

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOD MAMMERI, TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'études
Présenté en vue de l'obtention
du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique

Option : Communication

Thème:
Contrôle de niveau du signal émis
Par des antennes GSM
En utilisant le TEMS

Proposé Dirigé par

- Mr. M.LAZRI
- Mr. K.HAMDAD

Présenté par :

Melle. ACHEROUF KEBIR Kahina

Année universitaire 2008/2009

Soutenu le : 10-2009.

REMERCIEMENTS :

Le premier à qui je dois le plus de remerciement est Allah le tout puissant et compatissant, c'est grâce à lui que je suis arrivée là où je suis en prêtant vie et capacité intellectuelle.

Tous mes remerciements et ma profonde reconnaissance s'adressent à mon promoteur Mr. Mourad LAZRI pour ses prestigieux conseils et orientations ;

Je tiens à exprimer également ma profonde gratitude à Mr Karim HAMDAD le chef du centre du service mobilis de Tizi-Ouzou, de m'avoir permis de réaliser mon stage au sein de sa direction, et pour sa disponibilité, ces conseils, son aide...qu'il n'a pas cessé de me prodiguer durant toute la durée de mon travail ;

D'autre part, mes vifs remerciements vont droit à Mrs :

*S.MAGMOUN, S.GUELAL, RACHID, S.LAHDIRI ET Mr.
D.DJERAOUI sans oublier HASSAN.*

Que monsieur le président et messieurs les membres de jury trouvent ici l'expression de mon vive gratitude et mon respect pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'examiner ce travail.

Enfin, mes derniers remerciements, sont adressés à tous ceux qui ont toujours été d'un grand support : ma famille, mes amis, mes enseignants, mes collègues...

INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : Généralités sur le réseau GSM	
I.Historique.....	4
I.1.Evolution des systèmes de communication mobile.....	5
I.1.1.Systèmes de première génération (1G)	5
I.1.2.Système de deuxième génération (2G)	6
I.1.3.Système de troisième génération (3G)	6
I.Le concept cellulaire	7
II.1. Définition de la cellule	7
II.2. Types de cellules	8
II.2.1.Macrocellules	8
II.2.2. Microcellules	9
II.2.3.Les cellules Concentriques	9
II.2.4.Les cellules Umbrella	9
II.3. Le principe du Handover	10
III.L'architecture du réseau GSM	10
III.1.Le Sous-système Radio (BSS)	11
III.1.1. La Station Mobile MS	11
III.1.2. La Station de Base BTS	12
III.1.3. Le Contrôleur de Station de Base (BSC).....	12
III.2.Sous-système réseau NSS (Network Sub System)	13
III.2.1.Centre de Commutation Mobile MSC	13
III.2.2.Enregistreur de localisation nominale (HLR)	13
III.2.3.Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)	14
III.2.4.Centre d'authentification (AUC)	14

III.2.5.Registre d'identification d'équipement (EIR).....	14
III.3. Sous système d'exploitation et de maintenance (OSS)	15
III.3.1. Le centre d'exploitation et de maintenance (OMC)	15
III.3.2. Le centre de gestion de réseau (NMC).....	15
III.3.3. Administration du réseau de télécommunications (TMN).....	15
IV.Régions géographiques d'un réseau GSM	16
V.Présentation des interfaces.....	18
VI.Architecture en couche du réseau GSM.....	20
VII. Transmission sur l'interface radio	20
VII.1.Fréquences de travail du GSM	20
VII.1.1.Multiplexage fréquentiel FDMA.....	21
VII.1.2.Multiplexage temporel TDMA	22
VII.1.3. La modulation GMSK.....	23
VII.1.4.Trame TDMA.....	23
VII.1.5.Organisation des trames TDMA.....	24
VII.1.6.Structure des bursts.....	25
VII.1.7.Implantation du saut de fréquence	26
VII.1.8.Compensation des temps de propagation	27
VII.1.9.Les différents canaux	28
VII.1.9.1.Canaux physiques	28
VII.1.9.2.Les différents canaux logiques	29
VII. Acheminement des appels	29
VIII.1.Appel d'un abonné du réseau GSM vers un réseau fixe (appel sortant).....	29
VIII.2.Appel d'un abonné du réseau fixe vers un abonné réseau GSM (appel entrant)	30

Chapitre II : Propagation des ondes électromagnétiques	
I.Préambule.....	32
II.Caractéristiques d'une Onde Electromagnétique	33
II.1. Le spectre Electromagnétiques	34
III.Propagation des Ondes Electromagnétiques.....	35
III.1. Différentes couches de l'atmosphère.....	36
III.2. Milieu de propagation	36
III.3. Caractéristique du milieu de propagation	37
IV. Les équations de MAXWELL	37
IV.1. Les équations constitutives de la matière	37
IV.2. Signification des équations de MAXWELL	39
IV.3.1. Équation relative au champ électrique \vec{E}	41
IV.3.2.Équation relative au champ Magnétique \vec{H}	42
V.Type de propagation des ondes Electromagnétiques	44
V.1. Propagation superficielle	44
V.2. Propagation ionosphérique	44
V.3. Propagation troposphérique.....	45
V.4. Propagation en espace libre	46
VII.Modèles de propagations	47
VI.1. Modèle à trois étages	48
VI.2. Modèles Macrocellulaires	48
VI.3. Modèles microcellulaires	49
VI.4. Propagation à l'intérieur d'un bâtiment	49
VI.5.Phénomènes de propagations	50

VI.5.1.la réfraction	50
VI.5.2. La réflexion	50
VI.5.3.la diffraction	50
Chapitre III : Les différents types d'antennes GSM	
I.Préambule.....	52
II. Caractéristiques des antennes	52
II.1. les fréquences d'utilisation	52
II.2. L'impédance	53
II.3. Diagramme de rayonnement	54
II.4. Le gain	54
II.5. La directivité	55
II.6.Azimut	55
II.7. Tilt	56
III. Fonctionnement	59
III.1. En émission	59
III.2. En réception	59
IV.Installation des antennes sur support.....	59
V.les interférences	60
VI.Technique de diversité	61
VII. La sectorisation	63
VIII. La transmission discontinue.....	64
IX.Différents types d'antennes GSM	64
IX.1. Antennes des terminaux GSM	64
IX.2. Antennes des stations de base	65

IX.2.1. Antennes macro-cellules.....	65
IX.2.2. Antennes microcellules.....	65
IX.2.3. Antenne pico-cellules	66
IX.3.Les différentes types d'antennes utilisées par l'opérateur .MOBILIS.....	67
CHAPITRE IV : Maintenance sur des antennes GSM	
I.Préambule.....	73
II. Description de Site Master	74
III.L'équipement logiciel	76
IV.Perte de retour et VSWR	77
V.Application	78
VI.Le Drive Test	79
VI.1.Le niveau du signal RxLevel.....	80
VII.Exemple pratique	81
CONCLUSION.....	86

ANNEXES

GLOSSAIRE

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION :

Durant des siècles, l'homme a su se contenter de la parole ou des écrits comme seuls moyens de communication entre deux personnes éloignées d'une distance importante, effectivement, soit on envoyait un messenger restituant le message qu'on lui avait appris, soit il remettait le message écrit qu'on lui avait remis. Ce n'est qu'en 1876 que GRAHAM BELL a révolutionné le monde des télécommunications en inventant le téléphone.

L'acquisition des connaissances théoriques et du savoir faire dans le domaine des télécommunications, notamment la découverte des ondes hertziennes (radio) nous ont permis d'assister à l'explosion des systèmes de téléphonie mobile qui se basent sur la radiotéléphonie.

Les premiers systèmes mobiles fonctionnaient en mode analogique et les terminaux étaient de taille importante. Les systèmes mobiles actuels fonctionnent en mode numérique (la voix est échantillonnée, numérisée et transmise sous forme de bits), et les progrès de la microélectronique ont permis de réduire la taille des téléphones portables à un format de poche.

Les systèmes mobiles sont standardisés pour être compatibles entre les réseaux de différents pays et pour s'interconnecter avec le réseau téléphonique fixe.

Il existe dans le monde deux standards de systèmes mobiles, le standard IS41 d'origine américaine et le standard le plus répandu GSM défini en Europe.

Le GSM (Global System for Mobile communications) est un système cellulaire numérique de télécommunications mobile, il a été rapidement accepté et a vite gagné des parts de marché, car il offre des services et des possibilités élaborées comme par exemple la possibilité de téléphoner depuis n'importe quel réseau GSM dans le monde, comme il offre d'autres services tels que les messages courts (SMS) et les revois d'appels.

La structure cellulaire du GSM est sans doute ce que l'on peut imaginer de plus astucieux pour s'accommoder de la limitation de la bande de fréquences, cette organisation permet une exploitation efficace de la ressource radio afin de desservir d'une manière régulière tous les abonnés sans risque d'interférences. L'infrastructure du réseau repose sur les stations de base (BTS), ce sont des émetteurs/récepteurs dont le rôle est d'assurer les liaisons par ondes radioélectriques avec les mobiles.

Les relais GSM (BTS) sont des éléments plus importants dans la transmission. L'implantation de ces BTS dans différentes cellules représente une tâche très délicate. A cet effet, l'opérateur doit prendre en considération plusieurs paramètres.

En effet, l'opérateur doit analyser le comportement de ses abonnés vis-à-vis du réseau, c'est ce qu'on appelle l'étude de trafic, ces études permettent le dimensionnement des sites GSM, autrement dit, le calcul de nombre de fréquences à utiliser dans cette nouvelle BTS. Le niveau et la qualité du signal sont contrôlés en permanence en tout point du réseau. Des tests et des mesures sont effectués afin de divulguer les zones non couvertes, d'où la nécessité de déployer de nouveaux sites.

Le travail qui nous a été proposé consiste à étudier des différents types d'antennes sectorielles déployées dans un site GSM, il s'agit d'étudier tous les paramètres des antennes entrent en jeu lors de l'installation des BTS.

Pour mener à bien notre travail, nous avons partagé le mémoire en quatre parties.

Dans le premier chapitre, nous présentons le fonctionnement des entités constituant le réseau GSM et la transmission sur l'interface radio.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de modèles et les mécanismes de propagation des ondes radioélectriques (ondes électromagnétiques).

Dans le troisième chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les différents types d'antennes, et les techniques utilisées pour éviter les interférences rencontrées dans le réseau.

Le quatrième chapitre fera l'objet d'un exemple de test pour vérifier la qualité du signal émis par des antennes GSM installées au niveau de la ville de TIZI-OUZOU avec le personnel de MOBILIS.

I. Historique :

Si aujourd'hui, chacun peut communiquer avec un individu quelque soit le milieu où il se trouve, c'est grâce à téléphonie cellulaire qui naquit dans les laboratoires Bell au Etats Unis vers les années 1970. Cependant le réseau de téléphonie mobile était d'abord analogique.

Le premier réseau mobile analogique commercial, MOB1 qui fut lancé en 1977, a été très vite limité à cause de sa saturation. Cette limite a poussée les opérateurs à créer le MOB2 qui était plus performant. A cette époque, chaque pays européen utilisait son propre réseau cellulaire mobile analogique. Donc, les communications entre mobiles d'un pays à l'autre n'étaient pas possibles.

Dans le but de résoudre ce problème, la Conférence Européenne de Postes et des Télécommunications (CEPT) a créé en 1982 le groupe spécial mobile (GSM). En effet ce groupe aura pour mission la création du nouveau réseau et l'élaboration des normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquences de 900MHz.

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles : transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, cryptage des informations sur le canal radio et une nouvelle loi sur le codage de la parole à débit réduit par rapport aux lois en vigueur dans les télécommunications.

En 1989, la responsabilité du GSM a été transférée à l'ETSI (European Telecommunication Standard Institute) et la phase I des spécifications GSM a été publiée en 1990.

La première communication expérimentale par GSM a eu lieu en 1991.

Il fallait attendre 1992 pour voir le passage du concept de laboratoire au produit commercial. C'est ainsi qu'en conservant son abréviation, le GSM est rebaptisé Global System for Mobil communications.

Aujourd'hui, on assiste à l'émergence d'une nouvelle norme UMTS qui devrait encore améliorer et universaliser l'utilisation de GSM.

I.1.Evolution des systèmes de communication mobile :

D'hier, les systèmes de communication mobile ont connus une évolution énorme. En effet nous sommes passés de la génération des systèmes analogiques à celle des systèmes numériques de haut débit. Cette évolution est due à l'évolution technologique de l'homme et par son désir d'éternel satisfait. Ces différentes générations ont été fondées sur les mêmes bases donc les principes généraux et les contraintes reste les mêmes pour tous les réseaux cellulaires.

I.1.1.Systèmes de première génération (1G) :

Ce sont des systèmes analogiques. Ils sont caractérisés par leur faible qualité, les limites de leurs capacités et de leurs services, et le non compatibilité des normes entre elles. On distingue trois grands standards dans cette génération :

- **NMT** (nordic mobile Téléphone) ;
- **AMPS** (Advance mobile phone service) développé par les Bell Laboratoires aux Etats-Unis ;
- **TACS** (Total Access Coverage Système), dérivé du standard Américain AMPS, développe par les anglais.

Ils présentent plusieurs inconvénients :

- ✓ Coûts très élevés des terminaux et équipements ;
- ✓ Capacité d'abonnés réduite ;
- ✓ Peu d'optimisation des fréquences ;
- ✓ Pas de roaming international ;
- ✓ Peu d'évolution des services offerts.

I.1.2. Système de deuxième génération (2G) :

Ces systèmes sont numériques. Ils sont caractérisés par :

- ✓ Transmission numérique ;
- ✓ Méthode d'accès multiples ;
- ✓ Codage de la parole ;
- ✓ Traitement du signal ;
- ✓ Standards internationaux ;
- ✓ Equipements à faible coût ;
- ✓ Possibilité du roaming international ;
- ✓ Capacité accrue de services et du nombre d'abonnés.

Les standards qu'on distingue dans cette génération sont :

- **GSM** (900, 1800, 1900) : Global System for Mobil Communication, standard européen de radiotéléphonie cellulaire numérique.
- **D-AMPS** : Bien qu'il ne soit pas normalisé, le Digital AMPS est présent en Afrique, Amérique, Asie et reste compatible avec l'AMPS.
- **CDMA** : le Code Division Multiple Access, est présent en Amérique et en Asie. Il utilise une ingénierie simplifiée et sa technologie reste peut mature et ses services sont limités.

I.1.3. Système de troisième génération (3G) :

Les caractéristiques principales de cette génération sont :

- ✓ Communication : service de communication mondial ;
- ✓ Intégration des normes actuelles pour un service de mobilité universel ;
- ✓ Couverture universelle ;
- ✓ Service Multimédia ;
- ✓ Terminal unique.

Les standards retenus dans cette génération sont :

- **HSCSD** (High Speed Circuit Swiched Data).
- **GPRS** (General Packet Radio Service).
- **L'EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution).
- **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System).
- **IMT 2000** (International Mobile Télécommunications).

II. Le concept cellulaire :

Le réseau de radiotéléphonie de première génération possèdent des cellules de grande taille (50 km du rayon) au centre de chacune se située une station de base pour assurer la couverture radioélectrique de cette cellule, l'utilisateur se trouvant dans cette zone possède une bande fréquentielle statique allouée à son téléphone, qu'il occupe avec ou sans communication. Ainsi le nombre d'abonnés dans le réseau peut être supérieur au nombre de canaux radio, alors la première évolution consiste à allouer un canal uniquement quand un terminal mobile est en communication, ce qui augmente statistiquement le nombre d'abonnés. Mais ce système nécessite toujours des stations mobiles de puissance d'émission importante (8W), de plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept cellulaire, ce principe consiste à diviser le territoire en petites zones, appelées *cellules*.

II.1. Définition de la cellule :

Une cellule est une portion géographique de différentes formes entourées de six cellules voisines. La forme circulaire peut représenter idéalement une zone couverte, mais des problèmes de recouvrement intercellulaire sont envisageables, par contre, la forme hexagonale permet de dépasser ces problèmes tout en simplifiant le processus de planification du réseau cellulaire.

En résumé, une cellule correspond à la zone couverte par la BTS.

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

- Densité d'abonnés.
- La configuration du terrain (plateau, montagnes,...).
- La nature des constructions (maisons, bâtiments, immeubles en bétons,...).
- La localisation (rurale, suburbaine ou urbaine).

Ainsi, on définit des motifs (clusters), constitués de plusieurs cellules. Chaque motif est constitué de sept cellules numérotées de 1 à 7, chaque trois cellule qui appartiennent à trois motifs voisins et qui prend le même numéro, peuvent utiliser la même bande de fréquence, car les interférences intercellulaires sont évitées.

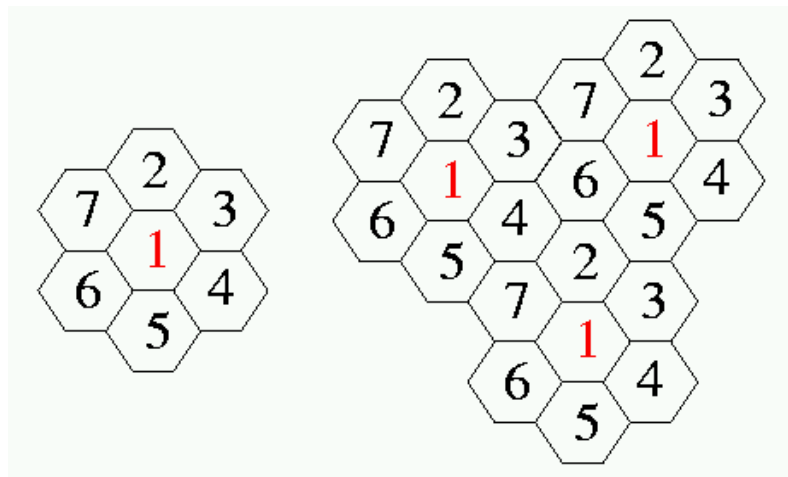


Fig. I.1. Architecture Cellulaire.

II.2. Types de cellules :

Il existe plusieurs types de cellules, elles sont classées selon leurs rayons. On distingue :

II.2.1. Macrocellules :

Ce sont des cellules de grande taille leur zone d'action s'étend jusqu'à 30 km selon les obstacles rencontrés, elles sont utilisées pour couvrir les zones rurales à faible densité de population. Leurs antennes sont placées en hauteur (au moins 30 m) et possèdent des émetteurs très puissants.

II.2.2. Microcellules :

Sont des cellules à petites tailles destinées aux zones à très forte densité du trafic (grand marché). Leur portée est en moyenne de 500 m. La puissance des antennes émettrice est alors diminuée pour éviter le problème d'interférence.

On parle aussi de picocellules qui ont un rôle similaire que celui des microcellules mais dans des zones encore plus petites.

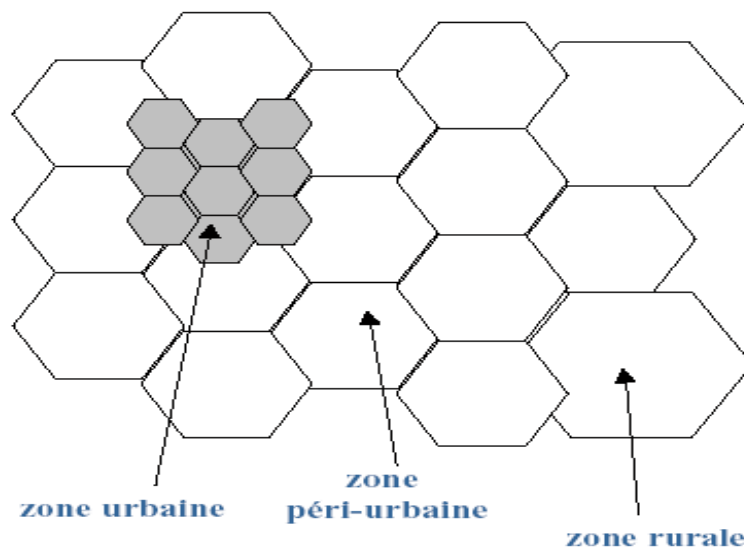


Figure. I.2. Macrocellules, Microcellules, Picocellules.

II.2.3. Les cellules Concentriques :

Sont utilisées pour privilégier certains abonnés. Les ressources de la cellule sont réparties en deux zones:

- 1) La zone inner : c'est-à-dire interne à la zone extérieure.
- 2) La zone outer qui est la zone extérieure à la zone interne.

II.2.4. Les cellules Umbrella :

Encore appelées cellules parapluies, ou bien cellules de couvertures, elles couvrent plusieurs autres cellules, elles sont créées pour résoudre les problèmes des trous existant parfois dans le réseau et l'excès de handover. En effet un abonné

traversant de très petites cellules engendre un nombre important de handover parmi les cellules voisines. Par exemple un utilisateur qui se trouve dans sa voiture sera transféré sur cette cellule pour éviter de chargé le réseau, en le gardant le maximum de temps dans cette cellule, il va s'en dire que la puissance d'émission de son antenne sera plus grande que celles des autres cellules qu'elle couvre et que les fréquences utilisées par la cellule seront différentes de celles des autres.

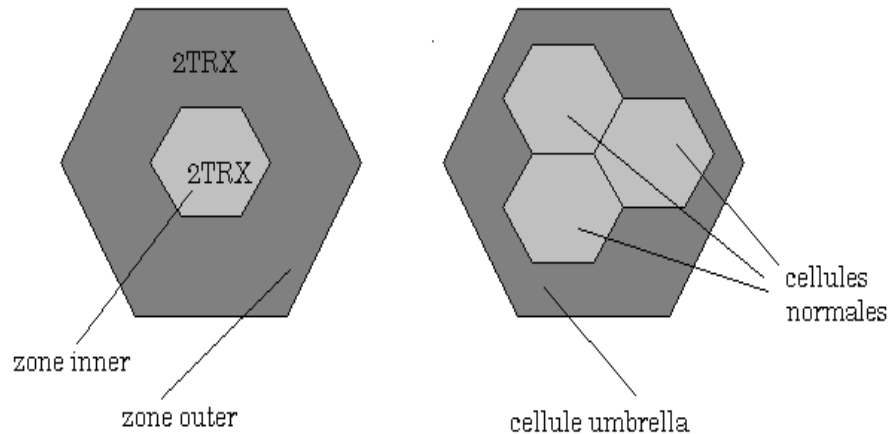


Figure .I.3. Cellules concentriques et cellule umbrella.

II.3. Le principe du Handover :

Le Handover est un transfert intercellulaire, traité par des équipements fixes (MSC+BSC) à partir des mesures effectuées par le téléphone à fin de les transmettre à la BTS relayant la communication en cours. Le Handover se produit lorsque les mesures effectuées par le mobile montrent une mauvaise qualité du signal reçu sur la cellule courante et un niveau bien meilleur sur une ou plusieurs cellules voisines, ces mesures sont transmises à la BTS puis au BSC qui choisira la nouvelle cellule à utiliser.

III. L'architecture du réseau GSM :

Le réseau GSM possède une architecture particulière, il est constitué de trois sous-ensembles regroupant une série d'entités physiques et logiques :

1. Le Sous-système Radio BSS (Base Station Subsystem).
2. Le Sous-système Réseau NSS (Network Subsystem).
3. Le Sous-système d'exploitation et de maintenance OSS (Operation Support Subsystem).

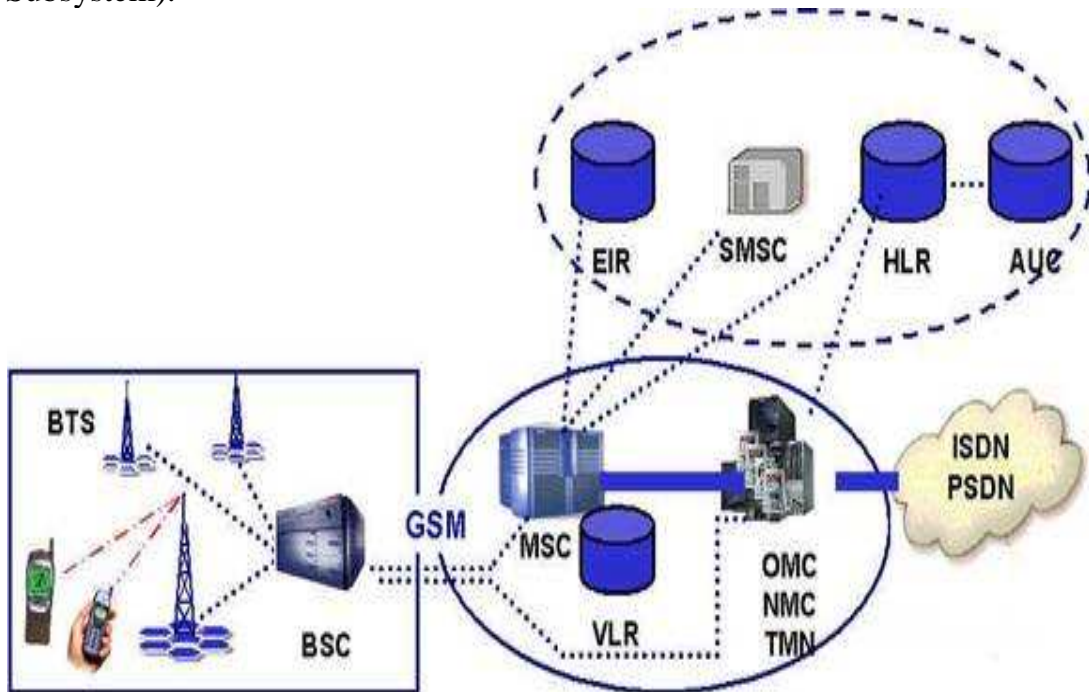


Fig. I.4. Architecture du réseau GSM

III.1. Le Sous-système Radio (BSS) :

Le sous-système radio assure les transmissions radioélectriques et gère les ressources radio. Il est constitué de plusieurs entités dont les stations mobiles, les stations de base et des contrôleurs de station de base.

III.1.1. La Station Mobile MS :

La station mobile est composée d'une part, du L'Équipement Mobile (le terminal GSM), et d'autre part d'une carte SIM (Subscriber Identity Module), une petite carte douée de mémoire et de microprocesseur.

- **Équipement Mobile ME :** L'Équipement mobile est l'appareil utilisé par l'abonné, il est identifié à l'intérieur de n'importe quel réseau GSM par un code

unique (IMEI) qui permet la détection et l'interdiction des équipements volés. Le terminal mobile peut prendre trois aspects :

- ✓ Le téléphone de voiture.
 - ✓ Le portable d'une puissance de 8w.
 - ✓ Le portatif (terminal de poche), d'un poids compris entre 150 et 350 grammes et d'une puissance d'environ 2w.
- **Module d'Identité de l'Abonné SIM** : La carte SIM est une carte à puce qui a la même taille qu'une carte de crédit ou un timbre-poste, elle contient dans sa mémoire le code IMSI (International Mobile Subscriber Identity) qui identifie l'abonné, de même les informations décrivant un abonnement. Cette carte peut être utilisée sur plusieurs appareils. Pour la protection de cette carte l'utilisateur utilise un code PIN, un Numéro d'Identification Personnel à quatre chiffres.

III.1.2. La Station de Base BTS :

Une station de base est l'élément central d'une cellule du réseau, elle contient les éléments émetteurs/récepteurs (TRX). Sa fonction principale est la transmission radio avec la station mobile et la transmission vers le BSC. Elle fournit un point d'entrée dans le réseau aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels.

III.1.3. Le Contrôleur de Station de Base (BSC):

Le contrôleur de station de base est l'organe intelligent de BSS, il gère une ou plusieurs BTS selon l'architecture du réseau, qui dépend des contraintes imposées par le relief et la densité d'abonnés à desservir. Le BSC effectue la gestion du trafic des BTS, assure l'allocation des canaux, la gestion de saut de fréquence, le transfert intercellulaire des communications, la gestion de la signalisation sur voie radio, comme il établit le lien entre les BTS et le commutateur de service mobile (MSC).

III.2.Sous-système réseau NSS (Network Sub System) :

Le NSS joue un rôle essentiel dans le réseau mobile, ses effets prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans les bases de données nécessaires à l'établissement de connexion.

III.2.1.Centre de Commutation Mobile MSC :

Le MSC forme le cœur du réseau, il assure la commutation entre les données du réseau mobile et celle du réseau commuté public (RTCP), comme il prend en compte les spécificités introduites par la mobilité, le transfert intercellulaire, la gestion des données visiteurs. Pour traiter les demandes d'appels et les acheminer, le MSC extrait toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Des MSC servant de passerelle grâce à la fonctionnalité du Gateway, donc on peut le considérer comme un nœud important du réseau.

III.2.2.Enregistreur de localisation nominale (HLR) :

C'est une base de données contenant toutes les informations relatives aux abonnés. Il enregistre pour chacun des abonnés l'identité internationale (IMSI), son numéro de l'abonné MSISDN. Et des données statiques telles que le type d'abonnement, la clé d'authentification, ainsi des données dynamiques comme l'état de son terminale, la localisation de l'abonné (autrement dit le numéro de VLR). Le HLR est une mémoire réservée à l'abonné jusqu'à l'annulation de son abonnement.

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) : C'est un numéro unique alloué à chaque abonné, stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.

MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network): C'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans le HLR, les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

III.2.3. Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) :

Le VLR est une base de données qui mémorise d'une façon temporaire les informations dynamiques relatives aux abonnés lors de leurs déplacements dans le réseau, ces informations proviennent du HLR auquel l'abonné est enregistré, et cela permet au MSC d'établir les appels de l'abonné visiteur. Ces informations sont enregistrées qu'une seule fois, et ne sont effacées que lorsque l'abonné ferme son appareil ou quitte la région du MSC. Pour une meilleure gestion de la mobilité du terminal et d'acheminement rapide des appels, les constructeurs installent les VLR côte à côte de MSC.

III.2.4. Centre d'authentification (AUC) :

C'est une base de données qui contient les paramètres utilisés pour la gestion de la sécurité de l'accès au système, il mémorise pour chaque abonné une clé secrète inscrite sur la carte SIM pour authentifier l'utilisateur et pour crypter les communications afin d'assurer la confidentialité de chaque appel.

Un AUC est en général associé à chaque HLR, l'ensemble peut être intégré dans un même équipement, cependant du point de vue fonctionnel, il ne fait pas partie du même sous système.

III.2.5. Registre d'identification d'équipement (EIR) :

Comme on a vu précédemment chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI, le registre EIR contient donc la liste des équipements autorisés sur le réseau. La consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui est déclaré perdu ou volé.

III.3. Sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS) :

Il assure la gestion et la supervision du réseau, cette supervision intervient à des nombreux niveaux :

- ✓ Détection des pannes.
- ✓ Mise en service de sites.
- ✓ Modification de paramétrage.

III.3.1. Le centre d'exploitation et de maintenance (OMC) :

Il s'intéresse à la supervision locale des équipements du réseau, on distingue l'OMC-R (*Radio*) relié à toutes les entités du BSS à travers le BSC qui exploite et maintient le sous système radio, et l'OMC-S (*Switching*) relié au NSS à travers les MSC qui supervise, détecte et corrige les anomalies du NSS.

III.3.2. Le centre de gestion de réseau (NMC) :

Il a pour fonction la gestion technique globale du réseau, et d'autres fonctions de nature administratives et commerciales au niveau de l'ensemble du réseau.

III.3.3. Administration du réseau de télécommunications (TMN):

L'administration des premiers réseaux se faisait de manière individuelle sur chaque équipement à partir d'un terminal simple directement connecté. Ainsi les fonctions disponibles étaient liées à la structure matérielle de l'équipement. Ce niveau d'administration est encore utilisable mais il est remplacé par des terminaux déplacés et reliés aux équipements par l'intermédiaire d'un réseau de données.

La complexité actuelle des réseaux nécessite des outils d'administration représentant des états sous des formes conviviales. Ce niveau d'administration globale doit être indépendant des équipements, il est donc nécessaire d'intégrer des équipements de médiation entre les équipements du réseau et le système d'exploitation, ceux-ci ont pour objectif de présenter sous formes standardisées les

différents éléments du réseau et de dialoguer avec le système d'exploitation par un protocole standard.

L'ensemble formé par les équipements de médiation, le système d'exploitation et les réseaux de transport utilisés forme le réseau d'exploitation des télécommunications (TMN).

IV. Régions géographiques d'un réseau GSM :

Le réseau GSM doit avoir une structure pour pouvoir acheminer les appels, Cette structure consiste à diviser le réseau en zones géographiques.

Les zones incluses sont :

- ✓ **La cellule** : Elle correspond à la région couverte par une station de base (BTS).
- ✓ **La zone de localisation (LA ; Localisation Area)** : Elle regroupe un ensemble de cellules, quant une communication est destinée vers un terminal mobile, un message de recherche est émis dans toutes les cellules appartenant à une zone de localisation.

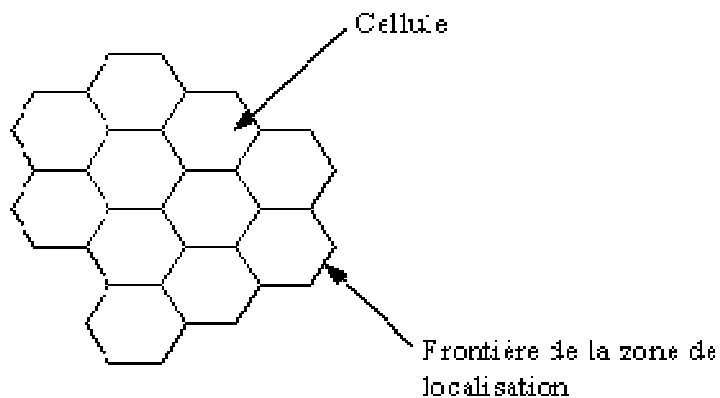


Fig. I.5. La zone de localisation LA.

- ✓ **Zone de service MSC/VLR** : Est un groupe de LA sous le contrôle d'un seul MSC, 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.

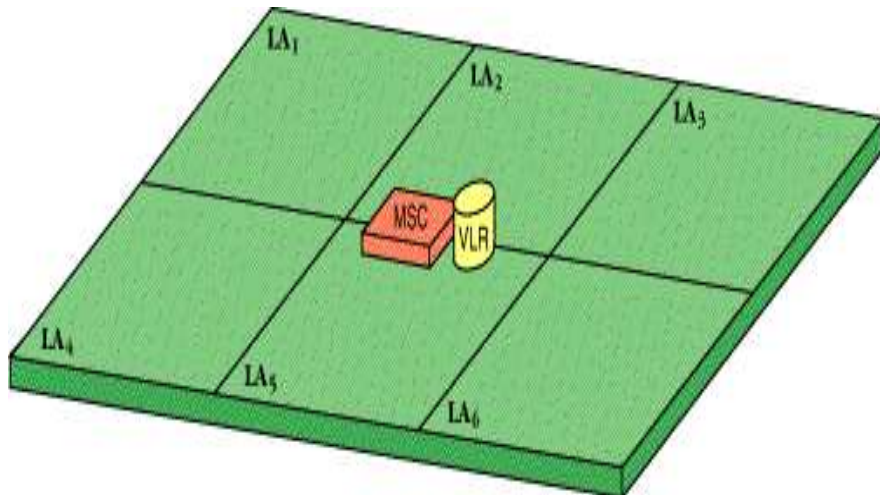


Fig. I.6.zones de service MSC/VLR.

- ✓ **Réseau terrestre mobile publique PLMN (Public Land Mobile Network)** : Est la région desservie par un opérateur de réseau, composé de plusieurs zones de services MSC/VLR. Il peut exister dans un pays plusieurs PLMN, chacune appartenant à un réseau mobile d'un opérateur.

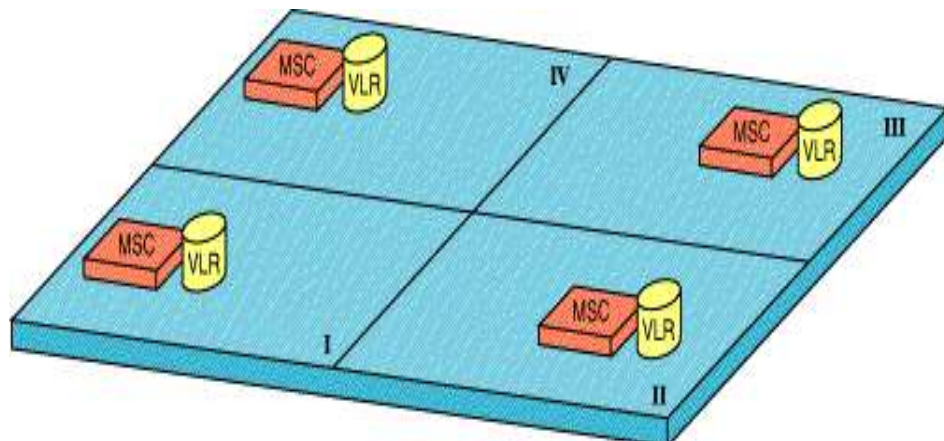


Fig.I.7.zone PLMN.

- ✓ **Zone de service GSM** : C'est la zone géographique où un abonné peut accéder au réseau GSM. Dans cette zone, un abonné peut connecter au réseau auquel il appartient en passant par une zone PLMN d'un autre opérateur.

Les différentes zones géographiques aux quelles on peut relier un réseau GSM sont illustrées dans la figure suivante :

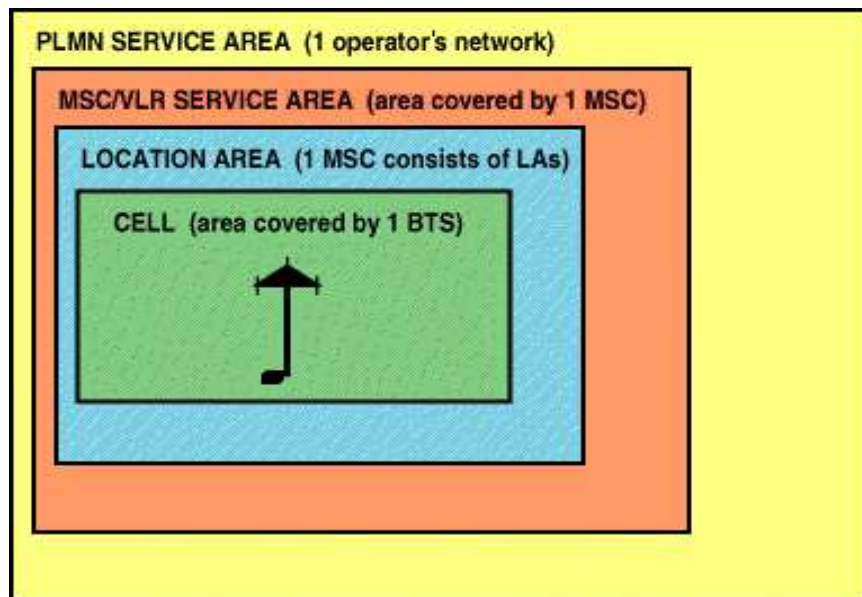


Fig.I.8.structure géographique du réseau GSM.

V. Présentation des interfaces:

Les interfaces sont des protocoles permettant la communication entre les différentes structures du réseau, elles assurent aussi l'interconnexion du réseau GSM avec d'autres réseaux au niveau international.

1. **L'interface Air** : appelé aussi l'interface Um ou interface radio, est localisé entre la station mobile *MS* et la station de base *BTS*, il permet à tout mobile de communiquer dans la totalité du réseau GSM.
2. **L'interface A-bis** : Il est localisé entre la station de base *BTS* et le contrôleur de station de base *BSC*. Elle permet le transfert des communications à savoir des voies de trafic et des voies de commandes.

Les différentes fonctions mises en œuvre sur l'interface sont :

- Le transfert des voies du trafic de la parole et de données.
- La signalisation entre *BTS* et *BSC* (gestion des voix).
- Le transport d'information de synchronisation vers la *BTS*.

<i>nom</i>	<i>localisation</i>	<i>Utilisation</i>
Um	MS - BTS	Interface radio
A bis	BTS - BSC	Divers
A	BSC - MSC	Divers
B	MSC - VLR	Divers
C	GMSC - HLR	Interrogation HLR pour appels entrant
D	VLR - HLR	Gestion des informations d'abonnés
E	MSC - MSC	Exécution des handover
E	MSC - GMSC	Transport des messages courts
F	MSC - EIR	Vérification de l'identité du terminal
G	VLR - VLR	Gestion des informations d'abonnés
H	HLR - AUC	Echange des données d'authentification.

Tableau1.Présentation des interfaces

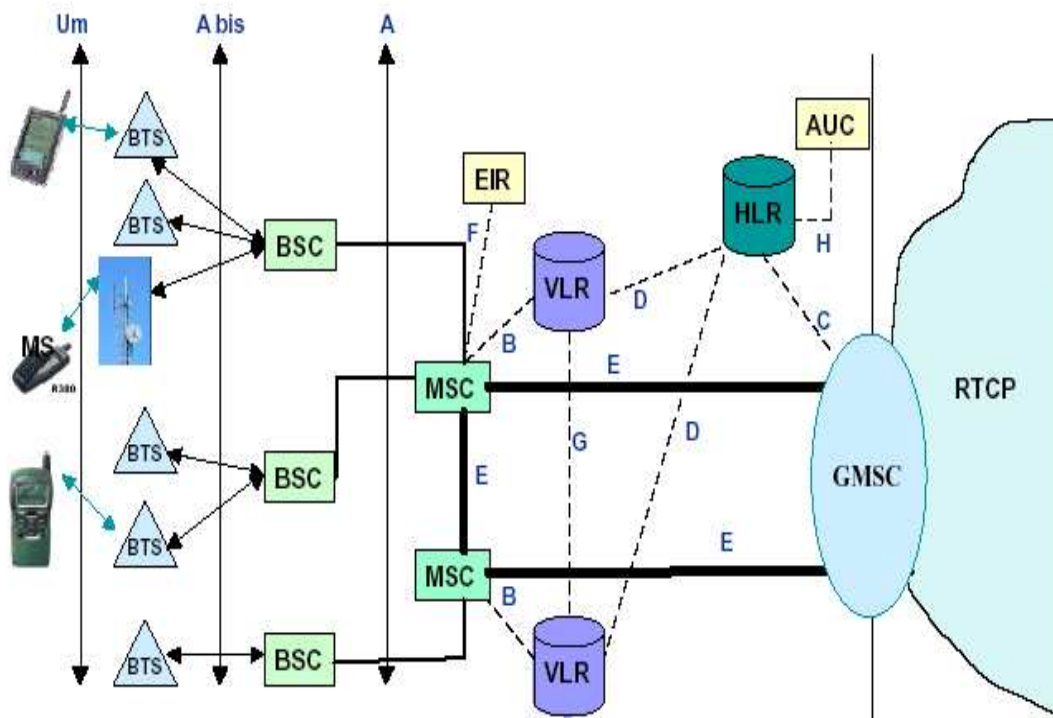


Fig. I.9.interfaces du réseau GSM.

VI. Architecture en couche du réseau GSM :

- *La couche 1 ou physique* : Défini l'ensemble des moyens physiques de transmission et de réception des informations (A-bis, MIC Um : gestion de multiplexage, codage correction d'erreurs, mesures radio).
- *La couche 2 ou liaison de données* : Fiabilise la transmission entre deux équipements par un protocole (LAPD et LAPDmobile).
- *La couche 3 ou réseau* : Etabli, maintient et libère les circuits commutés avec un abonné du réseau fixe. Elle se divise en trois sous-couches (Radio Ressource RR, Mobility Managment MM, Connection Manag CM)

VII. Transmission sur l'interface radio :

La transmission radio du réseau GSM est assurée par l'interface radio, c'est la partie la plus sophistiquée du système. Cette interface est caractérisée par les méthodes d'accès et techniques de transmission, utilisées pour transmettre la parole, tout en respectant les options prises lors de l'élaboration de la norme GSM, pour une utilisation efficace de la ressource radio.

VII.1. Fréquences de travail du GSM :

Dans le système GSM/DCS, deux bandes de fréquences sont utilisées, l'une autour des 900[Mhz] et l'autre autour de 1800[Mhz].

Dans sa version à 900 Mhz, la norme GSM occupe deux bandes de 25 Mhz espacées de 200 KHz. L'une utilisée pour le transfert d'appels du mobile vers la station de base (voie montante), elle se situe entre 890 et 915 Mhz, l'autre bande est utilisée pour les transmissions de la station de base vers les mobiles (voie descendante) et se situe entre 935 et 960Mhz.

D'une manière similaire, le DCS1800 occupe deux bandes de 75Mhz, une pour les voies montantes comprise entre 1710 et 1785Mhz, l'autre pour les voies descendantes comprises entre 1805 et 1880Mhz.

Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication a une largeur de bande de 200 [KHz], cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre les différents opérateurs pour le GSM [900] et 374 canaux pour le DCS [1800].

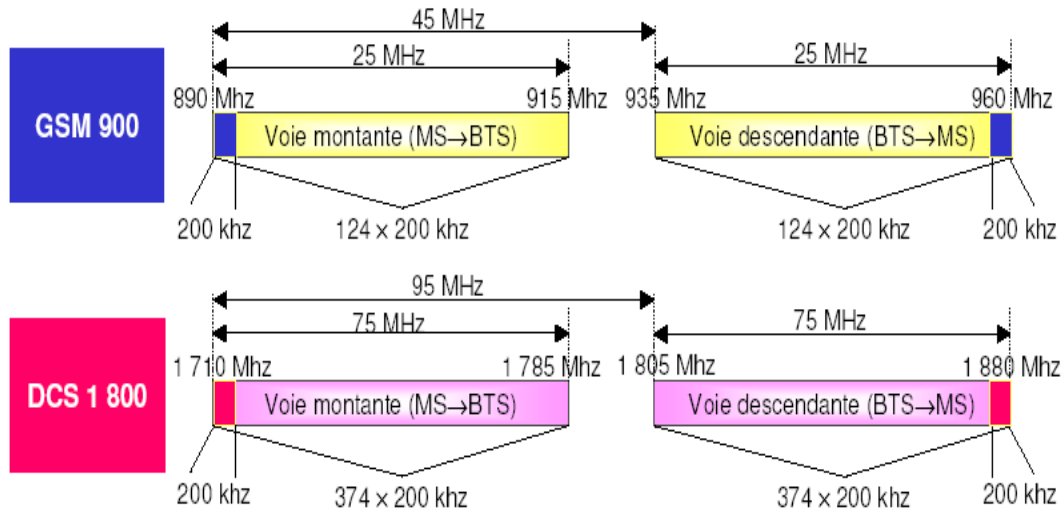


Fig. I.10. Bandes de fréquences GSM utilisées dans le monde.

VII.1.1. Multiplexage fréquentiel FDMA :

La bande dédiée au système GSM est divisée en 124 canaux fréquentiels de largeur 200[KHz]. Sur une des fréquences sont émis plusieurs signaux modulés autour d'une fréquence porteuse qui siège au centre de la bande, si on indique par F_u les fréquences porteuses montantes et par F_d les fréquences porteuses descendantes, les valeurs de fréquence porteuse valent :

$$F_u(n) = 890 + 0,2 \times (n - 1) [MHz] \dots \dots \dots (1.1).$$

Pour GSM 900:

Où : $1 \leq n \leq 124$.

$$F_d(n) = 935 + 0,2 \times (n - 1) [MHz] \dots \dots \dots (1.2).$$

$$F_u(n) = 1710 + 0,2 \times (n - 1) [MHz] \dots \dots \dots (1.3).$$

Pour DSC1800 :

Où : $1 \leq n \leq 374$.

$$F_d(n) = 1805 + 0,2 \times (n - 1) [MHz] \dots \dots \dots (1.4).$$

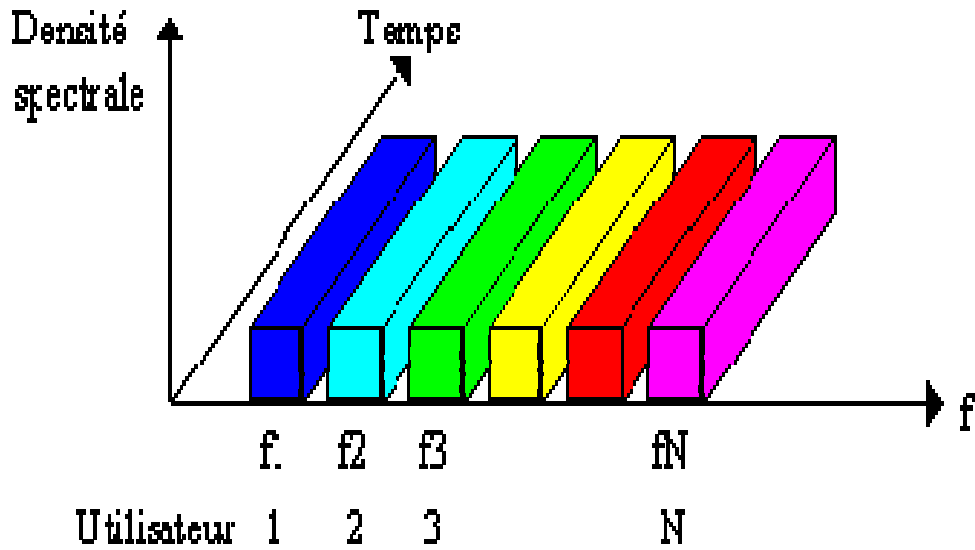


Fig. I.11. Technique FDMA.

VII.1.2. Multiplexage temporel TDMA :

Chaque porteuse est divisée en 8 intervalles de temps appelés time-slots. La durée d'un Slot a été fixée pour le GSM à 7500 périodes du signal de référence fourni par un quartz à 13[MHz] (un quartz qui rythme tous les mobiles GSM) :

$$T_{slot} = 7500/13\text{MHz} = 0,5769 \text{ ms soit environ } 577 \mu\text{s}.$$

L'accès TDMA permet à différents utilisateurs de partager une bande de fréquence donnée sur une même porteuse.

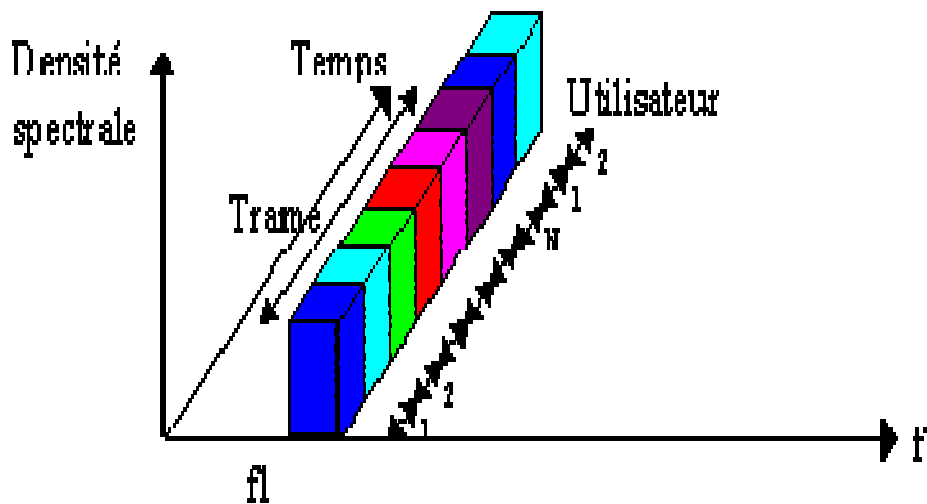


Fig. I.12. Technique TDMA.

VII.1.3. La modulation GMSK :

Le système GSM utilise une modulation numérique dite modulation GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) comme le suggère son nom, il s'agit d'une variante d'une modulation MSK appartenant à la famille des modulations de fréquence numériques, on utilise la GMSK car, en raison de la transition rapide entre 2 fréquences.

La modulation GMSK consiste à une modulation de fréquence à deux états, portant non pas sur la séquence originale mais sur une nouvelle séquence dont le bit n est produit comme le résultat de la fonction du OU exclusif entre le bit courant et le bit précédent. Après application du XOR, le signal est filtré par un filtre passe-bas pour remplacer les fronts montants et descendants par une transition progressive, ce qui diminue la largeur spectrale du signal modulé. La figure suivante montre la création d'un signal modulé en GMSK.

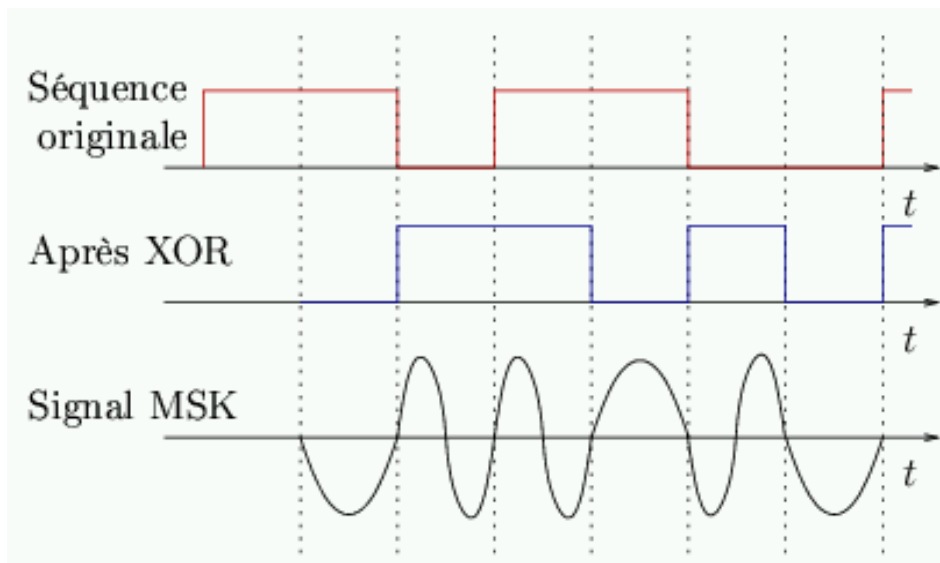


Fig. I.13. Création d'un signal modulé par GMSK au départ d'un signal binaire.

VII.1.4. Trame TDMA :

Sur une même porteuse, les slots sont regroupées par paquets de 8 qui constituent une trame TDMA.

La durée de la Trame est donc : $T_{TDMA} = 8 T_{slot} = 4,6152 \text{ ms}$.

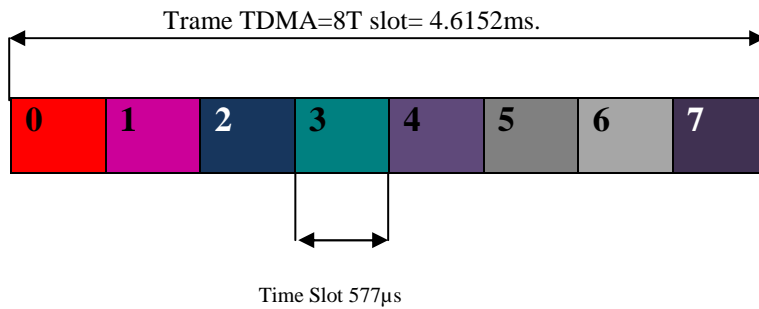


Fig. I.14. La Trame TDMA.

VII.1.5.Organisation des trames TDMA:

Une trame TDMA se compose de 8 slots, 7 pour la communication et un pour la signalisation, la norme GSM impose l'organisation du transport des slots sous forme d'une structure à 4 niveaux hiérarchiques de trames :

- ✓ La trame TDMA : 8 slots, $t = 4.615 \text{ ms}$.
- ✓ La multitrame : de 2 types possibles suivant le type de canaux à transporter.
 - ❖ Multitrame à 26 : Elle regroupe 26 trames TDMA, de durée de 20 ms.
 - ❖ Multitrame à 51 : Elle regroupe 51 trames TDMA, de durée de 235,365 ms.
- ✓ La supertrame : contient 1326 trames TDMA ; soit 26 multitrames à 51 ou bien 51 multitrames à 26. la durée de la supertrame est égale à 6,12s.
- ✓ **L'hypertrame** : Elle contient 2048 supertrames, soit 2 715 648 trames TDMA.
 $T_{Hypertrame} = 3\text{h}28\text{min}53\text{s}760\text{ms}$.

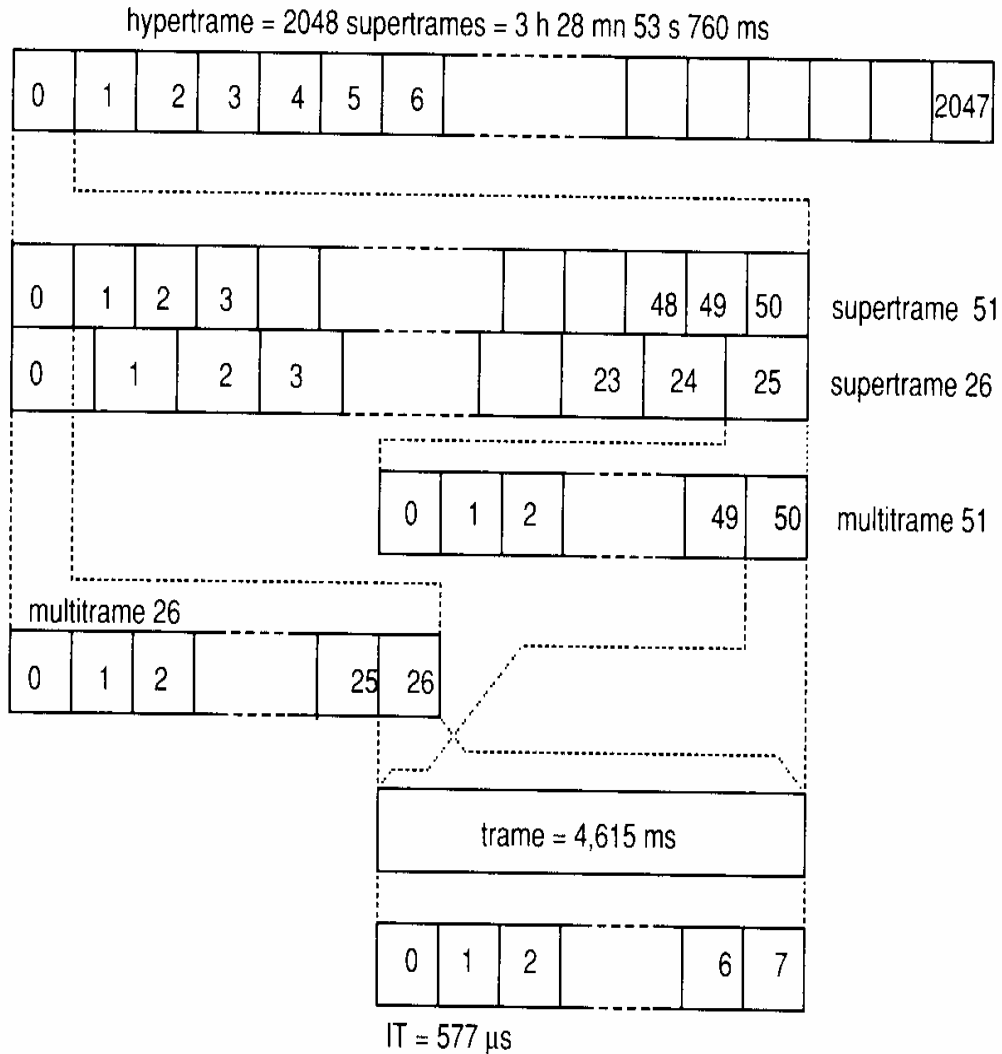


Fig. I.15. Organisation des multiples de trames.

VII.1.6. Structure des bursts:

Un mobile GSM en communication n'utilisera qu'un time-slot, ce qui permet de faire travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence d'une porteuse. Un slot accueille un élément du signal radioélectrique appelé burst.

La norme GSM définit 5 types de burst :

1. Les bursts d'accès.
2. Les bursts de synchronisation.

3. Les bursts normaux.
4. Les bursts de correction de fréquence.
5. Les bursts de bourrage.

Tous les types de burst ont une forme semblable, ils sont composés de :

- ✓ 3 bits d'entête (tail bit TB) de synchronisation.
- ✓ 148 bits utiles dont le format dépend du type de burst.
- ✓ 3 bits de fin, appelés aussi tail bit, terminés par une période temporelle de garde (Guard period), d'une durée de 29,4 μ s dont le but de séparer le contenu de 2 times slot successifs.

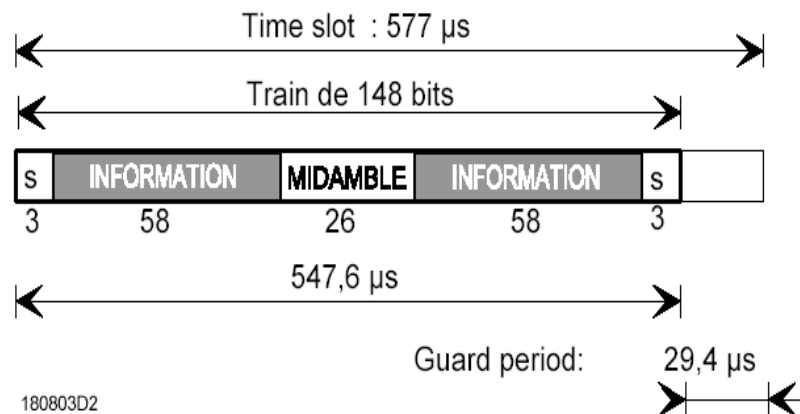


Fig. I.16. Structure d'un burst GSM.

VII.1.7. Implantation du saut de fréquence :

On parle de saut de fréquence là où la fréquence de transmission radio entre un mobile et une BTS, où le canal physique alloué à une conversation, est échangée à intervalles réguliers. Il a comme avantage d'offrir une transmission dont la qualité moyenne est améliorée. En pratique la qualité d'une liaison radio peut varier en fonction de la fréquence.

Avec le GSM 900, si la BTS transmet le premier burst à la fréquence F_1 , la réponse du téléphone mobile sera transmise à la fréquence F_1-45 [Mhz]. Pour le deuxième burst transmis à la fréquence F_2 , la réponse de portable sera transmise à la fréquence F_2-45 [Mhz], et ainsi de suite pour les bursts suivants.

En pratique une BTS, utilise au moins 3 ou 4 fréquence sur lesquelles les sauts peuvent être effectués. Il existe même des réseaux GSM dans lesquelles la porteuse réalise des sauts entre 20 porteuses.

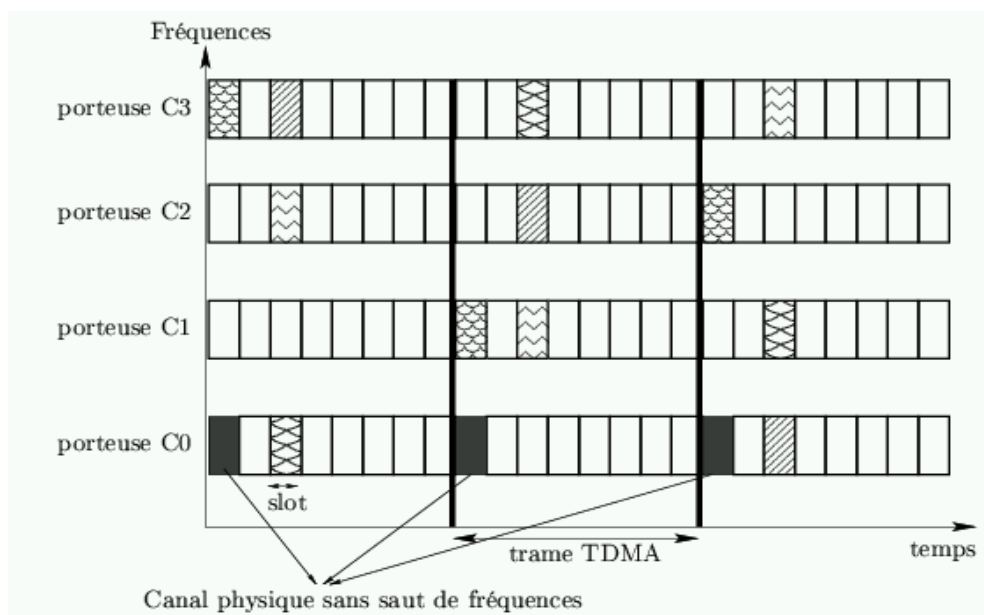


Fig. I.17.principe de saut de fréquence.

VII.1.8.Compensation des temps de propagation :

Soient 2 mobiles dans la même cellule mais ne se trouvent pas à la même distance par rapport à la BTS. Si ces 2 mobiles utilisent des slots consécutifs d'une même fréquence, il faut veiller à ce que les bursts (contenu physique des slots) envoyés ne se chevauchent pas au niveau de la BTS.

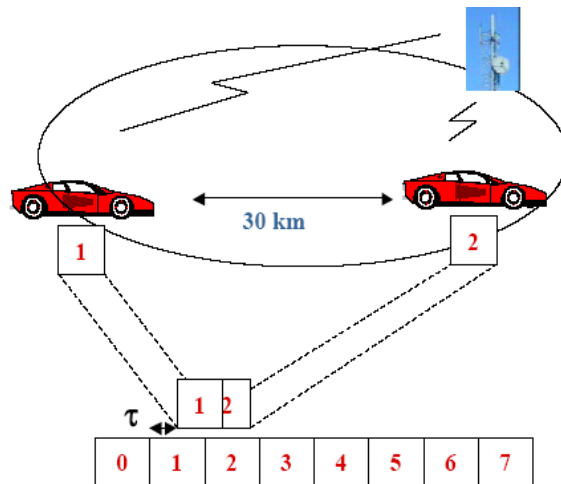


Fig. I.18.compensation du temps de propagation aller-retour.

Pour cela, on peut envisager 2 solutions :

1^{ère} solution : On augmente le temps de garde, temps de silence entre la fin du burst et du slot.

2^{ème} solution : consiste à gérer le paramètre de temps TA (Time Advance) qui correspond au temps de propagation aller-retour. Le mobile le plus loin de la BTS doit avancer l'émission de chacun de ses slots d'un temps correspondant au temps de propagation aller-retour.

Pour des cellules de 35 Km de diamètre, la première solution est nécessiterait de prévoir des intervalles de garde de 200 μ s, soit plus du tiers du slot.

Le système compense le délai de propagation en gérant le paramètre TA, un intervalle de garde de 30 μ s est nécessaire pour les temps de montée en puissance des signaux à émettre et pour couvrir une légère dérive possible du TA (le TA est véhiculé par l'interface air ; sa propagation peut être perturbée).

VII.1.9.Les différents canaux :

VII.1.9.1.Canaux physiques :

Chaque utilisateur dispose d'un slot par trame TDMA. La répétition périodique d'un slot dans les trames sur une fréquence particulière constitue un canal physique. Un canal physique convoie un ou plusieurs canaux logiques, il est caractérisé par :

- ✓ Une paire de fréquences ;
- ✓ Un slot particulier par fréquence choisi parmi 8.

VII.1.9.2. Les différents canaux logiques :

Pour supporter les différentes fonctions spécifiées par la norme, il faut prévoir plusieurs fonctions de contrôle de nature et de niveau varié sur l'interface radio. On peut diviser ces canaux en 3 types :

a. Les canaux dédiés :

- Canal de contrôle dédié autonome SDCCH.
- Canal de trafic TCH.
- Canal de contrôle lent associé SACCH.
- Canal de contrôle rapide associé FACCH.

b. Les canaux de diffusion :

- Canal de correction de fréquence FCCH.
- Canal de synchronisation SCH.
- Canal de contrôle de diffusion BCCH.

c. Les canaux de contrôle communs CCCH :

- Canal d'accès aléatoire RACH.
- Canal de paging PCH.
- Canal d'allocation de ressource AGCH.
- Canal de transmission radio à partir d'une cellule CBCH.

VIII. Acheminement des appels :

Deux types d'appels illustrent le fonctionnement des entités d'un réseau, l'appel d'un abonné du réseau GSM vers un abonné du réseau fixe et le contraire.

VIII.1. Appel d'un abonné du réseau GSM vers un réseau fixe (appel sortant) :

Pour émettre un appel l'abonné de réseau GSM compose le numéro de son correspondant. Une fois l'appel est validé, la BTS accède au réseau pour demander un

canal radio sur lequel elle peut échanger de la signalisation. Elle envoie un message au MSC/VLR qui précise l'identité de mobile, le type de service demandé et d'autres informations.

Le réseau engage une procédure d'authentification, puis active le chiffrement, puis il ordonne au BSC d'allouer un canal radio de trafic pour cet abonné et il envoie le numéro du correspondant à une centrale dans le réseau public qui établit la connexion avec le correspondant.

VIII.2.Appel d'un abonné du réseau fixe vers un abonné réseau GSM (appel entrant) :

L'abonné du réseau GSM peut être joint à condition que son mobile soit sous tension et qu'il se trouve dans une zone de service autorisé par son abonnement. Pour qu'il reçoive un appel, l'abonné fixe compose le numéro de l'abonné mobile demandé, les traitements se font comme suit :

- 1) Le numéro est analysé par le central local du PSTN qui établit la connexion avec le GMSC le plus proche.
- 2) Le GMSC interroge le HLR de l'abonné mobile demandé pour connaître sa localisation.
- 3) Le HLR vérifie que cet abonné est bien validé dans le réseau, et recherche son IMSI et le VLR auprès duquel il est enregistré puis demande au VLR le MSRN (4).
- 5) Le numéro une fois alloué, est mémorisé par le VLR et retransmis au GMSC celui-ci peut établir donc un circuit vers MSC/VLR (6).
- 7) Le MSC/VLR diffuse un message de recherche contenant un TMSI ou IMSI dans les cellules de localisation, puis les BSC distribuent le message de recherche aux différentes BTS qui vont le transmettre sur l'interface radio à travers un canal logique. Quand la MS détecte le message de recherche, elle envoie une demande pour un canal de signalisation (SDCCG), le BSC utilise le canal d'autorisation d'accès (AGCH) pour

indiquer à la MS comment accéder au canal SDCCH sur lequel les échanges d'informations s'établissent. Un canal de trafic TCH et un canal de signalisation SACCH associé pour la supervision de la liaison, sont alloués à la MS et le canal SDCCH est libéré, le mobil sonne, si l'abonné répond la communication est établie.

Dans le cas où l'appel provient d'un mobile, les différentes phases de l'appel reste les même sauf que le GMSC au lieu d'être connecté à un central de réseau PSTN, il est connecté à un autre MSC/VLR d'où l'appel arrive.

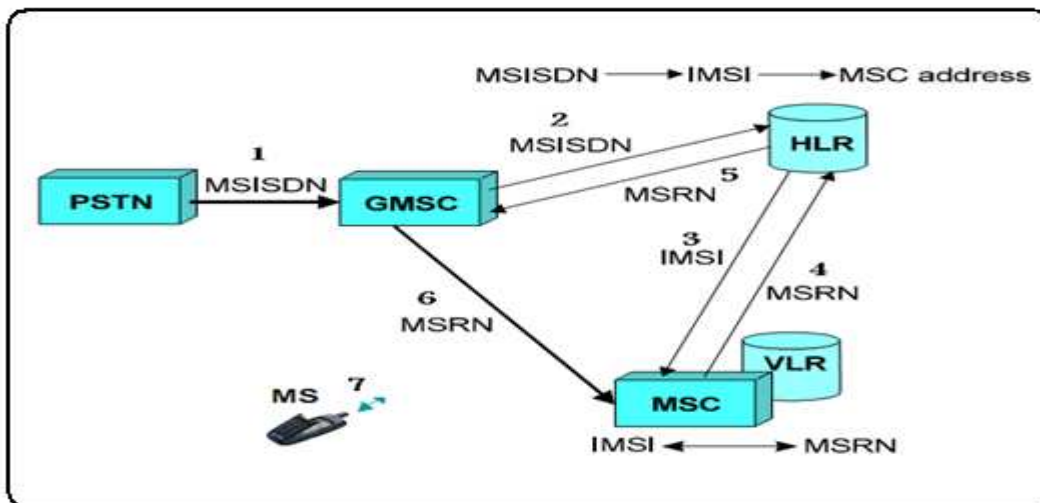


Fig. I.18. Acheminement des appels.

I. Préambule :

La transmission d'information entre la station mobile et la station de base utilise une onde radioélectrique, comme toute Onde Electromagnétique (OEM).

Une OEM est caractérisé par la présence d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{H} perpendiculaire l'un par rapport à l'autre, la variation de ces deux champs produit une Onde Electromagnétique qui se propage dans une direction perpendiculaire à celles des lignes de champ électrique et magnétique.

Donc par définition ; une OEM est l'association d'un champ électrique périodique sinusoïdal, \vec{E} , et d'un champ magnétique \vec{H} sinusoïdale de même période, perpendiculaire en tout point, comme le montre la figure suivante.

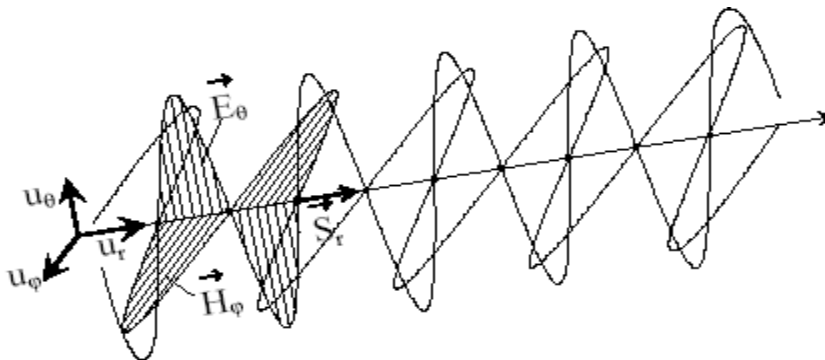


Fig. II.1. Composition d'une Onde Electromagnétique.

Propriétés :

- 1) L'OEM se propage dans le vide.
- 2) Dans le vide l'OEM se propage perpendiculairement au plan formé par les vecteurs (\vec{E}, \vec{H}) à une vitesse constante C .
- 3) La propagation de cette onde plane est rectiligne.

II. Caractéristiques d'une Onde Electromagnétique :

L'OEM est caractérisée par sa puissance de rayonnement, sa polarisation et sa fréquence.

▪ *Puissance de rayonnement d'une Onde Electromagnétique :*

L'OEM est une énergie du rayonnement (P_t) qui est émise par une source de charge (S) d'une façon uniforme dans toutes les directions de l'espace, elle est d'autant plus forte que les intensités des champs électrique et magnétique sont grandes. La densité de rayonnement (P_r) à une distance r de la source est calculée par la relation suivante :

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

▪ *Polarisation d'une Onde Electromagnétique :*

Elle correspond au plan dans lequel varie le champ électrique, ce phénomène de polarisation s'explique grâce à l'équation de propagation de l'OEM. On peut décomposer le champ électrique \vec{E} en deux composantes orthogonales. Ces deux composantes ont une évolution sinusoïdale.

Lorsque les deux composantes oscillent en même temps, on obtient une polarisation rectiligne (schémas-a-) c.-à-d. la direction de champ électrique reste dans le même plan, ce dernier peut être verticale, on aura une polarisation verticale, comme il peut être horizontale et dans ce cas on aura une polarisation horizontale.

Si les deux composantes présentent un déphasage, on obtient une polarisation elliptique (schémas-b-).

Si ce déphasage vaut 90° et les deux composantes ont une même amplitude, la polarisation est circulaire (schémas-c-).

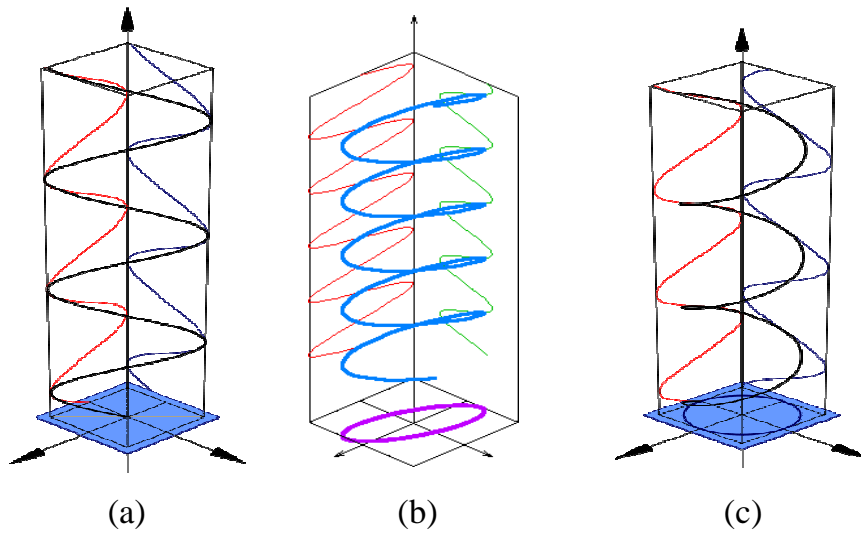


Fig. II.2.Polarisation d'une onde électromagnétique.

▪ **Fréquence et longueur d'Onde Electromagnétique :**

La distance parcourue par une OEM pendant une période d'oscillation T , avec une vitesse constante C , définit sa longueur d'onde λ .

$$\lambda = C \times T \dots\dots\dots (2.2).$$

Le nombre d'oscillation d'une OEM par seconde définit sa fréquence F .

$$F = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.3).$$

II.1. Le spectre Electromagnétiques :

Un spectre électromagnétique est la décomposition d'un rayonnement électromagnétique en fonction de sa longueur d'onde, de sa fréquence ou de l'énergie de ses photons.

Les ondes électromagnétiques sont désignées par différents termes, en fonction des gammes de fréquence (ou de longueur d'ondes).

- *Les ondes radio et les ondes radar* sont produites par des courants électriques de haute fréquence (HF).

- Les ondes infrarouges, la lumière visible et le rayonnement ultraviolet sont produits par des transitions électroniques dans les atomes, concernant les électrons périphériques, ainsi que par le rayonnement thermique.
- Les rayons X sont produits lors des transitions électroniques. Ils sont générés par la radioactivité, par freinage d'électrons ou par rayonnement synchrotron.
- Le rayonnement γ (gamma) est produit par la radioactivité lors de la désexcitation d'un noyau.
- Le rayon cosmique est venant de l'univers, ces rayons sont très difficiles à détecter car ils passent à travers la matière sans interagir avec elle.

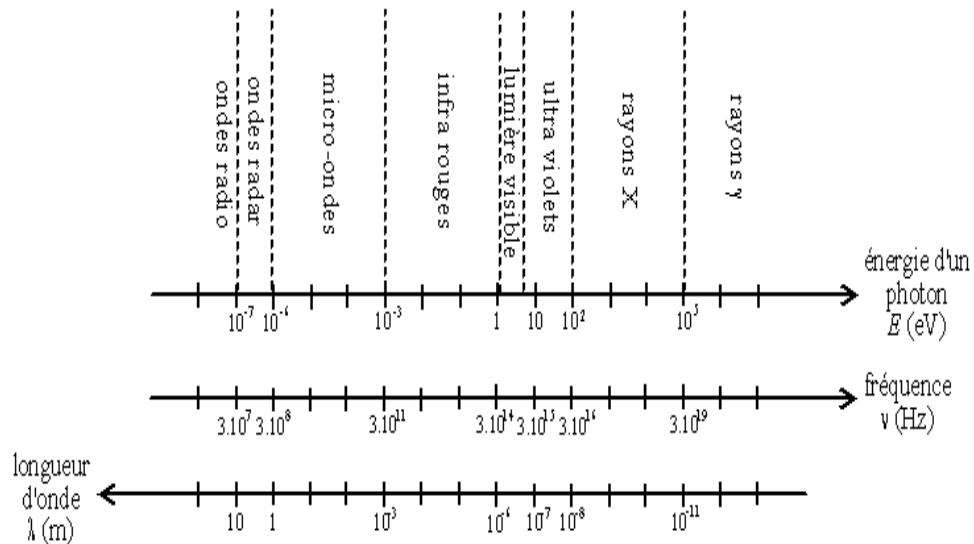


Fig. II.3. classement des OEM par longueur d'onde, fréquence et énergie des photons.

III. Propagation des Ondes Electromagnétiques :

L'onde électromagnétique se propage dans l'atmosphère entre les émetteurs et les récepteurs suivant les équations de propagations, qui sont régies sur les équations de MAXWELL qui conduisent à une équation d'onde propagatrice.

III.1. Différentes couches de l'atmosphère :

L'atmosphère est composée des couches suivantes :

1. *Troposphère* : La troposphère est la couche qui en contact avec le sol, elle s'étend jusqu'à 10 Km d'altitude et est le siège des phénomènes climatiques.
2. *Stratosphère* : s'étend de 10 à 40 Km d'altitude, elle intervient peu dans la propagation des ondes.
3. *Ionosphère* : s'étend de 40 à 1000Km d'altitude, elle est exposée au rayonnement solaire ainsi qu'aux rayons cosmiques et aux météorites qui provoquent l'ionisation des molécules, elle absorbe ou réfléchit les ondes radioélectriques.
4. *Exosphère* : L'exosphère est la couche ultime de l'atmosphère; elle joue peu de rôle en communications radio; elles sont constituées principalement d'électrons et de protons provenant du soleil et piégés par le champ magnétique terrestre.

III.2. Milieu de propagation :

- ✓ *Milieu linéaire*: un milieu est dit linéaire si lorsqu'il est soumis à un champ.
- ✓ *Milieu homogène* : un milieu est dit homogène si ses propriétés sont identiques d'un point à un autre.
- ✓ *Milieu isotrope* : un milieu est dit isotrope si ses propriétés sont les mêmes dans toutes les directions.

III.3. Caractéristique du milieu de propagation :

1. *Absorption* : Les ondes se propagent dans un milieu matériel s'atténuent en raison d'une dissipation d'énergie, on dit que l'onde est absorbée par le milieu. L'absorption est observée lorsqu'une OEM traverse des zones pluies, de nuages ou de brouillard. Les gouttelettes d'eau présentes dans l'atmosphère causent des pertes. Cependant, les atténuations augmentent avec la fréquence, c'est ainsi que

chaque milieu est caractérisé par sa raie d'absorption qui correspond à la fréquence dans laquelle l'absorption est maximale.

2. **Dispersion** : de la même façon la célérité (vitesse) des ondes dans un milieu dépend de la fréquence, cet effet appelé dispersion, introduit de ce fait une distorsion de phase dans le signal transmis, dans la mesure où toutes les fréquences du spectre transmis n'ont pas le même retard.

IV. Les équations de MAXWELL :

Elles constituent les postulats de base de l'électromagnétisme, on les donne sans démonstration.

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \dots \dots \dots (2.4).$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho \dots \dots \dots (2.5).$$

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \dots \dots \dots (2.6).$$

$$\text{div } \vec{B} = 0 \dots \dots \dots (2.7).$$

IV.1. Les équations constitutives de la matière :

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \dots \dots \dots (2.8).$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \dots \dots \dots (2.9).$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \dots \dots \dots (2.10).$$

✓ μ : est la perméabilité magnétique, donnée en Henry/mètre (H/m).

La perméabilité magnétique du milieu s'exprime par le produit de la perméabilité du vide μ_0 et de la perméabilité relative μ_r .

$$\mu = \mu_0 \mu_r \dots\dots\dots (2.11).$$

- μ_0 : Est une constante magnétique universelle $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.
- μ_r : Dépend du milieu, par exemple dans l'air, le vide, les gaz, la terre et d'autres matériaux est égale à un, c'est-à-dire ces milieux ne conduisent pas du champ magnétique.

✓ ϵ : Est la permittivité diélectrique du milieu donnée en Faraday/mètre (F/m), elle s'exprime par le produit de la permittivité de vide ϵ_0 et de la permittivité relative ϵ_r (ϵ_r généralement n'est pas constante).

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \dots\dots\dots (2.12).$$

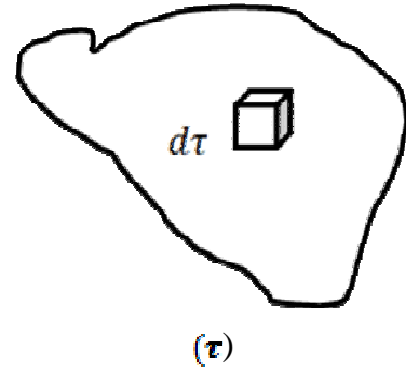
Avec : $\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12}$ F/m.

- ✓ σ : Est la conductivité de milieu.
- ✓ ρ : Est la densité de charge électrique.
- ✓ \vec{E} : Est le champ électrique donné par Volts/mètres.
- ✓ \vec{H} : Est le champ magnétique.
- ✓ \vec{D} : Est le champ d'induction électrique.
- ✓ \vec{B} : Est le champ d'induction magnétique s'exprime en Tesla.
- ✓ \vec{j} : Est la densité de courant, utilisée pour manipuler les phénomènes de conduction électrique.

IV.2. Signification des équations de MAXWELL :

On suppose un volume élémentaire ($d\tau$)
contient dans un volume(τ)

1. On a : $\text{div } \vec{D} = \rho$.



Dans le petit volume ($d\tau$) on a : $\text{div } \vec{D} d\tau = \rho d\tau$.

En intégrant sur tout le volume(τ), on aura : $\iiint_{(\tau)} \text{div } \vec{D} d\tau = \iiint_{(\tau)} \rho d\tau$.

D'après le théorème de la divergence on a : $\iiint_{(\tau)} \text{div } \vec{D} d\tau = \oiint_S \vec{D} ds$.

Donc : $\oiint_S \vec{D} ds = \iiint_{(\tau)} \rho d\tau$; ce résultat signifie que le flux de l'induction électrique à travers une surface fermée (S) contenant les charges électriques est égale à la charge totale contenue à l'intérieure de celle-ci.

2. On a $\text{div } \vec{B} = 0$.

En intégrant sur tout le volume(τ), on aura : $\iiint_{(\tau)} \text{div } \vec{B} d\tau = \oiint_S \vec{0} d\tau$.

D'après le théorème de la divergence on a : $\iiint_{(\tau)} \text{div } \vec{B} d\tau = \oiint_S \vec{B} ds$.

Donc : $\oiint_S \vec{B} ds = \iiint_{(\tau)} \text{div } \vec{B} d\tau = 0$; ce qui signifie la non existence de charges magnétiques.

$$3. \text{ On a } \overline{\text{rot}}\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}.$$

On suppose une surface élémentaire ($d\vec{s}$) appartient à la surface (\mathcal{S}),

$$\text{Donc : } \overline{\text{rot}}\vec{H} d\vec{s} = \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right) d\vec{s}.$$

$$\text{En intégrant sur toute la surface } (\mathcal{S}), \text{ on aura : } \iint_{\mathcal{S}} \overline{\text{rot}}\vec{H} d\vec{s} = \iint_{\mathcal{S}} \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right) d\vec{s}.$$

$$\text{D'après le théorème de stocks on a : } \iint_{\mathcal{S}} \overline{\text{rot}}\vec{H} d\vec{s} = \oint_{(\mathcal{C})} \vec{H} d\vec{l}.$$

D'où : $\oint_{(\mathcal{C})} \vec{H} d\vec{l} = \iint_{\mathcal{S}} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{s} + \iint_{\mathcal{S}} \vec{J} d\vec{s}$; Cette relation signifie que la force magnétomotrice d'un circuit fermé est égale à la somme des courants enlacés par le contour qui referme la surface (\mathcal{S}).

$$4. \text{ On a } \overline{\text{rot}}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

$$\text{Sur la surface élémentaire } (d\vec{s}), \text{ on a : } \overline{\text{rot}}\vec{E} d\vec{s} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s}.$$

$$\text{En intégrant sur toute la surface } (\mathcal{S}), \text{ on aura } \iint_{\mathcal{S}} \overline{\text{rot}}\vec{E} d\vec{s} = \iint_{\mathcal{S}} -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s}.$$

$$\text{D'après le théorème de stocks on a : } \iint_{\mathcal{S}} \overline{\text{rot}}\vec{E} d\vec{s} = \oint_{(\mathcal{C})} \vec{H} d\vec{l}.$$

Donc : $\oint_{(\mathcal{C})} \vec{H} d\vec{l} = -\iint_{\mathcal{S}} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s} = \mathbf{e}$, Ce qui signifie que la force électromotrice d'un circuit fermé est égale à l'opposé de la vitesse de variation de l'induction magnétique à travers la surface (\mathcal{S}) qui s'appuie sur un contour (\mathcal{C}).

IV.3. Equation de propagation des OEM :

L'équation de propagation d'une onde électromagnétique peut être calculée à partir des équations de Maxwell

IV.3.1. Équation relative au champ électrique \vec{E} :

$$\text{On a: } \overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} ;$$

On fait le rotationnel des deux membres de cette équation, on aura ;

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E}) = \overrightarrow{\text{rot}}\left(- \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) = - \frac{\partial}{\partial t} (\overrightarrow{\text{rot}} \vec{B}).$$

$$\text{Et comme : } \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad \overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}, \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E} \text{ et } \vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\text{Donc : } \overrightarrow{\text{rot}} \vec{B} = \mu \overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \mu \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right).$$

En utilisant les propriétés des opérateurs vectoriels, soit :

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E}) = \overrightarrow{\text{grad}}(\text{div} \vec{E}) - \Delta \vec{E} .$$

$$\text{On obtient alors: } \overrightarrow{\text{grad}}(\text{div} \vec{E}) - \Delta \vec{E} = -\mu \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \sigma \vec{E} \right) \right).$$

Pour un milieu non chargé, ou chargé de manière uniforme, on a :

$$\text{div} \vec{E} = \text{div} \frac{\vec{D}}{\epsilon} = \frac{\rho}{\epsilon} ; \text{ qui représente une constante, dont le gradient est nul.}$$

$$\text{Dans ce cas : } \overrightarrow{\text{grad}}(\text{div} \vec{E}) = \overrightarrow{\text{grad}} \left(\text{div} \frac{\vec{D}}{\epsilon} \right) = \mathbf{0} .$$

D'où finalement, l'équation de propagation de l'onde électromagnétique suivant son champ électrique \vec{E} :

$$\Delta \vec{E} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \dots\dots\dots (2.13).$$

Dans un milieu parfait isolant illimité et non chargé, on a : $\sigma = 0$, ce qui donne :

$$\Delta \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \vec{0} \dots\dots\dots (2.14).$$

La vitesse $C = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ est la vitesse de propagation de l'OEM.

Dans le vide loin de toute charge électrique on a :

$$\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12} \text{ (F/m)} \text{ et } \mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ (H/m)}.$$

$$\text{Donc: } C = \frac{1}{\sqrt{8,854187 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} = 299792471,8 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

IV.3.2.Équation relative au champ Magnétique \vec{H} :

$$\text{On a: } \overrightarrow{\text{rot}} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J};$$

On fait le rotationnel des deux membres de cette équation, on aura ;

$$\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H}) = \overrightarrow{\text{rot}} \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right).$$

$$\text{Donc : } \overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H}) = \overrightarrow{\text{rot}} \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) + \overrightarrow{\text{rot}} \vec{J}.$$

$$\text{Et comme : } \vec{B} = \mu \vec{H}, \vec{D} = \epsilon \vec{E}, \vec{J} = \sigma \vec{E} \text{ et } \overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

$$\text{Donc : } \overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}} \vec{H}) = \frac{\partial}{\partial t} \overrightarrow{\text{rot}}(\epsilon \vec{E}) + \overrightarrow{\text{rot}}(\sigma \vec{E}).$$

D'où : $\overline{\text{rot}}(\overline{\text{rot}}\vec{H}) = -\epsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) - \sigma \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$.

Ce qui veut dire que : $\overline{\text{rot}}(\overline{\text{rot}}\vec{H}) = -\mu \epsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{H} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$.

En utilisant les propriétés des opérateurs vectoriels, on a :

$\overline{\text{rot}}(\overline{\text{rot}}\vec{H}) = \overline{\text{grad}}(\text{div}\vec{H}) - \Delta \vec{H}$.

$\overline{\text{grad}}(\text{div}\vec{H}) - \Delta \vec{H} = -\mu \epsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{H} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$.

Dans un milieu non chargé, ou chargé de manière uniforme on a :

$\text{div}\vec{H} = \text{div} \frac{\vec{B}}{\mu} = 0$, dont le gradient est nul.

Ce qui veut dire: $\overline{\text{grad}}(\text{div}\vec{H}) = \overline{\text{grad}}\left(\text{div} \frac{\vec{B}}{\mu}\right) = 0$.

D'où finalement, l'équation de propagation de l'onde électromagnétique suivant son champ magnétique \vec{H} :

$\Delta \vec{H} - \mu \epsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{H} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \vec{0}$ (2.15).

Dans un milieu parfait isolant et non chargé, on a : $\sigma = 0$, donc :

$\Delta \vec{H} - \mu \epsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{H} = \vec{0}$ (2.16).

Cette dernière représente une équation de propagation de champ magnétique \vec{H} avec une vitesse $C = 3.10^8 \text{ m/s}$.

V. Type de propagation des ondes Electromagnétiques :

L'onde émise entre l'antenne d'émission et de réception situées au voisinage de la terre, suit quatre trajets.

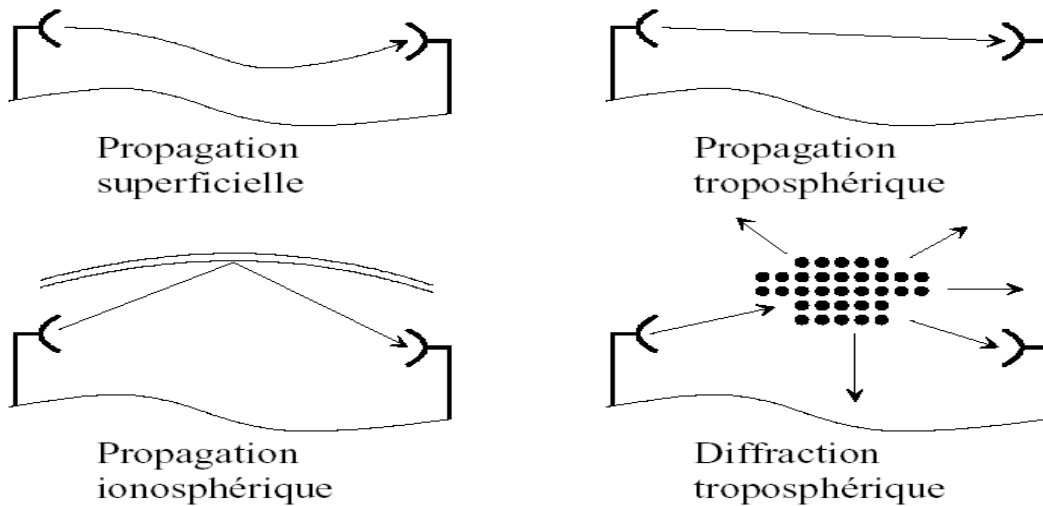


Fig. II.4.Types de propagation.

V.1. Propagation superficielle :

Encore appelée onde de sol, la composante horizontale de champ électrique \vec{E} interagit avec le sol, générant des pertes et ne reste que sa composante verticale. Les pertes dues à l'interaction de l'onde avec le sol sont d'autant plus élevées que la fréquence est élevée et que la conductivité du sol est faible; pour cette raison, la portée des transmissions par ondes de surface est élevée pour les ondes longues et moyennes, mais faible pour les ondes courtes et ultracourtes.

V.2. Propagation ionosphérique :

Dans l'ionosphère on constate des zones d'ombre dans lesquelles aucune réception n'est possible, à partir d'une fréquence critique, les OEM ne sont plus réfléchies et s'échappent de l'atmosphère. Les ondes courtes se propagent principalement de cette manière.

Avantage :

En choisissant convenablement la puissance, le type d'antenne et la fréquence, on peut atteindre pratiquement n'importe quel point de la terre.

Inconvénient :

Ce mode de propagation est peu fiable.

V.3. Propagation troposphérique :

Les ondes se déplacent en ligne droite dans le vide et accomplissent la totalité de leur trajet dans la couche la plus basse de l'atmosphère. Elles sont donc influencées par la météo (pluie, brouillard, etc.) et par les obstacles naturels (montagnes, forêts, etc.) et artificiels (bâtiments élevés).

Faisceaux hertziens (Microwave links) :

Les faisceaux hertziens sont un exemple typique de propagation troposphérique. Pour des liaisons avec des antennes en visibilité directe (lorsque les deux points à relier sont proches et en espace dégagé), la liaison peut être établie directement.

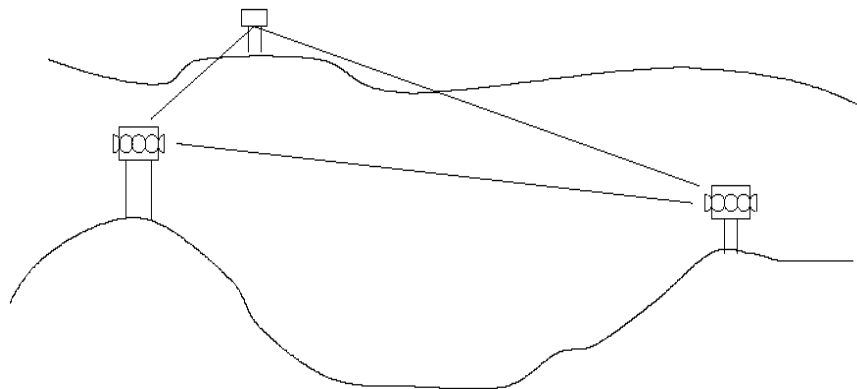


Fig. II.5. propagation par visibilité directe.

Principales caractéristiques

- Transmission hertzienne (par onde électromagnétique) entre deux points fixes.

- Antennes très directives (antennes paraboliques).
- Puissance émises relativement faibles (< 20W).
- Systèmes analogiques ou numériques (PSK, GSM).
- Domaine de fréquence: 250 MHz à 40 GHz (principalement 2 à 20 GHz).
- Fonctionnement en visibilité directe, éventuellement avec relais passifs.

V.4. Propagation en espace libre :

On considère deux antennes de gain respectif G_e et G_r , dirigées d'une façon à présenter le gain maximal. La puissance reçue par l'antenne de réception peut être calculée par l'équation des télécommunications suivante :

$$P_r = P_e G_e G_r \frac{\lambda^2}{16d^2 \pi^2} = \frac{P_e G_e G_r}{(4\pi/c)^2 f^2 d^2} \dots \dots \dots (2.17).$$

P_r : La puissance reçue.

P_e : La puissance émise.

G_e : Le gain de l'antenne d'émission.

G_r : Le gain de l'antenne de réception.

λ : La longueur d'onde.

d : La distance entre l'émetteur et le récepteur.

f : est la fréquence d'émission.

Dans cette équation, la puissance reçue est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare l'émetteur et le récepteur, le dénominateur est indépendant des caractéristiques de l'antenne et correspond à un affaiblissement en fonction de la distance.

Pour f fixe ; $L = \left(\frac{4}{c}\right)^2 f^2 d^2 \dots\dots\dots (2.18)$.

L'affaiblissement peut s'exprime en dB et devient :

$$L = 32,4 + 20 \text{Log}(f) + 20\text{Log}(d) \dots\dots\dots (2.19).$$

Avec d exprimé en Km et f en Mhz.

Pour que l'équation de télécommunication soit applicable, il faut que l'émetteur et le récepteur soient en visibilité directe (LOS : Line Of Sight), autrement dit, il faut que l'ellipsoïde de Fresnel soit dégagée. Lorsque cette condition n'est pas satisfaite, ce qui est souvent le cas dans les transmissions radio électriques, l'onde radioélectrique peut être confrontée aux différents obstacles qui dérivent sa trajectoire.

VI. Modèles de propagations :

Les études de la propagation des OEM dans l'atmosphère constituent une tâche très difficile c'est pour ça qu'il faut prendre en considération les effets de tous les éléments qui constituent l'environnement. Des études mathématiques et statistiques ont été faites dans le but de modéliser les différents environnements. Plusieurs modèles de prédictions ont été alors définis, ils s'appuient sur des formules mathématiques et des algorithmes de calcul qui donnent l'affaiblissement en fonction de plusieurs paramètres.

Les opérateurs des réseaux cellulaires utilisent des logicielles de prédiction s'appuyant sur ces modèles de propagation. Chaque environnement (urbain, suburbain ou rural) possède son propre modèle, ces modèles se différencient aussi selon plusieurs critères, on distingue des modèles pour les macrocellules et des modèles pour des microcellules.

VI.1. Modèle à trois étages :

Dans les cas les plus courants, le récepteur et l'émetteur ne sont pas en visibilité directe, alors on approxime fréquemment l'atténuation de canal par un modèle à trois étages.

L'atténuation s'écrit alors : $\frac{1}{l} = \left(\frac{1}{pl(f,d)}\right) a_s a_f \dots \dots \dots (2.20)$.

- ✓ **Atténuation médiane** $pl(f,d)$; est en fonction de la fréquence et de la distance, appelé affaiblissement parcours (Path Loss).
- ✓ **Effet de masque** a_s ; il présente une variation sur les conditions de propagation.
- ✓ **Evanouissement** a_f ; est dû à la réception simultanée des signaux correspond aux différents trajets d'un même signal.

VI.2. Modèles Macrocellulaires :

Ils sont caractérisés par des paramètres suivants :

- ✓ La hauteur de la station de base h_b est comprise entre 30 à 200m.
- ✓ La hauteur de l'antenne de mobile h_m est comprise entre 1 à 10m.
- ✓ La distance entre le mobile et la station de base peut varier entre 1 et 20Km.
- ✓ La fréquence d'utilisation est de l'ordre des Mhz pour le cas de GSM900.

Il existe plusieurs modèles macrocellulaires, les un sont différenciés par rapport aux autre par leurs fréquences d'utilisation, on distingue notamment le modèle de HATA qui est très utilisé, il s'applique sur des systèmes ayant des fréquences comprises entre 150 et 1000 [Mhz]. UN autre modèle aussi important est celui nommé COST231-HATA [voir annexe] qui est une amélioration du modèle de HATA [voir annexe], il s'adapte aux systèmes dont les fréquences comprises entre 800 et 2000[Mhz].

VI.3. Modèles microcellulaires :

Ils sont utilisés dans les zones urbaines où les puissances des émetteurs sont faibles, le modèle le plus utilisé est celui proposé par COST231 car il est adéquat pour les fréquences allant de 800Mhz jusqu'à 2000Mhz, la hauteur des antennes mobiles varient entre 1 et 3m, et celle des stations de base entre 4 et 50m.

VI.4. Propagation à l'intérieur d'un bâtiment :

L'atténuation supplémentaire apportée par la traversée de bâtiment dépend de la nature des murs (brique, bétons armé,...) et de leur épaisseur. Des mesures ont été faites à 900Mhz et à 1800Mhz dans les conditions différentes par des équipes différentes. Les résultats sont divers et variés.

Il est cependant possible de souligner les phénomènes généraux suivant :

- ✓ La pénétration d'une onde n'est pas possible lorsque l'épaisseur de l'obstacle est bien supérieure à la longueur d'onde.
- ✓ Une onde pénètre via une ouverture dont la taille est au moins de l'ordre de longueur d'onde.
- ✓ Les phénomènes d'évanouissement sont beaucoup plus sévères à l'intérieur d'un bâtiment.

Plus la fréquence est haute, moins la pénétration par réfraction est importante et par conséquent plus les réflexions sont grandes. L'effet guide d'onde est donc plus important à 1800Mhz qu'à 900Mhz et peut avoir tendance à favoriser la propagation à l'intérieur d'un bâtiment. Cependant, si l'émetteur est à l'extérieur du bâtiment, la bande des 900Mhz est favorisée grâce à une pénétration plus facile.

Des études à 900Mhz font apparaître une perte supplémentaire de 12dB à moins de 1 mètre d'une fenêtre et une perte moyenne de 18 dB à l'intérieur des bâtiments

avec des variations allant de 12 à 17 dB avec une valeur typique de 15 dB pour des bâtiments en biton.

VI.5. Phénomènes de propagations :

Dans la nature, chaque milieu se caractérise par un indice de réfraction $n=c/v$, où c est la célérité de la lumière et v la vitesse de propagation des OEM dans le milieu considéré. Les mécanismes de propagations s'intéressent aux phénomènes observés lors de la propagation d'une OEM à travers une interface entre deux milieux avec les indices n différents :

VI.5.1. la réfraction : L'indice de réfraction de l'air dépend directement de sa densité, qui elle, varie avec l'altitude et la température. L'indice de réfraction diminue avec l'altitude.

La direction de propagation est déviée vers l'indice le plus grand, c'est à dire vers le sol. Les ondes se propagent donc avec une courbure dans le même sens que la courbure terrestre.

VI.5.2. La réflexion : a lieu quand l'onde rencontre une surface réfléchissante.

Ces deux mécanismes sont pris en considération lors de déploiement d'un site GSM, en effet c'est grâce à ces deux phénomènes que le signal arrive au récepteur même s'il n'est pas en visibilité directe avec l'émetteur.

VI.5.3. la diffraction : elle se produit chaque fois qu'une onde rencontre un obstacle au cours de sa propagation elle joue un rôle majeur dans la propagation des ondes radioélectriques, il permet la réception du signal malgré les obstacles qui masquent le récepteur.

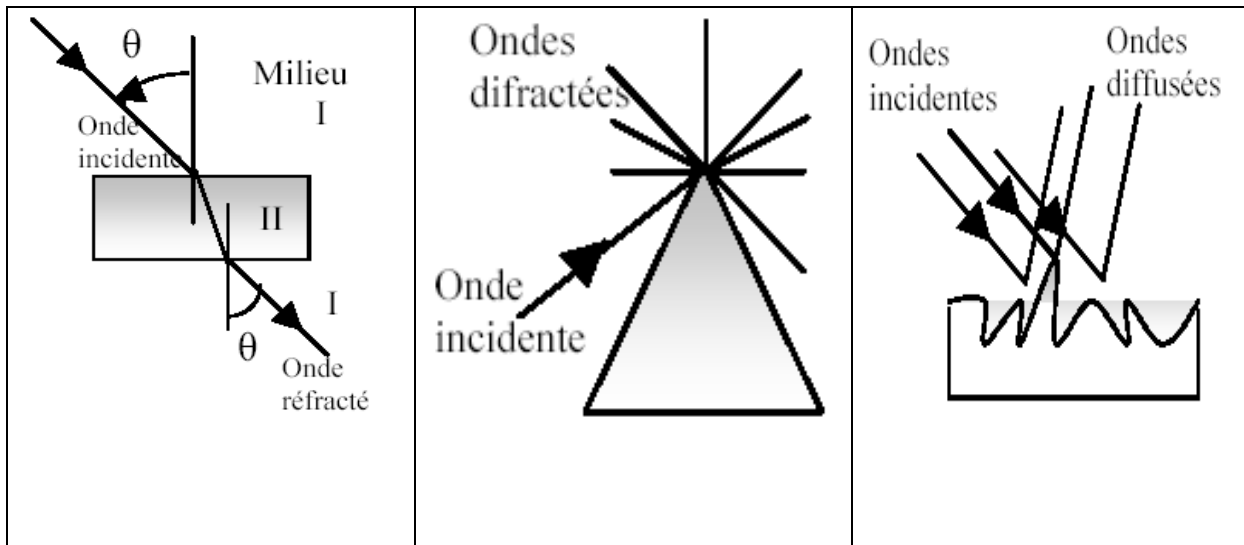


Fig. II.6. Mécanisme de propagations.

I. Préambule

Le développement rapide du marché de la téléphonie mobile et l'arrivée de nouveaux opérateurs de télécommunication à comme conséquence, la multiplication d'antennes relais, sont appelées aussi antennes cellulaires ou bien antennes GSM.

Une antenne est un transcodeur qui permet de transformer un signal électrique en une OEM se propageant dans l'espace et réciproquement, elle capte les OEM de l'espace puis les convertir en tension électrique conduit vers les circuits. On distingue deux genres d'antennes :

- Les antennes filaires dont les longueurs sont proportionnelles à λ la longueur d'ondes, on peut trouver les $\frac{1}{2}$ ondes connus sous le nom de doublet de Hertz, les $\frac{1}{4}$ d'ondes,...etc.

Elles sont utilisées dans le GSM pour les transmissions entre les mobiles et les BTS.

- Les ouvertures rayonnantes : Elles se caractérisent par une directivité très forte, elles sont utilisées pour les transmissions entre les stations de base et les BSC à travers les faisceaux hertziens, pour cela il faut que l'émetteur et le récepteur soient en visibilité directe.

II. Caractéristiques des antennes :

II.1. les fréquences d'utilisation : L'une des caractéristiques les plus importantes d'une antenne est la bande de fréquences supportées c'est-à-dire les fréquences que l'antenne pourra émettre et recevoir.

Sur les sites GSM, on trouve des antennes qui émettent seulement en 900[MHz], ou en 1800[MHz], sont appelées antennes mono-bande, comme il existe aussi des antennes bi-bandes qui travaillent en 900[MHz] et en 1800 [MHz], ou bien des antennes tri-bandes émettent en 900[MHz], en 1800[MHz] et en 1900-2200 [MHz].On

trouve aussi des antennes bi-modes s'adaptent avec la norme GSM et la norme UMTS dont les fréquences se situent autour de 20[GHz].

II.2. L'impédance : il s'agit d'un rapport complexe entre la tension et le courant à l'entrée d'une antenne, l'utilité de cette notion est importante pour assurer les meilleurs transferts d'énergie entre les antennes et les dispositifs qui y sont connectés.

Elle s'écrit sous forme : $Z = R + jX$;

Avec : R est une résistance d'entrée et X est une réactance d'entrée.

La figure suivante illustre l'impédance complexe d'une antenne en fonction de sa longueur.

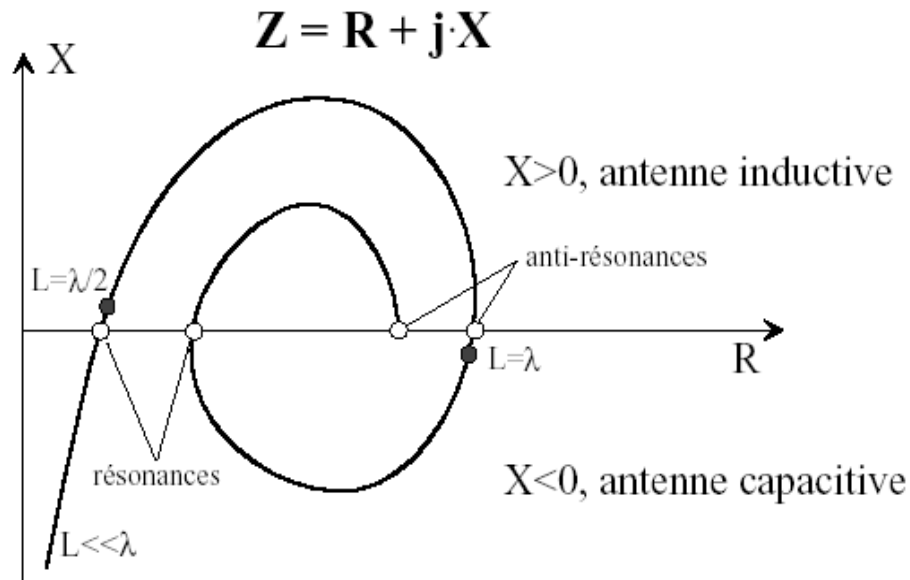


Fig. III1. Parcours d'impédance d'antenne.

Constatations :

- Lorsque L est proche de $\lambda/2, 3\lambda/2$, etc. on a des situations de **résonance**.
L'impédance Z est purement réelle.
- Lorsque L est proche de $\lambda/4, 3\lambda/4$, etc. on a des situations d'**anti-résonance**.
L'impédance Z est purement réelle.

Généralement les antennes utilisées dans le réseau GSM ont une impédance de 50Ω .

II.3. Diagramme de rayonnement : Une antenne diffuse de l'énergie dans toutes les directions, mais n'offre pas les mêmes performances dans chacune d'elle, pour caractériser ces performances on utilise le diagramme de rayonnement.

Graphiquement, c'est la représentation d'une fonction $\mathcal{R}(\theta, \varphi)$ définie comme le rapport entre l'intensité de rayonnement dans une direction et l'intensité maximale de l'antenne. Notamment une antenne possède un ou deux lobes dont lesquels le champ électromagnétique est maximum que les autres, on les nomme lobes principaux et lobes secondaires, l'angle pour laquelle $\mathcal{R}(\theta, \varphi) = \frac{1}{2}$ est appelée l'angle d'ouverture à -3dB , en dehors de cette angle le gain est nettement plus faible.

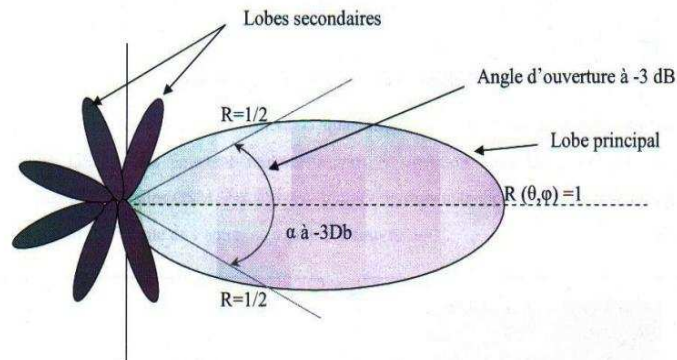


Fig.III.2. Exemple de diagramme de rayonnement.

II.4. Le gain : Le gain d'une antenne est le rapport entre la puissance maximale rayonnée par celle-ci et la puissance rayonnée par une antenne idéale isotrope, alimenté par la même énergie, il est exprimé en dB ou en dBi (pour dB isotrope).

Antenne isotrope :

Par définition, une antenne isotrope est une source ponctuelle qui rayonne un champ identique dans toutes les directions et possédant un diagramme de rayonnement sphérique parfait. Dans un milieu homogène et isotrope, l'onde rayonnée est une onde sphérique, c'est à dire que les surfaces équiphasées sont des sphères centrées sur cette source. Cette antenne est très utilisée comme antenne de référence et n'a pas de réalité physique dans le domaine des ondes radioélectrique et on ne peut pas la réaliser pratiquement.

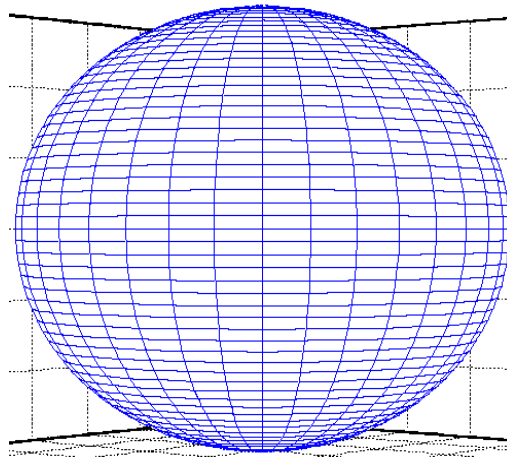


Fig.III.3. Diagramme de rayonnement d'une antenne isotrope.

II.5. La directivité : Par définition, c'est l'intensité de rayonnement de l'antenne dans une direction donnée. Il existe deux types de directivités pour les antennes.

- **Omnidirectionnelles :** Ce sont des antennes qui émettent de façon égale dans toutes les directions, elles sont assez peu répandues, lors de l'utilisation pour des macrocellules, elles ressemblent à des brins d'environ 2 m de hauteur et 5cm de diamètre. Alors que pour les microcellules, ce sont des brins de 40 cm de haut et 2 à 3 cm de diamètre.

En mobilophonie, on cherche à obtenir un angle d'ouverture pour les antennes omnidirectionnelle, dans le plan vertical plus faible, de manière à concentrer la puissance dans la direction horizontale.

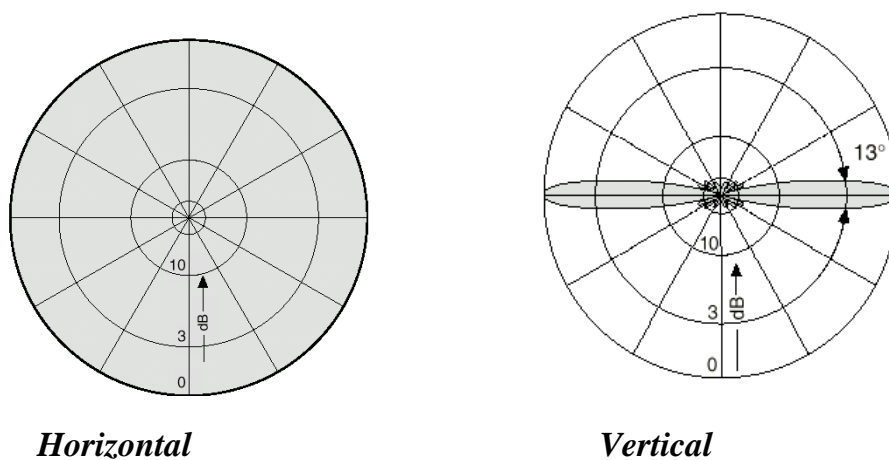


Fig. III.4. Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle.

- **Directionnelles** : Elles représentent la quasi-totalité des antennes utilisées dans les sites GSM, elles émettent seulement dans la direction dans laquelle elles sont orientées, les sites GSM sont souvent équipés de trois antennes directives orientées à environ 120° l'une de l'autre, de manière à couvrir sur 360° .

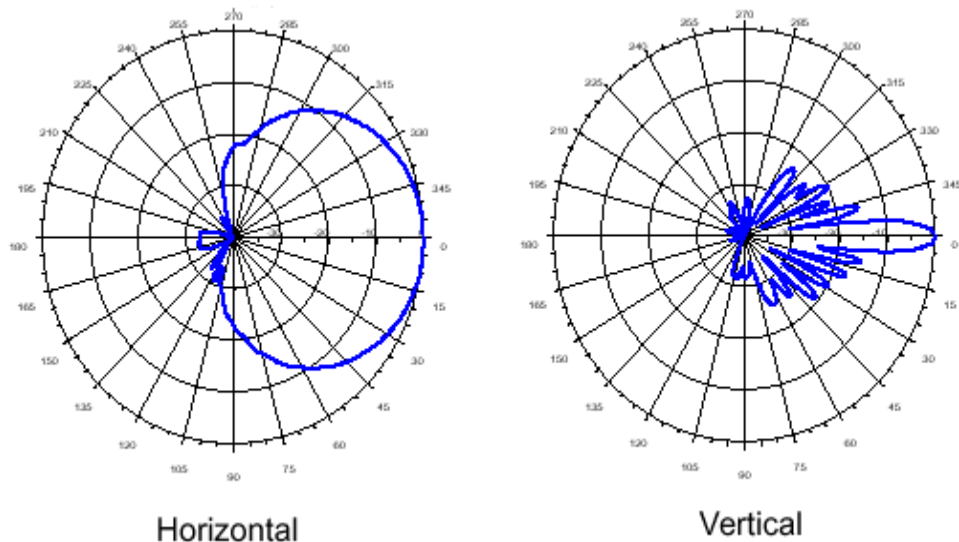


Fig.III.5.Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.

D'après cette figure, on constate que sur le plan horizontal l'antenne émet à forte puissance vers l'avant, et avec une puissance faible derrière elle, et sur le plan vertical, elle émet une puissance faible au dessus et au dessous, mais avec une puissance beaucoup plus importante devant elle.

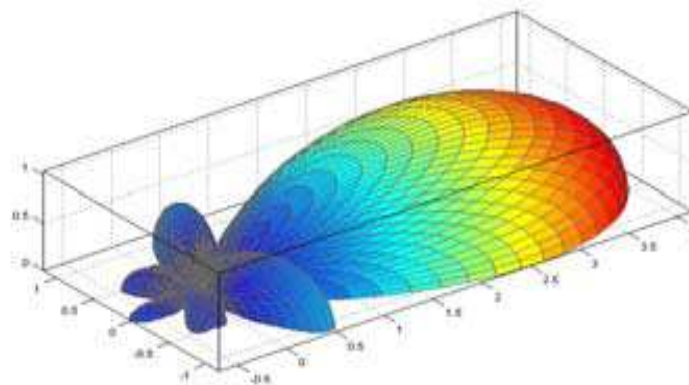


Fig. III.6.Diagramme de rayonnement en 3 D d'une antenne directive.

II.6.Azimet : Chaque antenne est dirigée dans une direction bien déterminée, de manière à couvrir exactement la zone définie. La direction principale de propagation

de l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet sa puissance la plus importante, est dirigée dans l'azimut, donc l'azimut est un angle se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord (0°). De cette façon, l'azimut 90° correspond à l'est, l'azimut 180° au sud, etc....

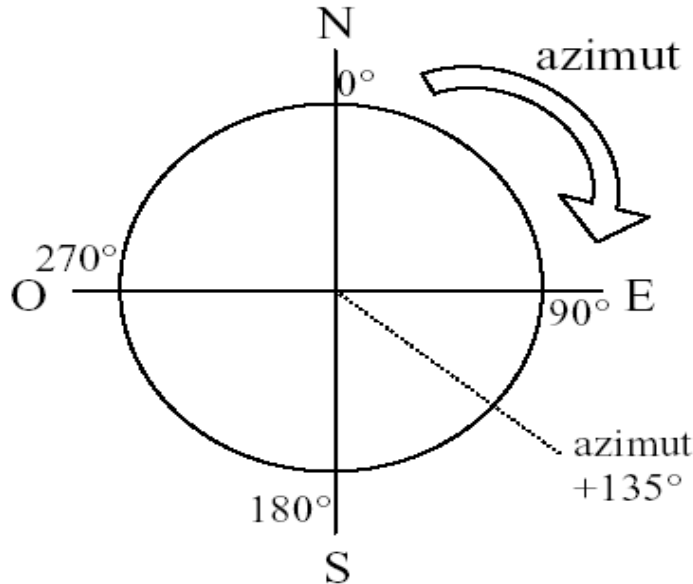


Fig. III.7. Représentation des azimuts.

II.7. Tilt : Les antennes sont montées en hauteur pour être dégagées des obstacles proches, donc il est intéressant d'incliner l'antenne de quelques degrés vers le bas afin de bien couvrir le sol. Cette opération s'appelle tilt (down tilt), elle présente l'angle d'inclinaison de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical.

Il existe deux types de tilt :

- **Mécanique :** Il suffit de relever légèrement l'antenne sur son support, pour qu'elle soit dirigée dans la direction souhaitée.
- **Electrique :** Réglage d'environ 2 à 10° , en tournant une partie mécanique à l'arrière de l'antenne qui joue sur le déphasage des signaux dans les différents dipôles constituant l'antenne.

Actuellement les antennes bi-bande ont un tilt mécanique et un tilt électrique.



Fig. III.8.un tilt positif.



Fig. III.9.un tilt négatif.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors que celui d'une antenne avec un tilt négatif sera dirigé vers le bas, comme montré sur la figure suivante :

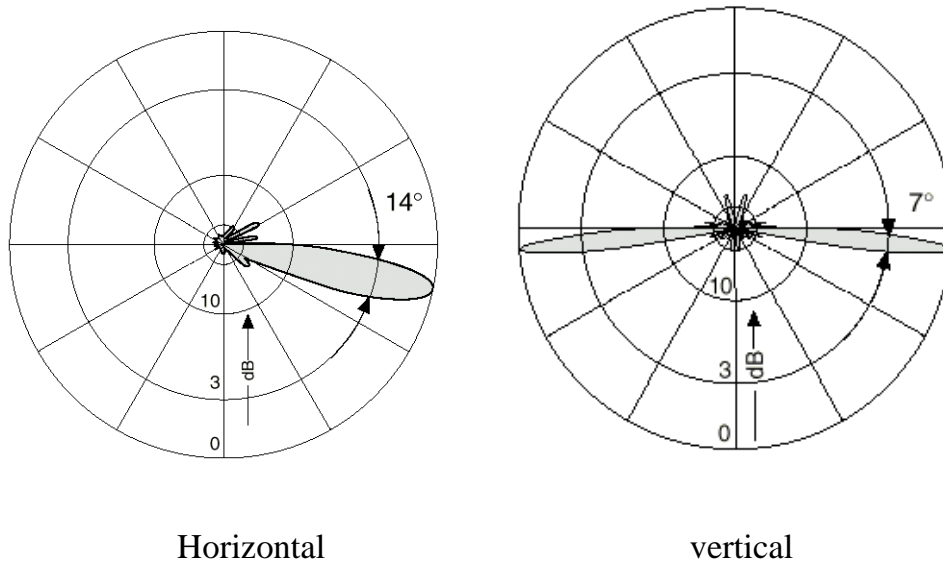


Fig. II.10. Diagramme de rayonnement d'une antenne avec un Tilt négative.

III. Fonctionnement :

Une antenne permet de recevoir et de faire rayonner des OEM, il existe des antennes d'émission et de réception en même temps.

III.1. En émission : Un émetteur fournit à sa sortie un courant HF modulé, pour transmettre l'information à distance, le courant modulé doit être transformé en OEM capable de se déplacer dans l'espace.

III.2. En réception : Après un long chemin dans l'espace, les OEM arrivent au voisinage du récepteur qui est chargé de convertir l'OEM en courant susceptible d'être traité par le récepteur.

IV. Installation des antennes sur support :

Les antennes sont montées sur une structure portante, dépendant de la configuration des antennes elles mêmes (nombre, disposition, prise au vent ou surface ...etc.), aussi du lieu d'implantation (caractéristiques géographiques et des exigences provinciales ou régionales d'urbanisme).

Les structures portantes peuvent être classées en deux catégories :

- Mât : est un support tubulaire assez simple fixé en toiture ou en façade et dont la hauteur est limité à quelques mètres.
- Pylône bas ou élevé de quelques mètres à 50 mètres de hauteur, il reprend :
 - ✓ Les tours à parois pleines en acier ou en béton, à escalier interne ou externe.
 - ✓ Les structures ouvertes (treillis tubulaire, pyramidaux, ou droits autoportant ou haubanés).

Les antennes à installer sont des antennes de type perche, panneau ou parabole, les plus courantes sont de type panneau, sont généralement déportées par rapport au support et sont orientables dans une certaine plage de réglages, (dans le plan horizontal, et dans le plan vertical).

V. les interférences :

D'une manière générale, les performances d'un système de transmission dépendent du rapport signal sur bruit. Dans les réseaux cellulaires, le récepteur reçoit le signal utile de puissance C (carrier) et des signaux perturbateurs de deux types : les bruits N (Noise) et les interférences I . on peut apprécier la qualité de signal en faisant le rapport $C/(N+I)$, en effet, ce rapport doit être supérieur au seuil déterminé par la sensibilité ϵ du récepteur.

- **Les bruits** : ils sont dus essentiellement aux bruits de fond des récepteurs. Dans les macrocellules les fréquences sont réutilisées dans les cellules très éloignées. Les interférences dans ce cas sont négligeables devant le bruit, le rapport devient (C/N) . il suffit qu'en tout point de la cellule, le signal reçu ait une puissance supérieure à la sensibilité du récepteur pour que la qualité du signal soit acceptable.
- **Les interférences** : un récepteur dans une cellule reçoit le signal utile provenant de la station de base à laquelle il appartient et des signaux interférents provenant des systèmes utilisant les mêmes fréquences ou des fréquences adjacentes. Dans les zones urbaines à forte densité de trafic, les interférences sont prépondérantes par rapport aux bruits. On distingue deux types d'interférences :

1. *Les interférences Co-canal* : l'origine des interférences Co-canal est la réutilisation d'une même fréquence dans des cellules séparées par une petite distance. Un abonné dans une cellule reçoit le signal utile sur son canal et le signal d'un autre canal provenant d'une BTS émettant sur une même fréquence.

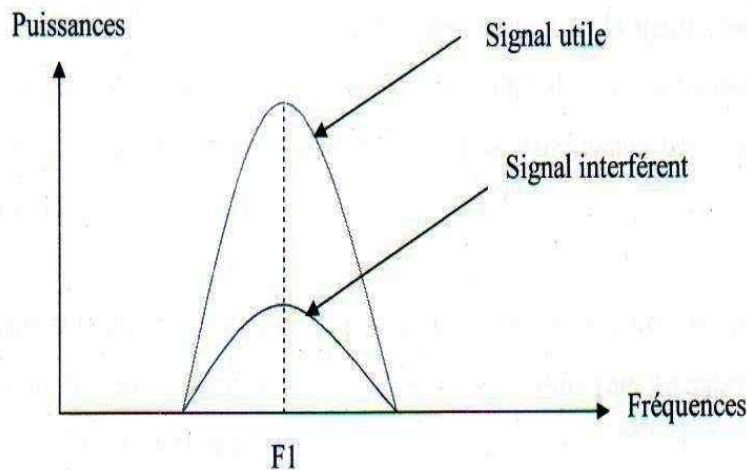


Fig. III.11. Interférence Co-canal.

2. *Les interférences canal adjacent* : appelé aussi Interférence Inter-Fréquences son origine est l'utilisation de fréquences adjacentes dans une même cellule ou dans des cellules séparées par une distance très petite. Un abonné dans une cellule reçoit le signal utile sur son canal et des signaux interférents provenant d'une BTS voisine émettant sur des canaux adjacents.

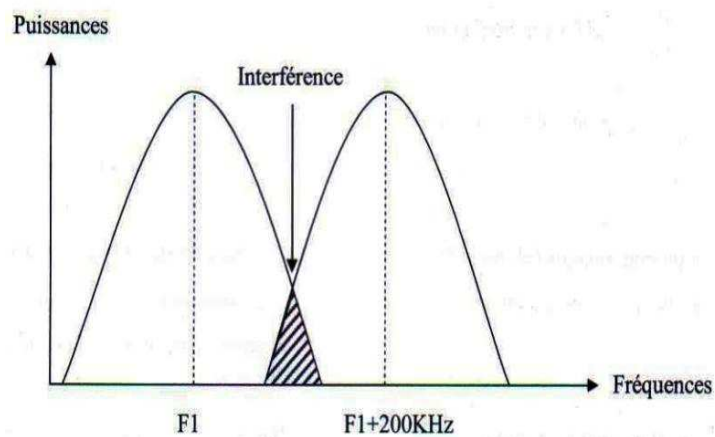


Fig. III.12 Interférence canal adjacent.

VI. Technique de diversité :

1. *Diversité spatiale* : La liaison montante est généralement plus difficile à assurer que la liaison descendante, car la puissance des terminaux sont limités et le signal émis par le mobile subit des diverses réflexions, donc il est intéressant

d'utiliser à la station de base, plusieurs antennes pour améliorer la réception, elle sélectionne le signal qui présente la meilleure qualité, ce qui permet d'augmenter la puissance de signal reçue (d'environ 5dB). Les antennes sont placées l'une au-dessus de l'autre ou l'une à côté de l'autre espacées de 3 à 6 mètres.



Fig.III.13. La diversité spatiale.

2. Diversité de polarisation : La polarisation d'une OEM est décrite par son champ électrique, pour un téléphone mobile, sa polarisation est verticale lorsqu'il est tenu vertical, mais s'il est légèrement orienté, l'onde polarisée verticalement est perçue faible à la BTS et la polarisation horizontale de cette même onde augmente, donc on utilise des antennes qui ont une double polarisation verticale/horizontale (polarisation croisée), ni verticale, ni horizontale mais intermédiaire ($+45^\circ$, -45°) et on utilise le plan de polarisation qui reçoit le meilleur signal, c'est ainsi la puissance de signal reçue est augmentée d'environ 6dB.

3. Diversité en fréquence : Est une technique d'utilisation de plusieurs fréquences pendant la communication entre la MS ET la BTS. Appelée aussi le saut de fréquence, ceci permet de lutter contre les évanouissements et le brouillage.

VII. La sectorisation :

La sectorisation est une opération qui consiste à diviser la zone à couvrir en plusieurs secteurs, chaque secteur sera couvert par une antenne directionnelle, et sera considérée comme une nouvelle cellule utilisant un ensemble différent de canaux.

Cette technique a comme avantage d'augmenter le nombre de cellule sans augmenter le nombre des stations de base. Il existe plusieurs configurations de sectorisation.

1. Site monosectorisé :

C'est un site GSM qui ne possède qu'un seul secteur, c'est-à-dire qui ne gère qu'une seule cellule avec une seule antenne, soit omnidirectionnelle ou directionnelle. Ces types de sites sont rarement utilisés, ils sont employées généralement dans des petites zones.

2. Site bisectorisé :

Un site bisectorisé est un site GSM qui possède deux secteurs distinctes, ce site peut comporter au moins deux antennes directionnelles et jusqu'à quatre si la diversité spatial est utilisée, il est utilisé où seuls deux secteurs sont utiles.

3. Site trisectorisé :

La majorité des sites GSM sont tricestorisés, ils sont constitués de trois secteurs (A, B, C) avec des antennes directionnelles placées dans un site GSM qui se trouve au centre de la cellule, les trois antennes ont des azimuts de telle façon à couvrir 360°. Chacun de ses secteurs sont numérotés. Le

premier secteur est celui qui a l'azimut le moins élevé, c'est-à-dire, le secteur dont l'azimut est le plus proche du Nord.

VIII. La transmission discontinue :

La transmission avec un téléphone GSM est interrompue lorsque son utilisateur ne parle pas (il ne subsiste que des bursts séparés par un intervalle d'une durée de quelques secondes au lieu d'un burst toutes les 4,625ms lorsque l'utilisateur parle). Cette fonction est appelée « transmission discontinue » ; son but est de réduire la consommation électrique du téléphone afin d'accroître l'autonomie de la batterie. La réduction de consommation est une exigence importante vu la taille de plus en plus petit des téléphones mobiles. Le mécanisme de transmission discontinue contribue, notamment, à réduire l'exposition moyenne aux champs électromagnétiques émis par le téléphone. Toutefois, à l'autre extrémité de la liaison (par exemple un téléphone fixe), l'absence de réception (bruit) donne l'impression que la communication est interrompue, un bruit artificiel est donc rajouté à la réception dans le but de remédier à ce problème.

IX. Différents types d'antennes GSM :

On distingue plusieurs types d'antennes, celles utilisées pour les terminaux GSM et celles installées dans les stations de base

IX.1. Antennes des terminaux GSM :

Les antennes des mobiles et des portatifs sont généralement des dipôles de longueur $\lambda/4$ (antenne un quart d'ondes), la surface de leurs supports est conductrice et réfléchit des OEM, ces antennes sont des omnidirectionnelles, leur gain théorique est de 5.15dBi et soit 0dBi pratiquement.

Les antennes montées sur un véhicule sont constituées de deux brins demi-onde, leur gain peut atteindre 5dBi, mais ce modèle est rarement employé.

IX.2. Antennes des stations de base :

Ce sont des éléments fondamentaux dans une BTS, elles sont placées souvent sur des pylônes, des immeubles ou à l'intérieur même des bâtiments afin de réaliser une couverture plus large. On trouve des antennes macro-cellules, antennes microcellules et des antennes pico-cellules.

IX.2.1. Antennes macro-cellules :

Ces antennes sont situées en hauteur pour permettre un bon rayonnement, afin de couvrir la zone la plus importante possible. Les antennes macro couvrent des cellules de grande dimension. Leur puissance maximale est de l'ordre de 20-50 Watts en zone urbaine et de puissance supérieure en zone rurale.

- ***Directionnelles*** : Elles ont très souvent la forme d'un panneau d'environ 1 à 2 mètres de haut, une vingtaine de centimètres de large et 10 cm de profondeur. Chacun de ces panneaux couvre une zone de 120° donc pour assurer la couverture de 360° il faut utiliser trois antennes.

De cette manière ce site est appelé tri-sectorisé.

- ***Omnidirectionnelles*** : Elles ont très souvent la forme d'un tube cylindrique de 1,5 à 3 mètres de haut et 4 à 8 cm de diamètre. Sur un site omnidirectionnel, l'antenne couvre les 360° qui l'entourent.

IX.2.2. Antennes microcellules :

Ces antennes sont situées dans les lieux de fort passage (galerie commerciale, gare etc.), de façon à alléger la charge des macros et à obtenir une très bonne couverture. Les antennes micro couvrent des petites cellules, elles ont une portée de quelques centaines de mètres et se trouvent la plus part du temps à l'intérieur. Les puissances théoriques d'émission des antennes varient de 25 à 100 Watts suivant les modèles.

- **Directionnelles** : Elles sont souvent installées contre un mur de façon à rayonner vers l'avant, ces antennes sont de petite taille : 30 cm de haut, 20 cm de large et une épaisseur de moins de 5 cm.
- **Omnidirectionnelles** : Elles sont installées au milieu de la zone à couvrir, et ont très souvent la forme d'un tube d'environ 20 cm de haut et de 2 à 3 cm de diamètre.

IX.2.3. Antenne pico-cellules :

Elles sont employées pour couvrir l'intérieur des bâtiments et sont placées au plafond ou contre un mur, elles rayonnent une puissance de l'ordre de quelques centaines de milliwatts et ont un faible gain.

IX.3. Les différents types d'antennes utilisées par l'opérateur MOBILIS :

Les antennes utilisées par l'opérateur MOBILIS sont de type Katherein, elles sont choisies selon la zone et l'objectif de couverture.

Parmi ces antennes qu'on utilise souvent, on trouve :

K739 650 en zone rural, en zone semi-urbain : K739623, K742 266 et K742 264(en bi-bande).

L'antenne K 742 266 : est une antenne bi-bande, c.-à-d. elle travail autour de 900 MHz et 1800MHz, elle a une forme tubulaire.

Le tableau suivant présente les caractéristiques de l'antenne K 742 266.

Type No.	742 266				
Frequency range	824-960 824-894 MHz 880-960 MHz		1710-2180 1710-1880 MHz 1850-1990 MHz 1900-2180 MHz		
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 16.5 dBi	2 x 17 dBi	2 x 17.8 dBi	2 x 18.2 dBi	2 x 18.5 dBi
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Isolation: Intrasystem	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Isolation: Intersystem	> 50 dB (824-960 // 1710-2180 MHz)				
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	500 W		250 W		
Total power	1000 W		500 W		
(at 50 °C ambient temperature)					

Tableau III.1. Caractéristiques de l'antenne K 742 266.

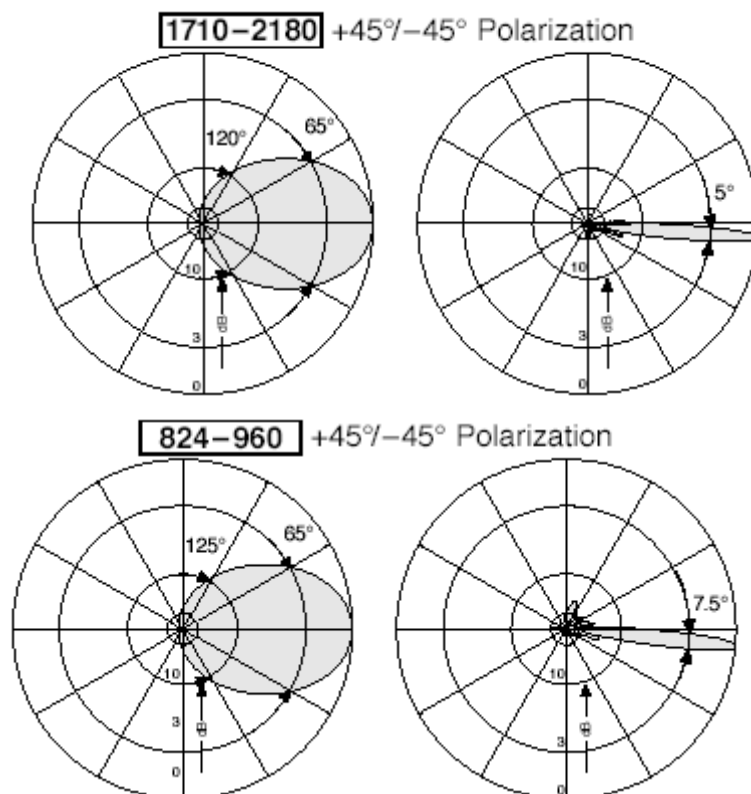


Fig.III.14 L'antenne K742 266 et son diagramme du rayonnement.

Comme on utilise aussi l'antenne K742 264, réglée avec un tilt électrique négatif, selon les besoins. En GSM 900, l'angle de tilt est comprise entre [0° -14°] et en DCS1800 entre [0°-8°]

Caractéristique de l'antenne K 742 264 :

Type No.	742 264				
Frequency range	824-960		1710-2180		
	824-894 MHz	870-960 MHz	1710-1880 MHz	1850-1990 MHz	1920-2180 MHz
Polarization	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°	+45°, -45°
Gain	2 x 14 dBi	2 x 14 dBi	2 x 16.5 dBi	2 x 16.8 dBi	2 x 17 dBi
Impedance	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω
VSWR	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5	< 1.5
Isolation: Intrasystem	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB	> 30 dB
Isolation: Intersystem	> 50 dB (824-960 // 1710-2180 MHz)				
Intermodulation IM3	< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		< -150 dBc (2 x 43 dBm carrier)		
Max. power per input	500 W		250 W		
Total power	1000 W		500 W		
	(at 50 °C ambient temperature)				

Tableau .III.2.caractéristique de l'antenne K /42 264.

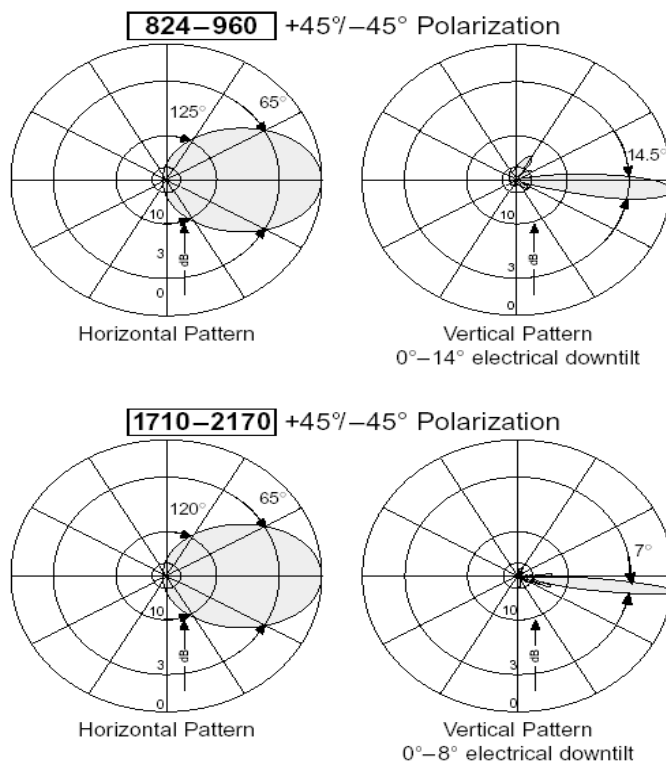


Fig.III.15. l'antenne K742 264 et son diagramme du rayonnement.

Les antennes K739 650 et K739 623 : sont des antennes monomode, travail autour de 900MHz.

Le tableau si dessous présente les caractéristiques de l'antenne K739 650

Type No.	739 650
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom or top
Frequency range	806 – 960 MHz
VSWR	< 1.5
Gain	2 x 17 dBi (870 – 960 MHz) 2 x 16.5 dBi (806 – 870 MHz)
Impedance	50 Ω
Polarization	+45°, -45°
Front-to-back-ratio	> 23 dB
Half-power beam width	+45° polarization Horizontal: 90°, vertical: 7° -45° polarization Horizontal: 90°, vertical: 7°
Isolation	> 32 dB
Max. power	600 Watt (at 50 °C ambient temperature)
Weight	19 kg
Wind load	Frontal: 470 N (at 150 km/h) Lateral: 280 N (at 150 km/h) Rearside: 1040 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	2692 x 287 x 165 mm
Height/width/depth	2580 / 262 / 116 mm

Tableau. III.3. caractéristique de l'antenne K739 650.

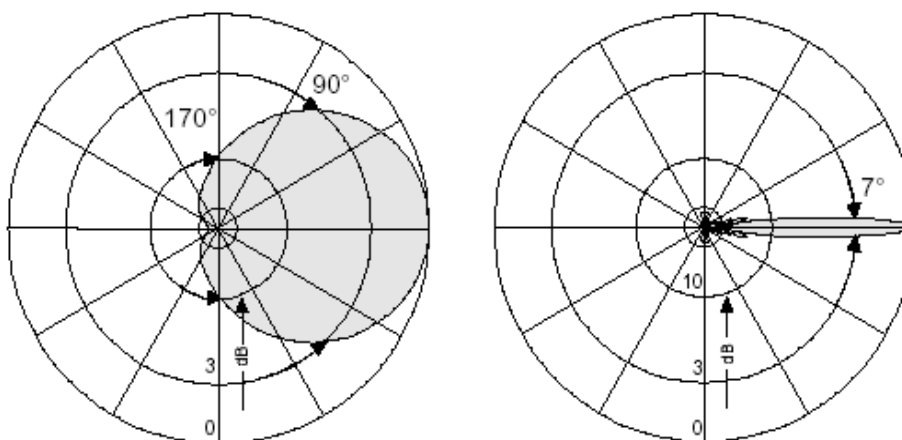


Fig. III.16. diagramme du rayonnement de l'antenne K739 650.

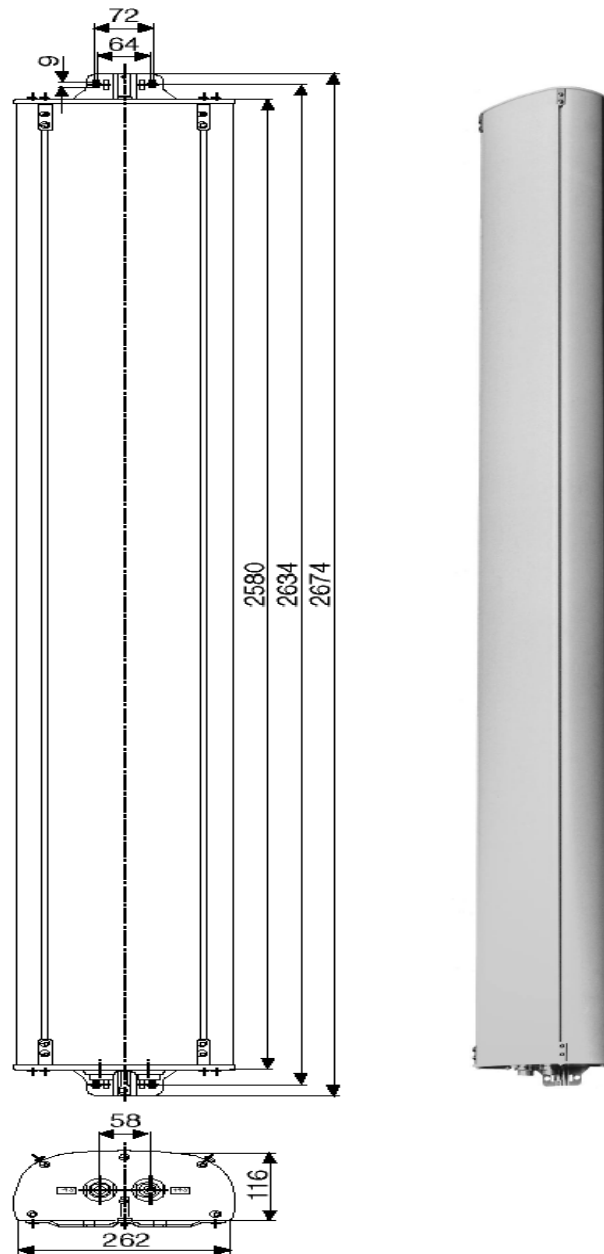


Fig.III.17.1'antenne K739 650.

La figure suivante présente l'antenne K739 623 et ses diagrammes de rayonnement, le tableau montre quelques caractéristiques de cette antenne.

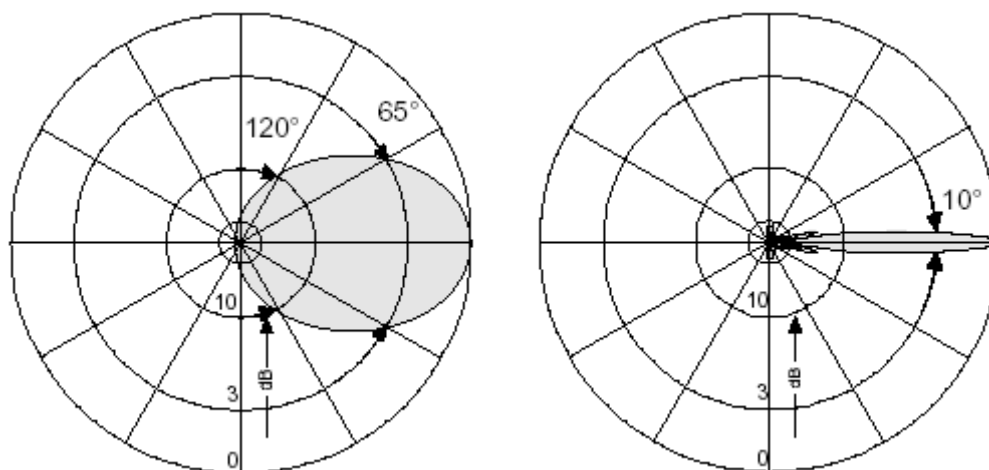


Fig. III.18. Diagramme du rayonnement de l'antenne K739 650.

Type No.	739 623
Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom or top
Frequency range	806 – 960 MHz
VSWR	< 1.3 (870 – 960 MHz) < 1.5 (806 – 870 MHz)
Gain	2 x 17 dBi (870 – 960 MHz) 2 x 16.5 dBi (806 – 870 MHz)
Impedance	50 Ω
Polarization	+45°, -45°
Front-to-back-ratio	> 25 dB
Half-power beam width	45° polarization Horizontal: 65°, vertical: 10° -45° polarization Horizontal: 65°, vertical: 10°
Isolation	> 32 dB (824 – 960 MHz) > 30 dB (806 – 824 MHz)
Max. power	600 Watt (at 50 °C ambient temperature)
Weight	12 kg
Wind load	Frontal: 330 N (at 150 km/h) Lateral: 200 N (at 150 km/h) Rearside: 770 N (at 150 km/h)
Max. wind velocity	200 km/h
Packing size	2057 x 287 x 165 mm
Height/width/depth	1936 / 262 / 116 mm

Tableau.III.4.caractéristique de l'antenne K739 650.

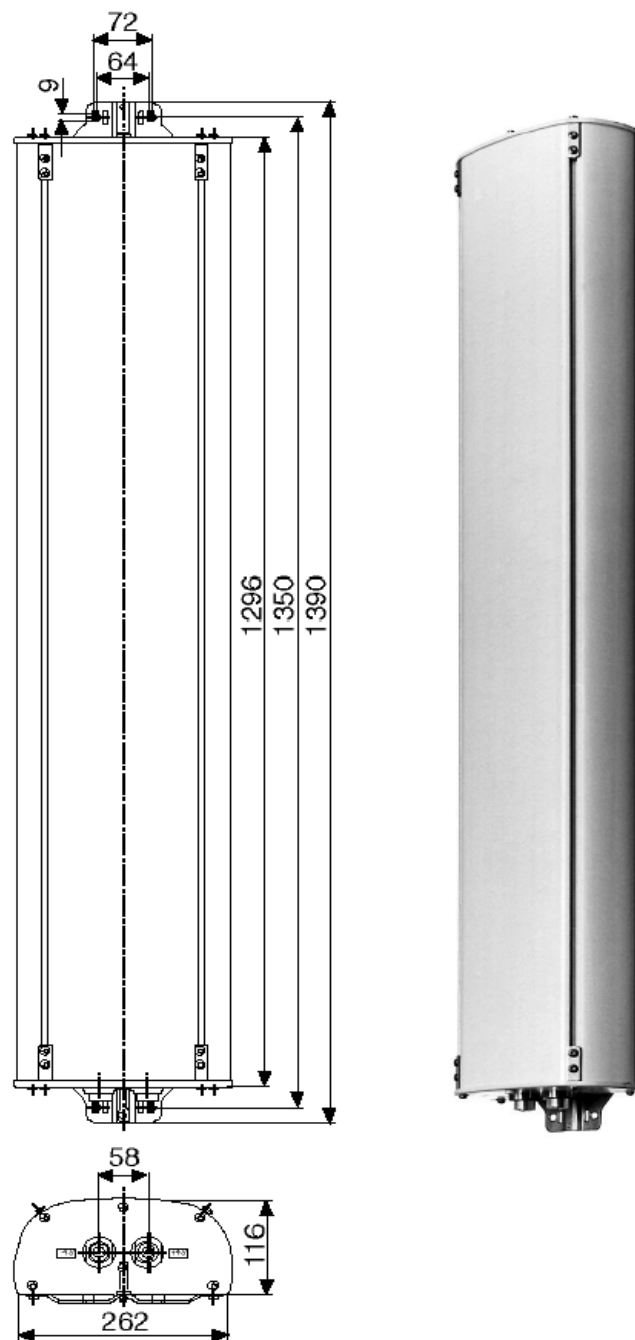


Fig. III.19.1'antenne K739 623.

Toutes ces antennes ont des formes tubulaires et chacune a ses caractéristiques particulières.

I. Préambule :

Une station de base est le point d'entrée dans le réseau des stations mobiles, elle regroupe un ensemble des équipements radio : les antennes et les shelters (l'équipement radio et les TRX) qui jouent un rôle crucial dans une BTS, la connexion entre ces derniers se fait par l'intermédiaire des câbles coaxiaux, les jumpers et les feeders.

Au niveau des câbles, on rencontre plusieurs pannes qui peuvent causer la dégradation et l'affaiblissement de la qualité du signal, alors pour remédier tous ces problèmes, un technicien du terrain intervient en utilisant des appareils de tests qui permettent de localiser et d'identifier le type de la panne.

Parmi ces appareils, on trouve des contrôleurs de station de base (OMT, Mini Link), des analyseurs de spectre et des analyseurs du câble et d'antennes (Site Master, Tems).

- ✓ OMT : Operation Maintenance Terminal ; est un logiciel de maintenance radio.
- ✓ Mini Link : est un logiciel de maintenance des liaisons transmission.
- ✓ Site Master : est un appareil de tests et de mesures.
- ✓ Tems : est un logiciel qui vérifie la qualité du réseau.



Fig. IV.1. Vue d'ensemble d'une station de base.

II. Description de Site Master :

Le Site Master est un produit fabriqué par l'entreprise Anritsu, développé pour déployer, installer et maintenir les stations de base. Il est équipé d'un analyseur de Câble et Antenne, d'un analyseur de spectre, d'un analyseur d'interférence, d'un scanner, d'un démodulateur AM/FM, d'un wattmètre et d'un récepteur GPS, présentés dans un boîtier de moins de 2,3Kg, il est caractérisé par sa robustesse et sa grande précision.

Le Site Master peut mesurer les caractéristiques des signaux GSM, la puissance dans les canaux et les canaux adjacents, la puissance du burst, la bande occupée, le TSC (Training Sequence Code GSM). L'utilisateur peut sélectionner manuellement chacun de ses mesures et se mettre en écoute à l'aide du haut-parleur incorporé.

- ✓ L'analyseur de spectre permet à l'utilisateur d'identifier et de résoudre les problèmes des systèmes de communication de 100kHz à 3GHz.
- ✓ L'analyseur d'interférence permet l'identification des signaux environnants et la visualisation en trois dimensions (fréquence, puissance et temps).
- ✓ Le wattmètre permet des mesures de puissance afin de quantifier les pertes de puissance et les signaux interférents.
- ✓ Le système GPS interne au Site Master enregistre la localisation (latitude, longitude et altitude) et l'heure exacte sur chaque trace mise en mémoire.

Le Site Master peut démoduler les signaux grâce au démodulateur (AM/FM), la puissance dans les canaux, l'erreur de fréquence, la qualité des formes d'onde, la tolérance sur la fréquence de la porteuse. Le rapport entre la puissance de la porteuse et celle du canal et la fuite de porteuse peuvent être ainsi affichés en format graphique ou texte sur son écran couleur.

Le Site Master identifie rapidement les défauts sur les câbles et antennes avant que les pannes se déclarent. Il intègre un générateur pour mesurer les gains et pertes des dispositifs à 2 ports, passifs et actifs, ainsi que le découplage entre les antennes.

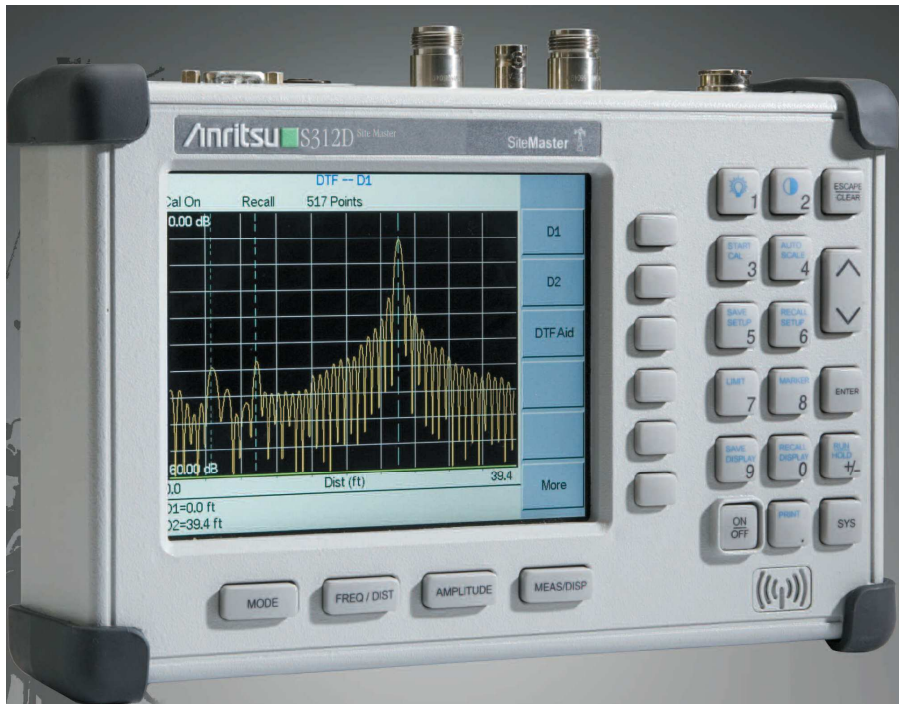


Fig.IV.2. Site Master S312D.

L'utilisation du SITE MASTER :

Les ingénieurs et techniciens utilisent cet appareil pour faciliter les tâches de déploiement et de maintenance du réseau GSM. Les mesures effectuées plus souvent sont :

- 1) *pertes du câble* : Cette mesure détecte le niveau de perte d'insertion dans le câble, ce niveau peut être vérifié avant le déploiement, lorsqu'on a accès aux deux extrémités du câble.
- 2) *Les pertes de retour et VSWR* : Ces mesures sont effectuées pour assurer les performances et les spécifications techniques du système.
- 3) *Distance-To-Fault* : Les pertes de retour indiquent les réflexions du signal, mais sans préciser la place exacte de défaut dans le système, les mesures de Distance-To-Fault fournissent l'indication la plus claire des pannes, c.-à-d. la réflexion du signal et l'emplacement du défaut.

Les avantages du site master :

- 1) Garder jusqu'à 200 mesures dans sa mémoire.
- 2) Ranger 10 mesures qu'on peut répéter pendant les tests.
- 3) Sélectionner le type et paramètre du câble.
- 4) Choisir une langue à utiliser parmi 6 différentes langues.
- 5) On peut télécharger des données stockées dans sa mémoire sur un ordinateur personnel (PC) ou une imprimante via un câble série RS-232, pour une analyse plus approfondie.

III. L'équipement logiciel :

Bien que l'appareil (site master) réalise plusieurs fonctions, on peut également télécharger les données de mesures à un PC pour l'analyse supplémentaire, l'équipement logiciel est un programme conçu spécifiquement pour l'analyse du câble & antenne, il s'étend sur tout ordinateur avec Windows 95/98/NT4/2000/ME/XP.



Fig. IV.3. bronchement de site master avec un PC.

Les avantages du logiciel :

1. Créer des rapports professionnels avec le logiciel de Site Master, la figure ci-dessous illustre La Distance-To-Fault. Elle indique exactement des domaines problématiques.

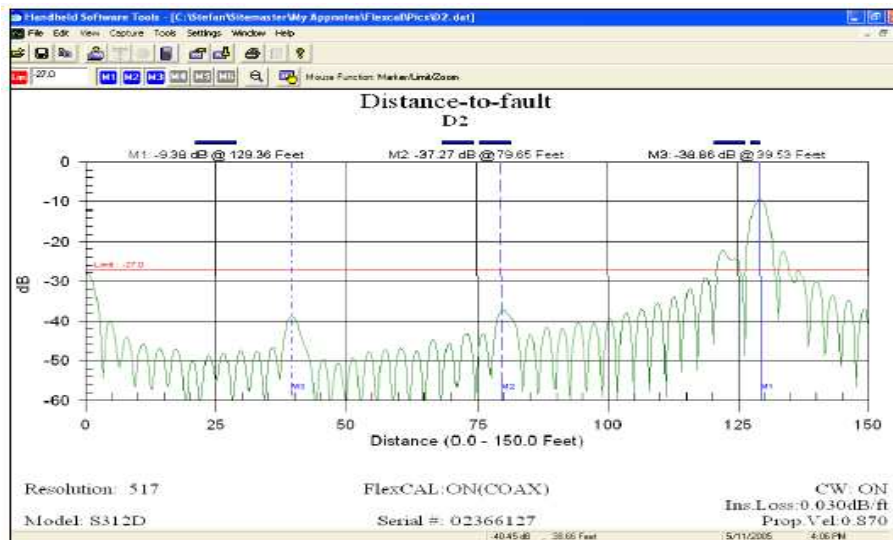


Fig. IV.4. Distance-To-Fault.

IV. Perte de retour et VSWR :

La perte de retour et les mesures de VSWR sont les mesures principales effectuées dans le domaine de l'analyse du câble et d'antenne. Ces mesures montrent à l'utilisateur si le système conforme aux caractéristiques tracées par les superviseurs. Si les problèmes apparaissent pendant les tests, donc l'installation est à revoir.

Par exemple, une mesure de perte de retour de système de 20 dB est considérée très efficace si seulement 1% de la puissance est retournée et 99% de la puissance est transmise.

Les causes :

- ✓ Des connecteurs mal installés ;
- ✓ Câbles coaxiaux indentés ;
- ✓ Pannes aux niveaux d'antennes.



Fig. IV.7.câble indentés.

Les pertes de retour et les VSWR montrent toutes les deux la performance du système mais d'une façon différente. La perte de retour est le rapport de la puissance réfléchie en prenant la référence en dB ou en logarithmique.

Contrairement à la perte de retour, VSWR montre la linéarité du système, elle mesure le rapport des crêtes et des vallées de tension, plus ce nombre est grand plus la linéarité est mauvaise.

V. Application :

C'était prévu initialement de faire des tests sur les câbles reliant les shiltters et les antennes de station de base au niveau de MOBILIS de TIZI-OUZOU. Toutefois, à cause de non disponibilité de l'appareil SITE MASTER, nous avons orienté notre travail à la vérification de la qualité et le niveau des signaux diffusés par les BTS en utilisant un logiciel appelé TEMS.

Le TEMS (Test Mobile System) est un logiciel de ramassage de données (récolter) utilisé pour vérifier la qualité du réseau. L'opération de vérification est appelée le Drive Test, ce qui veut dire : faire des tests tout en se déplaçant. La région d'étude concerne la ville de Tizi-Ouzou (KRIM BELKACEM).

VI. Le drive test :

Est une opération qui a pour but de mesurer le niveau et la qualité des signaux émis par les antennes de la station de base.

Le TEMS se compose de :

- ✓ Un terminal mobile équipé d'un logiciel spécial appelé TEMS Investigation. Ce terminal est utilisé pour mesurer et évaluer toutes les classes de puissances émises par la BTS, il vérifie aussi la disponibilité et le bon fonctionnement des canaux de trafic et ceux de signalisation de toutes les fréquences disponible sur l'endroit analysé.
- ✓ Un récepteur GPS qui indique la position où les mesures ont été effectuées.
- ✓ Un PC équipé d'un logiciel TEMS Investigation, il sert à analyser et stocker toutes les valeurs prises par le GPS et par le mobile.

Le TEMS contrôle plusieurs paramètres qui sont ensuite classifiés suivant un code de couleur bien spécifique. Sur l'itinéraire suivi par le dispositif TEMS, on aura des changements de couleur pour chaque paramètre.

Les paramètres contrôlés par le TEMS sont :

A l'aide de TEMS on peut contrôler plusieurs paramètres comme par exemple :

- ✓ La position dans le réseau.
- ✓ Le code de la cellule.
- ✓ Le numéro du site (A, B, C) avec son code.
- ✓ La bande de fréquence sur laquelle elle émet l'antenne de la BTS qui recouvre la zone à étudier.
- ✓ La fréquence de la signalisation (BCCH).
- ✓ Le niveau du signal sur les sites voisins.
- ✓ Les événements (le Handover).

✓ Les paramètres radios du site à étudier :

1. RxQual : la qualité de la parole :
2. RxLevl : le niveau du signal :
3. SQI : la qualité de la parole.
4. les interférences(C/I) entre les canaux de trafic TCH et entre les canaux de diffusion BCCH.
5. La distance Time Advance(TA) : ce paramètre sert à calculer la distance entre le terminal mobile et la BTS.

VI.1. Le niveau du signal RxLevel :

C'est un paramètre de contrôle de puissance, il classifie le niveau de puissance du signal reçu dans une échelle à 64 niveaux (0 jusqu'à 63), cette échelle correspond aux niveaux de puissances allant de -110 dBm jusqu'à -48dBm.

Le TEMS classifie le niveau de signal reçu selon le code de couleur suivant :

Couleur	Plages de valeurs	Niveau du signal
Vert	-75 jusqu'à 0dBm	Bon
Jaune	-85 jusqu'à -75dBm	Moyen
Orange	-95 jusqu'à -85dBm	Acceptable
Rouge	-110 jusqu'à -95dBm	mauvais

Tableau. IV.1. Code de couleur pour RxLevl.

La figure ci-dessous montre un exemple de drive test dans la ville de TIZI-OUZOU avec les changements de couleur pour RxLevel.

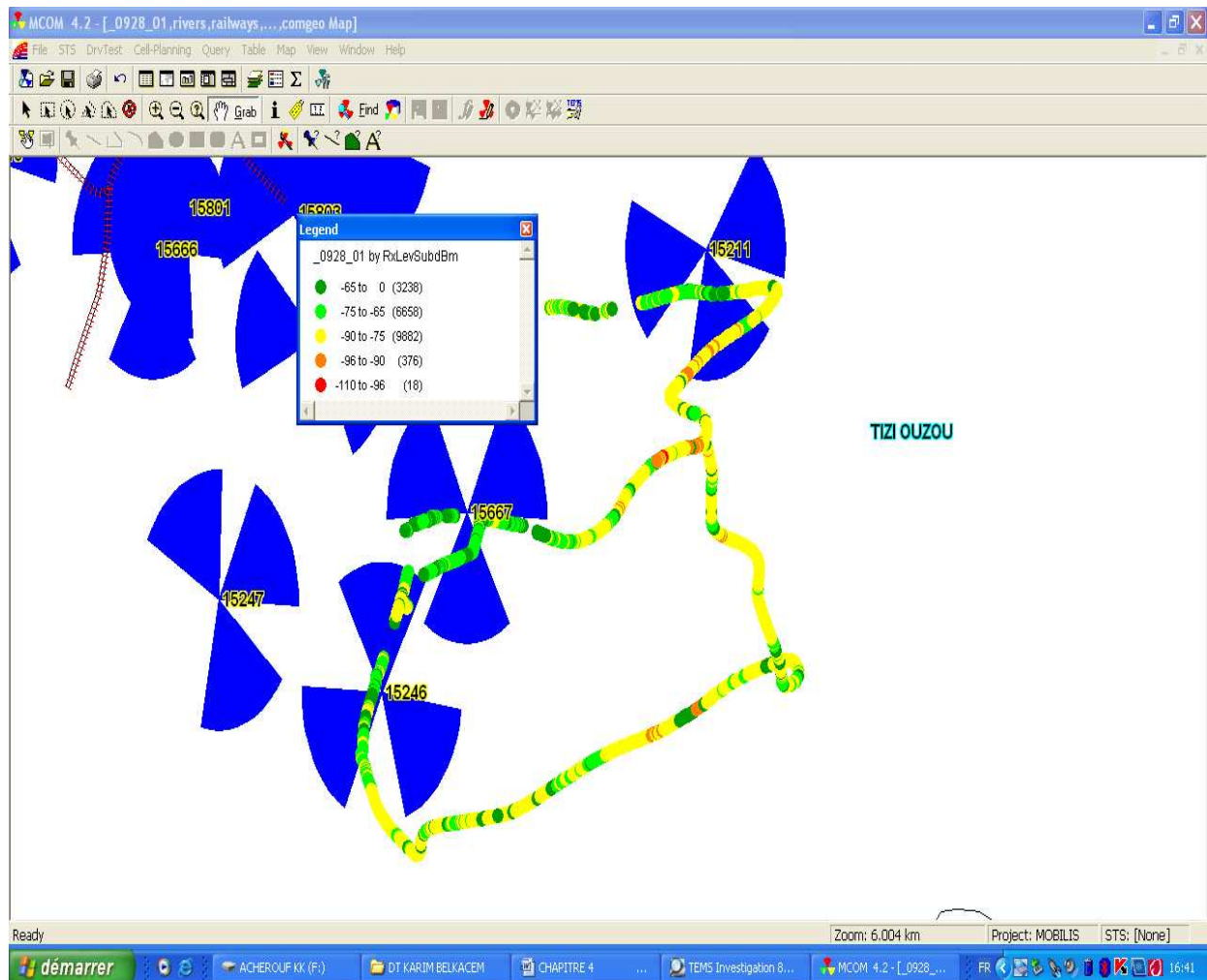


Fig.IV.1.contrôle du niveau de signal RxLevel.

VI.2.La qualité du signal RxQual :

C'est un paramètre de contrôle qui permet d'apprécier la qualité du signal, ce paramètre est obtenu en quantifiant le taux d'erreur binaires sur 8 niveaux (codage sur 3 bits), chaque valeur de RxQual correspond à une plage de valeurs BER.

Les valeurs RxQual sont classifiées selon un code de couleur :

Couleur	Plages de valeurs	Qualité du signal
Vert	0 jusqu'à 4.	Bonne
Jaune	4 jusqu'à 6.	acceptable
Rouge	6 jusqu'à 8.	Mauvaise

Tableau. IV.2.code de couleur pour RxQual.

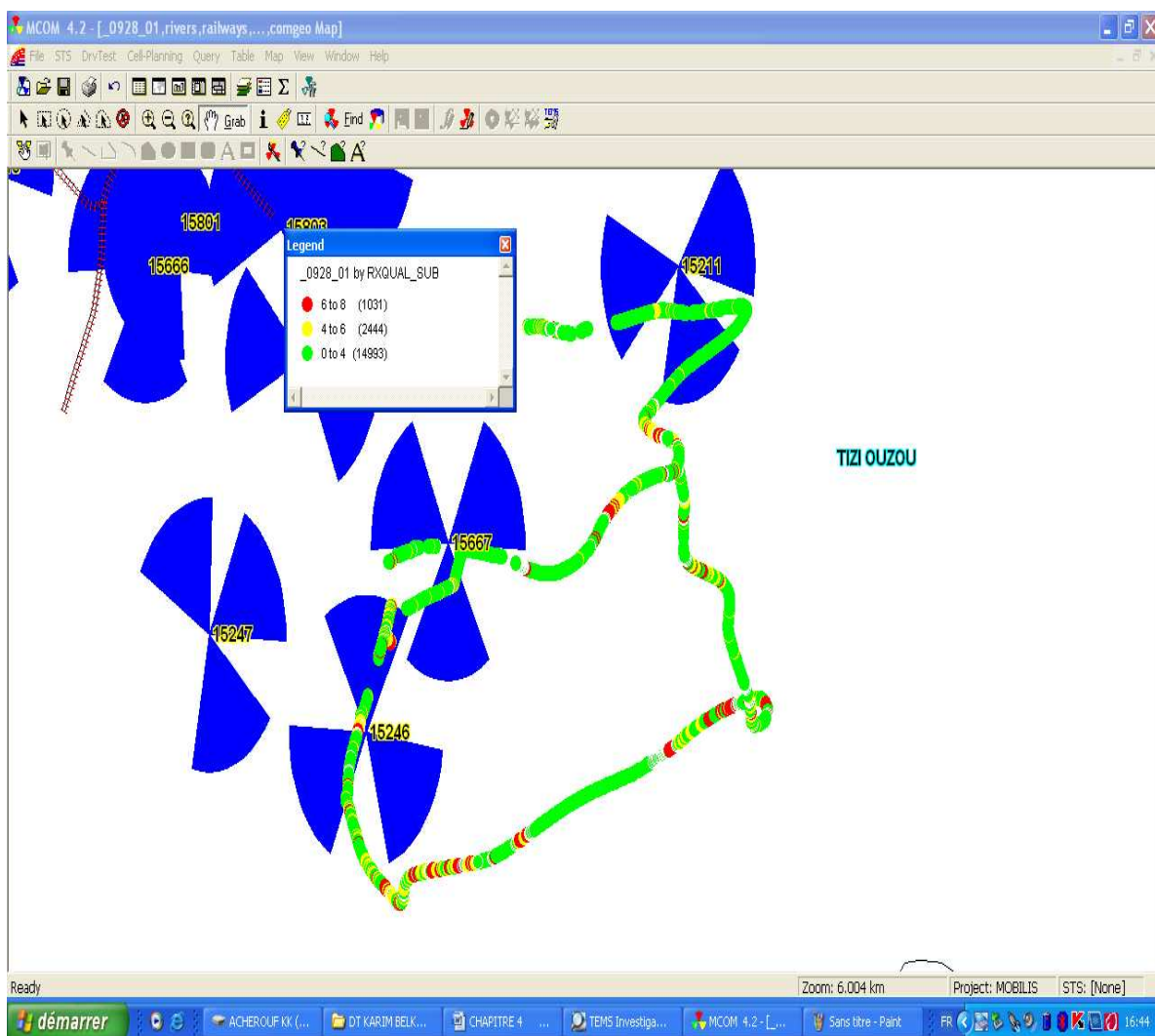


Fig. IV.2.Contrôle de la qualité du signal RxQual.

VII. Exemple pratique :

Les figures suivantes nous montrent la qualité et le niveau du signal mesurés au niveau de KRIM BELKACEM à TIZI-OUZOU.

Sur la première figure, on remarque que :

- Le niveau du signal est égal à -91.
- la qualité du signal est égale à 9.05.

Donc on peut déduire qu'il y a une mauvaise couverture radioélectrique sur le site 102.

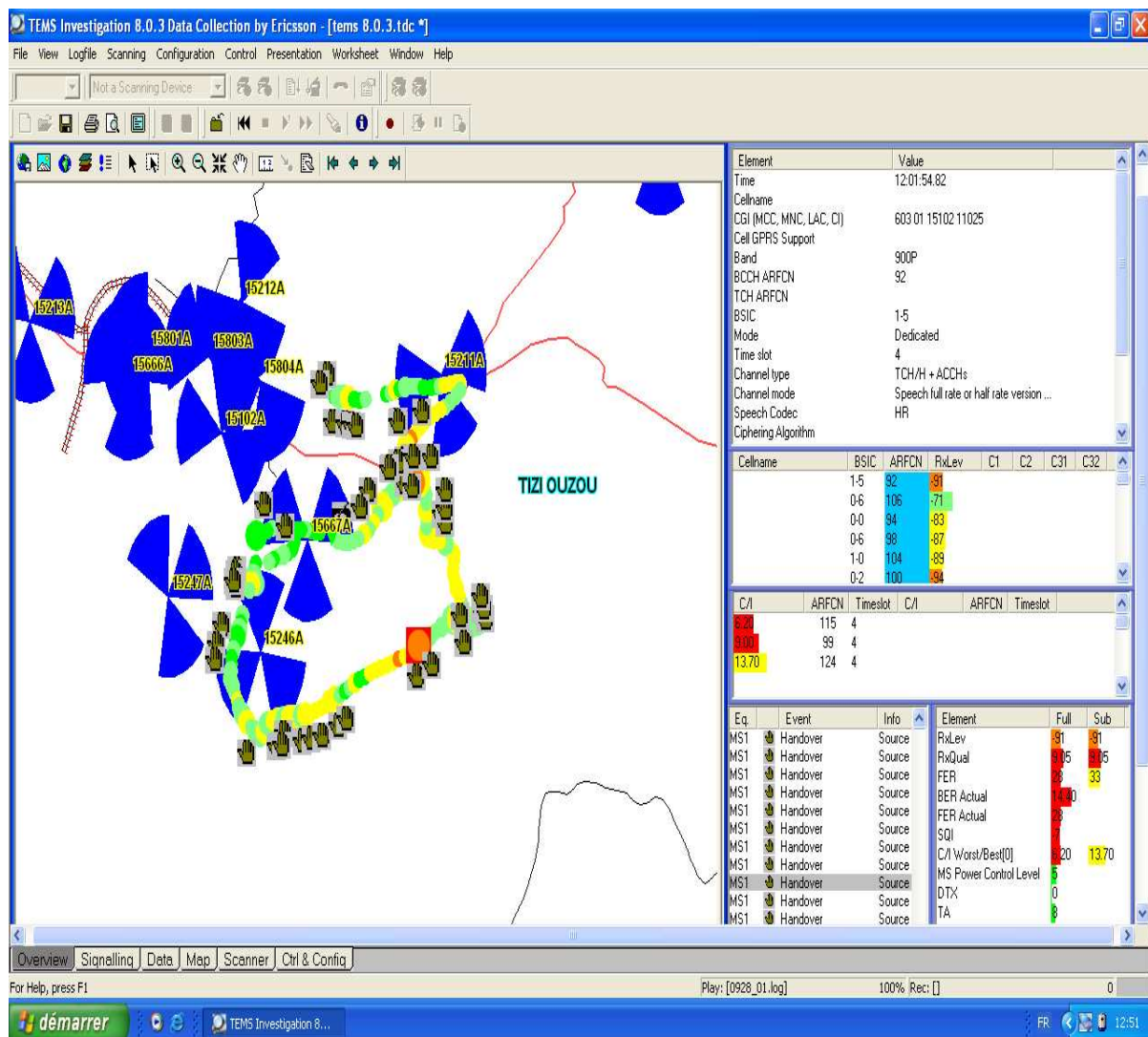
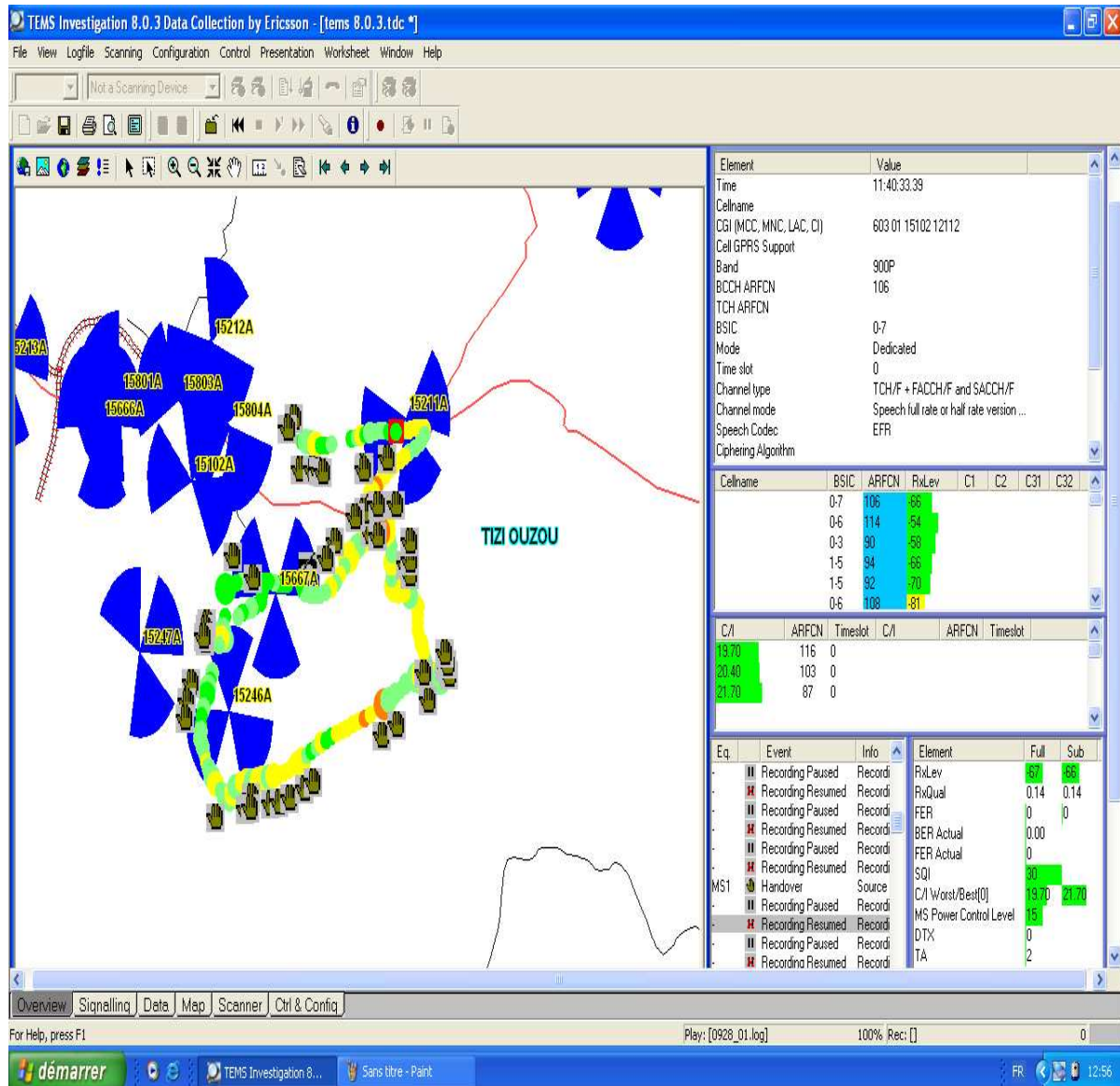


Fig. IV.1. Mauvaise couverture radioélectrique.

Sur la figure suivante on remarque que :

- Le niveau du signal est égal à -67.
- La qualité du signal est égale à 0.14.

Dans ce cas on a une bonne couverture radioélectrique sur le site 211.



F.IV. Une bonne couverture radioélectrique.

La figure suivante montre le niveau du signal émis par une antenne installée au niveau de site 246 à KRIM BELKACEM sur le secteur (c).

On remarque que RxQual est égal à 9.05, ce qui veut dire que la qualité du signal est mauvaise sur le site 246 secteur C.

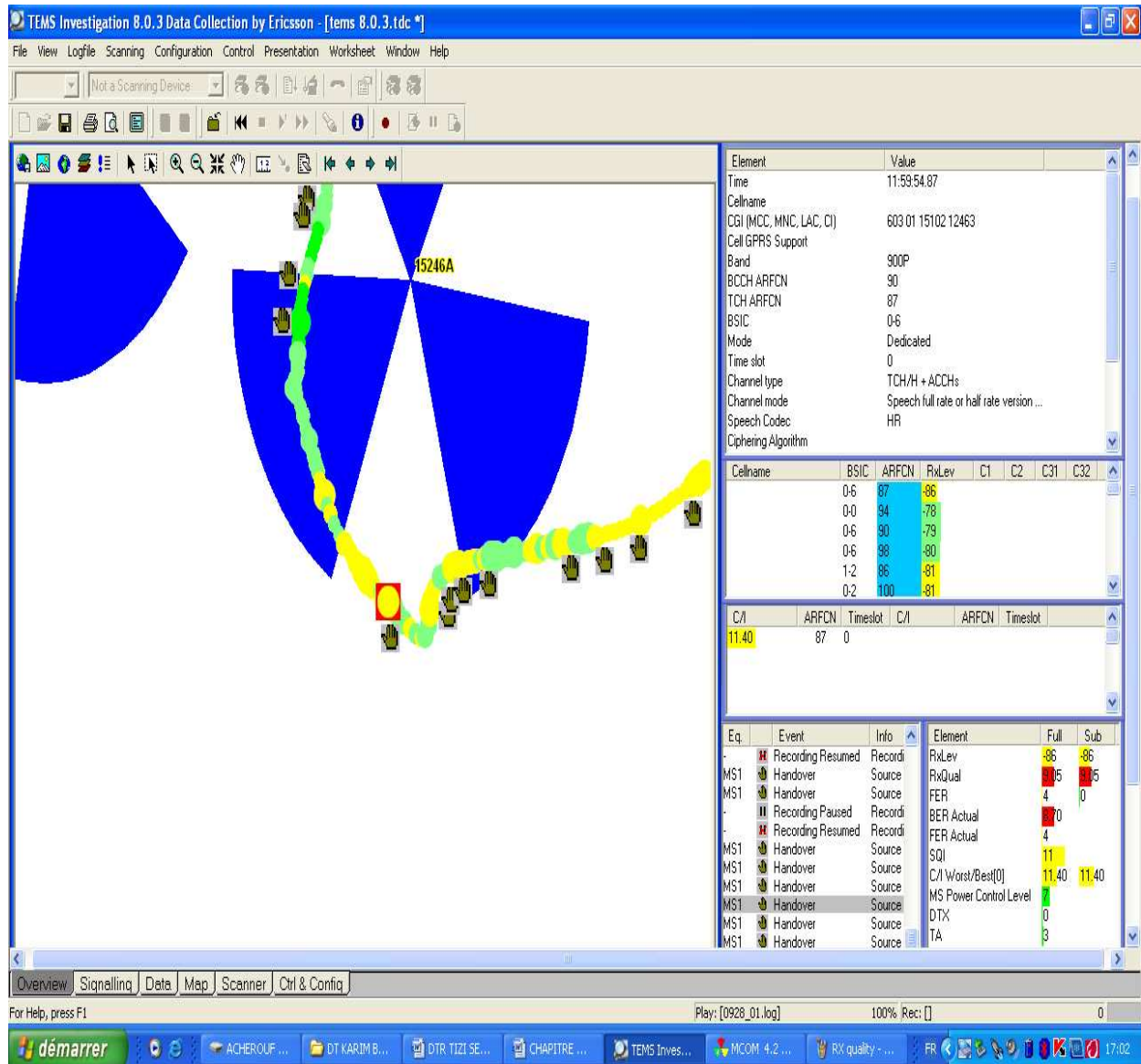


Fig. IV.3.mesure la qualité du signal.

Discussion

En utilisant le TEMS, nous avons détecté des anomalies aux niveaux de certaines cellules. A cet effet, nous nous sommes intéressés (l'équipe MOBILIS) à faire un test à l'aide de SITE MASTER sur ces cellules pour localiser le problème (Si la panne est au niveau des câbles ou bien si elle est au niveau de l'antenne). Pour ce faire, la station sera dotée de l'appareil SITE MASTER.

Le travail qui nous a été confié est l'étude des différents types d'antennes sectorielles utilisées lors de déploiement d'un site GSM de MOBILIS, ce projet est réalisé au niveau de MOBILIS de TIZI-OUZOU.

Après l'étude que nous avons abordée à travers ce mémoire, nous pouvons conclure que la planification d'un réseau cellulaire est une opération répétitive. Avec l'augmentation du nombre d'abonnés, l'opérateur doit constamment procéder à l'extension de son réseau.

Le canal radioélectrique est un milieu de propagation incontrôlable. L'utilisation des modèles de propagation facilite la tâche des ingénieurs radio dans leurs études, le canal radioélectrique reste toutefois un milieu très délicat à étudier, car les logiciels de prédiction ne constituent qu'une approche théorique de la propagation.

Lors de déploiement d'un site GSM, il faut prendre en considération le type d'antennes à utiliser et ses différentes caractéristiques (sa directivité, son azimut, le tilt...). L'installation d'une BTS demande des connaissances théoriques dans le domaine de radioélectrique et des connaissances informatiques pour la maîtrise des outils d'analyse, de déploiement et d'intégration des BTS.

Par ailleurs, nous pouvons aussi dire que le stage que nous avons effectués aux niveaux des centres de MOBILIS nous a été d'un grand apport, il nous a permis d'acquérir expérience dans le domaine professionnel.

Enfin, nous souhaitons que notre mémoire puisse être d'un apport pour les promotions à venir, et de leur servir comme support de documentation.

Liste des abréviations :

AC	Alternating Current
ACCU	Alternating Current Control Unit
AGCH	Access Grant CHannel
ALNA	Antenna Low Noise Amplifier
AO	Application Object
ARAE	Antenna Related Auxiliary Equipment
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number
AUC	AUthentication Center
BBS	Battery Back-up Stand
BCCH	Broadcast Control CHannel
BCH	Broadcast CHannel
BDM	Battery Distribution Module
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSIC	Base Station Identity Code
BSS	Base Station Sub-system
BTS	Base Transceiver Station
CBCH	Cell Broadcast CHannel
CCCH	Common Control CHannel
CCH	Control CHannel
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	Conférence Européenne des Postes et Télécommunications
CF	Center Functions
CI	Cell Identity
CIR	Carrier to Interference Ratio
CNA	Configuration Network Area
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTI	Centre de Transite International
DC	Direct Current
DCA	Dynamic Channel Allocation
DCCH	Dedicated Control CHannel
DCS	Digital Cellular System
DF	Distribution Frame
DSP	Digital Signal Processor
DTX	Discontinuous Transmission
DXB	Distribution Switch Broad
EA	Early Assignment
EIR	Equipment Identity Register
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ESB	External Synchronization Bus
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
FACCH	Fast Associated Control CHannel
FCCH	Frequency Correction CHannel
FDD	Frequency Division Duplex

FDL	F acility D ata L ink
FDMA	F requency D ivision M ultiple A ccess
FFH	F ast F requency H opping
FH	F requency H opping
GMSC	G ateway M obile S witching C enter
GMSK	G aussian M inimum S hift K eying
GPRS	G eneral P acket R adio S ervice
GPS	G lobal P ositioning S ystem
GSM	G lobal S ystem for M obile communication
HLDL	H igh L evel D ata L ink C ontrol
HLR	H ome L ocation R egister
HSN	H opping S equences N umber
IDB	I nstallation D ata B ase
IDM	I nternal D istribution M odule
IMEI	I nternational M obile E quipment I dentification
IMSI	I nternational M obile S ubscriber I dentification
ISDN	I ntegrated S ervice D igital N etwork
LA	L ocation A rea
LAC	L ocation A rea C ode
LAI	L ocation A rea I dentification
LAN	L ocal A rea N etwork
LAPD	L ink A ccess P rotocol on the D channel
LAPDm	L ink A ccess P rotocol on the Dm channel
LNA	L ow N oise A mplifier
LOS	L ose O f S ignal
MIC	M odulation par I mpulsion et C odage
MMI	M an- M achine I nterface
MS	M obile S tation
MSC	M obile S witching C enter
MSIN	M obile S ubscriber I dentification N umber
MSISDN	M obile S ubscriber I ntegrated S ervices D igital N etwork
MSRN	M obile S tation R oaming N umber
NSS	N etwork S ub- S ystem
OMC	O peration and M aintenance C enter
OMT	O peration and M aintenance T erminal
OSS	O peration S upport S ystem
PCH	P aging C hannel
PCM	P ulse C ode M odulation
PCMDP	P ulse C ode M odulation D igital P ath
PIN	P ersonal I dentification N umber
PIRE	P uissance I sotrope R ayonne E quivalente
PLMN	P ublic L and M obile N etwork
PS	P oint S émaphore
PSPDN	P acket S witched P ublic D ata N etwork
PSTN	P ublic S witched T elephone N etwork
PTS	P oint de T ransfert de S ignification

RACH	R andom A ccess C hannel
RBS	R adio B ase S tation
RDA	R eceiver D ivider A mplifier
RF	R adio F requency
RNIS	R éseau N umérique à I ntégration de S ervice
RTCP	R éseau T éléphonique C ommuté P ublique
SACCH	S low A ssociated C ontrol C hannel
SCH	S ynchronization C hannel
SFH	S low F requency H opping
SIM	S ubscriber I dentify M odule
SMS	S hort M essage S ervice
SS	S witch S ystem
TA	T ime A dvanee
TBP	T ransmitter B and P ass filter
TCH	T raffic C hannel
TDMA	T ime D ivision M ultiple A ccess
TEMS	T est M obile S ystem
TEI	T erminal E ndpoint I dentifier
TF	T iming F unction
TG	T ransceiver G roup
TIM	T ransmission I nterface M odule
TMSI	T emporary M obile S ubscriber I dentify
TNOM	T ransport N etwork O peration M aintenance
TRC	T Ranscoder C ontroller
TRX	T ransmitter/ R eceiver
TS	T ime S lot
UHF	U ltra H eight F requency
UIT	U nion I nternational des T élécommunications
UMTS	U niversal M obile T elecommunication S ervice
UPS	U ninterrupted P ower S upply
VCO	V oltage C ontrol O scillator
VLR	V isited L ocation R egister
VSWR	V oltage S tanding W ave R atio

GLOSSAIRE :

AGCH : Access Grant Channel : canal commun descendant utilisé par le réseau pour envoyer au mobile un message d'allocation de canal dédié.

Antenne isotrope :

Antenne relais : Antenne servant de point d'accès à un sans fil.

Authentification : Processus permettant au réseau de vérifier qu'un abonné est autorisé à utiliser le réseau en contrôlant la présence d'une clé secrète dans sa carte SIM.

BER : *Bit Error Rate* : Dans le domaine des transmissions télécoms, il s'agit du pourcentage de bit en erreur par rapport au nombre total de bits reçus. Le BER est un indicateur du nombre de paquets ou unités de transmission à retransmettre à cause d'une erreur. Généralement si le BER du signal est trop élevé, il faut choisir un débit de transmission inférieur.

BPS : Bauds par seconde : c'est la vitesse de transmission des données sur un réseau. La norme GSM limite la vitesse de transmission de données à 9600 BPS.

Carte Ethernet (Carte Réseaux) : Périphérique qui permet de connecter un ordinateur à Internet ou sur un réseau local.

BSIC : Code de couleur permettant de distinguer deux BTS utilisant la même fréquence de voie balise. Il est utilisé pour déterminer la séquence d'apprentissage sur les canaux dédiés.

Burst : Elément du signal transmis par un équipement à l'intérieur d'un slot en TDMA.

Canal logique : Suite de slots dédiés à une fonction particulière.

Canal physique duplex : Paire de canaux physiques simplex, l'un sur la voie montante l'autre sur la voie descendante.

Canal physique simplex : Canal formé par un numéro de slot dans la trame TDMA sur une fréquence donnée ou une séquence de fréquences. On distingue les canaux physiques plein-débit (1 slot par trame TDMA) des canaux physique demi-débit (1 slot toutes les 2 trames TDMA)

Carte SIM : C'est une carte à puce qui identifie l'abonné et enregistre toutes les informations ayant trait au réseau et au forfait choisi. Comme elle permet la facturation.

CDMA : Code Division Multiple Access : il désigne le réseau de téléphonie mobile dominant aux Etats-Unis et en Corée. Il constitue de fait l'un des réseaux les plus importants dans le monde, par le nombre de ses utilisateurs, après le réseau GSM.

Techniquement il s'agit d'une méthode d'accès au canal hertzien utilisée par certains réseaux de téléphonie mobile. Avec le CDMA, chaque utilisateur émet un spectre étalé obtenu au moyen d'un code aléatoire personnel : tous les utilisateurs utilisent ainsi simultanément la même bande de fréquence. Le signal de base est d'abord converti en un signal radio numérique à bande étroite et se voit ensuite alloué un code d'étalement afin de pouvoir être distingué parmi les signaux d'autres utilisateurs.

Le CDMA connaît aujourd'hui une évolution pour en faire un standard de troisième génération (3G) : le W-CDMA ou CDMA large bande, cette technologie W-CDMA, optimisée pour les services multimédia hauts tels que l'accès à internet et à la vidéoconférence, permettra d'atteindre des vitesses de transmission jusqu'à 2Mbit/s au niveau local et jusqu'à 384 Kbit/s pour des distances plus grandes.

Cellule : Ensemble des points où le mobile peut dialoguer avec une station de base donné par une qualité acceptable.

Chiffrement : Processus permettant de coder les informations transmises de façon à ce qu'elles ne soient compréhensibles que par une entité disposant d'une clé de chiffrement.

Codage demi-débit : Codage de parole spécifié dans le GSM à un débit d'environ 5,6 Kbit/s.

Codage plein débit amélioré : Codage de parole spécifié dans le GSM à un débit d'environ 13 Kbit/s, offrant une qualité auditive améliorée.

Code PIN : Personal Identification Number : Ce code de sécurité protège votre carte SIM de toute utilisation frauduleuse en cas de perte ou de vol du téléphone. Après 3 essais erronés, votre carte sera bloquée.

Code PUK : Ce code est un numéro fourni par le service client de votre réseau afin de débloquent votre carte SIM suite à 3 erreurs successives sur le code PIN.

Commutateur : Nom donné au nœud d'un réseau de transfert à communication de paquets.

Compensation temporelle (timing advance) : Décalage volontaire de la transmission d'un mobile ce décalage permet au message d'arriver à la station de base synchronisé avec les émissions des autres mobiles de la cellule.

Data/Fax : C'est la fonction des téléphones qui permet le transfert à distance de données ou de fax, d'ordinateur portable à ordinateur. La vitesse de transfert des informations s'exprime en bauds (bds).

Data / Inside : C'est un téléphone mobile équipé en terme d'un modem, lui permettant une fois connecté à un ordinateurs portable (par câble ou infrarouge) de faire de la transmission de données (fax, Internet, etc.).

dBd: dB dipôle, Unité servant à exprimer le gain d'une antenne par rapport à un dipôle simple.

dBi: dB isotrope, Unité servant à exprimer le gain d'une antenne par rapport à une antenne isotrope idéale. Le gain en dBi est égal au gain en dBd plus 2,15dB.

DCS 1800 : Réseau numérique, reprenant la même technologie que le GSM et prévu pour éviter son éventuelle saturation. Il fonctionne en bande 1800Mhz au lieu de 900 Mhz pour le GSM.

DECT : Digital European Cordless Telecommunications: Norme de téléphonie sans fil numérique incorporant certaines fonctionnalités des téléphones cellulaires, notamment une garantie de confidentialité et une qualité de son supérieure, la norme DECT permet notamment d'utiliser avec une seule base commune jusqu'à 6 combinés indépendants mais tous reliés à la même ligne téléphonique.

E1 European Digital Signal1 : Appellation du tronc numérique du réseau public en Europe, transmission sur 32 canaux multiplexés à 2048 Kb/s, dont sert à la signalisation et un sert à la gestion.

EDGE : Enhanced Data GSM Evolution : Etape intermédiaire vers la téléphonie mobile à large bande (vitesse de transmission jusqu'à 473,6 Kb/s). Comme le GPRS, EDGE fonctionne également en mode paquet pour la transmission des données, avec une connexion permanente au réseau Internet.

EMS : Enhanced Messaging Service : Première évolution du SMS avant le MMS. Permet l'envoi des fichiers attachés du type logos, sonneries, image et sons.

Faisceau : Ensemble de circuits entre deux équipements. Par défaut en contexte téléphonique, un faisceau désigne l'ensemble des circuits téléphoniques (de parole) entre deux centraux passant par le même trajet géographique.

FDMA : Frequency Division Multiple Access : Technologie à répartition de ressources par multiplexage fréquentiel. Cette technique prévoit un mécanisme d'accès aux ressources.

FM : Frequency Modulation : Technique par laquelle on module la fréquence instantanée d'une porteuse au moyen du signal modulant à transmettre.

Gain d'une antenne : Rapport entre la puissance maximale rayonnée par une antenne et la puissance rayonnée par une antenne de référence alimentée par une même énergie. L'antenne de référence est soit une antenne isotrope (cas le plus fréquent), soit un dipôle7 élémentaire.

GPRS : General Paquet Radio Service : Evolution de norme GSM, le GPRS utilise les mêmes infrastructures et permet d'atteindre des débits de l'ordre de 170 Kb/s. c'est le réseau GSM de deuxième génération. Il permettra d'envoyer et de recevoir des paquets de données à partir de son téléphone portable à une vitesse de 115 Kb/s, soit trois fois le débit de l'actuel système GSM.

GSM : Global System for Mobile communications : Norme Pan-Européenne (mondial aujourd'hui) de téléphonie cellulaire numérique. La norme GSM exploite plusieurs fréquences (900 et 1800Mhz en France et dans la plupart des pays du monde, 1900 Mhz en Amérique du Nord). C'est la norme de téléphonie cellulaire la plus répandue au monde.

Handover : C'est la propriété qu'a un téléphone de capter un réseau puis un autre, de passer de l'un à l'autre en cours de communication.

HSCSD : High Speed Circuit Switched Data : Norme pour la communication à haute vitesse (43,2 Kb/s) sur le réseau GSM.

HSN : Hopping Sequence Number : Une classe de paramètres, définis dans la norme GSM, pour configurer la séquence de porteuses utilisées pour les sauts de fréquences.

HTML : HyperText Markup Language : Codification utilisée pour baliser les éléments des documents Web (forma du texte, des polices, de la couleur, des images, etc.).

IMEI : International Mobile Equipment Identity : Chaque terminal mobile GSM possède un numéro d'identification appelé IMEI, ce numéro qui est indiqué sur l'appareil (souvent sous la batterie) est aussi stocké dans les mémoires du terminal.

IMSI : International Mobile Subscriber Identity: Identité internationale d'un abonné inscrite dans la carte SIM.

ISDN : Integrated Services Digital Network : Désigne le réseau téléphonique numérique RNIS.

LAPD : Link Access Protocol D-channel : Protocole de liaison de données utilisée dans le réseau GSM, il est défini dans la famille des recommandations X25 de l'UIT.

MA : Mobile Allocation : Liste des numéros de fréquences utilisables pour des sauts de fréquences dans le réseau GSM.

MMS : Multimédia Messaging Service : Version multimédia du SMS, permettant de joindre de véritables fichiers multimédia au message texte : vidéo, sons, images en haute résolution.

Mobilité : Possibilité pour un utilisateur, dans un système de communication de se connecter de n'importe quelle réseau d'accès sans changer d'identificateur (adresse ou numéro de téléphone).

MSISDN: Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network. C'est le numéro d'appel de l'abonné lié à HLR, les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

OSI : Open System Interconnection : Proposition pour l'interconnexion des systèmes ouverts. Ce système a défini 7 couches pour le fonctionnement des applications en environnement réseau.

PLMN : Public Land Mobile Network : Il s'agit du réseau GSM, DCS ou PCS d'un opérateur dans un pays.

PCMCIA : Il s'agit d'une carte modem qui permet de relier un ordinateur portable à un téléphone portable. Grâce à un logiciel, l'utilisateur peut ainsi recevoir et émettre des fax, transférer des données ou se connecter à Internet...

Sur certains modèles de téléphones, la carte PCMCIA est intégrée.

Paging : Technique permettant de localiser un utilisateur au niveau de la cellule.

Réseau : Des arcs et des nœuds.

Réseau Intelligent : Principe consistant à séparer les mécanismes de base communs à tous les services des procédures spécifiques à chaque service dans le réseau téléphonique et à les implanter sur des équipements différents.

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Service: Désigne le réseau téléphonique numérique.

Roaming: C'est la possibilité d'émettre et de recevoir des appels depuis un pays étranger en gardant le même numéro de téléphone, si un opérateur de ce pays a signé des accords d'itinérance avec votre opérateur et que votre mobile fonctionne sur la fréquence d'un des réseaux de ce pays.

RTCP : Réseau Téléphonique Commuté Public : Réseau filaire téléphonique public. En France, c'est le nom de réseau fixe de France Télécom.

SAR : Le SAR ou DAS en Français, s'exprimé en W /Kg, quantifie le niveau d'exposition aux ondes électromagnétiques et permet de vérifier la conformité des mobiles à la réglementation française et européenne qui impose que celui-ci soit inférieur à 2W/Kg.

SCS : Société de Commercialisation de Service : Ces sociétés intermédiaires gèrent les clients de certains détaillants et leurs abonnements pour le compte des opérateurs.

Les contrats de téléphonie souscrits chez the Phone House sont en direct avec les opérateurs.

SMS : Short Message Service ou télé-message : Système d'envoi et de réception de messages alphanumériques de 160 caractères maximum depuis votre mobile directement.

TDMA : Time Division Multiple Access : Technique de répartition de ressources par multiplexage temporel.

Trame : En télécommunication, le mot trame désigne un ensemble d'informations numériques temporelles.

Trame TDMA : Ensemble d'intervalles de temps répété périodiquement. La durée de la trame TDMA de GSM est 4,615ms.

Transcodage (translating) : Il s'agit d'un procédé de changement du débit d'un signal comprimé.

UMTS : Universal Mobile Telecommunication System: Prochaine étape après le GPRS, l'UMTS devrait permettre d'acheminer des images, de la vidéo, et de grandes quantités de données sur les téléphones mobiles.

Voie balise : Canal utilisé par le système pour diffuser les informations permettant aux mobile d'acquérir les paramètres système (synchronisation, fréquence, localisation, emplacement des canaux,...).

WAP : Wireless Application Protocole : Cette norme vous donne l'accès à internet des mobiles grâce à la transmission de données d'informations textuelles sur le réseau GSM (cours de la bourse, circulation, guide des restaurants, radioguidage, etc.).

WCDMA ou AMRC : Large bande (Wideband CDMA ou AMRC large bande), méthode d'accès au canal hertzien dérivé de l'AMRC (Accès Multiple à Répartition par Code) et utilisé par les réseaux de troisième génération (UMTS).

Annexe 1 :

1. Les différents types de BTS :

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 1 : Exemple d'une macro BTS.

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

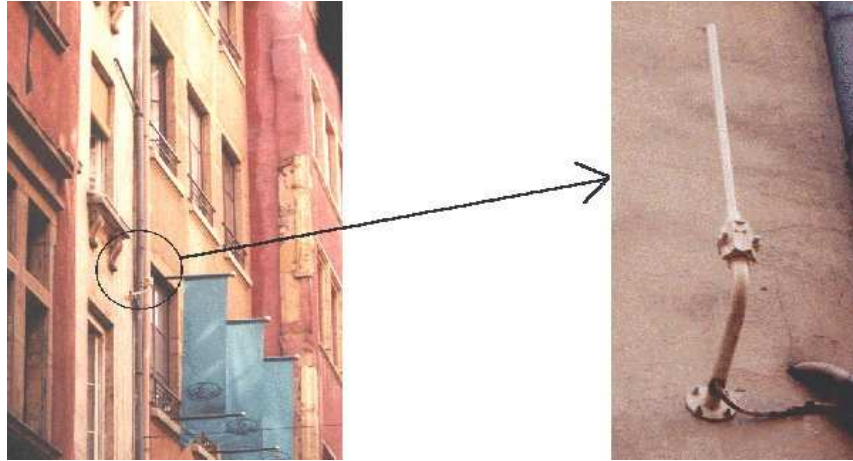


Figure 2 : Exemple d'une micro BTS.

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



Figure 3 : Exemple d'une BTS ciblée.

- **Les amplificateurs de signal** : Ne sont pas des vrais BTS, mais ils permettent de couvrir des petites zones comme une véritable BTS, en captant le signal de faible puissance émet par les BTS mère, puis l'amplifient et le réémettent dans les zones à reliefs difficiles pour couvrir les trous laissés par la BTS principale.

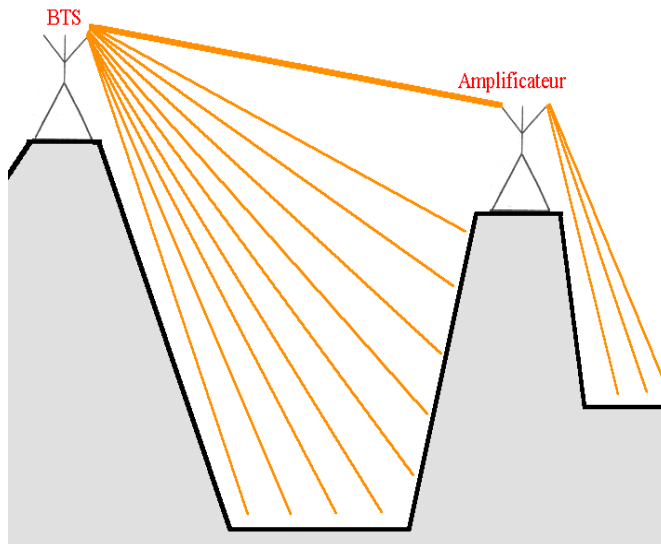


Figure 4 : Amplificateurs du signal.

2. La mobilité de HandOver :

La mobilité est la possibilité qu'a le mobile de maintenir la communication lors de son déplacement. Pour cela, le réseau effectue la procédure de HandOver (HO).

Le HO est le processus par lequel une communication établie est maintenue alors que le mobile se déplace à travers le réseau cellulaire; elle implique que la communication puisse passer d'un canal physique à un autre canal physique avec le minimum d'interruption (en moyenne < 100 ms pour une communication voix dans le GSM).

Il est évident qu'en cas de petites cellules, les HO peuvent se multiplier et entraîner une charge grandissante pour le réseau. Bien que le HO soit fondamentalement un transfert intercellulaire, il existe aussi un type de HO intracellulaire imposé par la qualité de service de la communication.

➤ HO intercellulaire :

- Se produit lorsque les mesures effectuées sur une cellule voisine présente une meilleure qualité que celle de la cellule active.
- Se produit lorsque le réseau souhaite transférer la charge du trafic sur des cellules adjacentes.

➤ HO intracellulaire :

Se produit lorsque les mesures montrent que la qualité du signal reçu est faible avec un niveau de champs du signal élevé dans la cellule active. Implique le BSC seul.

Pour définir si la communication est de bonne ou mauvaise qualité, des paramètres ont été définis :

- ✓ Le niveau de puissance du signal de la cellule RxLev.
- ✓ La qualité du signal de la cellule RxQual.
- ✓ La distance entre Mobile et BTS : le Timing Advance (TA).

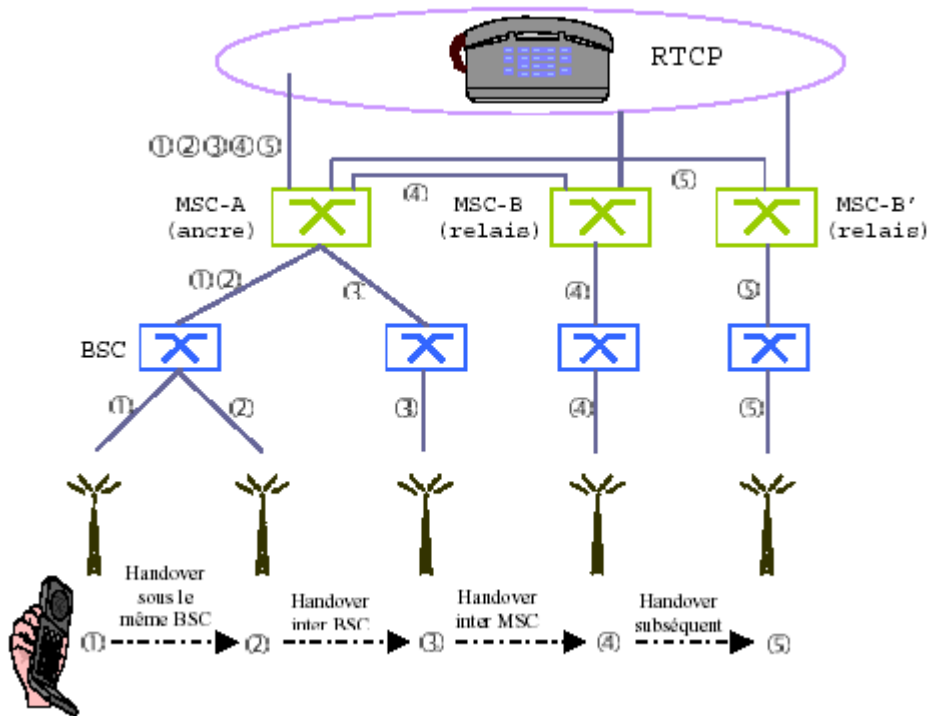


Fig. 5. Différentes Handover intercellulaire.

3. Format des bursts :

Chaque slot sert au transport d'un canal logique. Le burst est le contenu physique du slot. L'information à transmettre est donc découpée en bursts. On

retrouve donc dans le système de différents types de bursts en fonction des différents types de canaux logiques.

- **Burst normal** : Ce burst transporte $2 \times 57 = 114$ bits d'information séparées par 26 bits qui sont une séquence d'apprentissage destinée à régler les paramètres de réception. De plus, la zone TB correspond à 8.25 bits.

Enfin, il faut ajouter à cela 2 bits qui indiquent s'il s'agit d'un canal de données ou d'un canal de signalisation et 6 bits pour marquer la montée ou la descente en amplitude.

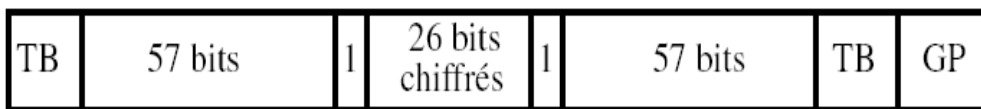


Fig. 6. Burst normal.

- **Le burst de bourrage** : Lorsqu'un mobile est allumé, le terminal teste le niveau de puissance des fréquences des cellules proches pour déterminer la station de base à laquelle il doit s'asservir. Le burst de bourrage (*dummy burst*) est une séquence prédéfinie qui sert donc d'étalon de puissance. Il est aussi utilisé pour forcer une décision de handover.

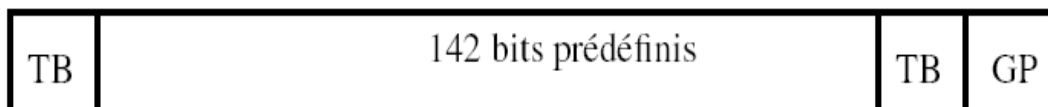


Fig. 7. Burst de bourrage.

- **Burst de correction de fréquence** : Le type de burst au format le plus simple. La station de base envoie 142 bits de données servant à prévenir des interférences possibles avec des fréquences voisines.

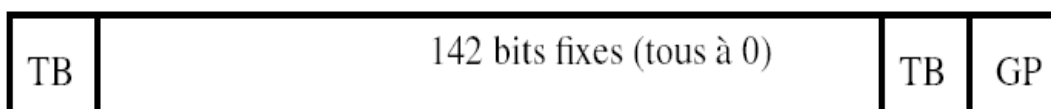


Fig. 8. Burst de correction de fréquence.

- **Le burst de synchronisation :** Pour ce type de burst, 78 bits d'informations sont véhiculés pour les stations mobiles. Ces bits contiennent les renseignements concernant les fréquences à utiliser et la localisation (identité de la station de base, de la zone et de la cellule).

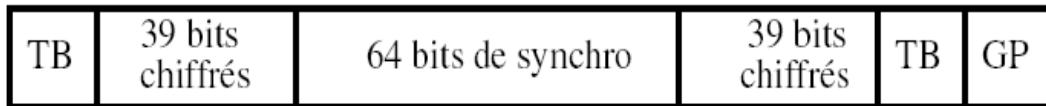


Fig.9. Burst de synchronisation.

- **Le burst d'accès :** Ce burst est émis, sur un canal dédié, par la station mobile lorsqu'elle cherche à entrer en contact avec le réseau soit pour l'établissement d'une communication, soit pour un *handover*. Il est le plus court des quatre types car il ne contient que 77 bits (41 bits de synchronisation et 36 bits d'information).

Son temps de garde est de 68.25 bits, soit 0.252 [ms]. Ce temps de garde permet de tenir compte de grandes cellules et d'établir ainsi une communication avec un mobile distant jusqu'à 35 [km].

En calculant la durée de voyage d'un burst, la station peut asservir l'instant du début d'émission pour compenser le retard entraîné par la propagation des ondes. En effet, l'horloge interne des récepteurs est synchronisée grâce à un top de synchronisation envoyé par la station de base.

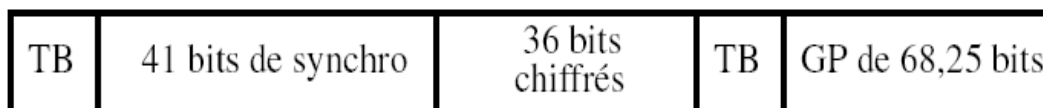


Fig. 10. Burst d'accès.

Annexe 2 : les modèles de propagation

Les modèles macrocellulaires les plus utilisés sont :

- Le modèle de HATA : il s'applique aux fréquences comprises entre 150 et 1 000 MHz (par exemple le GSM 900). En milieu urbain, l'affaiblissement L_u en dB est donné par l'équation :

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.821 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d(2.21))$$

Le paramètre $a(h_m)$ est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne et de l'environnement radio, il est donné dans le tableau ci-dessous :

Environnement radio	$a(h_m)$
Pour une ville de taille moyenne	$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \dots \dots \dots (.)$
Pour une grande ville, avec $f > 400$ MHz.	$a(h_m) = 3.2[\log(11.75h_m)]^2 - 4.97 \dots \dots \dots (.)$

Tableau 1 : valeurs du paramètre $a(h_m)$.

En milieu suburbain, l'affaiblissement L_u est donné par :

$$L_{su} = L_u - 2[\log(\frac{f}{28})]^2 - 5.4 \dots \dots \dots (2.22)$$

En milieu rural, on distingue deux cas :

1. Lorsque l'environnement est totalement dégagé, l'affaiblissement L_{rd} en dB est donné par :

$$L_{rd} = L_u - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \dots \dots \dots (2.23)$$

2. Lorsque l'environnement est semi dégagé, l'affaiblissement L_{rd} en dB est donné par :

$$L_{rd} = L_u - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \dots \dots \dots (2.24)$$

- Le modèle de COST 213-HATA : Il s'applique aux fréquences comprise entre 1 500 et 2 000 MHz (par exemple le DCS 1 800). En milieu urbain, l'affaiblissement est donné par :

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.821 \log(h_b) - a(h_m) \\ + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) + C_m \dots \dots \dots (2.25)$$

Avec : $a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \dots \dots \dots (2.26)$

Et $C_m = 0dB$ pour les villes de tailles moyennes.

$C_m = 3dB$ Pour les grandes villes.

➤ **Modèle de Walfish-Ikgami** : Il est destiné aux système dont les fréquences sont comprises entre 800 et 2 000 MHz, la hauteur des stations de base doit être comprise entre 4 et 50 m, celle des stations mobile de 1 à 3 m, et la distance entre les deux est comprise entre 20 et 2 000 m. ce modèle est destiné aux zones urbaines, il permet d'estimer l'affaiblissement en fonction de plusieurs paramètres : largeur des rues, hauteur et largeur des immeubles, ...etc.

1. **Les modèles microcellulaires** : ces modèles sont utilisés lorsque les puissances d'émissions sont faibles, si le mobile est en visibilité directe (LOS) avec la BTS, l'affaiblissement en dB est donné par l'équation suivante :

$$L_{los} = 42.6 + 20 \log(f) + 26 \log(d) \dots \dots \dots (2.27)$$

Pour $d > 0.02Km$.

Cette équation est applicable pour des fréquences allant de 800 à 2 000 MHz, la hauteur de l'antenne mobile est comprise entre 1 à 3 m, et la hauteur de l'antenne BTS est de 4 à 50 m.

Lorsque le mobile ne se trouve pas en visibilité directe avec la BTS, on ajoute à l'équation 2.16 un affaiblissement dû aux trajets multiples qui est égale à 20 dB.

Les modèles microcellulaires et macrocellulaires sont dites Outdoor, ils ne tiennent pas en compte l'affaiblissement causé par les murs et les toits des bâtiments.

ANNEXE

Il existe cependant des modèles dits modèles Indoor qui tiennent en compte des atténuations causé par la traversée des bâtisses. Cette atténuation dépend de la fréquence du signal, de la nature des murs et de leur épaisseur. Par exemple, un mur en béton d'épaisseur 30 cm engendre une atténuation d'environ 10dB.

Bibliographie :

[1] Réseau GSM – 5^e édition revue et augmentée.

Xavier Lagrange – Philippe Godlewski – Sami Tabbane. Juillet 2000.

[2] Le réseau GSM – l'évolution GPRS – Une étape vers UMTS.

Joachim Tisal – 3^e édition. Avril 2001.

[3] Mrs. IDIR Hassen, BOUDISSA Arezki et HARIKENCHIKH Saïd, Etude et déploiement d'un nouveau site (BTS) de MOBILIS dans la Wilaya de Tizi-Ouzou, thèse d'ingénieur d'état en électronique 2008 (T-O).

[4] Melles : Z. HABANI et L. RECHIK, Architecture interne et principe de fonctionnement de Base Radio du réseau GSM, thèse d'ingénieur d'état en électronique 2006 (T-O).

Web graphie :

[5] <http://www>. Principe de fonctionnement du réseau GSM.

[6] [http://www.antennes-relais GSM](http://www.antennes-relais-gsm.com).

[7] [http://www.propagation des ondes radioélectrique](http://www.propagation-ondes-radioelectrique.com).

[8] <http://www.katrein.de>

[9] <http://www.juliendelmas.com> (Les relais GSM, document PDF)