



## Mémoire de Master

Présenté au :

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

- *BENSAADIA Yousra*
- *BERNOU Khaoula Zohra*

Thème :

## Etude d'une liaison micro-ondes dans le réseau 4G LTE

Devant le jury composé de :

BENAOUICHA Karim	MAA	UAMOB	Président
MEDJEDOUB Ismail	MAA	UAMOB	Encadrant
ALIMOHAD Abdenour	MCA	UAMOB	Examinateur



## نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة).....  
الصفة: طالب، استاذ، باحث

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية:

المسجل(ة) بكلية : العلوم و العلوم التطبيقية  
الهندسة الكهربائية  
الصادرة بتاريخ 2022/02/05  
قسم: .....

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير،  
اطروحة دكتوراه).

عنوانها:

Étude d'une liaison micro-ondes dans le réseau  
H.G. LTE

تحت إشراف الأستاذ(ة):

Medjoub Ismail

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة  
الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: .....

توقيع

المعني(ة) .....

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

Turnitin

% 17

النسبة:



## نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث

انا الممضي اسفله،

السيدة(ة)..... Berrou Khaboulia Zahra..... الصفة: طالب، استاذ، باحث

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية:

..... 4005.04.663..... والصادرة بتاريخ 31/01/2022

المسجل(ة) بكلية : العلوم و العلوم التطبيقية ..... قسم: .....

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير،  
اطروحة دكتوراه).

عنوانها:

..... Etude d'une liaison micro-onde dans  
..... le réseau H.G.L.TE.....

تحت إشراف الأستاذ(ة):

..... Mr. Medjedoub Smail.....

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة  
الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ:.....

توقيع

المعني(ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:



Turnitin

% 17

النسبة:

## *Dédicaces*

*Je souhaite dédier ce travail :*

*À mes parents et ma grande mère pour leur amour et leur encouragement constants tout au long de mon parcours universitaire. Votre confiance en moi et votre soutien inconditionnel m'ont donné la force de poursuivre mes rêves et de surmonter les obstacles.*

*À mes sœurs Lyliya et Maram à mon frère Aymen et toute ma famille mes tantes et mes oncles en particulier Mr Ahmed. Sa contribution ne sera jamais oubliée.*

*À mes proches amis et mon binôme de mon parcours universitaire et de projet Khaoula.*

*Je suis honorée de pouvoir leur dédier ce travail et de partager cette réussite avec eux.*

*B. Yousra*

## *Dédicaces*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A ma chère sœur Aya et mon cher frère Seif pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mon binôme et ma meilleure amie Yousra,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*A tout ceux qui m'aiment et que j'aime*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*B. Khaoula*

# Remerciements

Nous remercions tout d'abord par excellence sa grandeur le bon dieu, qui nous a donné le Courage, la patience et qui nous a permis d'atteindre ce jour.

Nos remerciements vont à notre encadrant **Mr. Ismail MEDJEDOUBE**, 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-encadrant **Mr. Housseyn SERAI** de nous avoir pris en charge et bien encadré durant notre stage pratique et à toute l'équipe d'**ALGERIE TELECOM** et de **MOBILIS** de **M'SILA** en particulier **Mr. Fouad FEKHAT** qui a contribué à notre formation durant notre stage.

Nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont contribué à transmettre le savoir tout au long de notre parcours académique

Enfin, nous tenons à remercier nos parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements et toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

# Sommaire

---

Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1

## Chapitre I: Généralité sur les réseaux mobiles

I.1. Introduction .....	2
I.2. Généralités sur les réseaux cellulaires.....	2
I.3. Réseau GSM.....	3
I.3.1. Architecture .....	4
I.3.2. Accès radio .....	6
I.3.3. Handover et roaming.....	8
I.4. Réseaux 3G et UMTS.....	9
I.4.1. Objectif .....	9
I.4.2. Architecture .....	10
I.4.3. Accès radio .....	11
I.4.4. Évolutions.....	12
I.5. Réseaux 4G et le LTE .....	13
I.5.1. Caractéristiques .....	13
I.5.2. Architecture .....	13
I.5.3. Accès radio OFDMA.....	14
I.6. Evolution des technologies de transmission.....	15
I.6.1. Réseau d'accès PDH .....	15
I.6.2. Réseau d'accès SDH .....	15
I.6.3. WDM.....	16
I.6.4. Micro-ondes (Faisceaux Hertziens).....	16
Conclusion.....	16

## Chapitre II: Les liaisons micro-onde

II.1. Introduction .....	17
II.2. Liaisons radio .....	17
II.2.1. Présentation des liaisons radio.....	17
II.2.2. Les avantages et les inconvénients de liaison radio.....	17
II.3. Liaison micro-ondes .....	18

II.3.1. Différence entre liaison radio et liaison micro-ondes .....	19
II.4. Architecture d'une liaison micro-onde .....	19
II.4.1. Composantes d'une liaison micro-onde.....	19
II.4.2. Antennes micro-ondes .....	20
II.5. Bandes de fréquences et dual band .....	21
II.5.1. Bandes de fréquences .....	21
II.5.2. Dual band dans les micro-ondes .....	22
II.6. Modèle de propagation (Path loss) et bilan de liaison .....	23
II.6.1. Modèle de propagation (Path loss) .....	23
II.6.2. Bilan de liaison .....	24
II.7. Paramètres des liaisons micro-ondes .....	25
II.8. Modulation et bruit dans les liaisons micro-ondes .....	26
II.8.1. Modulation en liaison micro-ondes .....	26
II.8.2. Bruit dans les liaisons micro-ondes : .....	26
II.9. Planification d'une liaison micro-ondes .....	27
II.10. Domain d'application des liaisons micro-ondes .....	28
II.11. Les avantages et inconvénients de liaison micro-ondes .....	29
II.11.1. Les avantages.....	29
II.11.2. Les inconvénients .....	29
II.12. Conclusion .....	29

### **Chapitre III: Etude pratique d'une liaison micro-ondes**

III.1. Introduction .....	31
III.2. Présentation des interfaces « U2000 et WebLct » .....	31
III.3. Liaisons hertzienne et série OptiX RTN 900 .....	31
III.3.1. Principales configurations de liaison hertzienne .....	32
III.3.1.1. Configuration 1+0 .....	32
III.3.1.2. Configuration 1+1 .....	32
III.3.1.3. Configuration 2+0 .....	32
III.3.1.4. Configuration 4+0 .....	33
III.3.2. Solution SDB divisée pour la transmission sur les équipements RTN 900.....	33
III.3.3. Evolution des cartes ISM .....	34
III.4. Optimisation de la connectivité grâce à l'architecture Super Dual Band .....	34
III.4.1. Super Dual Band .....	34
III.4.2. Architecture Super dual band .....	35
III.5. Mise on ouvre une nouvelle liaison E-band .....	37



## Sommaire

---

III.5.1. Configuration de Common bande .....	37
III.5.2. Configuration de E-bande .....	39
III.5.3. Configuration EPLA.....	40
III.6. Tests des performances .....	40
III.6.1. Représentation Graphiques des performances.....	41
III.6.2. Basculement C-Band/E-Band (EPLA), Cas réel.....	42
III.6.2.1. Analyse de performance .....	43
III.6.2.2. Graphique de performance E-Band après la résolution du problème.....	45
III.6.3. Etude comparative de liaison avec et sans E-Band .....	46
III.7. Conclusion.....	47
Conclusion Générale .....	49
Références bibliographiques .....	51

## Liste des figures

Figure I. 1: Organisation du réseau cellulaire. ....	3
Figure I. 2. Générations de réseaux cellulaires .....	4
Figure I. 3: Architecture du réseau GSM. ....	5
Figure I. 4: Multiplexages du canal physique GSM.....	7
Figure I. 5: Organisation du paquet de données.....	8
Figure I. 6: Différents type de <i>handover</i> . ....	8
Figure I. 7: Architecture GSM/UMTS. ....	11
Figure I. 8: Bandes de fréquence UMTS.....	12
Figure I. 9: Principe de codage CDMA.....	12
Figure I. 10: Bande de fréquence LTE (en France).....	14
Figure I. 11: Principe de multiplexage OFDMA.....	15
Figure II. 1: Diagramme en bloc d'une liaison Micro-onde. ....	18
Figure II. 2: Les bandes de fréquences.....	21
Figure II. 3: Présentation Dual band .....	22
Figure II. 4: Rayon de la première zone de Fresnel. ....	24
Figure III. 1: Mise en œuvre de la solution SDB sur le RTN 950/950A à l'aide de la carte EM6D. ....	33
Figure III. 2: schéma de flux de signal pour la solution Super Dual Band (RTN 950/950A). ....	34
Figure III. 3: La solution Super Dual Band.....	35
Figure III. 4: L'architecture de la solution Super Dual Band. ....	35
Figure III. 5: E-Band, RTN 380. ....	36
Figure III. 6: RTN 950A, câbles data de la liaison E-Band. ....	36
Figure III. 7: Configuration des paramètres de la liaison dans « RTN980A ». ....	38
Figure III. 8: Radio link 1+0. ....	39
Figure III. 9: Configuration des paramètres de RTN 380A. ....	39
Figure III. 10: Configuration S-EPLA (RTN 950A).....	40
Figure III. 11: Test de performance. ....	41
Figure III. 12: Pourcentage d'utilisation de la bande passante. ....	41
Figure III. 13: Courbe présente l'utilisation moyenne de la bande passante E-band. ....	42

## Liste des figures

---

Figure III. 14: Liaison E-Band hors. ....	43
Figure III. 15: Liaison E-Band hors service problème de dépointage (-76 dbm). ....	43
Figure III. 16: Performances graphiques E-band Down (hors service).....	44
Figure III. 17: Les paramètres de la liaison E-band RTN 380A (Link UP).....	45
Figure III. 18: Performances graphiques EB Up.....	46

## Liste des tableaux

Tableau I. 1: Débit hiérarchisés du protocole SDH. ....	16
Tableau II. 1: la Différence entre liaison radio et liaison micro-ondes.....	19
Tableau II. 2: Les bandes de fréquences de micro-ondes .....	21

## Liste des abréviations

---

### Liste des abréviations

**1G** : 1 ère génération

**2G** : 2ème Génération

**3G** : 3ème Génération

**4G** : 4ème Génération

**5G** : 5ème Génération

### A

**AuC** : Authentication Center.

**ATM** : Asynchronous Transfer Mode.

### B

**BSC** : Base Station Controller.

**BSS** : Base Station Subsystem.

**BTS** : Base Transceiver Station.

### C

**CDMA** : Code Division Multiple Access.

### D

**DB** : Dual Band.

**DL** : Down Link

### E

**EDGE** : Enhanced Data rate for GSM Evolution

**EHF** : Extremely High Frequency

**EIR** : Equipment Identity Register

**enodeB** : Evolved NodeB

**EPLA** : Enhanced Physical Link Aggregation

### F

**FDD** : Frequency Division Duplex.

**FDMA** : Frequency Division Multiple Access.

**FSK** : Frequency-Shift Keying

**F-TDMA** : Frequency Time Division Multiple Access.

### G

**GGSN** : Gateway GPRS Support Node

**GMSK** : Gaussian Minimum Shift Keying

**GPRS** : General Packet Radio Service.

**GSM** : Global System for Mobile Communications.

### H

**HLR** : Home Location Register

**HSDPA** : High Speed Downlink Packet Access

### I

**IDU** : Indoor Unit

**IF** : Intermediate Frequency

**IMEI** : International Mobile Equipment Identity

**IMSI** : International Mobile Subscriber Identity

**IP** : Internet Protocol

**ISM** : Integrated Service Module.

## L

**LTE** : Long Term Evolution

**LOS** : Line Of Site

## M

**MAN** : Metropolitan Area Network

**MIMO** : Multiple Input Multiple Output.

**MPEG-2** : 2<sup>ème</sup> génération du norme  
Moving Picture Experts Group

**MS** : Mobile Station

**MSC** : Mobile Switching Center

**MSISDN** : Mobile Station Integrated  
Service Digital Number

## N

**NSS** : Network Subsystem

## O

**ODU** : Out Door Unit

**OFDM** : Orthogonal Frequency Division  
Multiplexin

**OFDMA** : Orthogonal Frequency Division  
Multiple Access.

**OOK** : On-Off Keying

## P

**PAL** : Phase Alternating Line

**PDH** : Plesiochronous Digital Hierarchy

**PLMN** : Public Land Mobile Network.

**PSK** : Phase Shift Keying

## Q

**QAM** : Quadrature Amplitude  
Modulation.

## R

**RF** : Radio Frequency

**RNC** : Radion Network Controller

**RSB** : Rapport Signal-Sruit

## S

**SC-FDMA** : Single Carrier - Frequency  
Division Multiple Access.

**SDB** : super dual band.

**SDH** : Synchronous Digital Hierarchy

**SECAM** : Séquentiel Couleur à Mémoire

**S-EPLA** : Super Enhanced Physical Link  
Aggregation

**SGSN** : Serving GPRS Support Node

**SHF** : Super High Frequency

## T

**TDD** : Time Division Duplex

**TDMA** : Time Division Multiple Access.

**TMSI** : Temporary Mobile Subscriber  
Identity

## U

**UHF** : Ultra High Frequency

## Liste des abréviations

---

**UIT-T** : Union Internationale des  
Télécommunications secteur des  
Télécommunications

**UL** : Up Link

**UMTS** : Universal Mobile  
Telecommunications System

**UTRAN** : Universal Terrestrial Radio  
Access Network

### V

**VHF** : Very High Frequency

**VLAN** : Virtual Local Area Network

**VLR** : Visitor Location Register

### W

**WAN** : Wide Area Network.

**W-CDMA** : Wideband Code Division  
Multiple Access.

**WDM** : Wave Division Multiplexing

### X

**XPIC** : Cross-Polarisation Interference  
Cancellatio

# *Introduction générale*



## **Introduction générale**

Les réseaux mobiles ont connu une évolution importante depuis leur apparition dans les années 80 avec la première génération de réseau mobile analogique (1G), jusqu'à l'arrivée de la 4G LTE (Long Term Evolution) qui offre des débits de transmission de données beaucoup plus élevés et une qualité de service améliorée. Cependant, la mise en place d'un réseau 4G LTE nécessite une infrastructure de communication appropriée, notamment des liaisons micro-ondes. [1]

Les liaisons micro-ondes sont largement utilisées pour les transmissions de données à haute vitesse et pour les communications à longue distance. Elles offrent de nombreux avantages, tels qu'une faible atténuation du signal, une grande capacité de transmission de données, une grande immunité aux interférences et une faible latence. [2]

Cependant, avec l'augmentation exponentielle du trafic de données dans les réseaux mobiles, il devient impératif d'optimiser les performances des liaisons micro-ondes afin de répondre à la demande croissante en bande passante. Dans cette perspective, l'utilisation de bandes de fréquences supérieures, connues sous le nom de "E band" (71-76 GHz et 81-86 GHz), a émergé comme une solution potentielle pour augmenter la capacité des liaisons micro-ondes. [3]

Cette étude de mémoire se concentre sur l'évaluation comparative d'une liaison micro-ondes dans le réseau 4G LTE, en mettant l'accent sur l'utilisation de l'E band par rapport aux bandes de fréquences traditionnelles. L'objectif principal de cette étude est d'analyser les performances des liaisons micro-ondes avec et sans l'utilisation de l'E band en termes de débit de données, de latence et de stabilité du signal. Une analyse pratique approfondie sera réalisée en utilisant des mesures sur le terrain et des paramètres spécifiques aux réseaux mobiles, afin de fournir des informations précieuses pour les opérateurs de réseau et les décideurs.

***Chapitre I :***  
***Généralités sur les réseaux  
mobiles***

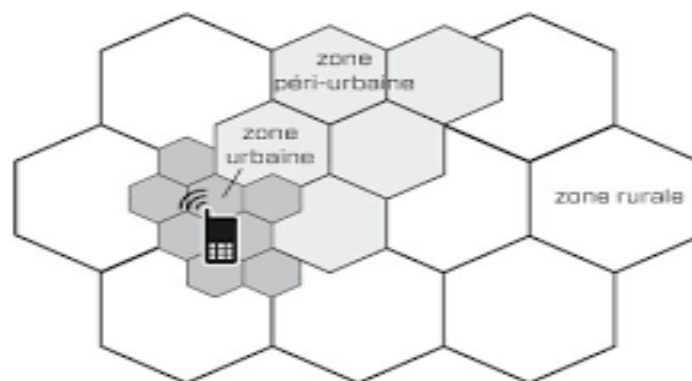
## I.1. Introduction

Les réseaux mobiles ont évolué de manière spectaculaire depuis leurs débuts modestes. Du GSM (Global System for Mobile Communications) des années 1990, qui permettait seulement des appels vocaux de base, aux réseaux 4G (quatrième génération) qui ont ouvert la voie aux smartphones et à l'internet mobile haut débit, et enfin aux réseaux 5G (cinquième génération) qui repoussent les limites de la connectivité et promettent des avancées technologiques révolutionnaires. Dans ce chapitre, nous allons explorer en détail les fondements et les avancées des réseaux mobiles, ainsi que l'évolution des technologies de transmission.

## I.2. Généralités sur les réseaux cellulaires

Les réseaux cellulaires sont des réseaux d'opérateur organisés en cellules qui permettent à un utilisateur de se connecter sans fil depuis son téléphone mobile ou son smartphone vers le réseau téléphonique ou Internet.

Une cellule correspond à une zone géographique, plus ou moins grande selon la densité d'utilisateurs et le relief, dans laquelle une bande de fréquence est allouée et partagée par l'ensemble des utilisateurs connectés. L'organisation peut optimiser le partage des ressources radio et la réutilisation des fréquences. Les cellules sont des régions de chevauchement théoriquement circulaires ; elles sont représentées sous la forme d'hexagones. Au centre de chaque cellule, se trouve une antenne relais (figure I.1) [4].



**Figure I. 1: Organisation du réseau cellulaire.**

Souvent appelés réseaux mobiles, les réseaux cellulaires fournissent une connectivité ininterrompue pour l'utilisateur lorsqu'il se déplace d'une cellule à l'autre (procédure du hand-over). Ces réseaux ont évolué en termes de débit depuis leurs premiers déploiements dans les années 1980, offrant désormais des applications variées telles que la téléphonie, les données,

le multimédia, etc. La figure I.2 montre les générations successives de réseaux cellulaires avec les débits maximums et les appellations correspondant aux différentes normes.[3]

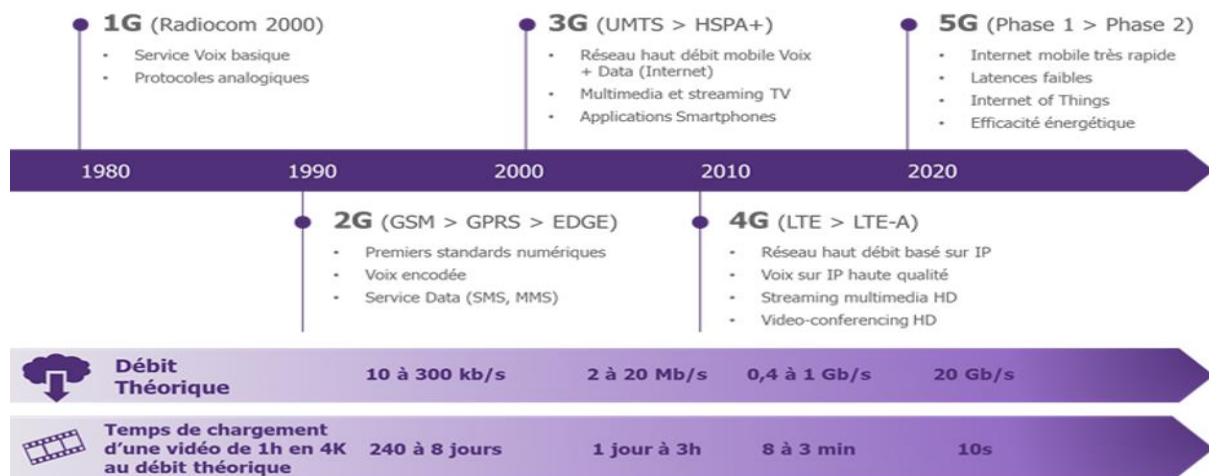


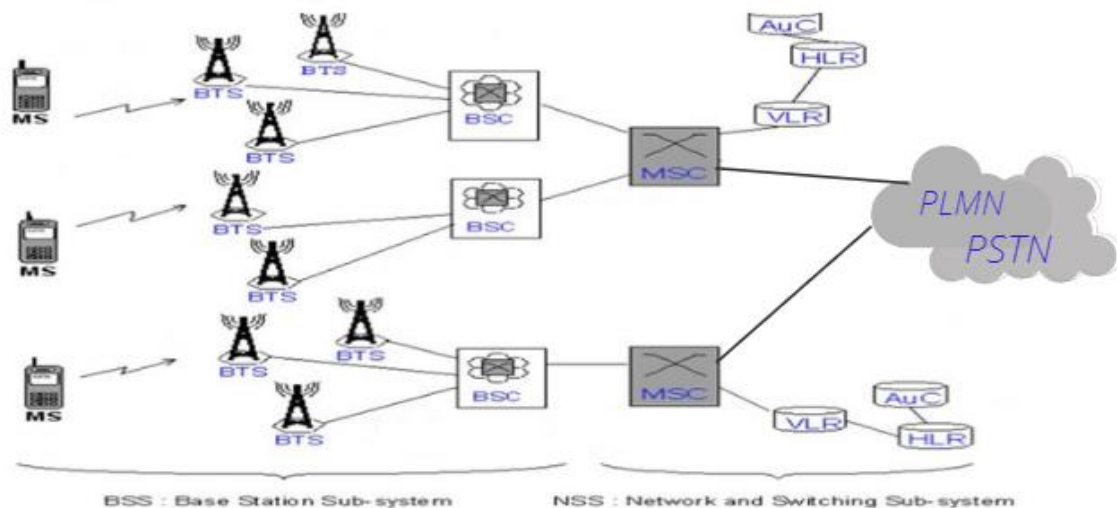
Figure I. 2. Générations de réseaux cellulaires.[4]

### I.3. Réseau GSM

#### I.3.1. Architecture

L'architecture d'un réseau GSM de base peut être divisée en deux sous-systèmes (figure I.3) :

- ✓ Le Sous-système Radio ou **BSS** (*Base Station Subsystem*) qui gère les transmissions radio. Il se compose de la station mobile de l'utilisateur ou **MS** (*Mobile System*), de la station de base **BTS** (*Base Transceiver Station*) comprenant l'antenne relais et du contrôleur de station de base **BSC** (*Base Station Controller*);
- ✓ Le sous-système réseau ou **NSS** (*Network Subsystem*) supporte toutes les fonctions de contrôle et d'analyse (authentification des utilisateurs, itinérance, cryptage, ...) des informations contenues dans la base de données nécessaires à l'établissement d'une connexion. NSS comprend **MSC** (*Mobile Switching Center*) et des bases de données liées (VLR, HLR, etc.).[3]



**Figure I. 3: Architecture du réseau GSM.**

La **MS** est équipée d'un système d'émission/réception radio ainsi qu'une carte à puce appelée **SIM (Subscriber Identity Module)** permettant un abonnement indépendant du terminal physique. Cette carte dispose d'une fonction de mémoire.

Les caractéristiques de l'abonnement :

- ✓ Le **MSISDN (Mobile Station International ISDN Number)** : numéro international attribué à l'abonné selon le plan de numérisation E.164. Ce numéro est utilisé pour passer et recevoir des appels ;
- ✓ Le **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)** qui est l'identité permanente du mobile auprès du réseau. Elle n'est pas connue par l'utilisateur ;
- ✓ Le **TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)** qui est l'identité temporaire du mobile auprès du MSC ;
- ✓ Les algorithmes de chiffrement ;
- ✓ Le **MSRN (Mobile Station Roaming Number)**, numéro temporaire au même format que le MSISDN qui remplace ce dernier en cas d'itinérance (roaming) ;
- ✓ L'**IMEI (International Mobile Equipment Identity)**, identité propre au terminal allouée lors de sa fabrication.

La **BTS (Base Transceiver Station)** est la station de base d'émission et de réception. Elle assure la couverture radio d'une cellule (rayon de 200 m à ~30 km) et prend en charge les opérations de modulation/démodulation, de correction des erreurs, de cryptage des communications et de mesure de la qualité et de la puissance de réception.

Le **BSC** (*Base Station Controller*) contrôle un groupe de stations de base et effectue des transferts inter-cellules (handovers) en référençant des BTS cibles. Il gère également les ressources radio et les appels.

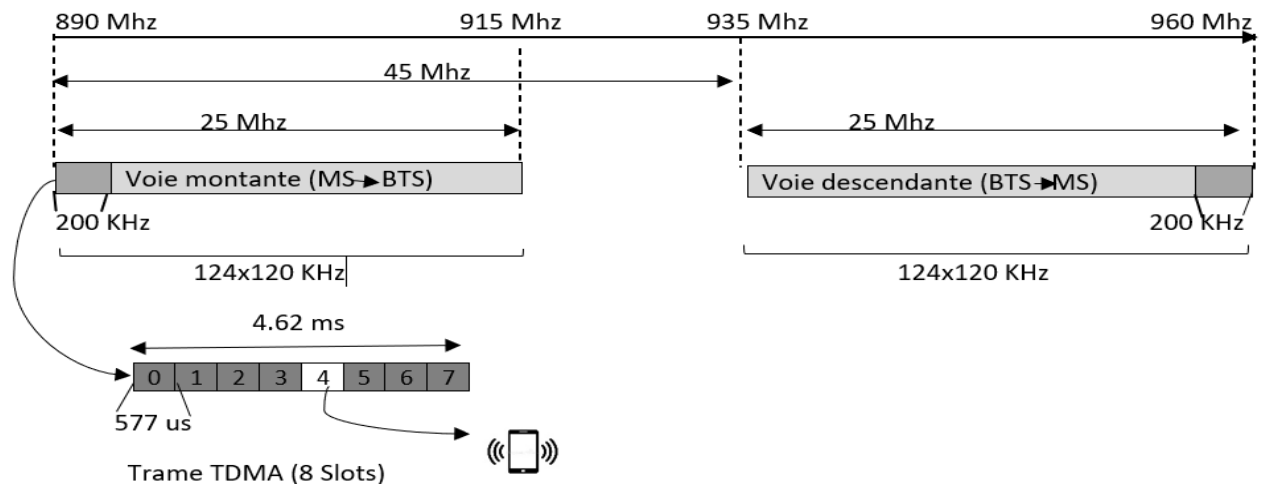
Le **MSC** (*Mobile Switching Center*) est un commutateur numérique en mode circuit qui oriente les signaux vers les BSC. Il établit une communication basée sur la base de données à laquelle il est relié et assure l'interconnexion avec d'autres réseaux cellulaires (**PLMN**, Public Switched Telephone Network).

Les bases de données reliées au MSC ont différents rôles :

- ✓ Le **HLR** (*Home Location Register*) est unique au réseau et contient les informations relatives aux abonnés : données statiques (IMSI, MSISDN...) et données dynamiques (localisation, état du terminal...);
- ✓ Le **VLR** (*Visitor Location Register*) est une base de données locale (un VLR par commutateur MSC) qui contient les informations relatives aux abonnés présentes dans la zone associée (il est donc mis à jour à chaque changement de cellule d'un abonné). Le VLR échange en permanence des informations avec le HLR, qui contient, entre autres, l'Identité Temporaire (TMSI) et la localisation de l'abonné ;
- ✓ L'**AUC** (*Authentication Center*) assure l'authentification des abonnés et gère les fonctions de chiffrement grâce aux clés de cryptage contenues dans la carte SIM ;
- ✓ L'**EIR** (*Equipment Identity Register*) empêche les terminaux non autorisés (terminaux volés) d'utiliser l'IMEI pour accéder au réseau. Le MSC contactera l'EIR et vérifiera la validité de l'IMEI à chaque appel. [3]

### **I.3.2. L'accès radio**

L'accès radio pour la technologie de base GSM s'appuie sur une combinaison de multiplexage **FDMA** et **TDMA** (multiplexage F-TDMA) dans la bande de 890-960 Mhz. Dans cette plage, un ensemble de 124 canaux, chacun ayant une largeur de bande de 200 kHz, est partagé par différents opérateurs pour les communications montantes et descendantes (comme illustré dans la Figure I.4). Chaque canal est divisé en 8 intervalles de temps "slots", pour lesquels une trame TDMA périodique est réservée. Cette trame a un débit total de 270 Kbit/s, obtenu grâce à l'utilisation de la modulation non linéaire **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*).



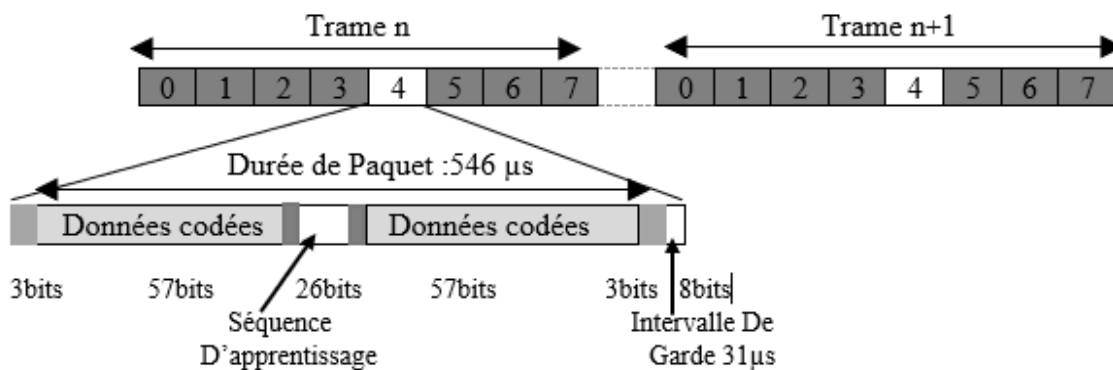
**Figure I. 4: Multiplexages du canal physique GSM.**

Le débit pour chaque mobile peut varier suivant le nombre de slots temporels attribués. Dans l'exemple de la figure précédente (figure I.4), seul le slot 4 de la trame située dans le premier canal montant est attribué à l'abonné et le débit en voie montante est  $270 \text{ Kbit/s} / 8 = 33.75 \text{ Kbit/s}$ .

Le paquet ou *burst* transmis pendant un slot est organisé en différents champs (figure I.4) :

- ✓ 3 bits de tête et de queue pour ajuster la puissance ;
- ✓ Les données codées sur  $2 \times 7 = 144$  bits ;
- ✓ Une séquence d'apprentissage pour permettre au récepteur de se synchroniser ;
- ✓ Un délai de garde pour régler l'alignement temporel.

Finalement, dans la transmission téléphonique cellulaire de base, une trame analogique de parole de 20 ms est numérisée sur 260 bits, puis codée pour limiter les risques d'erreur, ce qui donne 456 bits. Ces 456 bits sont divisés en 8 demi-paquets de 57 bits, qui sont insérés dans le slot périodique réservé de 8 trames TDMA successives. Bien que 4 trames pourraient suffire à contenir ces données ( $2 \times 4 \times 57 = 456$ ), l'étalement sur 8 trames offre une meilleure protection contre les erreurs de transmission qui peuvent se produire fréquemment par trame. Les blocs de 57 bits restants dans les 8 trames pour le même slot réservé et abonné sont remplis avec les données de la trame de parole précédente ou suivante (entrelacement). Finalement, les trames TDMA sont chiffrées avant d'être modulées et transmises sur le canal physique.[3]

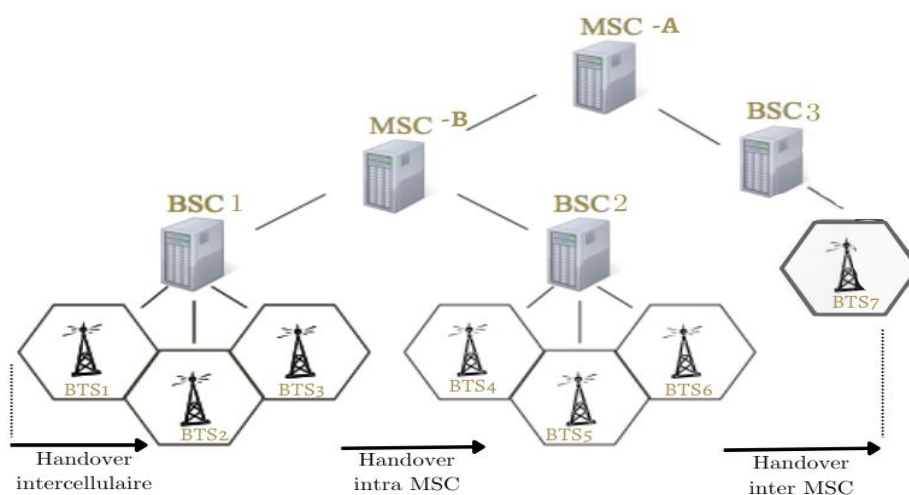


**Figure I. 5: Organisation du paquet de données.**

### I.3.3. Handover et roaming

Le *handover* désigne le processus qui permet de basculer une communication en cours d'un canal physique à un autre sans que la communication ne soit interrompue. Un *handover* peut se produire pour différentes raisons :

- ✓ Allocation intracellulaire (changement de slot TDMA) ;
- ✓ Intercellulaire (changement de cellule sur le même BSC) ;
- ✓ Intra-MSC (changement de cellule sur un BSC différent mais dans le même MSC) ;
- ✓ Inter-MSC (changement de cellule sur un MSC différent) ;
- ✓ Inter-réseau (changement de réseau, par exemple entre GSM et UMTS).



**Figure I. 6: Différents type de *handover*.**



Lors de la procédure de *handover*, le terminal procède en trois phases :

- ✓ Il détecte et mesure la puissance des fréquences porteuses des cellules voisines ;
- ✓ Il se déclare auprès de la cellule qui fournit la porteuse la plus forte ;
- ✓ Il demande au réseau le basculement de cellule.

Dans la réalité, le mécanisme est compliqué par le fait :

- ✓ Que la croissance/décroissance de puissance des porteuses n'est pas linéaire ;
- ✓ Que le terminal puisse se trouver dans le champ de nombreuses cellules (comme en zone urbaine) ;

Contrairement aux technologies précédentes, les réseaux **UMTS** basculent sur la même fréquence porteuse.

Le *roaming* diffère du *handover* car il implique un changement d'opérateur. Il permet à un abonné d'un opérateur d'utiliser les services d'un autre opérateur lorsqu'il se déplace, notamment à l'étranger. Cette fonctionnalité utilise les informations contenues dans les HLR et VLR pour localiser l'abonné dans une zone donnée.[3]

#### **I.4. Réseaux 3G et UMTS**

##### **I.4.1. L'objectif**

La question de l'utilisation de la data sur mobile et de l'augmentation des débits est rapidement devenue un problème, notamment à cause du développement rapide d'Internet. Les utilisateurs mobiles, toujours plus nombreux et utilisant toujours plus Internet à leur domicile, demandaient un service d'une qualité toujours meilleure. En anticipation de cette difficulté, l'UIT avait lancé un appel pour le développement d'un système 3G unique et mondial.[3]

Les objectifs de la troisième génération qui a suivi sont donc multiples :

- ✓ Transport de données de type voix et données à haut débit sur la même connexion ;
- ✓ Coexistence avec les réseaux 2G, en particulier le GSM ;
- ✓ Un réseau cœur IP ;
- ✓ Extension du plan de fréquences pour faire face à la saturation des zones denses du GSM ;
- ✓ Introduction de classes de services différenciées ;
- ✓ Possibilité de *roaming* au niveau mondial et donc compatibilité entre tous les réseaux.

La technologie retenue en Europe pour la 3G et l'UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). Elle présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Les tailles de cellule ne sont plus limitées à 0.2-30 Km ;
- ✓ Les bandes de fréquence sont centrées sur 2 Ghz et non plus sur 900 Mhz ;
- ✓ Un multiplexage par code à large bande : **W-CDMA** (*Weideband Code Division Multiple Access*) ;
- ✓ Des débits théoriques suivant la taille de la cellule et la mobilité :
  - 144 Kbit/s pour une utilisation mobile rapide en zone rurale (débit proposée par **GPRS**),
  - 384 Kbit/s pour une utilisation piétonne en zone urbaine (débit proposée par **EDGE**),
  - 2 Mbit/s pour une utilisation fixe en zone urbaine. [3]

#### **I.4.2. Architecture**

Le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès et d'un réseau cœur.

##### **a) Réseau d'accès :**

Le réseau, appelé **UTRAN** (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) est composé de deux principaux constituants :

- ❖ Le **NodeB** (antenne) : Son principal but est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules de l'UTRAN. Une cellule étant définie par une antenne.
- ❖ Le **RNC** (*Radio Network Controller*) : Son rôle principal est le routage des communications entre les **Node B** et le réseau cœur.

##### **b) Réseau cœur :**

L'interfaçage entre le réseau cœur et le réseau d'accès se fait via une interface appelée IU. Le réseau cœur UMTS (3G/3G+) comprend deux domaines distincts : le domaine circuit et le domaine paquet, hérités du réseau GSM/GPRS.

- ❖ Le domaine circuit Ce domaine comprend tous les services liés à la téléphonie :

-Le **MSC** (*Mobile-service Switching Center*) est un commutateur de données et de signalisation.

-Le **VLS** (*Vendorspecific Location Server*) constitue une base de données reliée à un ou plusieurs MSC.

❖ Le domaine paquet Ce domaine comprend tous les services liés à la commutation par paquet :

- Le **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*) est un commutateur de données et de signalisation.

- Le **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*) joue le rôle de passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs (Internet Public, intranet privé ...).

• Les éléments communs Les éléments communs sont : le **HLR** (*Home Location Register*) et le **AuC** (*Authentication Center*). Le AuC est interconnecté avec le HLR et contient pour chaque abonné une clé d'identification. [3]

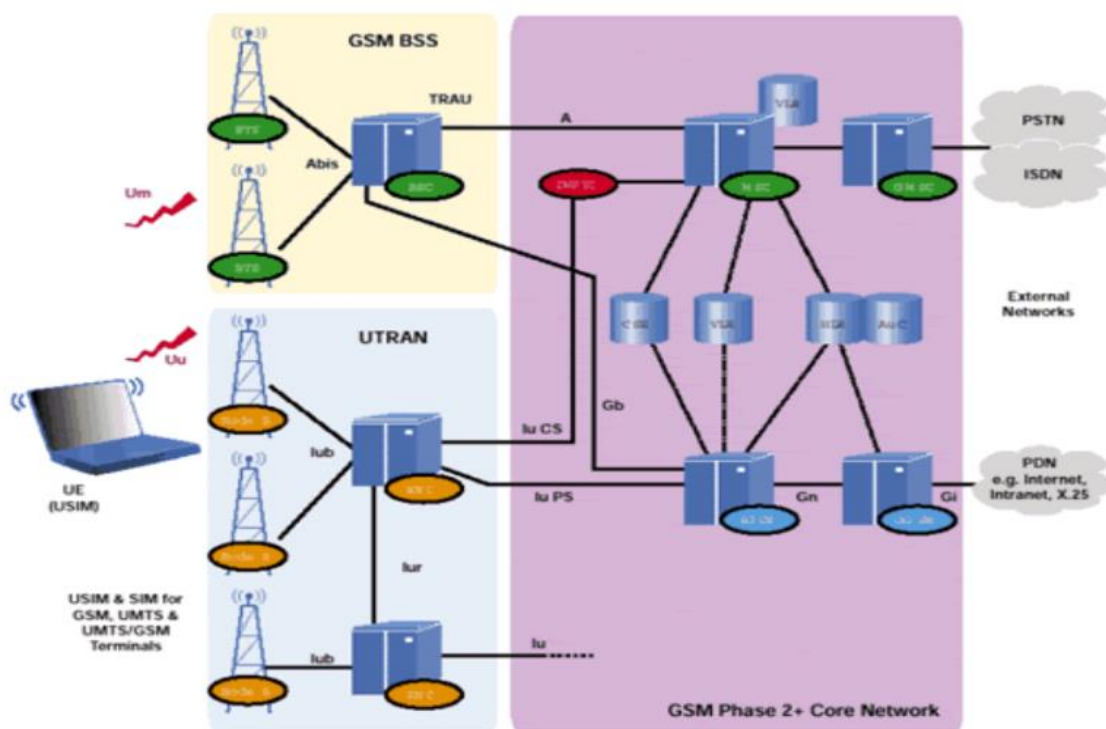


Figure I. 7: Architecture GSM/UMTS.

### I.4.3. Accès radio

Les fréquences attribuées à l'UMTS, qui sont réparties entre les voies montantes et descendantes en utilisant les techniques **FDD** ou **TDD**. En europe, chaque opérateur dispose de trois porteuses FDD pour le transport de la voix et une porteuse TDD pour les services multimédias. La chaîne de transmission radio est composée de quatre blocs fonctionnels comprenant le codage, l'entrelacement, l'étalement de spectre et la modulation. La technique

d'accès multiple utilisée est le **CDMA**, qui consiste à partager une même porteuse en appliquant sur les données de chaque utilisateur un codage différent. L'étalement de spectre est effectué par multiplexage CDMA pour limiter les erreurs de transmission. Les codes choisis pour chaque utilisateur doivent être orthogonaux et de longueur variable pour permettre plusieurs débits possibles. L'intérêt de l'étalement est d'obtenir une meilleure diversité fréquentielle et une sensibilité moindre aux brouillages.[3]

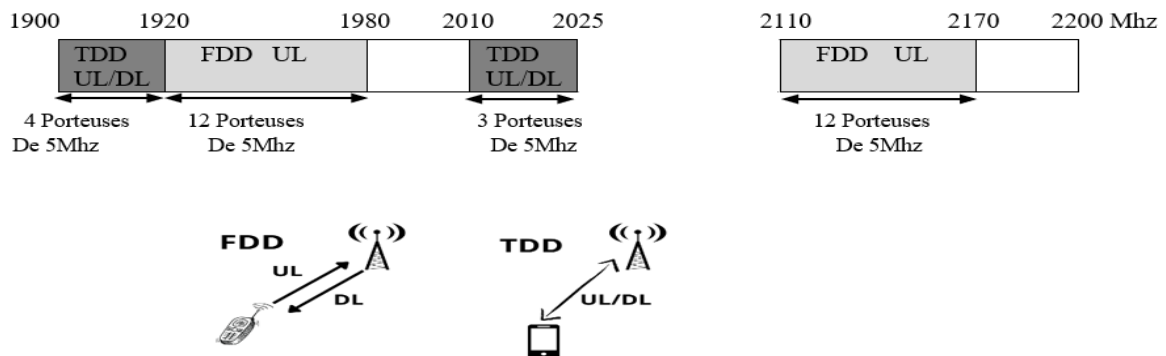


Figure I. 8: Bandes de fréquence UMTS.

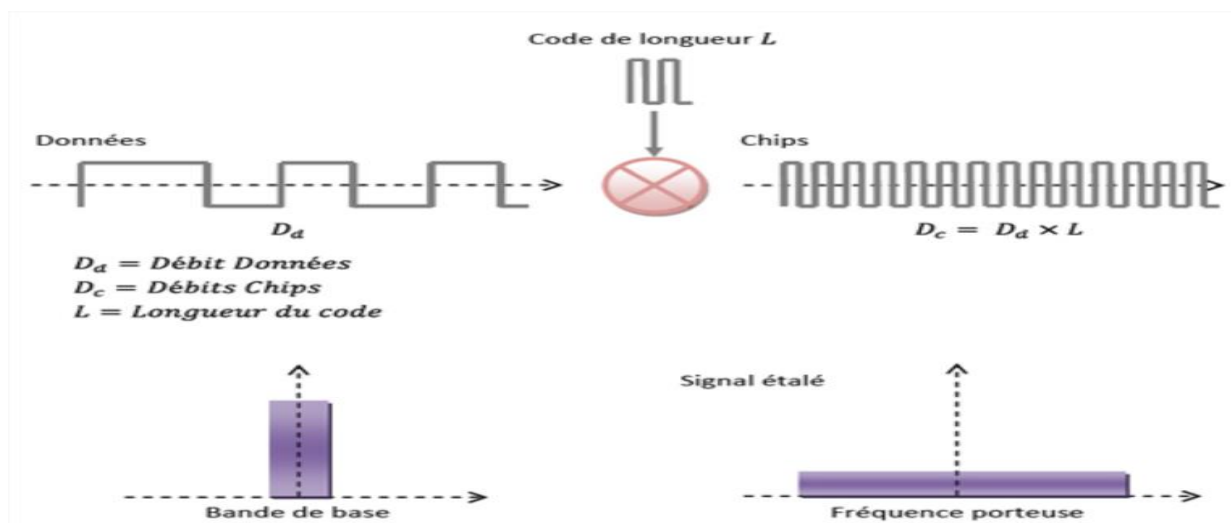


Figure I. 9: Principe de codage CDMA.

#### I.4.4. Évolutions

La technologie HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) est une évolution de la 3G qui permet d'augmenter les débits de téléchargement de données mobile jusqu'à 14,4 Mbit/s.

Pour atteindre ces vitesses de données plus élevées, HSDPA utilise des techniques de modulation plus avancées, ainsi que des techniques de correction d'erreur plus performantes.

Cependant, elle a depuis été remplacée par des technologies plus avancées telles que la 4G et la 5G, qui offrent des vitesses de données encore plus élevées et des fonctionnalités plus avancées.[3]

## **I.5. Réseaux 4G et le LTE**

### **I.5.1. Caractéristiques**

La technologie LTE (*Long Term Evolution*) est utilisée dans la dernière évolution de la 3G, la 3.9G, proche de la 4G avec laquelle est souvent confondue. La version évoluée du LTE, le LTE Advanced, est considérée comme une technologie de 4G à part entière qui utilise des bandes de fréquences allant de 790 MHz à 2.7 GHz en France pour une débit de 160 Mbit/s en liaison descendante. Il utilise des bandes dédiées telles que la bande des 800 MHz et la bande de 2.6 GHz, avec des canaux élémentaires de 2 MHz et 5 MHz respectivement. La bande des 1800 MHz est partagée avec la GSM, les opérateurs partagent ces bandes pour les canaux montant et descendant en utilisant une répartition de type **FDD**. Le **LTE Advanced** est une version évoluée du LTE offrant un débit descendant pouvant atteindre 1 Gbit/s sur les mêmes fréquences, avec des canaux plus larges.[3]

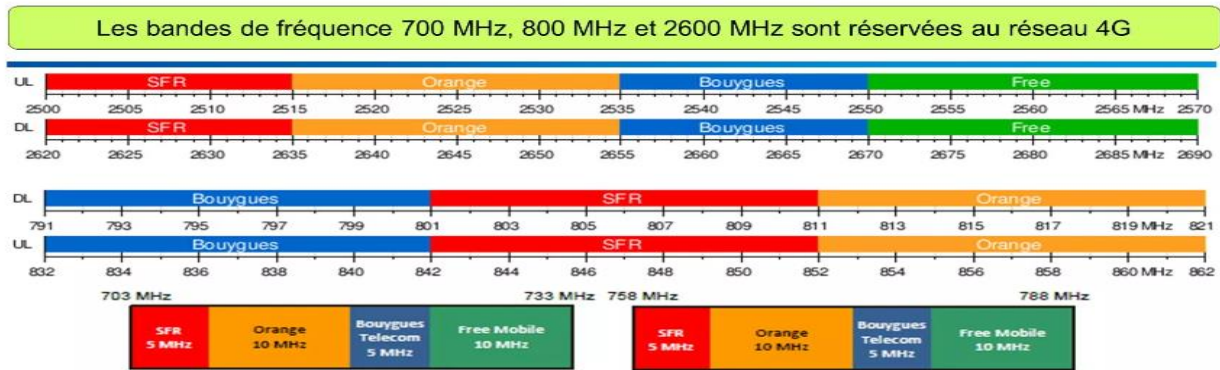
### **I.5.2. Architecture**

L'architecture du réseau LTE est proche de celle du réseau UMTS, les principales différences se situent sur les couches physique et liaison :

- ✓ Multiplexage OFDMA (voir ci-dessous) pour la liaison descendante et **SC-FDMA**

(Single Carrier FDMA) pour la liaison montante ;

- ✓ Utilisation d'antennes multiples **MIMO** (*Multiple-Input Multiple-Outputs*) ;
- ✓ Codes correcteurs d'erreurs de type « Turbo Code » associés à des algorithmes de retransmission rapide ;
- ✓ Modulations de type QPSK, 16QAM et 64QAM
- ✓ Temps de latence (KIT) proches de 10 ms (contre 70 à 200 ms en UMTS). [3]



**Figure I. 10: Bande de fréquence LTE. [5]**

### I.5.3. L'accès radio OFDMA

Le multiplexage **OFDMA** (*Orthogonal Frequency Division Multiple Accès*) rajoute à l'OFDM un accès multiple pour une exploitation multi-utilisateurs (figure I.11) la bande est découpée en N groupes (*groups*) de P sous-porteuses (*Subcarriers*).

- ✓ Un sous-canal (*subchannel*) est un ensemble de sous-porteuses prises dans chaque groupe :
- ✓ Un utilisateur se voit attribuer un sous-canal ou plusieurs sous-canaux par intervalle de temps.

Dans le multiplexage OFDM, la totalité des sous-porteuses est attribuée successivement à chaque utilisateur, pour chaque slot de temps dans le cadre d'un multiplexage temporel (figure I.8). Dans l'OFDMA, un utilisateur peut obtenir, pour chaque slot de temps et de manière dynamique, un nombre variable de sous-canaux en fonction de ses besoins en débit. Le fait que ces sous-canaux soient constitués de sous-porteuses prises sur l'ensemble de la bande passante permet une meilleure répartition fréquentielle et donc une meilleure immunité face aux interférences.

L'OFDMA peut être vu comme une combinaison des multiplexages FDMA (fréquence) et TDMA (temps). [3]

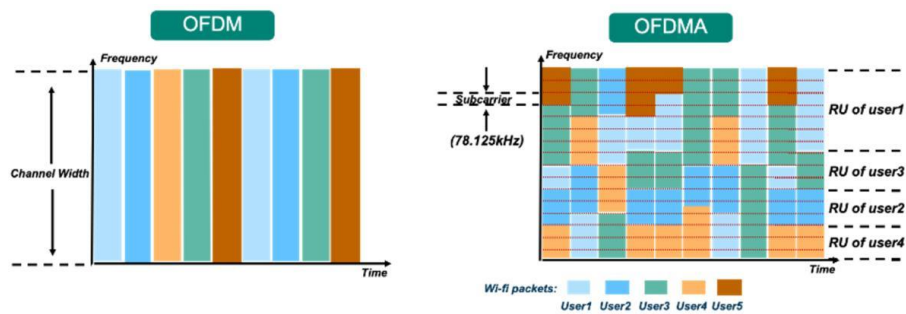


Figure I. 11: Principe de multiplexage OFDMA. [5]

### I.6. Evolution des technologies de transmission

Les technologies de transmission ont connu une évolution rapide au fil des ans, passant de méthodes de transmission analogiques à des méthodes de transmission numériques plus avancées. Ces évolutions ont permis aux réseaux de télécommunications de devenir plus rapides, plus efficaces et plus fiables, permettant ainsi aux utilisateurs de bénéficier de services de télécommunications plus avancés. Voici quelques-unes des évolutions clés des technologies de transmission.

#### I.6.1. Réseau d'accès PDH

La hiérarchie **PDH** (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) est une technique qui utilise dans les réseaux de télécommunications pour transporter des canaux téléphoniques numérisés. Il fonctionne en multiplexant et en transmettant des bits d'un débit binaire inférieur. Transfert à des vitesses plus élevées. La transmission de données est basée sur un flux de 2048 kbit/s. Pour la transmission vocale, Le flux est divisé en 30 canaux à 64 kbit/s et 2 canaux à 64 kbit/s pour la signalisation et synchroniser. Vous pouvez également transférer l'intégralité du flux à l'aide de Son protocole sera responsable du contrôle des données. Le principal inconvénient de cette technique de multiplexage est qu'elle ne permet pas Accès direct aux informations sur les canaux sans démultiplexer tous les canaux. [6]

#### I.6.2. Réseau d'accès SDH

La Synchronous Digital Hierarchy (**SDH**) normalisée par l'**UIT-T** et son équivalent américain SONET sont des technologies utilisées pour les réseaux haut débit tels que l'ATM. Ils permettent de transporter des cellules **ATM** ou des paquets IP sur des transmissions séries point à point, généralement en fibre optique. Bien que conçue à l'origine pour les communications en mode circuit, la technologie SDH est aujourd'hui concurrencée par Ethernet, conçu pour le transport de paquets IP. Selon le type de trame utilisée, la technologie SDH permet des débits hiérarchisés allant de quelques centaines de mégabits par seconde à plusieurs gigabits par seconde. [3]

**Tableau I. 1: Débit hiérarchisés du protocole SDH.**

Trame SDH	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-128	STM-256
Débit	155.52Mbit/s	622.08Mbit/s	2.5Gbit/s	10Gbit/s	20Gbit/s	40Gbit/s

### **I.6.3. WDM**

La technologie de multiplexage en longueur d'onde (**WDM**) utilisée dans les réseaux de transport optiques pour combiner plusieurs canaux sur un même signal optique en utilisant des longueurs d'onde différentes. Cette technologie permet une utilisation plus efficace de la bande passante disponible dans une fibre optique, contrairement aux réseaux SDH qui n'utilisent qu'un seul canal optique par fibre. **WDM** permet d'étendre considérablement la bande passante disponible en utilisant des dizaines de longueurs d'onde, chacune offrant un débit de plusieurs Gbps. [7]

### **I.6.4. Micro-ondes (Faisceaux Hertiens)**

Les micro-ondes, ou faisceaux hertiens, sont une technologie de transmission de données à haute fréquence utilisée pour des communications sans fil à longue distance. Les signaux sont envoyés sous forme d'ondes électromagnétiques à une fréquence de plusieurs gigahertz, ce qui permet de transporter une grande quantité de données sur de grandes distances sans nécessiter de câbles physiques. Les faisceaux hertiens sont utilisés dans les réseaux de télécommunications pour relier les centres de commutation téléphoniques, les stations de radio et les autres points d'accès à distance. [8]

## **Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de comprendre l'importance croissante de la connectivité sans fil. Nous avons exploré les différentes générations de réseaux mobiles, de la 2G à la 4G, en soulignant les avancées technologiques et les améliorations de performances à chaque étape. Nous avons également examiné les différents composants d'un réseau mobile, tels que les stations de base, les protocoles de communication, les équipements terminaux et les différentes technologies de transmission. Dans le chapitre suivant nous allons discuter la technologie de transmission par liaison micro-ondes.



***Chapitre II :***  
***Les liaisons micro-ondes***



### **II.1. Introduction**

Il existe aujourd'hui des techniques sans fil qui permettent de réaliser une liaison entre l'abonné et l'infrastructure des télécommunications du fournisseur de service comme les liaisons micro-ondes qui sont une technologie à visibilité directe qui utilise des faisceaux d'ondes radio à haute fréquence pour fournir des connexions sans fil à haut débit

Dans ce chapitre, nous explorerons les aspects techniques de la liaison micro-ondes tels que les méthodes de modulation, la gestion de la bande passante, nous examinerons également les caractéristiques de la transmission par liaison micro-ondes, telles que les fréquences utilisées, les types d'antennes, la propagation des ondes, puis nous allons découvrir les avantages et les inconvénients de cette technologie ainsi que les différentes applications où elle est utilisée.

### **II.2. Liaisons radio**

#### **II.2.1. Présentation des liaisons radio**

Une liaison radio est un système de communication sans fil qui transmet des signaux électromagnétiques à haute fréquence dans l'air pour permettre la communication entre deux ou plusieurs points. Les signaux peuvent être transmis sur une variété de fréquences, des ondes longues et moyennes aux ondes courtes, aux bandes **VHF** et **UHF** et aux micro-ondes. Les liaisons radio sont utilisées dans une variété d'applications, y compris la radiodiffusion, la télévision, la téléphonie mobile, la radiomessagerie, les systèmes de navigation, les communications militaires et les réseaux de données sans fil. [9]

#### **II.2.2. Les avantages et les inconvénients de liaison radio**

##### **❖ Les avantages**

- ✓ Mobilité - Prend en charge les communications sans fil longue portée pour une mobilité supérieure.
- ✓ Accessibilité - Facile à configurer et fournit une communication rapide et efficace même dans les zones reculées.
- ✓ Coût - Coûts d'installation et de maintenance inférieurs à ceux des communications filaires.
- ✓ Large bande passante - Fournit une large bande passante pour le transfert de données à grande vitesse.

##### **❖ Les inconvénients**

- ✓ Interférence - Susceptibilité aux interférences électromagnétiques, ce qui peut entraîner une dégradation des communications.

- ✓ Sécurité - Peut être plus sensible à la sécurité et à la confidentialité des données que les communications filaires.
- ✓ Portée limitée - Selon la fréquence d'utilisation et l'environnement, la portée peut être limitée.
- ✓ Qualité de signal variable - La qualité d'un signal radio peut varier en raison de nombreux facteurs, provoquant des interférences ou des changements dans la qualité de la communication.
- ✓ Réglementaire - Soumis aux réglementations gouvernementales et aux normes de fréquence qui restreignent son utilisation.

### II.3. Liaison micro-ondes

Une liaison micro-onde est composée d'une station émettrice, d'une station réceptrice centrale, des antennes d'émission et de réception, ainsi que l'infrastructure de support nécessaire, soit une tour, pour installer les systèmes rayonnants. Les liaisons micro-ondes sont des systèmes bidirectionnels, et toutes les stations sont composées d'un bloc d'émission et de réception. Le bloc émission d'une liaison effectue le multiplexage radio, la correction d'erreurs, la modulation, conversion de fréquence **IF** en **RF**, fonctions d'amplification et de filtrage. Le bloc récepteur, à son tour, effectue un filtrage de bande passante RF, conversion de fréquence RF à IF, la démodulation et le démultiplexage radio. Beaucoup de ces fonctions peuvent être intégrés dans des modules communs d'émission et de réception. Ainsi, le multiplexeur et démultiplexeurs sont composés d'une combinés multiplex radio et un étage de démultiplexage ; les démodulateurs modulateurs combinent les fonctions de modulation et de démodulation et les émetteurs-récepteurs effectuent la conversion de fréquence de IF à RF et vice versa. [10]

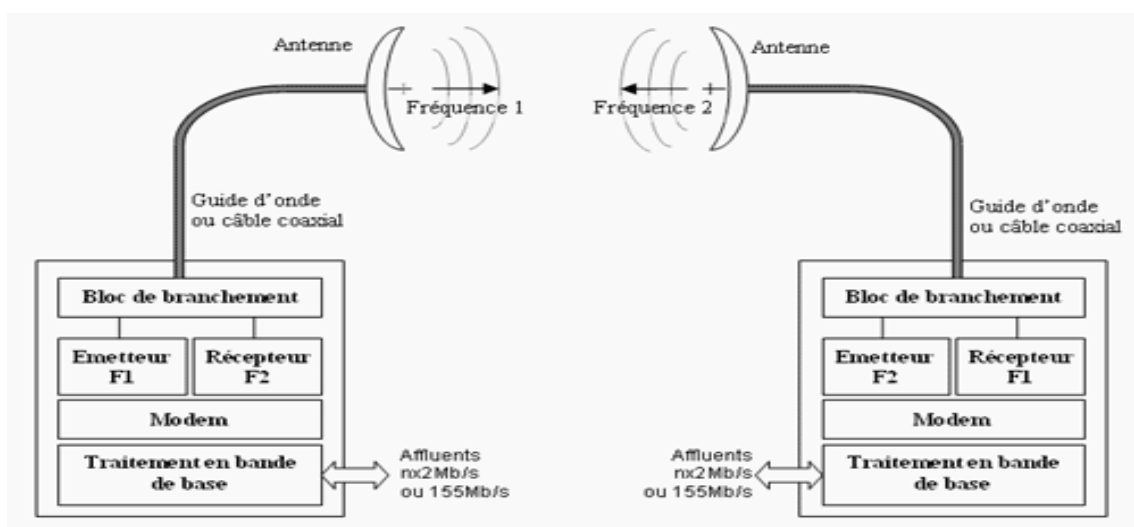


Figure II. 1: Diagramme en bloc d'une liaison Micro-onde.

**II.3.1. Différence entre liaison radio et liaison micro-ondes**

Le tableau suivant montre les différences entre les liaisons radio et les liaisons micro-ondes :

**Tableau II. 1: la Différence entre liaison radio et liaison micro-ondes.**

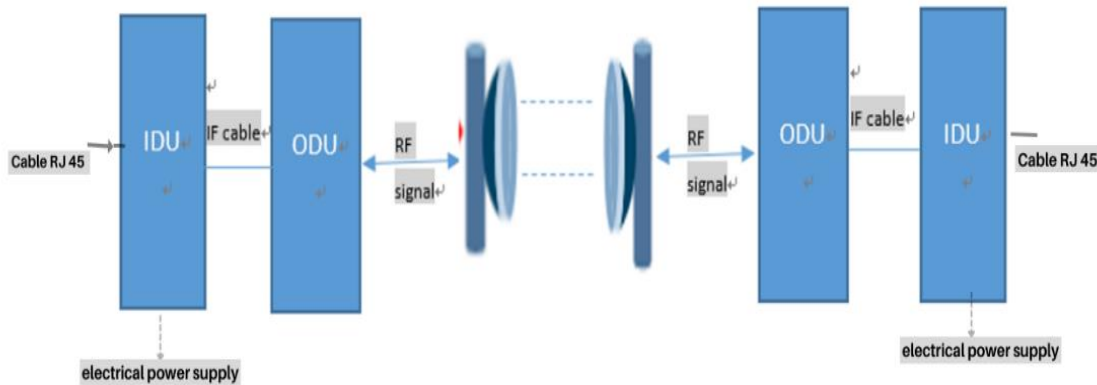
Caractéristiques	Liaisons Radio	Liaisons Micro-ondes
<b>Fréquences de fonctionnement</b>	Inférieures à 1 GHz	Généralement supérieures à 1 GHz
<b>Portée</b>	Limitée, quelques kilomètres en général	Plus élevée, jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres
<b>Interférences</b>	Sensibles aux interférences, notamment dans les zones urbaines	Moins sensibles aux interférences, moins d'obstacles
<b>Bande passante</b>	Limitée	Plus élevée, permettant un débit de données plus rapide
<b>Capacité de transmission</b>	Limitée	Plus élevée, adaptée aux applications haut débit
<b>Type de communication</b>	Point à point de diffusion	Point-à-point
<b>Utilisations courantes</b>	Radiodiffusion, communications mobiles	Communication point à point, liaison de données à haut débit
<b>Exemples d'applications</b>	Radios FM, télévision analogique	Réseaux cellulaires, liaisons de données sans fil pour les entreprises

**II.4. Architecture d'une liaison micro-onde**

**II.4.1. Composantes d'une liaison micro-onde**

Le système d'émission et de réception de signaux micro-ondes comprend plusieurs éléments clés tels que l'antenne émettrice, l'amplificateur de puissance, le guide d'ondes, le réflecteur, l'antenne réceptrice, l'amplificateur de faible bruit, le détecteur, la ligne de transmission et l'alimentation électrique. Le système est composé de deux unités principales, l'**IDU** (*Indoor unit*) et l'**ODU** (*Out door unit*), qui effectuent différentes fonctions telles que le multiplexage, le codage, la modulation, la conversion N/A et la conversion de fréquence et amplification de puissance. L'**IDU** comprend plusieurs unités telles que l'unité d'interface,

l'unité de tranche horaire, l'unité de commutation de paquets, l'unité IF, l'unité d'alimentation, l'unité de ventilation, l'unité d'horloge et l'unité de contrôle.[11]



**Figure II.2:** Les unités de base de l'équipement OptiX RTN. [11]

#### II.4.2. Les antennes micro-ondes

Les antennes micro-ondes peuvent être utilisées pour émettre des signaux de manière directionnelle ou omnidirectionnelle, en fonction des exigences de la communication. Il existe plusieurs types de ces antennes, notamment :

- ✓ **Antenne à fente** : est une antenne micro-onde qui utilise une ou plusieurs fentes pour émettre des ondes électromagnétiques. Ils peuvent être utilisés dans des applications telles que les radars, les systèmes de communication sans fil, les satellites, etc.
- ✓ **Antenne cornet** : les antennes cornet sont des antennes de forme conique utilisées dans des applications telles que les radars, les systèmes de communication et les systèmes de mesure.
- ✓ **Antenne patch** : est une antenne micro-onde plate qui est largement utilisée dans les systèmes de communication sans fil tels que les téléphones portables, les ordinateurs portables et les tablettes.
- ✓ **Antennes micro ruban** : sont des antennes plates et légères utilisées dans des applications telles que les systèmes de communication sans fil, les radars et les satellites.
- ✓ **Antenne réseau** : est une antenne hyperfréquence qui utilise un réseau d'éléments pour former un faisceau de rayonnement directionnel. Ils sont utilisés dans des

applications telles que radars, les systèmes de communication, les systèmes de mesure ...etc.

- ✓ **Antenne à réflecteur** : est une antenne hyperfréquence qui utilise un réflecteur parabolique ou elliptique pour former un faisceau de rayonnement directionnel. Ils sont utilisés dans des applications tel que les radars, les systèmes de communication, les systèmes de mesure.[12]

## II.5. Les bandes de fréquences et dual band

### II.5.1. Les bandes de fréquences

Les signaux hyperfréquences sont souvent divisés en trois catégories :

- ✓ Ultra haute fréquence (**UHF**) (0.3-3 GHz)
- ✓ Super haute fréquence (**SHF**) (3-30 GHz)
- ✓ Fréquence extrêmement élevée (**EHF**) (30-300 GHz).

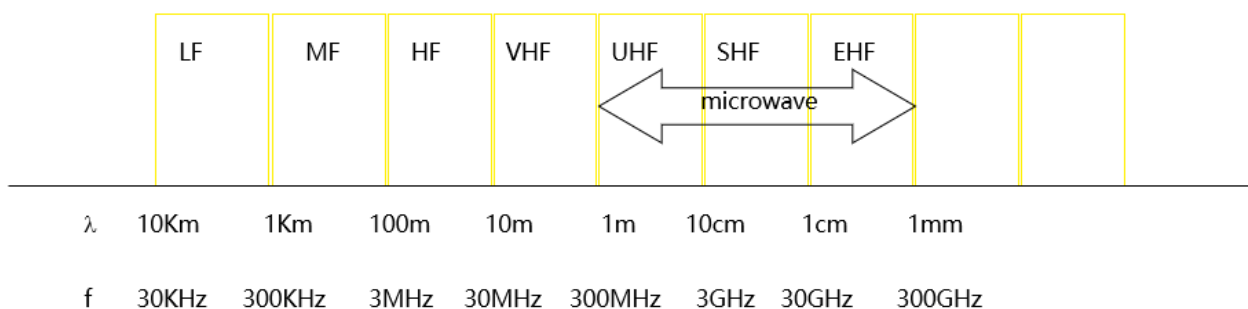


Figure II. 2: Les bandes de fréquences.

De plus, les bandes de fréquences micro-ondes sont désignées par des lettres spécifiques et peuvent varier en fonction des applications et des réglementations dans chaque pays. Cependant, voici une liste générale des bandes de fréquences de liaisons micro-ondes utilisées dans le domaine des télécommunications :

Tableau II. 2: Les bandes de fréquences de micro-ondes. [13]

Bande	Bande de f	Gamme de λ0
<b>Bande L</b>	1 à 2 GHz	30à 15 cm
<b>Bande S</b>	2 à 4 GHz	15 à 7.5 cm
<b>Bande C</b>	4 à 8 GHz	7.5 à 3,75 cm
<b>Bande X</b>	8 à 12 GHz	3,75 à 2,5 cm

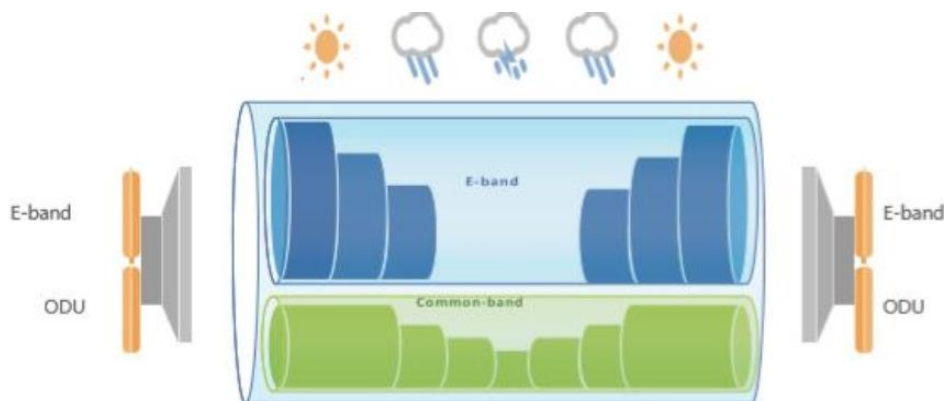
<b>Bande Ku</b>	12 à 18 GHz	2.5 à 1.67 cm
<b>Bande K</b>	18 à 26.5 GHz	1.66 à 1,13 cm
<b>Bande Ka</b>	26.5 à 40 GHz	1,13 à 0,75 cm
<b>Bande Q</b>	30 à 50 GHz	9.1 à 6 mm
<b>Bande U</b>	40 à 60 GHz	7.5 à 5 mm
<b>Bande V</b>	50 à 75 GHz	6 à 4 mm
<b>Bande E</b>	60 à 90 GHz	6 à 3.3 mm
<b>Bande W</b>	75 à 110 GHz	4 à 2.7 mm
<b>Bande D</b>	110 à 170 GHz	2.7 à 1.8 mm

Les fréquences micro-ondes plus basses sont utilisées pour les liaisons plus longues et dans les zones à forte atténuation par la pluie. À l'inverse, des fréquences plus élevées sont utilisées pour les liaisons plus courtes et dans les zones à faible atténuation par la pluie. [13]

### II.5.2. Dual band dans les micro-ondes

La double bande est une technologie de communication sans fil qui utilise deux bandes de fréquences différentes pour la transmission de données. La Dual Band est une technologie d'agrégation inter-bandes qui intègre les technologies d'agrégation de liens physiques. En utilisant à la fois la bande commune (6–42 GHz) et la bande E (71–76/81–86 GHz), il fournit une transmission hyperfréquence fiable à large bande passante sur de longues distances.

Dans la solution Dual Band, les liaisons hyperfréquences en bande commune et en bande E se protègent mutuellement. Si les liaisons en bande E subissent une dégradation ou sont interrompues, par exemple à cause d'intempéries, les liaisons en bande commune assurent toujours la transmission des services hautement prioritaires. [14]



**Figure II. 3: Présentation Dual band. [14]**



## II.6. Modèle de propagation (Path loss) et bilan de liaison

### II.6.1. Modèle de propagation (Path loss)

Le Path Loss est l'élément le plus important du bilan de liaison lié à la propagation RF. Y compris la perte d'espace libre, la perte atmosphérique, les précipitations, l'évanouissement par trajets multiples, etc. Si le chemin principal est dominé par la perte d'espace libre, on utilise l'équation de perte d'espace libre de Friis. Cette équation prend en compte le gain des antennes d'émission et de réception, ainsi que la distance de propagation et la longueur d'onde l'équation peut être exprimé comme suit : [15]

$$L = G_t G_r \left( \frac{\lambda 4\pi}{R} \right)^2 \quad (\text{II.1})$$

- **G<sub>t</sub>** est le gain linéaire de l'antenne d'émission
- **G<sub>r</sub>** est le gain linéaire de l'antenne de réception
- **R** est la distance en mètres (m) séparant les deux antennes
- **λ** est la longueur d'onde en mètres (m) correspondant à la fréquence de travail

Et on peut l'exprimer en DB :

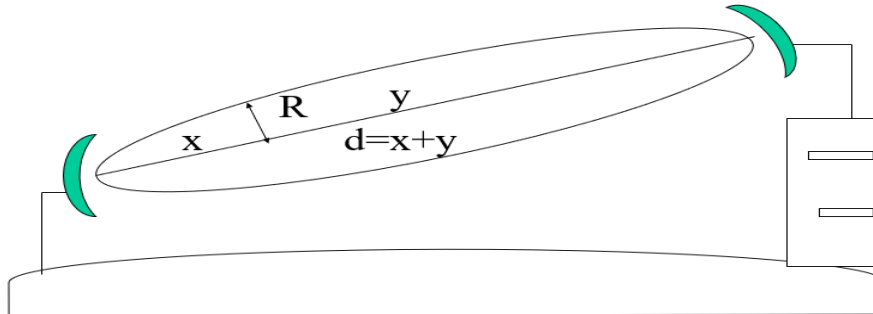
$$L_{FSL}(db) = -G_{tdb} - G_{rdb} - 20\log(\lambda) + 20\log(R) + 22 \quad (\text{II.2})$$

Dans de nombreuses applications, les gains d'antenne sont exclus de l'expression de Path Loss. Dans ce cas, l'affaiblissement en espace libre est :

$$L = -20\log(\lambda / 4\pi d) \quad (\text{II.3})$$

Après avoir étudié la perte de signal en fonction de la distance dans la section sur le path loss, il est important d'examiner la zone de Fresnel pour comprendre comment les obstacles sur le trajet d'un signal sans fil peuvent également avoir un impact sur la qualité de la transmission donc la communication radio par micro-ondes nécessite une condition de visibilité directe (**LOS**) claire. Sous des conditions atmosphériques normales, l'horizon radio se situe environ à 30% au -delà de l'horizon optique. **LOS** radio tient compte du concept d'ellipsoïdes de Fresnel et de leurs critères de dégagement. Zone de Fresnel - Les zones de interférences constructives et destructives créées lorsque la propagation des ondes électromagnétiques dans l'espace libre est réfléchi (multipath) ou diffractée lorsque les ondes croisent des obstacles et elle doit être dégagée de tous les obstacles. Les zones de Fresnel sont spécifiées en utilisant des nombres ordinaux qui correspondent au nombre de multiples d'une

demi-longueur d'onde qui représentent la différence de chemin de propagation des ondes radio par rapport au chemin direct, la figure suivante explique le rayon de la première zone de Fresnel.[16]



**Figure II. 4: Rayon de la première zone de Fresnel.**

$$R_n = \sqrt{\frac{n \times \lambda \times x \times y}{(x+y)}} \quad (\text{II.4})$$

n c'est la zone de Fresnel

- En fonction de la fréquence :

$$R = 17.32 \sqrt{\frac{x(d-x)}{f \times d}} \quad (\text{II.5})$$

**Avec:** d = distance entre les antennes (Km)

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

x et y= les distances de l'obstacle par rapport aux extrémités en mètres (m)

f= fréquence (GHz)

### II.6.2. Bilan de liaison

Un bilan de liaison est un calcul qui prend en compte tous les gains et pertes de l'émetteur au récepteur dans un système de communication. Il est utilisé pour déterminer la puissance minimale requise par un émetteur pour recevoir un signal de qualité suffisante à une distance souhaitée. Le bilan de liaison prend en compte plusieurs facteurs tels que la puissance d'émission de l'émetteur, le gain d'antenne de l'émetteur et du récepteur, la perte de propagation due à la distance et aux obstacles, la perte de câble et la taille du connecteur, la perte de réflexion et de diffraction et le niveau de bruit dans système. En effectuant des calculs de bilan de liaison, il est possible de s'assurer que le système de communication peut

transmettre des signaux de manière fiable et que la puissance reçue est supérieure au seuil de sensibilité de réception.

### **II.7. Paramètres des liaisons micro-ondes**

Les paramètres de liaison micro-ondes sont des caractéristiques qui décrivent les caractéristiques de transmission du signal via une ligne de transmission. Ces paramètres comprennent : [17]

**Impédance caractéristique** : C'est l'impédance qui caractérise la ligne de transmission hyperfréquence. Les valeurs d'impédance typiques sont de 50 ohms pour le coaxial et de 50 ou 75 ohms pour le strip-line.

**Perte d'insertion** : Il s'agit de la perte de puissance qui se produit lorsqu'un signal traverse une ligne de transmission. Cette perte est causée par la perte diélectrique, la perte de conduction et la perte de rayonnement.

**Réflexion** : se produit lorsqu'un signal est réfléchi à l'extrémité d'une ligne de transmission en raison d'une différence d'impédance entre la ligne et la charge. La réflexion totale se produit lorsque la ligne se termine avec une impédance de circuit ouvert tandis qu'une réflexion minimale se produit lorsque la ligne se termine avec une impédance égale à l'impédance caractéristique de la ligne

**Bande passante** : Il s'agit de la gamme de fréquences sur laquelle une ligne de transmission peut transmettre un signal avec une perte acceptable. La bande passante dépend de l'impédance caractéristique, de la géométrie de la ligne, des pertes diélectriques et de rayonnement.

**Vitesse de propagation** : c'est la vitesse à laquelle un signal se déplace le long d'une ligne de transmission. Cette vitesse dépend de la constante diélectrique de la ligne et de la constante diélectrique du milieu environnant.

**Capacité** : Ceci est dû à la présence de charge dans la ligne de transmission, qui dépend de la géométrie de la ligne et de la constante diélectrique du milieu environnant.

**Atténuation** : Il s'agit de la perte de puissance qui se produit lorsqu'un signal voyage sur une ligne de transmission. Cette perte est causée par la perte diélectrique, la perte de conduction et la perte de rayonnement.

## II.8. Modulation et bruit dans les liaisons micro-ondes

### II.8.1. Modulation en liaison micro-ondes

Il existe les trois principaux types de modulation : la modulation d'amplitude, la modulation de phase et la modulation de fréquence. Ces types de modulation font passer le signal d'un état à l'autre. Le paragraphe décrit l'utilisation de la modulation tout ou rien (en anglais *On Off Keying* OOK) pour la modulation d'amplitude, la modulation par déplacement de phase (en anglais *Phase Shift Keying* PSK) pour la modulation de phase, et le mouvement entre deux valeurs de fréquence pour la modulation de fréquence. Le paragraphe mentionne également que la modulation multi-niveau **FSK** (*Frequency Shift Keying*) et la modulation **QAM** (*Quadrature amplitude modulation*) sont les deux schémas de modulation les plus courants pour la radio à micro-ondes, qui utilisent la modulation multi-symboles pour réduire les besoins en bande passante et exiger un rapport signal-bruit (**RSB**) plus élevé. FSK est un type de modulation numérique dans lequel la fréquence d'une onde porteuse est modifiée pour représenter des bits numériques. Il est généralement utilisé pour les transmissions à faible débit et les liaisons point à point à courte distance. [18]

#### ❖ *FSK*

FSK est un schéma de modulation robuste et peu coûteux, insensible aux variations d'amplitude et de phase, qui permet d'augmenter la puissance de sortie de l'émetteur sans qu'il n'y ait de recul de ce dernier. Elle peut être modulée directement sur la porteuse radiofréquence, ce qui simplifie le circuit et réduit le coût. Un récepteur non cohérent peut être utilisé et le circuit du détecteur FM est plus simple. Peut fournir un gain système suffisant pour les modems bon marché.

#### ❖ *QAM*

La modulation QAM Est une technique de modulation qui permet de transmettre des données numériques en utilisant l'amplitude et la phase d'un signal porteur. La modulation QAM est capable de transmettre plusieurs bits par symbole, elle est donc très efficace pour une transmission à grande vitesse. Il est également utilisé pour transmettre des signaux vidéo et des données par paquets. La modulation **QAM** peut être combinée avec d'autres techniques de modulation pour améliorer la qualité de transmission et la capacité du système.

### II.8.2. Bruit dans les liaisons micro-ondes :

Le bruit est un signal indésirable présent dans tous les systèmes de communication sans fil. Le bruit est généré par les composants électroniques des systèmes de communication ainsi que par des sources externes telles que les interférences atmosphériques et

électromagnétiques. Le bruit peut affecter la qualité de la transmission des données et réduire le rapport signal sur bruit (SNR). Le rapport signal sur bruit est une mesure de la qualité du signal exprimée en décibels (dB). Un SNR plus élevé signifie que le signal est plus fort que le bruit, ce qui entraîne une transmission de données plus fiable. Le bruit est généralement divisé en deux catégories : le bruit de phase et le bruit d'amplitude. Le bruit de phase correspond à des fluctuations aléatoires de la phase d'un signal, tandis que le bruit d'amplitude correspond à des fluctuations aléatoires de l'amplitude d'un signal. Les deux types de bruit peuvent affecter la qualité de la transmission des données. Le bruit est généralement divisé en deux catégories : le bruit de phase et le bruit d'amplitude. Le bruit de phase correspond à des fluctuations aléatoires de la phase d'un signal, tandis que le bruit d'amplitude correspond à des fluctuations aléatoires de l'amplitude d'un signal. Les deux types de bruit peuvent affecter la qualité de la transmission des données [15].

### II.9. Planification d'une liaison micro-ondes

La planification d'une liaison micro-ondes implique plusieurs étapes importantes [19] :

- ✓ **Étude de faisabilité** : pour déterminer si la liaison micro-ondes est possible entre les deux sites en question. Cette étude doit prendre en compte les obstacles.
- ✓ **Analyse de la topographie** : La topographie de la région doit être analysée pour déterminer la hauteur optimale des antennes, pour minimiser les obstacles, améliorer la qualité de la transmission et maximiser la distance de la liaison.
- ✓ **Analyse des fréquences** : pour éviter les interférences avec d'autres réseaux et pour respecter les réglementations en matière de spectre.
- ✓ **Calcul des pertes de signal** : pour déterminer la puissance nécessaire pour la transmission des signaux. Les pertes de signal dépendent de la distance, de la fréquence, de la topographie, des obstacles et d'autres facteurs.
- ✓ **Planification de l'emplacement des antennes** : L'emplacement doit être choisi en fonction de la topographie et de la distance de la liaison. Les antennes doivent être placées de manière à minimiser les pertes de signal et à maximiser la qualité de la transmission.
- ✓ **Évaluation de la sécurité** : La sécurité doit être prise en compte lors de la planification de la liaison micro-ondes pour éviter les interférences avec d'autres réseaux et pour protéger les informations sensibles.
- ✓ **Mise en place de l'infrastructure** : Une fois que tous les paramètres ont été définis, l'infrastructure doit être installée.

- ✓ **Tests et vérifications** : Une fois l'installation terminée, des tests et des vérifications doivent être effectués pour s'assurer que la liaison micro-ondes fonctionne correctement et pour détecter les éventuels problèmes à résoudre.

## **II.10. Domain d'application des liaisons micro-ondes**

Traditionnellement, les opérateurs de télécommunications ont utilisé des radios à micro-ondes pour le routage de jonction à haute capacité. Ces derniers ont progressivement été remplacés par des systèmes à fibre optique offrant une bande passante plus élevée. Les opérateurs utilisent encore des radios micro-ondes pour les parties à faible capacité du réseau. La croissance exponentielle de la radio est principalement liée à l'accès sans fil. Comme mentionné précédemment, la radio est un support idéal pour de nombreuses applications de mise en réseau. Considérons maintenant différentes applications d'un réseau de transport typique. On cite quelques applications : [20]

- ✓ **Les opérateurs de réseau fixe** : Les opérateurs de réseaux fixes doivent fournir une capacité de réseau suffisante pour acheminer tout le trafic nécessaire, aujourd'hui et à l'avenir, sans compromettre la qualité de la transmission. L'expansion future doit être soigneusement planifiée pour éviter des coûts élevés et des pannes majeures.
- ✓ **Application d'entreprise Ethernet** : les radios à micro-ondes offrent des services Ethernet de qualité de transporteur à faible latence pour les réseaux privés, les **MAN** ou les **WAN**, avec des connexions **VLAN** et des interfaces gigabit Ethernet, permettant une extension transparente des points de présence clients à de nouveaux emplacements.
- ✓ **Réseau de distribution TV** : Des réseaux de transmission sont nécessaires pour relier les différents relais radio et télévision aux grands sites de transmission nationaux et régionaux. Les signaux TV sont généralement 34 Mbps **PAL** ou **SECAM** avec MPEG-2 CODEC pour la télévision numérique.
- ✓ **Réseau mobile de collecte de données** : Les réseaux de radiocommunication mobile qui nécessite une liaison pour transporter le trafic des répéteurs aux centres de commutation. La capacité de transmission dépend du nombre de secteurs et de radios par site BTS, et du codage vocal utilisé (GSM ou UMTS).
- ✓ **Réseau privé d'utilité publique** : Les réseaux privés de services publics sont souvent basés sur des réseaux radio pour répondre aux exigences de fiabilité et de qualité des circuits de transmission critiques tels que les circuits de télé protection des services publics d'électricité. Les réseaux VHF et UHF sont couramment utilisés pour

connecter les stations de base aux différents centres de contrôle et assurer la stabilité du réseau national. Les circuits numériques doivent également être terminés aux centres de contrôle régionaux du nouveau réseau interurbain numérique. Les services publics transportent souvent des circuits de grande valeur mais de faible capacité et nécessitent des réseaux privés de haute qualité pour répondre aux demandes de trafic spécifiques.

### **II.11. Les avantages et inconvénients de liaison micro-ondes**

#### **II.11.1. Les avantages**

- ✓ Le coût fixe d'installation et de déploiement des micro-ondes est inférieur à celui de la fibre.
- ✓ Profil de coût linéaire pour les systèmes radio afin de réduire le risque d'investissement.
- ✓ Vitesse de déploiement des liaisons radio, notamment lors de la construction du backbone en fibre optique.
- ✓ Résistant aux catastrophes naturelles, le temps de récupération est plus rapide que la fibre optique.
- ✓ Idéal pour traverser des terrains accidentés ou difficiles.
- ✓ Haute fiabilité grâce à l'algorithme de correction d'erreurs intégré dans l'appareil.

#### **II.11.2. Les inconvénients**

- ✓ Bande passante limitée par rapport à la fibre optique malgré un déploiement actif, la fibre optique dans la portion d'accès du réseau n'est pas disponible.
- ✓ La micro-onde a un taux d'erreur de fond plus élevé en raison de problèmes de décoloration.
- ✓ Sensibilité aux conditions météorologiques.
- ✓ Limitations de la distance.
- ✓ Capacité de transmission limitée.
- ✓ Interférences électromagnétiques.
- ✓ Coûts élevés d'infrastructure.

### **II.12. Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les principaux concepts liés aux les liaisons micro-ondes, tels que les antennes, les ondes électromagnétiques et les différents types de transmission. Nous avons également étudié les différents composants et systèmes utilisés dans les liaisons micro-ondes ainsi que leurs applications, notamment dans les

télécommunications, les réseaux sans fil. En comprenant les principes fondamentaux de cette technologie et en utilisant les composants et systèmes appropriés, il est possible de réaliser des transmissions fiables sur de longues distances. La liaison des micro-ondes continuera d'évoluer et de jouer un rôle essentiel dans les réseaux de communication et les technologies sans fil.



***Chapitre III :***  
***Etude pratique d'une liaison***  
***micro-ondes***



**III.1. Introduction**

Ce chapitre explore les capacités de la bande E (E band) dans les réseaux de communication sans fil. La bande E, située dans la plage de fréquences de 71 à 76 GHz et de 81 à 86 GHz [21], et offre des avantages significatifs en termes de capacité et de débit de données par rapport aux bandes de fréquences traditionnelles. Le chapitre examine l'installation d'un E band et la configuration des réseaux, les tests d'évolution et les comparaisons entre les réseaux avec et sans la bande E. Les résultats sont analysés en termes de capacité, de débit, de qualité de service et d'efficacité spectrale. En conclusion, des recommandations sont formulées pour le déploiement efficace de la bande E les réseaux sans fil.

**III.2. Présentation des interfaces « U2000 et WebLct »**

Optix iManager U2000 est un système de gestion d'équipements développé par Huawei. Il offre un haut niveau de sécurité et facilite l'installation automatique et la mise à niveau du client, tout en offrant une grande robustesse du système. iManager WebLCT est un système de gestion de couche NE pour le réseau de transport gère de manière uniforme les équipements d'accès et les équipements IP de manière unifiée. Plus précisément, les équipements de transmission optique de la série OptiX de Huawei, tels que l'OSN 9560, NG WDM, NG WDM (NA), RTN et les équipements sous-marins.

**III.3. Liaisons hertzienne et série OptiX RTN 900**

La série OptiX RTN 900 est une gamme d'équipements de transmission par micro-ondes, comprenant les RTN 950, RTN 950A, RTN 980, RTN910 et autres, joue un rôle essentiel dans la fourniture de services de transmission de données, de voix et de vidéo à haut débit dans les réseaux de télécommunication modernes. Ces équipements offrent une grande fiabilité et prennent en charge une variété de services, tels que la transmission vocale sur les réseaux 2G, les services voix et données sur les réseaux 3G, ainsi que les services de données à large bande sur les réseaux LTE. Ils sont conçus pour répondre aux besoins croissants en bande passante des opérateurs et offrent une capacité élevée et une grande flexibilité. De plus, on a les équipements RTN 380 et RTN 380A utilisent la bande E pour offrir des capacités de transmission de données supérieures, ce qui permet d'augmenter significativement la capacité et les performances des réseaux de télécommunication. Le RTN 380A est une version améliorée du RTN 380, offrant des fonctionnalités avancées pour répondre aux exigences croissantes des opérateurs.

### **III.3.1. Principales configurations de liaison hertzienne**

Les configurations de liaison hertzienne peuvent varier en fonction des besoins et des exigences de communication. Parmi les configurations couramment utilisées, on retrouve les configurations 1+0, 1+1, 2+0 et 4+0, qui offrent différentes approches en termes de capacité, de redondance et de résilience aux pannes.

#### **III.3.1.1. Configuration 1+0**

Le plus courant est le 1+0, qui dispose d'une seule généralement connectée directement à l'antenne hertzienne. 1+0 signifie "non sécurisé" en termes de flexibilité, d'équipement ou de chemin de secours.

#### **III.3.1.2. Configuration 1+1**

En effet, la configuration 1+1 peut être divisée en trois types distincts :

- ❖ **Configuration 1+1 HSB** : La configuration HSB 1+1 "Hot Standby" est courante et comprend généralement une paire d'ODU (une active, une en veille) connectée via un coupleur hertzien à seule antenne. Lorsque l'ODU actif tombe en panne, l'ODU de secours devient actif.
- ❖ **Configuration 1+1 SD Space Diversity (Diversité d'espace)**: La configuration 1+1 utilise deux équipements actifs connectés à une même antenne, mais ils sont physiquement espacés l'un de l'autre. Cela permet de réduire les effets des interférences et des obstructions, car les deux équipements reçoivent des signaux légèrement différents. Ainsi, si l'un des équipements est perturbé, l'autre peut maintenir la communication.
- ❖ **Configuration 1+1 FD Frequency Diversity (Diversité de fréquence)** : utilise deux équipements actifs réglés sur des fréquences différentes pour assurer une communication résiliente. Si l'une des fréquences est affectée, l'autre fréquence est disponible pour maintenir la connectivité. Cela permet de réduire les risques d'interférences ou d'atténuations spécifiques à une fréquence donnée, assurant ainsi une meilleure fiabilité du système de communication.

#### **III.3.1.3. Configuration 2+0**

Implique l'utilisation de deux équipements actifs fonctionnant en parallèle pour une meilleure performance et fiabilité du système. Cette configuration offre une double redondance, assurant une communication continue en cas de défaillance d'un des équipements.

#### III.3.1.4. Configuration 4+0

Utilise quatre équipements actifs travaillant de manière synchronisée pour augmenter la capacité et la redondance du système de communication. Elle permet de gérer un trafic plus important et offre une résilience accrue grâce à la redondance intégrée. Cette configuration est utilisée dans les réseaux de télécommunication pour assurer une connectivité fiable et une capacité élevée. [22]

#### III.3.2. Solution SDB divisée pour la transmission sur les équipements RTN 900

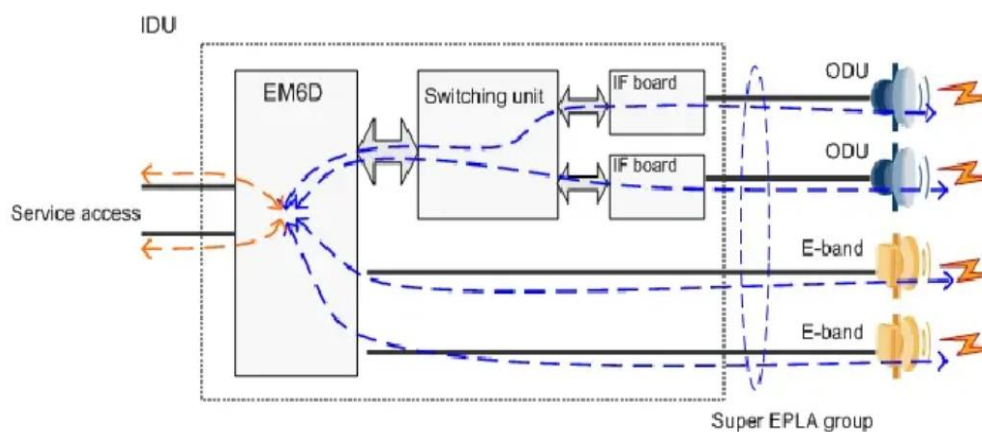
La solution SDB divisée, qui est la première à avoir été publiée et qui reste la plus courante, peut être utilisée sur des sites classiques équipés de salles d'équipement ou d'armoires extérieures.

Dans cette solution, le RTN 900 assure l'accès aux services, les fragmente, puis les transmet aux dispositifs ODU et E-band. Selon la configuration des dispositifs E-band, cette solution prend en charge une capacité allant jusqu'à 10 Gbit/s sur une distance de transmission d'environ 10 km. La mise en œuvre de la solution SDB divisée varie selon les modèles de RTN 900 utilisés. Par exemple, sur les modèles RTN 950/950A, elle est réalisée à l'aide de la carte EM6D. Cette carte fournit six ports Ethernet : 2 x 10GE/2.5GE/GE (optique), 2 x 2.5GE/GE (optique) et 2 x GE (électrique). Elle permet l'accès aux services, les découpe, puis les transmet au dispositif E-band via le port de service. Les services de bande commune sont quant à eux transmis aux cartes IF via le fond de panier. Il est important de noter que chaque carte EM6D nécessite une licence SDB configurée pour son utilisation.



**Figure III. 1: Mise en œuvre de la solution SDB sur le RTN 950/950A à l'aide de la carte EM6D.**

La figure ci-dessous illustre le flux de signal pour la solution Super Dual Band, où le dispositif maître est le RTN 950/950A.



**Figure III. 2: schéma de flux de signal pour la solution Super Dual Band (RTN 950/950A).**

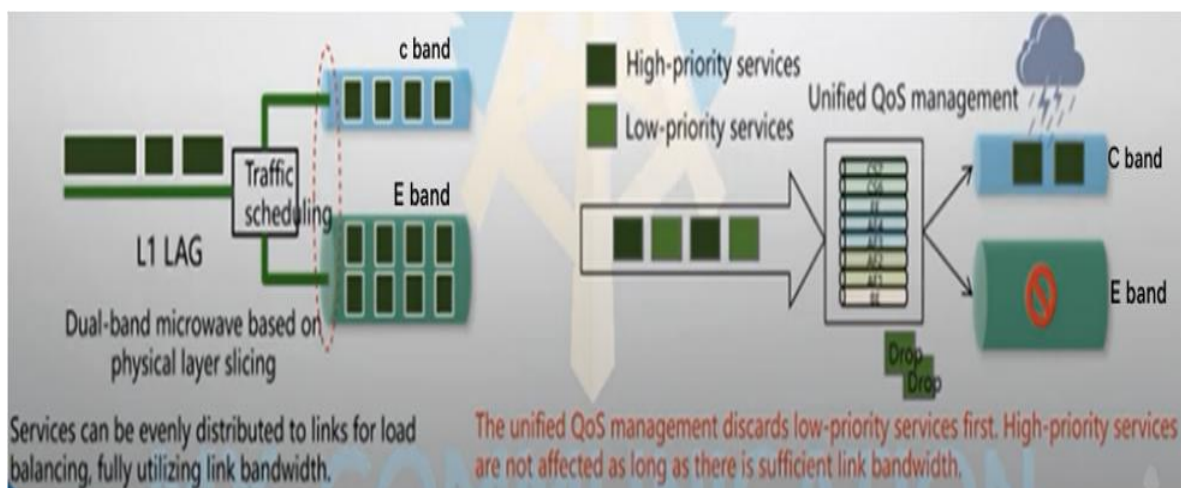
### III.3.3. Evolution des cartes ISM

Les cartes ISM (Integrated Service Module) sont des modules intégrés utilisés dans les équipements de transmission de données et de communication. Ils fournissent des fonctionnalités et des services spécifiques dans ces équipements. Les cartes ISM sont connu une évolution importante pour répondre aux besoins croissants des réseaux de communication. L'ISM2 était la version initiale offrant des fonctionnalités de base, tandis que l'ISM4 introduisait des fonctionnalités avancées telles que la commutation de protocole et la gestion de la sécurité. L'ISM6 a été développé pour répondre à la demande croissante de bande passante et de services haut débit, tandis que l'ISM8 représente la dernière évolution avec des performances améliorées pour les réseaux modernes. L'évolution des cartes ISM a permis d'améliorer les performances et la capacité des équipements de transmission de données.

## III.4. Optimisation de la connectivité grâce à l'architecture Super Dual Band

### III.4.1. Super Dual Band

Super Dual Band (SDB) est une technologie d'agrégation de bande croisée qui intègre des technologies d'agrégation de liens physiques, de modulation d'amplitude (AM) et de qualité de service (QoS). En utilisant à la fois la bande commune (de 6 à 42 GHz) et la bande E (de 71 à 76 / 81 à 86 GHz), elle permet une transmission fiable et à large bande passante par micro-ondes sur de longues distances. Dans la solution Super Dual Band, les liaisons par micro-ondes de la bande commune et de la bande E se protègent mutuellement. Si les liaisons de la bande E connaissent une dégradation ou sont interrompues, peut-être en raison de mauvaises conditions météorologiques, les liaisons de la bande commune assurent toujours la transmission des services prioritaires à haute priorité. [23]



**Figure III. 3: La solution Super Dual Band.**

- ✓ Common band : distance de transmission jusqu'à 100 km (longue), haute fiabilité et capacité de liaison relativement faible (< 1 Gbit/s).
- ✓ E band : distance de transmission jusqu'à 5 Km (courte) et capacité de 20 Gbit/s (avec XPIC).
- ✓ SDB : un mélange entre les deux liaisons, larges bandes passantes (E-band) et longue distance de transmission (C-band)

#### III.4.2. L'architecture Super dual band

La solution Super Dual Band améliore les performances et la capacité des réseaux sans fil en utilisant des cartes micro-ondes à bande commune et en bande E. Elle offre l'agrégation de liens physiques améliorée (EPLA) pour une bande passante plus grande et une fiabilité accrue.

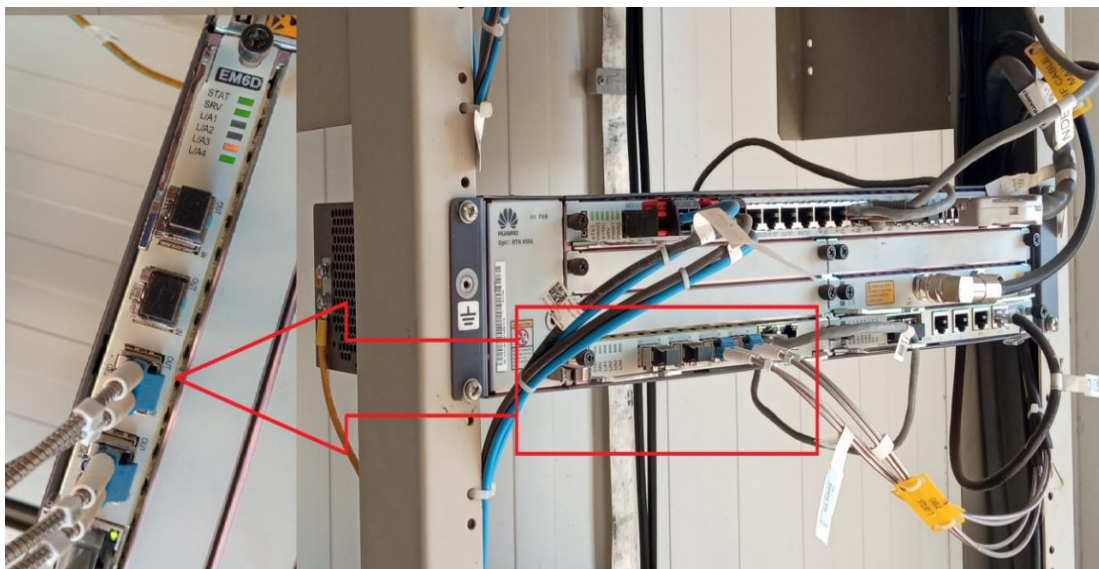


**Figure III. 4: L'architecture de la solution Super Dual Band.**

Les cartes EM6D sont spécifiquement conçues pour implémenter la fonctionnalité Super EPLA. L'architecture système de la solution Super Dual Band est illustrée dans la Figure III.4, montrant la configuration et l'interconnexion des différents composants pour assurer un fonctionnement fluide et efficace du système.



**Figure III. 5: E-Band, RTN 380.**



**Figure III. 6: RTN 950A, câbles data de la liaison E-Band.**



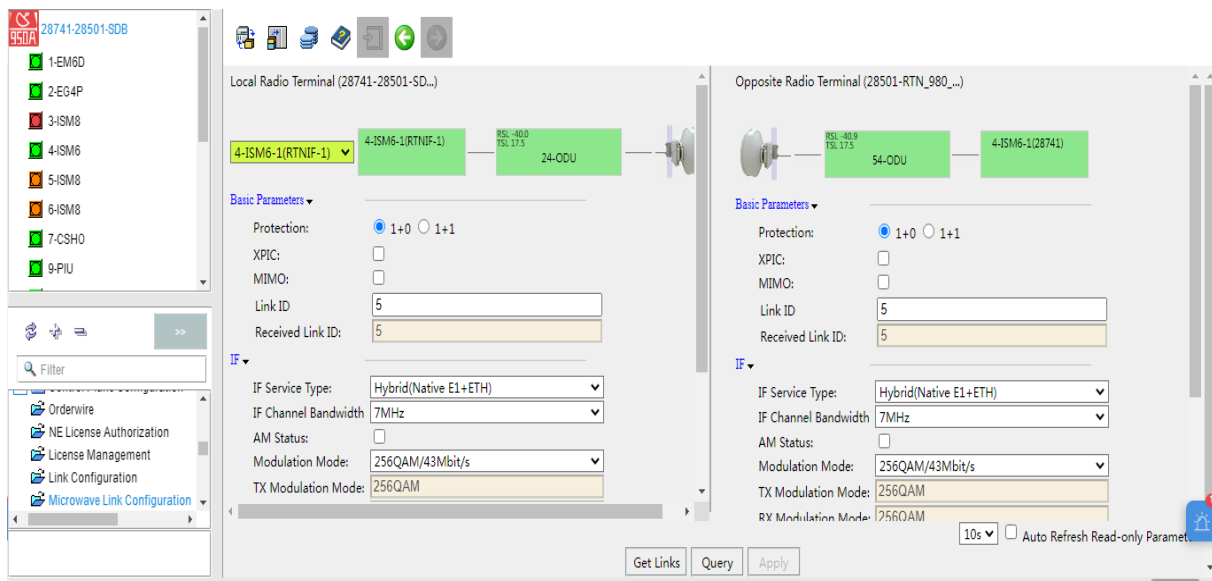
### III.5. Mise on ouvre une nouvelle liaison E-band

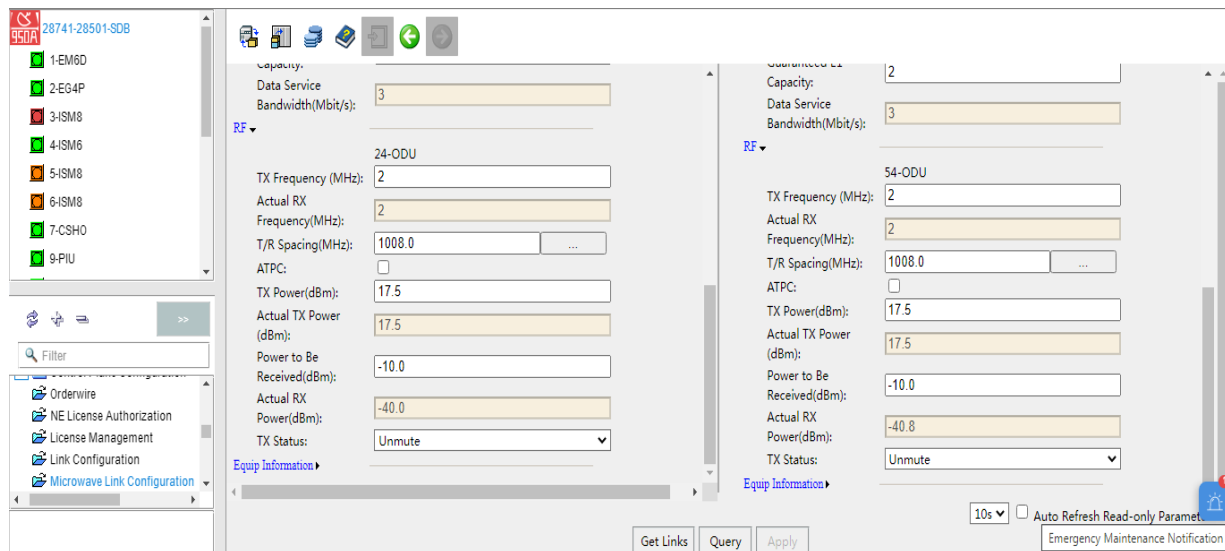
L'évolution des réseaux mobile nécessite des liaisons de transmission à haut débit et à haute capacité pour répondre aux exigences croissantes en termes de capacité de données. Dans ce contexte, l'utilisation de la solution E-band s'est révélée être une option prometteuse. L'entreprise ATM Mobilis a pris l'initiative de déployer ces équipements E-band dans ses sites.

L'installation de la solution SDB (super dual band) se déroule en deux parties distinctes. D'une part, nous avons le côté C-Band où l'agrégation de trafic, notamment l'EPLA (Ethernet Private Line Aggregation), est effectuée. D'autre part, nous avons le côté E-Band qui est représenté par une RTN380. L'agrégation du trafic provenant de différentes sources (EPLA) permet de combiner plusieurs flux de données.

#### III.5.1. Configuration de Common bande

On commence par détailler la configuration de la liaison C-band. Les figures suivantes illustrent en détail la configuration des équipements RTN 980A, qui jouent un rôle clé dans la mise en place de cette liaison. La figure montre les paramètres et les options de configuration disponibles.





**Figure III. 7: Configuration des paramètres de la liaison dans « RTN980A ».**

❖ **Les paramètres de base dans ce cas**

- ✓ La configuration "1+0" : est une configuration non redondante donc il y a un seul émetteur-récepteur pour envoyer et recevoir des données.
- ✓ Link ID : identification de lien.
- ✓ XPIC/MIMO, XPIC concerne l'utilisation d'antennes polarisées croisées et d'algorithmes de traitement du signal pour réduire les interférences entre signaux polarisés, MIMO implique l'utilisation de plusieurs antennes pour transmettre et recevoir simultanément des flux de données indépendants, ce qui augmente la capacité du système.

❖ **Les paramètres intermédiaires fréquentielle**

- ✓ Configuré deux modes de services E1 et Ethernet : ou on peut transmettre la voix et les paquets IP sur le même Channel ;
- ✓ La bande passante : nous avons choisi 7 MHz, les données seront transmises sur une bande de passante 7MHz ;
- ✓ Type de modulation : on a choisi 256QAM qui permet atteindre un débit de 43 Mbit/s ;
- ✓ Les fréquences TX et RX : les fréquences d'émission et de réception en MHz;
- ✓ Les puissances TX et RX : les puissances d'émission et de réception en dBm ;

- A-Unprotected.
- B-One frequency.
- C-Single radio direction.

1+0

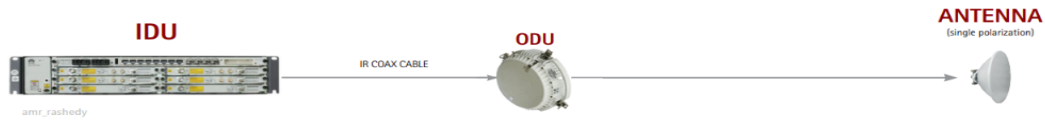


Figure III. 8: Radio link 1+0.

### III.5.2. Configuration de E-bande

La configuration de la bande E (E-bande) comprend notamment le côté E-Band, qui est représenté par une RTN380A. Les figures suivantes fournissent une illustration détaillée de la configuration des équipements RTN 380A, mettant en évidence les paramètres et les options de configuration disponibles.

The top screenshot displays the configuration for a radio link between two terminals. The 'Local Radio Terminal (28741-28501-EU...)' is configured with Link ID 2, Received Link ID 2, IF Channel Bandwidth 250MHz, AMAC Status unchecked, Modulation Mode 16QAM/759Mbit/s, TX Modulation Mode 16QAM, RX Modulation Mode 16QAM, Data Service Bandwidth(Mbit/s) 7, and TX Frequency (MHz) 7. The 'Opposite Radio Terminal (28501-28741-EU...)' is configured with Link ID 2, Received Link ID 2, IF Channel Bandwidth 250MHz, AMAC Status unchecked, Modulation Mode 16QAM/759Mbit/s, TX Modulation Mode 16QAM, RX Modulation Mode 16QAM, Data Service Bandwidth(Mbit/s) 7, and TX Frequency (MHz) 8.

The bottom screenshot provides a detailed view of the 'RF' parameters. For the Local Radio Terminal (TX Frequency 7 MHz), the Actual RX Frequency is 8 MHz, T/R Spacing is 10000.0 MHz, TX Power is 14.0 dBm, Actual TX Power is 14.0 dBm, Power to Be Received is -38.7 dBm, Actual RX Power is -47.0 dBm, and TX Status is Unmute. For the Opposite Radio Terminal (TX Frequency 8 MHz), the Actual RX Frequency is 7 MHz, T/R Spacing is 10000.0 MHz, TX Power is 14.0 dBm, Actual TX Power is 13.9 dBm, Power to Be Received is -38.7 dBm, Actual RX Power is -45.3 dBm, and TX Status is Unmute.

Figure III. 9: Configuration des paramètres de RTN 380A.

Nous avons choisi la position MXUG l'identification de lien est 2 et comme paramètres d'intermédiaire fréquentielle nous avons transmis les données sur une bande passante de 250 MHz et nous avons choisi la modulation 16QAM qui permet l'atteindre un débit de 759Mbit/s. Il y a aussi les fréquences et les puissances TX et RX comme le cas précédent (configuration de commun band).

### III.5.3. Configuration EPLA

Les étapes pour La configuration de S-EPLA :

- ✓ Click sur configuration et physical link Aggregation puis New ;
- ✓ Choisie l'identifiant et le types de PLA et le mode soit A soit B ;
- ✓ Nous avons Choisi la carte EM6D comme une carte de commande et des autres cartes comme des cartes secoure.

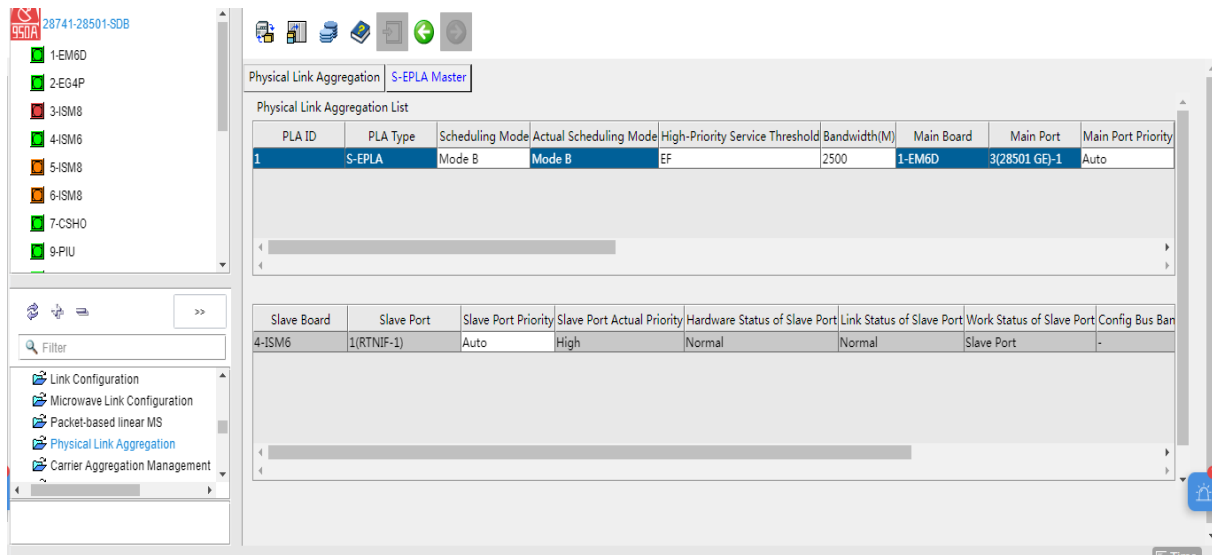


Figure III. 10: Configuration S-EPLA (RTN 950A).

### III.6. Tests des performances

Une fois que la liaison SDB est mise en service, son comportement peut être évalué à l'aide de tests de performances. Ces tests permettent de mesurer le pourcentage de débit de données de la liaison. Ils fournissent des informations essentielles sur la capacité de la liaison.

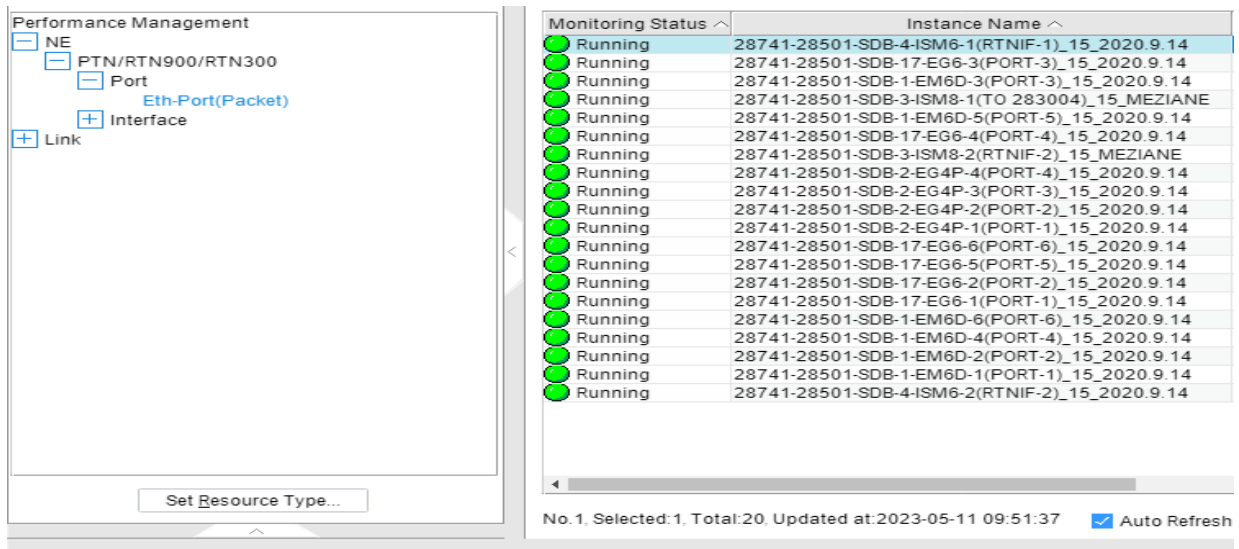


Figure III. 11: Test de performance.

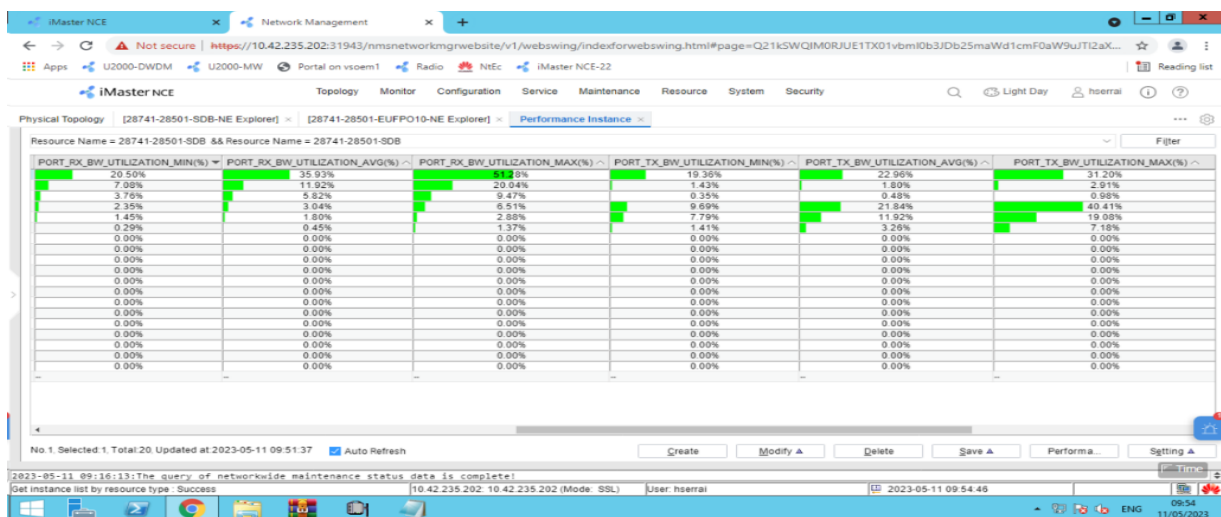
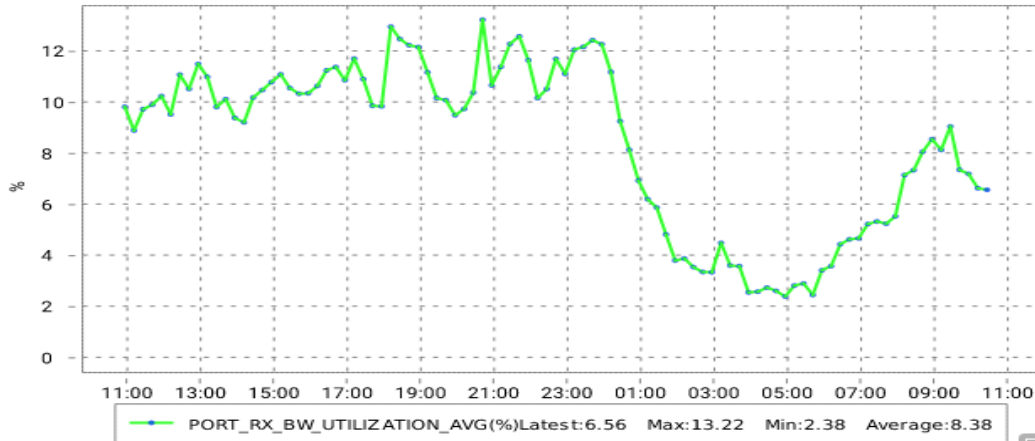


Figure III. 12: Pourcentage d'utilisation de la bande passante.

### III.6.1. Représentation Graphiques des performances

Le U2000 offre la possibilité de représenter les performances sous formes des courbes comme la montre dans la Figure III.13, nous avons inclus dans notre analyse des valeurs moyennes représentant le pourcentage de trafic en fonction du temps. Ces valeurs ont été recueillies sur une période d'une semaine et nous les présentons de manière graphique dans la Figure III.13. Cette représentation visuelle nous permet de mieux comprendre les tendances et les fluctuations de l'objectif et de la mesure tout au long de la période d'étude. En examinant cette figure, nous pouvons observer les variations de l'utilisation moyenne du trafic, ce qui nous donne un aperçu précieux de la dynamique de l'utilisation de la bande passante sur une base temporelle. Cette analyse temporelle des valeurs moyennes nous aide à mieux évaluer les

performances et l'efficacité de notre système, ainsi qu'à identifier d'éventuelles tendances ou schémas récurrents. Ces informations complémentaires enrichissent notre étude pratique et renforcent les résultats et les conclusions que nous avons pu tirer de notre analyse.



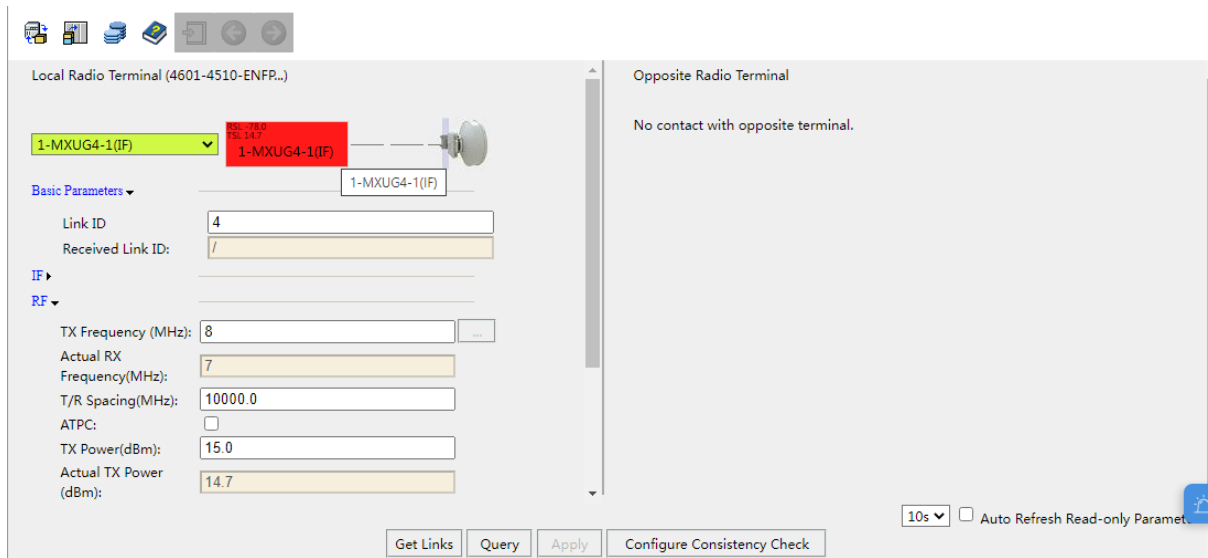
**Figure III. 13: Courbe présente l'utilisation moyenne de la bande passante E-band.**

Le graphique illustre les fluctuations du trafic de données au fil du temps, en mettant en évidence les périodes de pic d'activité et les périodes de faible utilisation.

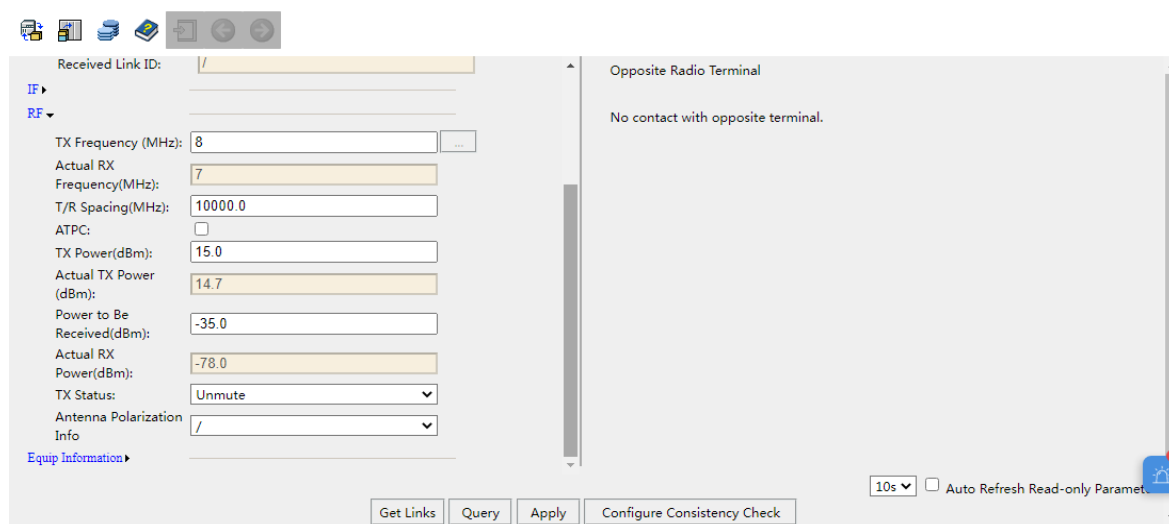
- ✓ On voit que le graphique montre que le trafic augmente progressivement et atteint son pic entre 20h et 21 h atteignant environ 13.22%.
- ✓ La diminution du trafic après minuit de 00 :00 à 7h du matin vers 2.38 % est souvent liée aux modèles de comportement des utilisateurs, car les heures de sommeil et de repos sont naturellement associées à une utilisation réduite des appareils connectés et des services en ligne.

### III.6.2. Basculement C-Band/E-Band (EPLA), Cas réel

Afin de mieux comprendre l'EPLA (Ethernet Private Line Aggregation), nous avons rencontré un cas réel lors de notre stage pratique qui impliquait un basculement entre le C-Band et l'E-Band. Dans notre cas spécifique, le site 04601 a connu une panne de la liaison E-Band, causée par un problème de dépointage de la parabole E-Band. Les mesures ont indiqué un niveau de signal de -78 dBm, tandis que le niveau de RSL (Received Signal Level) de fonctionnement normal était de -36 dBm. Cette expérience pratique nous a fourni des informations concrètes sur les défis potentiels liés à la mise en œuvre de l'EPLA dans la liaison SDB.



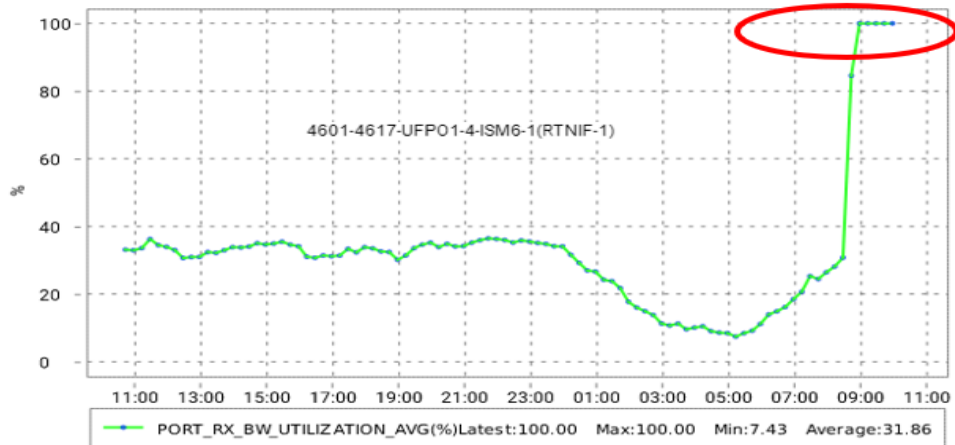
**Figure III. 14: Liaison E-Band hors.**



**Figure III. 15: Liaison E-Band hors service problème de dépointage (-76 dbm).**

### III.6.2.1. L'analyse de performance

Après avoir constaté que la liaison E-Band était hors service. Cette situation nous a incités à analyser les performances du système afin de mieux comprendre ce qui se passe en l'absence de l'E-Band et le fonctionnement de l'EPLA pour garantir la continuité du service de données.



**Figure III. 16: Performances graphiques E-band Down (hors service).**

Le graphe illustre les variations de trafic de données en fonction du temps acheminé sur Commun band (high-priority services) lorsque le E-band est Hors service en raison d'une panne.

- ✓ On constate une stabilité du pourcentage de trafic de données tout au long de la journée, après une légère diminution jusqu'à environ 7,43% entre 00:00 h et 7h du matin, suivie d'une augmentation marquée à partir de 8h du matin. Ensuite, il atteint sa valeur maximale de 100% avant d'arriver au deuxième jour à 11 heures du matin. Cette étude a été réalisée sur une période de 24 heures, à partir de 11 heures du matin.
- ✓ Dans le cas de 00 :00 à 8h du matin, la diminution de trafic est due à la diminution de nombre d'utilisateurs (diminution de l'utilisation).
- ✓ A 9.00 de matin, 'il y a un basculement de trafic (l'effet de EPLA, E-band est hors service), tout le trafic se reporte sur le C-Band, ce qui entraîne une augmentation maximale du trafic à 100%, saturation.

Après l'intervention de l'équipe de maintenance UOP sur la liaison, le problème a été résolu comme illustré dans la figure suivante :



The screenshot shows the configuration interface for a radio link. It is divided into two main sections: 'Local Radio Terminal (4601-4510-ENFP..)' on the left and 'Opposite Radio Terminal (4510-4601-ENFP..)' on the right. Both sections have a 'Basic Parameters' section with the following fields:

- Link ID: 4
- Received Link ID: 4
- IF Channel Bandwidth: 250MHz
- AMAC Status:
- Modulation Mode: 32QAM/949Mbit/s
- TX Modulation Mode: 32QAM
- RX Modulation Mode: 32QAM
- Data Service Bandwidth(Mbit/s): 9

Below the 'Basic Parameters' section is an 'RF' section with the following fields:

- TX Frequency (MHz): 8 (for Local) and 7 (for Opposite)

At the bottom of each section are buttons for 'Get Links', 'Query', 'Apply', and 'Configure Consistency Check'. There is also a '10s' refresh interval and an 'Auto Refresh Read-only Parameters' checkbox.

This screenshot shows the detailed RF parameters for the radio link. It is divided into two main sections: 'Local Radio Terminal (4601-4510-ENFP..)' on the left and 'Opposite Radio Terminal (4510-4601-ENFP..)' on the right. Both sections have a 'Data Service' section with the following fields:

- Data Service Bandwidth(Mbit/s): 9

Below the 'Data Service' section is an 'RF' section with the following fields:

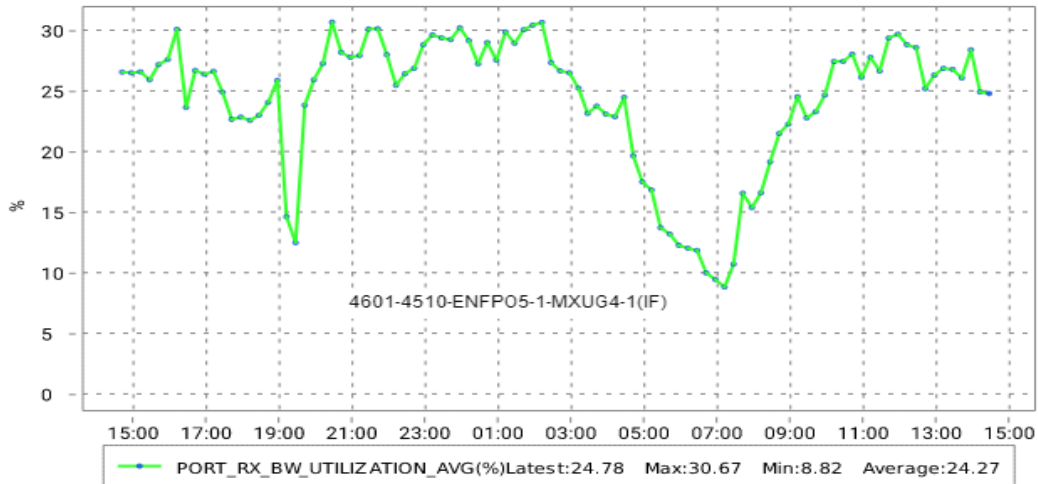
- TX Frequency (MHz): 8 (for Local) and 7 (for Opposite)
- Actual RX Frequency(MHz): 7 (for Local) and 8 (for Opposite)
- T/R Spacing(MHz): 10000.0
- ATPC:
- TX Power(dBm): 15.0
- Actual TX Power (dBm): 15.0
- Power to Be Received(dBm): -35.0
- Actual RX Power(dBm): -30.2 (for Local) and -29.6 (for Opposite)
- TX Status: Unmute
- Antenna Polarization Info: /

At the bottom of each section are buttons for 'Get Links', 'Query', 'Apply', and 'Configure Consistency Check'. There is also a '10s' refresh interval and an 'Auto Refresh Read-only Parameters' checkbox.

**Figure III. 17: Les paramètres de la liaison E-band RTN 380A (Link UP).**

### III.6.2.2. Graphique de performance E-Band après la résolution du problème

Une fois que le problème a été résolu, la liaison est revenue en service. Pour évaluer la situation du trafic et le fonctionnement de l'EPLA dans ce cas, en termes de redistribution du trafic, nous avons procédé à une vérification des performances de la liaison. La Figure suivante présente en détail les informations sur les performances de la liaison SDB, nous permettant ainsi d'analyser de manière approfondie les métriques clés.



**Figure III. 18: Performances graphiques EB Up.**

Le graphe représente les variations du trafic de données prises toutes les 15 minutes sur une période de 24 heures, en montrant les périodes où l'activité est la plus intense et celles où elle est plus faible.

- ✓ On observe sur le graphique que le trafic augmente et diminue progressivement de 14h à 19h
- ✓ On remarque une diminution soudaine à 19h30 atteignant environ 12.5%, suivie d'une nouvelle augmentation à 20h, où il atteint sa valeur maximale de 30.67% à 20h30
- ✓ Ensuite, il recommence à augmenter et diminuer progressivement jusqu'à 2h, puis revient à sa valeur maximale.
- ✓ A 3h de matin il décroît continuellement et atteint sa valeur minimale 8.82% à 7h du matin puis augmente à nouveau progressivement.
- ✓ Cette diminution et cette augmentation sont dues au pourcentage d'utilisation (nombre d'utilisateurs). Pendant la nuit, le pourcentage d'utilisation (nombre d'utilisateurs) diminue, comme le montre la courbe.

### III.6.3. Etude comparative de liaison avec et sans E-Band

Après avoir examiné les performances dans les deux cas, E-band down (hors service) et E-band UP (en service), il est essentiel de procéder à une comparaison entre les deux scénarios : celui où la liaison fonctionne avec l'E-Band et celui où elle fonctionne sans l'E-Band. Cette comparaison nous permettra de mieux comprendre l'impact de l'E-Band sur les performances globales du réseau.

- ❖ **Dans la présence de E-band :** Lorsque la E-band est disponible, elle offre des avantages importants pour la technologie Super Dual Band. Voici quelques points clés :
  - ✓ Capacité accrue : La E-band fournit une bande passante supplémentaire, ce qui permet d'augmenter la capacité du réseau. Cela permet de gérer une plus grande quantité de données et d'assurer des débits plus élevés pour les utilisateurs.
  - ✓ Couverture étendue : La E-band a une meilleure capacité de pénétration des obstacles et offre une portée plus longue. Cela permet une meilleure couverture, même dans les zones à forte densité ou avec des obstacles physiques, tels que les bâtiments.
  - ✓ Fiabilité améliorée : Avec la E-band, le réseau peut bénéficier d'une meilleure résilience et stabilité. En cas de panne ou de congestion sur d'autres bandes de fréquences, la E-band peut prendre le relais et garantir la continuité des services.
  - ✓ Performances supérieures : En utilisant la E-band, les utilisateurs peuvent profiter de performances supérieures, avec des délais de latence réduits et une meilleure qualité de service globale.
- ❖ **Dans l'absence de Eband :** Lorsque la E-band est absente, certaines limitations peuvent être observées :
  - ✓ Capacité limitée : Sans la E-band, la capacité du réseau est réduite, ce qui peut entraîner des problèmes de congestion et une diminution des performances globales.
  - ✓ Couverture restreinte : La E-band étant connue pour sa portée étendue, son absence peut entraîner une couverture plus limitée, en particulier dans les zones éloignées ou avec des obstacles.
  - ✓ Dépendance sur d'autres bandes de fréquences : En l'absence de la E-band, le réseau doit compter davantage sur d'autres bandes de fréquences pour assurer la connectivité. Cela peut entraîner une utilisation plus intensive de ces bandes, augmentant ainsi le risque de congestion et d'interférences.

### III.7. Conclusion

La technologie de Super Dual Band offre une solution efficace pour répondre aux besoins croissants en matière de connectivité haut débit et de performances améliorées. Grâce à ses avantages en termes de débit, de capacité, de flexibilité et d'innovation, elle joue un rôle essentiel dans l'évolution des réseaux sans fil et dans la création de nouvelles opportunités pour les utilisateurs, les opérateurs et les fabricants. Cependant, un problème persiste avec

cette technologie : la Common band peut acheminer les données à la place de la E-band lorsque cette dernière est en panne, mais l'inverse n'est pas possible.

## *Conclusion générale*



### **Conclusion Générale**

L'évolution des réseaux de téléphonie mobile de la 1G à la 5G a entraîné une véritable révolution dans notre manière de communiquer et d'interagir avec le monde numérique. Au cœur de cette évolution se trouve la 4G, une étape majeure qui a apporté des avancées significatives en termes de vitesse, de capacité et de qualité de la connectivité mobile.

Pour parvenir à ces performances exceptionnelles, la liaison par micro-ondes a joué un rôle crucial dans le déploiement et la performance de la 4G. En tant que méthode de transmission des signaux et des données entre les stations de base et les utilisateurs finaux, les liaisons par micro-ondes ont démontré leur fiabilité et leur efficacité. Elles ont permis de répondre aux exigences croissantes en matière de bande passante et de capacité des réseaux 4G, offrant ainsi une connectivité sans fil rapide et stable. Notre étude approfondie des composants et des applications des liaisons par micro-ondes dans le contexte de la 4G nous a permis de mieux comprendre leur fonctionnement et leur contribution essentielle à la mise en place d'une connectivité mobile avancée. Nous avons exploré les antennes de transmission, en soulignant leur rôle important dans la transmission des signaux.

Pour améliorer encore davantage la qualité de service des liaisons par micro-ondes dans la 4G, Dans notre étude comparative, nous avons mis en évidence l'impact positif de l'utilisation de l'Eband sur ces liaisons. Cette technologie a considérablement amélioré la capacité de transmission des micro-ondes, permettant des débits plus élevés et une meilleure qualité de service. L'Eband avec d'autres technologies développées telles que le Super Dual Band et l'EPLA, les opérateurs de réseaux mobiles et les fournisseurs d'accès Internet peuvent continuer à évoluer pour répondre à la demande croissante des utilisateurs en matière de connectivité rapide et fiable. Ces avancées technologiques garantissent une expérience utilisateur de qualité et une couverture optimale des services.

## *Références bibliographiques*



### Références bibliographiques

- [1] Mishra, A.R. (2018). Fundamentals of Network Planning and Optimisation 2G/3G/4G : Evolution to 5G, 2nd Edition. John Wiley & Sons Ltd..
- [2] Lohier.S&Présent.D(2016). Réseaux et transmissions : protocoles, infrastructures et services.6ème éd. Dunod. Dupli-Print. Domont. p.p. (208-221)
- [3] Rappaport, T. S., Heath, R. W. Jr., et al. (2015). Wireless Communications: Principles and Practice. Pearson Education (p.39)
- [4] Wavestone, 2020, 'De la 2G à la 4G', Digital Corner Wavestone, 13 janvier, <https://www.digitalcorner-wavestone.com/2020/01/de-la-2g-a-la-4g/>
- [5] Meurisse, E. (s.d.). UMTS - Introduction. [En ligne]. Disponible sur : [http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric\\_meurisse/umts.php](http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/eric_meurisse/umts.php) [Consulté le 16 mars 2023].
- [6] Huawei. (2019). Différence entre OFDMA et MU-MIMO en 802.11ax. [En ligne]. Disponible sur : <https://forum.huawei.com/enterprise/fr/diff%C3%A9rence-entre-ofdma-et-mu-mimo-en-802-11ax/thread/688493-100377> [Consulté le 22 mars 2023].
- [7] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. (2011). Computer networks. Pearson. (p. 102)
- [8] S. Baraketi, "Ingénierie des réseaux optiques SDH et WDM et étude multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM," Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul sabatier,Toulouse ,2015
- [9] Freeman, R.L. (2013). Radio System Design for Télécommunications (3ème Edition). John Wiley & Sons
- [10] Angueira, P., & Romo, J. A. « Microwave Line of Sight Link Engineering ». John WILEY & SONS, 2012
- [11] Huawei (2020).Unité à micro-ondes et liaison micro-ondes à un saut <https://forum.huawei.com/enterprise/fr/unit%C3%A9-%C3%A0-micro-ondes-et-liaison-micro-ondes-%C3%A0-un-saut/thread/645221-100375>[Consulté le 30Mars 2023].
- [12] Balanis, C.A. (2016). Antenna Theory : Analysis and Design (4émeed.). Wiley.

- [13] Fil, N. (2017). Caractérisation et modélisation des propriétés d'émission électronique sous champ magnétique pour des systèmes RF hautes puissances sujets à l'effet multipactor [Thèse de doctorat, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, Département Physique, Instrumentation, Environnement, Espace (DPhIEE, ONERA)]. ED GEET : Électromagnétisme et Systèmes Haute Fréquence. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01787486v2/document>
- [14] Dual-Band" IEEE Standards Association, [https://standards.ieee.org/standard/802\\_11-2016.html](https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html). Consulté le 1 avril 2023.
- [15] Seybold, John S. Introduction to RF Propagation. John Wiley& Sons, Inc., 2005, p. (68. 69).
- [16] Lehpamer, H. (n.d.). Microwave Transmission Networks : Planning, Design, and Deployment (2nd ed.). HL Telecom Consulting.
- [17] David M. Pozar, « Microwave Engineering», édition 4, page 77-82.
- [18] sood.S. K. Microwave Radio Transmission Design Guide. 2nd ed., Artech House, 2009, p. 110
- [19] Lehpamer, Harvey. Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment. Wiley-IEEE Press, 2010.
- [20] Manning, T. (2011). Microwave Radio Transmission Design Guide (2nd ed.). p12.
- [21] E band, <https://carrier.huawei.com/en/products/wireless-network/microwave/e-band>, [Consulté le 18 Mai 2023].
- [22] Huawei. (2021.). Microwave Link Deployments. Forum Huawei. Retrieved from <https://forum.huawei.com/enterprise/en/microwave-link-deployments/thread/667250402028044288-667213872962088960> .[Consulté le 18 mai2023]
- [23] Super Dual Band Microwave Solution, <https://forum.huawei.com/enterprise/en/super-dual-band-microwave-solution/thread/667232311520935936-667213856692383744> ,consulté le 18 Mai 2023.

## Résumé :

La 4G LTE est l'une des dernières technologies sans fil, qui offre une connectivité haut débit et une meilleure qualité de service (QoS) aux différents types d'appareils et utilisateurs. Dans ce contexte, notre étude s'est concentrée sur l'utilisation simultanée de Dual Band (E-band et bande commune) et sur la comparaison des liaisons micro-ondes 4G LTE avec et sans l'utilisation de l'E-band. Le Dual Band permet d'exploiter plusieurs bandes de fréquences pour augmenter la capacité du réseau et optimiser son efficacité. L'objectif principal de cette étude est d'analyser et de comparer les performances de ces liaisons. Les résultats obtenus de cette comparaison permettent de déterminer les avantages et les améliorations apportés par l'utilisation du Dual Band, et fournissent des informations essentielles aux opérateurs de réseau et aux chercheurs. Ces informations permettent d'optimiser les infrastructures de communication, d'améliorer la qualité de service et de répondre plus efficacement aux demandes croissantes de connectivité haut débit.

Mots clés : LTE , Dual band , E-band , Commun band

## Abstract

4G LTE is one of the latest wireless technologies, offering high-speed connectivity and improved quality of service (QoS) to various types of devices and users. In this context, our study focused on the simultaneous use of Dual Band (E-band and Common Band) and the comparison of 4G LTE microwave links with and without the use of E-band. Dual Band allows for the utilization of multiple frequency bands to increase network capacity and optimize its efficiency. The main objective of this study is to analyze and compare the performance of these links. The results obtained from this comparison help determine the advantages and improvements brought by the use of Dual Band and provide crucial information to network operators and researchers. This information enables the optimization of communication infrastructures, improvement of quality of service, and more efficient response to the increasing demands for high-speed connectivity.

Keywords : LTE, Dual band, E-band , Common band

## ملخص:

تعتبر تقنية LTE واحدة من أحدث تقنيات الاتصال اللاسلكي، حيث توفر اتصالاً عالي السرعة وتحسيناً في جودة الخدمة (QoS) لأنواع مختلفة من الأجهزة والمستخدمين. في هذا الموضوع، ركزت دراستنا على استخدام متزامن للـ Dual Band (E-band و Common Band) وعلى مقارنة روابط الميكروويف LTE مع وبدون استخدام E-band. يتيح Dual Band استغلال عدة نطاقات ترددية لزيادة سعة الشبكة وتحسين كفاءتها. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل ومقارنة أداء هذه الروابط. تساعد النتائج المتحصل عليها من هذه المقارنة على تحديد المزايا والتحسينات التي يجلبها استخدام Dual Band ، وتوفر معلومات أساسية لمشغلي الشبكة والباحثين. هذه المعلومات تساعد على تحسين البنية للاتصالات، وتحسين جودة الخدمة والاستجابة بفعالية أكبر للطلب المتزايد على الاتصال بشبكات النطاق العريض.

كلمات مفتاحية: LTE, Eband , Commun band , dual band