

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



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

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : **Télécommunication et réseaux**

Thème

Etude, planification et configuration d'une liaison à faisceau hertzien entre deux sites GSM

Mémoire soutenu publiquement le 17/07/2016

Dirigé par :

Mr. Fethi OUALLOUCHE

Encadré par :

Mr. Mohand Arezki DJOBEIR

Réalisé par :

AOUS Ouerdia

MESBAHI Cylia

Lieu de stage : **ATM Mobilis**

REMERCIEMENTS

Nous remercions d'abord le bon DIEU pour nous avoir donné le courage, la patience, la santé et la volonté pour atteindre notre objectif.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur Mr. Fethi OUALLOUCHE pour son aide, ses conseils, le suivi et l'intérêt qui nous a apporté tout au long de ce travail.

J'exprime ma reconnaissance à mon Co-Promoteur Mr. Mohand Arezki DJOBEIR qui ne cesse de nous apporter une aide précieuse.

Mes vifs remerciements:

A notre responsable de spécialité Mr. Mourad LAHDIR.

Aux membres du jury qui ont aimablement accepté de juger notre travail.

Enfin, je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

DÉDICACES

C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail :

A mes très chers et respectueux parents et frères Walid et Bilel dont je suis fière, eux qui m'ont soutenue tout au long de ma vie.

A toute la famille AOUS et MERZOUK.

A mes cousins et cousines en particulier Maya et sa famille.

A mes oncles et tantes plus particulièrement à ma tante Nadia et sa famille.

A ma chère amie considérée comme sœur Fatiha, à sa famille et spécialement sa fille Imene que j'adore.

A mes adorables amis(es).

Ainsi à ma binôme Cylia et à sa famille.

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

O. AOUS

C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail

A mes très chers et respectueux parents, la source de mes joies, secrets de ma force.

A mes frères Samir et son épouse, Ghani et Zaher-Iddin dont je suis fière qui m'ont soutenue tout au long de ma vie.

A mes sœurs Anissa, Ouassila, Fatma, Nassima et leurs époux, qui ne cessent d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage de générosité.

A mes chers petits neveux et nièces Anis, Masyl, Rayan, Elyane, Elina, Celine, Asma Ouiza, Imene, Manel et Maylis.

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous garder.

A tout Mes amis(es) qui ne cesse de m'encourage.

Ainsi ma binôme Doudouche et à sa famille.

C.MESBAHI

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	1
Historique	3

CHAPITRE I : Généralités sur le réseau GSM

1. Préambule	5
2. Présentation du GSM.....	5
3. Caractéristiques du GSM	5
3.1 Le concept cellulaire	5
3.2 Cellule et sa station de base	7
3.3 Différents types de cellules.....	8
4. Concept de la mobilité.....	9
4.1 L'inscription	9
4.1.1 Les zones d'inscription	9
4.1.2 L'inscription d'un terminal	10
5. Gestion des appels	11
6. Régions géographiques d'un réseau GSM	11
7. Architecture du réseau GSM	14
7.1. La station mobile.....	15
7.2. Le Sous-système radio BSS	16
7.2.1 La station de base BTS.....	16
7.2.2 Le contrôleur de base BSC	18
7.3. Le sous-système réseau NSS	18
7.3.1 Centre de commutation mobile MSC.....	19
7.3.2 L'enregistreur de localisation nominale HLR.....	20
7.3.3 L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR	20
7.3.4 Centre de l'authentification AUC	20
7.3.5 L'enregistreur des identités des équipements EIR	21
7.4. Sous- système d'exploitation et de maintenance OSS	21

8. Le Handover	22
8.1 Objectifs et fonctions du Handover	22
9. Les interfaces du réseau GSM	23
10. discussion	25

**CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations
mobiles**

1. Préambule	26
2. Evolution des différentes générations	26
2.1. Evolution transmission	26
2.1.1. La première génération (1G)	26
2.1.2 La deuxième génération (2G)	27
2.1.3. La 2.5 génération (2.5G)	27
2.1.4. La 2.75 génération (2.75 G)	27
2.1.5. La troisième génération (3G)	28
2.1.6. La 3.5 génération (3.5G)	28
2.1.7. La 3.75 génération (3.75G)	28
2.1.8. La quatrième génération (4G)	28
2.2 La différence entre chaque génération mobile	29
3. Evolution Radio	30
3.1. Architecture du réseau GSM.....	30
3.1.1. Le sous-système radio BSS.....	31
3.1.2. Le sous-système d'acheminement NSS	31
3.1.3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS.....	32
3.2. Architecture du réseau GPRS (2.5G)	33
3.2.1. Les équipements du GPRS.....	34
3.2.2. Les équipements GSM utilisés	35
3.2.2. Les équipements GSM utilisés	35
3.3. Architecture de l'UMTS.....	35
3.3.1. Réseau d'accès UTRAN	36
3.4. La quatrième génération LTE	38
3.4.1. L'équipement utilisateur (UE)	39
3.4.2. L'E-UTRAN (Le réseau d'accès)	39

3.4.3. EPC (Evolved Packet Core)	40
4. Les différents canaux de transmission	42
4.1. Définition.....	42
4.2. Disposition Des Canaux Radioélectriques pour Les Faisceaux Hertiens	42
4.2.1. Canal de transmission de 28 MHz	43
4.2.2. Canal de transmission de 14MHz.....	44
4.2.3. Canal de transmission de 56 MHz	45
5. Discussion.....	47

CHAPITRE III : Transmission par faisceaux hertiens

1. Préambule	48
2. Définition d'une onde électromagnétique	48
2.1. Caractéristiques d'une onde électromagnétique	49
2.2. Propagation des ondes radioélectriques en espace libre	49
3. Antennes GSM	50
3.1. Définition d'une antenne	50
3.2. Antennes des stations de bases (BTS)	50
3.3. Caractéristiques	52
3.3.1. Fréquence d'utilisation	52
3.3.2. Diagramme de rayonnement	52
3.3.3. Directivité.....	53
3.3.4. Gain	54
3.3.5. La P.I.R.E (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)	55
3.3.6. Angle d'ouverture.....	55
3.3.7. Polarisation.....	55
4. Transmission par Faisceaux hertiens.....	55
4.1. Présentation d'un faisceau hertzien	55
4.2. Caractéristiques	56
4.3. Les Types de faisceaux hertiens.....	57
4.3.1. Les faisceaux hertiens en visibilité directe.....	58
4.3.2. Les faisceaux hertiens transhorizon	58
5. L'ellipsoïde de Fresnel.....	59
5.1. Ellipsoïde de Fresnel dégagée	59

5.2. Ellipsoïde de Fresnel non dégagée.....	60
5.3. Phénomènes de propagation d'une onde hertzienne.....	61
6. Station relais	63
7. Schéma de principe d'une liaison hertzienne.....	64
8. Expression de la puissance reçue.....	65
9. Les avantages et les inconvénients des faisceaux hertziens.....	65
9.1. Les avantages des faisceaux hertziens.....	65
9.2. Les inconvénients des faisceaux hertziens.....	66
10. L'affaiblissement d'une liaison FH.....	66
10.1. Affaiblissement en espace libre.....	66
10.2. Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère.....	66
10.3. Affaiblissement total.....	67
10.4. Affaiblissement dû à la pluie	67
11. Seuil du récepteur	69
12. Marge d'une liaison.....	70
13. La modulation	70
13.1. La modulation QAM.....	70
13.1.1. La modulation 2QAM.....	71
13.1.2. La modulation 4QAM.....	71
13.1.3. Modulation 8QAM	72
13.1.4. Modulation 16QAM.....	72
13.1.5. Modulation 32QAM.....	72
13.1.6. Modulation 64 QAM	73
14. Discussion.....	74

CHAPITRE IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

1. Préambule	75
2. Etude avant installation.....	75
3. Plannification et configuration d'un lien à faisceau hertzien.....	77
3.1. Processus global de la liaison AB	77
3.2. Création d'une version sur un nouveau projet.....	79

3.3. Intégration des données prises sur le terrain dans le logiciel Mentum Link Planner	80
3.4. Vérification de la visibilité avec le site voisin choisi	81
3.5. Création et configuration d'un lien transmission entre A et B.....	82
3.6. Introduction de l'équipement radio adéquat à la distance avec Puissance d'émission et modulation	83
3.7. Sélection de l'antenne à faisceau hertzien	84
3.8. Choix du canal de transmission correspondant à la capacité.....	85
3.9. Sélection de la norme de l'IUT pour la transmission de données.....	86
4. Bilan de liaison.....	87
4.1. Les caractéristiques des équipements d'extrémités à prendre en compte pour ce bilan de liaison sont	88
4.2. Profil du bilan de la liaison	89
5. Discussion	91
Conclusion.....	92
Annexe	
Bibliographie	

Liste des figures

Figure I.1 : Le concept cellulaire.....	6
Figure I.2 : Architecture Cellulaire.....	7
Figure I.3 : La station de base du réseau GSM.....	8
Figure I.4 : La cellule Umbrella.....	9
Figure I.5 : Une cellule.....	12
Figure I.6 : Zone de localisation.....	12
Figure I.7 : Zone de service MSC/VLR.....	12
Figure I.8 : Zone PLMN.....	13
Figure I.9 : La zone GSM.....	14
Figure I.10 : Architecture du réseau GSM.....	15
Figure I.11 : Exemples de macros BTS.....	16
Figure I.12 : Exemples de micros BTS.....	17
Figure I.13 : Exemple de BTS ciblée.....	17
Figure I.14 : Interfaces du réseau GSM.....	23
Figure I.15 : Exemple de BTS.....	24
Figure II.1 : Architecture du réseau GSM.....	30
Figure II.2 : Architecture du réseau GPRS.....	33
Figure II.3 : Architecture du réseau UMTS.....	36
Figure II.4 : Architecture du réseau LTE.....	38
Figure II.5 : Les interfaces entre différentes partie du réseau LTE.....	39
Figure II.6 : Architecture du sous réseau E-UTRAN.....	39

Figure II.7 : Architecture du sous réseau EPC.....	40
Figure II.8 : Partage de la bande de fréquence.....	42
Figure II.9 : Disposition des canaux RF pour des faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande des 15 GHz: espacement de 28 MHz.....	44
Figure II.10 : Disposition des canaux RF pour des faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande des 15 GHz: espacement de 14 MHz.....	45
Figure II.11 : Disposition des canaux RF pour des faisceaux hertziens fixes fonctionnant dans la bande des 15 GHz: espacement de 56 MHz.....	46
Figure III.1 : Propagation des ondes électromagnétiques.....	48
Figure III.2. Antennes paraboliques.....	51
Figure III.3. Antennes panneaux et antennes perches.....	51
Figure III.4. Diagramme de rayonnement.....	52
Figure III.5. Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle.....	53
Figure III.6. Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.....	54
Figure III.7. Antenne d'un faisceau hertzien.....	56
Figure III.8. Types de déviations d'un FH.....	56
Figure III.9. Faisceau hertzien en visibilité directe.....	58
Figure III.10. Faisceau hertzien transhorizon.....	59
Figure III.11. Ellipsoïde de Fresnel dégagée.....	60
Figure III.12. Ellipsoïde de Fresnel non dégagée.....	61
Figure III.13 : Phénomènes de propagation d'une onde hertzienne.....	62
Figure III.14 : Liaison en plusieurs bonds.....	63
Figure III.15 : Schéma principal d'une liaison hertzienne.....	64
Figure III.16 : Illustration de l'affaiblissement A_p	69
Figure III.17 : Illustration de la marge d'une liaison.....	70

Figure III.18 : Modulation 2QAM.....	71
Figure III.19 : Modulation 4QAM.....	71
Figure III.20 : Modulation 8QAM.....	72
Figure III.21 : Modulation 16QAM.....	72
Figure III.22 : Modulation 32QAM.....	73
Figure III.23 : Modulation 64QAM.....	73
Figure IV.1 : Les étapes à suivre lors de la création d'une liaison hertzienne.....	78
Figure IV.2 : Création d'une nouvelle version dans un nouveau projet.....	79
Figure IV.3 : Création d'un site GSM « site A ».....	80
Figure IV.4 : Les sites en visibilité avec le « site A ».....	81
Figure IV.5 : Création et configuration de la liaison AB.....	82
Figure IV.6 : Introduction de l'équipement radio.....	84
Figure IV.7 : Sélection de l'antenne.....	85
Figure IV.8 : Introduction du canal D1 correspondant à 3,5.....	86
Figure IV.9 : La norme G.826.....	87
Figure IV.10 : Profil du bilan de liaison AB.....	89
Figure IV.11 : Le résultat du profil du bilan.....	90

Liste des Tableaux

Tableau II.1. Différents débits de transmission.....	29
Tableau II.2. Relation entre la modulation, canaux et capacité de transmission d'une liaison.....	47
Tableau III.1. Atténuation linéique due aux gaz atmosphériques.....	67
Tableau III. 2. Coefficient K et α pour différentes bandes de fréquence.....	68

INTRODUCTION

Au siècle dernier, les systèmes de téléphonie mobile étaient analogiques et ils étaient incapables de supporter une capacité croissante [1]. Par conséquent, la convergence a eu lieu vers les systèmes de transmission numérique. Ces systèmes offrent une signalisation plus facile, moins d'interférences et une aptitude à supporter et à gérer plus de trafic et ainsi avoir une capacité plus grande [2].

Le réseau GSM est la première norme de téléphonie cellulaire qui soit pleinement numérique. C'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles [3]. Elle offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. Dans le système GSM, les données de l'utilisateur et la signalisation du réseau sont transportées dans des canaux de communication différents.

De nos jours, après des évolutions dues aux progrès de l'électronique, les faisceaux hertziens constituent un outil essentiel pour transmettre les signaux de téléphonie et de données d'un point à un autre point. En effet, les faisceaux hertziens emploient des antennes paraboliques très directives (directionnelles) et des antennes panneaux (omnidirectionnelles) [4]. Le faisceau d'énergie qu'elles émettent est suffisamment étroit. Ce faisceau ne doit être occulté par aucun obstacle car les hyperfréquences se propagent bien en vue directe.

Afin d'installer une liaison FH entre deux points, il faut suivre un certain nombre d'étapes. Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous nous sommes intéressés à l'étude, planification et configuration d'une liaison à faisceau hertzien entre deux sites GSM. Pour cela, nous avons effectués un stage au niveau de l'opérateur de téléphonie mobile ATM Mobilis. Dans cette étude, nous avons défini des liaisons à faisceaux hertziens en utilisant le logiciel de planification « Mentum LinkPlanner ».

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous présenterons des généralités sur le réseau GSM. Le deuxième chapitre nous allons décrire l'évolution de la transmission et de la radio dans le cas des différentes générations mobiles. Dans le 3^{ème} chapitre est consacré à la transmission par faisceaux hertziens. Le dernier chapitre sera consacré à la présentation de la partie pratique, qui englobe les étapes de planification et de configurations d'une liaison à faisceaux hertziens

en utilisant le logiciel « Mentum LinkPlanner ». Et nous terminons ce chapitre en exposant le bilan de cette liaison.

Enfin, nous allons compléter notre mémoire par une conclusion et une bibliographie.

Historique

Les réseaux sans fil et mobiles sont des réseaux qui offrent des avantages remarquables évitant les contraintes du câblage en premier lieu et assurant aux utilisateurs un environnement plus souple.

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.

Des étapes majeures ont marqué l'histoire du GSM et de la radiotéléphonie :

En 1887, le physicien allemand Heinrich Hertz (1857-1894) découvre les « ondes hertziennes », ce sont les ondes radio.

L'histoire de la téléphonie mobile (numérique) débute réellement en 1982. En effet, à cette date, le Groupe Spécial Mobile, appelé GSM, est créé par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) afin d'élaborer les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 890 à 915 [MHz] pour l'émission à partir des stations mobiles et 935 à 960 [MHz] pour l'émission à partir de stations fixes. Les années 80 voient le développement du numérique tant au niveau de la transmission qu'au niveau du traitement des Signaux.

En 1982, la Conférence Européenne des Postes et Télécommunication (C.E.P.T) réserve des fréquences dans la gamme des 900MHz pour les télécommunications mobiles et créé le Groupe Spécial Mobile (G.S.M).

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles : transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole.

Puis en 1989, le G.S.M préconise l'introduction de la bande de fréquence 1800MHz afin de permettre l'utilisation de la norme DCS 1800.

Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, en 1993 le sigle GSM change de signification et devient « Global System for Mobile communications » et les spécifications sont adaptées pour des systèmes fonctionnant dans la bande des 1800 [MHz].

Ensuite en Octobre 1993, le GSM de deuxième génération apparaît. Cette évolution propose de nouveaux services tels que les renvois d'appel ou la limitation d'appel.

En 1994, les Etats Unis réservent la bande des 1900MHz à la norme GSM. Une adaptation de la norme leur permettra d'utiliser le réseau à cette bande de fréquence. Aujourd'hui, le nombre de numéros attribués pour des communications GSM dépasse largement le nombre de numéros dédiés à des lignes fixes et cette tendance se poursuit.(Le réseau GSM totalise plus de 1,2 Milliard d'abonnés dans le Monde).

1. Préambule

Les systèmes publics de la téléphonie mobile sont classés en générations, le réseau GSM (Global System for Mobile communication) est le standard le plus répandu, il s'agit d'un standard de téléphonie dit « seconde génération ». Les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. Le réseau GSM a été conçu pour permettre aux abonnés d'effectuer des appels en se déplaçant en différents points du territoire couvert, il offre aussi d'autres services tel que les SMS et appels...etc. certains choix téléphonique du GSM se révèlent toutefois contraignants pour les services de données (transfert de fichiers, vidéo, etc.) pour pallier ces limitations, le système GSM évolue sans cesse pour donner naissance au GPRS (general packet radio service) qui permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets. Le réseau GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment internet) [1].

2. Présentation du GSM

Un réseau GSM est de type cellulaire, c'est-à-dire composé d'une multitude d'émetteurs-récepteurs radio, chacun d'entre eux définissant une cellule, soit une zone où le service GSM est accessible aux terminaux qui y sont présents. Le standard GSM utilise les bandes fréquences de 900MHZ et 1800MHZ, cette norme autorise un débit maximal de 9.6kbps ce qui permet de transmettre la voix ainsi que les données numériques a bas débit tel que les messages textes (SMS, pour short message service) ou des messages multimédias (MMS, pour multimedia message service).

3. Caractéristiques du GSM

3.1. Le concept cellulaire

Un réseau cellulaire est un réseau de télécommunication mobile qui doit répondre aux contraintes imposées par la mobilité de l'abonné dans le réseau. Il utilise une liaison radiotéléphonique entre le terminal portatif (mobile station MS) et le réseau téléphonique.

Le GSM possède des cellules de grande taille (50km de rayon) au centre desquelles se situe une station de base (BTS). Ces systèmes nécessitent des stations mobiles de puissance d'émission importante, si un émetteur/récepteur est très puissant, alors son champ d'action

sera très vaste, mais sa bande de fréquence peut être rapidement saturé par des communications. De plus un operateur n'a qu'une bande de fréquence réduite (bande passante) ce qui limite le nombre d'utilisateurs au nombre de bandes de fréquences disponibles. Par contre en utilisant des cellules plus petites (émetteurs/récepteurs moins puissant), une même bande de fréquence pourra être réutilisée dans des cellules distantes, ce qui augmentera le nombre de communications possible.

Il a donc fallu trouver des astuces pour réduire la puissance d'émission et ouvrir au plus grand nombre d'abonnés ces réseaux en introduisant le concept cellulaire. Comme le montre la (figure I.1).

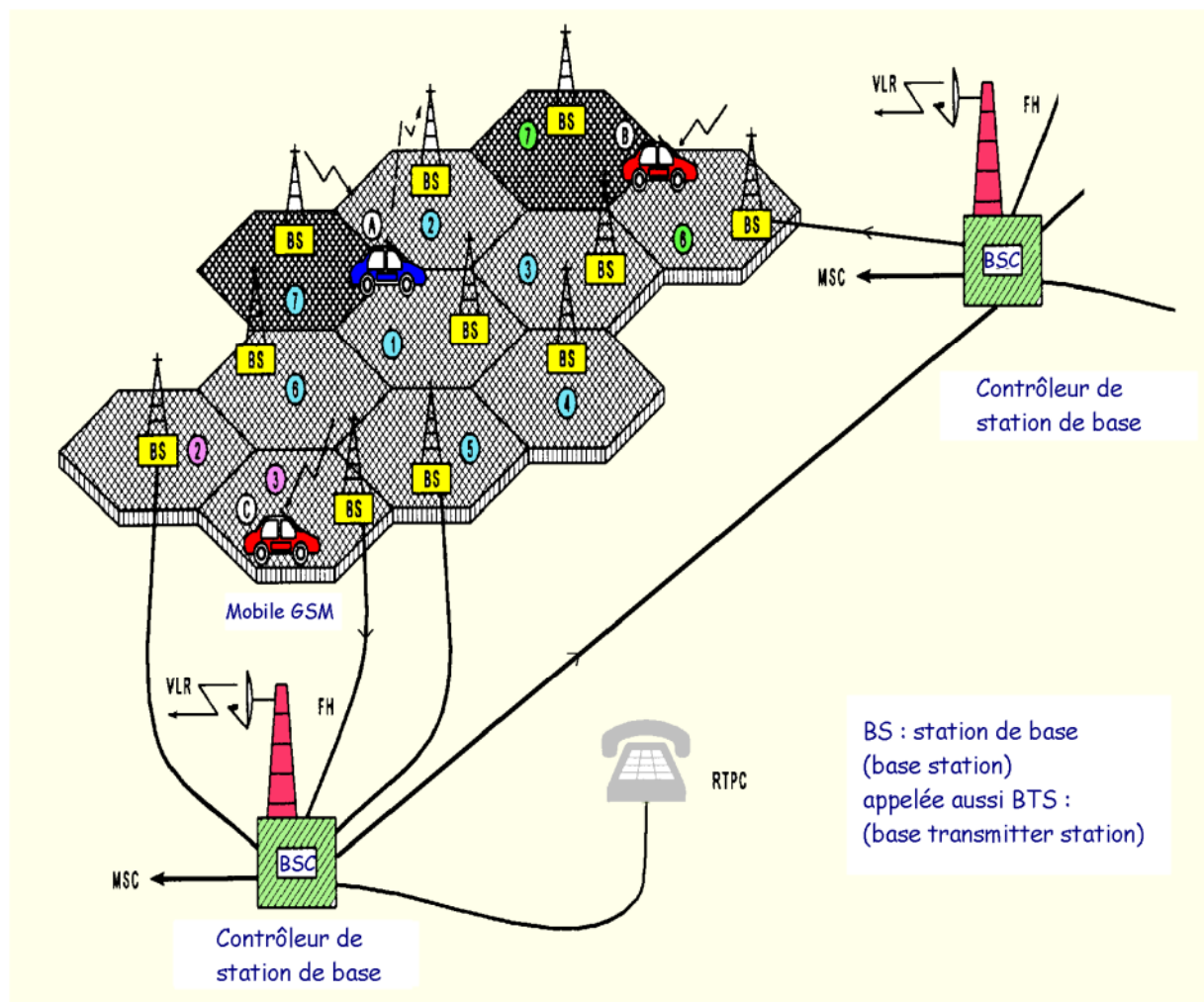


Figure I.1. Le concept cellulaire

Le principe de ce système consiste à diviser le territoire en petite zone appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Chaque cellule est constituée d'une station de Base à laquelle on attribue une bande de fréquence. Cette dernière ne peut pas être utilisée dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences. Pour que deux cellules puissent utiliser une même fréquence porteuse, il faut qu'elles soient séparées d'au moins deux cellules. Dans la figure ci-dessous, les cellules portant le numéro 1 peuvent utiliser une même bande de fréquence sans risque de chevauchement [1].

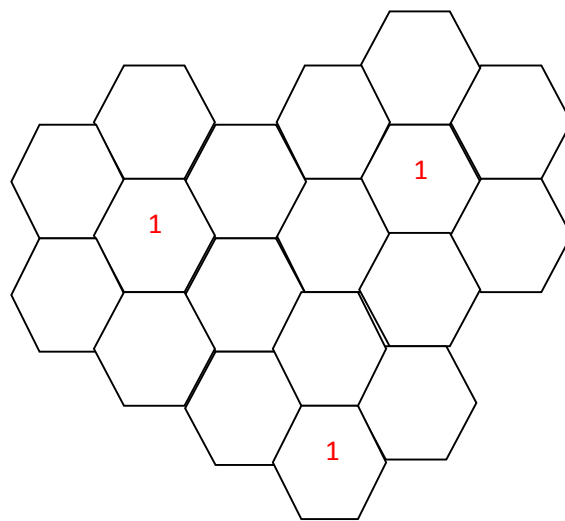


Figure I.2. Architecture Cellulaire.

3.2. Cellule et sa station de base

Dans un réseau GSM, le territoire est découpé en petites zones appelées cellules. Ces dernières sont représentées géométriquement par un hexagone. La taille des cellules peut varier entre 0.5 et 35 km. La portée réelle des stations dépend de la configuration du territoire arrosé et du diagramme de rayonnement des antennes d'émission. 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 ...). Voir (figure I.3) [1].

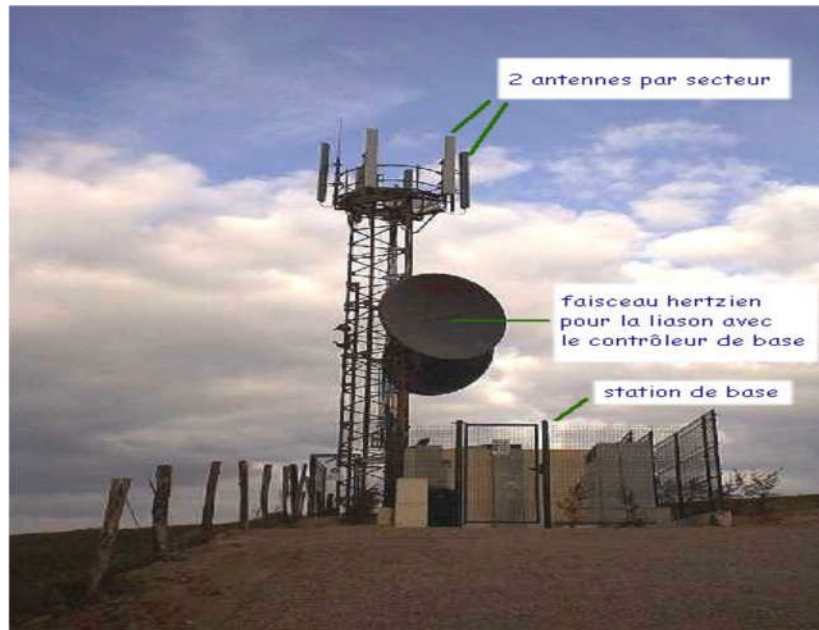


Figure I.3. La station de base du réseau GSM

Une cellule est caractérisé par :

- La puissance d'émission de ses émetteurs/récepteurs.
- La bande de fréquences porteuses utilisées pour l'émission et la réception radioélectrique.
- Par le réseau auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire, celle-ci dépend de :

- La configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeuble...)
- La nature des constructions (maison, buildings, immeuble en béton..).
- La localisation (rurale, suburbaine) et donc de la densité des constructions.

3.3. Différents types de cellules

Il existe différents types de cellules, le rayon de la cellule détermine à quelle classe appartient cette cellule du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone.

- **Les macrocellules :** Ce sont des cellules dont le rayon s'étend jusqu'à 30km, elles sont utilisées pour couvrir les zones rurales à faibles densités de population. Les émetteurs utilisés dans ce type de cellules sont puissants et leurs antennes sont placées à au moins 30m de hauteur.
- **Les microcellules :** Ce sont des cellules de petites tailles destinées aux zones à très forte densité de trafic. Leur portée moyenne est d'environ 500m. Pour éviter les interférences, on utilise des antennes émettrices de puissances réduites.
- **Les picocellules :** Ce sont des cellules de taille très petites, elles ont un rôle similaire que celui des microcellules mais dans des zones encore plus petites telles que les gares, les aéroports, les galeries marchandes,... etc. Leur portée maximale est d'environ 100m.

Il existe aussi des cellules appelées « Cellules UMBRELLA », elles sont utilisées pour résoudre les problèmes de trous existants parfois dans le réseau, les opérateurs utilisent ce type de cellule pour recouvrir plusieurs autres cellules, la puissance d'émission de son antenne sera alors plus grande que celles des cellules qu'elle recouvre.

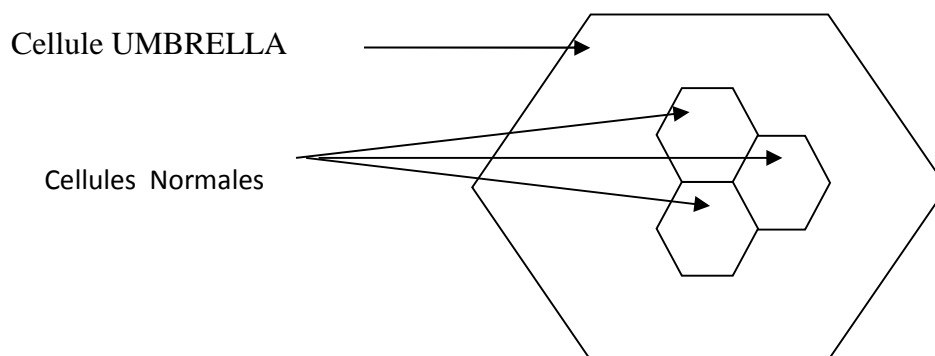


Figure I.4. La cellule Umbrella.

4. Concept de la mobilité

4.1. L'inscription

4.1.1. Les zones d'inscription

La base de tout réseau est la cellule sur laquelle un mobile doit s'inscrire pour être autorisé à accéder aux services du réseau. Ceci génère un flux d'informations entre les BTS et

les MSC et vu le nombre d'usagers du réseau et le nombre de cellules, ceci peut finir par faire beaucoup de volume.

Pour pallier cet inconvénient, plusieurs cellules sont regroupées dans une zone de localisation, qui regroupe quelques cellules, voire quelques dizaines de cellules. Une condition est que toutes les BTS qui définissent les cellules de la base de localisation soient rattachées au même MSC.

L'inscription du mobile se fait donc dans la zone de localisation, mais le réseau ne sait pas exactement dans quelle cellule il se trouve, ce qui est gênant pour lui présenter une communication car celle-ci doit être acheminée vers la BTS où il se trouve et non vers une autre...

Donc, quand une communication se présente pour un usager localisé dans une zone de localisation donnée, un avis de recherche est diffusé sur toutes les cellules de celle-ci.

Le mobile qui se reconnaît se signale auprès de la BTS qui elle-même se signale au MSC pour que la communication lui soit acheminée [2].

4.1.2. L'inscription d'un terminal

Chaque BTS transmet son identité et l'identité de la zone de localisation à laquelle elle appartient. Cette information est supervisée par le mobile. Quand il s'aperçoit qu'il a changé de zone de localisation, il entreprend une opération d'inscription auprès de celle-ci. L'inscription commence par une procédure d'authentification qui consiste à vérifier l'identité et les droits du mobile : s'il est autorisé à utiliser le réseau, s'il n'est pas interdit de trafic (mobile volé), etc. Une fois le mobile authentifié, deux cas peuvent se produire :

- La nouvelle zone de localisation est contrôlée par le même MSC que celle qu'il vient de quitter : Il suffit de mettre sa localisation à jour dans le VLR
- La nouvelle zone de localisation est contrôlée par un autre MSC :

Il faut supprimer les caractéristiques du mobile dans le VLR qui contrôle la zone de localisation quittée, puis, depuis son HLR, rapatrier les caractéristiques du mobile dans le VLR du MSC qui contrôle la nouvelle zone de localisation et y stocker sa localisation sous forme de zone de localisation. De même, dans le HLR, il faut indiquer la localisation sous forme d'identité du MSC qui gère le nouveau VLR.

Il y a aussi cet autre cas où le mobile change de cellule tout en restant dans la même zone de localisation. Ceci ne donne pas lieu à une nouvelle inscription, puisque vu du VLR il n'y a pas de changement.

Une fois ces opérations accomplies, le mobile est prêt à utiliser les services du réseau.

Il existe toutefois une exception pour les services d'urgence qui peuvent être appelés même si le mobile n'est pas inscrit. Simple raison de bon sens : on ne va pas attendre que le mobile soit inscrit pour appeler les pompiers s'il y a le feu.

5. Gestion des appels

- Appel entrant :

Lorsqu'un appel est destiné à un mobile, celui-ci est tout d'abord dirigé vers le MSC qui supporte son HLR. Il y trouve l'identité du MSC qui gère la zone de localisation où est inscrit le mobile. Au passage il vérifie les droits de l'utilisateur pour savoir si l'appel peut être accepté. L'appel est redirigé vers ce second MSC pour interroger le VLR qui va donner l'identité de la zone de localisation sur laquelle l'indication d'appel va être broadcastée.

- Appel sortant :

Le mobile s'adresse au MSC qui supporte sa zone de localisation pour vérifier ses droits (souvenons-nous que ses caractéristiques ont été rapatriées dans le VLR lors de l'inscription) pour s'assurer qu'il a le droit d'établir l'appel.

6. Régions géographiques d'un réseau GSM

Le réseau GSM doit avoir une structure pour pouvoir acheminer les appels. Cette structure est importante en raison de la mobilité des abonnés. Les différentes zones géographiques auxquelles on peut relier un réseau GSM sont :

➤ Une cellule

C'est la zone de couverture d'une station de base BTS, elle est représentée géographiquement par un hexagone et est identifiée dans un réseau par un numéro d'identification unique CI (Cell Identify).

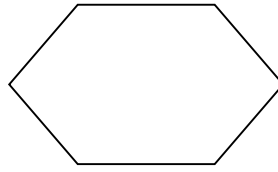


Figure I.5. Une cellule

➤ **Une zone de localisation (LA, Localisation Area)**

Elle contient plusieurs cellules contrôlées par une ou plusieurs stations de bases (BSC), mais appartient à un seul MSC. C'est la zone par laquelle on localise un abonné mobile.

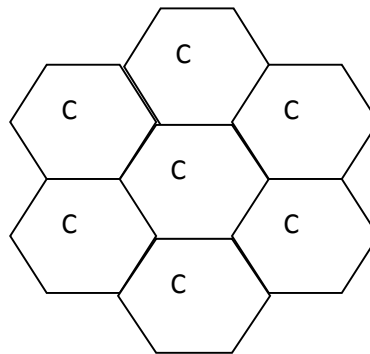


Figure I.6. Zone de localisation

➤ **Une zone de service MSC/VLR**

C'est un groupe de LA sous le contrôle d'un seul MSC. Ainsi pour acheminer un appel vers un terminal, le réseau doit connecter la communication au MSC de la zone de service MSC/VLR où le terminal est localisé.

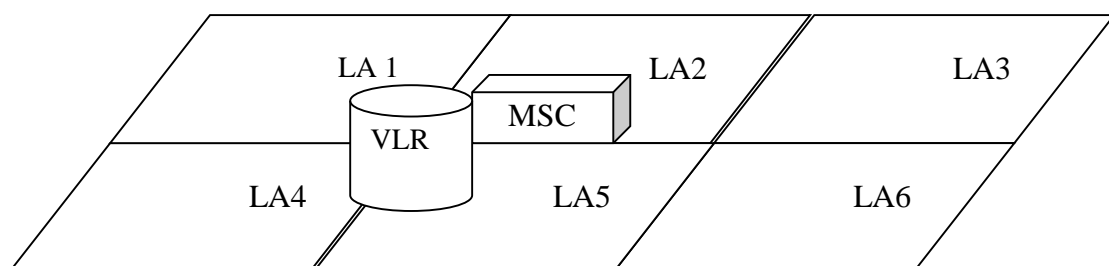


Figure I.7. Zone de service MSC/VLR

➤ **Un réseau mobile d'une région public (PLMN : Public Land Mobile Network)**

Il est composé de plusieurs zones de services MSC/VLR. C'est la région desservie par un opérateur réseau. Par exemple en Algérie, on dispose de trois PLMN correspondant aux trois opérateurs de téléphonie mobile (Mobilis, Ooredoo, Djezzy).

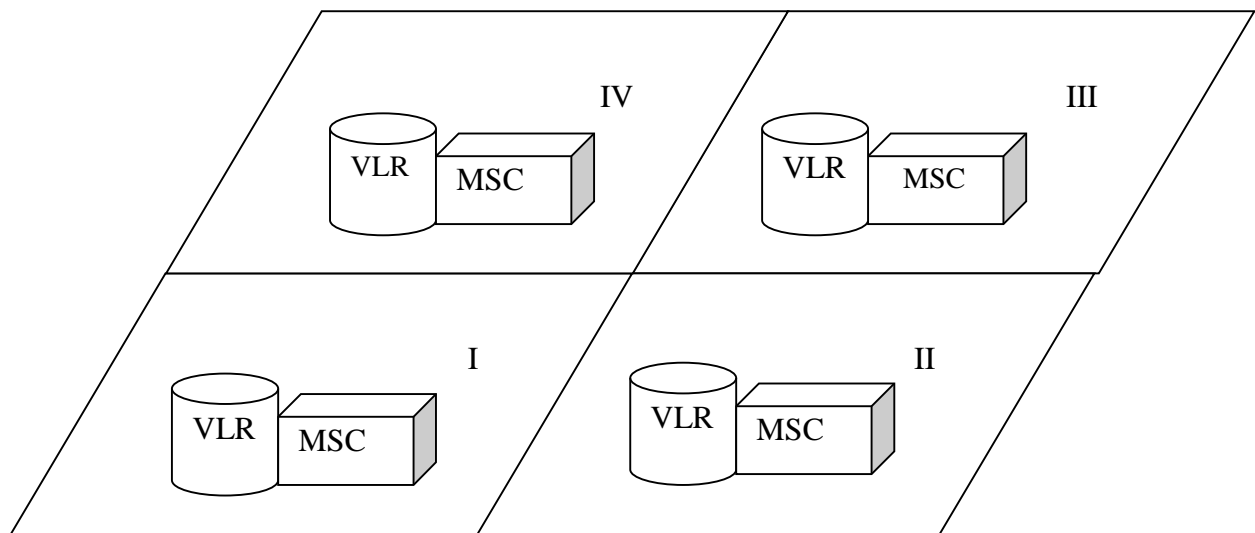


Figure I.8. Zone PLMN

➤ **Une zone de service GSM**

C'est la zone géographique où un abonné peut accéder au réseau GSM. Cette zone va en s'agrandissant quand les différents opérateurs signent un contrat agréé pour travailler ensemble. Dans cette zone un abonné peut se connecter au réseau auquel il appartient en passant par une zone PLMN d'un autre opérateur.

Les différentes zones géographiques auxquelles on peut relier un réseau GSM sont illustrées dans la figure I.10.

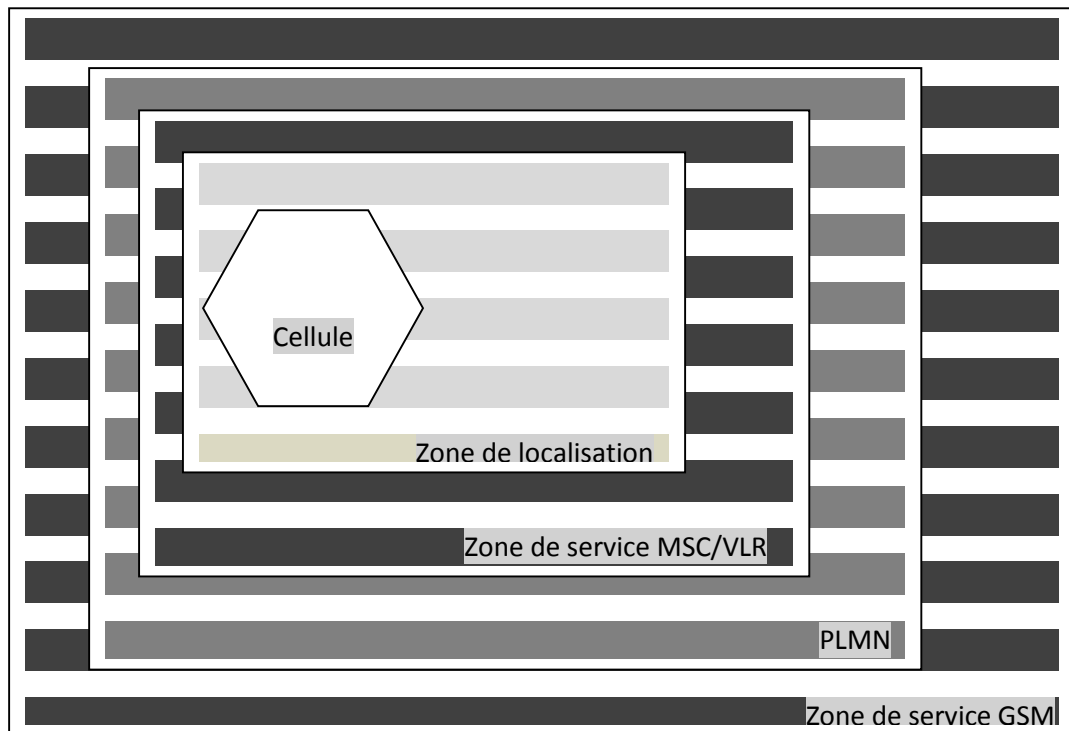


Figure I.9. La zone GSM

7. Architecture du réseau GSM

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs. Les composantes principales sont :

- Le contrôleur de station de base : BSC - Base Station Controller.
- La station de base : BTS - Base Transceiver Station.
- Le commutateur de service mobile : MSC - Mobile Switching Center.

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en quatre sous ensembles :

- La Station Mobile (Mobile Station, Ms).
- Le Sous-système Radio (Base Station Subsystem, BSS) .
- Le Sous-système Réseau (Network Subsystem, NSS).
- Le Sous-Système d'exploitation et de maintenance (Operating Subsystem, OSS).

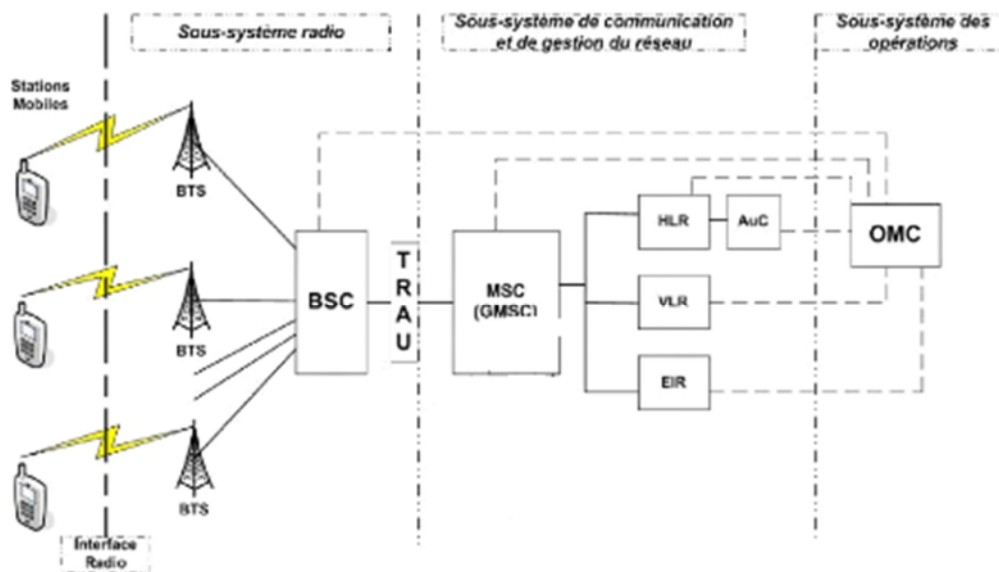


Figure I.10. Architecture du réseau GSM

7.1. La station mobile

La station mobile est composée d'une part du terminal mobile, et d'autre part du module d'identité d'abonné (carte SIM – Subscriber Identity Module).

- **Le terminal mobile :** C'est l'appareil utilisé par l'abonné, il est constitué d'un émetteur/récepteur. Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI (International Mobile Equipment Identity) qui est de 15 chiffres. Ce code est vérifié à chaque utilisation et permet la détection et l'interdiction de terminaux volés.
- **Une carte SIM :** C'est une carte à puce dotée d'une mémoire et d'un microprocesseur, elle se comporte comme une mini base de données. Elle contient des données spécifiques comme le code PIN (Personal Identification Number). La carte SIM contient un code appelé IMSI (international mobile subscriber identity), qui sert à identifier l'abonné de même que les renseignements relatifs à l'abonnement (services auxquels l'abonné a droit)[3].

7.2. Le Sous-système radio BSS

Le réseau GSM est basé sur des transmissions par voie hertzienne, l'échange des données est géré par le sous-système radio. Ce dernier est constitué de deux éléments : la station de base(BTS) et les contrôleurs de station de base (BSC).

7.2.1. La station de base (BTS)

La BTS est l'élément de base dans le réseau GSM, c'est un ensemble d'émetteurs/récepteurs et leurs antennes assurant les liaisons radioélectriques avec les stations mobiles. Une BTS est associée à une cellule et est située au centre de celle-ci. La communication entre la station mobile et la station de base est réalisée par l'interface Um, appelé aussi interface air ou lien radio. Les données recueillis sont ensuite transmises vers les BSC.

On distingue différents types de BTS :

- **Les Macros BTS :** Elles sont déployées dans les zones rurales ou la densité de trafic est faible, ce sont les stations les plus visibles, elles sont placées dans des points stratégiques (sommets, pylônes...etc.), ces sites recouvrent les macrocellules.

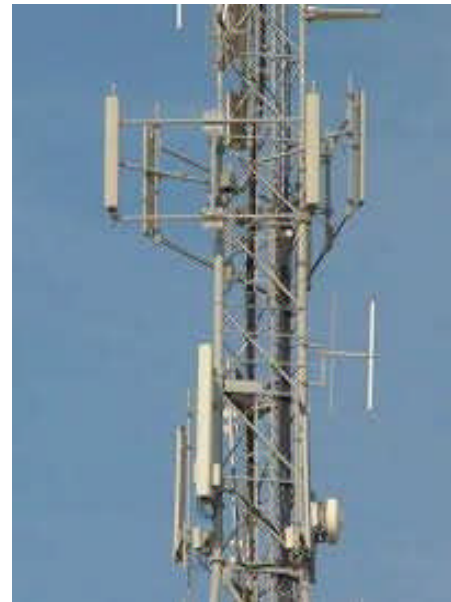


Figure I.11. Exemples de macro BTS

- **Les micros BTS :** Elles sont déployées dans les zones à fortes densités de trafics, elles recouvrent les microcellules, on les retrouve par exemple sur les artères principales d'une ville, elles ont une portée d'environ 500m.



Figure I. 12. Exemples de micros BTS

- **Les BTS ciblées :** Elles sont utilisées pour couvrir les picocellules dans les zones à très fortes densités de trafic. Elles sont de forme relativement allongée et permettent d'émettre suivant un angle très précis [4].



Figure I.13. Exemple de BTS ciblée

- **Les amplificateurs de signal :** Ces stations de bases ne sont pas reliées avec les BSC. Elles sont utilisées dans les zones à reliefs difficiles pour couvrir les trous laissés par une BTS principale. Ils permettent donc d'amplifier un signal de faible puissance et de l'émettre vers les zones laissées par la BTS mère.

7.2.2. Le contrôleur de base : BSC (Base Station Controller)

Chaque BTS est raccordé à une BSC. Un BSC peut raccorder plusieurs BTS. Chaque BSC est également raccordée à un MSC. Contrairement à la BTS, le BSC est l'élément le plus intelligent du Sous-système radio. Son rôle est de gérer :

- Les ressources radio (configuration des canaux, transfert intercellulaire ou handover) d'une ou plusieurs BTS, en plus d'établir le lien physique entre les BTS et le commutateur de service mobile MSC se trouvant dans le sous-système réseau.
- Il exploite les mesures réalisées par les BTS, notamment la mesure du signal radio émis par les mobiles. Cela permet d'asservir la puissance émise par le terminal en fonction de sa distance à l'antenne (plus il est proche, moins sa puissance d'émission est importante) [4].

7.3. Le sous système réseau NSS (network Switching SubSystem)

Le sous-système réseau (NSS) joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-système radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'information contenues dans les bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification. Le NSS est constitué de :

- Le centre de commutation mobile (MSC).
- L'enregistreur de localisation nominale (HLR).
- L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR).
- Le centre de l'authentification (AUC).
- L'enregistreur des identités des équipements (EIR).

7.3.1. Centre de commutation mobile MSC (Mobile Switching Center)

Le centre de commutation mobile gère l'ensemble des communications dans le GSM et qui permet d'assurer commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou de son équivalent numérique, le réseau RNIS (ISDN en anglais). Le MSC participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie.

Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR et VLR) qui donnent toutes les informations concernant l'abonné et sa localisation dans le réseau [5].

On distingue deux types d'appels au niveau d'un MSC :

- Mobile – Mobile : Dans ce cas le MSC établit une liaison avec un autre MSC.
- Mobile- réseau fixe (RTC) : Le MSC possède une fonction passerelle GMSC (Gateway MSC), elle est activée au début de chaque appel d'un abonné mobile vers un réseau fixe.

Un MSC raccorde plusieurs BTS. Ceci permet tout d'abord de gérer les communications entre des mobiles gérés par des BTS raccordées à des MSC différents.

Le premier rôle du MSC est la gestion des communications :

- Réserve de canal radio,
- Identification et authentification de l'utilisateur (appel sortant),
- Localisation de l'utilisateur (appel entrant).
- Acheminement vers le demandé.
- Allocation des ressources filaires.
- Taxation des appels et des services de données.

Sa seconde grande fonction est la gestion de la mobilité :

- Gestion des inscriptions.
- Gestion du Handover.
- Gestion de la localisation.

7.3.2. L'enregistreur de localisation nominale HLR (Home Location Register)

Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau (PLMN). Il s'agit d'une base de données qui centralise les caractéristiques et les informations de localisation des usagers du réseau GSM. Il mémorise pour chaque abonné le numéro du VLR où il est enregistré. Cette localisation est effectuée à partir des informations émises par le MS à travers le réseau. En plus de la position de l'abonné, le HLR mémorise aussi l'état de son terminal (allumé, éteint ou en communication). Ce dernier contient des informations essentielles avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible. Plus la réponse du HLR est rapide plus le temps d'établissement de la connexion sera petit. Le HLR contient :

- Le numéro IMSI d'identification internationale de l'abonné.
- Le numéro d'annuaire de l'abonné (MSISDN : Mobile Station Integrated Service Digital Number) par exemple 213 *** ** *.
- Le profil de l'abonnement, c'est-à-dire, toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), autorisation d'appel international...etc.

7.3.3. L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR (Visitor Location Register)

C'est une base de données qui ne contient que des informations qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachées. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR, les données suivent l'abonné en quelque sorte. Il est lié à un MSC. Il y en a donc plusieurs dans un réseau GSM.

7.3.4. Centre de l'authentification AUC (Authentication Center)

Cette base de données a pour but de mémoriser pour chaque abonné une clé secrète utilisées pour authentifier l'utilisateur et pour crypter les communications afin d'assurer la confidentialité de chaque appel. Elle protège le système des différentes fraudes en vérifiant si le service demandé par l'abonné est autorisé. L'authentification se fait de façon symétrique chaque fois que la station mobile (MS) reçoit ou émit un appel, à chaque mise à jour de localisation de la station mobile et à chaque demande de mise en activités.

On peut dès lors distinguer trois niveaux de protection :

- La carte SIM qui interdit à un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
- Le chiffrement des communications destiné à empêcher l'écoute de celles-ci.
- La protection de l'identité de l'abonné.

7.3.5. L'enregistreur des identités des équipements EIR (Equipment Identity Register)

Le téléphone mobile peut accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré. Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un code d'identification unique appelé International Mobile Equipment Identity (IMEI) qui ne peut pas être modifié. L'EIR enregistre l'identifiant de l'équipement mobile afin de vérifier si ce dernier a ou n'a pas le droit d'accès au réseau.

7.4. Sous- système d'exploitation et de maintenance OSS (Operating Subsystem)

Cette partie du réseau s'occupe de la gestion et de l'exploitation des éléments des deux sous-réseaux précédents comme les BTS, les BSC, les MSC ...etc. Elle présente deux niveaux :

- **Les OMC (Operating and Maintenance Center) :** Il permet une supervision locale des équipements, plusieurs OMC supervisent les BTS et les BSC de plusieurs cellules, il regroupe trois activités principales de gestion :
 - La gestion administrative et la gestion commerciale qui s'intéressent aux abonnés en termes de création, modification des comptes et de la facturation des appels.
 - La gestion technique des équipements permet de garantir le bon fonctionnement du matériels, il gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité, la mise à jour des logiciels...etc.

Dans les OMC, on distingue :

- **L'OMC –S (système)** : qui est relié à travers les MSC au sous-système réseau, il supervise, détecte et corrige les anomalies du NSS.
 - **L'OMC – R (radio)** : Il exploite et maintient le sous-système radio.
 - **L'OMC –M (maintenance)** : Il contrôle les OMC/R et les OMC/S.
- **Les NMC (Network Management Center)** : Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi, les incidents majeurs transmis à l'OMC remontent jusqu'au NMC qui les traite.

8. Le Handover

Pendant une communication, le terminal est en liaison radio avec une station de base déterminée. Le Handover désigne le transfert intercellulaire d'un mobile au cours d'une communication sans être interrompue. Quand l'abonné s'éloigne de l'antenne, le signal devient trop faible par rapport au seuil établis pour le niveau et la qualité du signal, la communication est alors prise en charge par l'antenne de la cellule voisine.

Les éléments du réseau qui se chargent du transfert sont les BSC et les MSC, les mesures de champs prises par les BTS sont transmises vers la BSC qui, en comparant ces puissances avec des niveaux seuils, jugera de la nécessité du changement de cellule. Si plusieurs cellules sont éligibles, alors le MSC détermine en fonction des charges de trafic, la cellule la plus apte à prendre la communication [5].

Le Handover intercellulaire se produit :

- Lorsque les mesures effectuées sur une cellule voisine présente une meilleure qualité que celle de la cellule active.
- Quand une cellule voisine permet la communication avec un niveau de puissance du signal plus faible.
- Lorsque le réseau souhaite transférer la charge du trafic sur des cellules adjacentes.

8.1. Objectifs et fonctions du Handover

- Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel.
- Minimiser les interruptions.
- Optimiser l'utilisation des ressources radio.

- Equilibrer la charge de trafic entre les cellules.

9. Les interfaces du réseau GSM

Les interfaces du GSM assurent l'interconnexion entre les différents éléments du réseau, elles assurent aussi la compatibilité du réseau GSM avec d'autres réseaux. La figure I.15 représente les différentes interfaces du réseau :

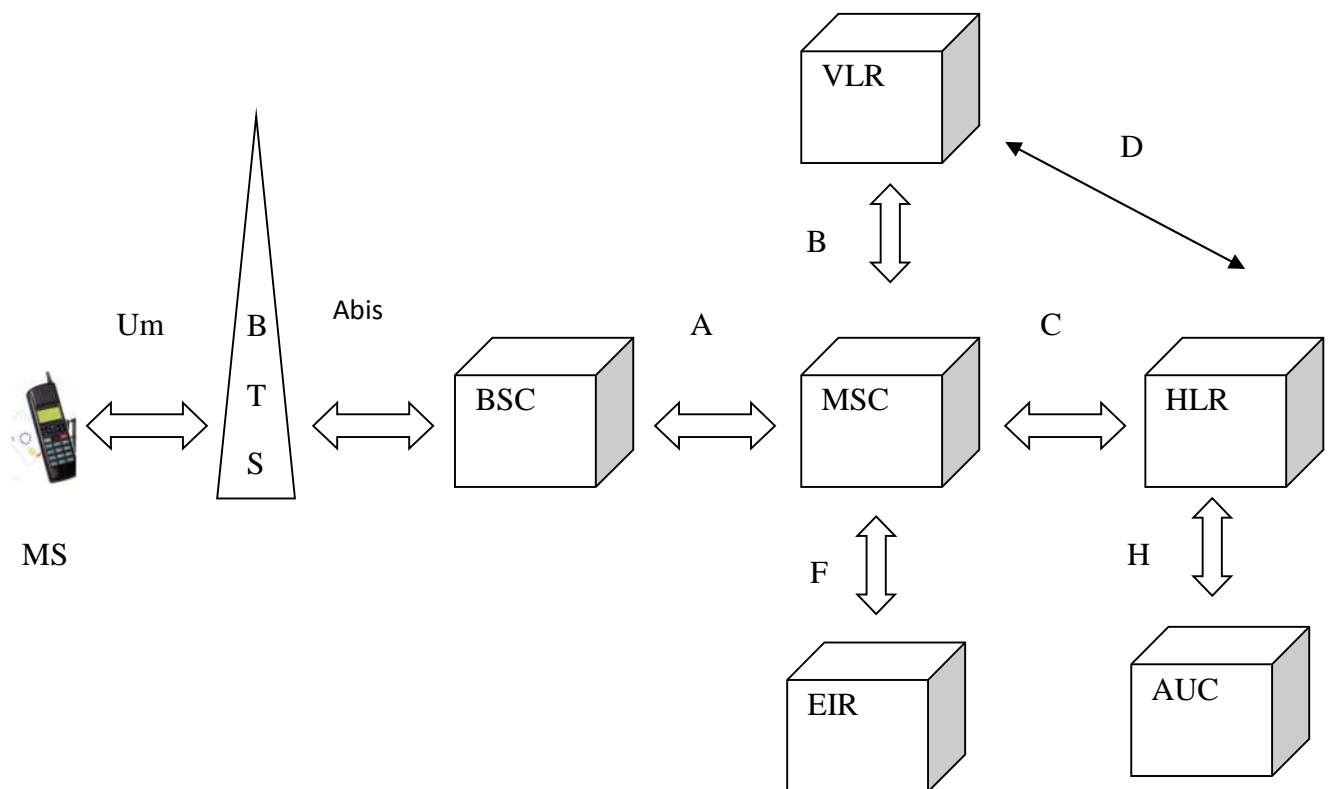


Figure I.14. Interfaces du réseau GSM.

- **L'interface Um**

C'est l'interface entre les deux sous-systèmes MS (Mobile Station) et le BSS (Base Station Sub-system. On la nomme couramment « Interface radio » ou « Interface air ».

- **L'interface Abis**

L'interface Abis est définie entre la BTS et le BSC. Elle supporte la transmission des communications des abonnés et de la signalisation.

- **L'interface A**

C'est l'interface entre les deux sous-systèmes BSS et le NSS.

Les transferts de données entre les différents éléments du réseau sont assurés par des liaisons MIC (Modulation par Impulsion codées) à 2Mbps. Selon la distance qui sépare les éléments, le lien peut être soit physique, soit par ondes radioélectrique.

Les liaisons par des ondes radio sont utilisées pour les transmissions entre BTS et BSC. Des ondes radioélectriques sont émises par des antennes paraboliques ultra directionnelles (antennes FH) pointées exactement vers l'autre, sans obstacle.

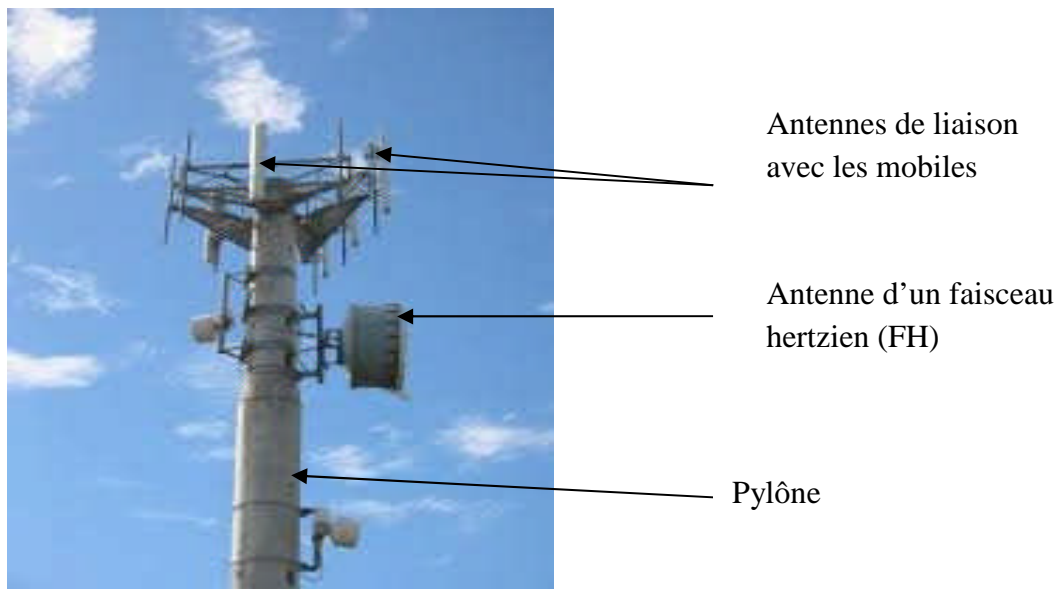


Figure I.15. Exemple de BTS

10. Discussion

Le GSM est un système de radio téléphonie numérique flexible et évolutif, composé d'entités fonctionnelles regroupées en sous systèmes définis dans la norme GSM. Sa structure fonctionnelle est conçue de façon à assurer la compatibilité entre les différents sous systèmes, leurs éléments constitutifs et les interfaces de communication.

L'encombrement du spectre radioélectrique a poussé les concepteurs du GSM à choisir des techniques de transmissions qui s'adapte le mieux aux bandes de fréquences limitées allouées à la norme. La configuration cellulaire est la première solution pour optimiser le spectre et cela en réutilisant les mêmes fréquences simultanément dans les cellules différentes.

L'organisation des transmissions dans le GSM est alors réalisée de façon ingénieuse, elle est assurée par l'interface radio qui constitue la partie la plus importante et la plus compliquée car elle est riche en fonctions, c'est à ce niveau que s'effectuent les différents traitements que peut subir une trame de parole, beaucoup de paramètres entrent en jeu (environnement, type d'antennes...).

La diversité des techniques utilisées a rendu possible la satisfaction des millions d'abonnés que compte chaque opérateur. La coexistence de plusieurs réseaux PLMN dans une région géographique nécessite le partage des fréquences entre les réseaux, ceci rétrécira de plus l'intervalle alloué à un opérateur. Pour remédier à ces problèmes, certains opérateurs utilisent des fréquences de la bande des 1800 MHz dans des zones de forte densité [1].

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

1. Préambule

Les réseaux mobiles et sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunications essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers (4G, LTE). Dans ce chapitre on se verra de présenter les différentes normes (générations) de téléphonie mobile et leurs évolution coté transmission et radio.

2. Evolution des différentes générations

2.1. Evolution transmission

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vues le jour (1G, 2G, 3G, 4G et prochainement la 5G pas encore mis en œuvre) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés.

2.1.1. La première génération (1G)

Les premiers réseaux de téléphonie cellulaire étaient analogiques, c'était la première génération. Les premiers terminaux sans fil, les radiotéléphones analogiques étaient installés dans les voitures ou transportés dans des valises. Ils étaient énormes, consommaient beaucoup d'énergie et ayant une couverture limitée. La 1G en offrait un service médiocre et très couteux de communication mobile. La 1G avait beaucoup de défauts, comme les normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels). La première génération de téléphonie cellulaire était déployée sous le nom commercial AMPS (Advanced Mobile Phone Service) et utilisait le multiplexage fréquentiel (FDMA) pour transporter les canaux vocaux dans la bande des 800 MHz.

Cette première génération de réseaux cellulaires utilisant une technologie analogique a été remplacée dès l'apparition d'une seconde génération plus performante utilisant une technologie numérique [6].

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

2.1.2. La deuxième génération (2G)

Le réseau GSM est un standard de téléphonie mobile dit « de seconde génération (2G) », contrairement à la première génération, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique.

La norme GSM autorise un débit de 9.6Kbits/s, ce qui permet de transmettre la voix et ainsi que des données numériques de faibles volume. La 2G a permis le développement et le lancement du service SMS (Short Message Service) accessible aux abonnés GSM. Il s'agit en fait d'un service de transmission de message textuel dont le contenu est de 160 caractères.

Parmi les avantages de la deuxième génération, on peut citer : une meilleure qualité d'écoute, des terminaux portables et une certaine confidentialité des communications. Les progrès de la deuxième génération ont permis l'accès du grand public à la téléphonie mobile [7].

2.1.3. La 2.5 génération (2.5G)

La 2G continue son évolution qui la conduit au mi – chemin d'une 3 G de téléphonie mobile. A ce stade, c'est la capacité de transmission de données qui se développe dans le réseau originalement conçu pour le transport de la voix. Ainsi, le GPRS (General Packet Radio Service) a pris naissance. Ce nouveau service est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation (GSM⁺⁺) ou (GSM 2⁺).

Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets. La technologie de commutation de paquets permet l'accès à Internet à bas débit à partir d'un terminal mobile.

Dans des conditions optimales, des débits théoriques maximums sont de l'ordre de 171,2Kbits/s, alors que le débit pratique arrive jusqu'à 40Kbits/s [7].

2.1.4. La 2.75 génération (2.75 G)

Le standard EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. EDGE utilise la modulation 8PSK), ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles. Dans la théorie l'EDGE permet un débit allant jusqu'à 384kbits/s pour les stations fixes.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

2.1.5. La troisième génération (3G)

La 3G correspond au standard UMTS (universal mobile for Telecommunications system). Elle repose sur un autre système moins déployé (car nécessitant la mise en œuvre de nouvelles infrastructures) mais plus rapide. Au niveau de la 3 G, des débits jusqu'à 2 Mb/s sont offerts, soit environ 5 fois plus rapide que la génération précédente. Les services possibles sur un réseau 3G sont accès haut débit à l'Internet sans fil, visiophonie, messages vidéo, réception de la télévision sur le téléphone. L'Union internationale des Télécommunications (UIT) a défini les normes de la troisième génération de la téléphonie cellulaire (IMT – 2000) pour faciliter la croissance, augmenter le débit et supporter plus d'applications variées. La 3G offre un niveau de sécurité plus élevée que ses prédécesseurs de la 2G [7].

2.1.6. La 3.5 génération (3.5G)

Appelé HSDPA (High – Speed Downlink Packet Access) ou 3G⁺ est un protocole de téléphonie mobile permet de monter le débit d'échange de données théorique à 14,4 mb par seconde, soit tout de même 7,5 fois plus que la 3G initiale [8].

2.1.7. La 3.75 génération (3.75G)

Appelé HSUPA (High Sped Uplink Packet Access) ou H⁺ est un autre protocole de téléphonie mobile. Dans ce cas précis, le débit est de 42mbits/s. Il s'agit d'un réseau approchant de la 4G, bien que le débit reste plus de deux fois inférieur.

2.1.8. La quatrième génération (4G)

La quatrième génération est déjà une réalité. Elle est développée en quelque sorte pour fournir la qualité de service et les débits exigés par les applications 3G existantes. La 4 G peut fournir un débit de téléchargement de 100 Mb/s pour les communications de haute mobilité (à partir des trains et des voitures) et un débit de 1 Gb/s pour les communications de basse mobilité (piétons et utilisateurs fixes). Le système 4 G doit fournir une solution à large bande. D'autres services seront offerts aux utilisateurs tels que: Accès à Internet à haut débit, téléphonie IP, les services de jeux et autres services multimédias en temps réel. LTE (Long Term Evolution, 3.9 G) est une technologie proche de la 4 G, qui devrait offrir des débits de l'ordre de 1 Gb/s selon les recommandations de l'Union internationale des Télécommunications [9].

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

Les objectifs de la quatrième génération sont :

- Canal de largeur de bande flexible, entre 5 et 20 MHz, optionnellement jusqu'à 40 MHz.
- Efficacité spectrale, réseau de grande capacité, débit nominal de 100 Mb/s, débit minimal entre deux points dans le monde : 100 Mb/s.
- Connectivité sans faille.
- Qualité de service élevée (pour audio en temps réel).
- Transmission de données à haut débit.
- Télévision à haute définition, télévision mobile...etc.

2.2 La différence entre chaque génération mobile

Génération	Débits théoriques
1G	Analogique
2G	9.6kbits/s
2.5G	171.2kbits/s
2.75 G	384kbits/s
3G	2Mbits/s
3.5 G	14.4Mbits/s
3.75 G	42Mbits/s
4G	1Gbits/s

Tableau II.1 : Différents débits de transmission

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

3. Evolution Radio :

3.1. Architecture du réseau GSM :

Le réseau GSM est regroupé en 3 sous-systèmes :

- BSS (Base Station Sub-system): Sous-système radio ;
- NSS (Network Sub-system): Sous-système réseau ;
- OSS (Operation Support Sub-system) : Sous-système d'exploitation et de maintenance.

La figure suivante schématise l'architecture générale du réseau GSM en englobant les trois sous systèmes ainsi que les différentes liaisons entre les différents sous systèmes et les liaisons entre des parties de chaque sous système.

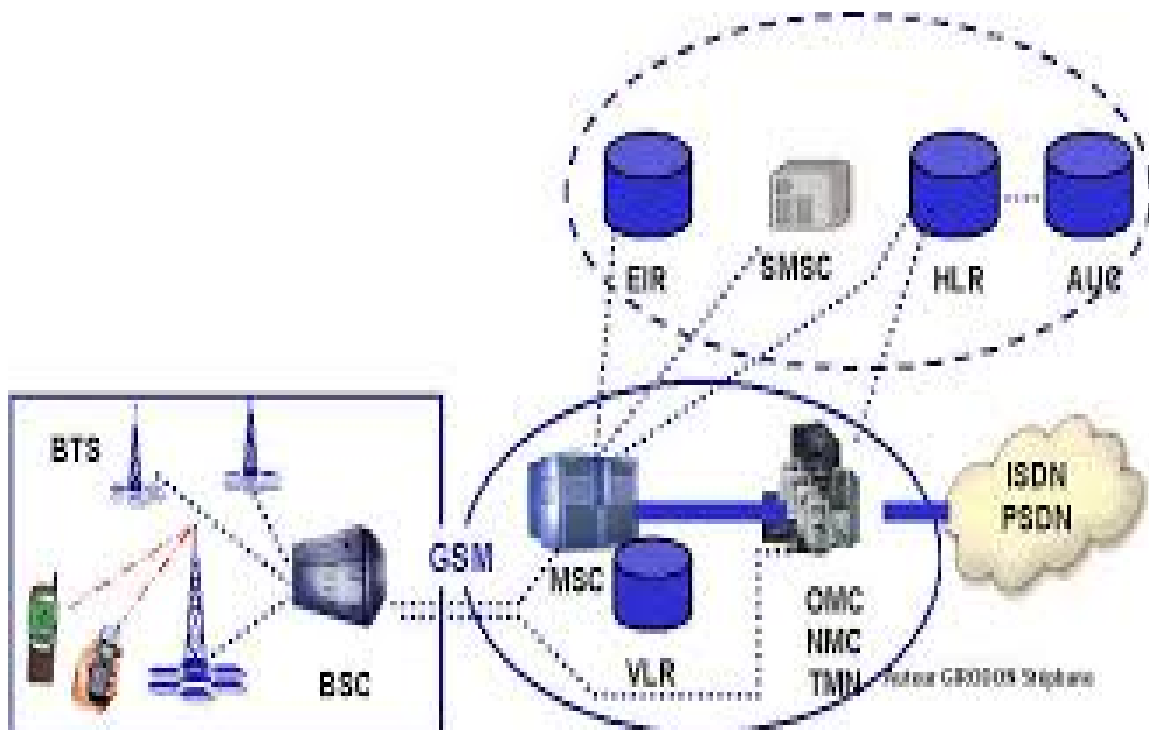


Figure II.1. Architecture du réseau GSM.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

Ainsi le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

3.1.1. Le sous-système radio BSS

BSS (Base Station Sub-system) : c'est un sous-système de l'architecture GSM qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio [4].

Le BSS comprend :

- **MS (Mobile Station):** Le GSM a introduit une carte à puce (SIM) qui contient les informations relatives à l'abonnement d'un utilisateur.
- **BTS (Base Transceiver Station):** Qui sont des émetteurs-récepteurs. Elles constituent les points d'accès au réseau et ont en charge l'accès radio des mobiles dans leur zone de couverture (opérations de modulation, démodulation, codage correcteur d'erreurs, etc.), la diffusion d'informations sur la cellule et la remontée d'informations sur la qualité de transmission au BSC.
- **BSC (Base Station Controller) :** Le BSC concentre les BTS, contrôlent un ensemble de BTS et gère les canaux radio (contrôle d'admission d'appels, handover, et contrôle de puissance), supervise l'activation/désactivation d'un canal.

3.1.2. Le sous-système d'acheminement NSS

Le NSS s'occupe de l'interconnexion avec les réseaux RTCP ou RNIS auxquels est rattaché le réseau mobile. Il gère en outre l'établissement des communications avec les utilisateurs mobiles, utilisateurs dont il détient un profil. Il assure les fonctions de gestion de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité qui sont implantées dans la norme GSM. Ce sous système est composé des équipements suivants:

- **MSC (Mobile Service Switching Center) :** Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Il est connecté à plusieurs BSC (de même que les BSC sont reliés à plusieurs BTS). Il assure en outre la localisation et l'itinérance d'un mobile grâce au VLR. Le MSC gère l'établissement des communications, la transmission des messages courts. Certains MSC sont qualifiés de Gateway MSC, car ils possèdent en plus une passerelle d'accès vers d'autres réseaux mobile ou fixes. Ils sont en charge par exemple des appels d'un mobile vers un téléphone fixe.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

- **HLR (Home Location Register):** Le HLR s'agit de la base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés autorisés à utiliser ce réseau GSM. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs. Les informations sont ensuite exploitées par l'OMC.

- **VLR (Visitor Location Register):** Le VLR est une base de données temporaire contenant des informations sur tous les MS qui sont gérés à ce moment-là par le MSC auquel ce VLR est rattaché. Il y aura toujours un VLR par MSC. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné visiteur.

- **AUC (Authentication Center) :** Le centre d'authentification AUC mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AUC de chaque abonné est associé au HLR. Pour autant le HLR fait partie du « sous-système fixe » alors que l'AUC est attaché au « Sous-système D'exploitation et de maintenance » [3].

- **EIR (Equipment Identity Register) :** L'EIR est un registre d'identification d'équipement. Comme nous l'avons vu précédemment, chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé [3].

3.1.3. Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS

L'OSS est un sous système entièrement dédié à l'administration du réseau par l'exploitant, à la fois en ce qui concerne l'administration commerciale, la gestion de la sécurité et la maintenance. Dans les OMC (Operation and Maintenance Center), on distingue :

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

- l'OMC/R (Radio) qui est relié à toutes les entités du BSS, à travers les BSC
- l'OMC/S (System) qui est relié au sous système NSS à travers les MSC.
- l'OMC/M (Maintenance) contrôle l'OMC/R et l'OMC/S.

3.2. Architecture du réseau GPRS (2.5G) :

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. En plus des trois sous systèmes du GSM, on a rajouté un sous système appelé GPRS Core Network. Ainsi son but est de conserver l'ensemble des modules du GSM. La figure suivante nous montre l'architecture du GPRS et les services ajoutés dans l'architecture GSM.

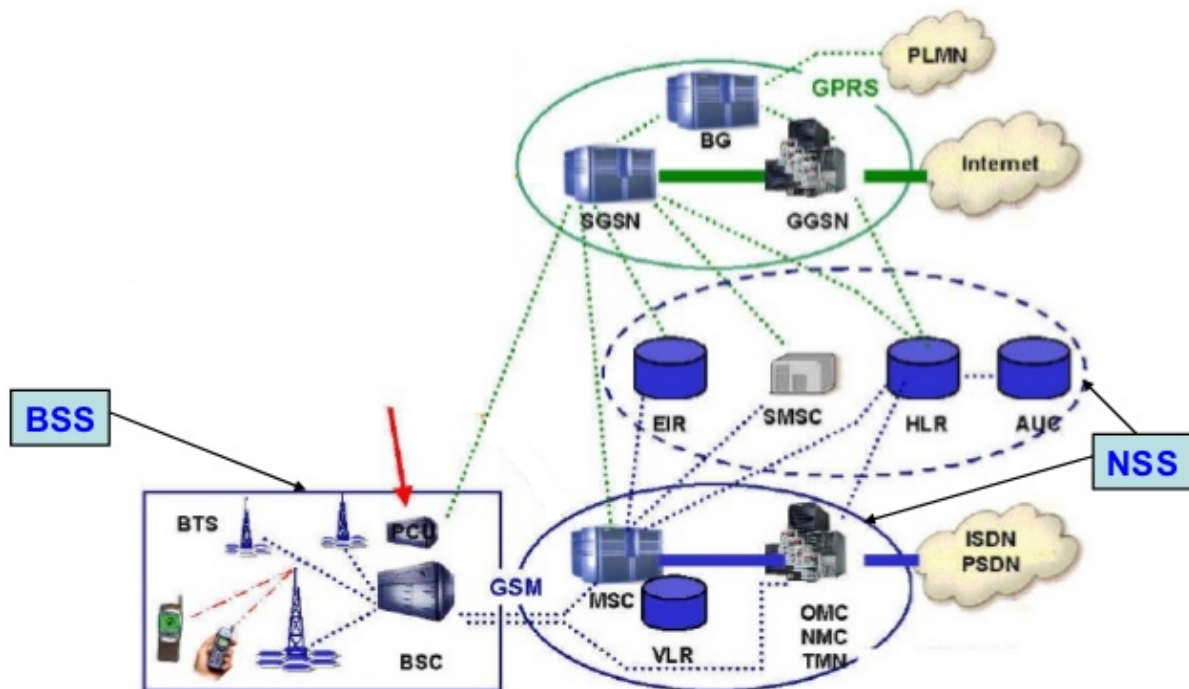


Figure II.2. Architecture du réseau GPRS.

En se basant sur la figure précédente, nous décrivons les différents services et leurs interconnexions. Le GPRS nécessite la précision de trois nouvelles entités :

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

3.2.1. Les équipements du GPRS :

- **Le SGSN (Serving GPRS Support Node) :** Le nœud de service dénommé SGSN (Serving GPRS Support Node) est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio : BTS, BSC, HLR. C'est une passerelle permettant l'acheminement de données dans les réseaux mobiles GPRS. Il gère l'interface avec le réseau de paquets externe (ex : IP) via une autre passerelle, le GGSN. Le SGSN est connecté à plusieurs BSC et présent dans le site d'un MSC [7]. Le SGSN est chargé des tâches suivantes :
 - Authentifie les stations mobiles GPRS.
 - Prend en charge l'enregistrement des stations mobile au réseau GPRS (attachement).
 - Prend en charge la gestion de la mobilité des stations mobiles. En effet, une station mobile doit mettre à jour sa localisation à chaque changement de zone de routage.
 - Relie les paquets de données de la station mobile au réseau externe ou du réseau à la station mobile.
 - S'interface à d'autres nœuds (HLR, MSC, BSC, SMSC, GGSN, Charging Gateway).
- **Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) :** Le nœud de passerelle dans le GPRS dénommé GGSN (Gateway GPRS Support Node) est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS...). C'est une passerelle d'interconnexion entre le réseau paquet mobile GPRS et les réseaux IP externes. Il permet de gérer les transmissions de paquets de données [7].

Le GGSN a les fonctions principales suivantes :

- Il gère la session (le contexte PDP qui contient les informations de QOS, login (identifiant) et password (mot de passe) de l'utilisateur).
- Il collecte des données de trafic pour la taxation.
- Il fait fonction de pare-feu.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

- Il est relié au SGSN via une dorsale (backbone) GPRS.
- S'interface à d'autres nœuds (SGSN, HLR...).

• **Le module BG pour la sécurité** : Les recommandations introduisent le concept de BG (Border Gateway) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux. Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (par exemple entre deux réseaux de deux opérateurs concurrents) [7].

• **PCU (Packet Control Unit)** : Pour déployer le GPRS dans les réseaux d'accès, on réutilise les infrastructures et les systèmes existants. Il faut leur rajouter une entité responsable du partage des ressources et de la retransmission des données erronées, l'unité de contrôle de paquets par une mise à jour matérielle et logicielle dans les BSCs.

3.2.2. Les équipements GSM utilisés

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les éléments du réseau GSM :

- Les BTS et BSC permettent de couvrir un territoire national pour localiser les terminaux.
- Le MSC et le VLR permettent également de gérer les problématiques d'itinérance des abonnés sur les réseaux GSM et GPRS.
- Le SMSC et le GMSC permettent la communication interne au réseau par l'envoi de messages courts à destination du terminal GPRS.
- Le HLR permet de gérer les problématiques liées à la localisation des individus (en mode GPRS, fournir une carte de la ville où se trouve l'abonné).
- L'EIR permet de gérer les problématiques liées au terminal visé.

3.3. Architecture de l'UMTS :

Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants GSM et GPRS, qui

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Données.

Comme le montre la figure suivante (Figure II.3), le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur.

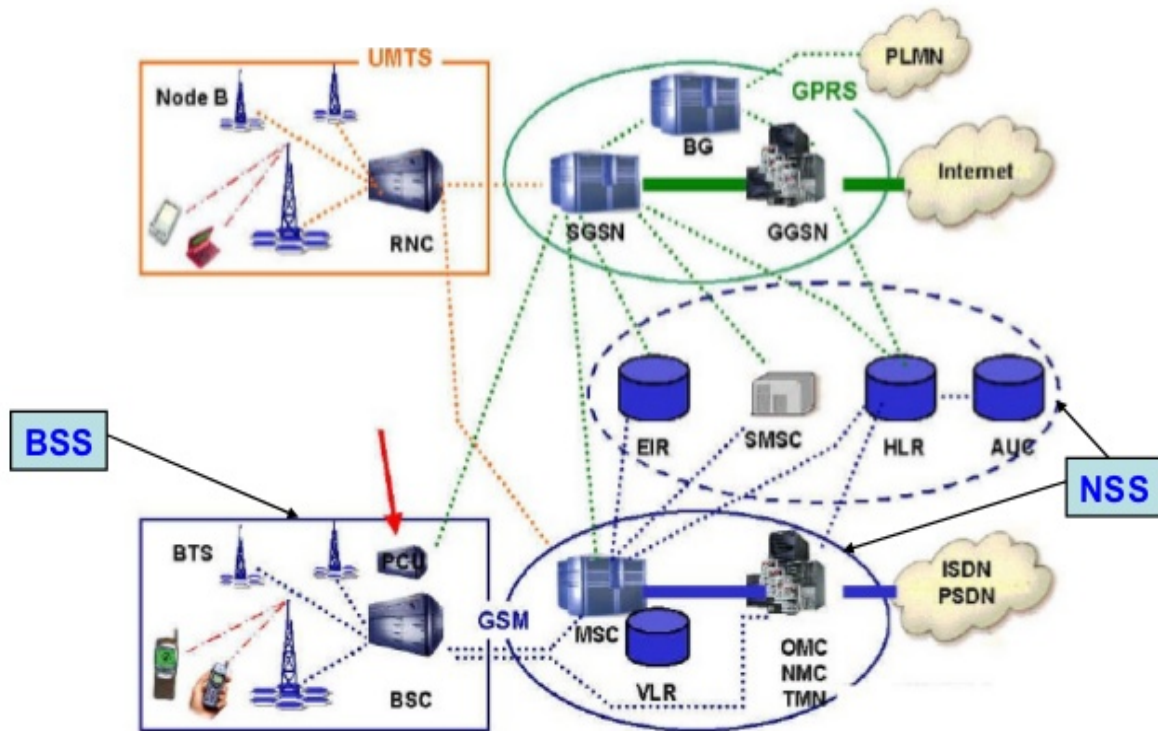


Figure II.3. Architecture du réseau UMTS.

3.3.1. Réseau d'accès UTRAN :

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement utilisateur et le réseau cœur. Cependant, il est chargé d'autres fonctions suivantes :

- Sécurité : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

- **Mobilité** : Il estime la position géographique d'un terminal en utilisant le réseau d'accès UTRAN.
- **Gestion des ressources radio** : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- **Synchronisation** : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments :

- **Le NodeB** : Le NodeB est une antenne répartie géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Node B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Il gère la couche physique de l'interface radio. Il communique directement avec le mobile sous 'interface dénommée Uu. Nous pouvons distinguer deux types de Node B :
 - NodeB avec antennes sectorielles qui dirigées vers des endroits précis.
 - NodeB avec antenne omnidirectionnelle.
- **RNC (Radio Network Controller)** : Le RNC est un contrôleur de NodeB. Le RNC est encore ici l'équivalent du BSC dans le réseau GSM. Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Ressource Control) pour définir les procédures et communication entre mobiles par l'intermédiaire des NodeB et le réseau. Il est directement relié à un NodeB, il gère alors :
 - Le contrôle de charge et de congestion des différents Node B.
 - Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées.).

Il existe deux types de RNC :

- Le **Serving RNC** qui sert de passerelle vers le réseau.
- Le **Drift RNC** qui a pour fonction principale le routage des données.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

L'ensemble des NodeB et des RNC continue l'équivalent de la sous architecture BSS vue précédemment en réseau GSM et GPRS. En architecture UMTS, on parle de sous architecture UTRAN [7].

3.4. La quatrième génération LTE

L'architecture du réseau LTE de haut niveau est composée de trois éléments principaux suivants:

- L'équipement utilisateur (UE).
- L'UMTS Terrestrial Radio Access Network Evolved (E-UTRAN).
- Le Evolved Packet Core (EPC).

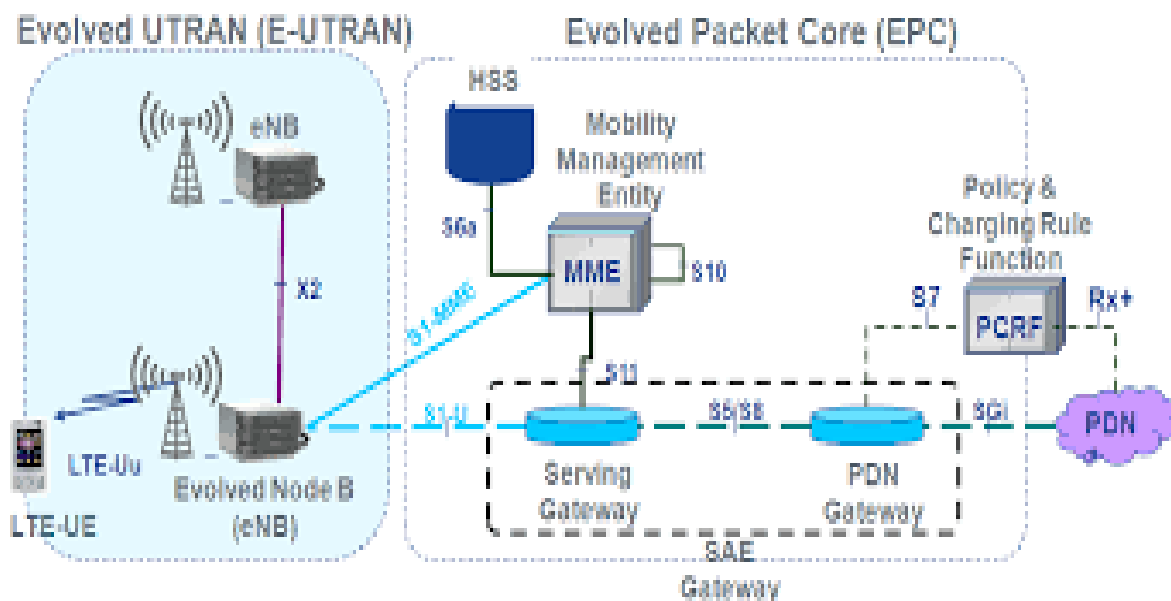


Figure II.4. Architecture du réseau LTE.

Les interfaces entre les différentes parties du système sont dénotés Uu, S1 et SGI comme indiqué ci-dessous:

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

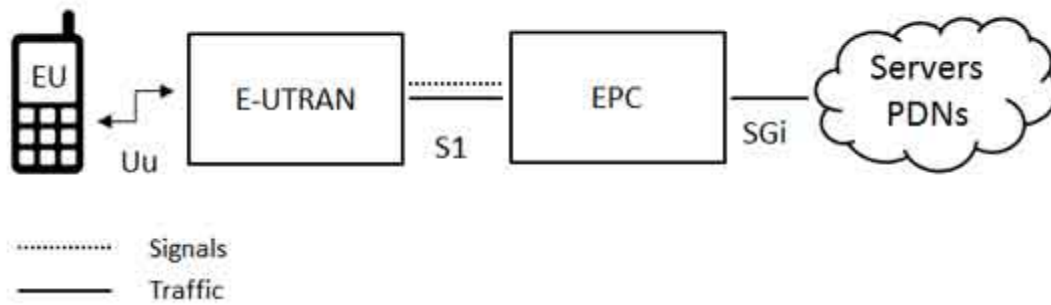


Figure II.5. Les interfaces entre différentes parties du réseau LTE.

3.4.1. L'équipement utilisateur (UE)

L'architecture interne de l'équipement utilisateur LTE est identique à celui utilisé par l'UMTS et le GSM, qui est en fait un équipement mobile (ME) qui gère toutes les fonctions de communication. Il est également connu sous le nom de la carte SIM.

3.4.2. L'E-UTRAN (Le réseau d'accès)

L'architecture évoluée UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) a été illustrée ci-dessous.

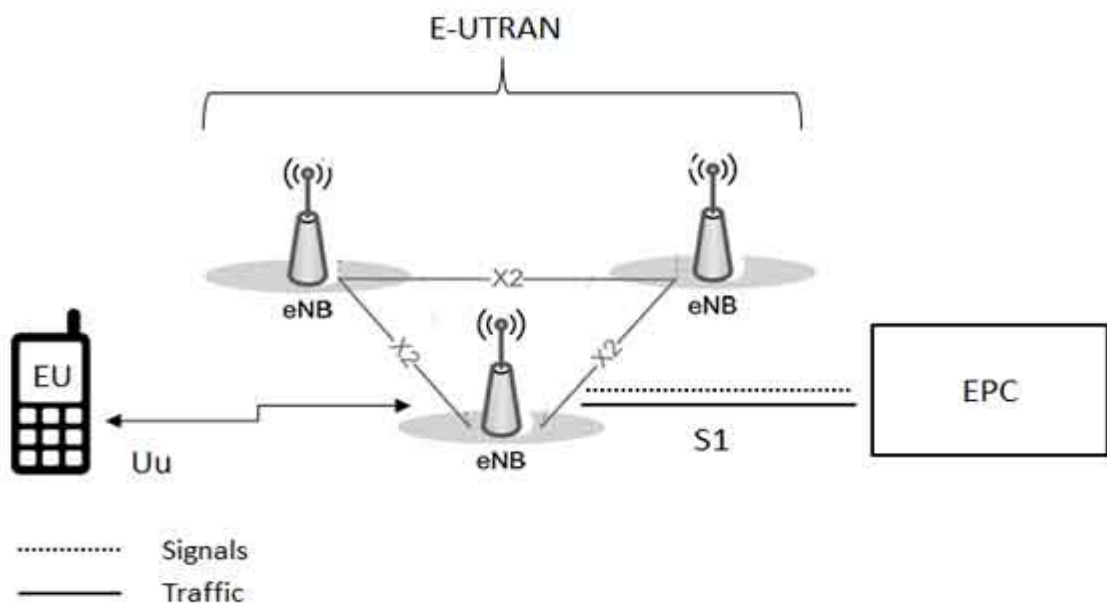


Figure II.6. Architecture du sous-réseau E-UTRAN.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

Le E-UTRAN est simplifiée par rapport à celles des réseaux 2G (BSS) et 3G (UTRAN) par l'intégration dans les stations de base « eNodeB ». Il gère les communications radio entre le mobile et le réseau cœur évolué. Le E-UTRAN n'a qu'un seul composant, les stations de base a évolué, appelé « eNodeB » ou « eNB » [9].

- **L'eNodeB** : C'est l'équivalent de la BTS dans le réseau GSM et NodeB dans l'UMTS. Ce sont des antennes qui relient les UE avec le réseau cœur du LTE via les interfaces. Ainsi qu'ils fournies la fonctionnalité du contrôleur radio réside dans eNodeB, le résultat est plus efficace, et le réseau est moins latent, par exemple la mobilité est déterminée par eNodeB a la place de BSC ou RNC. Chaque eNB est une station de base qui commande les mobiles dans une ou plusieurs cellules.

3.4.3. EPC (Evolved Packet Core) : Le cœur de réseau appelé « EPC » utilise des technologies « full IP », c'est-à-dire basées sur les protocoles Internet pour la signalisation qui permet le transport de la voix et des données. Ce cœur de réseau permet l'interconnexion via des routeurs avec les autres eNodeB distants [9]. Le réseau cœur EPC est constitué de plusieurs Eléments comme la montre l'architecture suivante :

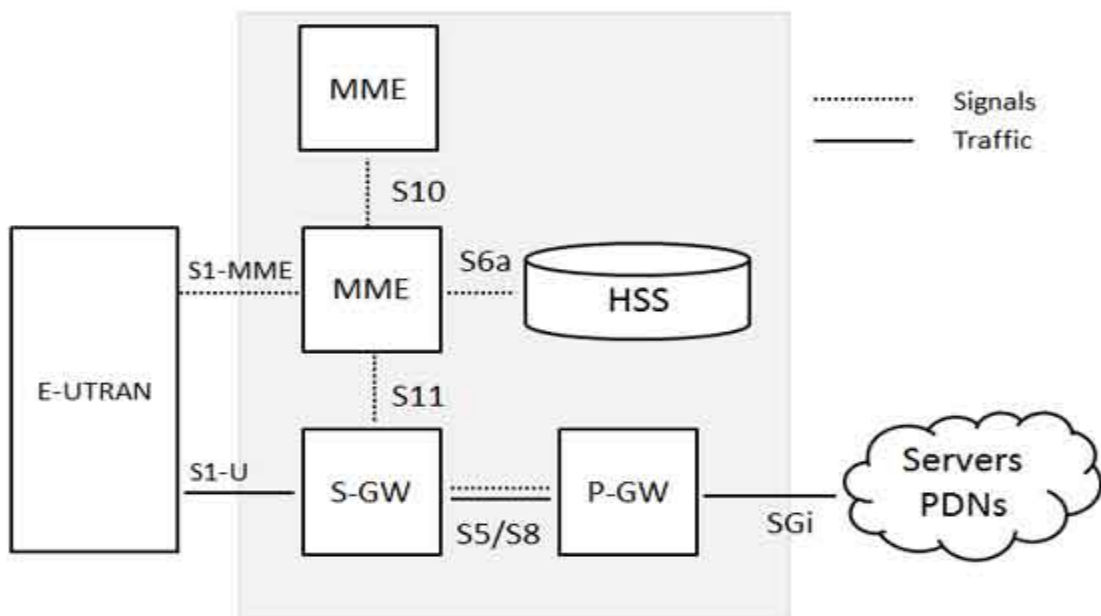


Figure II.7. Architecture du sous réseau EPC.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

- **Le (HSS) composant Home Subscriber Server :** C'est une base de données centrale similaire au HLR en GSM. Elle est Principalement désignée à l'authentification, l'autorisation, la sécurité et fournit une localisation détaillée à l'utilisateur.
- **Le Packet Data Network (PDN) :** La passerelle PDN a le même rôle que le nœud de support GPRS (GGSN) et le noeud de support GPRS de service (SGSN) avec UMTS et GSM .
- **Passerelle Packet-Switch GetWay (P-GW):** Fournit la connectivité au terminal mobile (UE) vers le paquet externe du réseau de l'information et alloue les adresses IP d'un UE et maintient la connexion mobile entre LTE/UMTS/GSM. Le P-GW communique avec le monde extérieur à savoir réseaux de données par paquets PDN, en utilisant une interface SIG.
- **La passerelle de desserte (S-GW) :** C'est la jonction principale entre le réseau radio accès et le réseau cœur. Elle achemine les paquets de données, maintient la connexion de l'inter-eNodeB handover, puis inter-système handover entre LTE et GSM/UMTS et réserve le contexte du terminal mobile (UE).
- **L'entité de gestion de mobilité (MME) :** Cette partie est responsable de la localisation et la poursuite du terminal mobile (UE) entre les appels et la sélection d'une bonne S-GW (Serving-GetWay) à travers une connexion. Ainsi, elle contrôle le signal entre le UE (Utilisateur Equipment) et le réseau cœur et assure l'établissement et la maintenance du signal [9].
- **La fonction de contrôle de la politique et les règles de tarification (PCRF) :** Le PCRF est un élément qui ne figure pas dans le schéma ci-dessus, il est responsable sur la décision principale du control. Il fournit une QoS d'autorisation pour décider le traitement des données en respectant l'abonnement des utilisateurs [9].
- L'interface entre la portion et les passerelles de réseau PDN est connu comme S5 / S8. Ceci a deux implémentations légèrement différentes, à savoir S5 si les deux appareils sont dans le même réseau, et S8 si elles sont dans des réseaux différents.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

4. Les différents canaux de transmission

4.1. Définition

On appelle canal de transmission une bande étroite de fréquence utilisable pour une communication.

Les réseaux radioélectriques utilisent des ondes radio ou infrarouges afin de transmettre des données. La technique utilisée à l'origine pour les transmissions radio est appelé transmission en bande étroite, elle consiste à passer les différentes communications sur des canaux différents.

L'IUT recommande des canaux de 3.5MHz, 7MHz, 14MHz ,28MHz ,56MHz et 112MHz... etc.

L'IUT partage la bande de fréquence recommandée en deux :

Par exemple on prend la bande de fréquence X_1 - X_2 GHz.

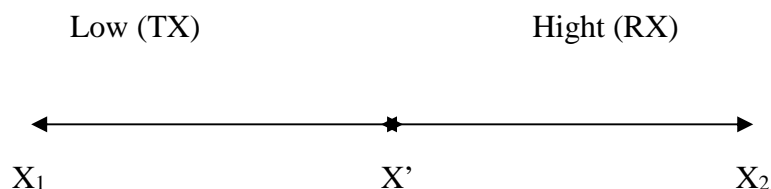


Figure II.8. Partage de la bande de fréquence

4.2. Disposition Des Canaux Radioélectriques pour Les Faisceaux Hertziens

Cette disposition de canaux est conformée à la recommandation UIT-R et utilisée par les systèmes de grande et moyen capacité et de fréquences exploitées par les systèmes hertziens.

Ces dispositions concernent notamment les bandes de fréquence des ondes radio auxquelles on associe une paire de canaux pour la transmission de l'information dans les deux sens de communication, chacun assurant exclusivement la transmission dans un sens donné.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

Dans notre chapitre on a étudié la recommandation IUT [10] relatif à la disposition des canaux radioélectriques pour les faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande des 15 GHz (14,4-15,35 GHz).

La présente Recommandation spécifie la disposition des canaux radioélectriques pour les systèmes hertziens fixes fonctionnant dans la bande des 15 GHz (14,4-15,35 GHz). La partie principale de cette Recommandation présente les dispositions avec des espacements de 3.5, 7, 14, 28 et 56 MHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT, considérant :

- Que la bande 14,4-15,35 GHz est attribuée au service fixe et que, dans certains pays, seule la bande 14,5-15,35 GHz est utilisée pour les faisceaux hertziens fixes.
- Qu'à ces fréquences, des systèmes hertziens fixes pour transmission numérique sont réalisables avec des espacements de répéteurs et d'autres caractéristiques déterminés par l'intensité des précipitations.
- Que plusieurs pays limitent l'utilisation de certaines parties de la bande 14,4-15,35 GHz, recommande :

4.2.1. Canal de transmission de 28 MHz

Que la disposition préférée des canaux radioélectriques pour des faisceaux hertziens fixes numériques fonctionnant avec un espacement des canaux de 28 MHz soit obtenue comme suit:

Soit N_{28} le nombre de canaux RF

Les fréquences (MHz) de chaque canal s'expriment alors par les relations suivantes:

Moitié inférieure de la bande: $f_n = f_r + a + 28 n$ MHz

Moitié supérieure de la bande: $f'_n = f_r + 3\,626 - 28 (N_{28} - n)$ MHz

Où:

f_r : fréquences de référence,

$a = 2\,688$ MHz pour la bande 14,4-15,35 GHz.

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

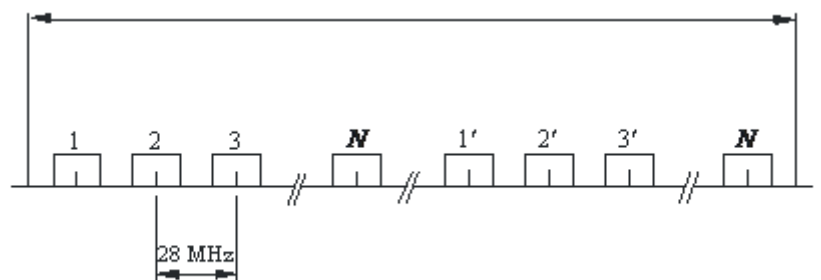
Et $a = 2\,786$ MHz pour la bande 14,5-15,35 GHz.

n = numéro du canal extrait du plan de base qui est actuellement subdivisé 1, 2, ... N28,

Avec : $N28 \leq 16$ pour la bande 14,4-15,35 GHz.

Et $N28 \leq 15$ pour la bande 14,5-15,35 GHz.

La disposition des canaux avec $f_r = 11701$ MHz et un espacement de fréquence de 28 MHz est représentée à la (Figure II.9).



F636-01

Figure II.9. Disposition des canaux RF pour des faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande des 15 GHz: espacement de 28 MHz.

4.2.2. Canal de transmission de 14MHz

Que la disposition préférée des canaux radioélectriques pour des systèmes hertziens fixes numériques fonctionnant avec un espacement des canaux de 14 MHz soit obtenue comme suit:

Soit N_{14} le nombre de canaux radioélectriques;

Moitié inférieure de la bande: $f_n = f_r + a + 14 n$ MHz

Moitié supérieure de la bande: $f'_n = f_r + 3\,640 - 14 (N_{14} - n)$ MHz

Où:

f_r : fréquence de référence

$a = 2\,702$ MHz pour la bande 14,4-15,35 GHz. e

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

$a = 2\,800$ MHz pour la bande 14,5-15,35 GHz

$n =$ numéro du canal extrait du plan de base qui est actuellement subdivisé 1, 2, ... N_{14}

Avec $N_{14} \leq 32$ pour la bande 14,4-15,35 GHz

Et $N_{14} \leq 30$ pour la bande 14,5-15,35 GHz.

La disposition des canaux avec $f_r = 11\,701$ MHz et un espacement de fréquence de 14 MHz est représentée à la Figure (II.10).

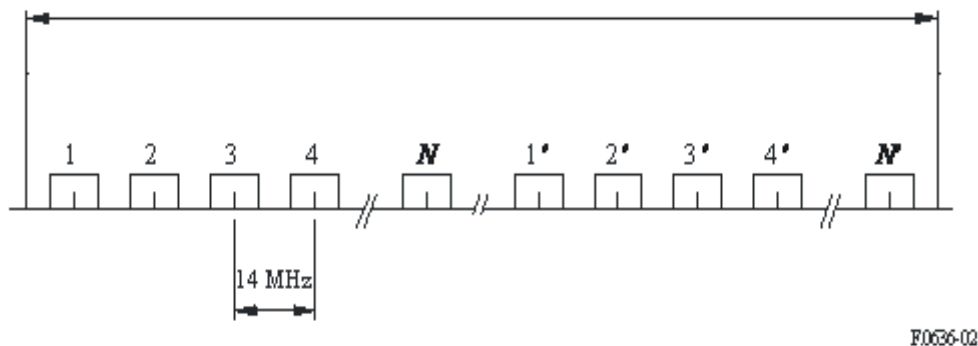


Figure II.10. Disposition des canaux RF pour des faisceaux hertziens fonctionnant dans la bande des 15 GHz: espacement de 14 MHz.

4.2.3. Canal de transmission de 56 MHz

Que la disposition préférée des canaux radioélectriques pour des systèmes hertziens fixes numériques de capacité moyenne fonctionnant avec un espacement des canaux de 56 MHz soit obtenue comme suit:

Soit N_{56} le nombre de canaux RF.

Les fréquences (MHz) des canaux individuels sont alors exprimées par les relations suivantes:

Moitié inférieure de la bande: $f_n = f_r + a + 56 n$ MHz

Moitié supérieure de la bande: $f'_n = f_r + 3\,612 - 56 (N_{56} - n)$ MHz

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

Cette option doit être utilisée lorsque la disposition correspondante de 28 MHz fournit $N_{28} = 2 \times N_{56}$ canaux, ou lorsqu'aucune disposition pour les canaux de la moitié inférieure n'est utilisée.

Où:

f_r : fréquence de référence

$a = 2\,674$ MHz pour la bande 14,4-15,35 GHz, et

$a = 2\,772$ MHz pour la bande 14,5-15,35 GHz

n = numéro du canal extrait du plan de base qui est actuellement subdivisé 1, 2, . . .

N_{56} ,

Avec $N_{56} \leq 8$ pour la bande 14,4-15,35 GHz

Et $N_{56} \leq 7$ pour la bande 14,5-15,35 GHz.

La disposition des canaux avec $f_r = 11\,701$ MHz et un espacement de fréquence de 56 MHz est représentée à la (Figure II.11).

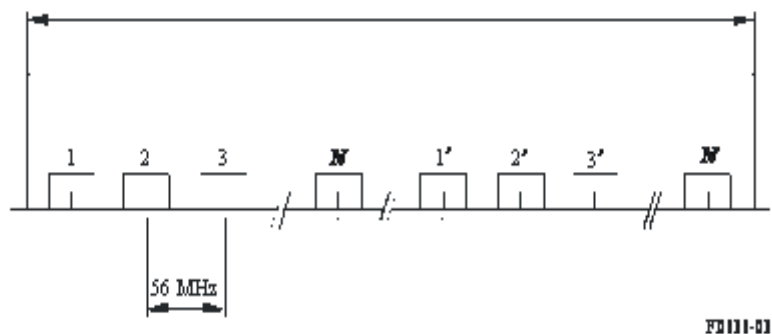


Figure II.11. Disposition des canaux RF pour des faisceaux hertziens fixes fonctionnant dans la bande des 15 GHz: espacement de 56 MHz

CHAPITRE II : Evolution transmission et radio des différentes générations mobiles.

La relation entre la capacité, modulation et le canal de transmission est donnée par le tableau suivant :

Capacity Mbps	7 MHz	14 MHz	28 MHz	40 MHz	56 MHz
4 QAM	10	22	46	66	94
16 QAM	21	44	94	133	189
32 QAM	26	55	115	167	237
64 QAM	32	66	138	197	285
128 QAM	37	77	160	229	326
256 QAM	42	87	183	259	370
512 QAM	46	97	204	290	413
1024 QAM		107	225	317	456

Tableau II.2. Relation entre la modulation, canaux et capacité de transmission d'une liaison

5. Discussion

Le réseau mobile s'élargit et s'évolue avec le temps : 2G, 2.5G, 2.75G, 3G et 4G, (GSM, GPRS, EDGE, UMTS, et LTE, respectivement). Cette évolution est liée à la capacité nécessaire avec la modernisation du réseau et l'introduction des nouveaux équipements qui permet le traitement des données dans chaque technologie.

1. Préambule

Un système de communication a pour fonction d'assurer le transport de l'information entre un émetteur et un récepteur relié par un canal de transmission. Tout le problème de la transmission est de trouver une bonne transformation de l'information en un signal. C'est-à-dire que le récepteur doit trouver suffisamment d'information dans le signal reçu pour reconstituer l'information initiale. Les signaux sont transportés par le moyen de différents supports de transmission. Généralement on classe ces supports en deux catégories :

- Les supports guidés (supports cuivre et supports optiques).
- Les supports libres (faisceaux hertziens et liaisons satellites).

Ce chapitre est consacré pour l'étude des liaisons hertziennes point à point qui sont les plus répandus.

2. Définition d'une onde électromagnétique

Une onde électromagnétique (onde radio ou onde hertzienne) comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique, les deux champs sont perpendiculaire l'un par rapport à l'autre. Leurs amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps et au cours de sa propagation [11].

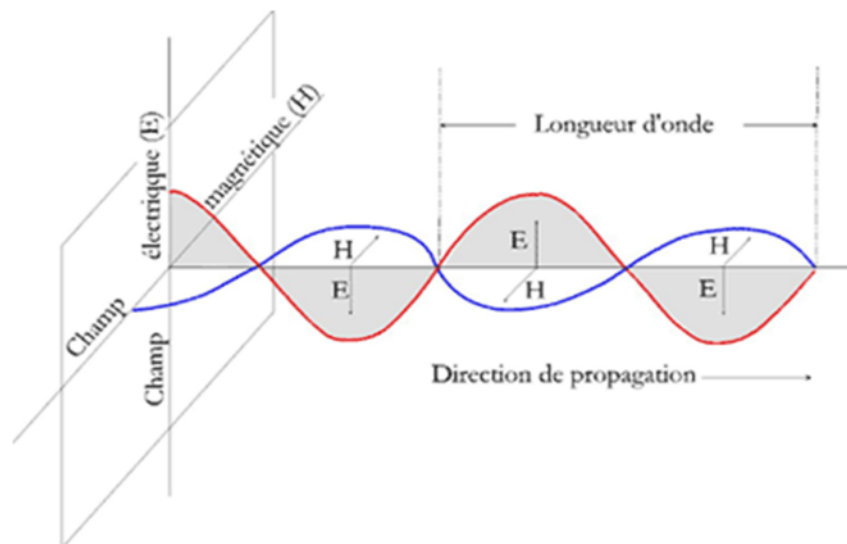


Figure III.1. Propagation des ondes électromagnétiques

2.1. Caractéristiques d'une onde électromagnétique

Les caractéristiques principales d'une onde électromagnétique sont :

- **La longueur d'onde** : C'est la distance entre deux maximums consécutifs

Ou bien c'est la distance parcourue par l'onde pendant la durée d'une période. On la note λ .

$$\lambda = \frac{C}{F} \quad \text{ou} \quad \lambda = C.T \quad \text{(III.1)}$$

λ : longueur d'onde électromagnétique.

C : vitesse de propagation (3.10^8 m/s).

F : fréquence de l'onde électromagnétique.

- **La période (T)** : Elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde.
- **La fréquence (F)** : Inverse de la période. En un point donné, c'est le nombre de maxima de champ par seconde. Elle est égale à la fréquence du générateur qui a donné naissance à l'onde. Elle s'exprime en Hertz (Hz).

La fréquence et la longueur d'onde sont inversement proportionnelles. Par conséquent, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

- **La polarisation** : C'est l'orientation du champ électrique par rapport à l'horizontale.

Si le champ E est parallèle à l'horizontale, 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.

2.2. Propagation des ondes radioélectriques en espace libre

Les ondes radio ou ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent de deux façon soit : Dans l'espace libre ou dans l'espace guidé (propagation

guidée, dans un câble coaxial ou un guide d'onde) [11]. Dans notre cas, on utilise la propagation des ondes électromagnétiques dans l'espace libre.

Il est essentiel de comprendre les principes de la propagation des ondes électromagnétiques pour pouvoir prédire les chances et les conditions d'établissement d'une liaison radio entre deux points de la surface de la terre.

La propagation libre des informations est assurée par des ondes électromagnétiques émises et reçues par des antennes. On parle de transmission hertzienne. Ces ondes, appelées ondes hertziennes, peuvent être reçues par des récepteurs mobiles car elles ne nécessitent aucun fil de transmission. Cependant, elles sont soumises à de nombreuses perturbations présentes dans l'environnement.

3. Antennes GSM

3.1. Définition d'une antenne

Une antenne est un conducteur électrique utilisé pour rayonner ou capter de l'énergie électromagnétique entre un émetteur/ récepteur et l'espace libre.

L'antenne a un rôle très important dans les liaisons hertziennes : convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Les antennes sont utilisées dans des gammes de fréquence de longueurs d'onde différentes.

3.2. Antennes des stations de bases (BTS)

Ce sont les composants les plus visibles du réseau GSM. On dispose de deux types d'antennes GSM :

- Les antennes de transmission appelées antennes directionnelles en forme de paraboles à installer en extérieur sur des mâts et utilisées pour couvrir les zones urbaines et aussi rurales. Dont l'onde électromagnétique se propage vers une seule direction de l'antenne émettrice vers l'antenne réceptrice.



Figure III.2. Antennes paraboliques

- Les antennes radio appelées antennes omnidirectionnelles en forme de panneaux à monter en extérieur et principalement destinées aux zones rurales. Dont les ondes électromagnétiques se propagent dans tout les sens dans la zone concernée. Elles sont sous forme de panneaux.



Figure III.3. Antennes panneaux et antennes perches

3.3. Caractéristiques

3.3.1. Fréquence d'utilisation

La caractéristique la plus importante d'une antenne, est la bande de fréquences supportée, c'est-à-dire les fréquences que l'antenne pourra émettre et recevoir. Sur les sites GSM, Les antennes radio émettent en 900Mhz, en 1800Mhz ou en 2100Mhz. Par contre les antennes de transmission émettent généralement en 13 GHz, 18GHz, 23GHz et 38GHz [12].

3.3.2. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. Sur ce diagramme on distingue des lobes différents :

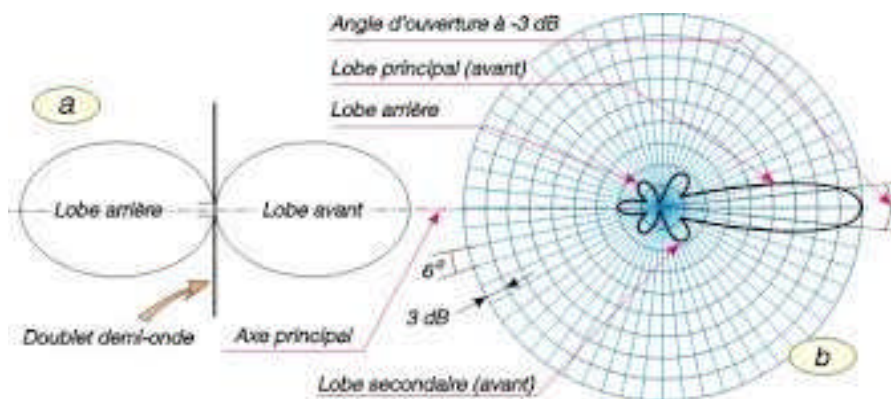


Figure III.4. Diagramme de rayonnement

Cette figure (III.4) présente les principaux lobes du diagramme de rayonnement .Le diagramme de rayonnement permet de définir de nombreuses caractéristiques de l'antenne, en particulier :

- **Lobe principal:** C'est le lobe le plus important car il présente la directivité d'une antenne.
- **Lobes secondaires :** Un lobe secondaire correspond à un maximum de puissance dans une direction autre que la direction privilégiée. Idéalement, ils doivent être les plus faibles possibles.

- **Lobe arrière** : Le lobe arrière est lobe secondaire dans la direction opposée à la direction privilégiée de l'antenne (à l'arrière de l'antenne).
- **Angle d'ouverture** : L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction. C'est donc une séparation angulaire correspondant à une atténuation de -3dB sur le diagramme de rayonnement de la figure III.4. Cette donnée ne s'applique généralement qu'aux antennes directives utilisées dans des liaisons point à point. Elles présentent un lobe principal de rayonnement.

3.3.3. Directivité

La deuxième caractéristique importante est la directivité sur le plan horizontal, c'est en fait la direction dans laquelle l'antenne va émettre. Une antenne directive possède un ou deux lobes nettement plus importants que les autres, elle sera d'autant plus directive que le lobe le plus important sera étroit. En GSM, il existe deux grands types de directivités pour les antennes :

➤ Les antennes Omnidirectionnelles

Les antennes omnidirectionnelles sont particulièrement destinées aux zones rurales. Elles rayonnent approximativement le même modèle tout autour de l'antenne dans un modèle complet de 360°.

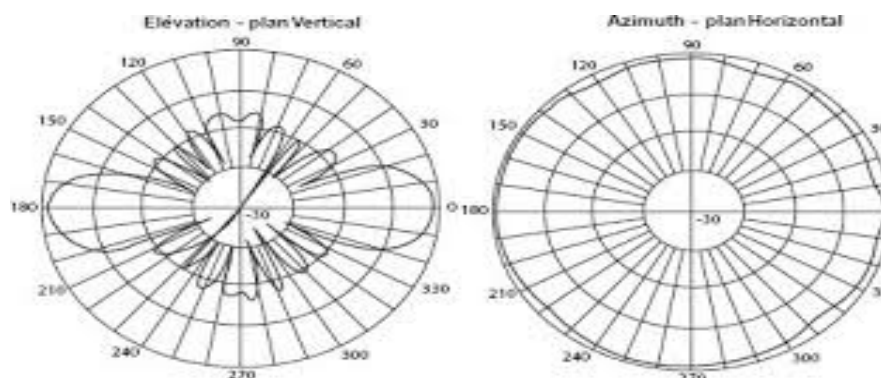


Figure III.5. Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle

➤ Les antennes directionnelles

Les antennes directionnelles sont des antennes pour lesquelles la largeur de faisceau est beaucoup plus étroite que dans les antennes sectorielles. Elles ont un gain plus élevé et

sont donc employées pour des liens de longue distance. Elles émettent seulement dans la direction où elles sont orientées.

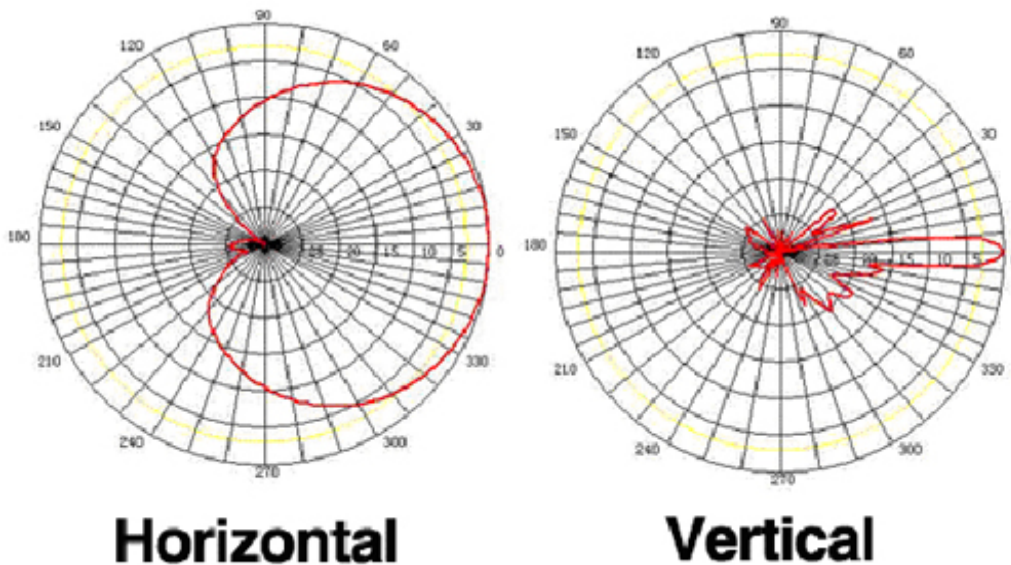


Figure III.6. Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.

3.3.4. Gain

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Ce gain s'exprime en dB, il est d'environ 2 à 11dB pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18dB pour les antennes directionnelles. Le Gain d'une antenne de transmission (parabolique) est donné par la relation suivante [12] :

$$G_{dB} = 10. \text{Log } K. \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (\text{III.2})$$

Avec :

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

D : Diamètre du réflecteur parabolique.

λ : Longueur d'onde d'utilisation.

D et **λ** doivent être exprimés dans la même unité.

Les antennes paraboliques sont utilisées en dessus de 2GHz.

Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important.

Plus l'antenne est directive plus son gain est fort.

3.3.5. La P.I.R.E (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)

La P.I.R.E est une caractéristique importante d'un émetteur. Elle correspond à la puissance émise par l'émetteur. Elle est exprimée par la relation suivante :

$$P.I.R.E (W) = P_E (W).G_E \quad (\text{III.3})$$

3.3.6. Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture -3dB d'une antenne parabolique est lié à la dimension de l'antenne. Plus l'antenne est grande devant la longueur d'onde, plus le gain est important et plus l'antenne est directive. L'angle d'ouverture est donné par la relation suivante [12] :

$$\theta = \frac{70\lambda}{D} \quad (\text{III.4})$$

λ : la longueur d'onde.

D : la distance parcourue.

3.3.7. Polarisation

La polarisation d'une antenne parabolique est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique, l'onde qu'elle rayonne ou qu'elle reçoit. La polarisation est en général décrite par une ellipse. La polarisation peut être verticale ou horizontale. La polarisation verticale est meilleure pour une bonne transmission.

4. Transmission par Faisceaux hertziens

4.1. Présentation d'un faisceau hertzien

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux numériques ou analogiques, entre deux points fixes. C'est une liaison radio spécialisée, composée de 2 antennes émettrices-réceptrices ultra directionnelles pointées exactement l'une vers l'autre,

sans obstacle intercalé. Il utilise des ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. La directivité du faisceau est d'autant plus grande que la longueur d'onde utilisée est petite lorsque la surface de l'antenne émettrice est grande.

Lorsque le BSC est très éloigné du MSC, il peut arriver que la liaison soit assurée par plusieurs couples FH. Ce dernier a souvent un débit de 2 Mbit/s, il est donc nécessaire sur certains sites à capacité importante d'en utiliser plusieurs. Le faisceau est un support de type pseudo 4fils. Les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes.



Figure III.7. Antenne d'un faisceau hertzien



Figure III.8. Types de déviations d'un FH

Comme on peut le voir sur la photo de droite, si l'on veut faire changer de direction un FH, on peut utiliser un réflecteur (grand panneau blanc, en haut) qui réfléchit, comme un miroir l'onde provenant d'une antenne pour la renvoyer vers une autre direction. On peut aussi utiliser un couple supplémentaire d'antennes, comme les deux antennes (en bas) où une antenne reçoit et l'autre réémet et vice versa.

4.2. Caractéristiques

Sur une grande distance, allant jusqu'à 50km en liaison directe « infrastructure téléphonique » qui nécessite des relais :

- Passifs là où le relief est important.
- Courtes distances (liaison « a vue directe ») : infrastructure GSM.

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

- **Débit binaire :**

$D = 1/T_b$ où T_b est la durée d'un bit en seconde. Il peut atteindre les 155Mbits/s. **(III.5)**

- **Taux d'erreur de bits :**

TEB= nombre d'éléments binaires faux / nombre d'éléments émis. **(III.6)**

- **Efficacité spectrale :**

$\eta = D/B$ où B est la bande occupée autour de la porteuse. **(III.7)**

L'efficacité spectrale s'exprime en bits/s/Hz.

- **Fréquence intermédiaire (FI) :** Fréquence interne à l'émetteur et au récepteur servant de support à la modulation.

En pratique la valeur du FI comprise entre 70 et 140MHz. Plus cette fréquence est élevée, plus le débit binaire transmissible sera important.

- **Portée :** A débit donné, la portée se réduit lorsque la fréquence du FH augmente. En général, les bandes de fréquences de 23 et 38GHz sont utilisées pour des liaisons courtes distances 4 à 5 kilomètres. Les bandes de fréquences de 4 et 13 GHz permettent d'atteindre des portées de quelques dizaines de kilomètres, Voir 50km en utilisant des antennes de grands diamètres.
- **Bande de fréquences :** Pour les opérateurs de téléphonie mobile, des bandes de fréquences sont allouées pour leurs faisceaux hertziens par l'IUT : 6GHz, 13GHz, 18GHz, 23GHz et 38 GHz.

4.3. Les Types de faisceaux hertziens

L'atténuation des ondes hyperfréquences porteuses de l'information et se propagent dans l'atmosphère est inversement proportionnelle à la distance parcourue.

L'affaiblissement de propagation de ces ondes augmente très rapidement dès que les deux extrémités de la liaison ne sont plus en visibilité directe.

La contrainte imposée par l'influence de la courbure de la terre a conduit à la mise au point de deux types de liaisons hertziennes très différentes :

- Les liaisons par faisceaux hertziens à visibilité directe.
- Les liaisons par faisceaux hertziens transhorizon.

Les ondes radio peuvent être propagées d'une antenne d'émission à une antenne de réception de diverses manières : par visibilité directe (LOS) et non visibilité (NLOS).

4.3.1. Les faisceaux hertziens en visibilité directe

Dans cette catégorie le trajet entre l'antenne d'émission et de réception est suffisamment dégagé de tout obstacle. (Voir figure III.9)

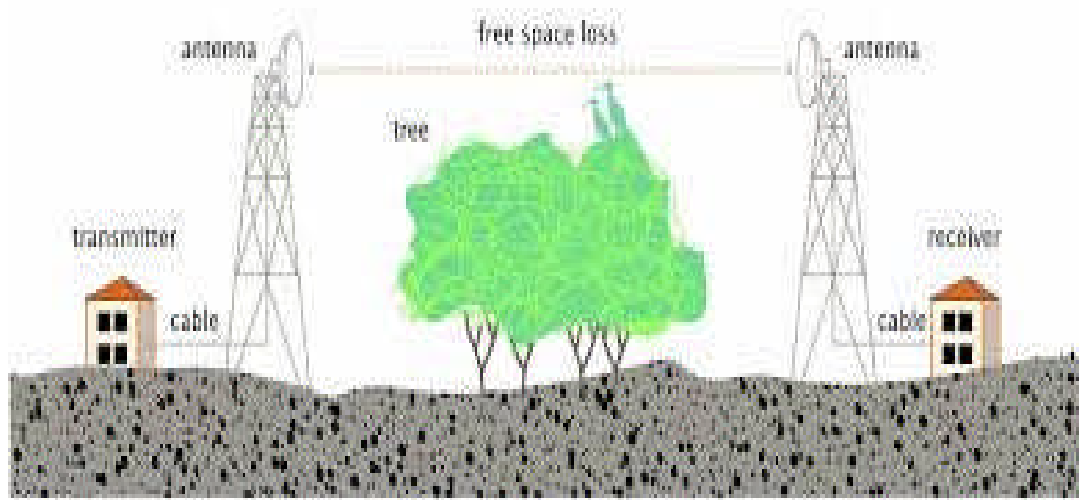


Figure III.9. Faisceau hertzien en visibilité directe.

4.3.2. Les faisceaux hertziens transhorizon

Les faisceaux hertziens transhorizon utilisent des phénomènes de propagation des ondes électromagnétiques dans les zones turbulentes de la troposphère pour établir la liaison entre les antennes [13]. (voir figure III.10).

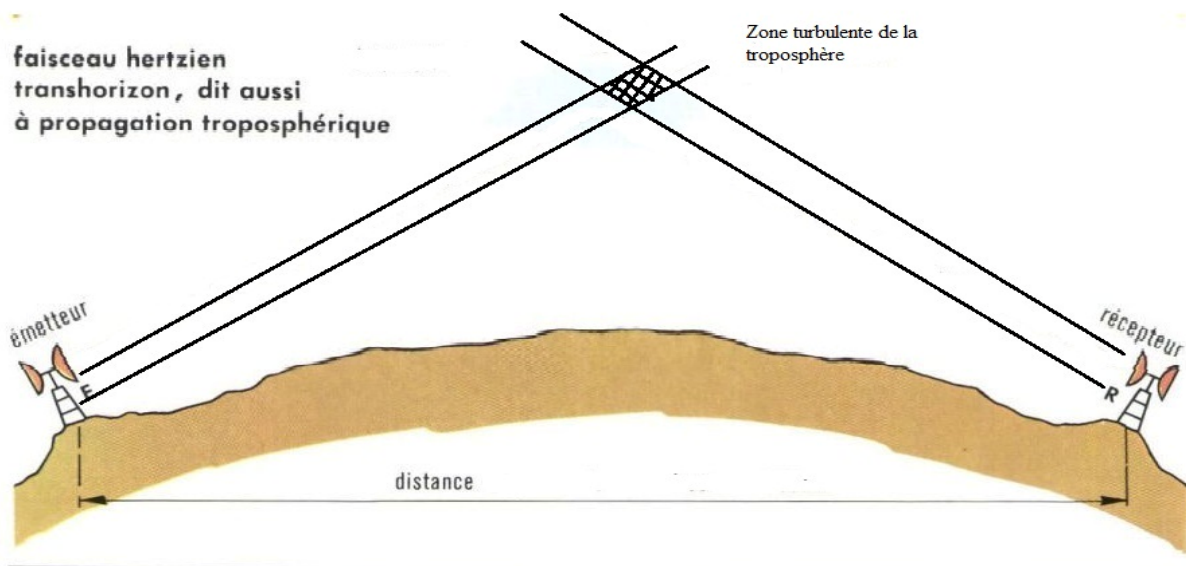


Figure III.10. Faisceau hertzien transhorizon.

Dans notre étude, on se limite à l'étude des faisceaux hertziens en visibilité directe, ce sont les plus répandus. On se limite aussi à l'étude des faisceaux hertziens numériques puisque notre application utilise cette catégorie.

5. L'ellipsoïde de Fresnel

L'onde hertzienne n'est pas affectée par un obstacle si la première ellipsoïde de Fresnel n'en rencontre aucun (il est nécessaire de prendre en compte tous les éléments du profil y compris la végétation).

5.1. Ellipsoïde de Fresnel dégagée

En tout point de l'ellipsoïde, nous devons avoir $e > r$:

e : distance entre la ligne joignant les deux antennes et le terrain

r : rayon de l'ellipsoïde.

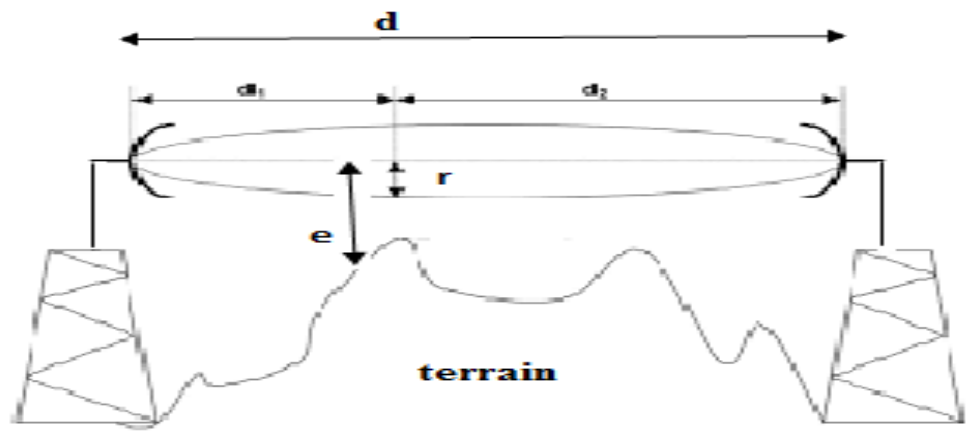


Figure III.11. Ellipsoïde de Fresnel dégagée

Le rayon de l'ellipsoïde en un point quelconque vaut :

$$r = \frac{\sqrt{d_1 d_2}}{d_1 d_2} \quad \text{(III.8)}$$

f : fréquence porteuse GHz.

λ : longueur d'onde de fonctionnement.

d : distance du bond (km).

d_1 : distance en km du point considéré par rapport à l'antenne d'émission.

d_2 : distance en km du point considéré par rapport à l'antenne de réception ($d_1 + d_2 = d$).

5.2. Ellipsoïde de Fresnel non dégagée

Dans le cas où il y a des obstacles, et la zone de Fresnel n'est pas dégagée, la transmission ne sera pas effectuée entre l'antenne d'émission et celle de réception.

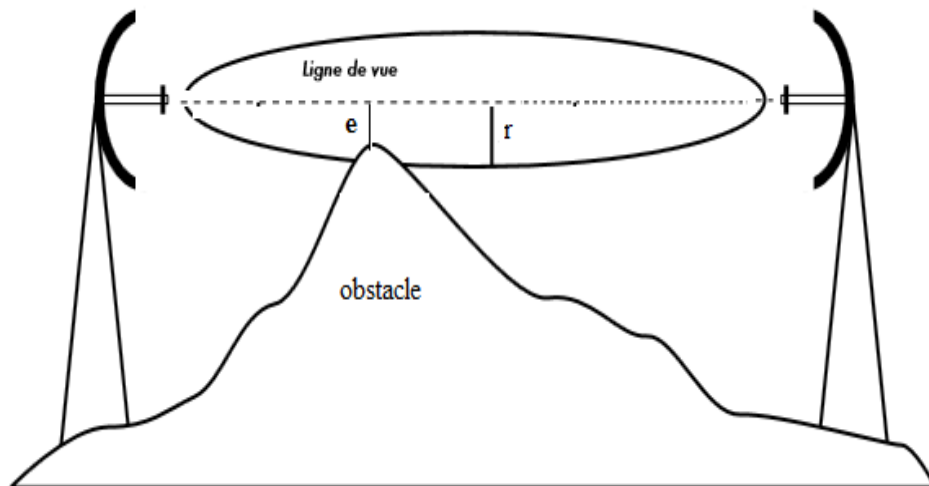


Figure III.12. Ellipsoïde de Fresnel non dégagée.

La zone de Fresnel est bloquée même si la ligne de vue apparaît clairement, ($e < r$).

Plus la fréquence est grande, plus la longueur d'onde λ diminue, plus l'ellipsoïde sera petit.

Par exemple, pour une distance 10km avec une fréquence de 38GHz, le rayon maximum de l'ellipsoïde est de 5m.

$$\text{D'où : } \lambda = 1/f. \quad (\text{III.9})$$

5.3. Phénomènes de propagation d'une onde hertzienne

Les liaisons dans lesquelles un obstacle est entre l'émetteur et le récepteur le signal émis va alors se propager grâce à différents phénomènes et l'information transmise ne va donc pas être reçue telle qu'elle est émise.

L'essentiel de l'énergie est concentrée dans la zone que l'on appelle « premier ellipsoïde de Fresnel ». L'étendue de cette zone varie proportionnellement avec la longueur d'onde et la longueur de la liaison. On veille donc au dégagement de ce volume.

Dans la pratique plusieurs phénomènes s'appliquent au trajet d'une onde : réflexion, diffusion, diffraction et réfraction... Ces phénomènes appliqués aux ondes radioélectriques permettent souvent d'établir des liaisons entre des points qui ne sont pas en vue directe [13].

- **Réflexion** : Une onde peut se réfléchir sur une surface comme le sol, la surface de l'eau, un mur ou une voiture. l'onde se réfléchissant dans plusieurs directions. Une partie de l'onde pénètre à l'intérieur de l'objet. L'énergie incidente est divisée entre l'onde réfléchie et transmise.
- **Diffraction** : Le sol (terrain, bâtiment, végétation...) constitue un obstacle dans les champs de faisceaux entre un émetteur et un récepteur. Les ondes pénètrent dans ces objets dont les dimensions ne sont pas très importantes par rapport à λ , ou sur des obstacles qui présentent des arêtes brutes.
- **Diffusion** : Le phénomène de diffusion peut se produire quand une onde rencontre un obstacle dont la surface n'est pas parfaitement plane et lisse (falaises, forêts, constructions...)
- **Réfraction** : La réfraction provient du fait que la variation de l'indice atmosphérique entraîne une propagation courbée de l'onde émise.

Mais en transmission point à point on ne s'intéresse pas à ses phénomènes.

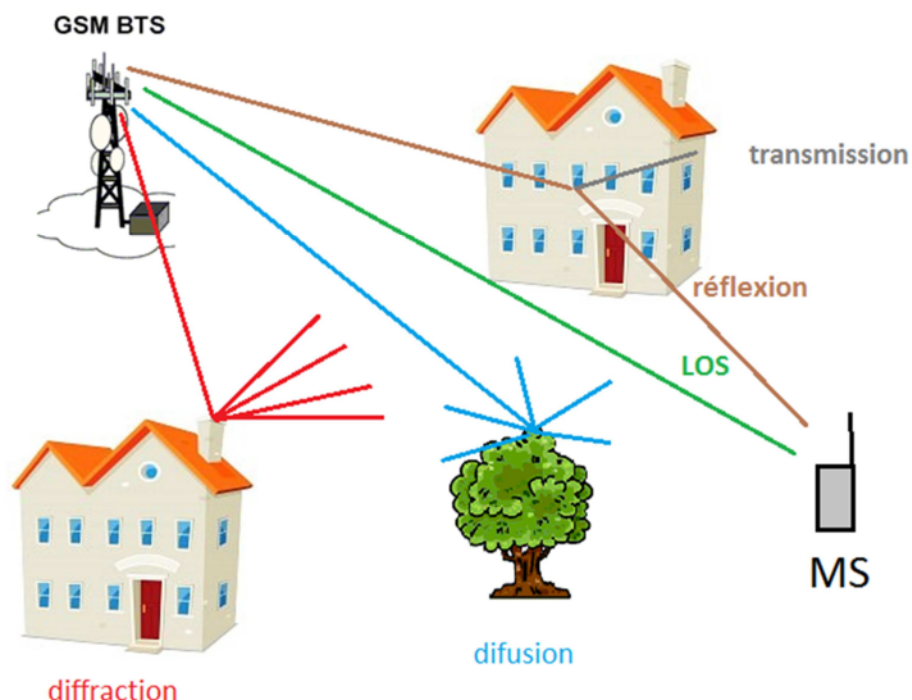


Figure III.13. Phénomènes de propagation d'une onde hertzienne

6. Station relais

La nécessité, pour les faisceaux hertziens en visibilité directe, d'avoir un dégagement suffisant du trajet radioélectrique implique que les antennes soient en général placées sur des points hauts, au sommet de tours ou pylônes. Une liaison hertzienne peut comporter un ou plusieurs bonds.

Si la distance entre les deux points à relier est suffisamment faible pour que les bilans de puissance soit convenable et si l'on peut trouver des emplacements tels que les antennes soient en visibilité l'une de l'autre, on établit la liaison en un seul bond.

Si au contraire la distance entre les deux points à relier est trop grande ou si des obstacles empêchent les antennes situées en ces deux points d'être en visibilité l'une de l'autre, il faut établir une liaison en plusieurs bonds en utilisant des stations relais (comme le montre la figure suivante) :

Pour raison 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 qui reçoivent, amplifient et remettent le signal modulé vers la station suivante.

Le faisceau hertzien utilise des bandes de fréquence variables (6GHz, 13 GHz, 26 GHz ou 38 GHz) qui sont attribuées par des organismes de normalisation tel que l'IUT. La fréquence est attribuée en fonction de la distance souhaitée (jusqu'à quelques dizaines de km), et du débit souhaité.

A noter que les technologies FH sont également beaucoup utilisées dans le cadre du déploiement des réseaux de téléphonie mobile [14].

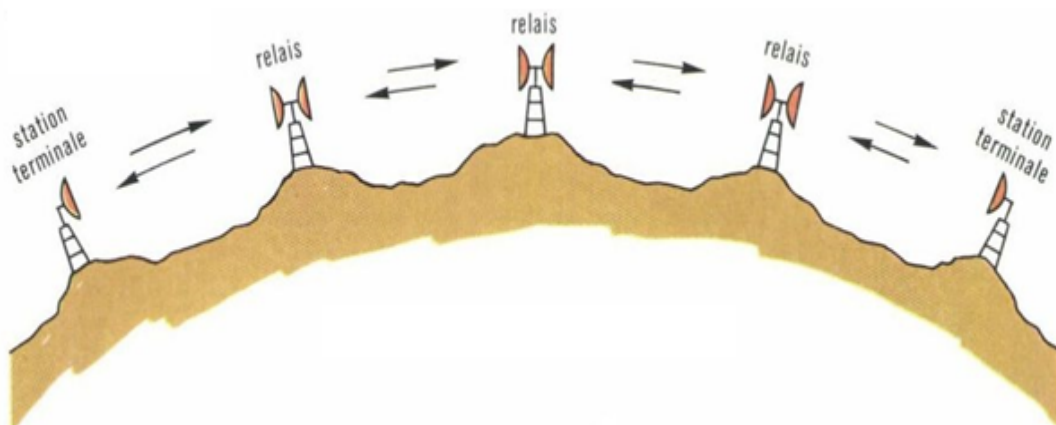


Figure III.14. Liaison en plusieurs bonds.

7. Schéma de principe d'une liaison hertzienne

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

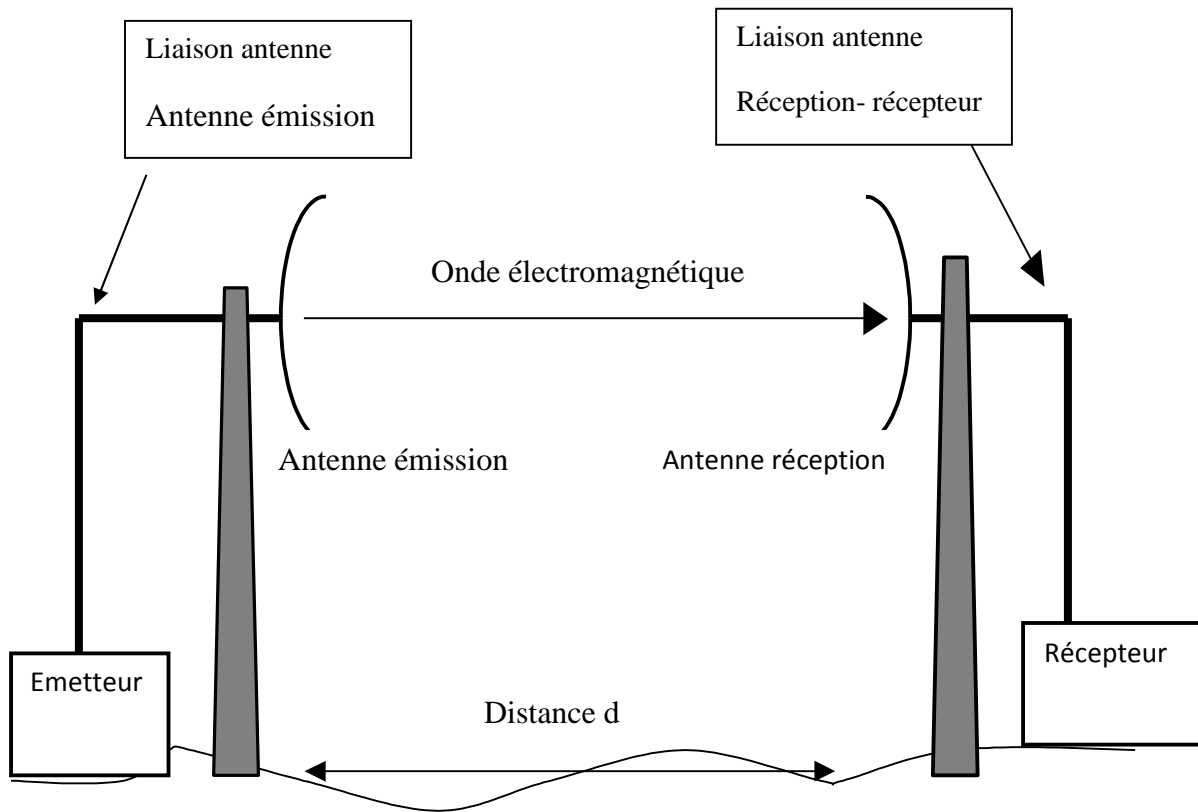


Figure III.15. Schéma principal d'une liaison hertzienne

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

Dans les petits systèmes, où tout est intégré (WiFi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas ($L_E = 0\text{dB}$).

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

$$A_{EL} = 20 \log (4.\pi.d/\lambda). \quad (\text{III.10})$$

Cette grandeur est exprimée en dB.

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

8. Expression de la puissance reçue

Pour déterminer P_R , la puissance reçue par le récepteur, il suffit en partant de P_E de retrancher toutes les sources d'atténuation du signal et d'ajouter les gains d'antenne.

On obtient ainsi :

$$P_R = P_E - L_E + G_E - A_{EL} + G_R - L_R \quad (\text{III.11})$$

P_R : La puissance reçue en dB.

P_E : La puissance émise en dB.

L_E : Atténuation au niveau d'émission.

G_E : Gain d'antenne coté d'émission.

A_{EL} : Affaiblissement d'espace libre.

G_R : Gain d'antenne coté de réception.

L_R : Atténuation au niveau de réception.

9. Les avantages et les inconvénients des faisceaux hertziens

9.1. Les avantages des faisceaux hertziens

- Ils proposent des débits élevés : 140Mbits/s.
- Portée étendue et éventuellement extensibles.

- Gestion de la qualité de service.
- Ils permettent d'atteindre des sites difficiles d'accès.
- L'aspect sécurité est bien pourvu car le piratage d'une liaison FH nécessiterait l'accès aux équipements pour récupérer le signal.

9.2. Les inconvénients des faisceaux hertziens

- Le besoin de visibilité entre les sites à interconnecter.
- L'utilisation d'antennes hyper directives.
- La sensibilité possible aux perturbations atmosphériques.
- La vulnérabilité au phénomène de multi-trajets.
- Obstacles dans la trajectoire (gouttes d'eau, poussière...).

10. L'affaiblissement d'une liaison FH

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

- Affaiblissement en espace libre.
- Affaiblissement dû au gaz de l'atmosphère (oxygène et vapeur d'eau).
- Affaiblissement dû à la pluie.

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

10.1. Affaiblissement en espace libre :

L'affaiblissement en espace libre A_{el} à 50% du temps est calculé à partir de la formule suivante :

$$A_{el} = 92.4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(D) \quad (\text{III.12})$$

D : Longueur de la liaison en km.

f : Fréquence porteuse en GHz.

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

10.2. Affaiblissement dû aux gaz de l'atmosphère :

Cet affaiblissement est dû d'une part à l'oxygène, d'autre part à la vapeur d'eau.

L'affaiblissement linéique global vaut pour les différentes bandes de fréquence :

13 GHz	18GHz	23GHz	25 GHz	38 GHz
0.038	0.12	0.39	0.26	0.25

Tableau III.1. Atténuation linéique due aux gaz atmosphériques.

L'atténuation globale due au gaz atmosphérique évolue donc linéairement avec la distance D de la liaison :

$$A_{\text{gaz}} \text{ (dB)} = \gamma \cdot D \quad \text{(III.13)}$$

D : Longueur de la liaison en km.

γ : Affaiblissement linéique global (oxygène + vapeur).

10.3. Affaiblissement total :

L'affaiblissement total dans des conditions atmosphériques normales sont:

$$A_t \text{ (dB)} = A_{\text{el}} + A_{\text{gaz}} \quad \text{(III.14)}$$

10.4. Affaiblissement dû à la pluie

Lorsqu'il pleut, l'onde hertzienne subit un affaiblissement supplémentaire. Ce dernier dépend du lieu où se situe la liaison (Wilaya), de la fréquence, de la longueur de la liaison ainsi que de la polarisation de l'onde (verticale ou horizontale).

L'estimation de l'affaiblissement dû à la pluie se fait en plusieurs étapes :

Etape n°1 :

Il est d'abord nécessaire de relever la valeur $R_{0.01}$ de l'endroit où se situe la liaison.

$R_{0.01}$ est l'intensité de précipitations dépassée pendant 0.01% de temps. En Algérie, chaque wilaya est caractérisée par une valeur $R_{0.01}$. Dans l'étude d'une transmission, l'Algérie est découpée en 2 grandes zones de pluie, et nous utiliserons la moins favorable qui est de 42 mm/heure [16].

Etape °2 : Calcul de l'affaiblissement linéique γ_R dû à la pluie

$$\gamma_R = K \cdot (R_{0.01})^\alpha \quad (\text{III.15})$$

K et α sont des coefficients qui dépendent principalement de la fréquence f et de la polarisation (V ou H) de la liaison, ils dépendent aussi de l'inclinaison de la liaison mais cette dépendance peut être négligée [16].

	13GHz	18GHz	23GHz	25GHz	38GHz
Valeur de K_H	0.026	0.07	0.108	0.136	0.322
Valeur de K_V	0.024	0.064	0.097	0.122	0.29
Valeur de α_H	1.18	1.11	1.08	1.05	0.95
Valeur de α_V	1.18	1.08	1.04	1.03	0.94

Tableau III.2. Coefficient K et α pour différentes bandes de fréquence.

Notons qu'une liaison polarisée horizontalement subit un affaiblissement supérieur à une liaison polarisée verticalement.

Etape °3 : Calcul de la longueur effective du bond L_{eff} « affectée » par la pluie.

La longueur effective du bond L_{eff} correspond à la longueur de la portion du bond réellement affectée par la pluie. En notant D la distance du bond. On a l'expression suivante :

$$L_{\text{eff}} = D \cdot L_0 / (D+L_0) \quad \text{avec} \quad L_0 = 35 e^{-0.015 \cdot R \cdot 0.01} \quad (\text{en Km}) \quad \text{(III.16)}$$

Etape n °4 : Calcul de l'affaiblissement du bond pendant 0.01% du temps

L'affaiblissement $A_{0.01}$ dû à la pluie sur un bond de distance D dépassée pendant 0.01% du temps (moyenne sur l'année) est donné par l'expression :

$$A_{0.01} \text{ (dB)} = \gamma_R \cdot L_{\text{eff}} \quad \text{(III.17)}$$

Etape n °5 : Calcul de l'affaiblissement du bond pour p% du temps

L'affaiblissement A_p dû à la pluie sur un bond de distance D dépassé pendant p% du temps (moyenne sur l'année) est donné par l'expression :

$$A_p = A_{0.01} \cdot 0,12 \cdot p^{-(0,546+0,043 \text{Log}_{10} p)} \quad \text{avec} \quad 0.001 \% \leq p \leq 1\% \quad \text{(III.18)}$$

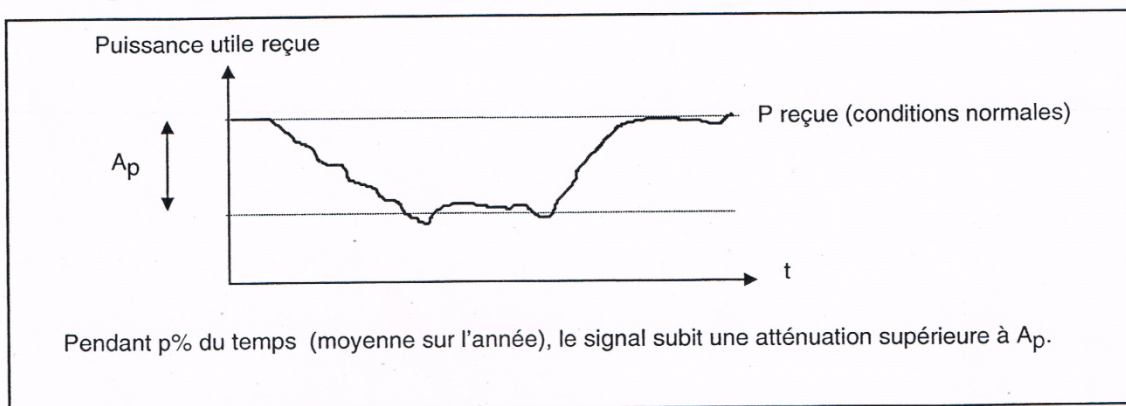


Figure III.16 : Illustration de l'affaiblissement A_p .

Les courbes suivantes indiquent l'affaiblissement en dB correspondant à 0.001% du temps (sur l'année) en fonction de la distance et de la zone de pluie, pour différentes bandes de fréquence (Liaison polarisée verticalement).

Soulignons que les échelles sont différentes d'une fréquence à une autre.

11. Seuil du récepteur

Le seuil du récepteur associé à un taux d'erreur binaire TEB fixé est la puissance de réception qui engendre un tel TEB. Ils traduisent la capacité pour le récepteur à traiter le

signal affaibli après propagation. Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation. Le seuil de réception d'une liaison dépend de l'équipement utilisé, il change d'un équipement à un autre.

12. Marge d'une liaison

La marge d'un bond hertzien est estimée en calculant l'écart entre la puissance reçue dans les conditions atmosphériques normales et le seuil de réception correspondant à un TEB donné.

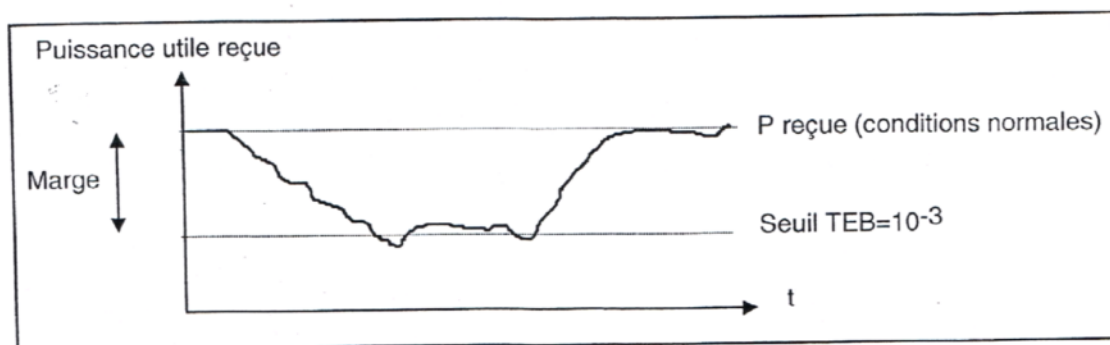


Figure III.17 : Illustration de la marge d'une liaison.

13. La modulation

Les ondes radioélectriques sont des ondes sinusoïdales. Les modulations possibles sont des modulations d'amplitude, de fréquence et de phase.

Le but d'une modulation est de transmettre des informations d'un émetteur à un récepteur, à travers un canal de transmission. Les données numériques doivent subir un certain nombre de transformations avant d'être transmises, et une autre série de transformations est effectuée dans le récepteur pour obtenir à nouveau les données numériques envoyées.

13.1. La modulation QAM :

La majorité des FH fonctionnent en modulation d'amplitude en quadrature de phase, c'est une technique qui emploie une combinaison de modulation de phase et d'amplitude qui permet d'offrir des débits binaires élevés. Elle présente l'avantage d'être peu sensible aux non linéarités en amplitude des équipements. Ainsi pour une telle modulation, on peut disposer de

2ⁿ états du signal, ce qui permet de transmettre n bits par symbole. Les 2ⁿ points obligatoirement situés dans un plan complexe (appelé constellation).

Les deux signaux sont additionnés par un coupleur de sortie.

$$S(t) = P \cdot \cos \omega_0 t + Q \cdot \sin \omega_0 t \quad \text{(III.19)}$$

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

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

13.1.1. La modulation 2QAM :

On transmet 1bits/symbole :

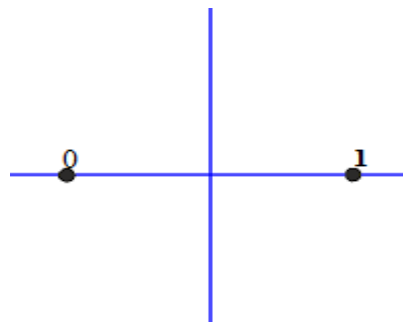


Figure III.18. Modulation 2QAM

13.1.2. La modulation 4QAM :

On transmet 2bits/symbole.

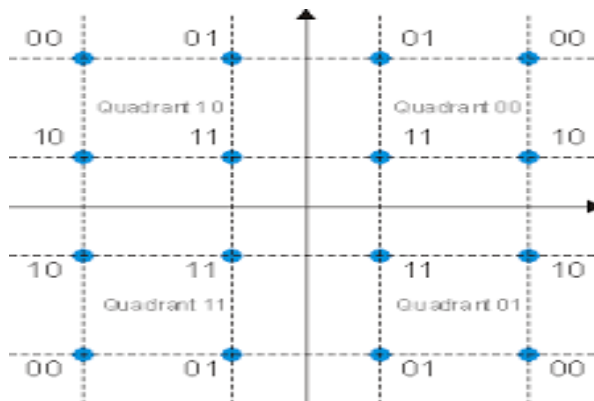


Figure III.19. Modulation 4QAM

13.1.3. Modulation 8QAM :

On transmet 3bits/symbole

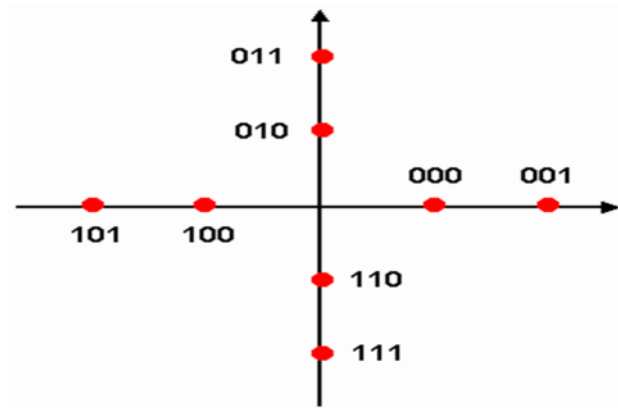


Figure III.20. Modulation 8QAM

13.1.4. Modulation 16QAM :

On transmet 4bits/symbole :

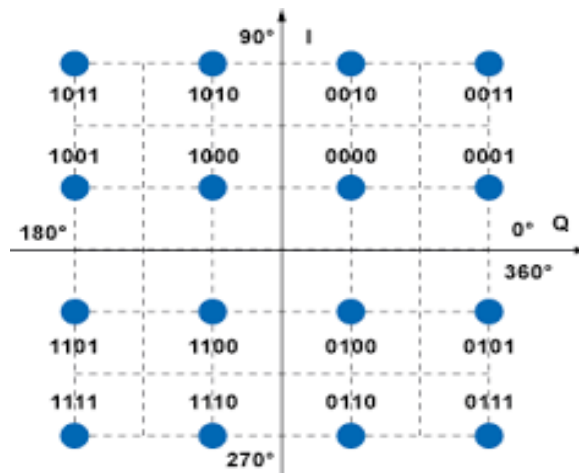


Figure III.21. Modulation 16QAM

13.1.5. Modulation 32QAM:

On transmet 5bits/symbole :

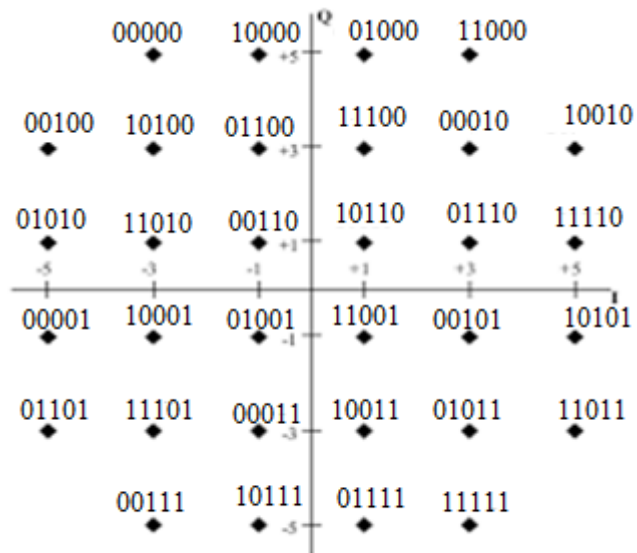


Figure III.22. Modulation 32QAM

13.1.6. Modulation 64 QAM :

On transmet 6bits/symbole :

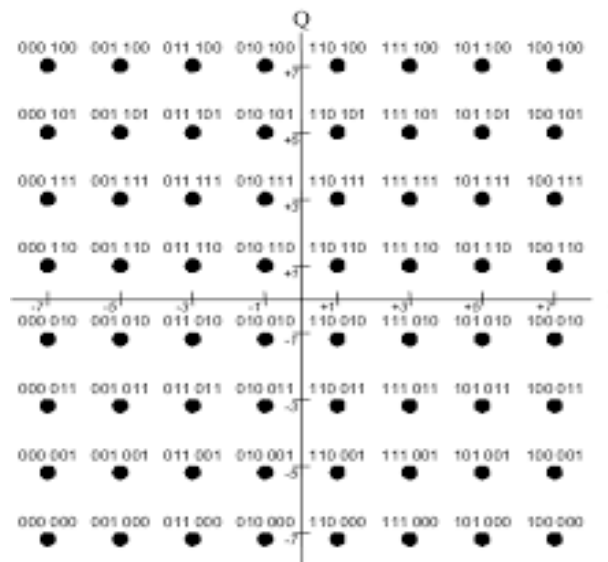


Figure III.23. Modulation 64QAM

14. Discussion

Les faisceaux hertziens, fréquemment mis en œuvre comme solution de transmission, présentent des performances particulières intéressantes. Les débits peuvent varier entre 140MHz jusqu'à 1GHz pour chaque lien établi. La portée d'un lien faisceau hertzien est relativement importante, elle peut atteindre jusqu'à 60 km en fonction du plan de fréquence utilisé. Cette solution de transmission sans fil est en effet sensible aux phénomènes d'absorption (obstacles naturels, bâtiments, variations climatiques). Pour limiter ces risques, il est préférable d'installer des antennes d'émission et de réception en ligne de vue directe, sur des points hauts. Il est nécessaire que l'ellipsoïde de Fresnel soit entièrement dégagé par rapport aux obstacles existants. Il est aussi recommandé d'établir des liaisons polarisées verticalement. En effet une liaison polarisée horizontalement est plus affectée par les affaiblissements dus à la pluie.

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

1. Préambule

Pour planifier une liaison à faisceaux hertziens, Algérie Telecom Mobile (MOBILIS) utilise le logiciel « Mentum LinkPlanner » de planification et de configuration des paramètres de la liaison. Avant la configuration et la mise en œuvre d'une liaison de 2 Mbits/s entre une BTS (Site GSM) et un BSC, nous devons commencer par l'étape la plus importante qui est la planification.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différentes étapes pour établir une liaison FH.

2. Etude avant installation

Avant toute installation d'une liaison, une étude préalable doit être effectuée par l'ingénieur radio de « ATM Mobilis ». Celle-ci nous permettra de vérifier LOS, la zone de Fresnel et de choisir le site relais le plus proche afin d'acheminer la BTS vers le BSC.

Ci-dessous les différentes étapes à suivre pour créer un nouveau site GSM :

➤ 1^{ère} étape

Choisir un endroit où dresser un site GSM théoriquement: Le site GSM est l'emplacement sur lequel un opérateur a installé du matériel de télécommunication afin de constituer une maille de son réseau lui permettant d'acheminer les communications de ses abonnés. Il est caractérisé par sa configuration à l'environnement (couverture/densification) dans lequel il est installé. Cette infrastructure comporte principalement : Les pylônes sur lequel figure des :

- Antennes sectorielles qui assurent la couverture.
- Des paraboles pour la transmission.
- Une chambre appelée Shelter ou local technique dans laquelle on trouve : la BTS (Base Transceiver System), l'IDU (Indoor équipement Unit) et la baie énergie.

➤ 2^{ème} étape

L'opérateur téléphonique ATM MOBILIS détermine l'espace physique où les équipements de transmission peuvent être colocalisés. On attribue des fréquences radio au point choisi selon les besoins de la zone géographique concernée en 900 MHz, en 1800 MHz ou en 2100 MHz.

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

➤ 3^{ème} étape

Création d'une cellule de telle sorte que le point choisi appartient à cette cellule. Cette cellule doit être séparée des autres cellules voisines pour éviter les interférences.

➤ 4^{ème} étape

Vérification si au moins la 1^{ère} ellipsoïde de Fresnel entre deux sites GSM est dégagée de tous obstacles.

➤ 5^{ème} étape

La visite technique : la visite technique (VT) d'un site est l'étape qui permet ou non de valider d'un point de vue radio ce site. Cette visite est effectuée par l'ingénieur radio, transmission et génie civil de Mobilis et comporte certaines règles élémentaires à suivre pour la validation du site, que nous allons décrire dans ce document.

L'ingénieur radio analyse l'environnement autour du site (urbain, rural, zone commerciale ou zone industrielle) pour déterminer quel type d'antenne devra installer : macro, micro ou pico cellulaire. Enfin, il observe la structure du site sur lequel doit être installé les antennes. Dans le cas d'un bâtiment, le type de toit est déterminé (terrasse ou tuiles).

Le site théorique et le site le plus proche doivent être dégagés. Dans ce cas, l'ingénieur transmission établit un schéma de dégagement des deux sites. Dans le cas contraire, et afin de justifier le refus du site théorique, l'ingénieur transmission décrit la nature de ces obstacles (bâtiments, arbres, collines,...), leur distance par rapport au site et leur hauteur [16].

Une fois les vérifications précédentes effectuées, la structure de site sera vérifiée par les services génie civil afin de déterminer la faisabilité d'ériger une structure métallique supportant les antennes radio et transmission.

La validation des trois structures est primordiale avant de passer aux étapes de configuration et choisir des équipements à installer radio et transmission.

➤ Etape n°6 :

Le choix de la distance : Ce paramètre est très important. Nous devons choisir le site le plus proche du « site A » en visibilité directe et aussi respecter la distance d'un faisceau

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

hertzien. Afin d'avoir une bonne transmission, celle-ci ne doit pas dépasser 40 km (cas ATM Mobilis).

3. Planification et configuration d'un lien à faisceau hertzien

Le site A étant validé, nous passons à la planification et la configuration d'une liaison FH entre ce site et un autre site B. Il existe plusieurs chemins de A vers le BSC. On choisit le chemin qui contient moins de liaisons, appelé le chemin le plus court. Le site B à choisir est le point le plus proche du site A. Pour cela, nous utilisons le logiciel Mentum LinkPlanner. Ce dernier utilise l'affichage de la carte défini par l'utilisateur pour lui permettre une présentation et une efficacité dans la planification du réseau.

3.1. Processus global de la liaison AB

Le synoptique suivant décrit les principales étapes à suivre lors d'une évolution du réseau de transmission de Algérie Telecom Mobile (ATM Mobilis) et de la création de la liaison hertzienne entre deux sites A et B.

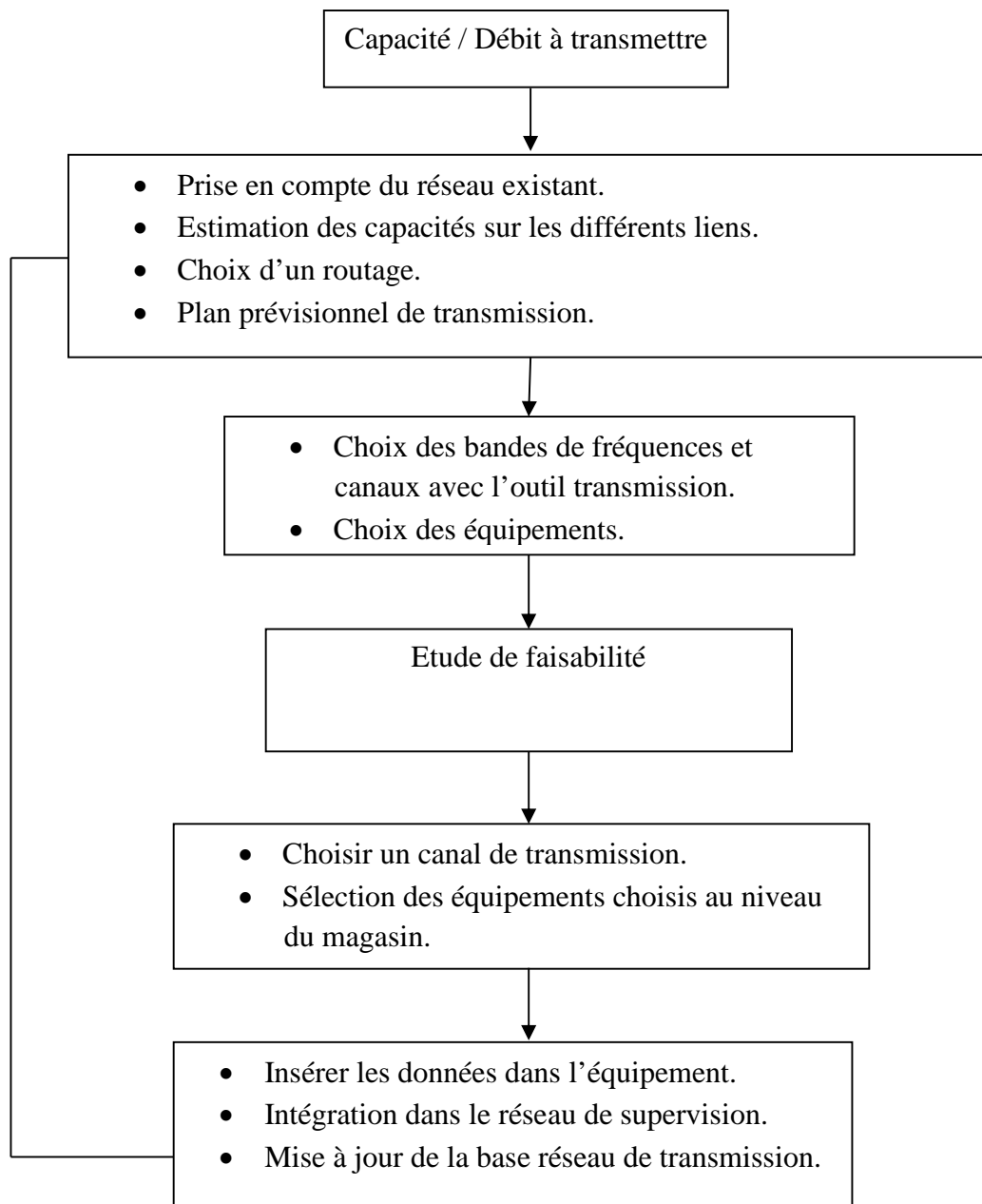


Figure IV.1. Les étapes à suivre lors de la création d'une liaison hertzienne

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

Voici en pratique les différentes étapes pour établir un bilan de liaison :

3.2. Création d'une version sur un nouveau projet

Pour créer un nouveau projet, nous avons utilisé le logiciel de planification nommé « Mentum LinkPlanner ». Ce logiciel permet la planification à partir d'un certain paramétrage. Il contient une carte topographique, chaque point est déterminé par des coordonnées GPS. Le logiciel Mentum LinkPlanner gère les liaisons FH radio point à point.

Dans le menu File, nous cliquons sur New ensuite Project .Nous devons cliquer une autre fois sur New puis Version pour créer une nouvelle version. Les étapes sont montrées ci-dessous (voir Figure IV.2).

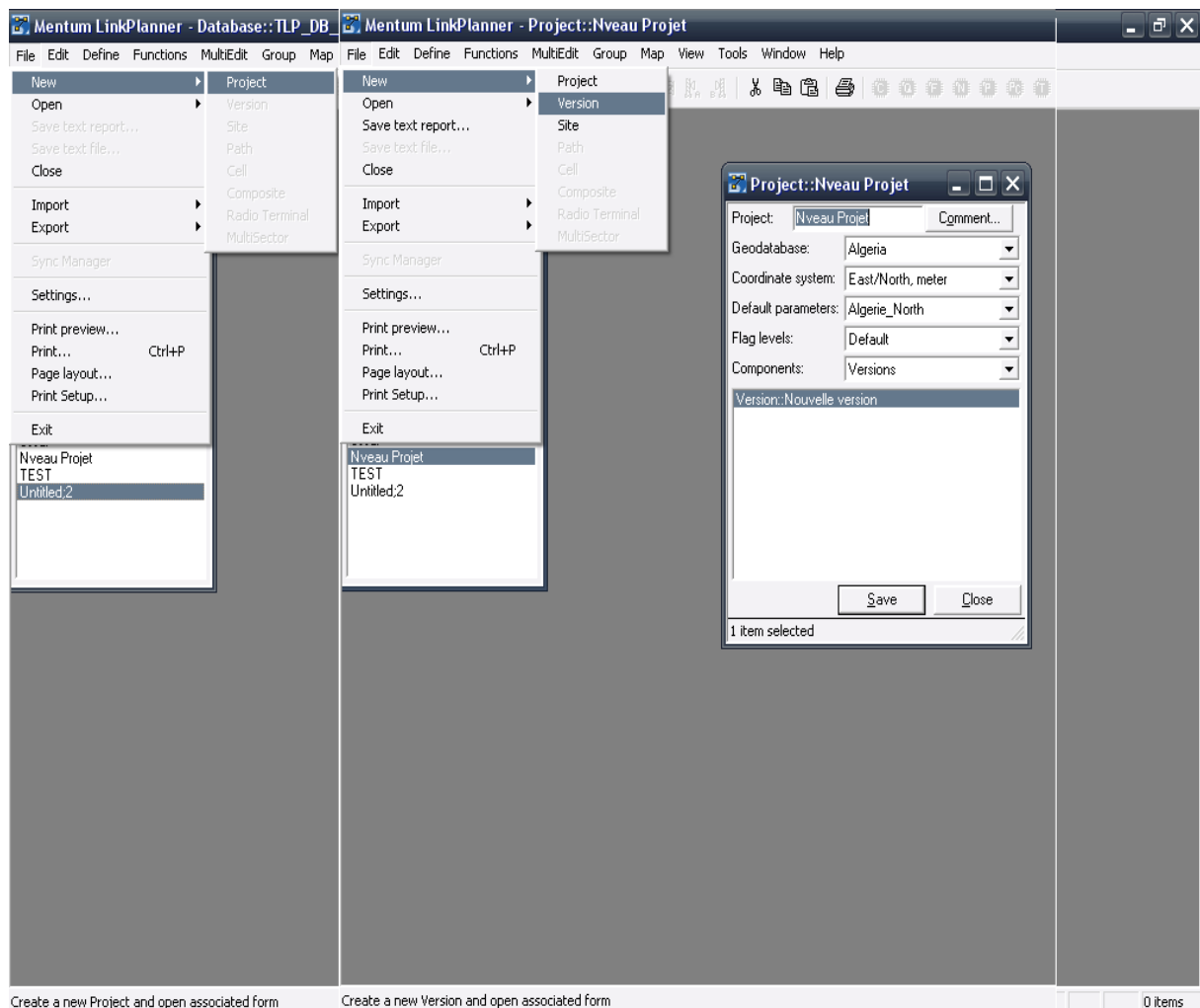


Figure IV.2. Création d'une nouvelle version dans un nouveau projet

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

3.3. Intégration des données prises sur le terrain dans le logiciel Mentum Link Planner

Une fois le projet et la version ont été créés, nous accédons à la carte topographique pour créer le « site A ». Nous choisissons l'icône « create site », une petite fenêtre s'ouvre pour intégrer les coordonnées GPS pris lors de la visite technique qui sont : 36°39'44.2'' de latitude, 03°12'15.6'' et 29m d'altitude. Enfin le « site A » sera créé.

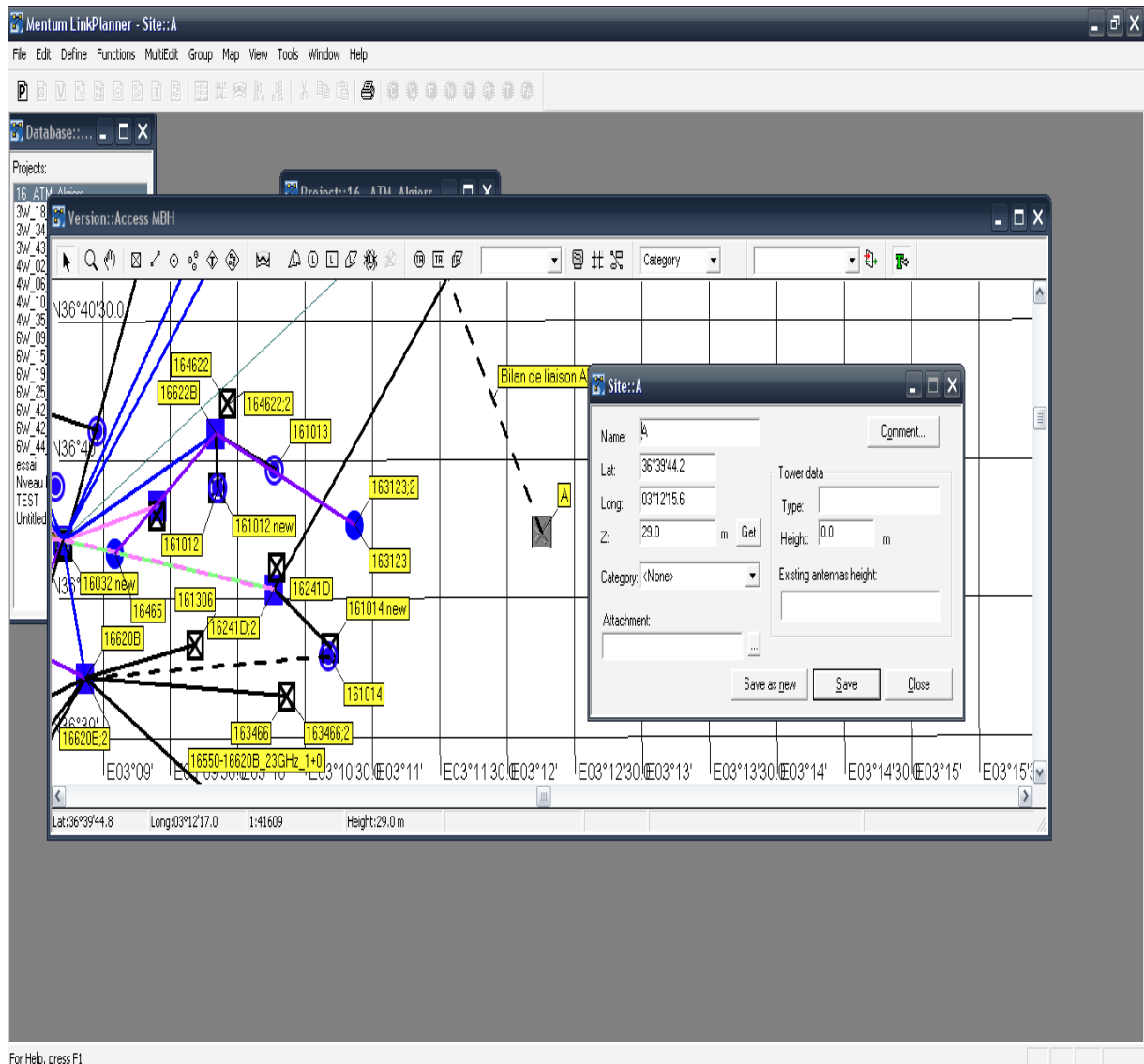


Figure IV.3. Création d'un site GSM « site A »

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

3.4. Vérification de la visibilité avec le site voisin choisi

Afin de vérifier la visibilité entre le site A et les autres sites, nous cliquons sur l'icône de visibilité du logiciel. Les sites en visibilité (LOS) apparaissent en couleur rouge et les sites qui sont en situation de non visibilité (NLOS) avec une couleur blanche.

La couleur jaune correspond aux noms des sites GSM et les autres couleurs sont utilisées pour différencier les liaisons hertziennes créées par Mobilis.

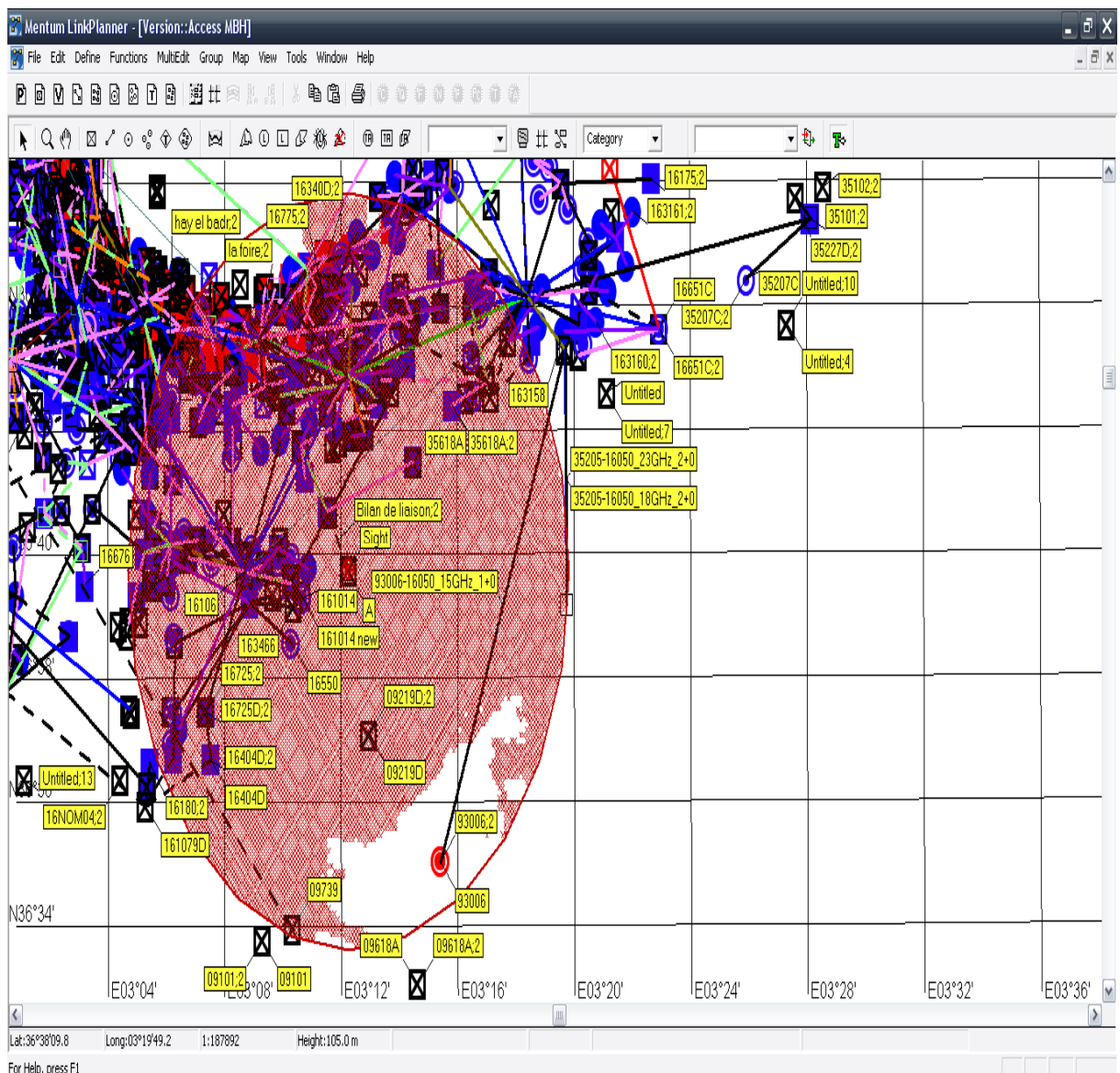


Figure IV.4. Les sites en visibilité avec le « site A »

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

3.5. Création et configuration d'un lien transmission entre A et B

Après avoir trouvé les sites qui sont en visibilité directe avec le site A, nous choisissons le site le plus proche qui est le site B (16623C). Ce dernier est choisi relativement au chemin le plus court vers le BSC qui est le site le plus proche du site A pour éviter les coupures des autres liaisons.

Une fois le site B est choisi nous raccordons les deux sites avec une liaison sur la carte topographique. Pour cela, nous cliquons sur l'icône « create a path ». Ensuite, nous donnons un nom à cette liaison afin de la distinguer des autres liaisons existantes qui est « bilan de liaison AB ».

Après la création et l'activation de la liaison on commence les étapes de configuration avec choix de la polarisation de l'onde électromagnétique. Dans notre cas une polarisation verticale est sélectionnée pour moins d'affaiblissement. Aussi, nous intégrons les coordonnées de chacun des sites « site A » déjà créé et « site B » choisi.

La figure suivante illustre le procédé de création d'un lien AB.

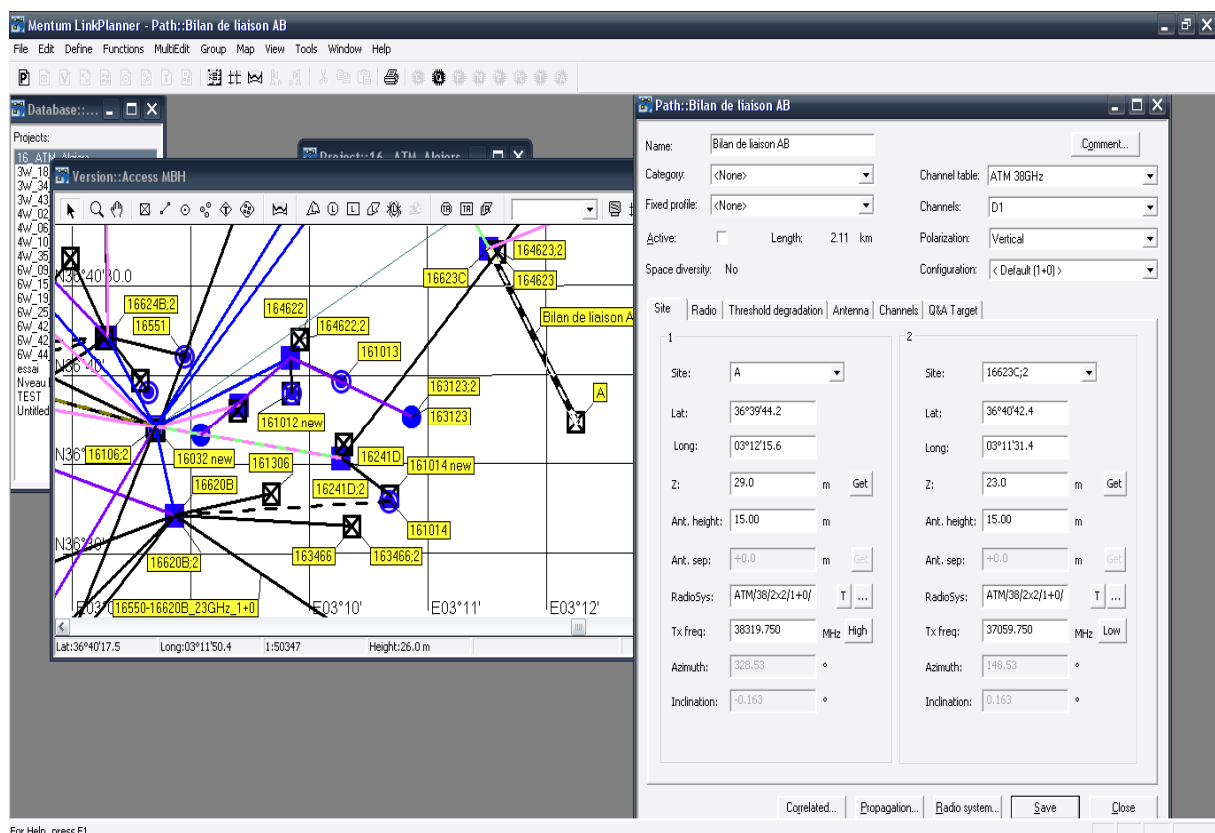


Figure IV.5. Création et configuration de la liaison AB

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

3.6. Introduction de l'équipement radio adéquat à la distance avec Puissance d'émission et modulation

Pour introduire l'équipement radio, nous devons d'abord activer cette liaison AB. Puis nous choisissons l'équipement relativement à la distance. Comme la distance est inversement proportionnelle à la fréquence, une grande fréquence sera choisie pour les petites distances.

Dans notre étude la distance entre les deux sites A et B est de 2.11km, nous choisissons une fréquence de 38GHz.

Vu que le site est configuré en 2G la capacité nécessaire étant de 2*2Mbits.

Notons que : $d = c/f$ (IV.1)

D'où :

f est inversement proportionnel à la distance (d).

Nous fixons la puissance d'émission à 17.0 dBm (puissance maximale), cette puissance est caractéristique à l'équipement choisi.

Une fois la capacité est déterminée nous choisissons une modulation relativement au canal de transmission. Plus la capacité est importante plus la modulation est élevée. Enfin nous choisissons l'équipement radio relatif au coordonnées introduites, l'équipement radio utilisé est donc ATM ML 38 E 2*2.

La figure ci-dessous montre l'étape de configuration et de sélection de l'équipement :

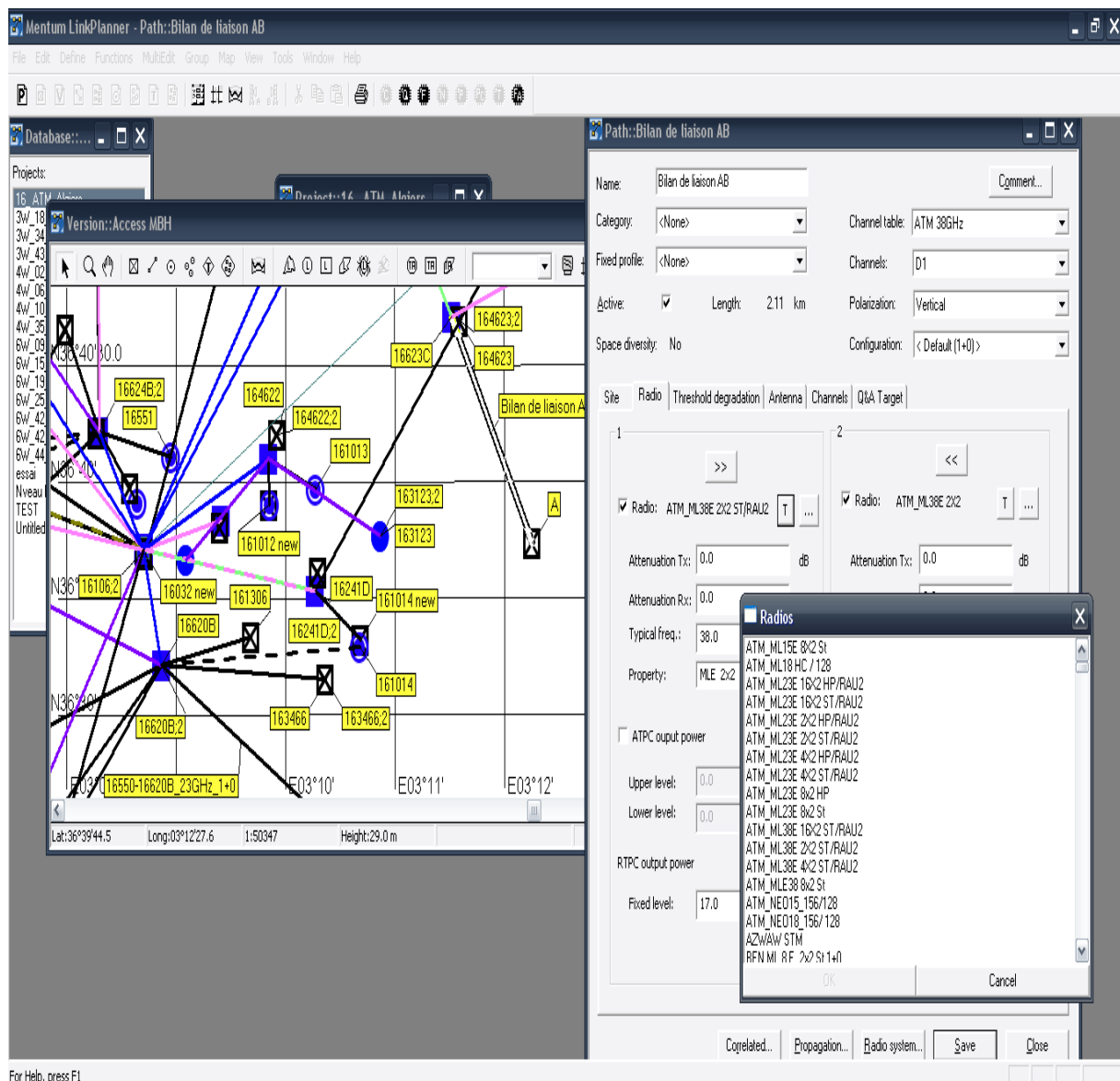


Figure IV.6. Introduction de l'équipement radio

3.7. Sélection de l'antenne à faisceau hertzien

Après avoir choisi l'équipement radio qui convient à cette liaison AB, nous devons sélectionner l'antenne nécessaire. ATM Mobilis utilise des diamètres d'antennes de 0.2m à 2.4m. Dans notre cas nous avons utilisé une antenne de diamètre 0.3m. Cette dernière est choisie en fonction de la distance. Notons que la distance est linéairement proportionnel au diamètre d'antenne et inversement proportionnel à la fréquence ,plus la distance est courte , plus la fréquence devient importante et le diamètre de l'antenne diminue .

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

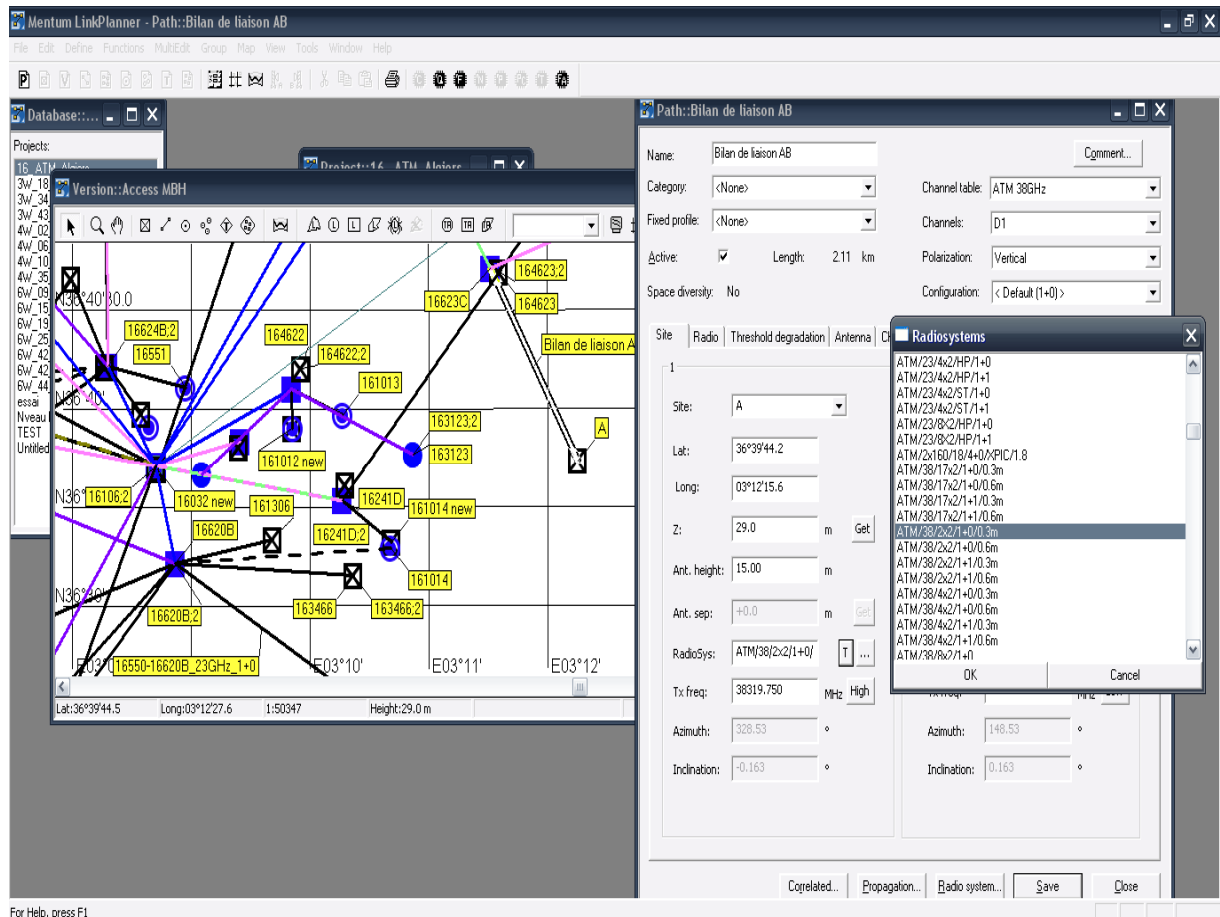


Figure IV.7. Sélection de l'antenne

3.8. Choix du canal de transmission correspondant à la capacité

L'étape suivante consiste à choisir un canal de transmission qui convient aux données de cette liaison AB. L'IUT utilise généralement les canaux de 3.5MHz, 7MHz, 14MHz et 28MHz. Pour une capacité de $2*2$ Mbits, nous choisissons un canal de 3.5. Ce dernier est suffisant pour transmettre une telle capacité.

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

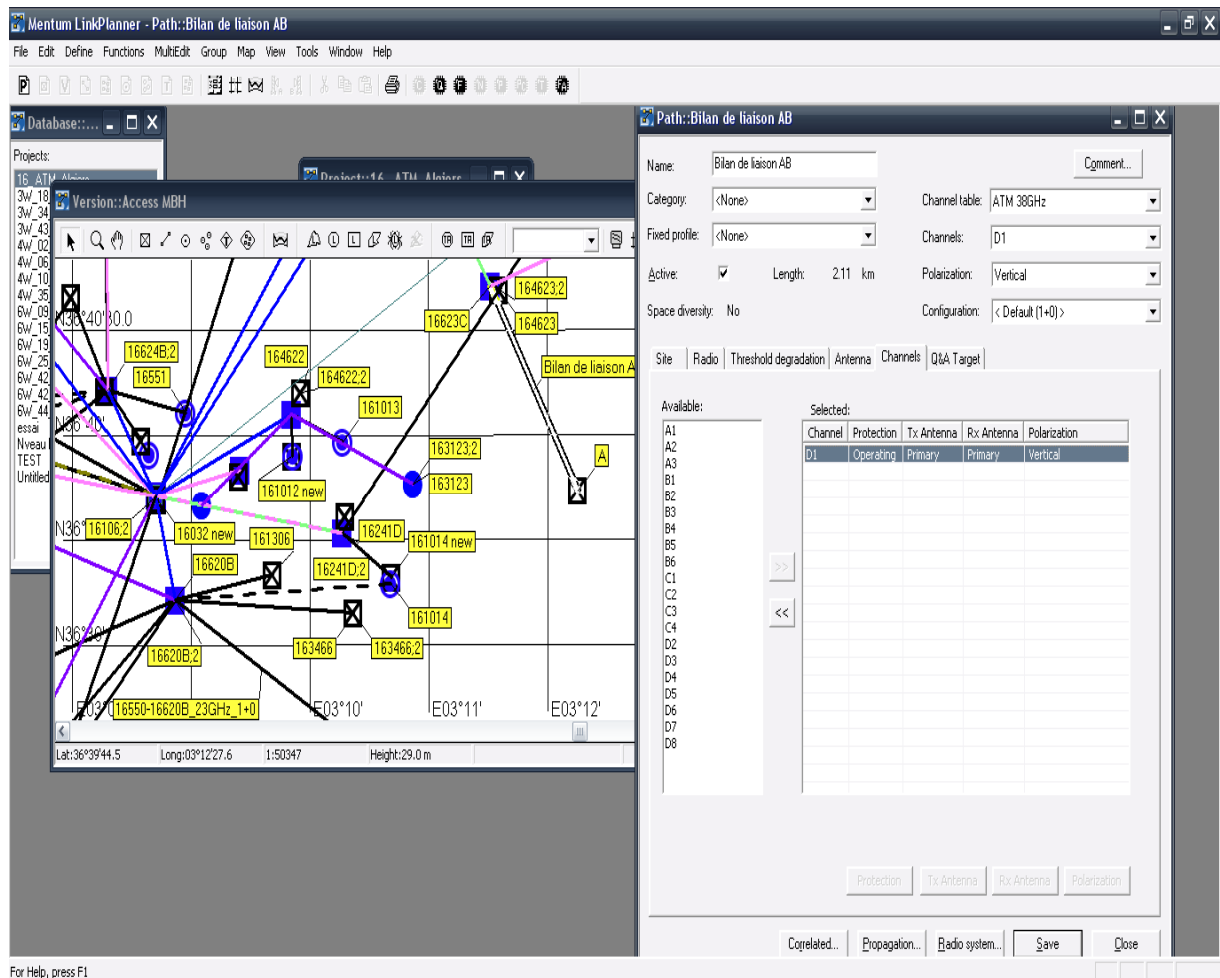


Figure IV.8. Introduction du canal D1 correspondant à 3,5

3.9. Sélection de la norme de l'IUT pour la transmission de données

L'étape finale comporte la sélection de la norme de l'IUT pour la transmission de données. La norme sélectionnée est G.826 qui représente les paramètres et objectifs relatifs aux caractéristiques d'erreur pour les conduits numériques nationaux à débit constant égal ou supérieur au débit primaire [10].

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

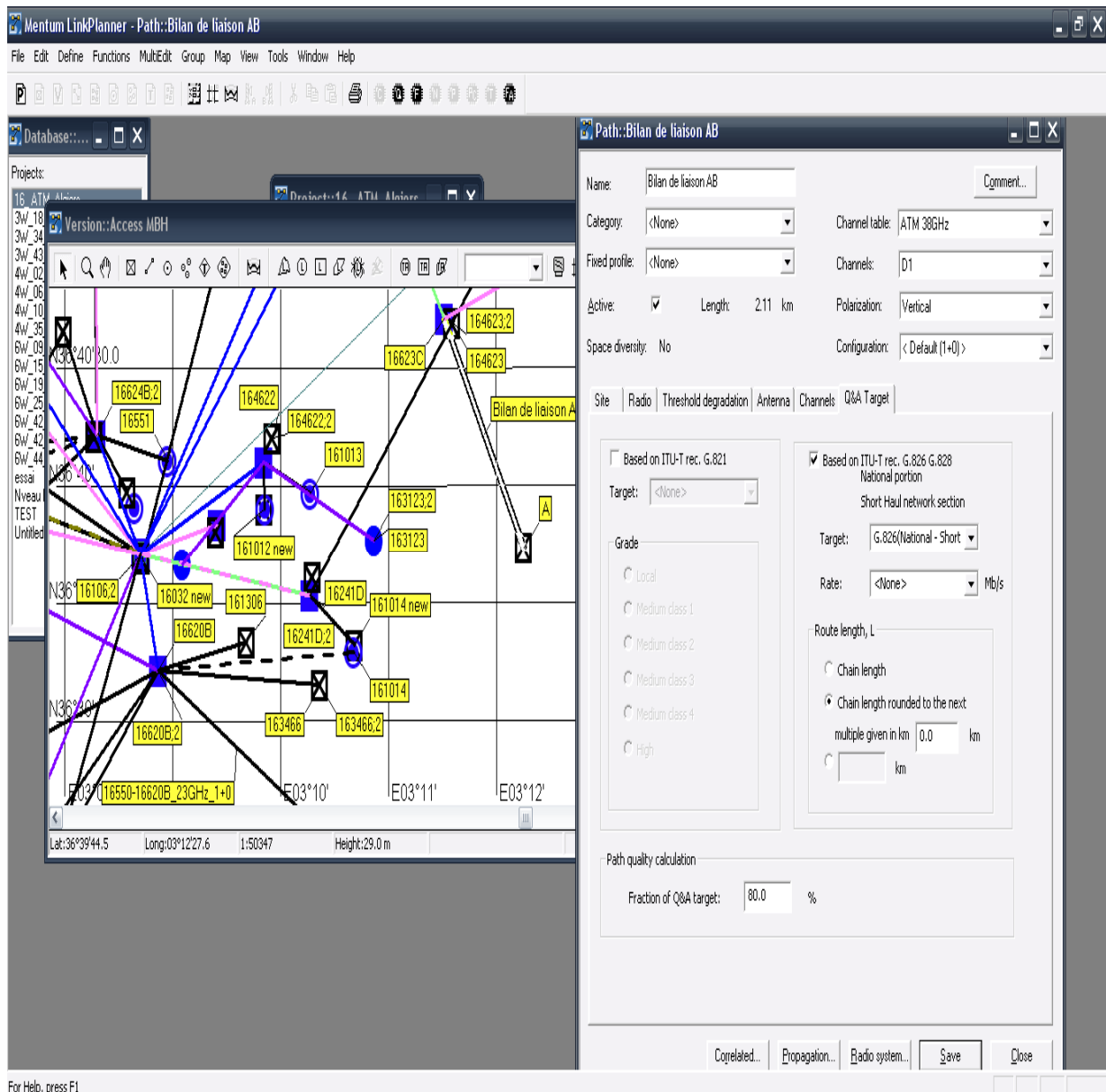


Figure IV.9. La norme G.826

4. Bilan de liaison

Avant d'installer un système de radiocommunication ou une liaison hertzienne, il est nécessaire d'effectuer le calcul du bilan de liaison. En effet, ce calcul permet de déterminer si le niveau de puissance reçue par le récepteur sera suffisant pour que la liaison fonctionne correctement. Ceci signifie que la puissance reçue doit être supérieure au seuil de réception de l'équipement.

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

Le bilan de liaison sera calculé en tenant compte des paramètres suivants : la distance du bond, la situation (altitude, climat environnement radioélectrique), la puissance d'émission de l'équipement utilisé, les pertes dues au câble de connexion et à l'espace de propagation mais aussi du gain des antennes. Ce bilan de liaison est aussi fonction de seuil de réception. Les seuils de réception sont définis par rapport à un taux d'erreur binaire donné ($TEB=10^{-3}$ ou 10^{-6}). Dépendant de la bande de fréquence, du débit et du type de modulation, ils sont généralement compris entre -70 et -95dBm.

4.1. Les caractéristiques des équipements d'extrémités à prendre en compte pour ce bilan de liaison sont :

Le but du bilan est de trouver la puissance reçue à partir de :

- **La puissance d'émission** : C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer qui est de 17.0 dBm.
- **Le seuil de réception** : Définit par rapport à un taux d'erreur binaire donné ($TEB=10^{-3}$ ou 10^{-6}) selon l'équipement utilisé. Dans notre cas le seuil de réception est de 10^{-6} équivalent à -84dB.
- **Le gain de l'antenne** : Les antennes, principalement paraboliques, apportent un gain de puissance (de l'ordre de 25 à 45 dB) d'autant plus grand que leur diamètre est important. La directivité du faisceau augmente avec la bande de fréquence et les diamètres de l'antenne.
- **La marge** : C'est la différence entre la puissance reçue et le seuil de réception.
- **La fréquence** : La fréquence utilisée est donc 38 GHz.

Le bilan de liaison est la sommation de la puissance émise et de tous les gains et les pertes rencontrés jusqu'au récepteur.

$$P_R = P_E - L_E + G_E - A_{EL} + G_R - L_R \quad (\text{IV.2})$$

P_R : La puissance reçue en dB.

P_E : La puissance émise en dB.

L_E : Atténuation au niveau d'émission.

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

G_E : Gain d'antenne coté d'émission.

A_{EL} : Affaiblissement d'espace libre.

G_R : Gain d'antenne coté de réception.

L_R : Atténuation au niveau de réception.

4.2. Profil du bilan de la liaison

La figure ci-dessous affiche le profil de la terre relativement au passage de la liaison qui veut dire le passage de l'onde hertzienne, qui est : zone résidentielle, quartier semi-ouvert, zone de plantation et zone industrielle, représentés par des légendes.

L'axe horizontal du profil représente la distance parcourue, et l'axe vertical représente la hauteur des antennes.

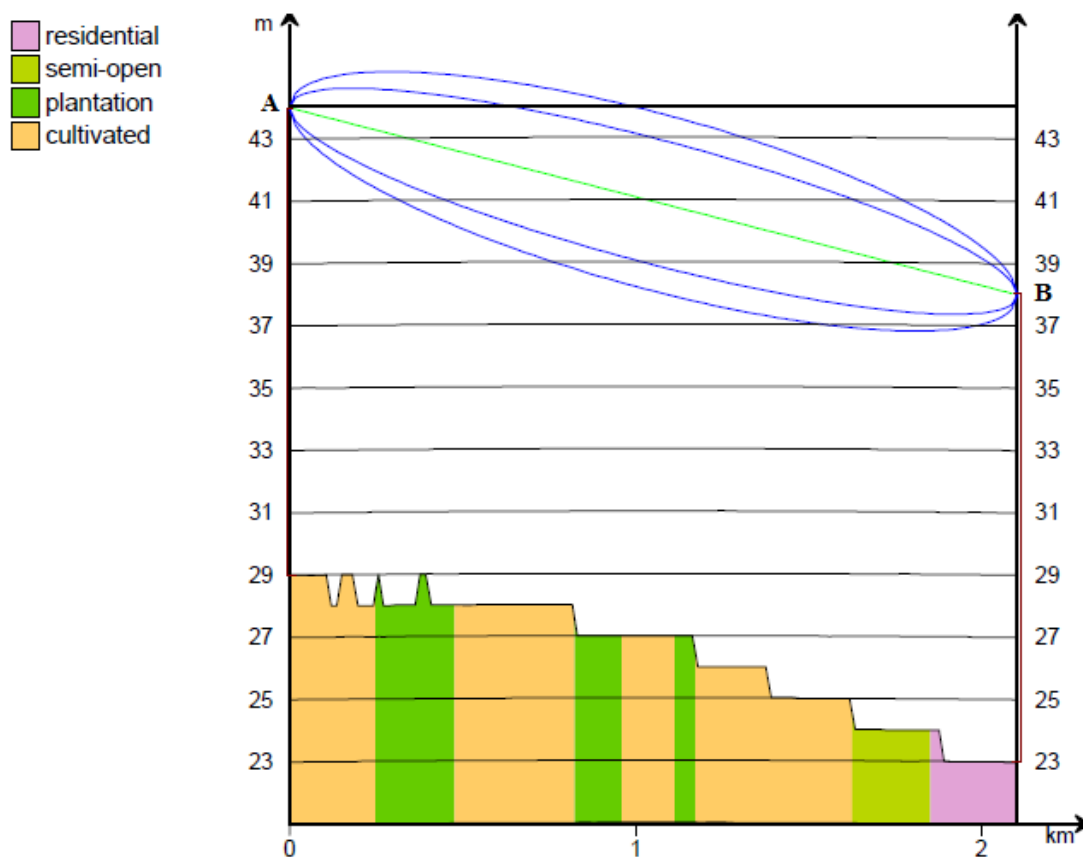


Figure IV.10. Profil du bilan de liaison AB

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

Site: A		Site: B	
Site data:		Site data:	
Lat :	36°39'44.2	Lat :	36°40'42.4
Long:	03°12'15.6	Long:	03°11'31.4
Distance:	2.11 km		
Altitude :	29.0 m	Altitude:	23.0 m
Hauteur de l'antenne :	15.0 m	Hauteur de l'antenne:	15.0 m
Angle azimuth :	328.53°	Angle azimuth:	148.53°
Pertes :		Niveaux de signal(TEB>10⁻⁶)	
Pertes dues à l'espace libre :	130.5 dB	Puissance de rec.:	-34.3 dBm
Obstacle :	0.0 dB	Marge :	45.7 dBm
Gaz :	0.6 dB	Seuil.degr.décorr:	0.0 dB
Pertes dues au chemin :	51.3 dB	Eff.marge décorr:	45.7 dB
		Seuil.degr. corr:	0.0 dB
		Eff. Marge corr:	45.7dB

Figure IV.11. Le résultat du profil du bilan

Le but de cette étude est de transmettre des données entre le « site A » et un autre « site B » afin de réaliser une liaison à faisceaux hertziens. La puissance reçue doit être supérieure au seuil de réception.

De plus, on prendra généralement une marge (on essaiera d'avoir des dB en plus) pour tenir compte des atténuations supplémentaires qui peuvent être dues à des réflexions multiples ou à la météo (pluie, neige, brouillard, etc.).

Dans notre cas on a trouvé la puissance reçue est de -34 dBm avec un seuil de réception qui est de l'ordre de -80 dBm, la transmission est possible entre le « site A » et le « site B », ceci nous permet d'installer la liaison à faisceaux hertzien.

Chapitre IV : Configuration d'une liaison FH entre deux sites GSM

5. Discussion

Dans ce chapitre nous avons illustrés les étapes de configuration et de planification d'une liaison à faisceau hertzien , dont on a commencer par une étude générale sur les conditions de transmission et planification. Ensuite une configuration détaillée des différents paramètres de la liaison, notamment fréquence, capacité et diamètre d'antenne, est nécessaire pour réaliser la transmission des données dans les conditions de propagation du milieu choisi avec de bonnes performances.

Les résultats obtenus montrent que la liaison entre les deux sites choisis A et B peut être installé. Comme le montre le profil du bilan, la zone de Fresnel entre les deux sites est dégagée, la vue directe (LOS) est présente. De meme, la puissance de réception est supérieure au seuil de réception qui est égal à -34dBm avec une marge de 45.7dB .

Conclusion

La liaison FH est très utilisée dans le cas de la téléphonie mobile. Elle permet d'avoir des débits élevés jusqu'à 456Mbits/s, une portée étendue et éventuellement extensible et permet aussi d'atteindre des sites difficiles d'accès.

Le but de notre travail est d'établir une liaison entre une BTS (site A) et un BSC. Cette liaison peut avoir plusieurs chemins. Le chemin choisi est celui qui contient le moins de liaisons. Comme les différentes liaisons FH du site A vers le BSC sont établies de la même manière, nous nous sommes intéressés à la mise en place d'une liaison FH entre le site A et la BTS la plus proche (site B).

Avant l'installation, nous avons fait l'étude du site GSM qu'on prévoit de créer puis nous avons établi une planification et une configuration. Celle-ci débute par la création d'un nouveau projet. Ensuite nous avons intégré les données prises sur le terrain dans le logiciel utilisé « Mentum Link Planner ». En outre nous avons vérifié la visibilité avec le site voisin choisi. L'étape suivante consiste à créer et configurer un lien transmission entre A et B. Cette dernière nous permet d'introduire l'équipement radio adéquat à la distance avec puissance d'émission et modulation, nous avons également sélectionné l'antenne à faisceau hertzien. Enfin nous passons au choix du canal de transmission correspondant à la capacité puis à la sélection de la norme de l'IUT pour la transmission de données.

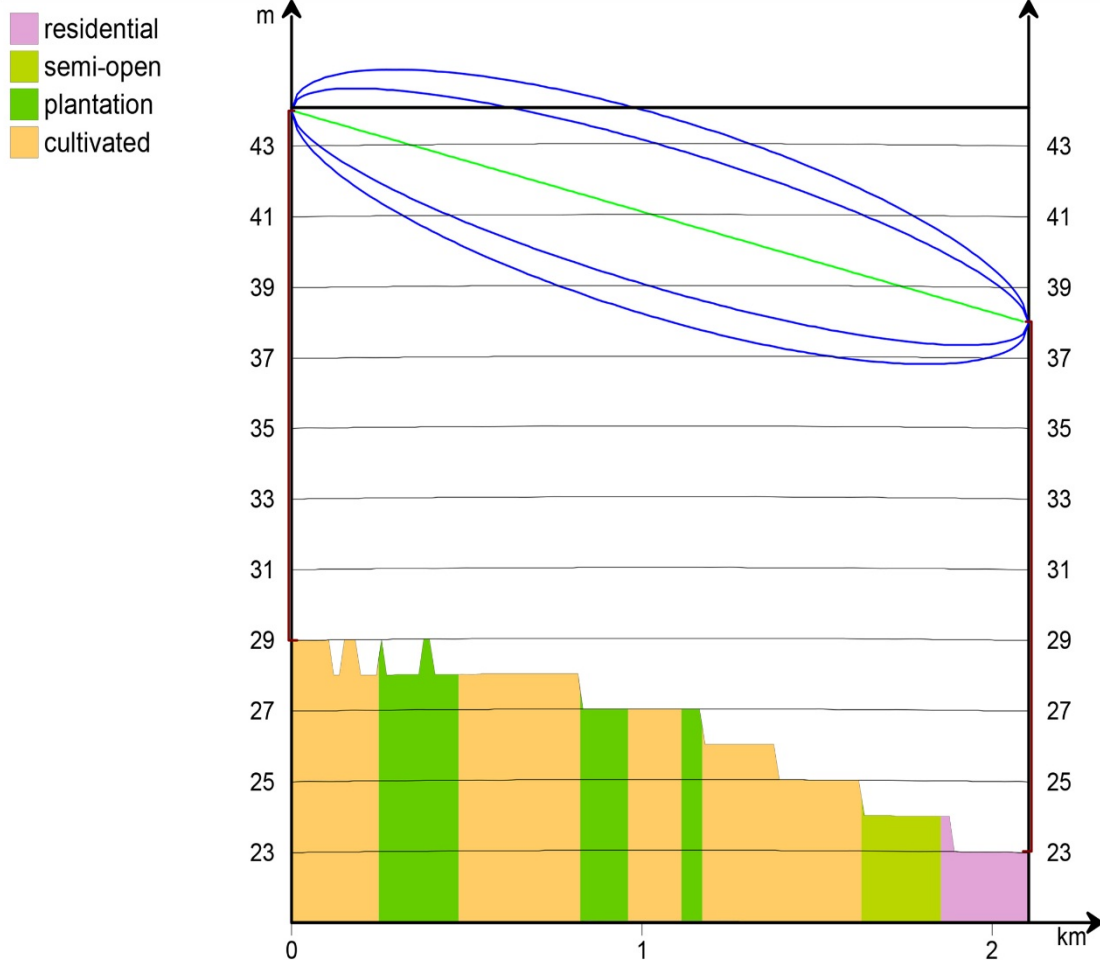
En utilisant le logiciel de simulation « Mentum LinkPlanner », nous avons trouvé premièrement un profil du bilan qui indique une bonne visibilité entre les deux sites A et B, c'est-à-dire la zone de Fresnel est dégagée de tout obstacle puis une puissance égale à -34 dBm et un seuil de réception de l'ordre de -80 dBm. Ceci montre que la réalisation de la liaison FH entre le site A et le site B est possible.

Comme perspective, nous proposons de mettre en pratique la simulation précédente. Pour cela, nous devons enregistrer les différentes configurations dans les équipements utilisés dans cette liaison. Puis nous allons effectuer l'interconnexion entre ces équipements. Comme il est possible de choisir deux chemins vers le BSC. Le deuxième chemin sera utilisé en cas de défaillance du premier.

Prepared by:

ERICSSON PATH QUALITY

Project: 16_ATM_Algiers Version: Access MBH
Path: Bilan de liaison AB (Tx Site: 16623C;2 Rx Site: A)



Site: A

Site: 16623C;2

Site data:

Lat: 36°39'44.2
Long: 03°12'15.6
Path length: 2.11 km
Ground level: 29.0 m
Antenna height
 above gr. lev. (1): 15.0 m
 above gr. lev. (2): <None>
Path azimuth: 328.53 °

Site data:

Lat: 36°40'42.4
Long: 03°11'31.4
Ground level: 23.0 m
Antenna height
 above gr. lev. (1): 15.0 m
 above gr. lev. (2): <None>
Path azimuth: 148.53 °

Losses:

Free space: 130.5 dB
Obstacle: 0.0 dB
Gas: 0.6 dB
Path loss: 51.3 dB

Signal levels (BER>10⁻⁶):

Rec. sign. level: -34.3 dBm
Fade margin: 45.7 dB
Threshold degr. uncorr: 0.0 dB
Eff. fade margin uncorr: 45.7 dB
Threshold degr. corr: 0.0 dB
Eff. fade margin corr: 45.7 dB

Category:

Name: -

Probability that BER>10⁻⁶ (worst month):

Multipath	
Flat:	99.99999973 %
Freq. selective:	100.00000000 %
Total:	99.99999973 %
Clear-air XPD:	100.00000000 %
Refraction:	100.00000000 %
Rain:	99.99915203 %
Rain XPD:	100.00000000 %

Worst month availability: 99.99915175 %**Worst month unavailability:** 0.00084825 %**Probability that BER>10⁻⁶ (worst month):**

Multipath	
Flat:	43799.99988 min
Freq. selective:	43800.00000 min
Total:	43799.99988 min
Clear-air XPD:	43800.00000 min
Refraction:	43800.00000 min
Rain:	43799.62859 min
Rain XPD:	43800.00000 min

Worst month availability: 43799.62847 min**Worst month unavailability:** 0.37153 min**Probability that BER>10⁻⁶ (year):**

Multipath	
Flat:	99.99999999 %
Freq.selective:	100.00000000 %
Total:	99.99999999 %
Clear-air XPD:	100.00000000 %
Refraction:	100.00000000 %
Rain:	99.99991157 %
Rain XPD:	100.00000000 %

Worst year availability: 99.99991156 %**Worst year unavailability:** 0.00008844 %**Probability that BER>10⁻⁶ (year):**

Multipath	
Flat:	525599.99995 min
Freq.selective:	525600.00000 min
Total:	525599.99995 min
Clear-air XPD:	525600.00000 min
Refraction:	525600.00000 min
Rain:	525599.53522 min
Rain XPD:	525600.00000 min

Worst year availability: 525599.53517 min**Worst year unavailability:** 0.46483 min**Quality and Availability based on ITU-T Rec. QATarget**

HRPPortion: National portion, Short Haul network section

Name: G.826(National - Short Haul)

	Calculated	Target	Normalized
ESR (worst month):	0.0000104154	-	-
SESR (worst month):	0.0000051303	-	-
BBER (worst month):	0.0000000611	-	-

Unavailability:

UNTR (year)			
Wave prop. :	0.0000001282	-	-
Hardware:	0.0000338232	-	-
Total:	0.0000339514	0.0003200000	-

QATarget related attributes:

Source:	Based on ITU-T Rec. G.826 & 827
HRP Portion:	National portion, Short Haul network section
Quality Target Ref. :	ITU-R F.1668
Avail. Target Ref. :	ITU-R F.1703
Rate:	<None>

Route length: -0.0 km

Comments:

Site data**Site:** A**Radio related data:**

Radio system: ATM/38/2x2/1+0/0.3m
 Radio: ATM_ML38E 2X2 ST/RAU2
 Capacity: 4.00 Mbit/s
 Frequency: 38.00 GHz
 Output power: 17.0 dBm
 Receiver threshold (primary)
 at BER 10⁻⁶: -80.0 dBm
 Receiver threshold (secondary)
 at BER 10⁻³: -84.0 dBm
 Effective radiated power: 27.0 dBW
 Threshold degr. uncorr: 0.0 dB
 Threshold degr. corr: 0.0 dB
 C/I threshold: 17.0 dB
 Bandwidth Tx: 3.5 MHz
 Bandwidth Rx: 3.5 MHz
 XPIF: 0.0 dB
 RF Filter Tx:
 Filter attenuation: 0.0 dB
 3 dB bandwidth: 625.000 MHz
 40 dB bandwidth: 2400.000 MHz
 RF Filter Rx:
 Filter attenuation: 0.0 dB
 3 dB bandwidth: 520.000 MHz
 40 dB bandwidth: 1400.000 MHz
 Channel/Duplex index: <None>
 Side 1 TX Frequencies:
 38319.75 MHz

Antenna data:

Antenna type: ML38/2 0.3m HP Comp
 Antenna diagram
 horizontal: ML38/2 0.3m HP Comp
 vertical: ML38/2 0.3m HP Comp
 Antenna gain: 40.0 dBi
 Polarization: Vertical
 Antenna azimuth: 328.53 °
 Auto azimuth calc.: Yes
 Antenna tilt: -0.16 °
 Auto tilt calc.: Yes
 Antenna amplifier: <None>
 Output power: <None>
 Receiver gain: <None>
 Transmission line
 type: <None>
 length: <None>
 loss: <None>

Attenuators:

Additional attenuation Tx: 0.0 dB
 Additional attenuation Rx: 0.0 dB

HW reliability:

System config.: Not doubled
 MTBFs: 27.0 year
 MTRs: 4.0 h
 MTBFu: 0.0 year
 MTRu: 0.0 h
 MTBFd: 170.0 year
 MTRd: 4.0 h

Site: 16623C;2**Radio related data:**

Radio system: ATM/38/2x2/1+0/0.3m
 Radio: ATM_ML38E 2X2 ST/RAU2
 Output power: 17.0 dBm
 Receiver threshold (primary)
 at BER 10⁻⁶: -80.0 dBm
 Receiver threshold (secondary)
 at BER 10⁻³: -84.0 dBm
 Effective radiated power: 27.0 dBW
 Threshold degr. uncorr: 0.0 dB
 Threshold degr. corr: 0.0 dB
 C/I threshold: 17.0 dB
 Bandwidth Tx: 3.5 MHz
 Bandwidth Rx: 3.5 MHz
 XPIF: 0.0 dB
 RF Filter Tx:
 Filter attenuation: 0.0 dB
 3 dB bandwidth: 625.000 MHz
 40 dB bandwidth: 2400.000 MHz
 RF Filter Rx:
 Filter attenuation: 0.0 dB
 3 dB bandwidth: 520.000 MHz
 40 dB bandwidth: 1400.000 MHz
 Side 2 TX Frequencies:
 37059.75 MHz

Antenna data:

Antenna type: ML38/2 0.3m HP Comp
 Antenna diagram
 horizontal: ML38/2 0.3m HP Comp azi
 vertical: ML38/2 0.3m HP Comp ele
 Antenna gain: 40.0 dBi
 Antenna azimuth: 148.53 °
 Auto azimuth calc.: Yes
 Antenna tilt: 0.16 °
 Auto tilt calc.: Yes
 Antenna amplifier: <None>
 Output power: <None>
 Receiver gain: <None>
 Transmission line
 type: <None>
 length: <None>
 loss: <None>

Attenuators:

Additional attenuation Tx: 0.0 dB
 Additional attenuation Rx: 0.0 dB

HW reliability:

System config.: Not doubled
 MTBFs: 27.0 year
 MTRs: 4.0 h
 MTBFu: 0.0 year
 MTRu: 0.0 h
 MTBFd: 170.0 year
 MTRd: 4.0 h

Bibliographie

- [1] S.REDL, M.Weber, M.OLIPHANT-An Introduction to GSM – Artech House publishers-1995.
- [2] ZNATY, “Global System for Mobile Communications Gestion de la mobilité et Contrôle d’appel”, 2008.
- [3] Pierre Brisson, Peter Kropf, cours: Global System for Mobile Communication, Université de Montréal,2008
- [4] Fabrice Valois, Cours : Architecture protocolaire des réseaux mobiles BSS, INSA de Lyon. Avril 2004.
- [5] A. Fischer IUT GTR, ‘’Commutations et systèmes de transmission’’, Université de Paris XIII, décembre 2001.
- [6] Jean-Marie Dilhac « Une introduction aux télécommunications », Presses Universitaires du Mirail, 04/10/2012.
- [7] JOACHIM Tisal, “Le réseau GSM: l’évolution GPRS, une étape vers l’UMTS”, édition 3, 1999.
- [8] Huawei, High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), Documentation interne. Edité en 2010.
- [9] URDAREANU.A, « Réseau de 4ème Génération », Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [10] Recommandation UIT-R F.636-4, 03/2012.
- [11] Lucien Boithias, "Propagation des ondes radioélectriques", Ed. Dunod 1983
- [12] D. LEKKAM et M.BOUARABA »Etude de canal de transmission pour les liaisons FHN et satellitaire exploitées dans les réseaux mobiles cas : OTA (DJEZZY), mémoire de master en réseaux et télécommunications, UMMTO, 2013.
- [13] Louis Reynier, « Radiocommunication : Liaisons hertziennes, antennes, équipement », , cours, études de systèmes ,Editeur Ellipses Marketing, juin 2014.
- [14] Julien Delmas « les relais GSM », Electrosmog.info, 2006-2007.
- [15] L.REYNIER, « Bilan de liaison hertzienne », cours inédit G3 Radio transmission ISTA/GOMA, 2013-2014.
- [16] BENMOUSSA Rochdi « Etude et planification des liaisons de transmission par FH PDH », mémoire d’ingénieur d’état en « automatique », Ecole MILITAIRE POLYTECHNIQUE, 11/02/2006