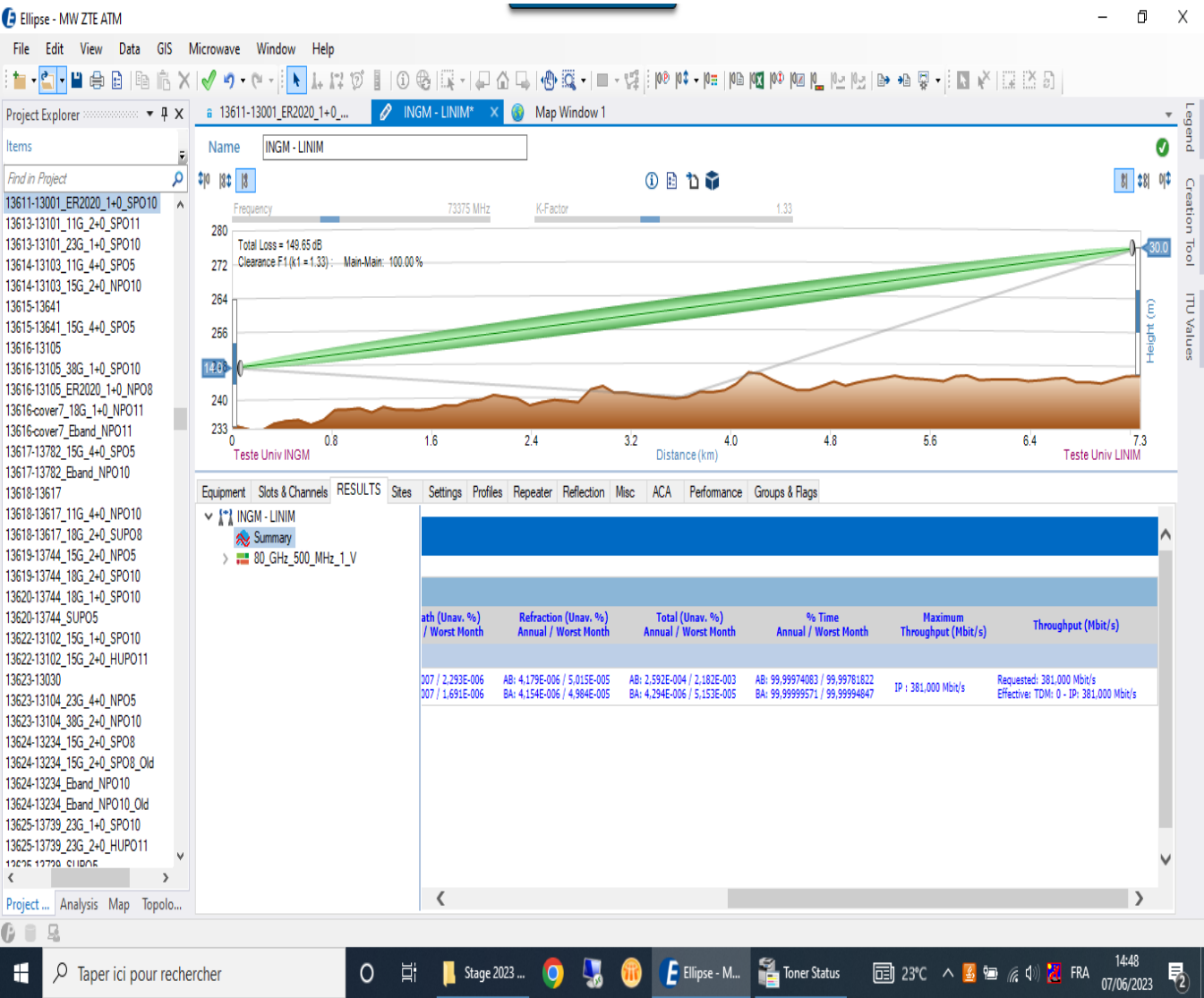


Figure IV.6 : Bilan de liaison (3).

- Alors cette liaison est valable.

❖ Exemple de liaison réel a Tlemcen

On s'intéresse ici à la modèle de propagation, les autres paramètres affiché sur le schéma sont tous déjà expliquée dans le chapitre III et ils restent les même dans notre analyse d'optimisation pour tous types de régions.

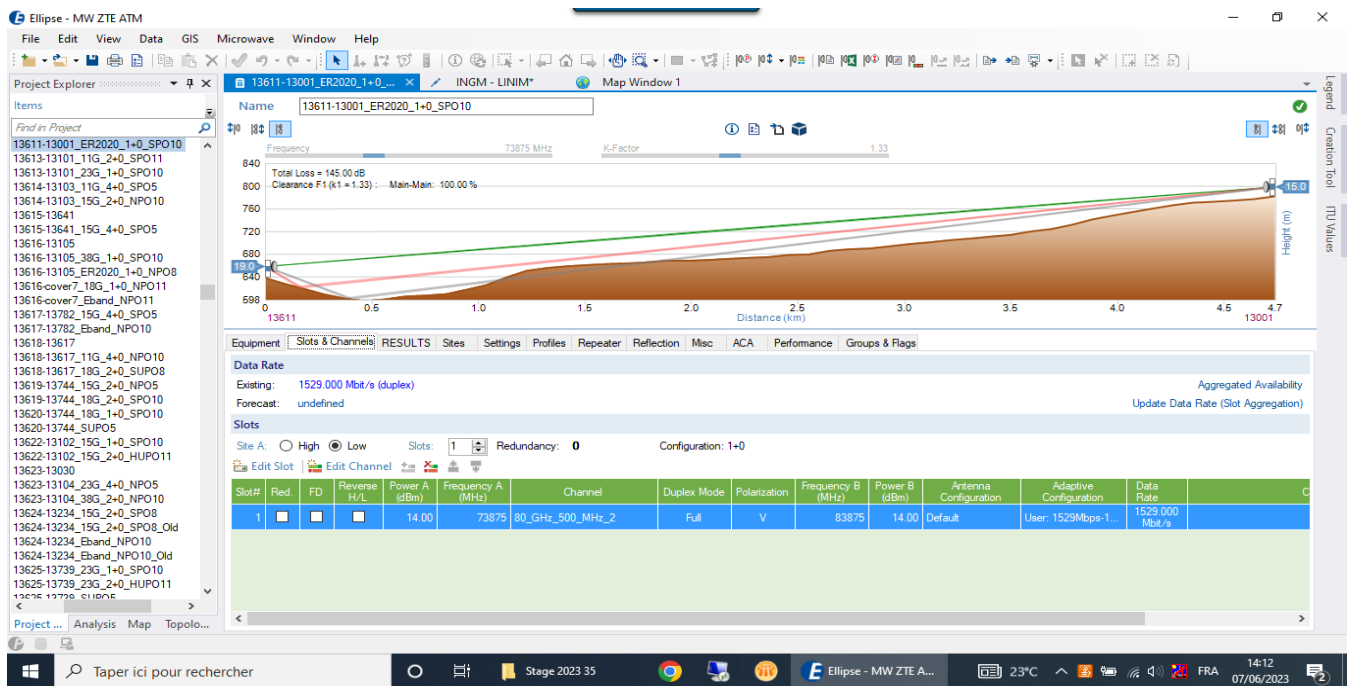


Figure IV.7 : Exemple de liaison réel a Tlemcen.

IV.4.CONCLUSION

Le quatrième chapitre a exploré la solution de la bande E comme moyen de répondre aux besoins de capacité de la 5ème génération des réseaux de télécommunications. Nous avons examiné les caractéristiques et les avantages de la bande E, ainsi que son utilisation dans les réseaux de communication mobile et privée.

La bande E s'est révélée être une option prometteuse pour fournir des capacités de transmission à haut débit et à faible latence. Avec sa large bande passante et sa capacité élevée, elle offre des débits de plusieurs gigabits par seconde, ce qui répond aux exigences de la 5G en termes de performances et de demande croissante de services numériques avancés.

Nous avons également abordé les configurations de fréquence de la bande E et les différents scénarios d'utilisation dans les réseaux de télécommunications. Cependant, il est important de reconnaître qu'il existe des limites et des défis associés à cette technologie, tels que sa sensibilité aux conditions météorologiques et la nécessité d'un alignement précis de l'antenne.

Malgré ces défis, la bande E reste une solution attrayante pour améliorer les performances des réseaux de communication et répondre aux besoins croissants de la 5G. En utilisant des logiciels de planification avancés tels que Mentum Ellipse, les ingénieurs peuvent optimiser la topologie du réseau, le routage du trafic et l'utilisation de la liaison pour maximiser l'efficacité opérationnelle et répondre aux objectifs de disponibilité.

En conclusion, la bande E offre une capacité de transmission de pointe pour la 5ème génération des réseaux de télécommunications. Son utilisation judicieuse, associée à une planification et une gestion efficaces, permettra de tirer pleinement parti des avantages de cette technologie et de répondre aux besoins croissants de capacité dans le domaine des communications sans fil.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce mémoire a examiné en détail le réseau de transmission pour la 5G en utilisant les dernières technologies. En explorant l'évolution des réseaux de transmission de la 2G à la 4G, les généralités sur les réseaux de transmission par les faisceaux hertziens, une étude de cas de planification et dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseau 4G, et la solution E-band pour la 5G, nous avons pu approfondir notre compréhension de l'importance cruciale des réseaux de transmission pour le déploiement réussi de la 5G.

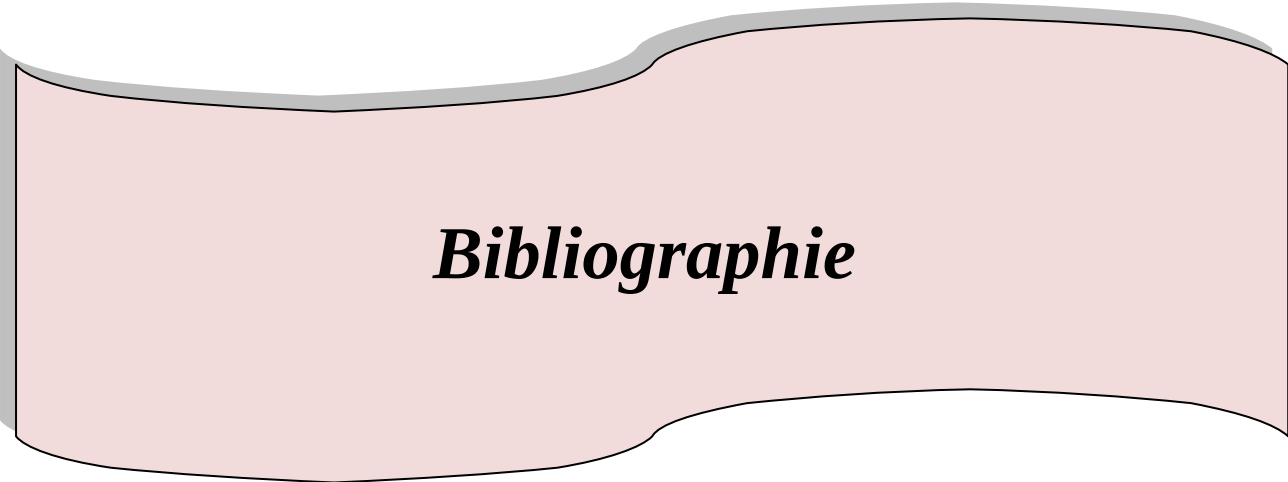
L'évolution des réseaux de transmission de la 2G à la 4G a été marquée par des améliorations significatives en termes de débit, de capacité et de performances. Les réseaux de transmission par faisceaux hertziens ont été identifiés comme une technologie clé pour la transmission à longue distance, offrant une bande passante élevée et une flexibilité dans le déploiement du réseau. Cependant, ces réseaux présentent également des défis tels que la sensibilité aux conditions météorologiques et les risques d'interférences.

L'étude de cas de planification et dimensionnement d'une liaison de transmission pour un réseau 4G a démontré l'importance de prendre en compte différents facteurs techniques pour garantir une connectivité optimale. Des considérations telles que la distance, la capacité et la qualité du signal ont été prises en compte pour assurer une planification adéquate.

La solution E-band pour la 5G, notamment la technologie de suivi intelligent des faisceaux (IBT) fournie par Huawei, offre des avantages significatifs en termes de capacité et de performances améliorées. Cette technologie exploite la bande de fréquences E-band pour répondre aux besoins croissants de la 5G et offre une solution prometteuse pour la transmission à haut débit.

En conclusion, le réseau de transmission pour la 5G est un élément clé pour le succès du déploiement de cette nouvelle génération de réseau. Les réseaux de transmission par faisceaux hertziens et les technologies avancées telles que la solution E-band jouent un rôle essentiel dans la fourniture d'une connectivité fiable et à haut débit. Il est crucial pour les opérateurs et les décideurs de comprendre ces technologies et de les intégrer de manière optimale dans la mise en œuvre de la 5G. Avec une planification minutieuse et une utilisation judicieuse des dernières avancées technologiques, le réseau de transmission pour la 5G peut répondre aux besoins croissants de connectivité et permettre une transformation numérique efficace dans divers secteurs.

Dans cette conclusion générale, il est important de souligner les perspectives pour les réseaux mobiles. La technologie mobile continue d'évoluer à un rythme rapide, et la prochaine génération de réseaux, la 5G, ouvre de nouvelles opportunités et défis. Les perspectives pour les réseaux mobiles incluent le déploiement et l'adoption généralisés de la 5G, l'intégration des technologies émergentes comme l'Internet des objets (IoT) et la communication machine à machine (M2M), ainsi que l'exploration de l'utilisation de la 5G dans divers domaines tels que la santé, les transports et les villes intelligentes. Il est également important de prendre en compte les implications socio-économiques des technologies mobiles avancées, notamment en termes d'emploi, de développement économique et de transformation des industries. En conclusion, les perspectives pour les réseaux mobiles sont prometteuses, offrant des possibilités d'innovation, de connectivité accrue et d'amélioration de la qualité de vie. Il est crucial de continuer à surveiller et à étudier ces évolutions pour garantir une utilisation efficace et responsable des réseaux mobiles dans notre société connectée.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE ;

- [1]<http://www.informatique-bureautique.com/moodle/mod/page/view.php?id=185>. (consulté le 12 avril 2023)
- [2]Bouguen.Y, Hardouin.E, Wolff.F, Pujolle. G et Maloberti, A. (2012). LTE et les réseaux 4G. Paris: Eyrolles.
- [3] <https://www.tactis.fr/reseaux-cellulaires-mobiles/>. (consulté le 15 avril 2023)
- [4]S.Pierre « Réseaux et systèmes informatiques mobile » Presses inter Polytechnique, (2003).
- [5]Yannick Bouguen, Éric Hardouin, and François-Xavier Wolff. réseaux 4g. 2012.
- [6]ETSI. RRC Connection Mobility. In 3GPP TR 25.922 version 7.1.0, release 7 : Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ; Radio resource manage.
- [7] Andrews.J.G, Ghosh.A, Muhamed.R (2014). Fundamentals of LTE. Pearson Education.
- [8]Rangan.S et Varanasi.M.K (2014). Future of wireless networks: 4G and beyond. Proceedings of the IEEE, 102(11), 1691-1706.
- [9]OUNOUH Nabila SAHI Sara ‘mémoire’ Thème « Etude et optimisation des paramètres de base d’un réseau LTE d’ATM 2017/2018 »
- [10]AMEDDAH ATMANE, DJERDI SALIM et .LANDRI BOUSSAD ‘mémoire’ Thème « ETUDE DE LA COUVERTURE RESEAU GSM/GPRS APPLIQUEE A LA ZONE DE TIZI-OUZOU »Année universitaire : 2011 / 2012. (consulté le 24 avril 2023)
- [11]<https://www.memoireonline.com/03/12/5461/m-Interconnexion-entre-deux-reseaux-cellulaires-des-normes-GSM-par-faisceau-hertziens-cas-de-CCT-et10.html>. (consulté le 25 avril 2023)
- [12]Selon B.Tremblais (communication personnelle [Support de cours], 2011). Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM.
- [13]Boulakakez, A et Oggad.Z (2016). Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile (Mémoire de master inédit). Université M'hamed BOUGARA de Boumerdes, Algérie.
- [14]Girodon.S (2002). Réseaux GSM, GPRS, UMTS. Université d'AixMarseille. [15]Holma et Toskala 2001; Javier et Mamadou, 2004.
- [16]BOUKHALFA Samir, SAIBI Hamid Mémoire de fin d'études en Master en Réseaux et Télécommunications, université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2016-2017 Thème L'apport de la 4 ème génération dans la téléphonie mobile.
- [17]www.efort.com. 2009, site d'études et formations en Télécommunications Service et Réseaux de Télécommunication).
- [18]Fellahi.G (2015). Planification et optimisation d'un réseau de la 4G (LTE) pour la Wilaya de Tlemcen (Mémoire de master inédit). Université Aboubakr BELKAID de Tlemcen, Algérie.

- [19] Boulakakez.A et Oggad.Z (2016). Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile (Mémoire de master inédit). Université M'hamed BOUGARA de Boumerdes, Algérie.
- [20] Hendaoui Mounira Doctorat en sciences en : Génie –Electrique Université Mohamed Khider – Biskra 03/06/2014 Réception dans un système d'accès multiples à répartition par codes. Application aux modes FDD et TDD de l'UMTS.
- [21] Y. M. ADOUM, « Etude et mise en service de la liaison faisceau hertzien LoumbilaKamboince au Burkina Faso, » Institut supérieur d'informatique et de gestion (ISIG), 2009. [Enligne]. Available : http://www.memoireonline.com/02/12/5364/m_tude-et-mise-enservice-de-la-liaison-par-faisceau-hertzien-Loumbila-Kamboince-au-Burkina-Faso15.html. (consulté le 11 mai 2023)
- [22]BACHA Salem et BASSAID Nadia “ Les catégories des faisceaux hertziens “ UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, année 2015
- [23] <https://entreprises.selectra.info/telecom/guides/technologies/faisceau-hertzien> (consulté le 13 mai 2023).
- [24]E. Jammazi, « Optimisation d'un réseau pilote 4G », Mémoire de Projet de Fin d'Etudes, pour Tunisie Télécom, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, 2013.
- [25] SLIMI Fadoua et ALOUACHE Chahra ‘ mémoire ‘ thème « Mise en oeuvre d'une Solution SDB pour améliorer la qualité de service d'un réseau 4G LTE » UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ-BOUIRA année 2020.
- [26] <https://carrier.huawei.com/en/products/wireless-network/microwave/e-band>
- [27] <https://fr.scribd.com/doc/209837449/Rnt-900-best-Tuto>,en 09/2020. (consulté le 16 mai 2023)
- [28] RTN 905 V100R005C01 IDU Hardware Description 06, P2, 2019.
- [29] Optix RTN 900/300 2nd Line Maintenance training Material Book 1.
- [30] MOUSSAOUI Malha ET MOUAS Dhrifa “ ETUDE ET PLANIFICATION D'UNE LIAISON FHN HYBRIDE 2G, 3G” UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, année 2013.
- [31] AOUS Ouerdia et MESBAHI Cylia‘ mémoire ‘ thème « Etude, planification et configuration d'une liaison à faisceau hertzien entre deux sites GSM » UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, année 2016.
- [32] Nesic Cairo ‘exposition ‘ sur international training center (PDF) < Pasolink Neotraining> année 2007.
- [33] BENDENNAH Lydia et ALLIK Madjda ‘ mémoire ‘ thème « Etude des liaisons FH d'un réseau WLL :Acquisition des données radioélectriques dans la région de TIZI-OUZOU » UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, année 2014.