

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

*Mémoire de Fin d'Etude*

*En vue de l'obtention du Diplôme*

*De Master Académique*

**Filière : Génie électrique**

**Spécialité : Réseau et télécommunication**

Thème :

**Dimensionnement et  
planification d'un réseau  
4G/LTE**

*Organisme d'accueil: AT MOBILIS*

*Encadré par:*

*Mr: MOHIA.Y.*

*Réalisé par :*

*M<sup>elle</sup> SAAD TASSADIT*

*M<sup>elle</sup> TALEB THIZIRI*

**Promotion: 2016/2017**



## Remerciements

*Nous voulons exprimer nos remerciements et notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont apportées l'aide et l'assistance nécessaire à l'élaboration de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent en particulier à Mr Omar Cherbal et sa femme pour les précieux conseils qui ont bien voulu nous fournir afin de réaliser ce travail, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponibles tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans eux ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Nous exprimons aussi nos sincères reconnaissances à Mr Rabi Mohamed pour ses efforts fournis durant toute la période de stage et pour ses conseils, son inspiration et son intérêt, ainsi qu'à tous ceux qui ont collaborés d'une façon ou d'une autre à l'élaboration de ce travail spécialement à nos parents et à nos proches.*

*Enfin nous tenons à remercier Mr Mohia de nous avoir encadrer ,ainsi que tous les membres de jury qui ont bien voulu accepter d'examiner ce travail.*

*Jassadit*

*Thiziri*

## *Dédicace*

*À la plus belle création que dieu a créé sur terre ;  
À cette source de tendresse , de patience, d'amour et de  
générosité: mes chers parents.*

*Et je le dédie à une personne qui m'est très chère et avec qui  
je souhaite partager tout le reste de ma vie : **JDRS** ;*

*À mon unique frère Abdou , mes sœurs : Nina , Kenza  
, Malek et Jina...*

*À ma chère binôme Jassadit*

*À la mémoire de ma deuxième maman dahbia qui a tant  
souhaité ma réussite..et À mon grand père Rabah que je  
souhaite une longue vie ...*

*Et aussi je dédie ce mémoire à Mr Cherbel Omar et sa femme  
qui m'ont beaucoup aidé..*

*Jhiziri*

## Dédicace

*Je dédie ce travail à mes très chères parents, eux qui se sont sacrifié et sacrifié de leur vies pour ma réussite, eux qui se sont voués corps et âmes afin que je puisse consentir les efforts nécessaires pour que mon but soit atteint. Je voudrais pour l'occasion leur rendre un semblant ou une fraction de l'amour que j'ai reçu de leur part durant toutes ces années ou sans eux, je ne serai que fortement amoindrie*

*Je n'aurais, sans l'ombre d'un doute, pas pu accomplir ce travail sans le soutien moral que mes deux petits frères, Madjid et Yuva, m'avaient inlassablement procuré durant cette épreuve.*

*Ceci dit, je ne manquerais surement pas l'occasion de dédier ce travail à mon grand-père et à ma grand-mère que j'adore et que j'aime beaucoup et à laquelle je souhaite un prompt rétablissement, à tous mes oncles, paternels et maternels, mes chères beaux-parents et à mon futur époux Karim qui a été à mes côtés aussi bien pour le meilleur que pour le pire, à mon binôme Jhiziri avec laquelle j'ai partagé tout ces moments et que je remercie pour sa compréhension, mes amies ainsi que tous ceux qui ont contribué à ma réussite.*

*Jassadit*

## Liste des abréviations

## Liste des abréviations

**1G** : (1<sup>ère</sup> Génération)

**2G** : (2<sup>ème</sup> Génération)

**3G** : (3<sup>ème</sup> Génération)

**3GPP** : (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project)

**4G** : (4<sup>ème</sup> Génération)

**5G** : (5<sup>ème</sup> Génération)

### A

- **AM**: Modulation Automatique
- **AMPS**: Advanced Mobile Phone System
- **Auc**: Authentication Unite Center

### B

- **BF** : Basse Frequence
- **BSC**: Base Station Controller
- **BSS**: Base Station Sub-system
- **BTS**: Base Transceiver Station

### C

- **CAN**: Convertiseur Analogique Numerique
- **CDMA**: Code Division Multiple Access (en français **AMRC**: Accès Multiple par Répartition en Code)
- **CN**: Core Network
- **CS**: Channel Spacing

### D

- **DC-HSDPA**: Dual Cell- High Speed Downlink Packet Access

## Liste des abréviations

- **DC-HSUPA: Dual Cell- High Speed Uplink Packet Access**
- **DL: Down Link**

### E

- **EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution**
- **EIR: Equipment Identity Register**
- **E-NodeB: evolved NodeB**
- **EPC: Evolved Packet Core**
- **ETSI : European Telecommunications Standards Institute**
- **E-UTRAN: evolved UTRAN**

### F

- **FDD: Frequency Division Duplexing**
- **FDMA: Frequency Division Multiple Access (en français AMRF: l'Accès Multiple par Répartition en Fréquence)**
- **FH: Faisceau Hertzien**
- **FI : Fréquence Intermédiaire**
- **FM : Frequency Modulation**

### G

- **GGSN: Gateway GPRS Support Node**
- **GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying**
- **GPRS: General Packet Radio Service**
- **GPS: Global Positioning System**
- **GSM: Global System for Mobile**

### H

- **HBA: Hauteur Bas d'Antenne**
- **HF: Haute Fréquence**
- **HLR: Home Location Register**
- **HSDPA: High Speed Downlink Packet Access**
- **HSPA: High Speed Packet Access**
- **HSS: Home Subscriber Server**
- **HSUPA: High Speed Uplink Packet Access**

## Liste des abréviations

### I

- **IDU: Indoor Unit**
- **IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers**
- **IMEI: International Mobile Equipment Identity**
- **IMSI: International Mobile Subscriber Identity**
- **IP: Internet Protocol**

### L

- **LOS: Line Of Site**
- **LTE: Long Term Evolution**

### M

- **Mbps: Méga bits par second**
- **ME :Mobile Equipement**
- **MIC: Modulation par Impulsion Codée (Pulse Code Modulation PCM)**
- **MIMO: Multi Input Multiple Output**
- **MISO: Multi Input Single Output**
- **MME: Mobility Management Entity**
- **MMF: Multi Mode Fiber**
- **MMS: MultiMedia Messaging Service en français c'est service de messagerie multimédia**
- **MS: Mobile Station**
- **MSC: Mobile Switching Center**
- **MSISDN: Mobile Station Integrated Service Digital Number**
- **Mw-MIMO:Micro-wave Multi Input Multiple Output**

### N

- **NLOS: Near Line Of Site**
- **NMT: Nordic Mobile Telephone**
- **NSS: Network Switching Sub-System**

### O

- **ODU: Out Door Unit**

## Liste des abréviations

- **OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing**
- **OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access**
- **OMC: Operation and Maintenance Center** (en français: **Centre d'Opération et de Maintenance**)
- **OSS: Operation Support Sub-system**

## P

- **PCRF: Policy Charging Rules Function**
- **PCU: Packet Controller Unit**
- **PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy**
- **PGW : Packet Switch-GetWay**
- **PIRE: Puissance Isotope Rayonnée Equivalent**
- **PLA : Physical Layer Agregation**
- **PLMN: Public Land Mobile Network, appelé réseau public terrestre**
- **POH: Path Over Head**
- **PSK : Phase Shift Keying**
- **PSTN: Public Switched Telephone Network** (en français **RTCP: Réseau Téléphonique Commuté Public**)
- **PTR: Pointeur**

## Q

- **QAM: Quadrature Amplitude Modulation**
- **QoS : Quality of Service**
- **QPSK: Quadrature Phase Shift Keying**

## R

- **RF: Radio Frequency**
- **RNC: Radio Network Controllor**
- **RNIS: Réseau Numérique à Intégration de Services** (en anglais **ISDN: Integrated Services Digital Network**)
- **RNS: Radio Network Sub-System**
- **RRC: Radio Resource Control**

## Liste des abréviations

### S

- **SC-FDMA:** Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access
- **SDH:** Synchronous Digital Hierarchy
- **SGSN:** Serving GPRS Support Node
- **SGW:** Serving GateWay
- **SIM:** Subscriber Identity Module
- **SIMO:** Single Input Multiple Output
- **SISO:** Single Input Single Output
- **SMF:** Single Mode Fiber
- **SMS:** Short Message Service
- **SOH:** Section Over Head
- **STM:** Synchronous Transfert Module
- **STM-n:** Synchronous Transport Module level n
- **STP:** Shieldes Twisted Pair

### T

- **TACS:** Total Access Communication System
- **TDD:** Time Division Duplex
- **TDMA:** Time Division Multiple Access (en français AMRT: Accès Multiple à Répartition dans le Temps)
- **TS:** Time Slot

### U

- **UE:** User Equipement
- **UL:** Up Link
- **UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System
- **UTP:** Unshielded Twisted Pair
- **UTRA :** Universal Terrestrial Radio Access
- **UTRAN:** Universal Terrestrial Radio Access Network (en français réseau universel d'accès radio terrestre)

### V

- **VLR:** Visitor Location Register
- **VoIP :** Voice over IP

## Liste des abréviations

### W

- **W-CDMA:** Wideband Code Division Multiple Access
- **WDM:** Wave Division Multiplexing
- **Wi-Fi:** Wireless Fidelity
- **Wi-MAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access

## Liste des figures

<b>Fig.1:</b> Principe de la technique FDMA.....	2
<b>Fig.2:</b> Principe de la modulation FM.....	3
<b>Fig.3:</b> Architecture du réseau GSM.....	4
<b>Fig.4 :</b> Représentation d'une station mobile.....	4
<b>Fig.5 :</b> Schéma représentant le sous système radio « BSS ».....	5
<b>Fig.6:</b> Photo d'une BTS outdoor.....	5
<b>Fig.7:</b> Photo d'une BTS indoor.....	5
<b>Fig.8:</b> Le contrôleur de la station de base.....	6
<b>Fig.9 :</b> Le sous système réseau «NSS».....	6
<b>Fig.10 :</b> Le concept cellulaire.....	8
<b>Fig.11 :</b> Les différents types de cellules.....	9
<b>Fig.12 :</b> Principe de fonctionnement d'un Handover.....	10
<b>Fig.13 :</b> Schéma représentant les différentes interfaces du GSM.....	11
<b>Fig.14 :</b> Principe de la technique TDMA.....	13
<b>Fig.15:</b> Architecture du GPRS.....	14
<b>Fig.16 :</b> Principe de la modulation 8PSK.....	15
<b>Fig.17 :</b> Architecture de l'UMTS.....	16
<b>Fig.18 :</b> Principe de la technique W-CDMA.....	18
<b>Fig.19 :</b> Principe des modulations n QAM.....	19
<b>Fig.20 :</b> Le câble à paires torsadées.....	22
<b>Fig.21:</b> Le câble coaxial.....	23
<b>Fig.22:</b> La fibre optique.....	24
<b>Fig.23:</b> Figure d'une fibre multi modes & mono mode .....	25
<b>Fig.24:</b> L'étape d'échantillonnage.....	26
<b>Fig.25 :</b> L'étape de quantification.....	26
<b>Fig.26 :</b> L'étape du codage.....	27
<b>Fig.27:</b> Représentation de la trame MIC primaire.....	27
<b>Fig.28:</b> Représentation de la trame PDH.....	28
<b>Fig.29:</b> Représentation de la trame SDH.....	29
<b>Fig.30:</b> Schéma représentant la technique de transmission FDM.....	30
<b>Fig.31:</b> Schéma représentant la technique de transmission TDM.....	30

## Liste des figures

<b>Fig.32:</b> Schéma représentant la technique de transmission WDM.....	31
<b>Fig.33:</b> Schéma représentant l'ellipsoïde de Fresnel.....	32
<b>Fig.34:</b> Figure représentant les trois catégories de LOS.....	34
<b>Fig.35:</b> Schéma représentant les caractéristiques d'une onde électromagnétique.....	35
<b>Fig.36:</b> La configuration non sécurisée (1+0).....	36
<b>Fig.37:</b> La configuration sécurisée (1+1) « hot standby Single antenna configuration ».....	37
<b>Fig.38:</b> La configuration sécurisée (1+1) « hot standby-Space diversity Double antenna».....	37
<b>Fig.39:</b> La configuration sécurisée (1+1) Twin path –Frequency diversity.....	37
<b>Fig.40:</b> La configuration (2+0).....	38
<b>Fig.41:</b> La configuration (4+0).....	38
<b>Fig.42:</b> Schéma illustrant les stations relai et station terminales.....	39
<b>Fig.43:</b> Schéma représentant la chaîne de transmission par faisceaux hertziens.....	40
<b>Fig.44:</b> Représentation des équipements d'une liaison FH.....	41
<b>Fig.45:</b> Représentation des polarisations de l'ODU.....	42
<b>Fig.46:</b> Cable IF.....	42
<b>Fig.47:</b> Coupler (Hybride).....	43
<b>Fig.48 :</b> Antenne sectorielle.....	44
<b>Fig.49:</b> Antenne parabolique.....	44
<b>Fig.50 :</b> Schéma illustratif des différentes pertes.....	44
<b>Fig.51:</b> Diagramme représentant les différentes pertes dans une liaison hertzienne.....	45
<b>Fig.52 :</b> Les atténuations dans l'espace libre.....	46
<b>Fig.53 :</b> Un graphe représentant l'effet de la pluie sur le signal émis.....	47
<b>Fig.54 :</b> Phénomène du fading « trajets multiples ».....	49
<b>Fig.55 :</b> Représentation du phénomène de space diversity.....	49
<b>Fig.56 :</b> Représentation du phénomène de frequency diversity.....	50
<b>Fig.57 :</b> Architecture de la LTE.....	54
<b>Fig.58 :</b> Le réseau d'accès E-UTRAN.....	55
<b>Fig.59 :</b> Le réseau cœur EPC.....	56
<b>Fig.60 :</b> Comparaison entre la technique OFDMA et SC-FDMA.....	59
<b>Fig.61 :</b> La trame LTE.....	59
<b>Fig.62 :</b> Figure qui montre la différence entre la TDD et la FDD.....	60
<b>Fig.63 :</b> Figure représentant les technologies: MIMO, MISO, SISO, SIMO.....	61
<b>Fig.64 :</b> Figure représentant l'E-bande.....	62
<b>Fig.65 :</b> Influence de la pluie sur la modulation et les services offerts.....	64

## Liste des figures

<b>Fig.66</b> : La Modulation 1024 QAM.....	64
<b>Fig.67</b> : Principe de la technologie «Mw-MIMO».....	65
<b>Fig.68</b> : La méthode PLA (Link bonding).....	65
<b>Fig.69</b> : L'icône du logiciel. ....	68
<b>Fig.70</b> : Fenêtre de l'ouverture du logiciel.....	69
<b>Fig.71</b> : Page d'accueil du logiciel Ellipse.....	69
<b>Fig.72</b> : La MAP d'un projet existant.....	70
<b>Fig.73</b> : Icône qui permet de créer un nouveau projet.....	70
<b>Fig.74</b> : Fenêtre permettant de faire le choix de la région.....	70
<b>Fig.75</b> : Figure indiquant la commande qui nous permet de créer un site.....	71
<b>Fig.76</b> : Fenêtre permettant d'introduire les coordonnées GPS.....	71
<b>Fig.77</b> : Commande permettant de créer une liaison.....	72
<b>Fig.78</b> : Fenêtre des différents espaces de paramétrage.....	72
<b>Fig.79</b> : Fenêtre indiquant le résultat du test de visibilité.....	73
<b>Fig.80</b> : LOS.....	73
<b>Fig. 81</b> : Near LOS.....	73
<b>Fig.82</b> : NON LOS.....	73
<b>Fig.83</b> : Figure de la commande permettant le paramétrage HBA.....	73
<b>Fig.84</b> : Commande permettant le test d'interférence.....	74
<b>Fig.85</b> : Fenêtre qui nous permet d'accéder aux paramètres des sites.....	74
<b>Fig.86</b> : Les 40 sites créés pour le réseau de troisième génération.....	75
<b>Fig.87</b> : Espace de paramétrage de l'antenne.....	76
<b>Fig.88</b> : Espace pour introduire les pertes totales.....	76
<b>Fig.89</b> : Espace de paramétrage et dimensionnement de la partie radio (ODU).....	77
<b>Fig.90</b> : Figure indiquant le choix du canal.....	77
<b>Fig.91</b> : Fenêtre qui montre les résultats d'absence d'interférences.....	78
<b>Fig.92</b> : Fenêtre qui montre les résultats d'interférences négligeable.....	78
<b>Fig.93</b> : Fenêtre qui montre les résultats d'interférences dues à la parité.....	79
<b>Fig.94</b> : Interférences provoqué par l'utilisation des canaux proches ou identiques.....	80
<b>Fig.95</b> : Fenêtre permettant l'ajout d'une fréquence.....	80
<b>Fig.96</b> : Figure indiquant les résultats du bilan de liaison.....	81
<b>Fig.97</b> : Fenêtre de paramétrage des sites.....	81
<b>Fig.98</b> : Le réseau de troisième génération créé à Tlemcen sans coordonnées géographiques..	82
<b>Fig.99</b> : La topologie Ring créée dans le réseau 3G.....	82

## Liste des figures

<b>Fig.100</b> : Une MAP du réseau de troisième génération créé (dans la région de Tlemcen avec les coordonnées géographiques).....	83
<b>Fig.101</b> : Commande qui permet d'analyser toutes les interférences du réseau.....	83
<b>Fig.102</b> : Fenêtre indiquant l'absence d'interférences dans toutes les liaisons créées.....	84
<b>Fig.103</b> : Résultat du bilan d'une liaison du réseau réalisé.....	84
<b>Fig.104</b> : Le réseau de quatrième génération créé à Tlemcen sans coordonnées géographique.....	86

## Liste des tableaux

<b>Tab.1</b> : Les interfaces du GSM.....	12
<b>Tab 2</b> : Tableau récapitulant les caractéristiques des générations du réseau mobile.....	20
<b>Tab.3</b> : Caractéristiques des catégories d'UE du LTE.....	54
<b>Tab.4</b> : Tableau indiquant les types de configurations en fonction des fréquences et des pertes.....	76
<b>Tab.5</b> : Le débit en fonction de la modulation et du Channel Spacing.....	77
<b>Tab.6</b> : variation des valeurs du Channel Spacing.....	85
<b>Tab.7</b> : Variation des types de modulation.....	85
<b>Tab.8</b> : Variation du Channel Spacing et type de modulation.....	86
<b>Tab.9</b> : Variation du type de configuration et la fréquence.....	86

# Sommaire

## Introduction

Chapitre I : introduction aux réseaux mobiles

Préambule.....	2
I.1.Le réseau de 1 <sup>ère</sup> génération (1G).....	2
I.1.1. Technique d'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access).....	2
I.1.2.Type de modulation utilisée.....	3
I.1.3. Limites du réseau de première génération.....	3
I.2. Le réseau GSM.....	3
I.2.1. Architecture du GSM.....	4
I.2.1.1. La station mobile(MS) :.....	4
I.2.1.2. Le sous système radio(BSS).....	5
a) La station de base BTS.....	5
b) Contrôleur de la station de base (BSC).....	6
I.2.1.3. Le sous-système réseau (NSS).....	6
a) Le centre de commutation mobile (MSC).....	7
b) Le registre de localisation nominale (HLR).....	7
c) Le registre de localisation des visiteurs(VLR).....	7
d) Centre d'authentification(AUC).....	7
e) Enregistreur des identités des équipements (EIR).....	8
I.2.1.4. Le sous système d'exploitation et de maintenance « OSS ».....	8
I.2.2. Caractéristiques du GSM.....	8
a) Concept cellulaire.....	8
b) Le Handover.....	9
I.2.3. Différentes interfaces du GSM.....	10
a) L'interface radio « Um ».....	10
b) L'interface «A-bis ».....	11
c) L'interface « A ».....	11
I.2.4. technique d'accès TDMA (Time Division Multiple Access).....	12
I.2.5.Type de modulation utilisé.....	13
I.3. Le GPRS « General Packet Radio Service » 2.5G.....	13

---

I.3.1. Nouveautés du réseau GPRS par rapport au réseau GSM.....	13
I.3.2. Comparaison entre le GSM et le GPRS.....	13
I.3.3. Architecture du GPRS.....	14
I.4. Le réseau EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) 2.75G.....	15
I.4.1.Type de modulation utilisé.....	15
I.5. Le réseau UMTS (Universal Mobile Terrestrial System) 3G.....	15
I.5.1. les objectifs de L'UMTS.....	16
I.5.2. Les services de L'UMTS.....	16
I.5.3. Architecture de l'UMTS.....	16
I.5.4. technique d'accès W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access).....	18
I.5.5.type de modulation utilisé.....	18
I.5.6.Limites du réseau UMTS.....	19
I.6.Perspectives sur la 4G (LTE).....	19
I.7. Tableau récapitulatif.....	20
I.8. conclusion.....	20

## **Chapitre II : Généralités sur la transmission et les faisceaux hertziens**

Préambule.....	22
<b>II.1. Partie 1 : Généralités sur les transmissions.....</b>	<b>22</b>
II.1.1.Définition du support de transmission.....	22
II.1.2. Les différents supports de transmission.....	22
II.1.2.1. Les supports guidés.....	22
a) Les paires symétriques.....	22
b) Les câbles coaxiaux.....	23
c) la fibre optique.....	23
II.1.2.2. Les supports libres.....	25
II.1.3.les technologies de transmissions.....	25
II.1.3.1. La trame MIC.....	25
II.1.3.2. la technologie PDH.....	27
a) Structure de la trame PDH.....	28
b) Les limites du PDH.....	28
II.1.3.3. la technologie SDH (Synchrono Digital hierarchie).....	28

---

a) Signification du SDH.....	28
b) Avantages du SDH.....	28
c) Structure de la trame SDH.....	29
II.1.4. les techniques de transmission.....	29
II.1.4.1. Multiplexage par division de fréquence FDM.....	29
II.1.4.2. Multiplexage par répartition dans le temps TDM.....	30
II.1.4.3. Multiplexage par répartition en longueur d'onde WDM.....	30
<b>II.2. partie II : transmission par faisceaux hertziens.....</b>	<b>31</b>
Préambule.....	31
II.2.1 Définition.....	31
II.2.2 L'ellipsoïde de Fresnel.....	32
II.2.3 caractéristiques des faisceaux hertziens.....	33
II.2.4. Comment se propage l'onde.....	34
II.2.4.1. Caractéristiques d'une onde électromagnétique.....	34
II.2.4.2. Propagation en espace libre.....	35
II.2.5 Types de propagation par faisceaux hertziens.....	35
II.2.5 .1. La propagation par faisceaux hertziens en visibilité directe.....	36
II.2.5.2. La propagation par faisceaux hertziens en non visibilité (transhorizon).....	36
II.2.6. Configurations des liaisons hertziennes.....	36
II.2.6.1. Configuration non sécurisée (1+0).....	36
a) La configuration (1+1).....	37
b) La configuration (2+0).....	38
c) La configuration (4+0).....	38
II.2.7. Chaîne de transmission d'une liaison FH.....	38
II.2.8. Equipements d'une liaison hertzienne.....	40
II.2.8.1. L'IDU.....	41
II.2.8.2. L'ODU.....	41
II.2.8.3. Câble IF.....	42
II.2.8.4. Le coupleur (Hybride).....	42

---

II.2.8.5.L'antenne.....	43
a) Le Gain.....	43
b) Polarisation .....	43
II.2.9. Bilan des liaisons.....	44
II.2.9.1.Les différentes pertes dans une liaison hertzienne.....	45
a) Atténuation en espace libre.....	45
b) Atténuation atmosphérique.....	46
c) Atténuation due au câblage.....	47
II.2.9.2.Les interférences.....	47
<b>II.3.Conclusion.....</b>	<b>50</b>

### **Chapitre III : Tout savoir sur le réseau LTE**

<b>III.1. Partie I: Généralités sur la LTE.....</b>	<b>52</b>
Préambule.....	52
III.1.1. Définition de la 4G /LTE.....	52
III.1.2. Normalisation du LTE.....	52
III.1.3. Buts de la 4G /LTE.....	53
III.1.4. Architecture de 4G /LTE.....	53
a) Catégories d'UE.....	54
b) Le réseau d'accès : L'e-UTRAN.....	54
c) Le réseau cœur : EPC.....	55
III.1.5. les nouveautés de la 4G /LTE.....	56
III.1.6. Caractéristiques de la 4G /LTE.....	57
III.1.7. Les exigences de la 4G /LTE.....	57
a) La capacité des utilisateurs.....	57
b) Les débits.....	57
c) La latence.....	58
d) La mobilité.....	58
e) L'émergence de l'OFDM.....	58
III.1.8. Les techniques de transmission dans le réseau 4G /LTE.....	58
III.1.9. Structure de la trame générique de la 4G LTE.....	59

---

III.1.10. Principe de la technologie MIMO.....	60
III.1.11. Qualité De Service «QoS».....	61
a) Définition.....	61
b) Les services de la LTE.....	61
<b>III.2. Partie II : Les solutions transmission pour la LTE.....</b>	<b>62</b>
Préambule.....	62
III.2.1.La technologie E-Band.....	62
III.2.2. La Modulation adaptative.....	63
III.2.3. Mw-MIMO (Microwave MIMO).....	64
III.2.4. La méthode PLA (Link bonding).....	65
III.2.5. La fonction XPIC (Dual polarisation).....	66
<b>III.3. Conclusion.....</b>	<b>66</b>

#### **Chapitre IV : Dimensionnement et Planification du réseau 4G/ LTE**

Préambule.....	68
IV.1.Partie 1 : présentation du logiciel de planification « Ellipse ».....	68
IV.2.Partie 2 : dimensionnement et planification d'un cas pratique.....	74
IV.3.Partie3: Passage du réseau de troisième génération (3G) au réseau de quatrième génération (4G).....	85
a) Changement du «Channel Spacing».....	85
b) Changement de la «modulation».....	85
c) Changement de la modulation et du Channel Spacing simultanément.....	86
d) Changement de la fréquence et du type de configuration simultanément.....	86
<b>IV.4.Conclusion.....</b>	<b>87</b>

#### **Conclusion**

## Introduction

La téléphonie mobile ne cesse de connaître des phases d'évolution liées aux progrès technologiques par le déploiement de plusieurs générations successives des réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie tels que le réseau de deuxième génération GSM et le réseau UMTS qui est un réseau de troisième génération orienté vers le multimédia.

Afin d'améliorer leurs performances et plus particulièrement l'augmentation du débit en data, d'autres évolutions ont vu le jour ces dernières années. Il s'agit essentiellement des réseaux HSDPA, HSUPA, leur combinaison le HSPA, et enfin le HSPA+. Cependant, ces dernières ont montré leurs limites en terme de capacité d'où la nécessité de définir une nouvelle norme appelée LTE, mise en œuvre pour pouvoir satisfaire les besoins croissants en débit.

AT MOBILIS est parmi les opérateurs algériens qui s'intéressent au déploiement de ces réseaux mobiles dans le pays et au renforcement de leur couverture. En collaboration avec cette entreprise, un travail de dimensionnement et de planification d'un réseau de 3<sup>ème</sup> génération a été créé en 2014 dans la région de Tlemcen afin de relier la région de Remchi avec le centre ville de Tlemcen [pour assurer la sécurité en cas de panne].

Notre travail qui s'est déroulé au sein de la direction générale de l'entreprise AT MOBILIS située à Bab-Ezzouar, consiste donc à développer ce réseau de 3<sup>ème</sup> génération en un réseau de 4<sup>ème</sup> génération (4G/LTE) en tenant compte des différentes exigences de ce dernier.

Ce travail est composé de deux principales parties : une étude théorique et une réalisation pratique. Dans la première, nous nous sommes intéressés à donner toutes les informations sur les différents réseaux mobiles en se basant sur le réseau 4G. Par contre la deuxième réalisée avec le logiciel « **Ellipse** », est basée sur la création et la configuration des sites et des liaisons hertziennes ainsi que le test d'interférence et le calcul du bilan de chacune de ces liaisons.

Notre manuscrit est organisé en quatre chapitres.

Dans le premier, nous passerons en revue les différents réseaux mobiles en présentant leurs architectures, caractéristiques, techniques d'accès et de

transmission, les modulations et leurs apports comparant aux réseaux déjà existants.

Nous présenterons ensuite dans le deuxième chapitre des généralités sur la transmission et plus particulièrement la transmission par faisceaux hertziens et des notions de base sur les technologies de multiplexage « PDH et SDH ».

Le troisième chapitre est consacré à une étude réseau 4G/LTE, en détaillant ses normes, ses buts, son architecture, ses caractéristiques, ses exigences et les principales solutions de transmission apportées par ce réseau.

La partie centrale de notre travail est présentée dans le quatrième chapitre. Elle a pour objectif le dimensionnement et la planification du réseau 4G/LTE. Nous allons d'abord décrire le logiciel que nous avons utilisé dans le cadre de notre application. Il s'agit du logiciel « Ellipse » qui est le logiciel de planification et de dimensionnement le plus récent utilisé par AT MOBILIS. Ensuite, nous allons présenter notre application permettant de développer le réseau de troisième génération réalisé à Tlemcen en un réseau de quatrième génération suivi de la présentation des résultats de la simulation.

Enfin, nous allons couronner notre travail par une conclusion en présentant quelques perspectives.

➤ **Présentation de l'entreprise :**

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

Entreprise innovante, ATM Mobilis utilise la convergence entre Internet et le téléphone mobile dans la gestion de sa communication devenant ainsi une véritable entreprise « Internet mobile ».

ATM Mobilis, s'est fixée l'objectif principal d'offrir un service de téléphonie mobile actuel, de qualité, efficace et accessible au plus grand nombre de personnes sur tout le territoire national.

➤ **Principales activités d'ATM Mobilis :**

- Installer, développer, exploiter et gérer les réseaux de la téléphonie mobile ;
- Maintenir et monter des équipements de téléphonie mobile;
- Fournir des prestations et mettre à la disposition de ses clients des produits de la téléphonie mobile;
- Etablir, exploiter et gérer les interconnexions permettant à tout opérateur de réseaux de téléphone mobile national ou international d'assurer la communication entre les clients;
- Assurer en permanence la disponibilité de ses produits pour l'ensemble des clients sur tout le territoire;
- Offrir ses produits et services dans le mobile en provenance et à destination des pays étrangers dans le respect des règles définies par le règlement international dans le domaine d'activité.
- Proposer à ses clients une large gamme de produits et de services innovants et de haute qualité ; offres post et pré payées adapté à tous les budgets, SMS vers tous les opérateurs en Algérie et à l'étranger, Roaming à l'international, messagerie vocale, ....

---

*CHAPITRE I:*  
*Introduction aux réseaux mobiles*

---

## Préambule

Le téléphone portable est devenu un moyen de communication indispensable dans notre quotidien, mais avant d'arriver à toute cette technologie, la téléphonie mobile est passée par un long trajet de modifications et d'améliorations technologiques. La téléphonie cellulaire est un premier pas vers une utilisation réellement mobile, cette dernière a permis à plusieurs utilisateurs de se communiquer sans encombrer la ligne.

### I.1. Le réseau de 1ère génération (1G)

Ce réseau reposait sur un système de communication mobile analogique et son matériel était particulièrement volumineux. Dans cette technologie, chaque pays développait son propre système. Le premier réseau appelé l'AMPS (Advanced Mobile Phone System) était un réseau analogique développé aux états unis en 1978. Ensuite, le réseau NMT (Nordic Mobile Telephone) fait son apparition en Scandinavie en 1981. Enfin, le système TACS (Total Access Communication System) reposant sur l'AMPS est utilisé pour la première fois en Grande-Bretagne et au Japon.

#### I.1.1. Technique d'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Une technique d'accès est l'opération de partage des ressources radio qui permet aux différents usagers mobiles d'accéder au réseau, autrement dit Accès Multiple.

Le fonctionnement du réseau de la première génération (précisément le réseau AMPS) reposait sur la technologie **FDMA** : Dans cette technique on associe à chaque abonné une bande de fréquence (partage en fréquence).

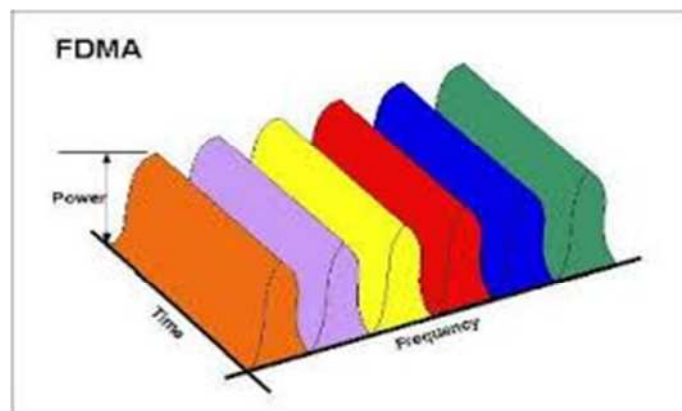


Fig.1: Principe de la technique FDMA.

### I.1.2.Type de modulation utilisé

Le réseau de première génération utilisait **la modulation de fréquence(FM)** : c'est un signal harmonique (porteur de l'information), dont l'amplitude est constante contrairement à sa fréquence qui varie en fonction d'un autre signal (message).

Comme dans tout les cas de modulation, le message est un signal à basse fréquence (BF), et la porteuse un signal à haute fréquence (HF).

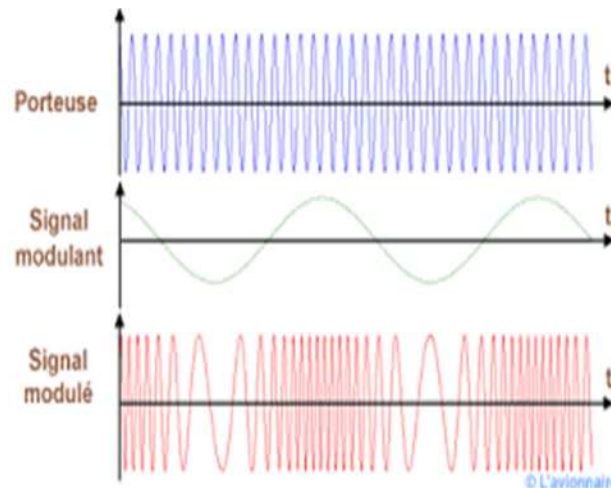


Fig.2: Principe de la modulation FM.

### I.1.3. Limites du réseau de première génération

Cette technologie a ouvert les portes de la téléphonie mobile mais a rencontré beaucoup d'inconvénients tels que :

- sa transmission analogique non sécurisée (espionnage des appels),
- ses services limités (voix seulement),
- l'impossibilité de conserver son numéro sur le réseau d'un autre opérateur existant dans un autre pays...etc.

C'est ce qui a donné naissance à d'autres générations afin de compléter et de dépasser ces limites.

## I.2. Le réseau GSM

Le réseau GSM (Global System Mobil) est un réseau de deuxième génération (2G) apparu dans les années 90, dont le principe est de sécuriser les données (cryptage) en s'appuyant sur les transmissions numériques.

La transformation radicale dans l'architecture de la 1G, a permis de résoudre le problème de la mobilité rencontré ; Ce changement autorise un débit de 9.6Kbps et

offre une meilleure qualité ainsi qu'une plus grande capacité et une meilleure qualité d'écoute. Ces nouveaux services ont rendu la communication plus fluide et ont offert la possibilité d'émettre des mini messages (SMS, limités à 80 caractères).

I.2.1. Architecture du GSM

Comme le montre la **figure 3**, le réseau GSM est composé essentiellement de : la station mobile(MS), le sous système radio (BSS), le sous système réseau (NSS), le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) [1].

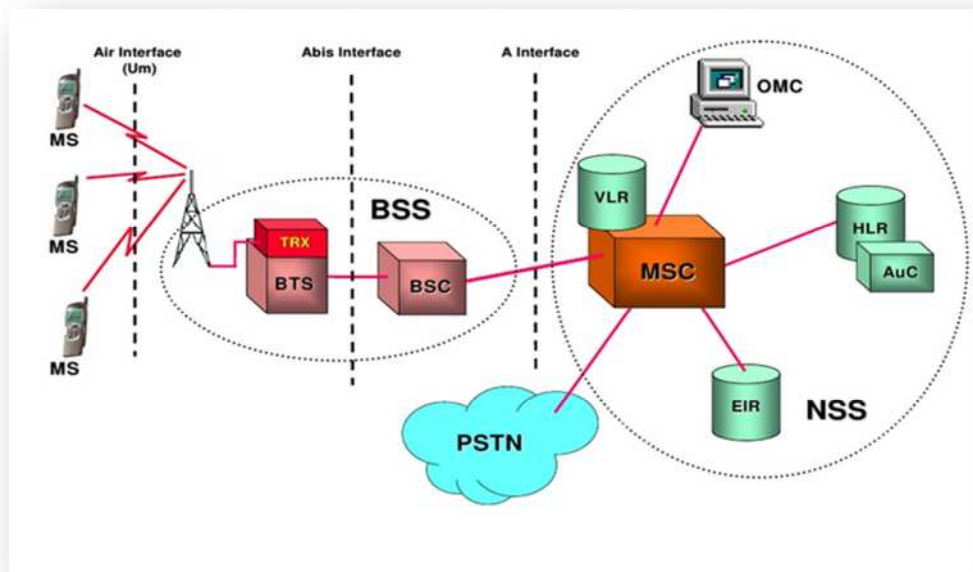


fig.3: Architecture du réseau GSM

I.2.1.1. La station mobile(MS)

C'est la première entité dans l'architecture du GSM, elle est composée du mobile et de la carte SIM.

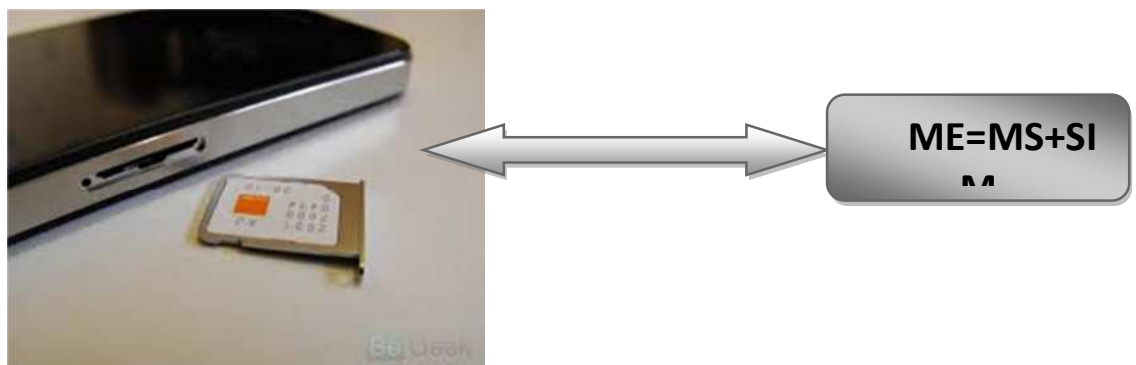


fig.4 : Représentation d'une station mobile

### I.2.1.2. Le sous système radio(BSS)

La BSS (Base Station Sub-system) est la partie radio du réseau GSM qui connecte l'abonné à la station BTS.



Fig.5 : Schéma représentant le sous système radio « BSS »

#### a) La station de base BTS

BTS (Base Transceiver Station) s'occupe de la transmission radio: la modulation, la démodulation, le codage et la correction d'erreurs.

Fig.6: Photo d'une BTS outdoor

Fig.7: Photo d' une BTS indoor

b) Contrôleur de la station de base (BSC)

BSC (Base Station Controller) est l'organe intelligent du BSS, responsable de la partie radio du réseau GSM, qui contrôle une ou plusieurs BTS communiquant entre elles par le biais de l'interface A-bis. Elle fonctionne comme un relais pour gérer les différents signaux d'alarme.

fig.8: Le contrôleur de la station de base

I.2.1.3. Le sous-système réseau (NSS)

NSS (Network Station Sub-System) assure la commutation et le routage, et gère aussi l'acheminement des appels et la mobilité des abonnés.

Fig.9 : Le sous système réseau «NSS»

## a) Le centre de commutation mobile (MSC)

Le MSC (Mobile Switching Center) est un commutateur du service mobile qui accomplit plusieurs rôles dont :

- la gestion des communications mobiles sous sa couverture,
- la transmission des messages courts,
- la fonction de passerelle lors d'appel d'abonné fixe vers un mobile GMSC (Gateway MSC).

## b) Le registre de localisation nominale (HLR)

Le HLR (Home Location Register) est une entité basique d'un réseau PLMN. C'est la base de données qui contient toutes les informations de localisation de l'abonné, et mémorise aussi les données concernant le terminal de l'utilisateur : allumé, éteint, ou en communication.

Le HLR contient:

- le numéro d'identification internationale de l'abonné (IMSI),
- le profil de l'abonnement, c.-à-d toutes les informations relatives aux abonnés (le type d'abonnement, les services souscrits, autorisation d'appel international)....
- le numéro d'annuaire de l'abonné (MSISDN : Mobile Station Integrated service digital Number).

## c) Le registre de localisation des visiteurs (VLR)

Le VLR (Visitor Location Register) est une base de données attachée aux MSC, contenant des données dynamiques qui sont transmises par le HLR. Lors du passage de l'abonné d'une zone à une autre, ces données sont transmises à un autre VLR (les données suivent l'abonné en quelque sorte).

## d) Centre d'authentification (AUC)

L'AUC (Authentication Unit Center) est un centre de maintenance et sécurité qui assure la sécurité et la confidentialité des communications des abonnés. L'opérateur doit donc s'assurer que la communication ne s'agit pas d'une usurpation.

On distingue trois niveaux de sécurité :

- la carte SIM qui empêche l'intrusion de chaque abonné non enregistré dans le réseau,
- le codage des communications qui élimine toute possibilité d'écoute,
- la confidentialité de l'identité de l'abonné.

e) Enregistreur des identités des équipements (EIR)

L'EIR (Equipment Identity Register) est une base de données qui contient les identités des terminaux (IMEI : International Mobile Equipment Identity). En cas de vol, l'EIR élimine toutes possibilités de réutilisation du terminal détecté comme étant un perturbateur du réseau.

I.2.1.4. Le sous système d'exploitation et de maintenance « OSS » (Operation Support Sub-system) : Permet à l'opérateur d'exploiter son réseau en proposant des services de type "voix" à ses clients et également d'offrir une meilleure qualité de services aux abonnés.

## I.2.2. Caractéristiques du GSM

Le réseau GSM se caractérise par :

a) Concept cellulaire

Dans un réseau GSM, le territoire est découpé en petites zones appelées cellules.

Un réseau cellulaire est un réseau de télécommunication mobile qui doit répondre aux contraintes imposées par la mobilité de l'abonné, l'étendu et enfin par les ondes radio alloués à ce réseau.

Chaque cellule est équipée d'une station de base fixe munie de ses antennes installées sur un point haut (château d'eau, cloché d'église, immeuble ...).

Les cellules sont de formes hexagonales mais la portée réelle des stations dépend de la configuration du territoire arrosé et du diagramme de rayonnement des antennes d'émission. Dans la pratique, les cellules se recouvrent donc partiellement. [2]



Fig.10 : Le concept cellulaire

➤ Différents types de cellules

Trois types de cellules sont généralement introduits dans les réseaux à haute densité :

- La macro cellule: quelque dizaines de kilomètres de rayon, elle représente le milieu rural, dans ce cas les antennes d'émission sont placées sur des sites élevés pour assurer une bonne couverture.
- La microcellule: quelque centaines de mètres de rayon qui est adaptée à l'environnement urbain dense et dont les antennes sont situées au-dessous de niveau des toits.
- La Pico cellule : petite cellule de quelque dizaine de mètres, souvent en intérieur.



Fig.11 : Les différents types de cellules

**Que se passe-t-il lorsqu'on téléphone à partir d'un mobile GSM ?**

Le mobile transmet par radio la communication vers la station de base de sa cellule. La conversation est ensuite acheminée de façon plus classique (câble, fibre optique ...) vers le correspondant s'il est raccordé au réseau téléphonique filaire, ou à sa station de base s'il est équipé d'un mobile. Cette station de base transmet finalement la conversation par radio au correspondant.

**b) Le Handover**

- Rôle du Handover : Son rôle est d'assurer le transfert intercellulaire, du signal transmis par le terminal mobile, i.e. : permet à un téléphone mobile ou un Smartphone de changer de cellule (se déplacer) sans interruption (coupure de l'appel).

Fig.12 : Principe de fonctionnement d'un Handover

- Les différents types du Handover
  - Le Handover intracellulaire : intervient pour améliorer la qualité quand le signal est suffisant, il intervient pour corriger les interférences existants sur les canaux radio, donc il suffit de changer de canal sans changer de cellule.
  - Le Handover intercellulaire : par contre ce type de Handover intervient quand le signal devient insuffisant, la communication donc est basculée sur la BTS d'une cellule voisine.

### I.2.3. Différentes interfaces du GSM

Les interfaces sont des composantes importantes du réseau car elles assurent le dialogue entre les équipements et permettent leur interfonctionnement.

Le réseau GSM comporte essentiellement trois interfaces :

a) L'interface radio « Um »

Elle est localisée entre la station mobile et la station de base (MS – BTS). C'est l'interface la plus importante du réseau.

b) L'interface «A-bis »

Elle est définie entre la BTS et le BSC. Elle supporte la transmission de communication des usagers et de la signalisation. la plus part des messages de signalisation sont échangés entre le BSC, le MSC et la station mobile(MS):La BTS a alors une fonction de relais.

c) L'interface « A »

Elle définit l'interfonctionnement entre le MSC et le BSC.

Fig.13 : Schéma représentant les différentes interfaces du GSM

En plus des principales interfaces qu'on a citées auparavant on trouve d'autres interfaces qui sont présentées dans le tableau suivant :

<b>Interface</b>	<b>Equipements</b>	<b>Fonction Principale</b>
<b>Um</b>	BTS-Mobile	Interface radio FDMA/TDMA. Cette interface est normalisée.
<b>A-bis</b>	BTS-BSC	Supervision de la BTS. Activation/désactivation des ressources radio. Cette interface n'est pas normalisée.
<b>A</b>	BSC-MSC	Etablissement et libération de la communication Allocation des ressources et gestion du Handover.
<b>B</b>	MSC-VLR	Echange d'informations usager et mis à jour de zone de localisation. Cette interface est non normalisée car les fonctions du MSC et du VLR sont souvent intégrées dans un seul équipement.
<b>C</b>	GMSC-HLR	Interrogation du HLR pour joindre un abonné mobile.
<b>D</b>	VLR-HLR	Le VLR informe le HLR de la localisation du mobile, Le HLR fournit au VLR les informations relatives à l'abonné.
<b>E</b>	MSC-MSC	Gestion du Handover.
	MSC-GMSC	Transport des SMS.
<b>G</b>	VLR-VLR	Gestion du changement de zone de localisation.
<b>F</b>	MSC-EIR	Vérification de l'identité du terminal.
<b>H</b>	HLR-AUC	Echange des informations nécessaires au chiffrement et à l'authentification.

Tab.1 : Les interfaces du GSM

#### I.2.4. technique d'accès TDMA (Time Division Multiple Access)

Le réseau de deuxième génération reposait sur la technique TDMA qui permet à chaque abonné d'occuper toute la bande de fréquence mais pendant un temps très court. Et dans chaque trame 8 abonnés peuvent communiquer l'un après l'autre en partageant la même bande de fréquence (partage en temps).

Fig.14 : Principe de la technique TDMA

#### I.2.5.Type de modulation utilisé

Le réseau GSM utilisait la modulation **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)** :C'est une technique utilisée pour porter le signal à haute fréquence. Comme son nom l'indique il s'agit d'une variante d'une modulation MSK appartenant à la famille des modulations de fréquence (FM) numérique.

#### I.3. Le GPRS « General Packet Radio Service » 2,5G

On peut présenter le GPRS comme une évolution du GSM sans changer le réseau de base afin d'autoriser le transfert de données par paquets.

Son introduction vise à corriger les imperfections du GSM :

- Trop orienté sur "téléphonie" et pas assez orienté sur les "données"
- Faible débit
- Fiabilité non assurée

##### I.3.1. Nouveautés du réseau GPRS par rapport au réseau GSM

Tout d'abord, un débit plus important allant jusqu'à 144 Kbits/s ce qui est beaucoup plus confortable. Ensuite un certain nombre de services supplémentaires

orientés data : la diffusion d'informations graphiques (une des possibilités les plus remarquables est la prise de photographie suivie de sa transmission). [3]

### I.3.2. Comparaison entre le GSM et le GPRS

Il faut insister aussi sur une importante différence entre le réseau GSM et le réseau GPRS : le premier travaille en mode "circuit" comme le téléphone "ordinaire", le second en mode "paquet". Cela signifie que l'information est découpée en paquets (comme dans IP) et qu'un canal logique GPRS transmet des paquets. La connexion n'est assurée que pendant la transmission de paquets (pas de silence) alors qu'en mode "circuit", la connexion reste maintenue tant que l'un des abonnés n'a pas raccroché (le silence est donc facturé comme la parole).

### I.3.3. Architecture du GPRS

Fig.15: Architecture du GPRS

Le réseau GPRS utilise le réseau GSM pour la couche physique. Il faut simplement y adjoindre deux nœuds supplémentaires [4]:

- **SGSN (Serving GPRS Support Node)** : ses fonctionnalités principales sont la gestion de la mobilité (changement de cellule), et la conversion des données du terminal en paquets de type IP (et inversement).
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** : il assure la connexion avec les réseaux de données de type Internet (accès à un réseau local d'entreprise, accès à un serveur Web).

Un module logiciel est toutefois ajouté au BSC : PCU (Packet Control Unit) qui fait la différence entre les données "circuit" de GSM et les données "paquet" de GPRS.

#### I.4. Le réseau EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) 2.75G

Si les informations deviennent volumineuses, le débit du GPRS n'est plus suffisant et c'est au niveau de la couche physique que se situe l'évolution vers de hauts débits ce qui a donné naissance au réseau EDGE.

Dans le GSM, le codage s'effectue de manière simple : on utilise deux signaux qui correspondent soit à un "0", soit à un "1". Un signal radio transporte donc 1 bit (modulation GMSK : (Gaussian Multiple Shift Keying) [5]).

Dans le réseau EDGE, le codage utilise une modulation de phase permettant de transporter 3 bits par signal, la modulation 8PSK (8-Phase Shift Keying) : Le débit est alors multiplié par 3 par rapport au GPRS.

Le seul avantage qu'apporte le réseau EDGE par rapport au GPRS c'est la possibilité qu'un abonné occupe plus d'un time slot successifs par trame et cela pour éliminer les temps de latence existant dans le réseau GPRS.

##### I.4.1. Type de modulation utilisé

Le réseau EDGE utilisait la modulation **8PSK (Phase Shift Keying)** : Désigne une famille de formes de modulations numériques qui ont toutes pour principe de véhiculer de l'information binaire via la phase d'un signal de référence (porteuse), et exclusivement par ce biais.

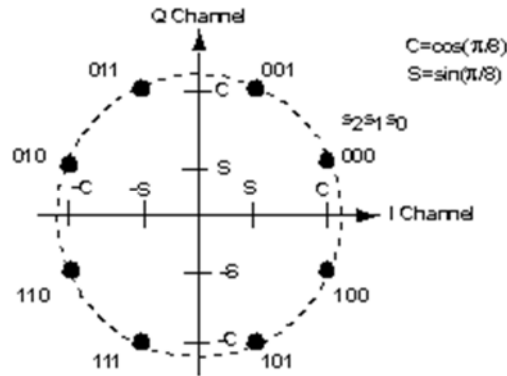


Fig.16 : Principe de la modulation 8PSK

### I.5. Le réseau UMTS (Universal Mobile Terrestrial System) 3G

L'UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM & GPRS qui apportent des fonctionnalités respectives de voix et de données. L'UMTS apporte ensuite des fonctionnalités multimédias.

#### I.5.1. les objectifs de L'UMTS

L'UMTS devra répondre après l'an 2000 à un marché de masse pour les services de communication avec les mobiles.

- Offrir un service de mobilité universelle, dépassant les limitations dues à la multiplicité des systèmes et des réseaux. La couverture de l'UMTS sera donc mondiale.
- Supporter de nouveaux services à débit élevé. En ce qui concerne la qualité de service, elle devra être équivalente à celle des réseaux filaires.

Les caractéristiques minimales requises pour assurer le démarrage de l'UMTS portent sur trois domaines: Les services, le réseau d'accès radio et le réseau de transport.

#### I.5.2. Les services de L'UMTS

- Possibilité de multimédia avec mobilité complète.
- Accès efficace à l'Internet, aux Intranet et autres services supportés par le Protocole Internet (IP).
- Haute qualité audio, comparable à celle des réseaux fixes.
- Portabilité des services entre différents environnements UMTS.

- Exploitation à l'intérieur, à l'extérieur et à grande distance des services GSM/UMTS.

### I.5.3. Architecture de l'UMTS

Fig.17 : Architecture de l'UMTS

Le réseau UMTS est constitué de trois entités principales :

**1- Le réseau fixe CN (Core Network)**

Assure la gestion de la localisation et le contrôle des paramètres du réseau.

**2- Le réseau UTRAN : UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)**

Assure la gestion de ressources radio (Handover, allocation de ressources,..) et l'accès au réseau fixe via l'interface Iut. Les différents constituants de ce réseau d'accès UTRAN sont :

- **Le Node B**

Son rôle principal est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules de l'UTRAN.

- **Le RNC : (Radio Network Controller)**

Son rôle principal est le routage des communications entre le Node B et le réseau cœur.

**3-L'équipement d'utilisateur UE (User Equipment)**

C'est l'équipement exploité par l'utilisateur afin d'accéder aux différents services fournis par l'UMTS via l'interface radio UTRA.

Le **3GPP** (3rd Generation Partnership Project), qui gère cette norme, l'a constamment amélioré, notamment pour augmenter les débits et pouvoir prendre en charge un nombre plus important d'abonnés. Les normes associées à cette génération sont [6]:

- **La norme HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)** : Elle offre des performances dix fois supérieures à la 3G, permettant d'obtenir des débits de téléchargement très élevés mais uniquement sur le flux descendant (Download); en associant plus de canaux de transport dans la direction descendante (15 canaux peuvent être alloués au même utilisateur), elle permet un débit : 14 Mb/s (Download) ET 2Mb/s (Upload).
- **La norme HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)** : Elle apporte des améliorations uniquement au flux montant (Upload) en associant plus de canaux de transport dans la direction montante permettant un débit d'envoi (d'upload) de : 14 Mb/s (Download) ET 5,7Mb/s (Upload).
- **La norme HSPA+(High Speed Packet Access)** : nommée H+, 3GPP, est une norme de téléphonie mobile 3G de la famille UMTS ; c'est une évolution de la norme HSPA permettant d'atteindre des débits théoriques de : 42Mb/s(Download) et 11 Mb/s(Upload).

#### I.5.4. technique d'accès W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

Le réseau UMTS utilise une version de CDMA (le multiplexage par code à large bande) permettant d'atteindre des débits allant jusqu'à 2Mbps [7]. Dans cette technique, les abonnés accèdent simultanément à toute la bande de fréquence ; et le code associé à chaque abonné nous permet de les distinguer l'un de l'autre (partage en code).

Fig.18 : Principe de la technique W-CDMA

#### I.5.5.type de modulation utilisé

Le réseau de troisième génération (UMTS, HSUPA, HSDPA et HSPA+) utilisait la modulation **16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)**: Cette technique fait la combinaison entre la modulation de phase et d'amplitude qui permet d'offrir des débits binaires élevés.

La plus part des FH fonctionnent en modulation d'amplitude en quadrature de phase, et dans cette modulation on dispose de ( $2^n$ ) états du signal, ce qui permet de transmettre «n» bit par symbole. On peut avoir la : 2QAM, 4QAM, 8QAM, 16QAM, 32QAM et 64QAM cette dernière est utilisée dans le réseau de quatrième génération (haut débit).



Fig.19 : Principe des modulations n QAM

#### I.5.6.Limites du réseau UMTS

On peut dire que les limites de débits imposées par le GSM appellent à la nouvelle génération de systèmes à plus fort débit l'UMTS, mais ses nouvelles caractéristiques de l'interface radio imposent des contraintes ayant une incidence directe sur la conception des sites radio UMTS qui est le phénomène de respiration des cellules c'est-à-dire l'interdépendance entre la taille et le trafic supporté dans une cellule et l'impact de l'interférence sur la capacité et la performance du système. Par contre en GSM, la portée d'une cellule est conditionnée seulement par la densité des usagers et la nature de l'environnement radio (urbain, suburbain, rurale).

#### I.6.Perspectives sur la 4G (LTE)

Les performances de la future téléphonie 4<sup>ème</sup> Génération, c'est l'utilisation des toutes dernières technologies numériques afin d'offrir un débit pour les téléphones portables bien supérieur à ce qui se fait avec la 3G actuelle. Les quantités de données seront envoyées à une vitesse bien supérieure au Wifi et au WiMax. L'objectif est d'atteindre une vitesse de transfert de 100 Mb par seconde et jusqu'à 1 Gb par seconde. L'une des techniques est d'utiliser plusieurs antennes par émetteur et par transmetteur,

connue sous le nom de Multiple Input Multiple Output (MIMO). De plus, contrairement aux réseaux de téléphonie mobile actuels où la gamme de fréquence est définie très précisément par des standards, le nouveau concept de ce projet est d'utiliser la technique de radio cognitive qui consiste à trouver automatiquement la bande de réseau la moins encombrée et la plus efficace parmi une très large bande disponible afin d'optimiser les flux de données. La technologie 4<sup>ème</sup> Génération sera disponible d'ici cinq à dix ans.

### I.7. Tableau récapitulatif

Réseaux mobiles Caractéristiques	1G	2G	2.5G	2.75 G	3G				4G	4G/ LTE
	AMPS/NM T	GSM	GPRS	EDGE	UMTS	HSDPA	HSUPA	HSPA+	LTE	LTE-A
Analogique/numérique	Analog	Num	Num	Num	Num	Num	Num	Num	Num	Num
Modulation	FM	GMSK	GMSK	8PSK	16QAM	16QAM	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
Techniques d'accès	FDMA	TDMA	TDMA	TDMA	W- CDMA	W- CDMA	W- CDMA	W- CDMA	OFDMA /SCFDM A	OFDMA /SCFDM A
Capacités	Non	9.6 Kbps	144 Kbps	384 kbps	2 Mbps	14/2 Mbps	14/5.7 Mbps	42/11 Mbps	150/50 Mbps	1 Gbps
Services	Voix	Voix et sms	Voix +Data	Voix +Data	V+D+M ultimédi a	V+D+M ultimédi a	V+D+M ultimédi a	V+D+M ultimédi a	V+D+M ultimédi a	V+D+M ultimédi a
Bande passante	30 Khz	200 Khz	200 Khz	200 Khz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	20 Mhz	20 Mhz
Nouveauté	R-A-S	Accès+ Core	Core	La même	accès	La même	La même	Core	Accès+C ore	Core
Sécurité	Non	AUC	AUC	AUC	AUC	AUC	AUC	AUC	MME	MME

Tab.2 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des générations du réseau mobile.

### I.8. conclusion

Dans ce chapitre introductif on a donné un aperçu sur les différentes générations de la téléphonie mobile, et leurs différentes caractéristiques, architectures et limites.

Pour le réseau 4G(LTE), nous avons présenté un bref aperçu et dans le troisième chapitre nous le détaillerons.

---

## **CHAPITRE II:**

### *Généralités sur la transmission et les faisceaux hertziens*

---

## Préambule

Le réseau de communication a pour rôle d'assurer la liaison entre deux points, il transporte l'information depuis un émetteur vers un (ou plusieurs) récepteur, connectés entre eux par un canal de transmission.

Dans le présent chapitre on va se baser sur la transmission par faisceaux hertziens appeler aussi liaisons radioélectriques, qui utilisent la propagation des ondes électromagnétiques dans l'air libre.

### II.1. Partie 1 : Généralités sur les transmissions

Dans cette partie on va présenter des généralités sur la transmission ; dont on va citer les supports de transmission existant et leurs types et les technologies de transmission utilisée.

#### II.1.1. Définition du support de transmission

Nous entendons par support de transmission tous les moyens par lesquels on peut conduire un signal de son lieu de production jusqu'à sa destination avec le moins possible de pertes et de distorsions.

#### II.1.2. Les différents supports de transmission

Afin que les informations circulent au sein d'un réseau, il est nécessaire de relier les différentes unités de communication à l'aide d'un support de transmission. Un support de transmission est un canal physique qui permet de relier des ordinateurs et des périphériques. Les supports se décomposent en deux catégories : guidés et libres (non guidés).

##### II.1.2.1. Les supports guidés

###### a) Les paires symétriques

Une paire torsadée est une ligne de transmission formée de deux fils conducteurs enroulés en hélice (l'un autour de l'autre), la figure suivante illustre un câble à paire torsadée ;

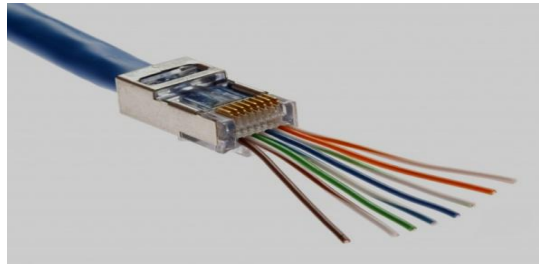


Fig.20 : Le câble à paires torsadées.

On distingue deux types :

- **Le câble à paires torsadées blindées STP (Shielded Twisted –Pair)** : utilisés généralement dans les réseaux LAN, Il offre une meilleure protection contre les interférences et une grande qualité. Ces câbles utilisent le connecteur RJ 45 qui est similaire au connecteur RJ 11. On les appelle souvent des câbles Ethernet 10baseT.
- **Le câble à paires torsadées non blindées UTP (Unshielded Twisted –Pair)** : C'est le type de câble le plus utilisé et le moins coûteux, il est extrêmement souple et léger ce qui permet son installation facile, mais il n'offre pas la connexion entre les ordinateurs à grande distance.

#### **b) Les câbles coaxiaux**

Le câble coaxial est composé d'un fil de cuivre entouré successivement d'une gaine d'isolation, d'un blindage en métal et d'une gaine extérieure. On distingue 2 types de câbles coaxiaux:

- **Le câble coaxial fin** (appelé câble 10 base 2) : Peut transporter le signal jusqu'à 185m sans affaiblissement, la distance maximale est 200m. Le câble coaxial fin fait partie de la famille des RG-58 dont l'impédance (la résistance) est de 50 ohms ;
- **Le câble coaxial épais** (appelé câble 10 base 5) : Peut transporter le signal jusqu'à 500m sans affaiblissement. Il est utilisé sur les grandes machines. Ces câbles utilisent les connecteurs BNC pour le raccordement avec les câbles réseaux. La figure suivante illustre un câble coaxial ;



Fig.21:Le câble coaxial.

### c) la fibre optique

La fibre optique est le support de transmission utilisé pour la réalisation des réseaux à grande distance, mais très sensible et coûteux.

Les informations échangées entre les ordinateurs se font à l'aide de signaux électriques qui seront convertis en signaux lumineux avant d'être transmis sur un câble optique. Le câble optique fait circuler les informations dans un conducteur central en verre ou en plastique qui est enveloppé de Silicone ou plastique pour empêcher la perte du signal, à la réception ces signaux lumineux sont à nouveau convertis en signaux électriques pour être exploités par l'ordinateur.

Elle est composée d'un cœur, une gaine optique, une gaine primaire et une protection.

Le schéma suivant représente la fibre optique

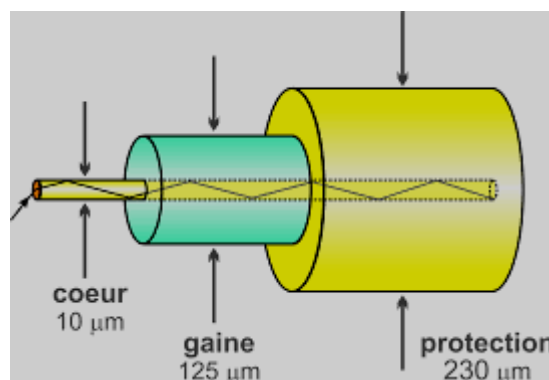


Fig.22:La fibre optique.

On distingue deux types de fibre optique :

- **Les fibres multi modes ou MMF (Multi Mode Fiber) :**

Elles ont été les premières sur le marché, ces fibres peuvent transporter plusieurs modes (trajets lumineux) simultanément. Du fait de la dispersion des trajets, on constate un étalement temporel du signal. C'est pour cela qu'elles sont utilisées

dans les réseaux locaux (quelques centaines de mètres). Son diamètre est relativement important (50 à 85 microns).

- **Les fibres monomodes, ou SMF (Single Mode Fiber):**

Sont utilisées pour les réseaux de plus longues distances grâce à leur qualité de transmission. Le cœur d'une fibre optique monomode est extrêmement fin (quelques microns). La transmission des données y est assurée par des lasers. La figure suivante montre la différence entre la fibre optique monomode et multi mode ;

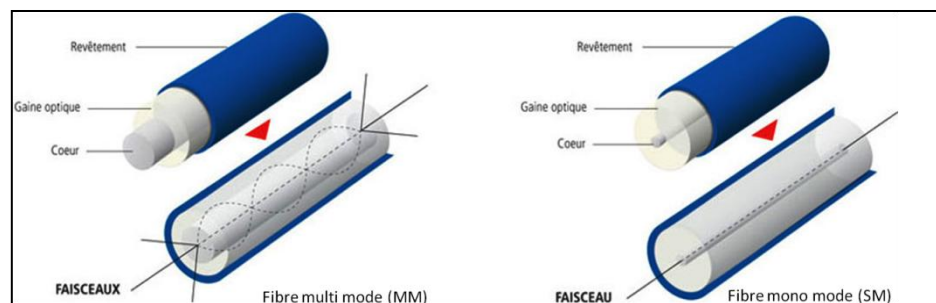


Fig.23: Figure d'une fibre multi modes & mono mode

### II.1.2.2. Les supports libres

Sur les réseaux où les ordinateurs sont distants et ne peuvent pas être connectés physiquement, la solution consiste à utiliser un support de transmission sans fil comme : les micro-ondes (faisceaux hertziens), les rayons infrarouges ou encore les satellites.

### II.1.3.les technologies de transmissions

Le réseau de transmission qui comporte les lignes de transmission et les équipements de groupements implante les technologies : PDH, SDH et Ethernet.

#### II.1.3.1. La trame MIC (Multiplexage par Impulsions Codées):

La trame MIC a été développée pour la communication temporelle des voix téléphoniques numériques. Elle nous permet de multiplexer 30voix téléphoniques, par la suite ces 30voix ont été utilisées pour transmettre toute sorte de données numériques (FAX, VIDEO...etc.). Cette trame MIC permet non seulement de transmettre les 30 voix mais aussi, leur signalisation, et la synchronisation de l'ensemble des informations. Le signal entrant vers la trame doit passer par les étapes suivantes :

Echantillonnage du signal, Quantification indépendante de chaque échantillon, Codage numérique des valeurs quantifiées.

- ✓ **L'échantillonnage** : consiste à prélever des valeurs du signal analogique (échantillons du signal analogique) à intervalles de temps égaux. Le signal est « découpé » régulièrement dans le temps. L'intervalle de temps entre deux valeurs prélevées est la durée d'échantillonnage ou période d'échantillonnage  $T_e$ , la fréquence d'échantillonnage  $F_e$  qui représente le nombre de prélèvements effectués par seconde, est égale à l'inverse de la durée d'échantillonnage. Cette fréquence d'échantillonnage est imposée par le critère de Shannon (la fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale au double de la plus grande des fréquences du signal analogique :  $F_e \geq 2f_{\max}$ ).

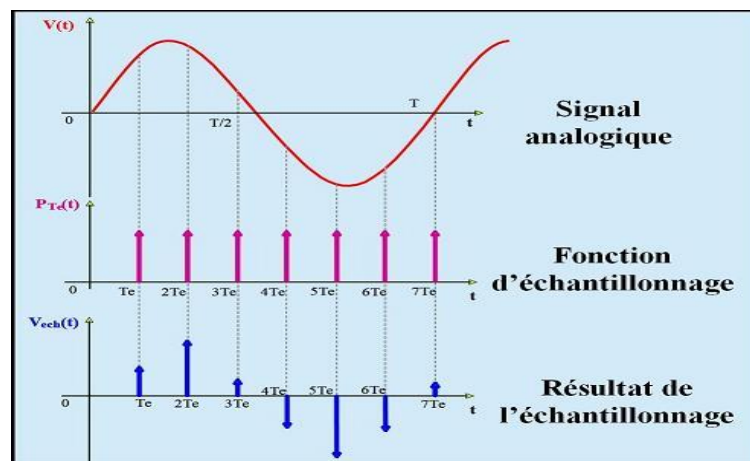


Fig.24:L'étape d'échantillonnage

- ✓ **La quantification** : elle correspond à l'opération de comparaison entre la valeur analogique et sa valeur numérique la plus proche. Cette opération a l'inconvénient d'ajouter du bruit parasite dans le signal.

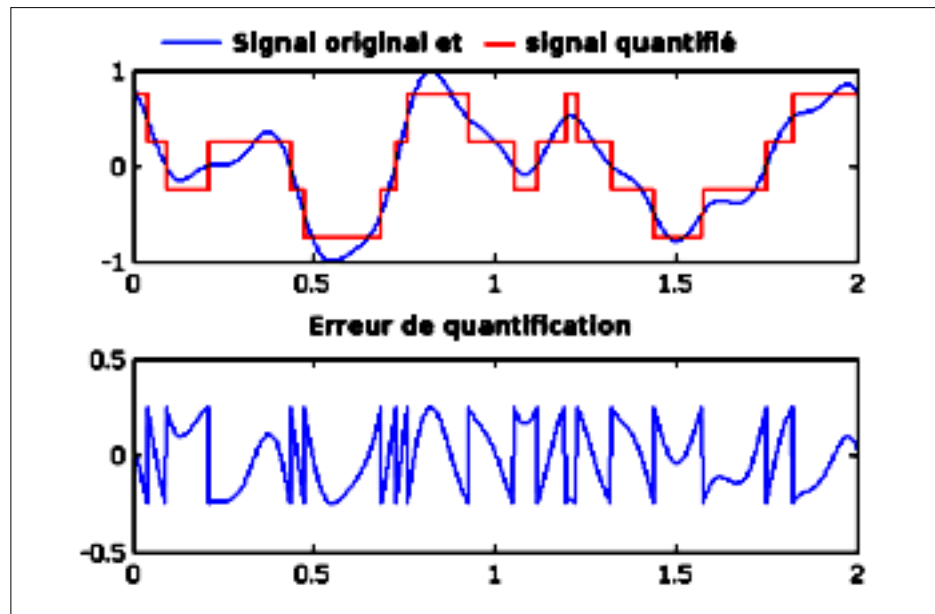


Fig.25 :L'étape de quantification

- ✓ **Le codage** : chaque échantillon quantifié est converti en une grandeur numérique par le CAN (Convertisseur Analogique Numérique) : nombre binaire (suite de 0 et de 1). La figure suivante représente l'étape du codage sur 4bits.

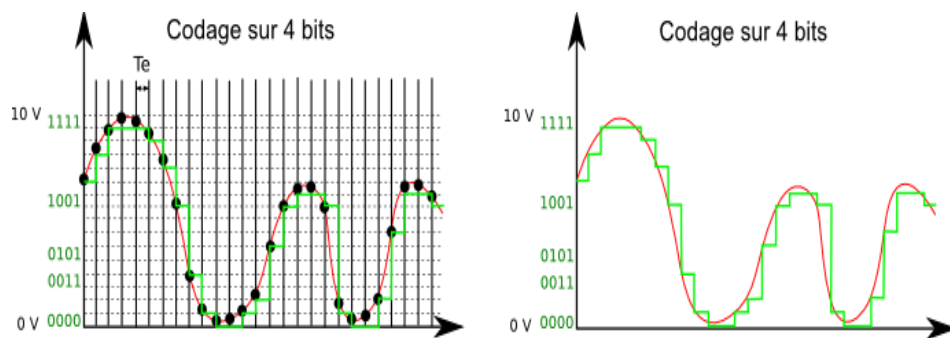


Fig.26 : L'étape du codage

- ✓ **Structure de la trame MIC primaire (E1)**: La trame MIC primaire est représentée comme suit :

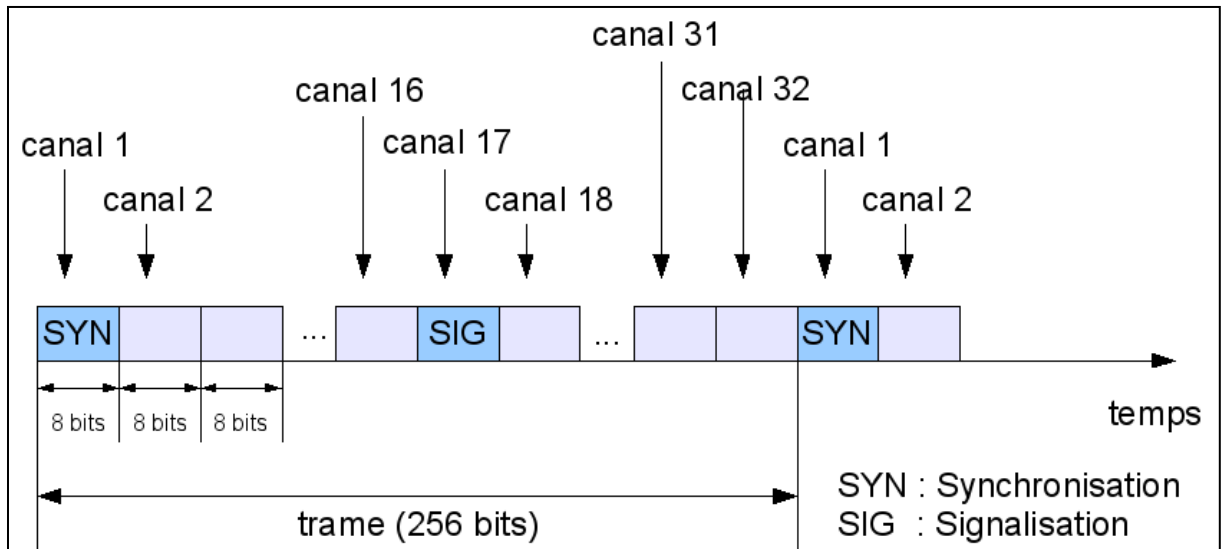


Fig.27:Représentation de la trame MIC primaire.

- Durée : 125 µs.
- Intervalles de temps : 32 (30 intervalles pour les voix, le premier bit pour la synchronisation, et le 16eme pour la signalisation).
- Durée de chaque Intervalle : 3,9µs.
- Taille de chaque Intervalle : 8bit.
- Le débit utile :  $32 * 8 \text{ bits} * 8000 \text{ trames} = 2048 \text{ Kbit/s (E1)}$ .

### II.1.3.2. la technologie PDH

La hiérarchie numérique ou PDH (en anglais Plesiochronous Digital Hierarchy) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées [8].

#### a) Structure de la trame PDH

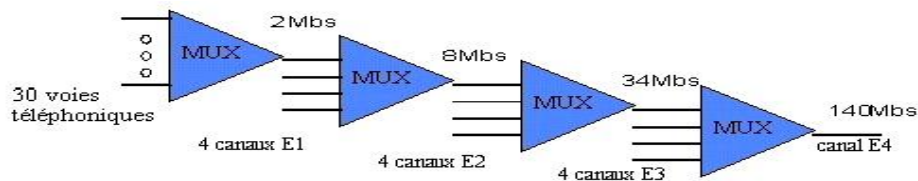


Fig.28: Représentation de la trame PDH.

#### b) Les limites du PDH

- Manque de visibilité des affluents bas débits.
- La technique du multiplexage est complexe.

- Les débits proposés sont limités.
- La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation.
- Pas de gestion standardisée.
- Pas d'interopérabilité à haut débit entre les continents puisque les débits sont différents.

### II.1.3.3. la technologie SDH (Synchrono Digital hierarchie)

La hiérarchie SDH est une technologie utilisée Pour :

- Simplifier le multiplexage temporel (en synchronisant l'ensemble du réseau) permettant des débits plus élevés.
- Le besoin d'avoir un réseau flexible pour répondre rapidement aux nouveaux besoins du marché.
- La possibilité de gérer un parc d'équipements à distance et offrir aux clients une qualité de service quantifiable.

#### a) Signification du SDH

La hiérarchie numérique synchrone ou SDH (en anglais *Synchronous Digital Hierarchy*).C'est un ensemble de protocoles pour la transmission de données numériques à haut débit [8].

#### b) Avantages du SDH

- Une hiérarchie internationale commune dans le monde entier.
- Une disponibilité élevée : assurée grâce à la protection efficace du réseau par des architectures reconfigurables dès l'apparition d'un défaut de ligne telle que la structure en anneaux.
- Simplification du réseau : Une réduction de la quantité d'équipements.
- La flexibilité : Possibilité d'accéder aux affluents bas débits sans besoin de décomposer tout le signal haut débit.
- La compatibilité multifournisseur : grâce à la normalisation des équipements [8].

#### c) Structure de la trame SDH

La trame SDH est représentée comme suit :

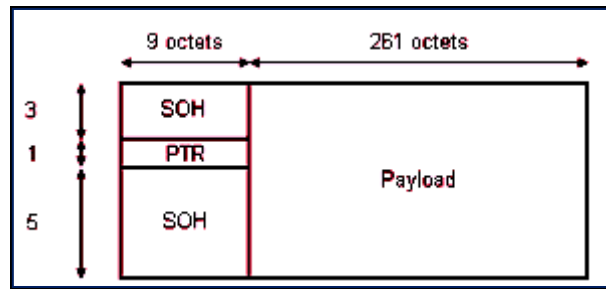


Fig.29: Représentation de la trame SDH.

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

#### II.1.4. les techniques de transmission

Dans les conditions les plus simples, un support ne peut transporter qu'un seul signal à la fois. Concernant les signaux multiples (qui partagent un même support, on doit consacrer pour chaque signal une partie de la bande passante totale.

Les techniques actuelles qui peuvent y parvenir comprennent :

- Multiplexage par division de fréquence (FDM)
- Multiplexage par répartition dans le temps (TDM)
- Multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM)

**II.1.4.1. Multiplexage par division de fréquence FDM « Frequency Division Multiplexing » :** Consiste à affecter des plages de fréquences non cumulées à chaque "utilisateur" ou signal sur un support. Ainsi, tous les signaux sont transmis en même temps, chacun utilisant différentes fréquences. Cette technique est la technique de multiplexage la plus ancienne. Puisqu'il implique une signalisation analogique, il est plus susceptible au bruit.

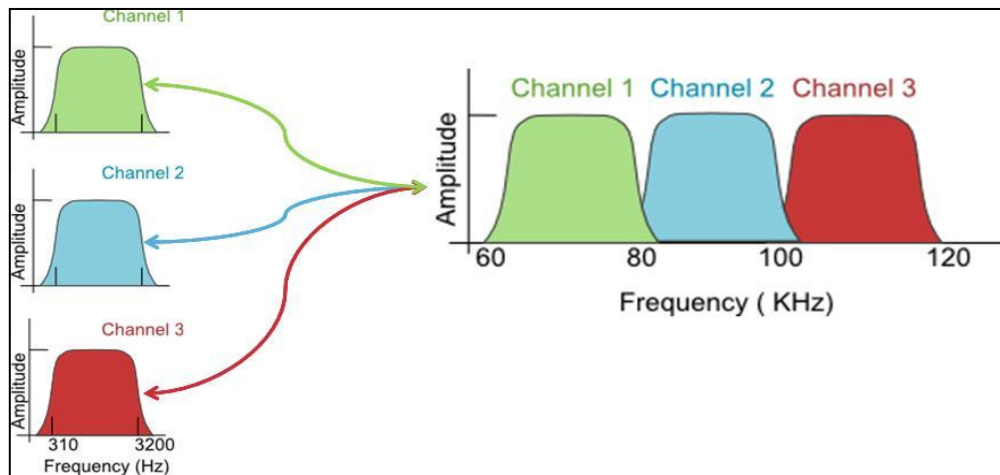


Fig.30: Schéma représentant la technique de transmission FDM.

**II.1.4.2. Multiplexage par répartition dans le temps TDM « Time Division Multiplexing » :** Le partage du signal s'effectue en divisant le temps de transmission disponible sur un moyen parmi les utilisateurs. La signalisation numérique est exclusivement utilisée.

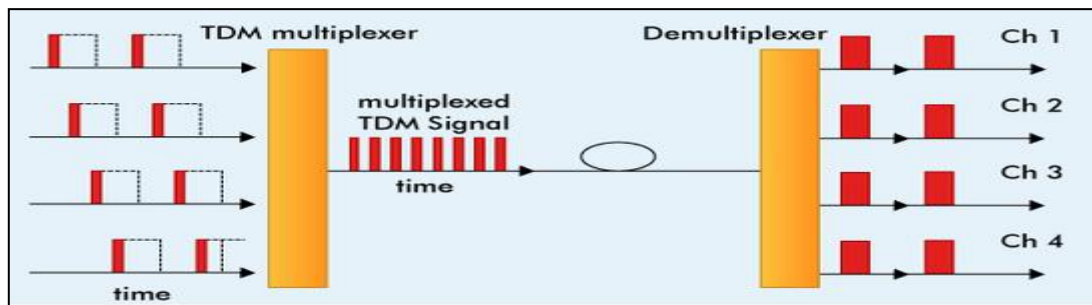


Fig.31: Schéma représentant la technique de transmission TDM.

**II.1.4.3. Multiplexage par répartition en longueur d'onde WDM « Wave Division Multiplexing » :** Le multiplexage en répartition en longueur d'onde est la technique de multiplexage utilisée dans le système de transmission par fibre optique. Le principe est d'envoyer plusieurs ondes lumineuses dans une seule fibre optique. Un appareil de diffraction combine au niveau de la source de transmission les différentes ondes lumineuses et transmet le signal combiné par la fibre. A l'autre extrémité un autre prisme sert à séparer la lumière en longueurs d'onde distinctes, qui sont ensuite transmises au récepteur.

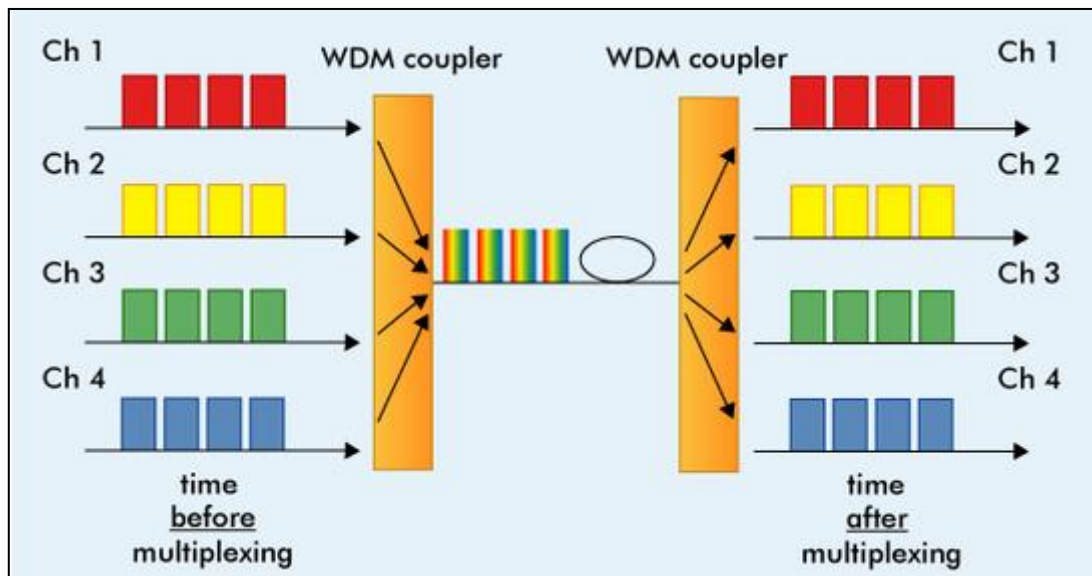


Fig.32: Schéma représentant la technique de transmission WDM.

## II.2.partie II : transmission par faisceaux hertziens

Cette partie va être la consacrée pour détailler la transmission par faisceaux hertziens, où vont être citées les techniques de transmission utilisées dans une transmission hertzienne, sa chaîne de transmission, ...etc.

### Préambule

Les faisceaux hertziens initialement conçus pour transmettre des multiplexes téléphoniques ou des images analogiques. Connaissent une évolution constante liée à la numérisation des supports de transmissions ainsi qu'au traitement de l'information.

#### II.2.1 Définition

La transmission par faisceaux hertziens est une liaison radioélectrique point à point, bilatérale et permanente (Full Duplex), elle repose sur l'utilisation des fréquences très élevées et de faisceaux directifs produits par des antennes directionnelle émettant dans une direction donnée.

La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur par exemple au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions.

Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellites, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques.

➤ **Les systèmes utilisant les liaisons hertziennes**

Voici quelques exemples de systèmes utilisant les liaisons hertziennes :

- La radio diffusion.
- La télédiffusion (analogique ou numérique, terrestre ou par satellites).
- La radio communication : talkie-walkie, les faisceaux hertziens.
- La téléphonie : téléphone DECT (réseau de téléphone sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise), téléphone mobile.
- L'internet : liaisons wifi (réseau internet sans fil à l'intérieur d'une maison ou d'une petite entreprise).

## II.2.2 L'ellipsoïde de Fresnel

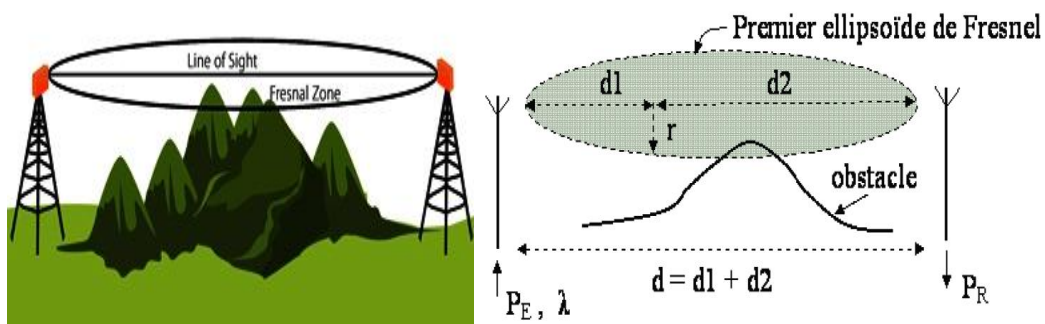


Fig.33: Schéma représentant l'ellipsoïde de Fresnel.

L'ellipsoïde de Fresnel représente la zone qui contient la plus grande partie de l'énergie électromagnétique, c'est l'espace défini par la relation [9] :

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Où :

- Toutes les dimensions sont exprimées en mètres.
- La grandeur « r » correspond à la valeur strictement minimale pour laquelle l'espace entourant le rayon direct joignant les deux antennes est dégagé de tout obstacle.

**Remarque:** « r » est maximum pour  $d_1 = d_2 = d$ , donc on aura [9]:

$$r_{max} = \sqrt{\frac{\lambda d}{2}}$$

### II.2.3 caractéristiques des faisceaux hertziens

Les principales caractéristiques des faisceaux hertziens sont :

- **Utilisation** : les FH nous permettent la transmission des signaux d'information (téléphonie, télévision,...etc.), d'un point à un autre du territoire : liaison point à point.
- **Débit théorique** : jusqu'à 155Mbit/s.
- **Bande de fréquences** : pour les opérateurs de téléphonie mobile (Mobilis), sept bandes de fréquences sont allouées pour leurs faisceaux hertziens : 6, 8, 11, 15, 18, 23, 38GHz.
- **Rôle** : ils permettent d'acheminer des voies téléphoniques et des données via l'interface air et sur des distances plus grandes et avec des délais de mise à disposition beaucoup plus rapides que les câbles.

#### - L'étude LOS (Line Of Sight)

En français la ligne de visée : c'est un type de propagation qui peut transmettre et recevoir des données uniquement lorsque les stations d'émission et de réception sont en vue l'une de l'autre sans aucun obstacle entre elles.

Lors de la conception d'un réseau sans fil extérieur, l'une des premières questions à poser est : que se trouve-t-il entre l'antenne1 et l'antenne2 ? Le chemin entre ces deux antennes est appelé « LOS ».

Avant d'entamer l'installation des antennes on doit d'abord satisfaire ces deux paramètres :

- **L'AZIMUTH**: orientation horizontale de la face avant de l'antenne. Un réglage fin est nécessaire pour améliorer la qualité radio.
- **Le HBA** « Hauteur de Bas d'Antenne » représente la hauteur entre le sol et le bas de l'antenne.

Dans cette étude on peut rencontrer trois différentes catégories de LOS:

La première étant la ligne de vue complète(**LOS**) où aucun obstacle ne réside entre les deux antennes .la prochaine s'appelle Near Line Of Sight (**NLOS**) qui comprend des obstructions partielles telles que les sommets des arbres entre les deux antennes. Et enfin Non Line Of Sight (**NLOS**) où des obstructions complètes existent entre les deux antennes.

La figure suivante représente les trois catégories de LOS :

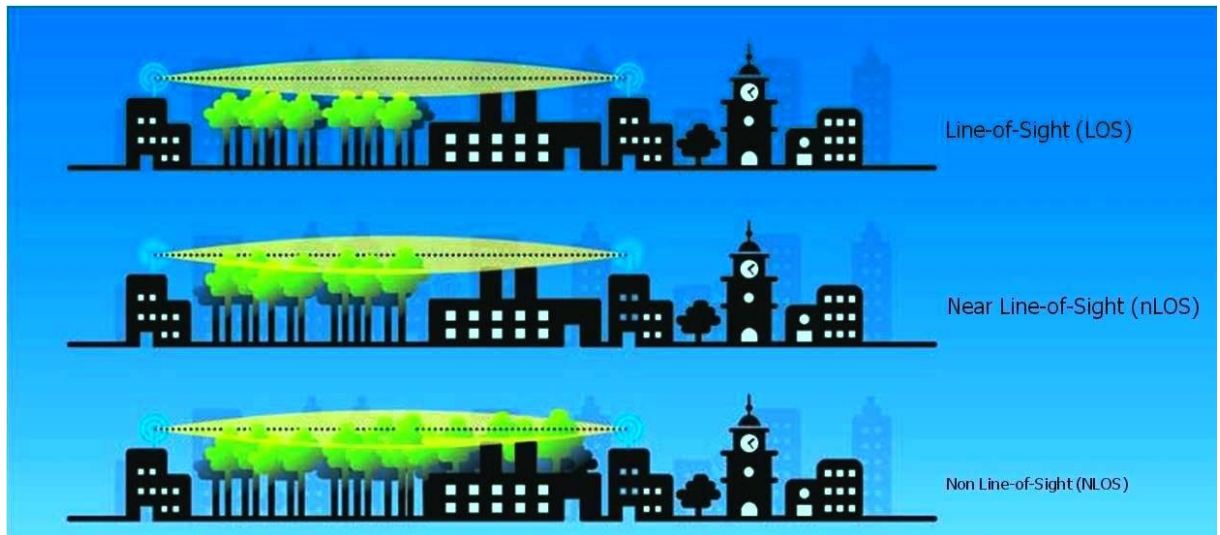


Fig.34: Figure représentant les trois catégories de LOS

#### II.2.4. Comment se propage l'onde

La base de l'étude des faisceaux hertziens est la propagation des ondes. une onde est un phénomène vibratoire due à la propagation d'une perturbation, ou d'un choc ; dans une liaison hertzienne, c'est une onde électromagnétique qui « porte » l'information à transmettre. Cette onde est constituée d'un champ électrique « E » et le champ magnétique « H », couplés entre eux : les deux champs sont perpendiculaires l'un à l'autre, leurs amplitudes sont en rapport constant et leurs variations sont en phase. L'onde se propage à la vitesse de la lumière.

L'étude de la propagation des ondes consiste à déterminer la puissance reçue par une antenne tout en connaissant la puissance rayonnée par une antenne émettrice et tout en tenant compte des dispositions quelconque des deux antennes, des caractéristiques du milieu de propagation et des obstacles possibles.

##### II.2.4.1. Caractéristiques d'une onde électromagnétique

Les caractéristiques principales d'une onde électromagnétique sont :

- **La polarisation :** c'est l'orientation du champ électrique par rapport à l'horizontal. si le champ E est parallèle à l'horizontal, on dit que l'onde a une polarisation horizontale. Si le champ E est perpendiculaire à l'horizontale, on dit que l'onde a une polarisation verticale. Dans le cas général où l'angle du

champ E est quelconque, on a alors une composante horizontale et une composante verticale.

Certaines antennes génèrent des ondes qui ont une polarisation circulaire ou elliptique : la polarisation varie au cours de la propagation.

- **La vitesse de propagation** : dans le vide, une onde se propage à la vitesse de la lumière  $C=3.10^8$  (m/s).
- **La fréquence** : en un point donné c'est le nombre maximum de champ par seconde. Elle est égale à la fréquence du générateur qui a donné naissance à l'onde. L'unité est le Hz on la note « f ».
- **La longueur d'onde** : c'est la distance entre deux maximums consécutifs, mais c'est aussi la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période. On la note  $\lambda$ .

$$\lambda = c / f \quad \text{où} \quad \lambda = c \cdot T$$

Avec ;  $\lambda$ [m], T[s].

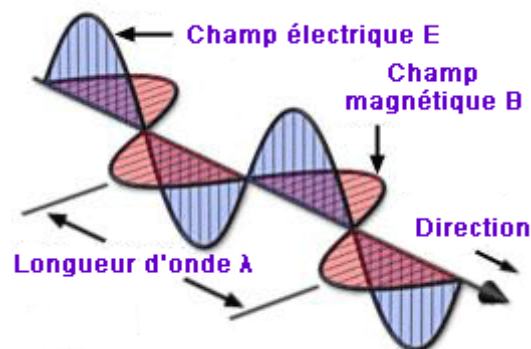


Fig.35: Schéma représentant les caractéristiques d'une onde électromagnétique [10].

**II.2.4.2. Propagation en espace libre** : le milieu de propagation de l'onde électromagnétique influe sur la qualité de la liaison hertzienne. L'espace compris entre deux antennes est libre quand, il est totalement dégagé de tout obstacle matériel : la propagation s'y fait sans aucune perturbation atmosphérique, environnementale ou autre.

### II.2.5 Types de propagation par faisceaux hertziens

La propagation est un transfert d'énergie sans transfert de matière, résultat de l'évolution dans le temps de la distribution spatiale d'un champ dans le milieu où se produit le transfert.

La propagation par onde est un type de propagation possédant une vitesse définie.

On distingue deux(02) types de propagation par faisceaux hertziens :

### II.2.5 .1.La propagation par faisceaux hertziens en visibilité directe

C'est dans le cas où les transferts radio électrique entre les deux stations terminales sont suffisamment dégagés de tout obstacle sans encombrement. Les ondes se propagent en ligne droite comme des ondes lumineuses nécessitent une vision directe entre les antennes d'émission et de réception. Le phénomène de diffraction donc dans ce cas a une influence négligeable sur le signal émis.

Deux antennes sont dites en visibilité directe si elles respectent la condition du dégagement du premier ellipsoïde (aucun obstacle ne doit se trouver à l'intérieur de cette ellipse).

### II.2.5.2.La propagation par faisceaux hertziens en non visibilité (transhorizon)

Une liaison est transhorizon lorsqu'elle va au-delà de l'horizon. Elle concerne les liaisons pour les quelles un obstacle est interposé entre l'émetteur et le récepteur. Le signal émis va donc être influencé par plusieurs facteurs qui sont :

### II.2.6.Configurations des liaisons hertziennes

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

- Configuration non sécurisée.
- Configuration sécurisée.

#### II.2.6.1.Configuration non sécurisée (1+0)

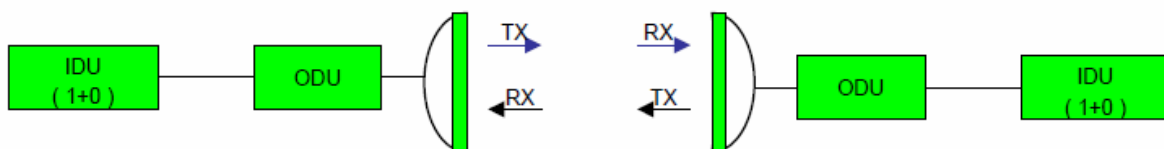


Fig.36: La configuration non sécurisée (1+0) [11].

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

#### II.2.6.2.Configuration sécurisée :

Dans ce cas on distingue divers types :

- a) La configuration (1+1)

- ✓ (1+1) « hot standby Single antenna configuration »: elle est basée sur l'émission et la réception entre deux antennes (de même polarisation et de même fréquence) composées de deux ODU, qui sont couplés par un hybride (H).

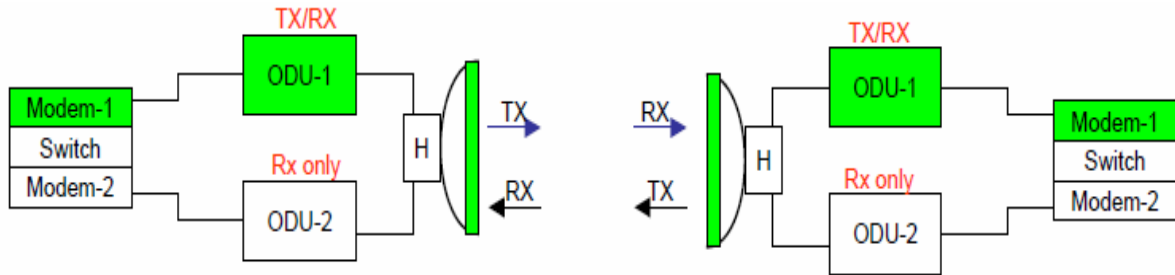


Fig.37: La configuration sécurisée (1+1) « hot standby Single antenna configuration » [11].

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

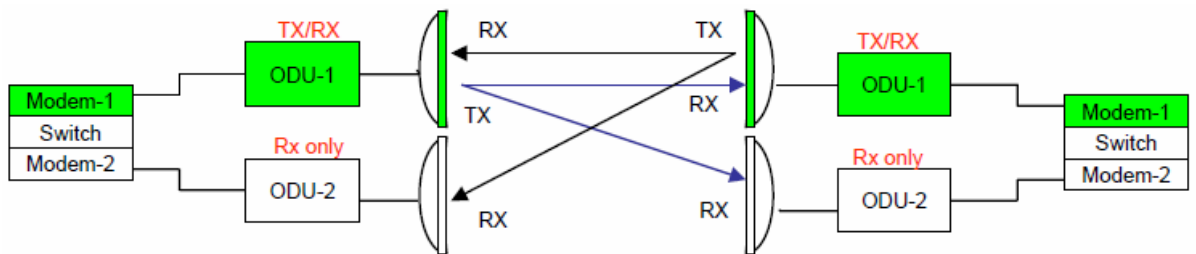


Fig.38: La configuration sécurisée (1+1) « hot standby-Space diversity Double antenna » [11].

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

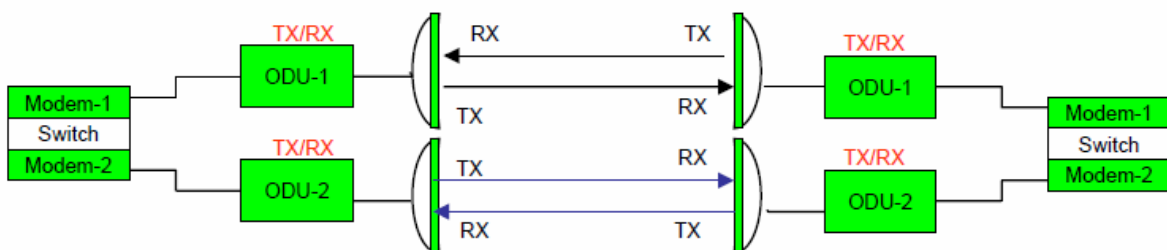


Fig.39: La configuration sécurisée (1+1) Twin path –Frequency diversity [11].

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

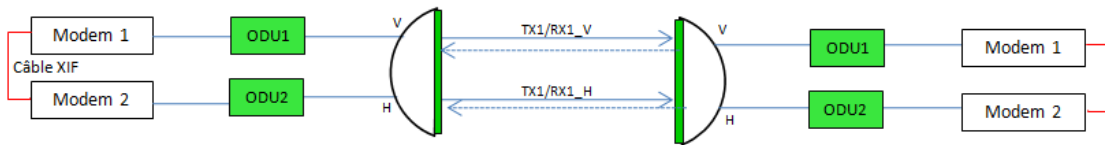


Fig.40: La configuration (2+0).

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

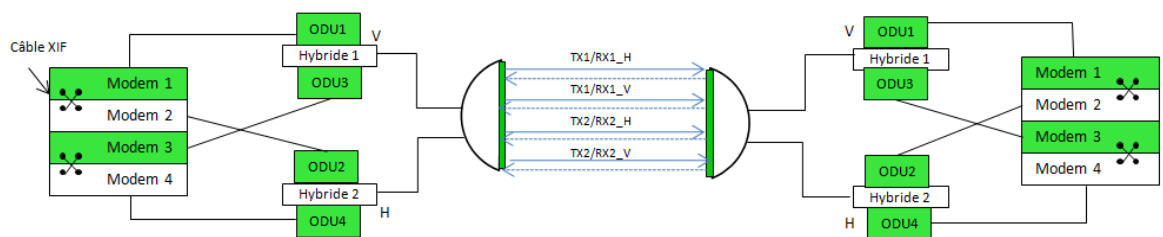


Fig.41: La configuration (4+0).

### II.2.7. Chaîne de transmission d'une liaison FH

Une liaison radioélectrique est une communication bidirectionnelle entre deux points en vue. Chacun équipé d'un émetteur et d'un récepteur généralement en visibilité.

Elle se décompose principalement en trois parties :

- **Un ou plusieurs émetteurs:** le rôle de celui-ci est de convertir le message à transmettre sous forme d'un signal électrique, modulé et transporté à la fréquence d'émission puis amplifier en puissance avant d'être émis sur l'antenne ;
- **Le canal de transmission:** délimite la région de l'espace où l'onde sera transmise ;
- **Un ou plusieurs récepteurs :** le récepteur quant à lui, à partir d'une autre antenne, devra restituer le message reçu le plus fidèlement possible.

- **La structure générale d'une liaison hertzienne**

Une liaison hertzienne comporte les entités suivantes :

- ✓ **Signal en bande de base ou signal à transmettre :**  
Un signal est dit en « bande de base » s'il n'a pas subi de transposition en fréquence par modulation.  
Lorsque le signal en bande de base n'est pas adapté au canal de transmission, on effectue un éventuel transcodage qui consiste à substituer au signal numérique un signal électrique mieux adapté à la transmission.
- ✓ **Traitement en bande de base:** C'est une opération qui consiste à numériser un signal.
- ✓ **Modulateur :** il permet d'adapter le signal à transmettre au support de transmission. Le signal à transmettre doit avoir pour support un signal porteur qui sera modulé par le signal à transmettre à fin que celui-ci occupe un espace fréquentiel réduit pour une bande donnée.
- ✓ **Emetteur :** dispositif qui permet de convertir le message à transmettre sous forme d'un signal électrique modulé à la fréquence d'émission, puis amplifier en puissance avant d'être émis sur l'antenne.
- ✓ **Récepteur :** il reçoit des ondes électromagnétiques/ électriques/ lumineuses, sélectionne et reconstitue le signal modulé transmis par l'émetteur.
- ✓ **Duplexeur ou filtre:** c'est un composant fait à base des condensateurs et des bobines. Son rôle est d'éliminer les signaux indésirables et sépare les signaux utiles des autres.
- ✓ **Antenne:** est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques.
- ✓ **Signal transmis:** pour chaque liaison hertzienne, on définit un couple de fréquence correspondant aux deux sens de transmission. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur est souvent découpé en plusieurs tronçons, appelés bonds, reliés par des stations relais, et la figure suivante illustre une station relais :

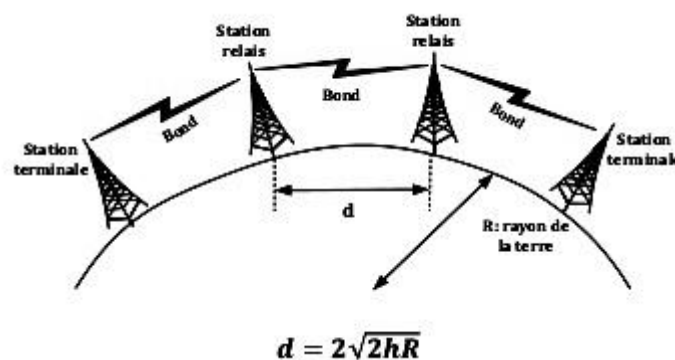


Fig.42: Schéma illustrant les stations relai et station terminales

L'information émise par faisceaux hertzien passe par une chaîne de transmission qui comporte différentes entités et le schéma ci-dessous les montre ;

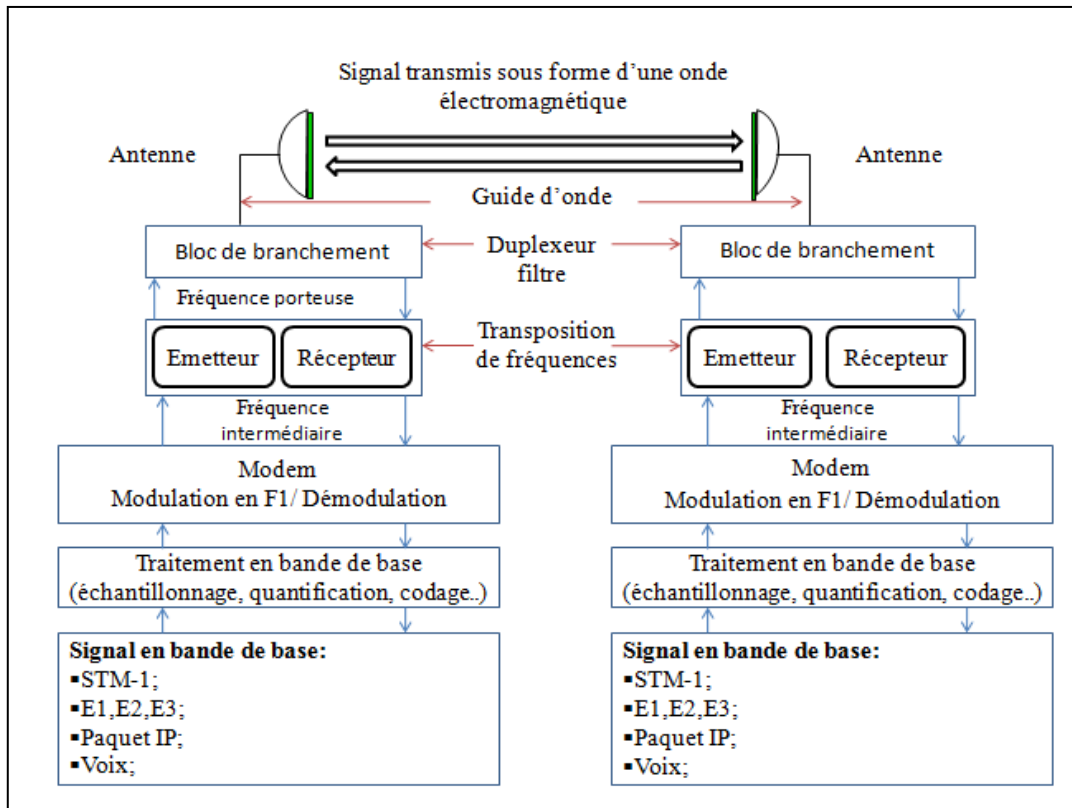


Fig.43: Schéma représentant la chaîne de transmission par faisceaux hertziens.

**II.2.8. Equipements d’une liaison hertzienne**

Le réseau de transmission comporte plusieurs constructeurs d’équipements dont les plus utilisés sont **Ericsson, NEC, HUAWAI** .Ces équipements sont utilisés soit à l’intérieur du SHELTER dans ce cas ils sont appelés **IDU** (Indoor Unit) ou à l’extérieur en ce moment ils sont appelés **ODU** (OutDoor Unit).

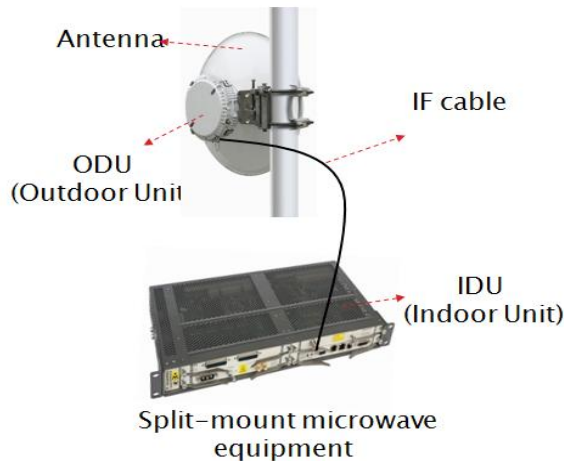


Fig.44: Représentation des équipements d’une liaison FH

### II.2.8.1.L'IDU (InDoor Unit)

L'IDU (Indoor Unit) est l'équipement qui a pour fonction globale la Modulation et la Démodulation du signal qu'il reçoit ; il permet de générer les E1 (MIC) avec un débit généralement de 2Mbit/s. Il peut être considéré en 1+0 (sans protection) ou en 1+1 (avec protection).

- L'IDU (1+1) permet de générer deux signaux identiques l'un en fonctionnement normale et l'autre en relais effectuant une commutation automatique de canaux lorsque la première liaison est défectueuse.

### II.2.8.2.L'ODU (OutDour Unit)

L'ODU est l'équipement qui a pour fonction d'émettre le signal fournit par l'IDU et de réceptionner le signal HF. Il définit la polarisation selon la position. L'ODU comme son nom indique est placé à l'extérieur du SHELTER (maisonnette servant d'abri pour des équipements du réseau GSM).

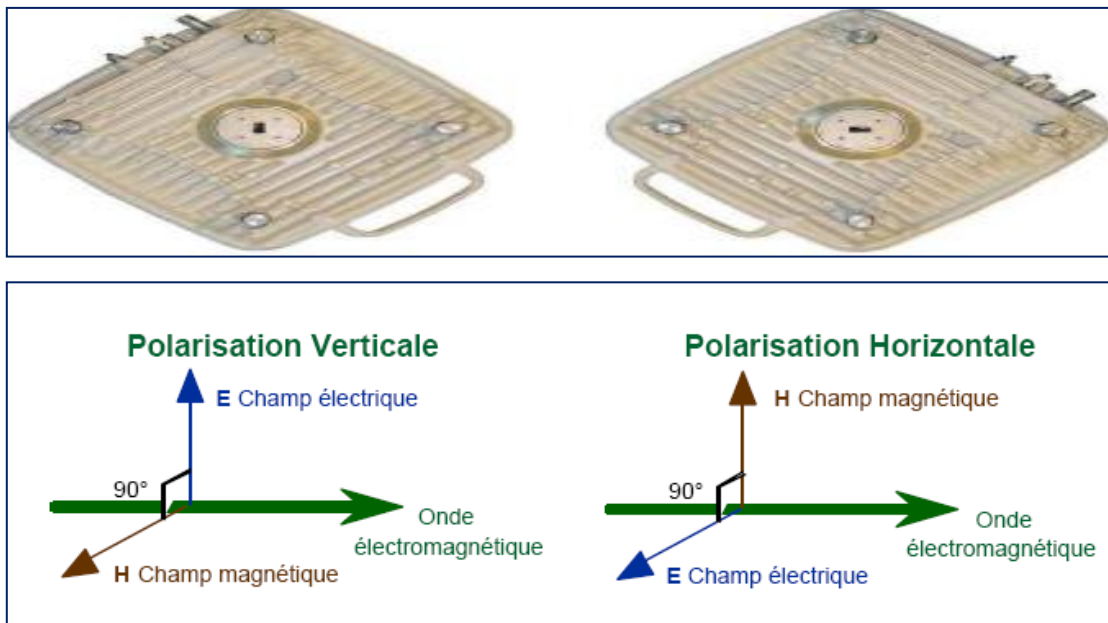


Fig.45: Représentation des polarisations de l'ODU

Il est physiquement constitué des sections suivantes :

- **La section d'émission :** elle permet le traitement du signal en fréquence intermédiaire (FI) reçue de l'IDU, en respectant tout le processus de traitement du signal. Il en ressort donc le signal émission FE que l'antenne est chargée de transmettre.

- **La section de réception** : le signal réception FR venant de l'antenne passe par l'ODU qui effectue l'opération inverse. Il convertit le signal reçu en signal intermédiaire (FI) et transmet ce signal à l'IDU.
- **L'alarme et la section de contrôle** : en effet les circuits de détection d'alarme sont reliés au processeur de l'ODU. Celui ci est donc chargé en cas de détection d'erreurs, de les envoyer à l'IDU.

### II.2.8.3. Câble IF (Fréquence Intermédiaire)

Il s'interface entre l'IDU et l'ODU. Il véhicule le signal de fréquence intermédiaire issu du modem.



Fig.46: Câble IF

### II.2.8.4. Le coupleur (Hybride)

Lorsque deux ODU utilisent une même antenne, ils doivent être connectés à un signal RF (Radio Fréquence) coupleur/séparateur (coupleur hybride). Ensuite, le coupleur hybride est connecté à l'antenne.



Fig.47: Coupleur (Hybride)

### II.2.8.5.L'antenne

C'est un dispositif qui réalise la transformation d'une onde électrique en une onde magnétique en vue de sa propagation dans l'espace. La transformation inverse est aussi réalisée par le même dispositif. C'est donc un dispositif réciproque. La répartition dans l'espace de l'énergie rayonnée ou reçue est caractérisée par le diagramme de rayonnement de l'antenne. Ce diagramme permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. L'antenne se caractérise par :

#### a) Le Gain

Le Gain d'une antenne dans une direction précise est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. Le Gain est généralement exprimé en dB.

$$Ga=17,8+20\text{Log}(f)+20\text{Log}(D)$$

Tel que :

**D**:diametre de l'antenne en mètre et **f**:la fréquence

#### b) Polarisation

L'onde électromagnétique est rayonnée selon un plan de polarisation. Elle est composée de deux vecteurs en quadrature appelé champ électrique «E» et le champ magnétique «H». Elle est définie par l'orientation du champ électrique par rapport à la direction de propagation [11].

Lorsque la configuration de l'antenne place le champ électrique verticalement, on dit que la polarisation est verticale. À l'inverse, lorsque la configuration de l'antenne place le champ électrique horizontalement, on dit que la polarisation est horizontale.

On distingue deux types d'antennes : sectorielle et parabolique ;



Fig.48 : Antenne sectorielle.



Fig.49: Antenne parabolique.

### II.2.9. Bilan des liaisons

Dans une liaison sans fil, le signal envoyé par l'émetteur est atténué et la fraction arrivant au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et de l'amplificateur. Le signal est donc dégradé. En outre, divers éléments introduisent une puissance de bruit qui va également dégrader les performances.

Le calcul du bilan de liaison consiste à additionner tous les éléments de Gain (augmentation) ou de perte (diminution) dans la puissance du signal radio entre chaque extrémité, puis évaluer si ce qui reste entre le départ et l'arrivée est suffisant.

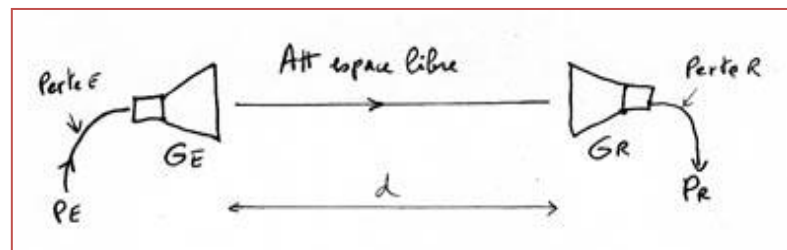


Fig.50 : Schéma illustratif des différentes pertes

Avec :

- $P_E$  : Puissance d'émission.
- $G_E$  : Gain d'émission.
- $P_R$  : Puissance de réception.
- $G_R$  : Gain de réception.
- $D$  : distance entre deux antennes.
- $A_{tt}$  espace libre : Atténuation en espace libre (LOSS).

La loi suivante exprime le calcul du bilan de :

$$P_{RX} = (P_{TX} + G_A + G_B) - (P_{d'equipements} + P_{d'espace libre})$$

Tel que :

- $G_A = 17,8 + 20 \text{Log}(D * f)$ .
- $P_{\text{espace libre}} = 92,4 + 20 \text{Log}(L * f)$ .

Avec :

- $D$  : diamètre de l'antenne en mètres.
- $f$  : fréquence de l'antenne en GHz.
- $L$  : distance entre deux antennes.

### II.2.9.1. Les différentes pertes dans une liaison hertzienne

L'atténuation croît avec l'augmentation de fréquence ou de la distance. Alors de la collision avec un obstacle, la valeur de l'atténuation dépend fortement du matériau composant l'obstacle. Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, tout ou une partie de l'onde est réfléchi, avec une perte de puissance. La réflexion est, telle que l'angle d'incidence, est égale à l'onde de réflexion, exactement comme pour la lumière.

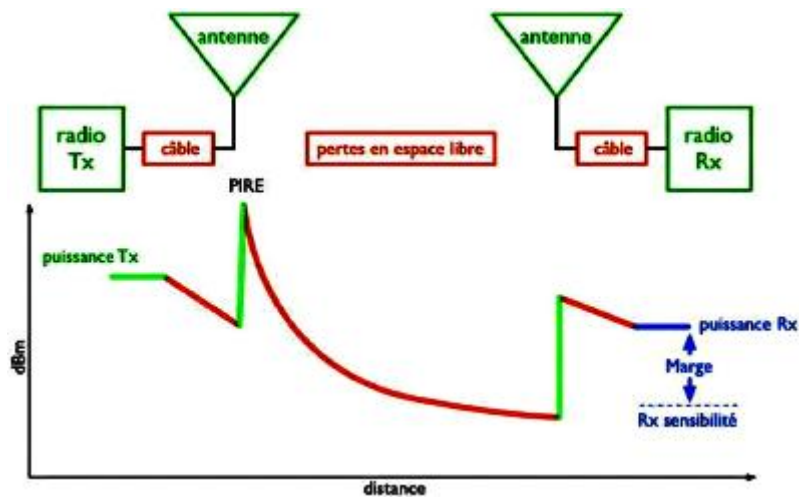


Fig.51: Diagramme représentant les différentes pertes dans une liaison hertzienne.

Tel que :

$T_X$  : La puissance de transmission.

$R_X$  : La puissance de réception.

PIRE : La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.

#### a) Atténuation en espace libre

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

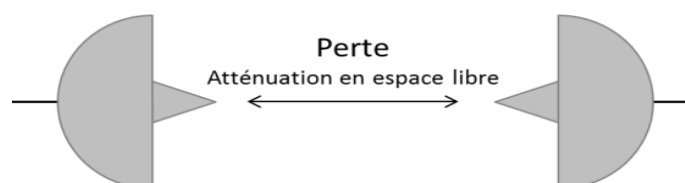


Fig.52 : Les atténuations dans l'espace libre

Le calcul de l'affaiblissement d'espace libre entre deux antennes se fait comme suit :

$$A = 10 \log \left( \frac{4\pi d^2}{\lambda} \right)^2$$

Avec :

- A : affaiblissement d'espace libre entre antenne exprimé en dB.
- d : distance entre l'émetteur et le récepteur exprimée en mètres.
- $\lambda$  : longueur d'onde du rayonnement exprimée en mètres.

### b) Atténuation atmosphérique

Une onde électromagnétique passant dans l'atmosphère est en partie absorbée par les composantes de celui-ci, cette absorption peut même être totale dans certains cas. Dans l'atténuation atmosphérique plusieurs facteurs peuvent se présenter tel que :

#### - Atténuation due au gaz de l'atmosphère :

Aux fréquences inférieurs à 1000 GHz l'atténuation due à l'air clair est essentiellement provoquée par l'oxygène moléculaire présent dans l'atmosphère. Les molécules gazeuses dans la troposphère telles que l'oxygène et la vapeur d'eau sont les principaux facteurs de l'atténuation des ondes radios. L'atténuation peut être provoquée par les phénomènes d'absorption et de dispersion causée par les particules de glace ou des gouttes d'eau.

#### - Atténuation due à la pluie :

Toute onde électromagnétique peut être absorbée en passant dans un milieu quelconque car elle excite les molécules qui la composent. Cela peut donc enlever une partie des photons pour faire changer le niveau énergétique du milieu. L'air est très peu absorbant mais la molécule d'eau l'est. Plus la longueur d'onde porteuse du faisceau radar se rapproche de celle des gouttes d'eau, plus le dipôle de ces molécules sera excité et plus l'onde sera atténuée.

Le graphe suivant représente l'effet de la pluie sur le signal émis,

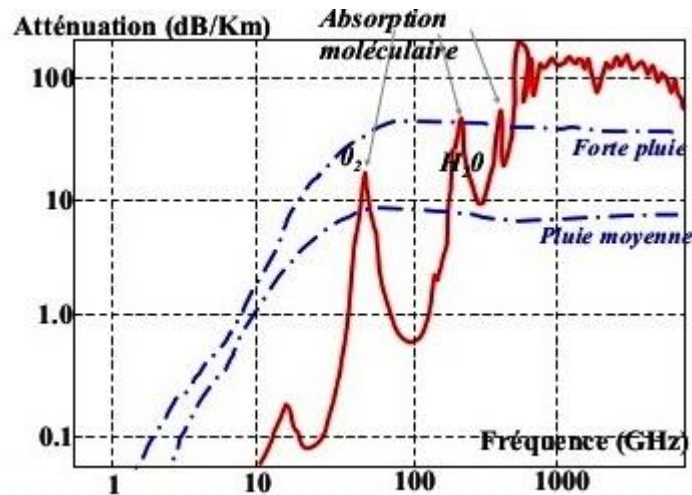


Fig.53 : Un graphe représentant l'effet de la pluie sur le signal émis

### c) Atténuation due au câblage

Lors de la transmission à travers le canal, le signal subit les atténuations et les déformations propres au canal, ainsi que le bruit provenant des perturbateurs externes.

Les pertes dans un câble dépendent de sa construction et sa fréquence de fonctionnement. Le montant total de la perte est proportionnel à la longueur du câble. Les pertes dans les feeders sont calculées par le produit de son atténuation spécifique et sa longueur :

$$P_f = L_f * A$$

Avec :

$P_f$  : Pertes dans le feeder (dB).

$L_f$  : Longueur de feeder considérée (m).

$A$  : Atténuation spécifique de feeder considérée (dB/m).

### II.2.9.2. Les interférences

Le terme brouillage ou interférences signifie qu'un signal parasite de puissance non négligeable émis à la même fréquence que le signal utile, peut perturber la transmission sur le canal, en dégradant le rapport signal sur bruit ou en introduisant des distorsions. On trouve 2 types d'interférences :

- 1) L'interférence due à la présence simultanée d'autres utilisateurs soit sur le même canal de transmission, soit sur des canaux adjacents.

- 2) Le brouillage intentionnel (volonté de perturber une communication gênante), la technique revient à placer à proximité de l'utilisateur une source haute puissance et de la faire émettre à la fréquence du canal. Seules les communications radio peuvent être brouillées, les communications par fibre optique restent inviolables.

Une onde électromagnétique se propage en ligne droite à vitesse constante dans le vide, dans d'autres milieux, plusieurs phénomènes peuvent gêner l'acheminement de l'onde de l'émetteur au récepteur tel que :

- ✓ **La réfraction** : provient du fait que la variation de l'indice atmosphérique entraîne une propagation courbée de l'onde émise.
- ✓ **La diffraction** : se produit lorsque LOS entre l'émetteur et le récepteur est obstrué par un obstacle dont les dimensions sont plus grandes que la longueur d'onde du signal émis.
- ✓ **La réflexion** : se produit lorsque l'onde émise rencontre un obstacle dont les dimensions sont très largement supérieures à la longueur d'onde. la réflexion peut avoir pour effet une augmentation ou une diminution du niveau du signal reçus. lorsqu'il ya un grand nombre de réflexions le niveau du signal reçus peut devenir instable.
- ✓ **La diffusion** : se produit dans le même cas que la diffraction mais lorsque les dimensions des obstacles sont comparable à la longueur d'onde.
- ✓ **Fading « chemin multiple »** : En raison des réflexions, réfractions et diffusions des ondes électromagnétiques dans des environnements contenant de nombreux obstacles (milieu indoor par exemple), le signal transmis atteint souvent le récepteur par plusieurs chemins, créant le phénomène d'atténuation multi trajet (ou multipath). L'antenne additionne les différents signaux provenant des chemins directs et indirects pouvant entraîner des interférences, le signal résultant à une amplitude qui dépend de l'amplitude de chacun des signaux reçus et aussi du déphasage de l'un par rapport à l'autre

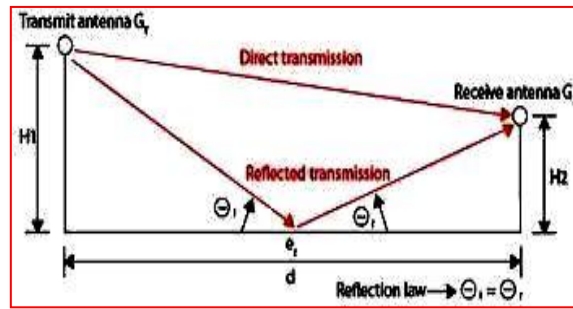


Fig.54 : Phénomène du fading « trajets multiples »

Pour limiter le problème du fading, on propose les solutions suivantes :

- ✓ **space diversity** « **diversité spatiale** »: l'utilisation de deux antennes espacées permet de limiter l'affaiblissement dû aux trajets multiples. Seule l'antenne ayant la puissance de réception maximale sera utilisée.

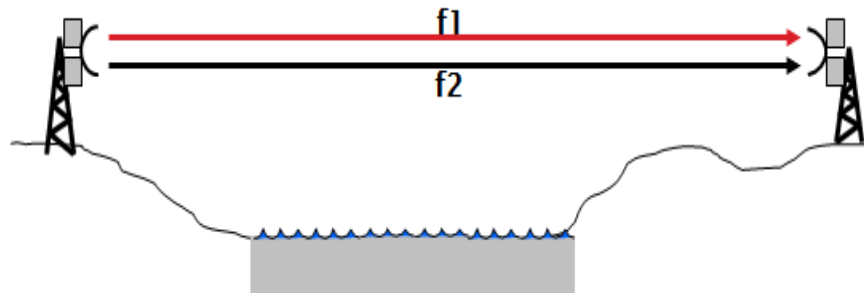


Fig.55 : Représentation du phénomène de space diversity.

- ✓ **frequency diversity** « **Diversité fréquentielle** »: Le signal est transféré dans plusieurs canaux de fréquence ou répartis sur un large spectre qui est affecté par la décoloration (fading) sélective en fréquence. L'idée est semblable à celle de diversité d'espace.

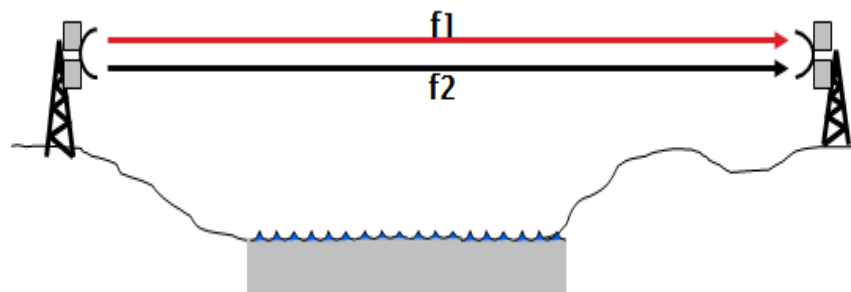


Fig.56 : Représentation du phénomène de frequency diversity.

### **II.3. Conclusion**

Ce chapitre a contenu deux parties ; dans la première on a donné des généralités sur la transmission où on a cité les différents supports, les technologies et les techniques de transmission, et dans la deuxième on a détaillé la transmission par faisceaux hertziens dont on a donné : une définition, les types, le fonctionnement, les équipements et les configurations existantes.

En effet, Les transmissions d'informations se font en général par liaison filaire (câble électrique ou fibre optique) ou par liaison hertzienne (ou sans fils). Cette dernière est la plus sensible aux perturbations externes et dont l'environnement de propagation est le plus difficile à modéliser.

---

***CHAPITRE III:***  
***Tout savoir sur le réseau LTE***

---

### III.1. Partie I: Généralités sur la LTE

#### Préambule

Cette partie est consacrée pour la présentation de la 4G/LTE, cette dernière est l'objectif de notre projet, où nous allons présenter les nouveautés apportées par la 4G LTE, et on va citer les spécificités techniques et les technologies de transmission de la qualité de services dans le réseau 4G.

#### III.1.1. Définition de la 4G /LTE

LTE (long Term Evolution of UMTS) est un projet mené par la 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) et a été considérée comme une norme de 3<sup>ème</sup> génération (3,9 Génération) proche de la 4G. Elle permet d'atteindre des débits théoriques de 100Mb/s en voie descendante et 50Mb/s en voie montante pour une largeur de bande de 20Mhz, avec une très grande portée, un grand nombre d'appels simultanés, une faible latence et une capacité élevée [12].

#### III.1.2. Normalisation du LTE

A l'instar de l'UMTS, le LTE a été défini par l'ensemble des entreprises partie prenante dans le marché mondial des télécommunications mobiles, regroupées au sein du 3GPP créé en 1998 à l'initiative de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Une Release correspond à un ensemble de nouvelles fonctionnalités introduites dans la norme par les groupes du 3GPP dans une période de temps donnée. Le 3GPP a défini 15 Releases entre 1998 et 2018 qui sont :

- **Release 97(1998)** : Définition du GPRS ;
- **Release 99(2000)** : Introduction de l'UMTS ;
- **Release 4 (2001)** : Ajout de fonctionnalités au sein du réseau cœur, notamment la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit ;
- **Release 5 (2002)** : Introduction de l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS,
- **Release 6 (2004)** : Introduction de l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS ;
- **Release 7 (2007)** : Introduction du HSPA+ MIMO ;
- **Release 8 (2008)** : Introduction des évolutions Dual cell C-HSDPA, et première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC ;

- **Release 9 (2009)** : Evolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et introduction du DC-HSUPA ; seconde Release du LTE ;
- **Release 10 (2011)** : Evolution multi-porteuse du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et introduction de l'évolution du LTE appelée *LTE-Advanced* ;
- **Release 11 (2012)**: Advanced IP Interconnection of Services (IMS);
- **Release 12 (2015)** : Enhanced Small Cells , massive MIMO;
- **Release 13 (2016)**: LTE-Advanced Pro. LTE pour Machines , Full-Dimension MIMO;
- **Release 14 (2017)** : Video over LTE , evolved TV-services , massive Internet of Things ;
- **Release 15 (2018)** : La 5G ;

### III.1.3. Buts de la 4G /LTE

La quatrième génération « 4G » vise à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule et ses principaux objectifs visés sont :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Minimiser le cout de signalisation.

### III.1.4. Architecture de 4G /LTE

L'architecture du réseau de quatrième génération comporte [13] :

- L'équipement de l'utilisateur : UE
- Le réseau d'accès : l'e-UTRAN
- Le réseau cœur : EPC (réseau tout-IP)

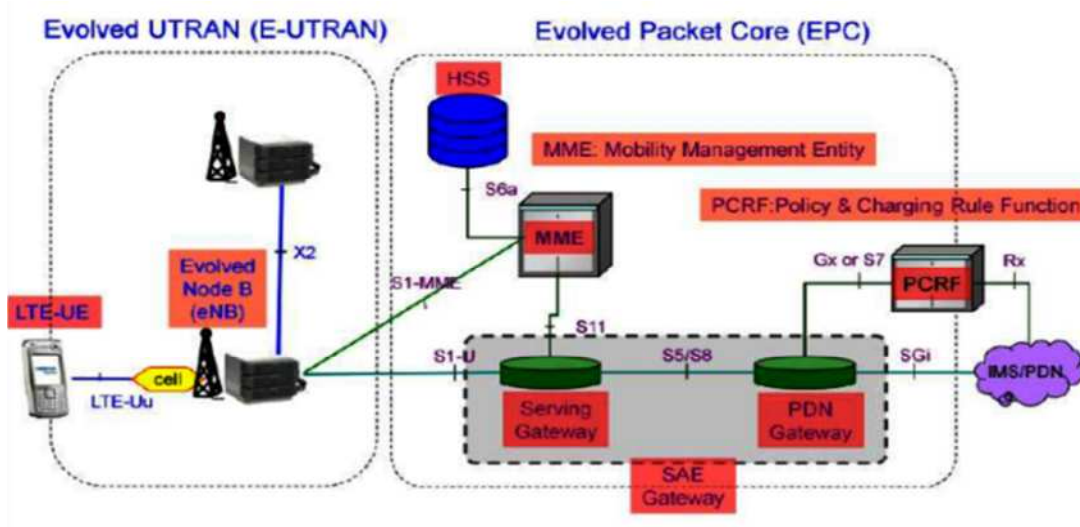


Fig.57 : Architecture de la LTE

**a) Catégories d’UE**

La mise en œuvre du réseau LTE nécessite de nouveaux équipements, comme de nouveaux terminaux compatibles avec cette nouvelle technologie.

- Caractéristiques des catégories d’UE du LTE: le tableau suivant représente les différentes catégories de l’UE ;

Catégorie d’UE	Débit crête (Mbit/s)		Modulations		Nombre d’antennes de réception	Nombre maximal de couches spatiales en DL
	DL	UL	DL	UL		
1	10	5	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM	2	1
2	50	25			2	2
3	100	50			2	2
4	150	50			2	2
5	300	75	QPSK, 16QAM, 64QAM		4	4

Tab.3 : Caractéristiques des catégories d’UE du LTE.

**b) Le réseau d’accès : L’e-UTRAN**

Il ne contient que des e-NodeB qui assurent l’échange radio avec l’E-UTRAN. A la différence de la 3<sup>ème</sup> génération, les fonctions supportées par le RNC ont été réparties entre l’e-NodeB et les entités du réseau cœur SGW.

Ils sont reliés entre eux par une interface X2.

- **L’interface X2** : c’est une interface logique, introduite dans le but de permettre aux e-NodeBs d’échanger des informations de signalisation durant le Handover sans faire intervenir le réseau cœur.

L’e-NodeB est relié au cœur du réseau à travers l’interface S1.

- **l'interface S1** : c'est l'interface intermédiaire entre le réseau d'accès et le réseau cœur, elle peut être divisée en deux interfaces élémentaires qui sont la **S1-U (S1 usager)** entre l'e-NodeB et le SGW, et la **S1-C (S1 contrôle)** entre l'e-NodeB et le MME.

Les e-NodeB ont offert deux qualités au réseau :

- **La sécurité** : en cas de problème de relai.
- **Un partage des ressources équitables** : en cas de saturation du lien principale.

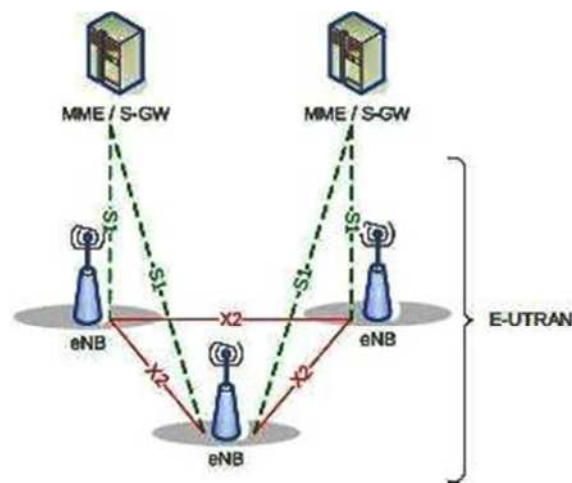


Fig.58 : Le réseau d'accès E-UTRAN.

### c) Le réseau cœur : EPC (Evolved Packet Core)

C'est le réseau cœur évolué, paquet tout IP. L'EPC peut communiquer avec les réseaux 2G/3G. Le réseau cœur EPC est décomposé en :

- **MME** «Mobility Manager Entity» : cette entité est responsable de la localisation de l'utilisateur, de connaître son état et gérer les procédures d'authentification et mobilité des UE.
- **SGW** «Serving GateWay» : cette entité est responsable du transfert d'un relai à un autre, il gère tout l'aspect Handover inter-eNodeB et effectuer ce transfert vers un réseau 2G ou 3G.
- **PGW** «Packet data network Gateway» : c'est la passerelle vers les réseaux externes, responsable du routage en assignant une adresse IP au mobile au

moment de l'attachement au réseau. PGW est un point pour faire le filtrage des données, il participe aussi à l'opération de taxation.

- **HSS** «Home Subscriber Server» : cette entité est contient le profil de l'abonné pour les réseaux : 2G, 3G et LTE.
- **PCRF** «Policy Charging Rules Function»: cette entité fournit au PGW les règles de taxations nécessaires pour différencier les flux de données et de les taxer d'une façon convenable.

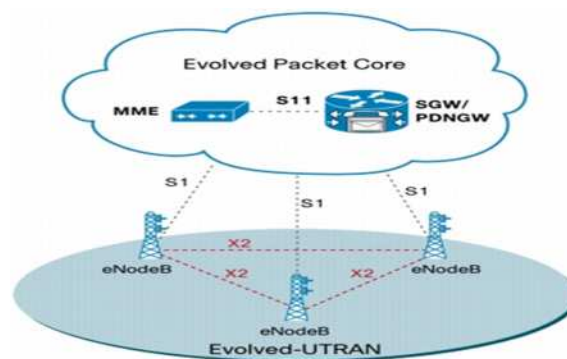


Fig.59 : Le réseau cœur EPC.

#### Noter Bien :

En comparant l'architecture du réseau LTE et celle des réseaux précédents on constate les différences suivantes :

- 1) L'entité **MME** remplace le dispositif **MSC** ce qui offre une architecture simplifiée.
- 2) L'entité **SGW** remplace le dispositif **SGSN**
- 3) L'entité **e-NodeB** remplace la **BTS/NodeB**.
- 4) L'entité **PGW** remplace **GGSN**.

#### III.1.5. les nouveautés de la 4G /LTE

Cette technologie a apporté comme nouveautés par rapport aux générations précédentes :

- Un débit de données crêtes sur la voix montante de 50 Mbits/s.
- Un débit théorique de 100 Mbits/s à 300 sur la voix descendante et un temps d'aller-retour de moins de 10 ms sur l'interface radio (RAN).

- Le LTE utilise une largeur de bande de 2x20 MHz et supporte le duplexage temporel (TDD) ou fréquentiel (FDD).
- La taille de ses cellules est de 5 km pour des performances optimales.
- Ces performances sont possibles grâce à l'utilisation d'antennes MIMO (Multiple Input Multiple Output) avec les techniques de transmission OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et d'accès multiples : OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) sur la voie descendante et la technique SC-FDMA (Single-Carrier FDMA) sur la voie montante.
- De réduire le problème du canal.

#### III.1.6. Caractéristiques de la 4G /LTE

Cette technologie est caractérisée par :

- LTE répond à des nouveaux besoins (délais court, débit élevés et nouveau services).
- Architecture générale simplifiée.
- Piles protocolaire reposant sur le protocole IP.
- Qualité de services principalement garanties.
- Amélioration de performances par méthode « inter-couche ».
- Wi MAX (IEEE 802.16)

#### III.1.7. Les exigences de la 4G /LTE

L'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits et une réduction du temps de latence et de la mobilité [14].

- a) **La capacité des utilisateurs** : Avec l'apparition de nouvelles applications, le système doit supporter un large nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins 200 utilisateurs par cellule soient acceptés à l'état actif et un nombre d'utilisateurs largement supérieur devra être possible à l'état de veille.
- b) **Les débits** : Les objectifs du débit maximal définit pour le LTE sont les suivantes :

100Mb/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20Mhz.

50Mb/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20Mhz.

Le débit de cellule doit être atteignable au moins par 95% des utilisateurs de la cellule.

- c) **La latence :** C'est la capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. On a deux plans :
- d) **Latence du plan de contrôle :** Son objectif est d'améliorer la latence du plan de contrôle, par rapport à l'UMTS, avec un temps de transition inférieur à 100ms.
- e) **Latence du plan usager :** Correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le réseau LTE vise une latence du plan usager inférieur à 5ms.
- f) **La mobilité :** Le réseau LTE doit rester fonctionnel pour des UE qui se déplacent à des vitesses élevées.
- g) **L'émergence de l'OFDM :** L'OFDM offre plusieurs avantages pour des systèmes radio mobiles. En particulier, il bénéficie d'une grande immunité contre l'interférence entre symboles, permet aussi de gérer simplement des largeurs de bande variables et potentiellement grandes. Ce qui était une motivation de l'introduction du LTE.

### III.1.8. Les techniques d'accès dans le réseau 4G /LTE

Dans le réseau LTE on distingue deux nouvelles techniques de transmissions:

**L'OFDMA:** est la technologie d'accès multiple par rapport à l'OFDM qui consiste à répartir le signal numérique sur un grand nombre de sous porteuses orthogonales. La technologie OFDMA est utilisée dans la liaison descendante de la LTE. C'est la combinaison de TDMA et FDMA essentiellement, et les symboles sont transmis chacun à travers une sous porteuse [14].

**L'OFDMA** est une technique qui permet à plusieurs utilisateurs de transmettre simultanément sur un seul symbole OFDM. Le principe est de découper le canal en sous canaux de largeur inférieure à la bande de cohérence. Ainsi, l'information est

transmise via plusieurs sous porteuses orthogonales. L'espacement entre sous porteuses en LTE est fixé à 15 KHz,

Le **SC-FDMA** : Est la technique utilisée dans la liaison montante, dont chaque symbole est étalé sur l'ensemble des sous porteuse allouées.

La figure suivante montre la différence entre les deux technique cités ;

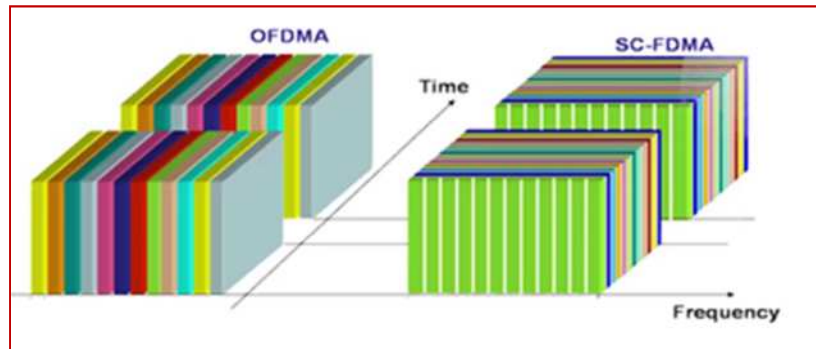


Fig.60 : Comparaison entre la technique OFDMA et SC-FDMA.

### III.1.9. Structure de la trame générique de la 4G LTE

La trame générique du LTE a une durée de 10 ms, décomposé en 20 slots de 0.5 ms chacun, numéroté de 0 à 19.

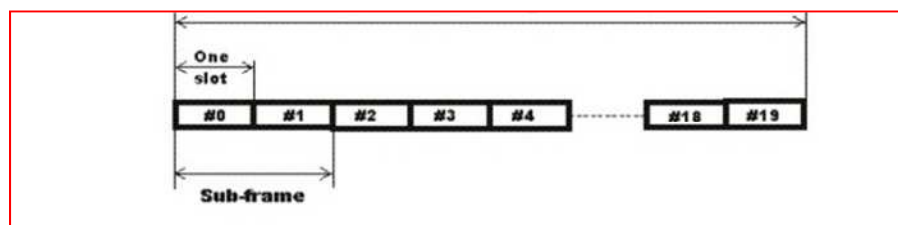


Fig.61 : La trame LTE.

Les structures de trames pour la LTE diffèrent entre les modes duplex: TDD et FDD, car il ya des exigences différentes sur la séparation des données transmise.

Avec le FDD la trame entière est alternativement dédiée à la réception et l'émission, par contre pour le TDD, une sous trame est allouée à la réception et l'émission de manière indépendante. (Une trame est un ensemble de 02 slots consécutifs), la figure suivante montre la différence entre la TDD et la FDD ;

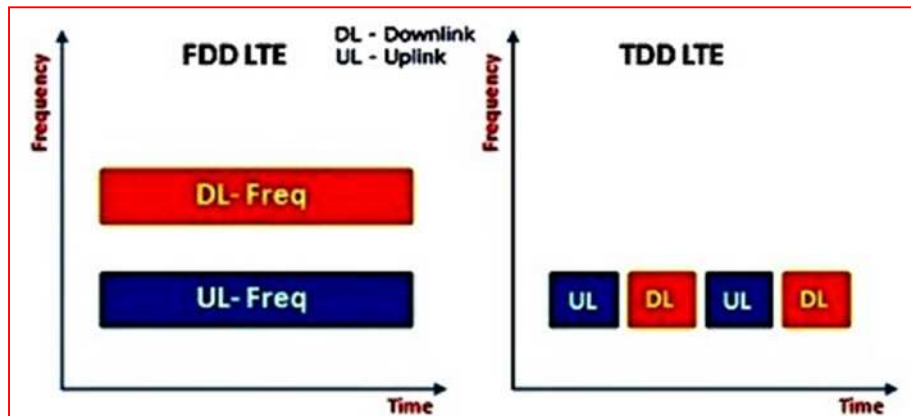


Fig.62 : Figure qui montre la différence entre la TDD et la FDD.

### III.1.10. Principe de la technologie MIMO

Le but de la technologie **MIMO** étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elle se base sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur.

Lorsqu'un tel système comprend, seulement une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé **SIMO**, même lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la transmission et une seule antenne à la réception, nommé **MISO**, finalement si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit **SISO**.

La mise en place d'une telle structure permet au LTE d'atteindre des débits importants. De plus le fait d'utiliser plus d'une antenne des deux côtés du système permet d'apporter de la diversité et a pour conséquence l'amélioration du rapport signal sur bruit.

La figure ci-dessous présente un schéma explicatif pour les techniques : MIMO, MISO, SIMO, SISO ;

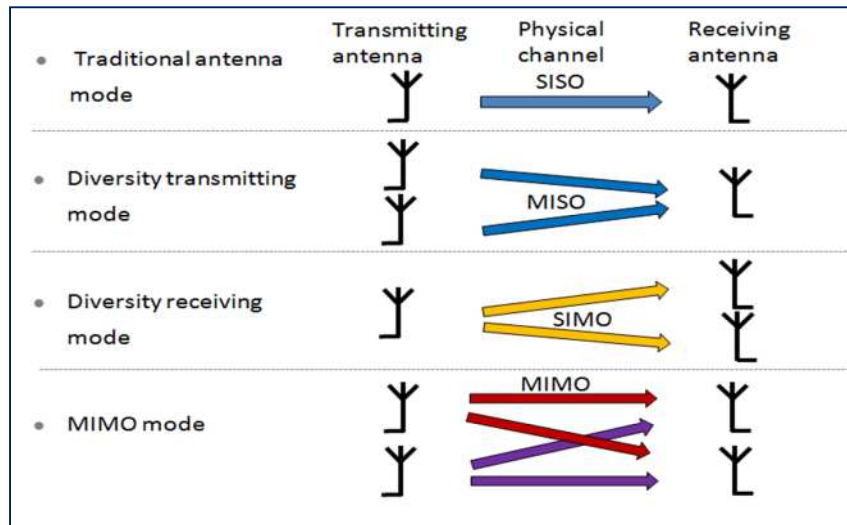


Fig.63 : Figure représentant les technologies: MIMO, MISO, SISO, SIMO.

### III.1.11. Qualité De Service «QoS»

#### a) Définition

La qualité de service (en anglais 'Quality Of Service' «QoS »), est la capacité de transmettre dans de bonnes conditions un certain nombre de paquets dans une connexion entre émetteur et récepteur, et cela peut être présenté sous plusieurs termes tels que la disponibilité, débit, délai de transmission...etc [15].

#### b) Les services de la LTE

Une nouvelle génération de systèmes mobiles permet habituellement une introduction et amélioration de nouveaux services vis-à-vis des générations précédentes et parmi ces nouveautés on cite :

- L'utilisation confort des services en ligne : les pages web et les courriers électroniques se chargent rapidement grâce au très haut débit qui permet l'introduction de nouveaux services mobiles tels que la vidéo haute définition en 3D.
- La faible latence ouvre la porte à de nouveaux services mobiles difficiles tels que les jeux vidéo sous réseau.
- La capacité accrue permet l'accès continu à des contenus en ligne (streaming) donc les terminaux recevant le média en temps réel au lieu de le lire sur leur mémoire locale.
- Les débits qui permettent la connexion des équipements par exemple : les appareils photo ou les caméras vidéo avec la technologie Machine-to-Machine.

## III.2. Partie II : Les solutions transmission pour la LTE

### Préambule

Avec l'arrivée de la technologie LTE où la demande concernant la capacité data est très forte et reste en perpétuelle évolution 150Mbps downlink et 50Mbps uplink, les réseaux de transmission doivent évoluer et s'adapter pour répondre aux besoins des clients mobiles.

Pour supporter ce besoin en capacité au niveau des réseaux de transmission, plusieurs technologies se sont imposées comme les meilleures options pour la quatrième génération :

### III.2.1.La technologie E-Band

La majorité des liens Microwave installés actuellement sont sur des bandes inférieures à 40 GHz. Les bandes de fréquences supérieures à 40GHz ne sont pas trop utilisées et représentent une vraie ressource à exploiter pour pallier aux nouveaux besoins en capacité.

Parmi ces bandes hautes on trouve la bande E (70/80GHz) correspondant à des longueurs d'ondes entre 1mm et 1cm, d'où le terme (ondes millimétriques ou mm-wave). [16]

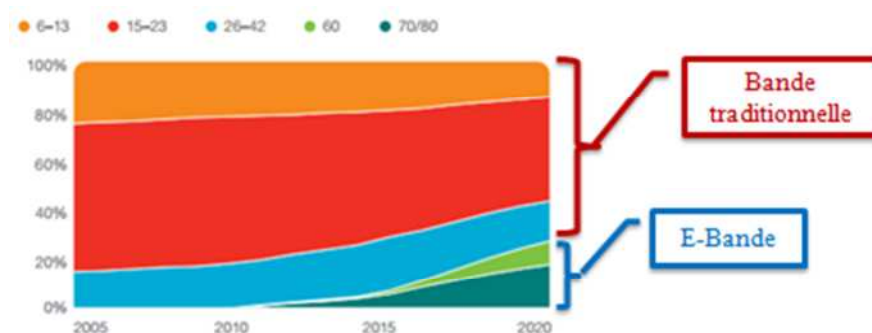


Fig.64 : L'utilisation des différentes bandes de fréquence au fil des années.

#### ➤ Caractéristique de la technologie E-Band

Plusieurs éléments techniques ont porté le choix des experts vers cette bande :

- La disponibilité d'un large spectre de fréquences sur cette bande permettant l'assignation de canaux très larges (canaux multiples de 250MHz)

- Ces canaux larges permettent d'obtenir des débits supérieurs à 1Gbps ;
- La band E disposant d'une longueur d'onde très petite (millimetre waves), elle permet de réduire de manière importante les risques d'interférences entre liens voisins ;
- la disponibilité de plusieurs solutions basées sur des antennes directionnelles très performantes a facilité le développement de cette technologie ;
- Concernant la longueur par Hop et vu l'atténuation du signal sur les fréquences très hautes, les Experts préconisent un maximum de **2Km** pour un service, avec une disponibilité maximale.
- Les solutions E-Band proposées par les fournisseurs de MOBILIS basées sur un modèle appelé *Full Outdoor* (Les deux parties intérieur et extérieur sont installées sur le pylône). [16]

### III.2.2. La Modulation adaptative

C'est une technique de modulation de l'information adaptative utilisée notamment en Wi-MAX et en LTE . Elle consiste à adapter les modulations utilisées en fonction de la qualité du signal. Par exemple, si les modulations disponibles sont le **QPSK** et le **256QAM**, dans le cas où le canal est marqué comme bon, on utilisera la modulation 256QAM, qui offre un meilleur débit mais une plus faible robustesse. Par contre, si le canal est marqué comme dégradé, on utilisera la modulation QPSK, plus robuste, la figure ci après montre l'effet de la pluie sur : la modulation utilisée et les services offerts ;

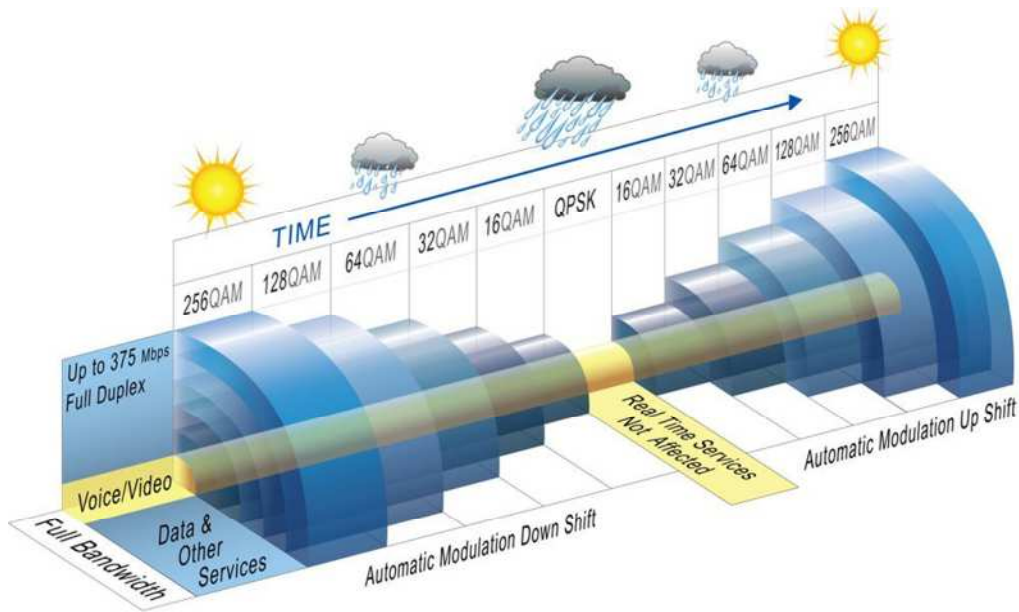


Fig.65 : Influence de la pluie sur la modulation et les services offerts.

- **La Modulation 1024 QAM :** Les principaux fournisseurs d'équipement de transmission utilisent actuellement des transmissions à longue distance fiables en utilisant la modulation **1024QAM** pour répondre au besoin en capacité élevé avec le développement de la technologie LTE et LTE-Ad, la figure suivante représente le codage sur 10 bits ;

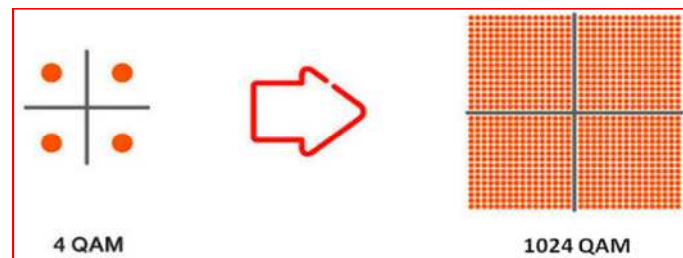


Fig.66 : La Modulation 1024 QAM

### III.2.3. Mw-MIMO (Microwave MIMO)

Parmi les solutions technologiques qui répondent à des besoins de transmission haut débit robustes, un concept innovant est apparu il y a quelques années dans la partie radio ensuite dans la partie transmission, Il s'agit de la technique multi-émettrice multi-réceptrice nommée« MIMO », utilisant le même canal et la même polarisation [17].

La figure suivante montre le principe de cette technologie :

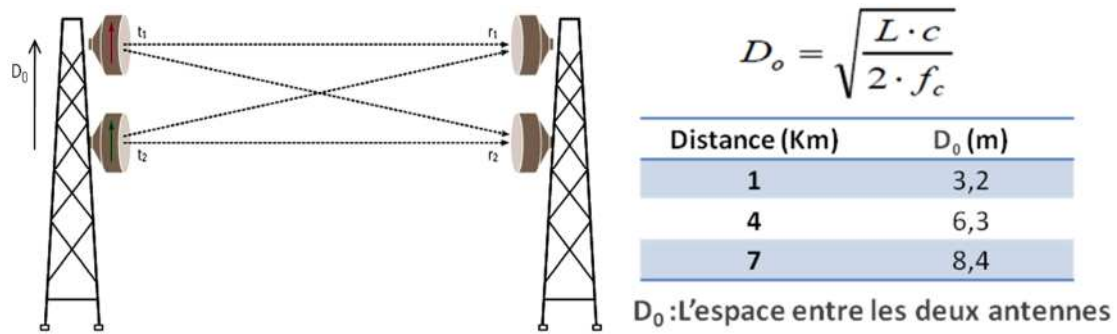


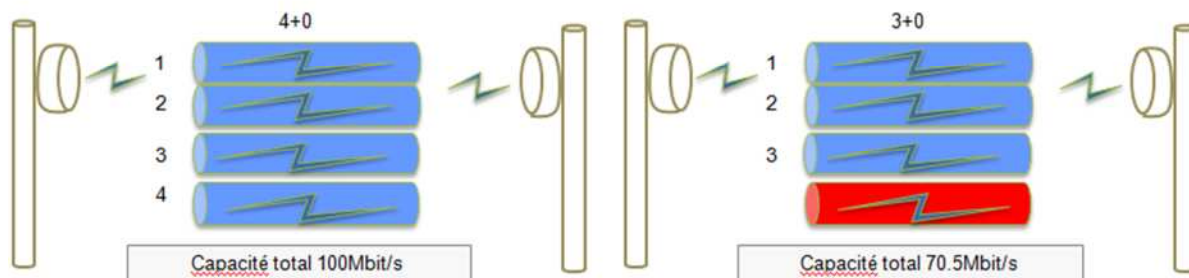
Fig.67 : Principe de la technologie «Mw-MIMO»

### III.2.4. La méthode PLA (Link bonding )

La méthode PLA (Physical Layer Agregation) agrégation de la couche physique ou «link bonding» effectue une répartition de charge en fonction de la bande passante, ceci est similaire à attribuer la circulation des véhicules selon la capacité des différents voies, elle augmente l'utilisation de la bande passante et répartit les charges.

La détérioration d'un canal de micro-ondes déclenche un décalage de modulation automatique (AM) dans ce cas le module PLA redistribue le trafic de service entre les organes de laissons en fonction de la bande passante correspondante

En cas de panne matériel d'un canal, le module PLA cesse d'alimenter le trafic de service sur le canal défectueux, les services ne sont transmis que sur les liens qui fonctionnent normalement, la bande passante est réduite mais les services de haute priorité capable de transmettre normalement. Les figures suivantes montrent son principe de fonctionnement :



Cas 1: les 4 canaux fonctionnent normalement

Cas 2 : un canal est défectueux

Fig.68 : La méthode PLA (Link bonding).

**III.2.5. La fonction XPIC (Dual polarisation):** La fonction XPIC est apparue il ya des années mais avec le besoin actuel en haut débit après l'arrivée du LTE et LTE-Ad, les opérateurs orientent de plus en plus vers l'utilisation de cette technologie. (Voir paragraphe chapitre 2 configurations).

### **Conclusion**

En effet, une bonne connaissance des architectures permet aux planificateurs de mieux gérer les ressources, de faciliter l'évolution du réseau en intégrant des technologies plus performantes, qui leur permettent de fournir en même temps des services de bonne qualité.

---

# ***CHAPITRE IV:***

## ***Dimensionnement et planification du réseau 4G/LTE***

---

## Préambule

Pour un opérateur de télécommunication, l'étape de dimensionnement est primordiale avant la mise en œuvre de son réseau. Pour se faire, il existe plusieurs logiciels de planification tel que : Path Loss, TEMS, et Ellipse.

Dans notre projet de fin d'étude nous allons utiliser le logiciel «Ellipse version : 8.6.0.632 » qui est l'outil de simulation le plus récent et utilisé par l'ATM. Il nous permettra de créer, planifier, dimensionner, et réaliser des liens de transmission réels.

Notre travail consiste à :

- Créer 40 sites situés à la wilaya de Tlemcen pour réaliser un réseau de troisième génération puis le développer pour avoir un réseau de quatrième génération.
- Les relier par des liaisons FH.
- introduire pour chaque site ses propres paramètres.
- Créer une liaison entre deux régions de la wilaya de Tlemcen (Centre Ville 13101 – REMCHI 13104).

### IV.1.Partie 1 : présentation du logiciel de planification « Ellipse »

Dans cette partie on va citer les fonctions basiques permettant de se familiariser avec le logiciel.

Les étapes qu'on a suivies dans notre projet sont décrites comme suit :

- Pour accéder au logiciel « **Ellipse** », il suffit de double cliquer sur l'icône correspondante dans le bureau indiquée sur la figure suivante,

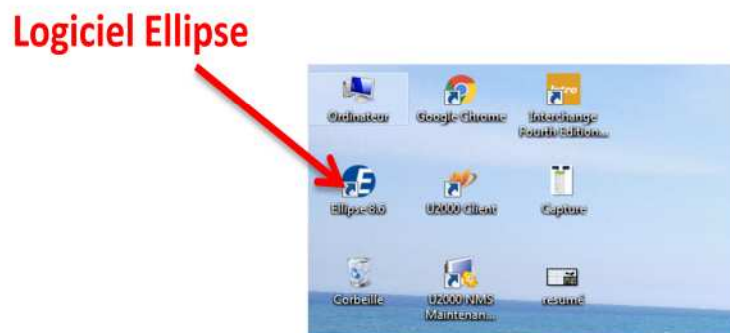


Fig.69 : l'icône du logiciel.

- L'ouverture du logiciel de planification :



Fig.70 : fenêtre de l'ouverture du logiciel.

- Accéder à la page d'accueil (La première page lors de l'ouverture du logiciel) où on trouve:
  - Une icône pour créer un nouveau projet (New Project).
  - Des icônes pour suivre une démonstration et pour consulter l'aide (Demo, Take a Tour - Help).
  - A gauche de la fenêtre, on trouve les projets récents.

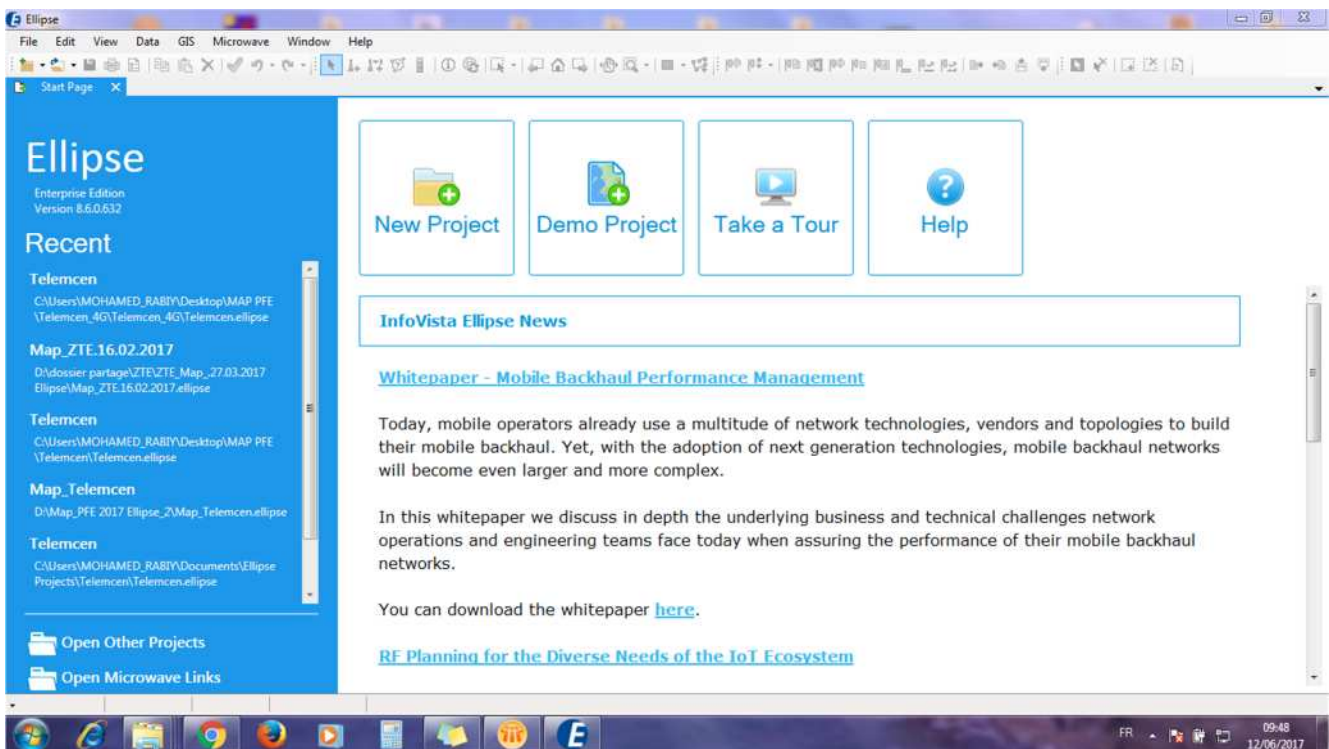


Fig.71 : page d'accueil du logiciel Ellipse.

- Explorer un projet existant : la figure suivante représente une partie du réseau équipé par le fournisseur ‘Chinois’ ZTE, situé à l’ouest (les différentes couleurs représentent les différentes fréquences utilisées lors de la planification et dimensionnement).

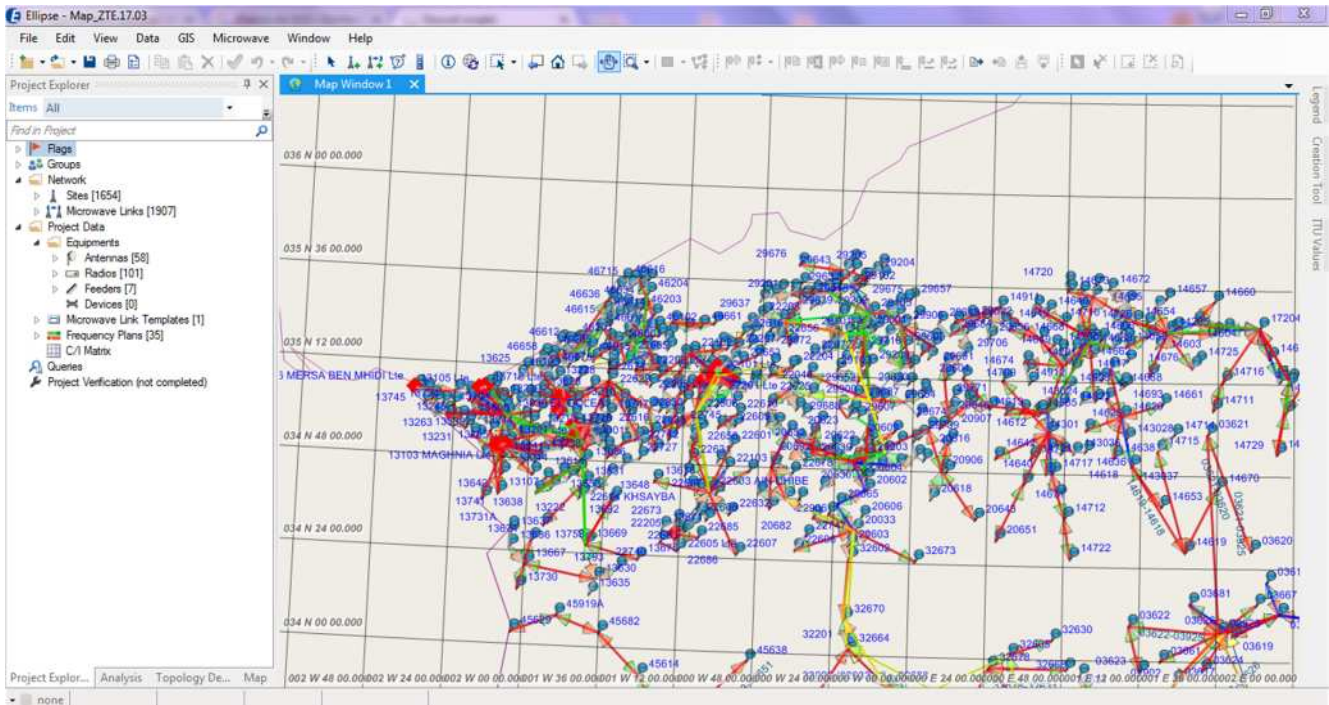


Fig.72 : La MAP d’un projet existant.

- Créer un nouveau projet : pour se faire il suffit de cliquer sur l’icône montre ci-dessous,



Fig.73 : Icône qui permet de créer un nouveau projet.

Après avoir cliqué sur cette icône, on a eu la fenêtre suivante pour choisir la région Tlemcen qui est le choix de notre pratique :



Fig.74 : fenêtre permettant de faire le choix de la région.

- Créer un site : pour se faire il suffit de cliquer sur la commande indiquée.

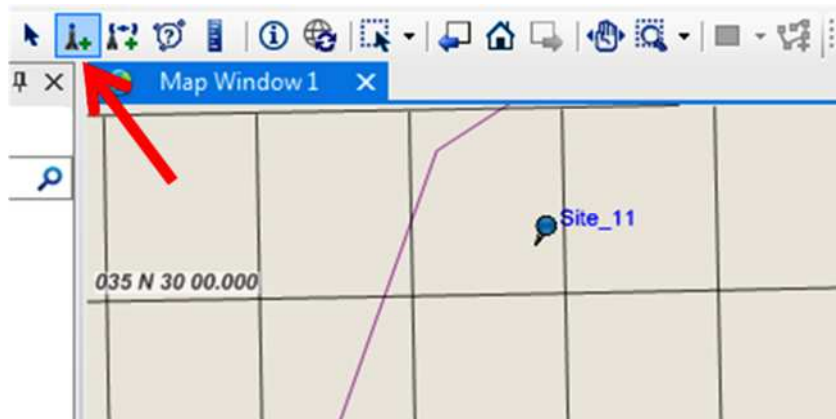


Fig.75 : figure indiquant la commande qui nous permet de créer un site.

- Introduction des paramètres du site (nom du site et coordonnées GPS) :
  - 1) **Nom du site** : composé du numéro de la wilaya suivis d'un chiffre donné par défaut.
  - 2) **Longitude** : c'est l'expression du positionnement Est ou Ouest du site.
  - 3) **Latitude** : c'est l'expression du positionnement Nord ou Sud du site.
  - 4) **Élévation** : c'est l'élévation du site par rapport à la mer, obtenue automatiquement après l'introduction des coordonnées GPS.

Et la fenêtre suivante nous permet d'introduire les paramètres cités:

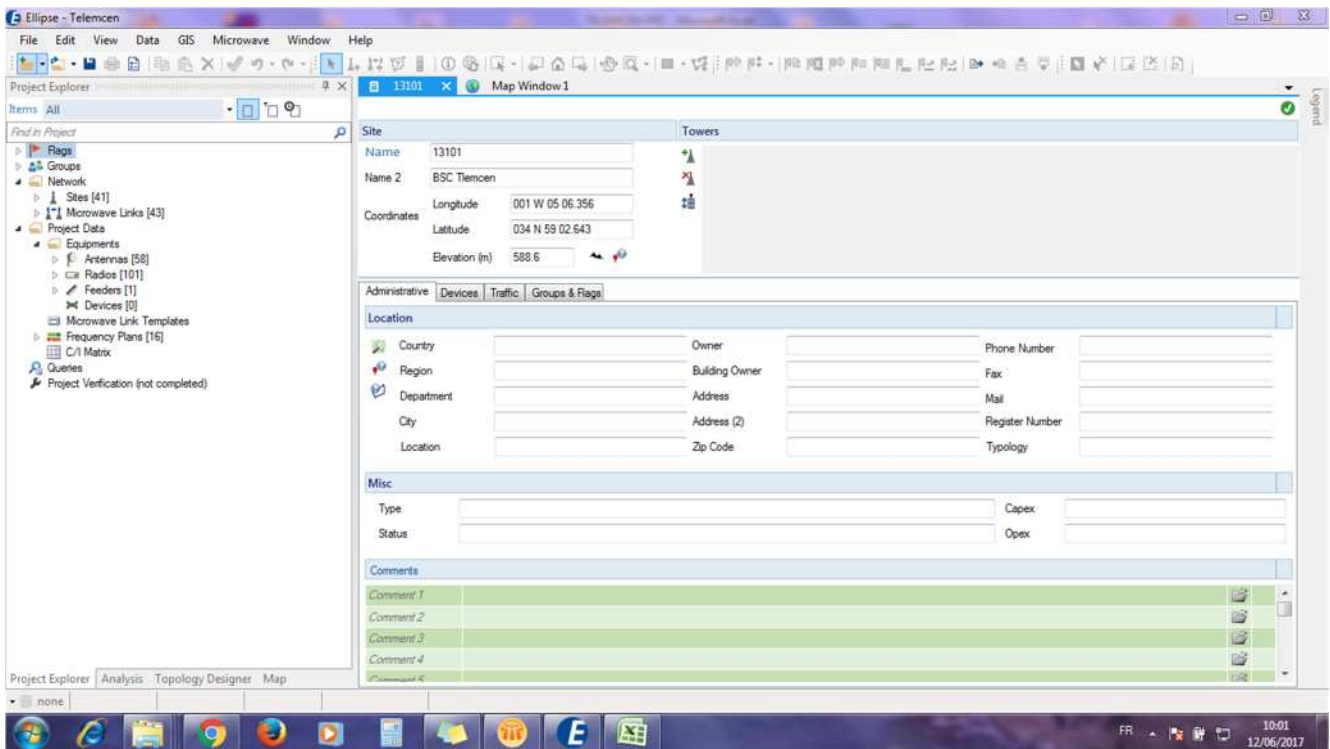


Fig.76 : fenêtre permettant d'introduire les coordonnées GPS.

- Créer une liaison : pour se faire il suffit de cliquer sur la commande indiquée :

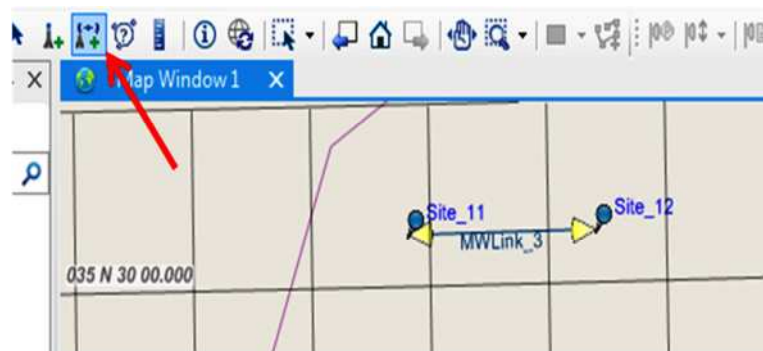


Fig.77 : commande permettant de créer une liaison.

- Explorer une liaison : dans cette étape on introduit et on manipule des paramètres (radio, pertes et antenne), et la figure suivante montre les différents espaces de paramétrage et de dimensionnement :

Fig.78 : fenêtre des différents espaces de paramétrage.

- Test de visibilité (étude LOS) : Pour tester la visibilité et la nonvisibilité, on vérifie la couleur du lobe indiquée sur la fenêtre suivante:

Fig.79 : fenêtre indiquant le résultat du test de visibilité.

Dans le test de visibilité on distingue trois cas:

- a) Visibilité directe : aucun obstacle n'a été détectée (figure 80).

- b) Near LOS : la visibilité est moyenne (figure 81).
- c) NON LOS : aucune visibilité (figure 82).

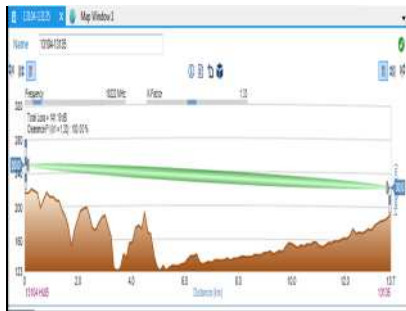


Fig.80: LOS.



Fig. 81: Near LOS.

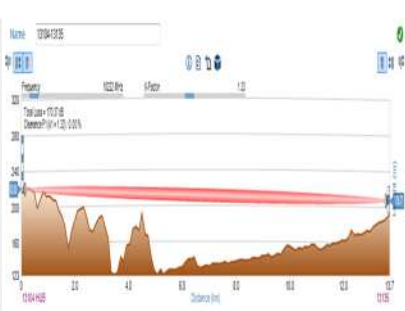


Fig.82: NON LOS.

- Résoudre le problème de non visibilité : on change le HBA (Hauteur Bas d'Antenne) et cela se fait à l'aide de la commande indiquée :

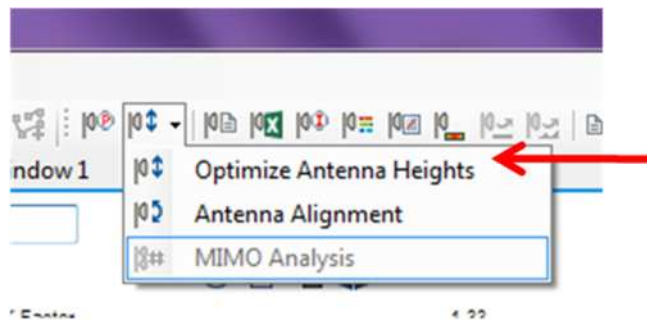


Fig.83 : figure de la commande permettant le paramétrage HBA.

- Test d'interférence : pour se faire il suffit de cliquer sur la commande indiquée.

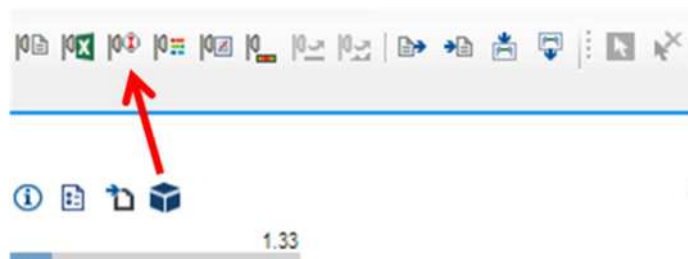


Fig.84 : commande permettant le test d'interférence.

- La fenêtre suivante permet d'accéder aux paramètres des sites créés avec la possibilité de les modifier.

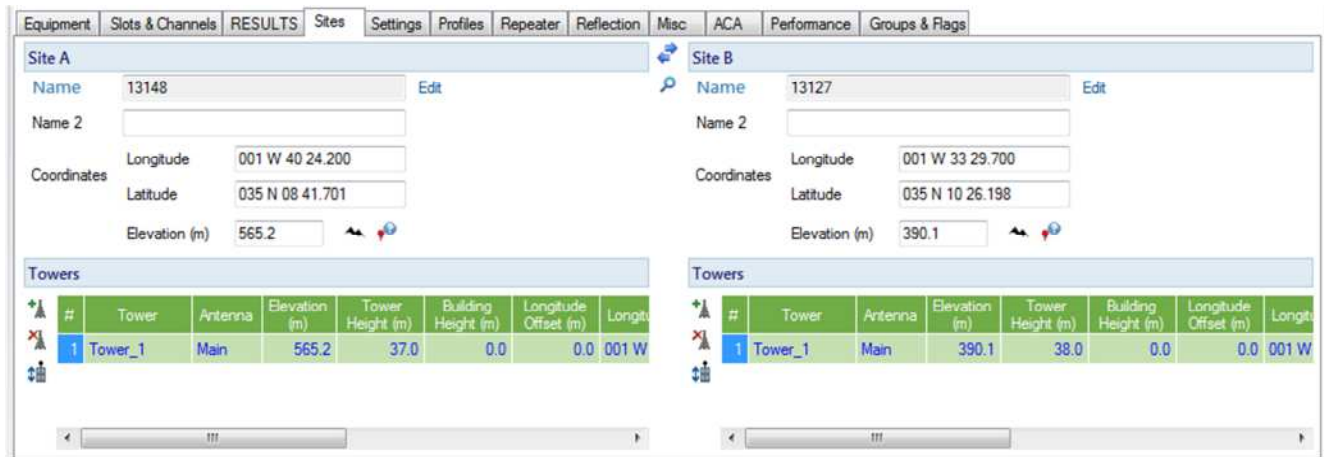


Fig.85 : fenêtre qui nous permet d'accéder aux paramètres des sites.

#### IV.2.Partie 2 : dimensionnement et planification d'un cas pratique.

Dans cette partie on expliquera en détails les différentes étapes qu'on a établies pour pouvoir réaliser un réseau de troisième génération (3G) qu'on a conçu à Tlemcen avec 43 liaisons de différentes configurations («1+1», «2+0») et 40 sites dont : un site HUB (situé dans la région de Remich) et une station de base RNC/BSC (situé au centre ville de Tlemcen), et par la suite on l'a développé pour avoir un réseau de quatrième génération( 4G/LTE).

- 1<sup>ère</sup> étape : on a créé 40 sites et on a introduit pour chaque site ses propres paramètres (le nom, les coordonnées GPS et l'élévation par rapport à la mer), la fenêtre suivante montre les résultats qu'on a obtenu :

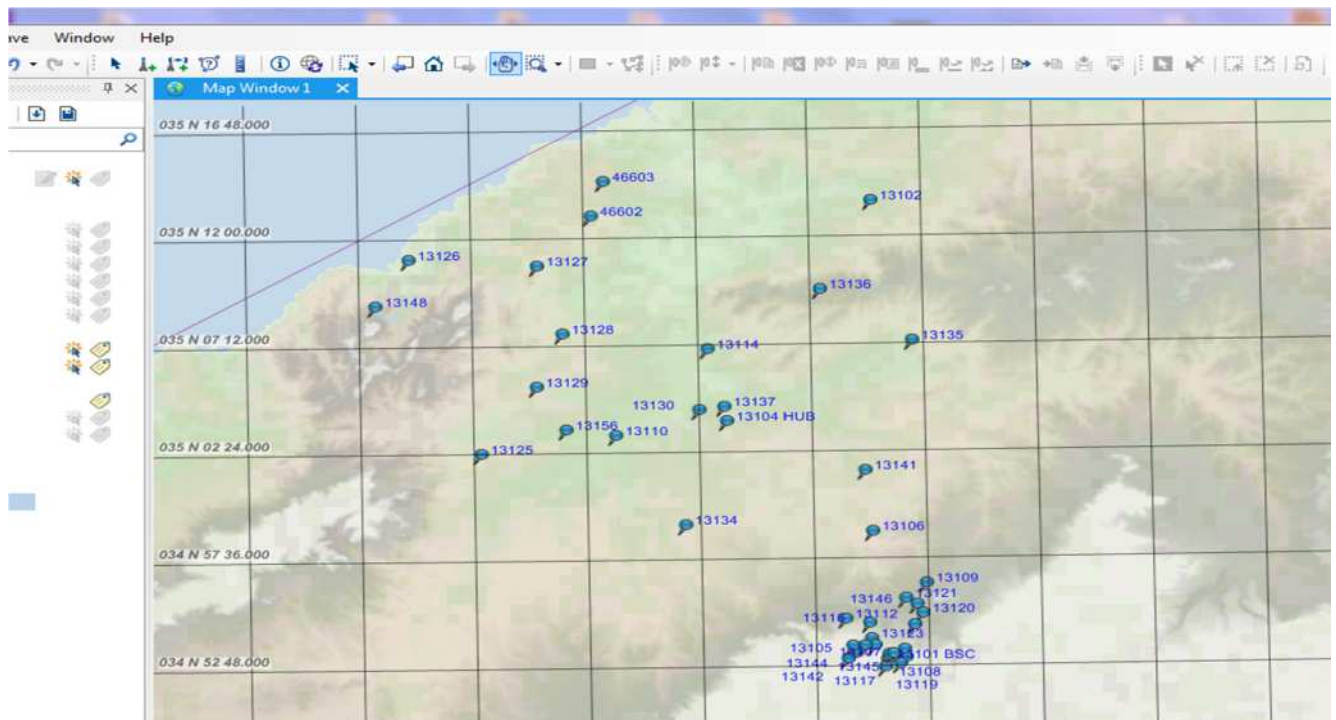


Fig.86 : les 40 sites créés pour le réseau de troisième génération.

- 2<sup>ème</sup> étape : on a créé des liaisons de façon à relier tout les sites à la station de base RNC, en suivant le chemin le plus court et en respectant la condition de visibilité (LOS). Lors de la création de ces 43 liaisons on a rencontré trois cas :
  - Une visibilité directe LOS: rien à modifier.
  - Une visibilité partielle «Near-LOS» présenté dans la liaison «13104-13135».
  - Une non visibilité «NLOS» (présenté par la liaison «13102-13127».

Pour remédier au problème de visibilité rencontré dans les deux derniers cas on a exécuté la commande de l'optimisation du HBA montrée dans la figure 83.

- 3<sup>ème</sup> étape : on a introduit pour chaque liaison les paramètres suivants :
  - Paramètres de l'antenne : le diamètre et la fréquence selon la distance entre deux sites et le réglage manuel de l'HBA, la figure suivante montre l'espace de paramétrage de l'antenne :

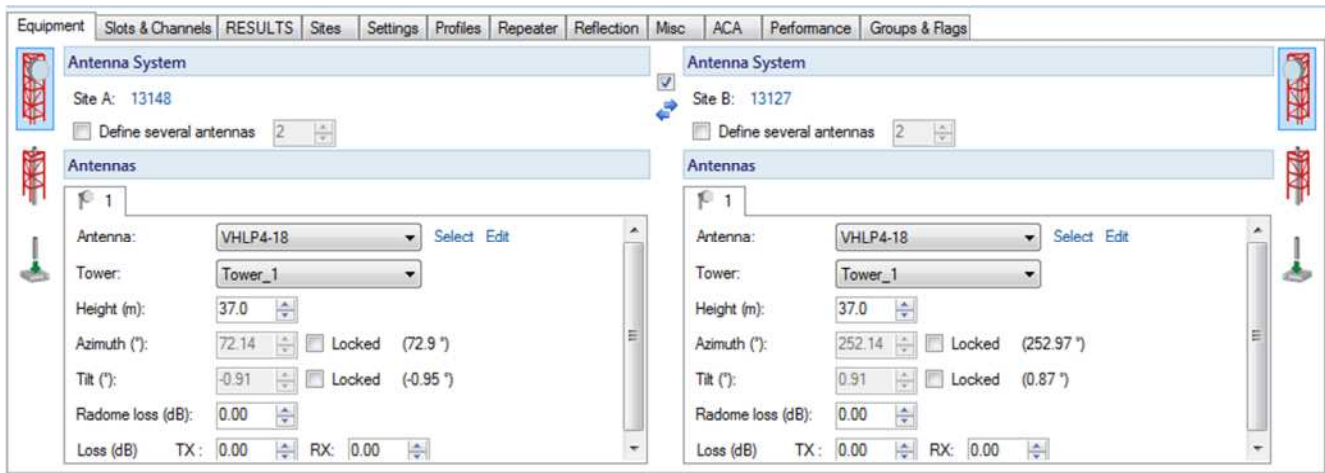


Fig.87 : Espace de paramétrage de l’antenne.

- La figure N° 87 montre l’espace où introduire les pertes totales : ( $P_{branchement}, P_{equipements}, P_{cablage}$ ) Selon les types de configuration (valeurs fournis par l’équipementier NEC) tel que:

Types de configurations	Fréquences	Pertes
1+1	ALL	3.9 dB
2+0	ALL	1 dB
4+0	6/8 GHz	4.2 dB
	11/15/18 GHz	4.5 dB

Tab.4 : Tableau indiquant les types de configurations en fonction des fréquences et des pertes.

Et la fenêtre suivante montre l’espace réservé pour introduire les pertes totales :

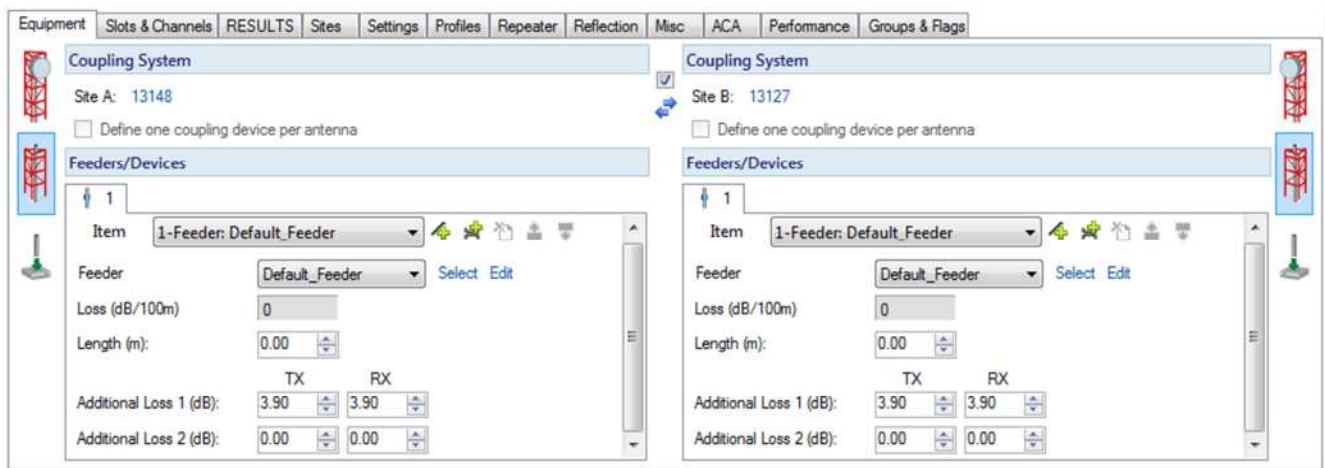


Fig.88 : Espace pour introduire les pertes totales.

- Paramètres radio (ODU) :

Le choix de l’ODU se fait selon la capacité totale (21Mbs pour la première phase, 42Mbs pour la deuxième phase) qui dépend des critères suivants:

- 1) **La fréquence** : fréquences autorisées par ATM sont : 6 GHz, 8 GHz, 11 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 38 GHz.
- 2) **Le Channel Spacing** : 7MHz, 14 MHz, 28 MHz.
- 3) **La modulation** : QPSK, 16QAM, 32 QAM, 64 QAM, 128 QAM, 256 QAM, 512 QAM, 1024 QAM.

Et les résultats sont obtenus comme suit :

CS / MOD	QPSK (2 <sup>2</sup> )	16(2 <sup>4</sup> ) QAM	32(2 <sup>5</sup> ) QAM	64(2 <sup>6</sup> ) QAM	128(2 <sup>7</sup> ) QAM	256(2 <sup>8</sup> ) QAM	512(2 <sup>9</sup> ) QAM	1024(2 <sup>10</sup> ) QAM
7 Mhz	14	28	35	42	49	56	63	70
14 Mhz	28	57	71	85	99	114	126	140
28 Mhz	56	114	143	172	200	229	252	280

Tab.5 : Le débit en fonction de la modulation et du Channel Spacing.

La figure suivante montre l’espace consacré pour introduire les paramètres cités,



Fig.89 : Espace de paramétrage et dimensionnement de la partie radio (ODU).

- 4<sup>ème</sup> Étape : la figure ci-dessous indique l’espace pour choisir les paramètres de l’unité intérieure « IDU»: La puissance d’émission TX, la bande de fréquence et le canal autorisé par l’opérateur, la polarisation (H/V), le nombre de slots (porteuses) selon le type de configuration, la parité (High/Low) et la capacité TDM et Ethernet.

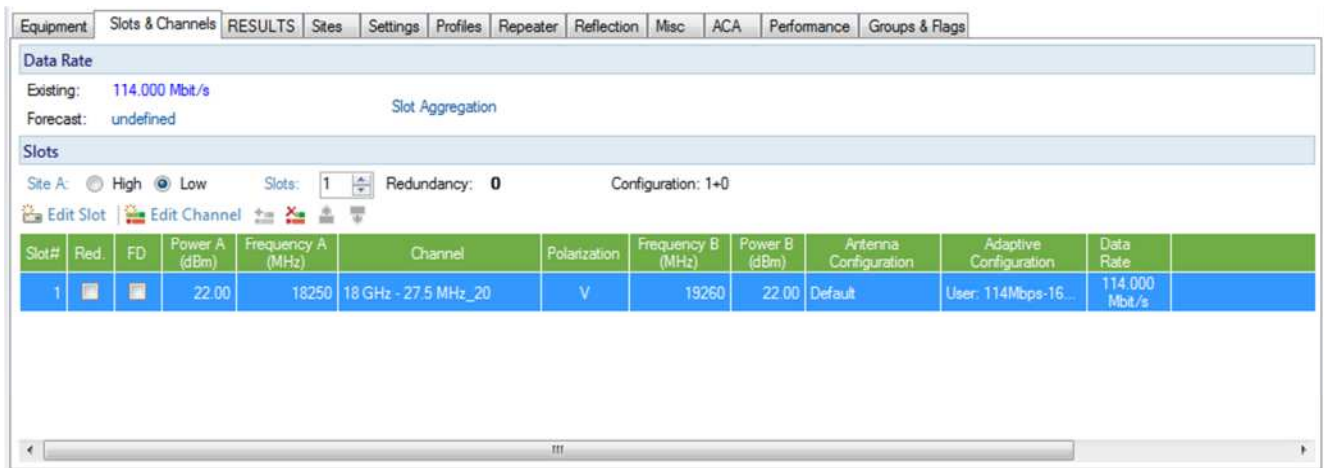


Fig.90 : figure indiquant le choix du canal.

- 5<sup>ème</sup> étape : Avant de voir les résultats du calcul du bilan des liaisons, on a fait d'abord un test d'interférences pour chacune de ces dernières à l'aide de l'icône indiquée dans la figure 84 et on a rencontré quatre cas :
- Le cas d'absence d'interférence, on a eu les résultats suivants pour la liaison «13148-13127»:

13148-13127		
	Unit	Channel 18 GHz - 27.5 MHz_20 V
Number of interferers		0
Worst I > Site 13148	dBm	
Worst I > Site 13127	dBm	
Total I > Site 13148	dBm	
Total I > Site 13127	dBm	
Worst TD > Site 13148	dB	0.00
Worst TD > Site 13127	dB	0.00
Aggregated TD > Site 13148	dB	0.00
Aggregated TD > Site 13127	dB	0.00
C Level > Site 13148	dBm	
C Level > Site 13127	dBm	
Worst C/I > Site 13148	dB	
Worst C/I > Site 13127	dB	
Aggregated C/I > Site 13148	dB	
Aggregated C/I > Site 13127	dB	
High/Low Conflict		OK
kTB (13148)	dBm	-99.63
kTB (13127)	dBm	-99.63
Worst C/I from Site 13148	dB	
Worst C/I from Site 13127	dB	

Fig.91 : Fenêtre qui montre les résultats d'absence d'interférences.

- Le cas d'interférence négligeables : la valeur de TD (Threshold Degradation) est dans l'intervalle [1dB-3dB] et les résultats sont comme suit pour la liaison «13101-13112»:

13101-13112			
	Unit	Channel 15 GHz - 28 MHz DF_0_1 H	Channel 15 GHz - 28 MHz DF_0_1 V
Number of interferers		2	2
Worst I > Site 13101 BSC	dBm	-144.95	-144.95
Worst I > Site 13117	dBm	-102.95	-102.95
Total I > Site 13101 BSC	dBm	-144.95	-144.95
Total I > Site 13117	dBm	-101.75	-101.75
Worst TD > Site 13101 BSC	dB	0.00	0.00
Worst TD > Site 13117	dB	1.01	1.01
Aggregated TD > Site 13101 BSC	dB	0.00	0.00
Aggregated TD > Site 13117	dB	1.29	1.29
C Level > Site 13101 BSC	dBm	-40.75	-40.75
C Level > Site 13117	dBm	-40.44	-40.44
Worst C/I > Site 13101 BSC	dB	104.20	104.20
Worst C/I > Site 13117	dB	62.50	62.50
Aggregated C/I > Site 13101 BSC	dB	104.19	104.19
Aggregated C/I > Site 13117	dB	61.31	61.31
High/Low Conflict		OK	OK
kTB (13101 BSC)	dBm	-97.13	-97.13
kTB (13117)	dBm	-97.13	-97.13
Worst C/I from Site 13101 BSC	dB	75.64	75.64
Worst C/I from Site 13117	dB	96.68	96.68

Fig.92 : Fenêtre qui montre les résultats d'interférences négligeable.

Pour remédier à ce problème on a changé soit le canal ou bien la polarité de l'antenne.

- Le cas d'interférence provoquée par la parité (High/Low) : les résultats sont comme suit « pour la liaison «13101-13117»:

13101-13117			
	Unit	Channel 38 GHz - 14 MHz_6 H	
Number of interferers		2	
Worst I > Site 13101 BSC	dBm	-113.15	
Worst I > Site 13117	dBm	-147.83	
Total I > Site 13101 BSC	dBm	-113.15	
Total I > Site 13117	dBm	-147.77	
Worst TD > Site 13101 BSC	dB	0.17	
Worst TD > Site 13117	dB	0.00	
Aggregated TD > Site 13101 BSC	dB	0.17	
Aggregated TD > Site 13117	dB	0.00	
C Level > Site 13101 BSC	dBm	-35.86	
C Level > Site 13117	dBm	-35.56	
Worst C/I > Site 13101 BSC	dB	77.29	
Worst C/I > Site 13117	dB	112.27	
Aggregated C/I > Site 13101 BSC	dB	77.29	
Aggregated C/I > Site 13117	dB	112.21	
High/Low Conflict		Conflict	
kTB (13101 BSC)	dBm	-99.13	
kTB (13117)	dBm	-99.13	
Worst C/I from Site 13101 BSC	dB	104.95	
Worst C/I from Site 13117	dB	139.82	

Fig.93 : Fenêtre qui montre les résultats d'interférences dues à la parité.

Pour remédier à ce problème on change la parité de l'un des deux sites.

- En cas d'interférence provoquée par l'utilisation des canaux proches ou identiques (possibilité d'utiliser le même canal plusieurs fois à condition d'avoir un angle 90° ou plus entre ces canaux identiques pour l'équipementier ZTE), les résultats du test sont comme suit:

13104-13136		
	Unit	Channel 18 GHz - 27.5 MHz_19 V
Number of interferers		1
Worst I > Site 13104 HUB	dBm	-84.62
Worst I > Site 13136	dBm	-129.55
Total I > Site 13104 HUB	dBm	-84.62
Total I > Site 13136	dBm	-129.55
Worst TD > Site 13104 HUB	dB	18.08
Worst TD > Site 13136	dB	0.01
Aggregated TD > Site 13104 HUB	dB	18.08
Aggregated TD > Site 13136	dB	0.01
C Level > Site 13104 HUB	dBm	-36.67
C Level > Site 13136	dBm	-37.41
Worst C/I > Site 13104 HUB	dB	47.96
Worst C/I > Site 13136	dB	92.14
Aggregated C/I > Site 13104 HUB	dB	47.96
Aggregated C/I > Site 13136	dB	92.14
High/Low Conflict		OK
kTB (13104 HUB)	dBm	-102.63
kTB (13136)	dBm	-102.63
Worst C/I from Site 13104 HUB	dB	82.13
Worst C/I from Site 13136	dB	44.13

Fig.94 : Interférences provoqué par l'utilisation des canaux proches ou identiques.

Pour remédier à ce problème on a changé dans des cas le canal et dans d'autre la fréquence, et en cas d'absence de la fréquence adéquate pour le site (en cours de manipulation) parmi les fréquences déjà existantes on ajoute la fréquence voulue à l'aide de la commande suivante :

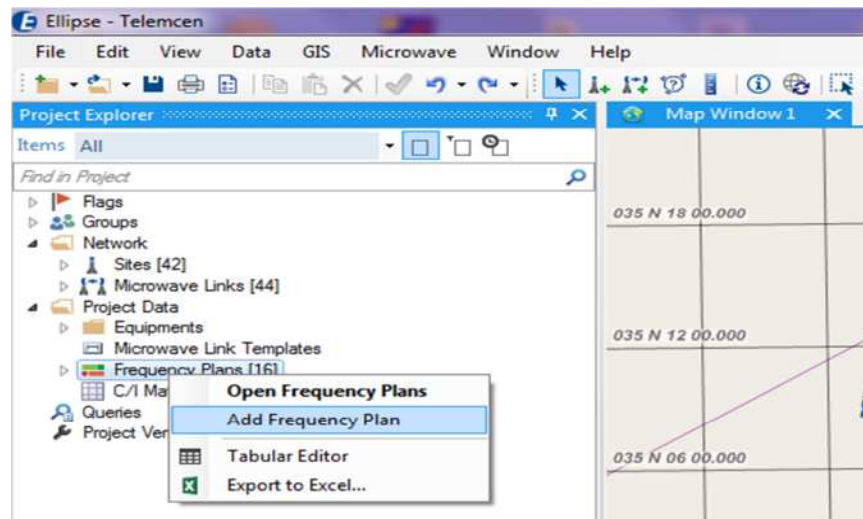


Fig.95 : fenêtre permettant l'ajout d'une fréquence.

- 6<sup>ème</sup> étape : Pour voir les résultats du calcul du bilan de liaison et les performances, on clique sur « RESULTS » qu'on trouve dans l'espace de paramétrage et dimensionnement puis on obtient la fenêtre suivante:

13148-13127 Availability						
Channel - 18 GHz - 27.5 MHz_20_V (Slot No1)						
Scheme	TX Power (dBm)	Threshold (dBm)	RX Level (dBm)	Rain (Av. %) Annual / Worst Month	Multipath (Av. %) Annual / Worst Month	Refraction (Annual / Worst Month)
<b>BER 10-6</b>						
114Mbps-16QAM*	A: 22 B: 22	B: -79.5 A: -79.5	B: -35.51 A: -36.22	AB: 99,99994695 / 99,99945631 BA: 99,99990165 / 99,99906982	AB: 100 / 99,99999997 BA: 100 / 99,99999997	Not Computed

Fig.96 : figure indiquant les résultats du bilan de liaison.

- La fenêtre suivante nous a permis d'accéder aux détails des sites créés avec la possibilité de modifier leurs paramètres (nom du site, longitude, latitude).

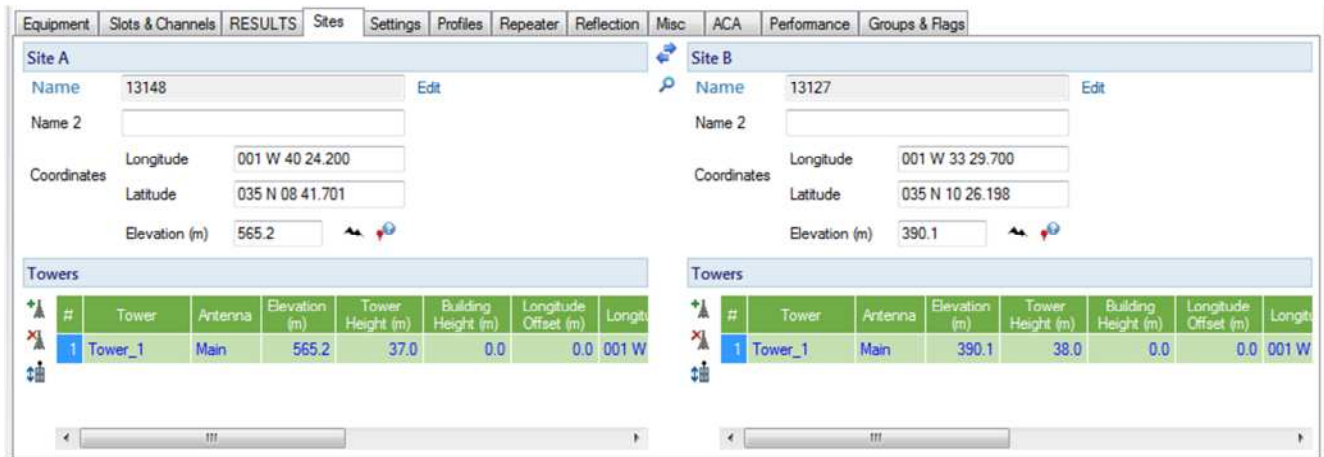


Fig.97 : fenêtre de paramétrage des sites.

La MAP du réseau de troisième génération qu'on a planifié et dimensionner (dans la région de Tlemcen sans les données géographiques), est présentée dans la figure ci-dessous :

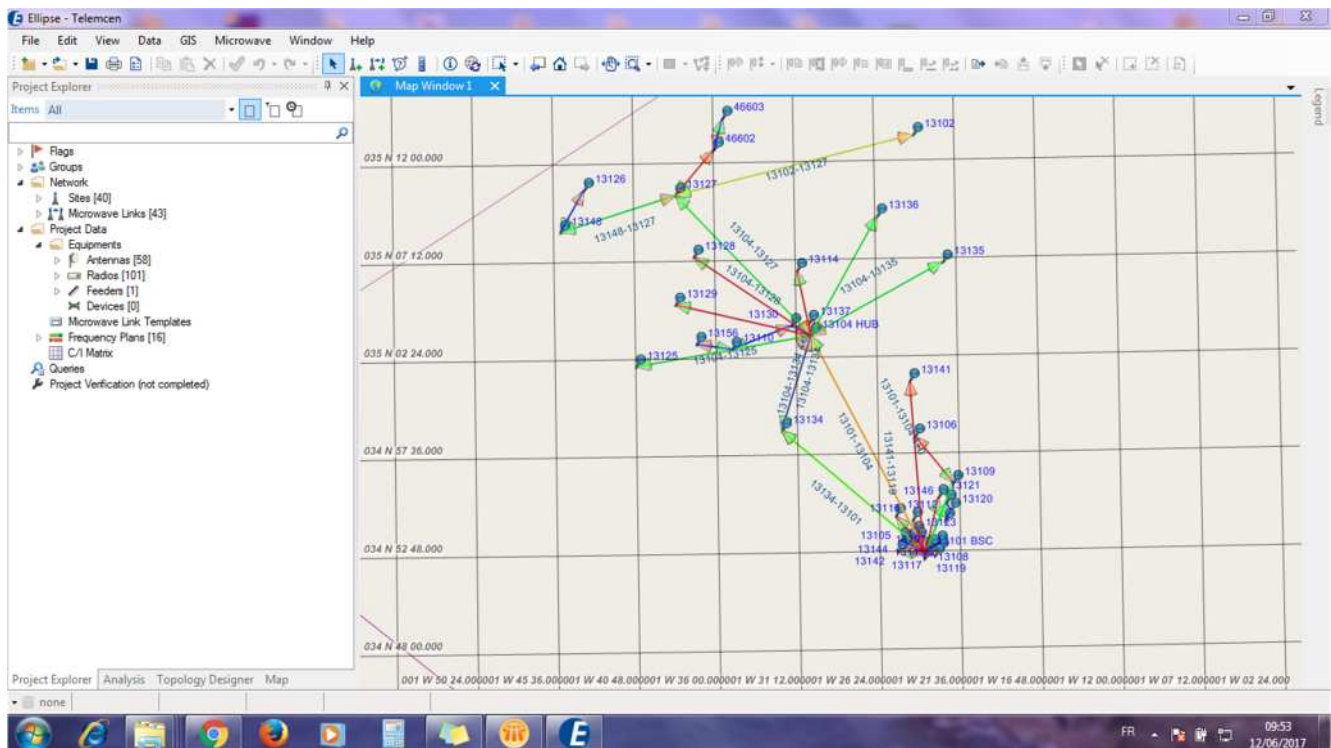


Fig.98 : Le réseau de troisième génération créé à Tlemcen sans coordonnées géographiques.

NB : En vu de l'importance du site HUB (situé à Remchi), qui regroupe 18 sites de troisième génération il fallait créer une liaison de protection (13101-13104) en formant une topologie Ring (anneau) et la figure suivante la montre :



- Avant de passer au réseau de quatrième génération, il faudrait s’assurer que toutes les liaisons du réseau créé n’ont aucune interférence, et cela en exécutant la commande indiquée dans la fenêtre suivante:

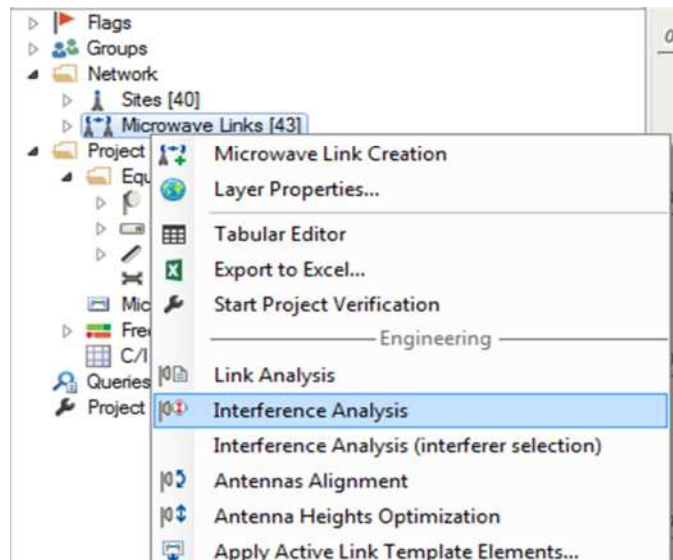


Fig.101 : commande qui permet d’analyser toutes les interférences du réseau.

Après avoir planifié et dimensionner le réseau de troisième génération on a obtenu les résultats suivants :

- Résultats d’interférences : aucune interférence n’a été signalée et la figure ci-dessous le montre,

Interference Results

Interference Results - Interferences\_270

View Summary Page: 1 Search link:

MW Links	Per MW Link Result
Per MW Link	
Per Channel	
12120-13124	
13101-13104	
13101-13105	
13101-13107	
13101-13108	
13101-13109	
13101-13112	
13101-13116	
13101-13117	
13101-13119	
13101-13121	
13101-13123	
13101-13140	
13101-13142	
13101-13143	
13101-13144	
13101-13145	
13101-13146	
13101-13155	
13101-13104 4+0	
13102-13127	
13104-13114	
13104-13125	
13104-13127	
13104-13128	
13104-13129	
13104-13130	
13104-13134 HSB	
13104-13135	
13104-13136	
13104-13137	

Channel #1	Channel #2	Channel #3	Channel #4
38 GHz - 14 MHz_6 V			
15GHz-14MHz_x2 V			
23 GHz - 14 MHz_33 V			
23 GHz - 7 MHz_11 V			
38 GHz - 14 MHz_1 V			
18 GHz - 27.5 MHz_19 V			
23 GHz - 7 MHz_58 V			
23 GHz - 7 MHz_59 H			
38 GHz - 14 MHz_6 H			
38 GHz - 14 MHz_2 V			
23 GHz - 14 MHz_31 V			
38 GHz - 7 MHz_10 V			
23 GHz - 14 MHz_32 V			
23 GHz - 14 MHz_27 H			
23 GHz - 7 MHz_69 V			
38 GHz - 7 MHz_8 V			
38 GHz - 14 MHz_3 V			
18 GHz - 27.5 MHz_17 V			
38 GHz - 14 MHz_8 H			
8 GHz - 29.65 MHz_2 V	8 GHz - 29.65 MHz_2 H	8 GHz - 29.65 MHz_4 V	8 GHz - 29.65 MHz_4 H
15 GHz - 3.5 MHz_33 V			
23 GHz - 14 MHz_27 V			
18 GHz - 27.5 MHz_17 V			
18 GHz - 27.5 MHz_18 V			
23 GHz - 7 MHz_59 V			
23 GHz - 14 MHz_28 V			
38 GHz - 28 MHz_1 V			
23 GHz - 7 MHz_68 V			
18 GHz - 27.5 MHz_19 V			
18 GHz - 27.5 MHz_20 V			
23 GHz - 7 MHz_61 V			

Fig.102 : fenêtre indiquant l’absence d’interférences dans toutes les liaisons créées.

✚ Résultat du bilan de liaison, dans ce cas on a vérifié les paramètres suivants:

- a) La puissance de réception «  $R_X$  » : fiable pour toutes les liaisons.
- b) Performances du signal face aux mauvais temps et le phénomène du Fading qui doivent satisfaire la condition de cinq neuf, c.-à-d., les résultats doivent être très proches de 100% (99.99925..), et cela est montré dans la figure suivante :

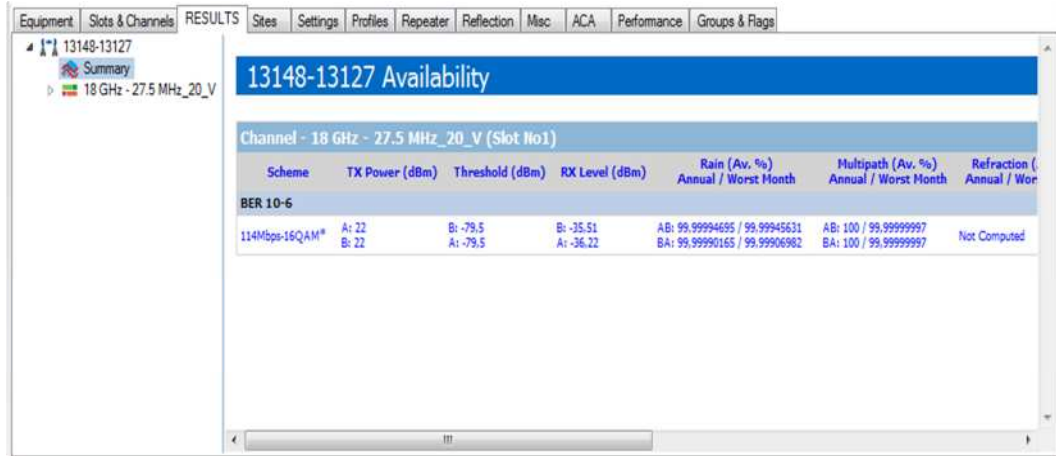


Fig.103 : résultat du bilan d'une liaison du réseau réalisé.

### IV.3.Partie3: Passage du réseau de troisième génération (3G) au réseau de quatrième génération (4G)

Le passage d'une génération à une autre nécessite une augmentation de la capacité qui dépend de la modulation appliquée, la largeur des canaux utilisés, les types de configuration (2+0, 4+0) ainsi que les nouvelles technologies tel que : E-band et microwave MIMO, et cela pour satisfaire les besoins croissants en débit (75Mbs pour la première phase et 150Mbs pour la deuxième phase) des abonnés.

Dans notre projet, on nous a demandé de développer 13 sites du réseau de troisième génération (situé à Tlemcen), en sites de quatrième génération dont 9 sites de capacité 75Mbs et le reste de capacité de 150Mbs, et pour se faire, on a modifié la capacité des liaisons pour s'adapter aux nouveaux débits, et les tableaux suivants contiennent des exemples sur les changements effectués :

a) **Changement du «Channel Spacing»**

La liaison 13101-13104(1+1)	Réseau 3G	Réseau 4G
Channel Spacing (CS)	7 MHz	14 MHz
Modulation ( $2^n$ )	16QAM	16QAM
Fréquence	23 GHz	23 GHz
Type de configuration	1+1	1+1
Capacité ( $C=n*CS$ )	$C=4*7=28\text{Mbs}$	$C=4*14=56\text{Mbs}$

Tab.6 : Variation des valeurs du Channel Spacing

b) **Changement de la «modulation»**

La liaison 13101-13117	Réseau 3G	Réseau 4G
Channel Spacing (CS)	14 MHz	14 MHz
Modulation ( $2^n$ )	16 QAM	64 QAM
Fréquence	38 GHz	38 GHz
Type de configuration	1+1	1+1
Capacité ( $C=n*CS$ )	$C=4*14=56\text{Mbs}$	$C=6*14=84\text{Mbs}$

Tab.7 : Variation des types de modulation

c) **Changement de la modulation et du Channel Spacing simultanément**

La liaison 46602-46603	Réseau 3G	Réseau 4G
Channel Spacing(CS)	7 MHz	28 MHz
Modulation ( $2^n$ )	16 QAM	64 QAM
Type de configuration	1+1	1+1
Fréquence	38	38
Capacité ( $C=n*CS$ )	$C=4*7=28\text{Mbs}$	$C=6*28=168\text{Mbs}$

Tab.8 : Variation du Channel Spacing et type de modulation.

## d) Changement de la fréquence et du type de configuration simultanément

La liaison 13101-13104(2+0)	Réseau 3G	Réseau 4G
Channel Spacing (CS)	28 MHz	28 MHz
Modulation ( $2^n$ )	16 QAM	64 QAM
Type de configuration	2+0	4+0
Fréquence	11GHz	8GHz
Capacité ( $C=n*CS$ )	$C=28*4=112\text{Mbs}$	$C=28*6=168\text{Mbs}$

Tab.9 : Variation du type de configuration et la fréquence.

Et après avoir vérifié les résultats des tests (test de visibilité et test d'interférences ) qu'on a déjà cité lors de la planification du réseau de troisième génération, on a obtenu le résultat suivant,

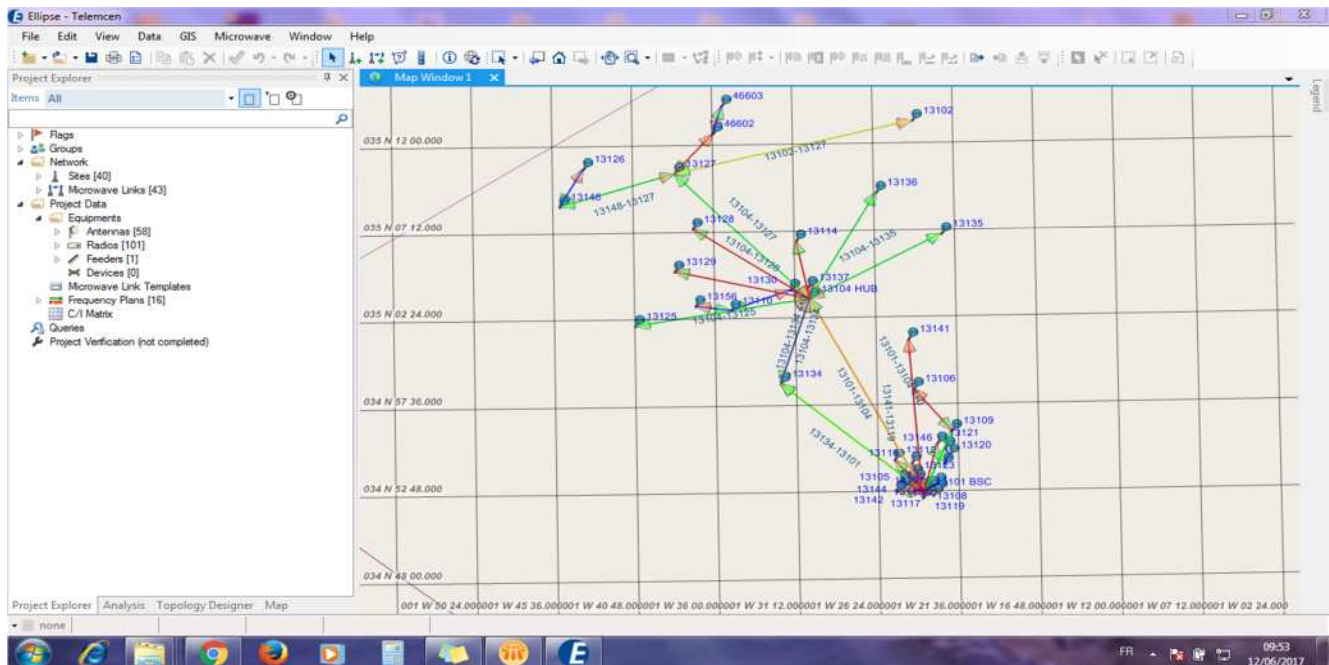


Fig.104 : Le réseau de quatrième génération créé à Tlemcen sans coordonnées géographique.

**Remarque :** l'architecture est la même (en apparence), mais les données et les paramètres sont différents.

**IV.4.Conclusion**

Nous avons étudié dans ce chapitre les étapes à suivre pour dimensionner et planifier des liens du réseau de troisième génération d'AT MOBILIS puis le développer au réseau de quatrième génération, en respectant les critères de planification, la visibilité directe (LOS), les atténuations en espace libre, les interférences ainsi que le bilan de liaison reçu qu'on a vérifié par calcul.

## Conclusion et perspectives

Ce travail nous a permis d'enrichir et d'approfondir nos connaissances dans le domaine de l'électronique et plus particulièrement la téléphonie mobile. En effet, à travers l'étude que nous avons effectuée sur les différents réseaux mobiles, nous avons pu comprendre, leurs architectures, leurs caractéristiques, et surtout de bien connaître les apports de chaque génération par rapport à sa précédente du côté radio et transmission. Nous nous sommes focalisés sur l'étude du réseau 4G / LTE qui est le but de notre projet.

Notre travail s'est déroulé au sein de la direction générale de l'entreprise d'AT MOBILIS située à Bab-Ezzouar, la direction de transmission, département de planification et optimisation. L'objectif principal est d'effectuer un dimensionnement et une planification d'un réseau de 3<sup>ème</sup> génération créé à Tlemcen afin de le développer par la suite en un réseau de 4<sup>ème</sup> génération. Les principales étapes de ce travail se résument comme suit :

- Création de 40 sites situés à Tlemcen,
- Création de 43 liaisons FH,
- Création du réseau 3G et
- Développement de 13 sites du réseau créé en un réseau 4G.

A travers les résultats que nous avons obtenus après simulation avec le logiciel « Ellipse », nous pouvons dire que l'objectif qui nous a été fixé au départ est atteint. Néanmoins, ce travail peut être modifié et amélioré afin d'atteindre d'autres objectifs et de satisfaire d'autres exigences et répondre ainsi aux besoins du marché des télécommunications mobiles dont la concurrence devient de plus en plus agressive, et à laquelle les opérateurs doivent faire face en réduisant au maximum le coût à déployer dans le réseau tout en assurant les demandes en trafic et en couverture des utilisateurs qui ne cessent d'augmenter.

Et si bien que la 4G n'est pas encore mise en œuvre dans tout les pays, le réseau de cinquième génération est sur les portes d'apparition. Les promesses de la 5G sont assez fabuleuses puisqu'elle devrait assurer une connexion jusqu'à 100 fois plus rapide que la 4G (soit des débits situés entre 10 et 20 Gbps) et la possibilité théorique d'interagir avec un million d'objets dans un rayon de 1km<sup>2</sup>. Elle devra répondre à de nouveaux usages comme le streaming en très haute définition, mais pour aboutir à ceci les fournisseurs des équipements

de transmission doivent développer de nouvelles techniques qui répondent aux besoins en débit élevé tel que :

- L'utilisation de nouvelles bandes : E-band, V-band et D-band avec des Channel Spacing pouvant atteindre les 112 MHz ;
- Modulation de hauts niveaux : 2048 QAM et 4096 QAM ;
- 4X4 mw-MIMO ;
- Super dual band (une antenne qui supporte deux bandes aux même temps qui sont la bande traditionnelle et l'E-band).

**Références Bibliographiques**

- [1]: C. DEMOULIN, M. VAN DROOGENBROECK. Principes de base du fonctionnement du réseau GSM. *Revue de l'AIM*, pages 3.18, N04, 2004.
- [2]: Sami Tabbane, Ingénieur des réseaux cellulaire, Ed : Hermes Science, 2002.
- [3]: Jean-François PILLOU : Le standard GPRS; Comment ça Marche, Septembre 2015.
- [4]: Jean Philippe Muller: Le réseau GSM et le mobile; version 07/2002.
- [5] : Jean Cellmer, Du système GSM au système GPRS, Techniques de l'ingénieur.
- [6]: Martin Sauter, Beyond 3G, Bringing Network, Terminals and the Web Together, 2009, Germany , 349.
- [7] : Pierre Lescuyer, UMTS : les origines, l'architecture, la norme, Dunod.
- [8]: Commutation et transmission, Rue du Docteur Finlay, -75015-ISSN 60242-1283.
- [9]: [iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GTR/gsm2/monsite/chapitre1/1.4.htm](http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GTR/gsm2/monsite/chapitre1/1.4.htm).
- [10]: INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE, ANTENNES SUPPORT DE COURS ENONCE DE TRAVAUX DIRIGES / Octobre 2011.
- [11]: NESIC CAIRO, International Training Center, PASOLINK NEO Training.
- [12]: [NTT DoCoMo et al., 2004] NTT DoCoMo et al., Proposed Study Item on Evolved UTRA and UTRAN, description d'étude RP-040461, 3GPP TSG-RAN #26, December 2004.
- [13] :Huawei Technologies « LTE Radio Planning Introduction ».CO LTD.
- [14]: Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff, LTE et les réseaux b4G, pages 539, 2012.
- [15]: « <http://wapiti.telecom-lille1.eu/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2002ttnfa03/NatchiaKoua-o-Benlahcen/index.htm> », Dte de consultation Juin 2013.
- [16]: Microwave towards 2020, Delivering high-capacity and cost-efficient backhaul for broadband networks today and in the future, ERICSSON 2015.
- [17]: Microwave Technology Evolution for 4.5G, HUAWAI report 12-2016.

## Références Bibliographiques

---