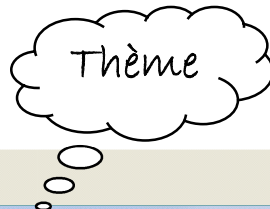


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'électronique



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en électronique
Option : Communication



Etude et déploiement d'un nouveau
site GSM(BTS) de MOBILIS dans
la Wilaya de Tizi-Ouzou

Proposé par : Mr. M.LAHDIR

Réalisé et présenté par :

Encadré par :

- Mr. M.LAHDIR
- Mr. K. HAMDAD

- Hassen IDIR
- Arezki BOUDISSA
- Saïd HARIKENCHIKH

Promotion 2008

REMERCIEMENTS

Tous nos vifs remerciements et notre profonde reconnaissance s'adressent à notre promoteur Mr. Mourad LAHDIR à qui nous tenons à témoigner notre sincère gratitude pour nous avoir confié ce sujet, et pour son intérêt, sa disponibilité, ces conseils, son aide ... qu'il n'a pas cessé de nous prodiguer durant toute la durée de notre travail.

Nous tenons à remercier tous le personnel de MOBILIS, à savoir Messieurs K.HAMDAD, A.DIDAOUI, T.LAHDIRI et Mr. DJ. DJERAOUI. Nos remerciements vont également à Melle Z.HABANI pour toute l'aide qu'elle nous a fournie. Que tous ceux de MOBILIS ou d'ailleurs qui par des renseignements, des conseils, par leur appui ou leur encouragement ont rendu possible ce travail soient assurés de notre profonde gratitude.

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

Enfin, nos derniers remerciements, mais non les moindres, sont adressés à tous ceux qui, sans avoir été impliqués directement dans le projet, ont toujours été d'un grand support : nos familles, nos amis, nos enseignants, nos collègues... qui tous se reconnaîtront nous l'espérons sans les avoir nommer !

MES DEDICACES

Je dédie tout particulièrement ce travail à la mémoire du défunt Mohammed CHALLAL qui nous a quitté alors que j'écrivais les premières lignes de ce mémoire, que dieu tout puissant l'accueille dans son vaste paradis.

Je le dédie aussi à la mémoire de mes grands parents et de mon oncle Ahmed.

A mes chers parents pour avoir été toujours présents, pour le soutien qui m'ont apportés durant de longues années d'études.

A mes chers frères : Ali, Kamal, Farid et Nassim.

Je dédie aussi ce travail à mes pots, aux anciens du 26 juin 2008. Ahmed, Meziane, Ghani et Nacer et merci pour le soutien moral qui m'ont apportés.

Je le dédie aussi à tous les miens, à tous les gens qui me connaissent bien, à tous mes pots et mes frangins, à toutes les personnes que j'ai connus même ceux que j'ai perdu de vue.

Hassen

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : ARCHITECTURE DU RESEAU GSM

I. Introduction au GSM.....	1
I.1. Le concept cellulaire.....	2
I.2. Différents types de cellules.....	3
I.3. Architecture du réseau GSM.....	4
I.3.1. La station mobile.....	6
I.3.2. Le sous système radio, BSS.....	6
1. La station de Base, BTS.....	6
2. Le contrôleur de base, BSC.....	9
I.3.3. Le sous système réseau, NSS.....	9
1. Le centre de commutation mobile, MSC.....	10
2. L'enregistreur de localisation nominale, HLR.....	10
3. L'enregistreur de localisation des visiteurs, VLR.....	11
4. Le centre de l'authentification, AUC.....	11
5. L'enregistreur des identités des équipements, EIR.....	11
I.3.4. Sous-système d'exploitation et de maintenance, OSS.....	12
I.4. Le Handover.....	12
I.5. Les interfaces du réseau GSM.....	13
I.6. Les régions géographiques d'un réseau GSM.....	15
I.7. Conclusion.....	18

CHAPITRE II : LA TRANSMISSION SUR L'INTERFACE RADIO.

II.1. L'interface radio.....	19
II.2. Bandes de fréquences allouées.....	19
II.3. Partage de la ressource radio.....	20
II.3.1. Accès multiple à répartition de fréquences FDMA.....	20
II.3.2. Accès multiple à répartition dans le temps TDMA.....	21
II.4. Le saut de fréquence.....	23

II.5.	Organisation des trames.....	23
II.6.	Constitution d'un slot.....	24
II.7.	Compensation du temps de propagation	25
II.8.	Les canaux physiques	26
II.9.	Les canaux logiques.....	26
II.10.	la chaine de transmission.....	28
II.10.1.	Codage source.....	29
II.10.2.	Codage canal.....	29
II.10.3.	Entrelacement, multiplexage et constitution des bursts.....	29
II.10.4.	Le chiffrement	31
II.10.5.	La modulation.....	31
II.11.	Les antennes.....	33
II.11.1.	Caractéristiques des antennes.....	33
1.	Les Fréquences d'utilisation	33
2.	Le Diagramme de rayonnement	34
3.	La Directivité	34
4.	Le gain	36
II.12.	La propagation des ondes électromagnétiques.....	37
II.12.1.	Propagation en espace libre.....	37
II.12.2.	Mécanismes de propagations.....	38
II.12.3.	Les bruits et les interférences	40
II.12.4.	Les multitrajets.....	41
II.12.5.	Les techniques de diversités	42
II.12.6.	Les modèles de propagations	43
I.13.	Conclusion.....	44

CHAPITRE3 : INGENIERIE DE DEPLOIEMENT D'UN SITE GSM.

III.1.	Planification d'un réseau cellulaire.....	45
III.2.	Analyse du trafic.....	46
III.2.1.	La variation du trafic.....	47
III.2.2.	Paramètres utilisées.....	47
III.2.3.	Types de trafic.....	48
III.2.4.	L'unité de trafic.....	48

III.2.5. Paramètres de qualité de service.....	49
1. Le taux de blocage : 1 ^{ère} formule d'Erlang.....	49
2. Le temps d'attente : 2 ^{ème} formule d'Erlang.....	49
III.2.6. Dimensionnement d'un site GSM.....	50
1. Calcul du nombre de TCH.....	50
2. Calcul du nombre de TRX.....	51
III.3. Le Drive Test.....	52
III.3.1. Le niveau du signal.....	53
III.3.2. la qualité du signal.....	54
III.3.3. le Timing Advance.....	54
III.3.4. les interférences.....	55
III.3.5. la qualité de la parole.....	57
III.4. La densification.....	58
III.4.1. Augmentation des ressources radio.....	58
III.4.2. Modification du plan de fréquences.....	59
III.4.3. Modification des motifs cellulaires.....	59
III.4.4. La sectorisation.....	60
III.5. Etapes de déploiement d'un nouveau site.....	61
III.5.1. Création un point nominal.....	61
III.5.2. Le site Survey.....	62
III.5.3. Simulation de couverture sur logiciel.....	63
III.5.4. visite d'identification et de repérage.....	63
III.5.5. visite technique du site.....	65
III.5.6. Travaux génie civil.....	66
III.5.7. Installation des équipements.....	66
III.5.8. Intégration et mise en service.....	68
III.6. Conclusion.....	72

CHAPITRE4 : DEPLOIEMENT D'UNE BTS A TIZI-OUZOU.

IV.1. Situation de la zone étudiée.....	73
IV.2. Le Drive Test.....	75
IV.2.1. Le niveau du signal RxLevel.....	75

IV.2.2. La qualité du signal RxQual.....	77
IV.2.3. La qualité de la parole (SQI).....	78
IV.2.4. Le Timing Advance TA.....	80
IV.2.5. Les interférences.....	81
IV.3. Simulation de couverture sur logiciel.....	85
IV.4.Conclusion.....	92
Conclusion générale.....	93
Annexes.	
Bibliographie	

La téléphonie mobile est devenue un véritable bien de consommation courante à la portée de tout un chacun, cela grâce à la grande innovation des réseaux cellulaires numériques. Le GSM est une norme de téléphonie mobile dite de deuxième génération. Avec plus d'un milliard d'utilisateurs dans le monde, le GSM est le standard le plus répandu. Il existe toutefois d'autres standards pour la téléphonie mobile mais le GSM reste le système le plus utilisé.

Le réseau GSM a été conçu pour permettre aux abonnés d'effectuer des appels en se déplaçant en différents points du territoire couvert, il offre aussi d'autres services tels que les messages courts (SMS) et les renvois 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'interférence. 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 très importants dans la transmission des appels, l'implantation de ces BTS dans différentes cellules représente une tâche très délicate, l'opérateur doit prendre en considération plusieurs paramètres.

L'opérateur doit analyser le comportement de ses abonnés vis-à-vis du réseau, c'est ce qu'on appelle l'étude du trafic, ces études permettent le dimensionnement des sites GSM, autrement dit, le calcul du 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 mesures sont effectués afin de divulguer les zones non couvertes, d'où la nécessité de déployer de nouveaux sites.

L'installation d'une nouvelle BTS représente pour l'opérateur un investissement à long terme, il doit donc prendre en considération les moindres détails dans son installation. L'augmentation du nombre d'abonnés dans une région nécessite l'expansion du réseau, les opérateurs utilisent plusieurs méthodes de densification des sites existants.

Le travail qui nous a été proposé consiste en l'étude et le déploiement d'un nouveau site GSM, autrement dit, l'étude de tous les paramètres entrant en jeu lors de l'installation d'une BTS. Pour bien mener à terme notre travail, nous avons partagé le mémoire en quatre parties. Dans le premier chapitre, et en vue de comprendre le fonctionnement des entités constituant le réseau GSM, nous avons décrit son architecture. Le deuxième chapitre, nous l'avons consacré à l'étude de l'interface radio, l'objectif essentiel de ce chapitre est de comprendre l'organisation des transmissions et les caractéristiques du canal radioélectrique. Dans le troisième chapitre, nous avons détaillé toutes les étapes nécessaires à l'implantation d'une BTS, en commençant par l'analyse et l'étude du trafic jusqu'à l'intégration du site dans le réseau et sa mise en service. Le quatrième chapitre fera l'objet d'un exemple de déploiement d'un nouveau site GSM de MOBILIS. Dans cette partie, nous nous sommes intéressés essentiellement aux tests et mesures effectués avant l'installation d'un nouveau site, mais aussi au logiciel de simulation et d'optimisation.

Nous avons terminé notre mémoire par une conclusion générale. Il est évident que tout travail est sujet à des améliorations, ainsi le nôtre pourra être accompli par la conception d'un logiciel de simulation afin de donner les niveaux du signal reçu en chaque point.

I. Introduction au GSM :

Le GSM initialement acronyme de *Groupe Spécial Mobile* est un groupe de chercheurs créé en 1982 par la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications CEPT. Sa mission est de concevoir un réseau cellulaire de téléphonie mobile dans la bande des 900 MHz, et l'élaboration de normes pour tout le continent européen. De nombreuses études ont été réalisées dans le but de choisir le type de transmissions à utiliser dans ce réseau. En 1987, le groupe a pris la décision d'adopter des transmissions digitales avec un multiplexage temporel des canaux radio, un cryptage des informations et un codage de la parole à débit réduit. La responsabilité du GSM a été transférée à l'ETSI « *European Telecommunications Standards Institute* » et l'acronyme GSM devient « *Global System for Mobile communications* », et désigne alors le réseau de téléphonie mobile de deuxième génération.

La commercialisation du GSM a vu le jour au début des années 90, les réseaux se prolifèrent alors dans tous les continents du globe. Les normes spécifiées par le GSM sont adaptées à des systèmes fonctionnant avec des bandes de fréquences autres que la bande des 900 MHz. Le DCS1800 est une variante du GSM utilisant des fréquences pour l'émission et pour la réception autour de 1800MHz, il présente l'avantage d'offrir des bandes de fréquences beaucoup plus larges donc un nombre d'utilisateurs plus important.

Le GSM est conçu pour transmettre des appels téléphoniques, autrement dit pour des transmissions à faible débit. Certains choix techniques du GSM se révèlent toutefois contraignants pour les services de données (Transfert de fichiers, vidéo, etc.). Pour pallier ces limitations, le standard GSM évolue sans cesse. Une évolution majeure du GSM est normalisée sous le nom de GPRS (*General Packet Radio Service*) qui donne accès aux services internet à des débits importants. La deuxième amélioration du GSM est connue sous le nom d'EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*), il permet d'augmenter le débit de quelques centaines de Kbps. Aujourd'hui, on assiste à l'émergence de la troisième génération connue sous le nom UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) offrant des services multimédias à plus haut débits.

I.1. Le concept cellulaire :

Un opérateur de téléphonie mobile dispose d'une zone géographique à couvrir et d'une bande de fréquence limitée qui lui est allouée par l'UIT. Pour fournir un meilleur service aux abonnés quelque soit leur nombre et l'endroit où ils se trouvent, la zone à couvrir est divisée en cellules d'où le nom de réseau cellulaire. Une cellule est par définition une portion de territoire couverte par une station de base (voir figure 1.1), elle est représentée géométriquement par un hexagone. Une cellule est caractérisée par :

- La puissance d'émission de ses émetteurs/récepteurs, ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électromagnétique est supérieur à un seuil donné.
- La bande de fréquences porteuses utilisées pour l'émission et la réception radioélectrique.

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

- du nombre d'utilisateurs potentiels dans la cellule.
- de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, . . . etc.).
- de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, . . . etc.) et de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

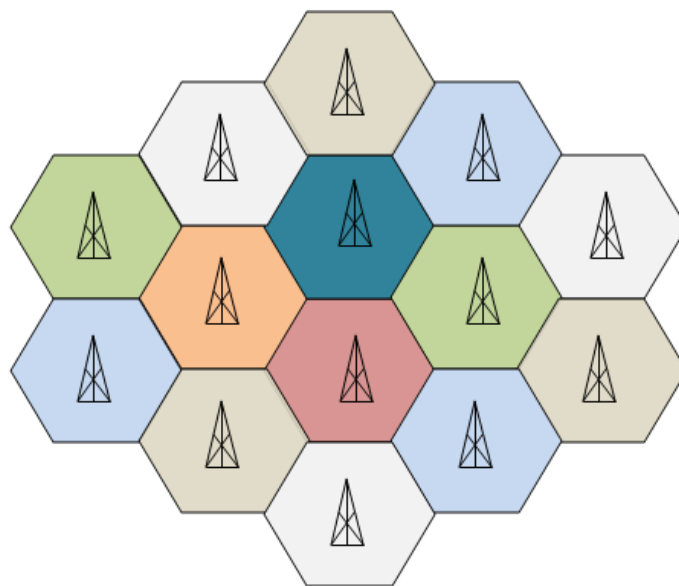


Fig.1.1 : Configuration Cellulaire.

Si un émetteur/récepteur est très puissant, alors son champ d'action sera très vaste, mais sa bande de fréquence peut être rapidement saturée par des communications. Par contre, en utilisant des cellules plus petites (émetteur-récepteur moins puissant), une même bande de fréquence pourra être réutilisée dans des cellules distantes, ce qui augmentera le nombre de communications possibles.

La réutilisation des fréquences permet d'exploiter au maximum les ressources radio disponibles. Une bande de fréquences ne peut pas être utilisée dans des cellules adjacentes afin d'éviter les interférences. Pour que deux cellules puissent utiliser une même fréquence porteuse, il faut qu'elles soient séparées d'au moins deux cellules. Dans la figure ci-contre, les cellules portant le numéro 1 peuvent utiliser une même bande de fréquences sans risque de chevauchements.

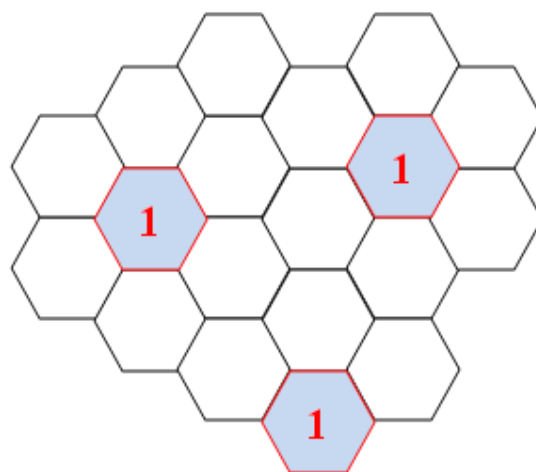


Fig.1.2 : Architecture Cellulaire.

I.2. Différents types de cellules :

Il existe différents types de cellules, le rayon de la cellule détermine à quelle classe appartient cette cellule, on distingue :

- **Les macrocellules :** ce sont des cellules dont le rayon s'étend jusqu'à 30 Km selon les obstacles rencontrés, elles sont utilisées pour couvrir les zones rurales à faibles densités de population. Les émetteurs utilisés dans ce type de cellules sont puissants et leurs antennes sont placées à au moins 30 m de hauteur.
- **Les microcellules :** ce sont des cellules de petites tailles destinées aux zones à très forte densité de trafic (exemple : artère principale d'une ville). Leurs portées moyennes est d'environ 500 m. Pour éviter les interférences, on utilise des antennes émettrices de puissances réduites.

- **Les picocellules** : ce sont des cellules de tailles très petites, elles ont un rôle similaire que celui des microcellules mais dans des zones encore plus petites telles que les gares, les aéroports, les galeries marchandes,...etc. leurs portées maximales est d'environ 100 m.

Il existe aussi des cellules utilisant des antennes directives, elles s'appellent *cellules concentriques*, elles peuvent se situer à l'intérieur d'une autre cellule et sont déployées pour cibler des zones bien choisies et cela dans le but de privilégier certains abonnés.

Afin de résoudre les problèmes de trous existants parfois dans le réseau, les opérateurs utilisent des cellules de couvertures appelées cellules *UMBRELLA* ou cellules parapluies, elles recouvrent plusieurs autres cellules, la puissance d'émission de son antenne sera alors plus grande que celles des cellules qu'elle recouvre.

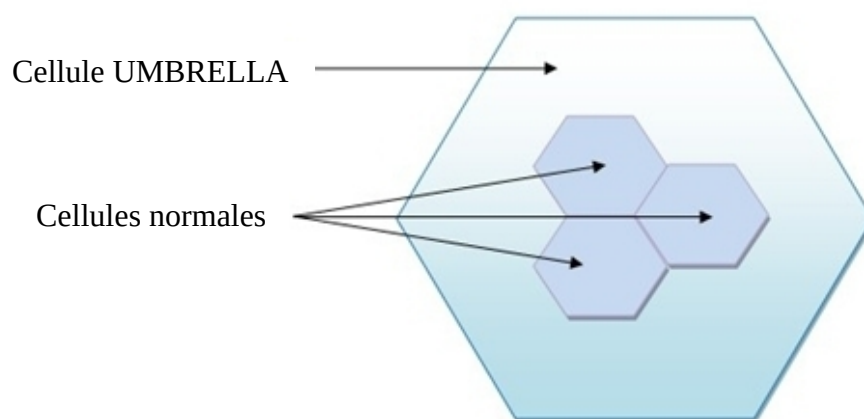


Fig.1.3 : Les Cellules Umbrella.

I.3. Architecture du réseau GSM :

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

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

Les principaux sous-systèmes du réseau GSM et les éléments dont ils se composent sont exposés dans la figure 1.4 :

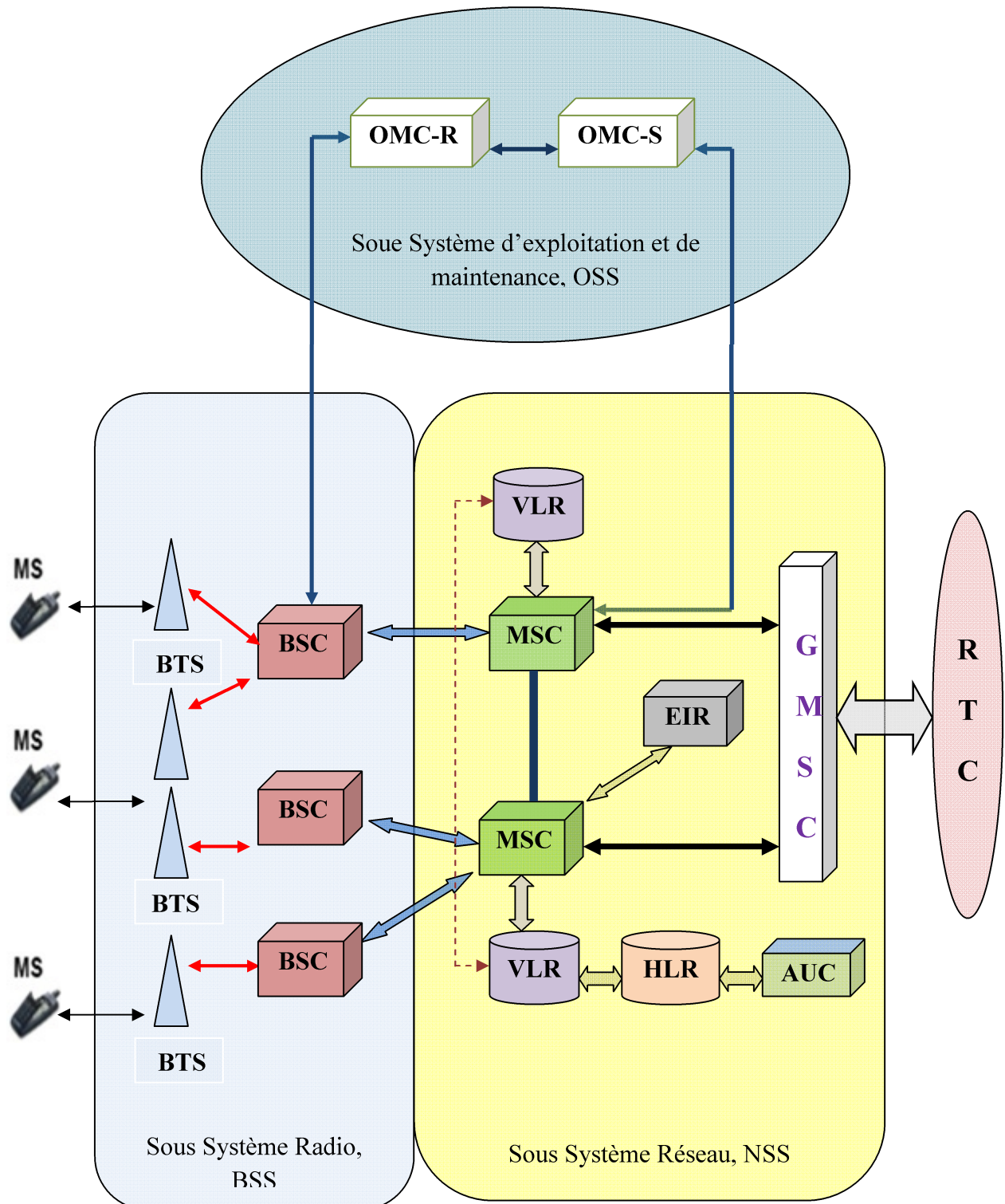


Fig.1.4 : Architecture du GSM.

I.3.1. La station mobile :

La station mobile se compose d'un terminal et d'une carte SIM (*Subscriber Identity Module*).

Le terminal mobile est un appareil constitué d'un émetteur/récepteur, il peut être un simple téléphone mobile ou un ordinateur de poche très évolué. Chaque terminal est différencié des autres par un code **IMEI** (*international mobile equipment identity*) qui est un numéro de **15 chiffres**. Les terminaux GSM sont divisés en cinq classes, leur appartenance à une classe est déterminée en fonction de la puissance maximale de transmission sur le canal radio ; celle-ci peut varier entre 0.8 et 20 Watts.

Une carte SIM est une carte à puce doté d'une mémoire et d'un microprocesseur, elle se comporte comme une mini base de données. Elle contient des données spécifiques comme le code **PIN** (*Personal Identification Number*) et d'autres caractéristiques de l'abonné, de l'environnement radio et de l'environnement de l'utilisateur. La carte SIM contient un code appelé IMSI (*international mobile subscriber identity*), qui sert à identifier un abonné dans n'importe quel réseau GSM.

Une carte SIM est indépendante du terminal, elle peut fonctionner dans n'importe quel terminal GSM. Un téléphone mobile de sa part ne fonctionne qu'une fois la carte SIM insérée, à l'exception des appels d'urgences (112 par exemple).

I.3.2. Le sous-système radio BSS:

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

I.3.2.1. La station de base : BTS (*Base Transceiver Station*).

La BTS est l'élément de base dans le réseau GSM, c'est un ensemble d'émetteurs/récepteurs assurant les liaisons radioélectriques avec les stations mobiles, les données recueillis sont ensuite transmises vers les BSC, les rôles principaux d'un site GSM (BTS) sont :

- Activation et désactivation des canaux radio.
- Multiplexage temporelle et saut de fréquence.
- Compensation du temps de propagation.
- Codage canal, chiffrement des trames, modulation/démodulation, codage et décodage des signaux radio.
- Surveillance des niveaux de champ reçus et de la qualité des signaux.

Un site GSM se compose essentiellement : d'une ou plusieurs antennes qui se chargent de convertir les signaux électriques en ondes électromagnétiques ou inversement, d'une armoire électronique appelée *SHELTER*, cette armoire abrite tous les équipements électroniques nécessaires au fonctionnement de la BTS.

On distingue différents types de BTS :

- **Les Macro 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.



Fig.1.5 : Exemples de macro BTS.

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



Fig.1.6 : Exemple de micro BTS.

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



Fig.1.7 : Exemple de BTS ciblée.

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

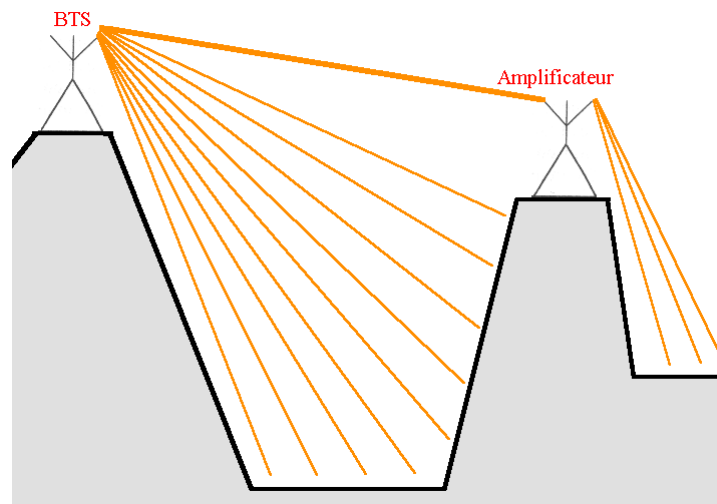


Fig. 1.8. Amplificateur du signal.

I.3.2.2. Le contrôleur de base : BSC (*Base Station Controller*).

Le BSC est l'élément intelligent du sous-système radio, son rôle est de gérer les ressources radio (configuration des canaux, transfert intercellulaire ou *handover*) d'une ou plusieurs BTS, en plus d'établir le lien physique entre les BTS et le commutateur de service mobile MSC se trouvant dans le sous-système réseau. Le BSC détermine la puissance optimale avec laquelle le MS et la BTS effectuent la transmission sur le canal radio et vérifie la qualité du service en se basant sur les mesures effectuées par la BTS.

I.3.3. Le sous système réseau : NSS (*Network Switching SubSystem*).

Le NSS joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-système radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans les bases de données nécessaires à l'établissement des connexions. Il est constitué de :

I.3.3.1. Le centre de commutation mobile : MSC (*Mobile Switching Center*)

Le centre de commutation mobile est un commutateur de service qui permet d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile, en plus d'établir l'inter fonctionnement du système mobile avec le réseau RTC. Le MSC participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR, VLR) qui donnent toutes les informations concernant l'abonné et sa localisation dans le réseau. A l'intérieure de la zone de service, on peut trouver plusieurs MSC qui sont responsables de la gestion de trafic d'un ou plusieurs BSS. On distingue deux types d'appels au niveau d'un MSC :

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

I.3.3.2. L'enregistreur de localisation nominale : HLR (*Home location register*)

Il existe au moins un enregistreur de localisation nominale par réseau (PLMN). Il s'agit d'une base de données contenant des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible. Le HLR contient :

- L'identité internationale de l'abonné (IMSI) utilisée par le réseau.
- Le numéro d'annuaire de l'abonné (MSISDN : *Mobile Station Integrated Service Digital Number*)
- Le profil de l'abonnement, autrement dit, toutes les informations relatives aux abonnés, le type d'abonnement, les services souscrits, autorisation d'appel international...etc.

Le HLR est une base de données de localisation, elle mémorise pour chaque abonné le numéro du VLR où il est enregistré. Cette localisation est effectuée à partir des informations émises par le MS à travers le réseau. En plus de la position de l'abonné, le HLR mémorise aussi l'état de son terminal (allumé, éteint ou en communication).

I.3.3.3. L'enregistreur de localisation des visiteurs : VLR (*Visitor Location Register*)

C'est une base de données qui ne contient que des informations dynamiques de façon temporaire de tous les abonnés qui appartiennent à la surface géographique qu'il contrôle, il y en a donc plusieurs VLR dans un réseau GSM. Il contient des données qui lui sont transmises par le HLR avec lequel il communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre MSC auquel il est rattaché. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ces données sont transmises à un autre VLR, les données suivent l'abonné en quelque sorte.

I.3.3.4. Le centre de l'authentification : AUC (*Authentication Center*)

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

I.3.3.5. L'enregistreur des identités des équipements : EIR (*Equipment Identity Register*)

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

I.3.4. Sous-système d'exploitation et de maintenance :

Cette partie du réseau s'occupe de la gestion et de l'exploitation des éléments des deux sous-réseaux précédents comme les BTS, les BSC, les MSC...etc. les concepteurs du GSM ont adoptés une structure hiérarchique, elle présente deux niveaux :

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

Dans les OMC, on distingue l'OMC/R (*Radio*) qui est relié à travers les BSC au sous-système radio. L'OMC/S (*Système*) qui est relié à travers les MSC au sous-système réseau. Il y a aussi l'OMC/M (*Maintenance*) qui contrôle les OMC/R et OMC/S.

- Les NMC (*Network Management Center*) : le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi, les incidents majeurs transmis à l'OMC remontent jusqu'au NMC qui les traite.

I.4. Le Handover :

Le handover est une expression anglo-saxonne qui désigne le transfert intercellulaire d'un mobile au cours d'une communication sans être interrompue. Quand l'abonné s'éloigne de l'antenne, le signal devient trop faible par rapport au seuil établis pour le niveau et la qualité du signal, la communication est alors prise en charge par l'antenne de la cellule voisine.

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

I.5. Les interfaces du réseau GSM :

Les interfaces du GSM assurent l'interconnexion entre les différents éléments du réseau, elles assurent aussi la compatibilité du réseau GSM avec d'autres réseaux. La figure 1.9 représente les différentes interfaces du réseau :

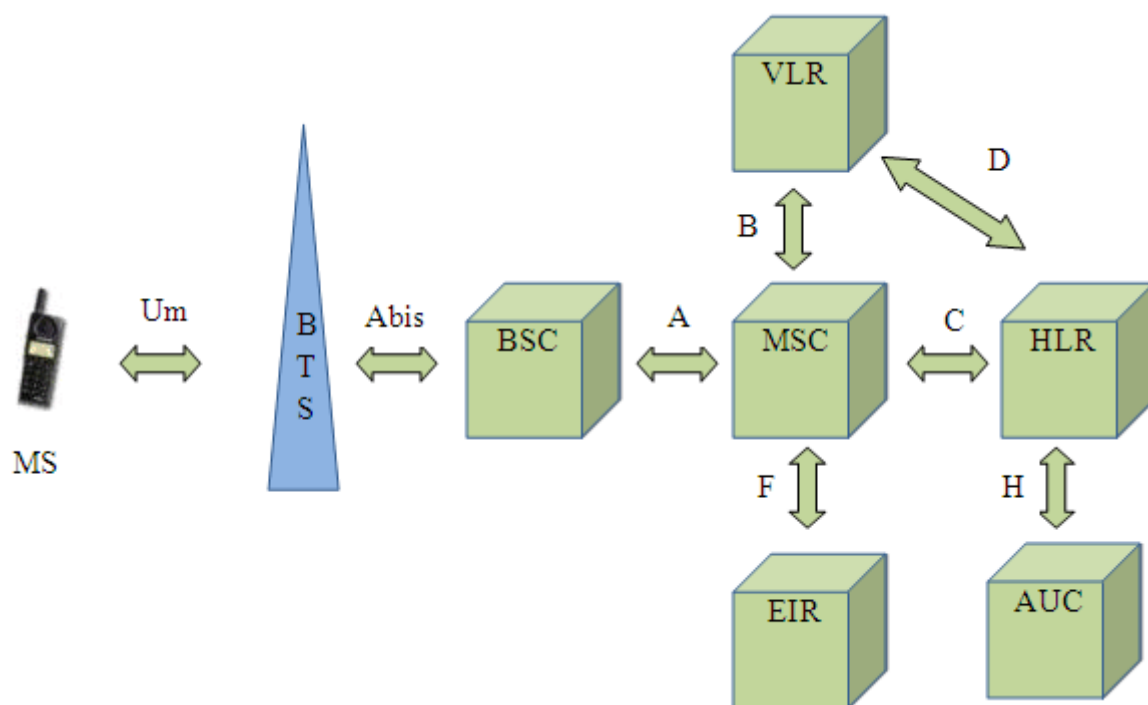


Fig.1.9 : Interfaces du Réseau GSM.

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

- a) Lorsque deux éléments du réseau sont proches l'un de l'autre, les transmissions sont assurées par des liens physiques utilisant des paires de cuivre, des câbles coaxiaux, ou de la fibre optique. C'est le cas généralement des liaisons entre BSC-MSC-VLR-HLR qui se trouvent dans des centres communs.
- b) Les liaisons par des ondes radio sont utilisées pour les transmissions entre BTS et BSC. Des ondes radioélectriques sont émises par des antennes paraboliques ultra directionnelles (antennes FH) pointées exactement l'une vers l'autre, sans obstacle intercalé. Une liaison peut être composée de plusieurs combinaisons sur la distance séparant les deux éléments.

On définit les sites hub comme étant des relais GSM sur lesquels passent plusieurs BTS pour la liaison avec le BSC (voir figure 1.10), un site hub peut être relié à la BSC au minimum 3 sites, et au maximum 16 sites c'est-à-dire 16 MIC.

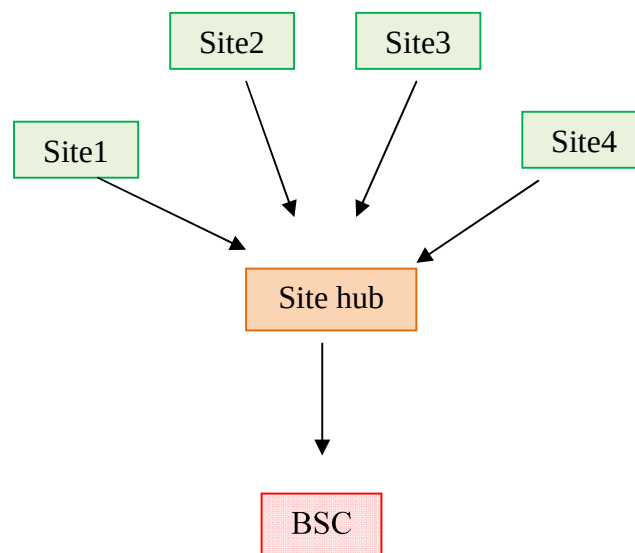


Fig.1.10 : Exemple de Configuration d'un Site Hub.

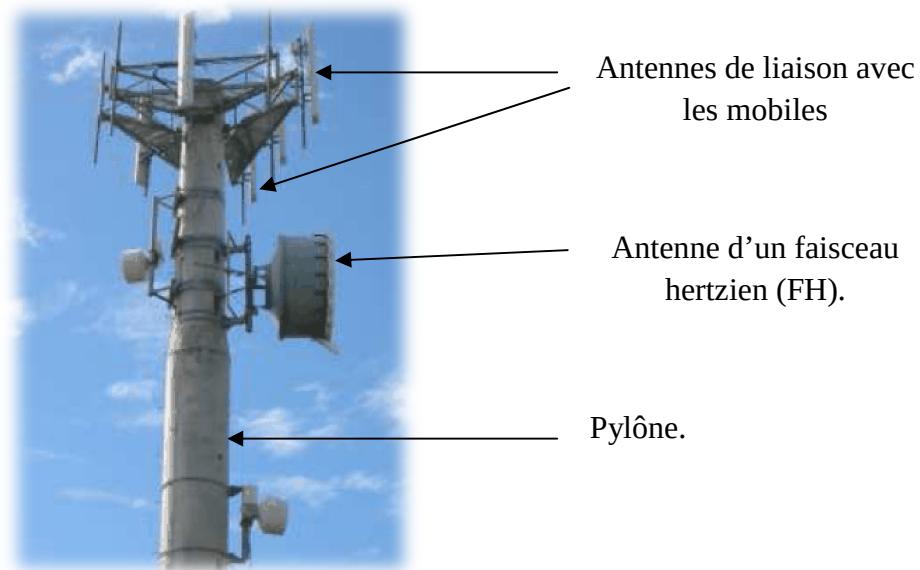


Fig.1.11 : Exemple de BTS.

Les transmissions FH utilisent plusieurs bandes de fréquences (exemple : 15GHz, 38GHz, ... etc.), plus la distance entre les BTS est petite, plus la fréquence FH est petite et vice versa.

I.6. Les régions géographiques d'un réseau GSM

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

- **Une cellule** : c'est la zone de couverture d'une station de base BTS, elle est représentée géométriquement par un hexagone et est identifiée dans le réseau au moyen d'un numéro d'identification globale de cellule (CGI : *Cell Global Identity*).
- **Zone de localisation (LA, Localisation Area)** : elle contient plusieurs cellules contrôlées par une ou plusieurs stations de bases (BSC), mais appartient à une seule MSC. C'est la zone par laquelle on localise un abonné mobile appelé.

- **Zone de service MSC/VLR** : elle représente une partie du réseau couverte par un MSC, c'est un groupe de LA sous le contrôle d'un seul MSC. Ainsi pour acheminer un appel vers un terminal, le réseau doit connecter la communication au MSC de la zone de service MSC/VLR où le terminal est localisé.

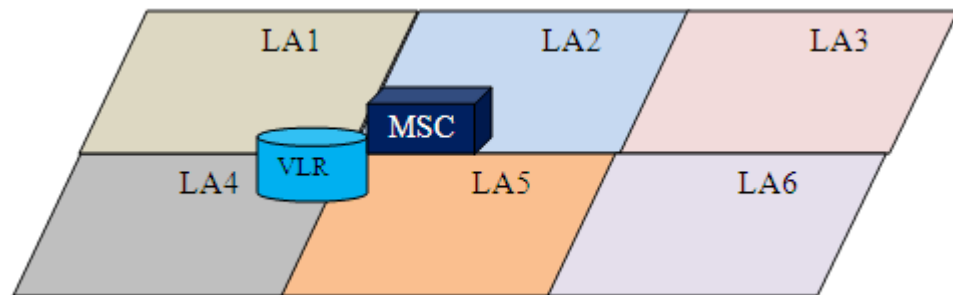


Fig.1.12 : Zone de service MSC/VLR.

- **Un réseau mobile d'une région public (PLMN, *Public Land Mobile Network*)** : Il est composé de plusieurs zones de services MSC/VLR. C'est la région desservie par un opérateur. Dans un pays il peut exister plusieurs PLMN, chacune appartenant à un réseau mobile d'un opérateur. Par exemple en Algérie, il y a trois PLMN correspondant aux trois opérateurs de téléphonie mobile.

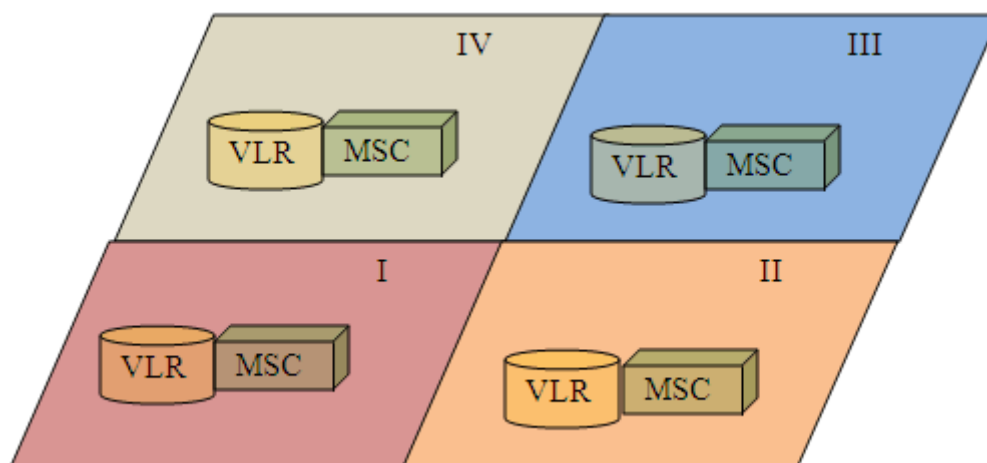


Fig.1.13 : Zone PLMN.

- **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 auxquelles on peut relier un réseau GSM sont illustrées dans la figure 1.13 :

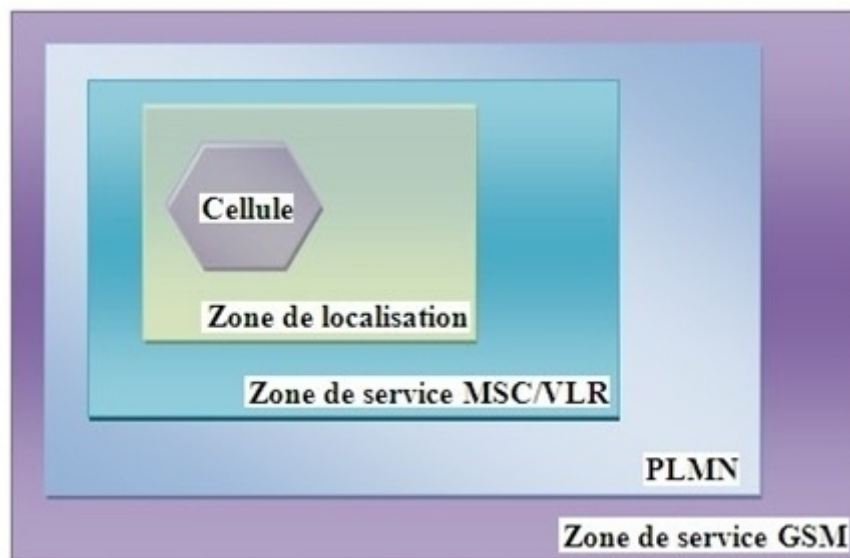


Fig.1.14 : Zone Géographique d'un Réseau GSM.

I.7. Conclusion :

L'encombrement du spectre radioélectrique a poussé les concepteurs du GSM à choisir des techniques de transmissions qui s'adaptent le mieux aux bandes de fréquences limitées allouées à la norme. La configuration cellulaire est la première solution pour optimiser le spectre et cela en réutilisant les mêmes fréquences simultanément dans des cellules différentes. L'autre idée de génie adoptée par la norme GSM est l'accès multiple à répartition dans le temps. Cette technique permet à plusieurs utilisateurs de communiquer sur une même fréquence dans une même cellule sans aucune interférence.

L'organisation des transmissions dans le GSM est alors réalisée de façon ingénieuse, elle est assurée par l'interface radio qui fera l'objet d'une étude détaillée dans le chapitre suivant. La diversité des techniques utilisées a rendu possible la satisfaction des millions d'abonnés que compte chaque opérateur. La coexistence de plusieurs réseaux PLMN dans une région géographique nécessite le partage des fréquences entre les réseaux, ceci rétrécira de plus l'intervalle alloué à un opérateur. Pour remédier à ces problèmes, certains opérateurs utilisent des fréquences de la bande des 1800 MHz dans des zones de forte densité.

II.1. L'interface radio :

L'interface radio est le lien qui assure la transmission par ondes radioélectriques entre les MS et les stations de bases BTS, elle aussi appelée interface « Um », c'est l'une des parties les plus complexes du réseau GSM.

II.2. Bandes de fréquences allouées :

Les systèmes de téléphonie mobile GSM 900 et DCS 1800 fonctionnent respectivement à des fréquences autour de 900 et 1800 MHz. Dans sa version à 900 MHz, la norme GSM occupe deux bandes de 25 MHz ; l'une est utilisée pour le transfert d'appels du mobile vers la station de base, cette bande se nomme la voie montante ou « *up Link* » et elle se situe entre 890 et 915 MHz, l'autre bande est utilisée pour les transmissions de la station de base vers les mobiles, elle s'appelle voie descendante ou « *down Link* » et se situe entre 935 et 960 MHz.

D'une manière similaire, le DCS1800 occupe deux bandes de 75MHz, une pour les voies montantes comprise entre 1710 et 1785 MHz, l'autre pour les voies descendantes entre 1805 et 1880 MHz. Notons au passage que le DCS1800 est généralement utilisé dans les zones à fortes concentration d'abonnés où le GSM900 est saturé.

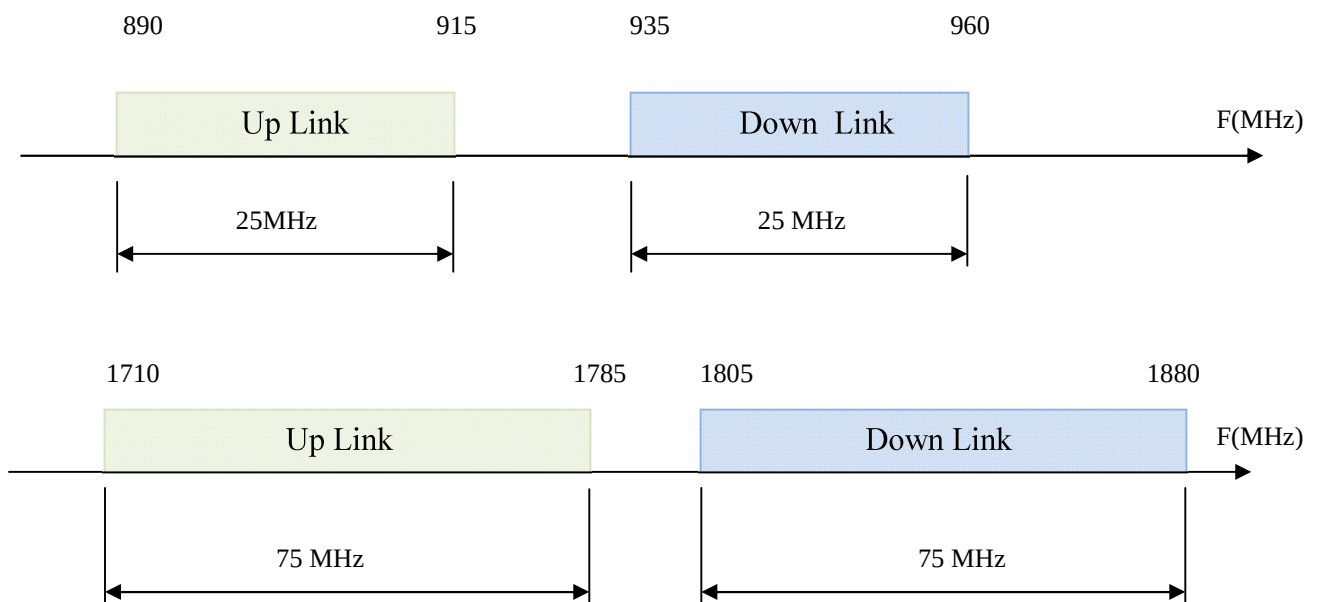


Fig.2.1 :.Bandes de fréquences GSM 900 et DCS 1800.

Les opérateurs utilisent parfois des fréquences qui dépassent la bande du GSM900, ces nouvelles bandes définissent alors le EGSM (*Extend GSM*) ou GSM étendu, sa bande Up Link s'étend de 880 MHz jusqu'à 915MHz. Avec un écart duplex de 45 MHz, la bande Down Link s'étend de 925MHz jusqu'à 960MHz. De cette façon, le EGSM fournit une cinquantaine de fréquences porteuses supplémentaires dans chaque sens.

II.3. Partage de la ressource radio :

II.3.1. Accès multiple à répartition de fréquences FDMA :

Le FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) consiste à diviser chacune des deux sous bandes en 124 canaux espacés de 200 KHz, le signal à transmettre est donc modulé avec une porteuse qui se trouve au centre du canal, si on note F_u et F_d les fréquences porteuses des voies montantes et descendantes respectivement. Chaque porteuse est identifiée par un numéro n désigné par le sigle ARFCN (*Absolute Radio Frquency Channel Number*). Les fréquences porteuses du GSM900 et du DCS1800 sont calculées en utilisant les équations suivantes :

Pour GSM 900 :

$$f_u(n) = 890 + (0.2n) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$f_d(n) = 935 + (0.2n) \dots \dots \dots (2.2)$$

Avec : $1 \leq n \leq 124$

Pour le DCS 1800 :

$$f_u(n) = 1710 + (0.2 \cdot (n - 512)) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$f_d(n) = 1805 + (0.2 \cdot (n - 512)) \dots \dots \dots (2.4)$$

Avec : $512 \leq n \leq 885$

La valeur de 200 KHz est choisie de façon à mieux exploiter la ressource radio disponible et donc obtenir un maximum de fréquences porteuses, le choix de la modulation est fait de telle sorte à concentrer une grande partie de l'énergie du signal modulé sur une fréquence centrale et cela afin d'éviter les interférences entre porteuses voisines.

Les fréquences sont attribuées aux différentes cellules d'une manière fixe tout en veillant à ce que deux cellules limitrophes n'utilisent pas des porteuses identiques ou adjacentes.

Nota bene : Les 124 canaux de chaque sous bande sont partagés entre différents opérateurs d'un même pays. En Algérie, c'est l'Agence de Régulation des Postes et Télécommunications ARPT qui se charge d'allouer les fréquences aux opérateurs.

II.3.2. Accès multiple à répartition dans le temps TDMA:

Le TDMA (Time Division Multiple Access) est une technique qui consiste à diviser chaque porteuse en N intervalles de temps IT appelés *Slots*, la durée d'un slot est fixée par le standard GSM sur une horloge à 13 MHz et vaut : $T_{\text{slot}} = (75/130) \cdot 10^{-3} \text{ s}$, soit environ 577 μs .

Chaque slot est composé d'un certain nombre de bits contenant une information désignée par le nom anglo-saxon "*Burst*". Les slots sont numérotés de 0 à 7, un groupe de 8 slots forme ainsi une trame de durée : $8 \times T_{\text{slot}} = 8 \times 577 \mu\text{s} = 4.6152 \text{ ms}$. Une trame TDMA peut supporter 7 communications simultanées et un canal de signalisation.

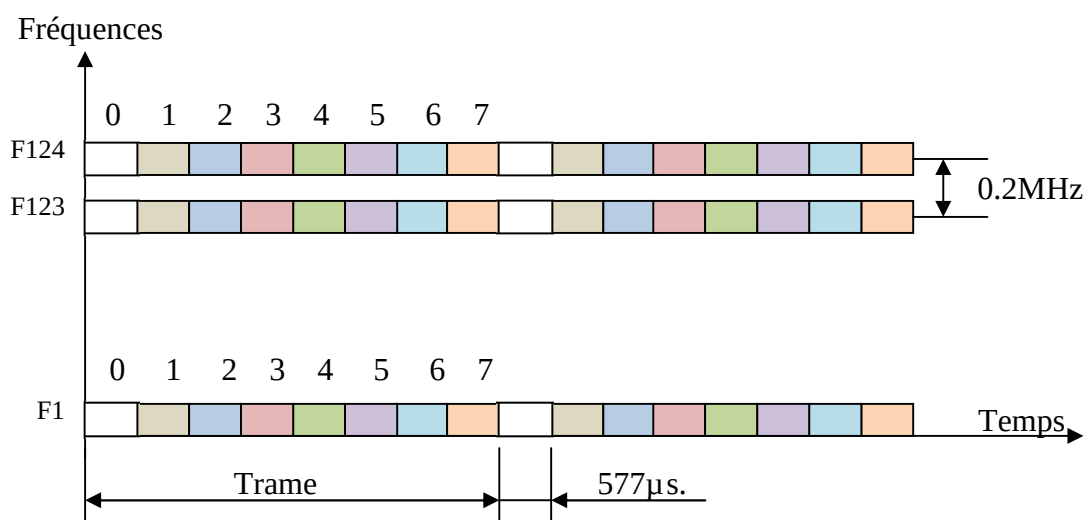


Fig.2.2 : Trames TDMA

La technique TDMA permet d'allouer à chaque utilisateur un slot par trame, cette allocation constitue un canal physique à plein débit par opposition au canal physique à demi-débit qui attribue un slot par deux trames.

Si on prend l'exemple de trois mobiles émettant sur une même porteuse, chaque mobile lui est attribué un slot par trame, comme le montre la figure 2.3 :

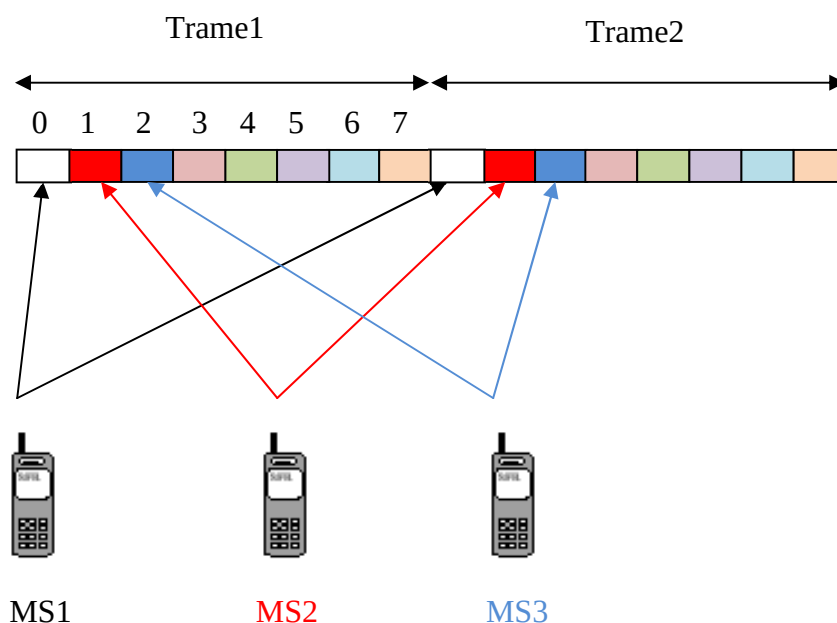


Fig.2.3 : Allocation des Slots.

Dans cet exemple, l'utilisateur MS1 utilise le 1^{er} slot de la 1^{ère} trame, le 2^{ème} utilisateur MS2 utilise le 2^{ème} slot et ainsi de suite. L'utilisateur MS1 devra attendre le temps correspondant à 7 slots soit 4,039 ms pour émettre à nouveau sur cette fréquence ou sur une autre fréquence si le système effectue le changement de fréquence. La transmission d'une communication se fait donc d'une manière discontinue.

Cette discontinuité n'est pas perceptible pour l'utilisateur, car la transmission pendant un « time slot » s'effectue à un débit 8 fois supérieur à celui correspondant à la restitution du signal. Autrement dit, la transmission vers le mobile MS1 s'effectue pendant le time slot T1 et la restitution du signal vocal occupe 8 times slots (c'est-à-dire 4,6152 ms) comme le montre la figure ci-contre.

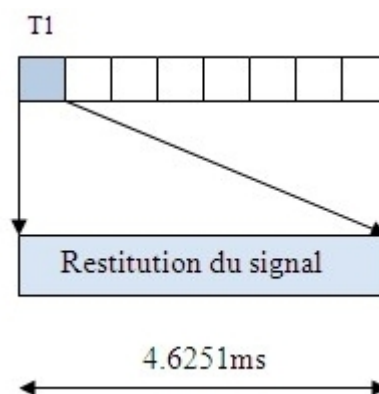


Fig.2.4 : Restitution du Signal

II.4. Le saut de fréquence :

Le saut de fréquences (*en anglais : Frequency Hopping FH*) est l'un des aspects les plus originaux de la norme GSM, il consiste à changer la fréquence porteuse d'un signal au cours d'une communication. Un canal physique ne siège pas sur une seule fréquence porteuse mais utilise un ensemble N de fréquences attribuées à une même BTS.

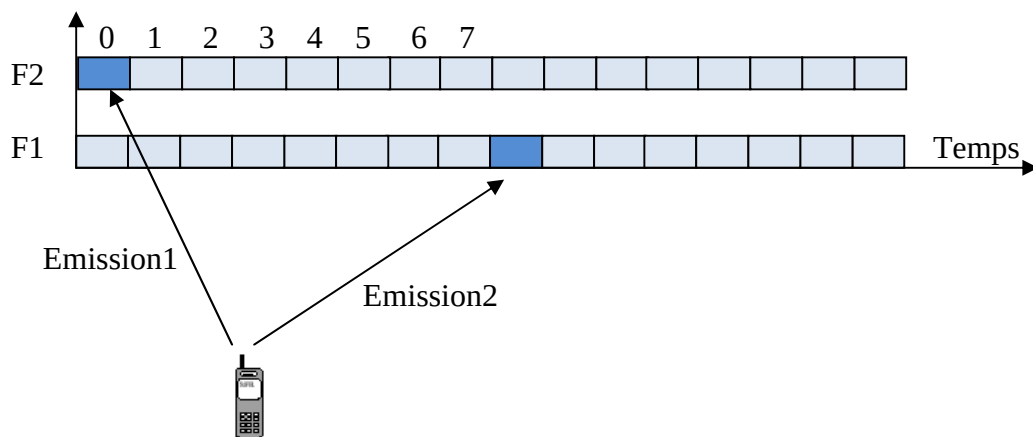


Fig.2.5 : Canal Physique Plein Débit Avec Saut de Fréquences

II.5. Organisation des trames :

Une trame TDMA se compose de 8 slots, on définit des structures à plusieurs trames:

- Multitrame 26 : elle regroupe 26 trames TDMA, sa durée est de :
 $T_{26} = 26 \times 4.6152 \text{ ms} \approx 120 \text{ ms}.$
- Multitrame 51 : elle regroupe 51 trames TDMA, elle est utilisée pour la signalisation sa durée est de :
 $T_{51} = 51 \times 4.6152 \text{ ms} \approx 235.4 \text{ ms}.$
- une Supertrame : elle est de durée 6.12 s, elle contient 1326 trames TDMA soit 26 multitrames 51 ou bien 51 multitrames 26.
- Une Hypertrame : elle est de durée 3 h 28 min 53 s 760 ms, elle contient 2048 supertrames soit 2 715 648 trames TDMA.

Le schéma suivant représente l'organisation hiérarchique des différentes structures :

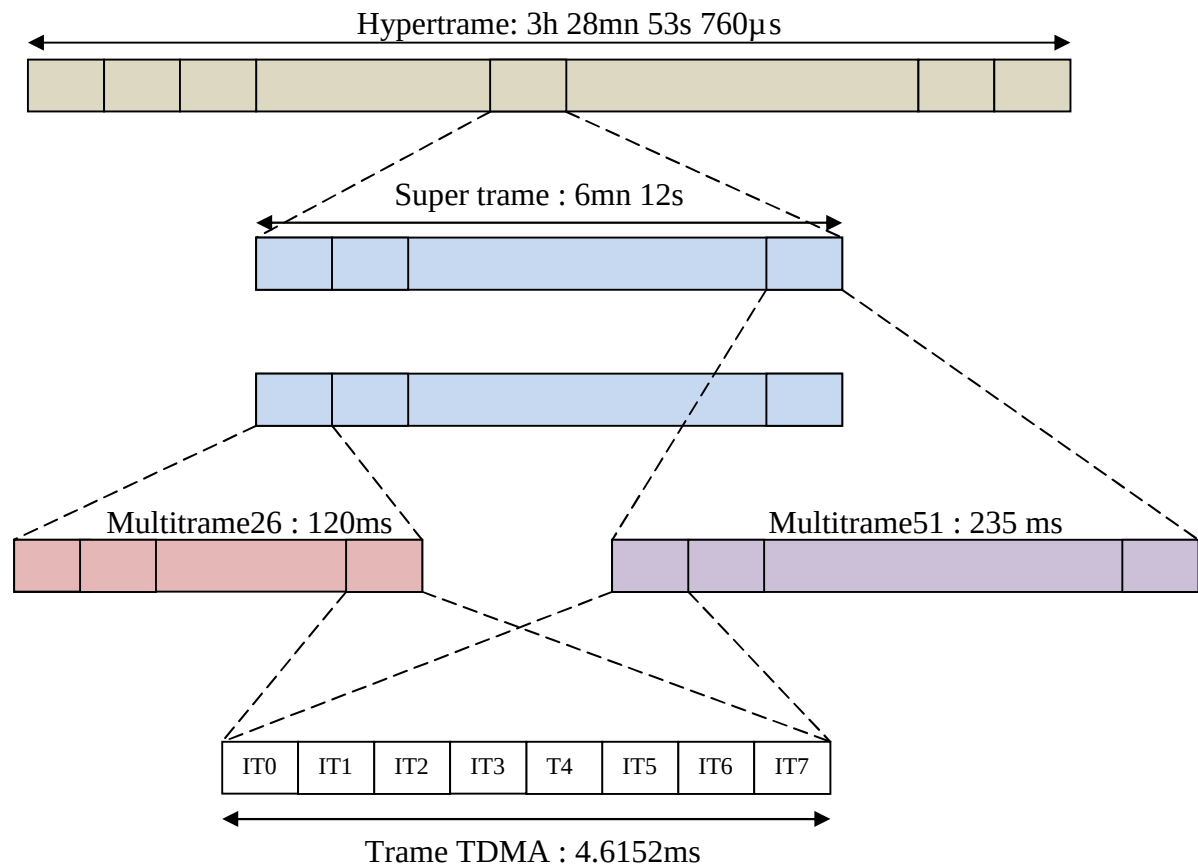


Fig.2.6 : Organisation des Trames GSM.

II.6. Constitution d'un slot :

Un slot est constitué d'un ensemble de bits véhiculant une information appelée « burst » et d'un temps de garde servant pour la compensation du temps de propagation. On distingue plusieurs types de bursts :

- Les bursts d'accès : ils sont utilisés lorsqu'un mobile veut se connecter au réseau.
- Les bursts de synchronisation.
- Les bursts normaux : ce sont les bursts les plus fréquemment utilisés, ils servent à transporter des données.

- Les bursts de correction de fréquence.
- Les bursts de bourrage (en anglais : *dummy Packet*).

Tous les bursts ont une forme semblable, chacun d'entre eux contient 156,25 bits répartie en plusieurs groupes ayant chacun un rôle spécial, la figure 2.7 représente la forme d'un burst normale :

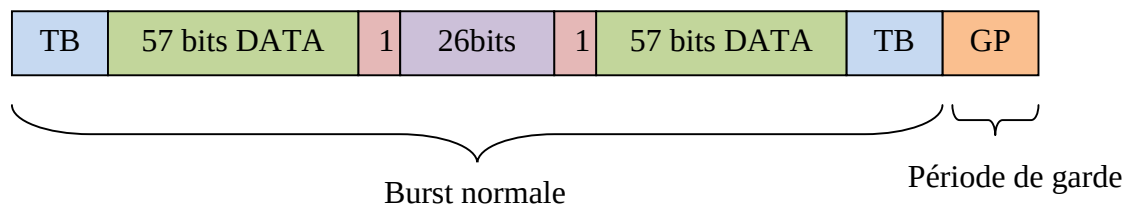


Fig.2.7 : Format d'un Burst Normale.

II.7. Compensation du temps de propagation :

Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'atmosphère à une vitesse de $3 \cdot 10^8$ m/s. Deux ondes émises par deux mobiles se trouvant à des distances différentes par rapport à la BTS, prennent des temps de propagation aller-retour différents. Si ces deux mobiles utilisent des slots successifs d'une même fréquence, il faut veiller à ce que les bursts envoyés par ces deux derniers ne se chevauchent pas au niveau du récepteur de la BTS. Pour éviter ce phénomène, deux solutions sont envisageables :

1^{ère} solution : Augmenter le temps de garde (en anglais : *Guard Period, GP*): cette solution s'adapte mieux pour des mobiles se trouvant à des distances relativement petites, car sur des grandes distances on risque de se retrouver avec des temps de garde très grands. Par exemple si le mobile se trouve à 30Km de la BTS, il faut 200µs de temps de garde ce qui correspond à un tiers de la durée d'un slot.

2^{ème} solution : Gérer un paramètre de temps appelé TA (*Timing Advance*) : cette technique permet au mobile le plus distant d'avancer l'émission de son slot d'un temps correspondant au temps de propagation aller-retour. Ainsi les bursts envoyés sont parfaitement synchronisés évitant tout risque de chevauchement.

II.8. Les canaux physiques :

Un canal physique est un intervalle de temps élémentaire de durée **0.577ms**, correspondant à la ressource radio utilisée pour transporter une communication téléphonique, la réutilisation périodique d'un slot dans une trame sur une fréquence dans le temps forme un canal physique simplex.

Un canal physique duplex est constitué d'une paire de canaux physiques simplex, l'un supporte la voie montante, l'autre supporte la voie descendante, et l'écart entre eux est appelé écart duplex et vaut 45MHz pour le GSM900 et 95MHz pour le DCS1800.

Pour éviter toutes interférences entre les informations envoyées et reçues ; l'émission et la réception sont décalées dans le temps d'une durée de trois slots. C'est-à-dire le mobile émet les informations trois slots après la réception des signaux envoyés par la station de base (voir figure 2.8).

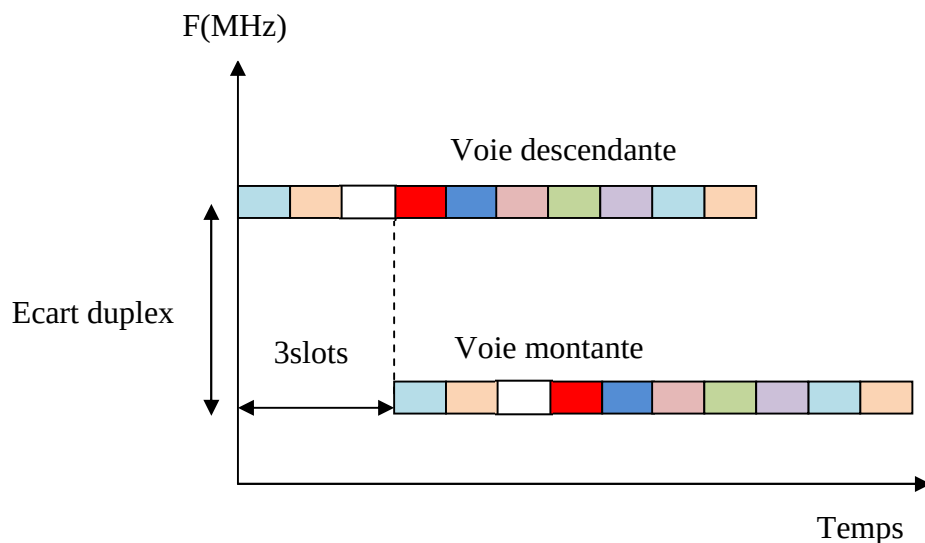


Fig.2.8 : Décalage Temporel de Trois Slots.

II.9. Canaux logiques :

Les canaux logiques sont considérés comme un ensemble de bits, utilisés pour supporter les données ou les informations de signalisation qui sont destinées à la station mobile ou à la station de base. Ces canaux logiques sont contenus dans les canaux physiques et sont regroupés dans deux grandes classe : les canaux dédiés et les canaux non dédiés.

a. Les canaux dédiés (duplex):

Un canal logique dédié offre une ressource réservée à un mobile, une paire de slots donc est allouée (un pour émission, un pour la réception) dans laquelle le mobile est le seul qui peut recevoir et émettre des informations.

- Canal de trafic TCH : il correspond aux bursts normaux, il véhicule des données de paroles numérisées plein débit à 13kbps ou demi-débit à 6.5kbps.
- Canal de contrôle dédié autonome SDCCH : il est destiné pour la signalisation, son rôle est l'échange d'informations de mise à jour de localisation IMSI pour l'établissement d'un appel.
- Canal de control lent associé SACCH : c'est un canal de supervision d'une liaison, il contrôle la puissance d'émission d'un terminal, la qualité du lien radio, ainsi que la compensation du délai de propagation.
- Canal de control rapide associé FACCH : il a plusieurs tâches notamment l'exécution du handover.

b. Les canaux non dédiés (simplex) :

Les canaux logiques non dédiés sont utilisés pour la diffusion des données dans le sens BTS-MS, plusieurs mobiles peuvent donc recevoir les données émises par une même BTS à travers ces canaux.

- Canal de paging PCH : lorsque le réseau veut communiquer avec un mobile, il diffuse sur ces canaux PCH l'identité du mobile sur plusieurs cellules.
- Canal d'allocation de ressources AGCH : il réserve un canal physique au mobile après l'accès de ce dernier au réseau.
- Canal de synchronisation SCH : son but est de fournir au mobile tous les éléments nécessaires pour une synchronisation intégrale des trames.
- Canal de contrôle de diffusion BCCH : il permet la diffusion des données caractéristiques de la cellule, permettant au mobile de savoir s'il peut se mettre en veille, ainsi le numéro de la zone de localisation et la description des cellules voisines.
- Canal de correction de fréquence FCCH: permet le calage du mobile sur une fréquence porteuse.

Il existe aussi un canal diffusant dans le sens montant mais répertorié avec les canaux non dédiés, c'est le Canal d'accès aléatoire RACH, il permet l'accès aléatoire au réseau lorsque le mobile veut effectuer une opération.

II.10. Chaîne de transmission :

Le GSM est basé sur des transmissions points à points, il permet l'échange de données entre le téléphone mobile et les stations fixes. La figure 2.9 montre les différents blocs de la chaîne de transmission en partant du microphone de l'émetteur jusqu'au haut parleur du récepteur :

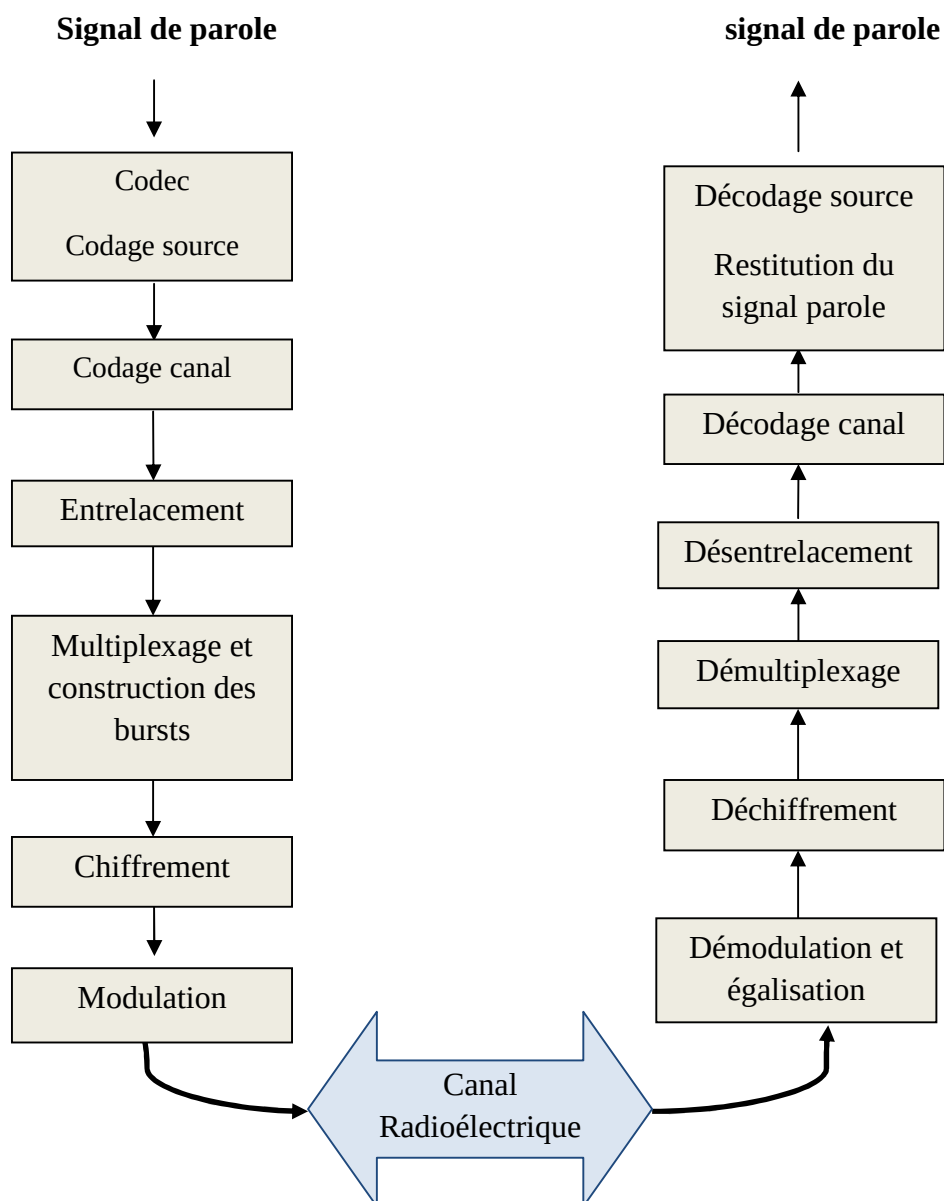


Fig.2.9 : La Chaîne de Transmission.

II.10.1. Codage source :

Les informations véhiculées via le réseau GSM sont transmises sous forme numérique, Le signal de parole d'une ligne téléphonique est un signal analogique dont la fréquence s'étend de **300 Hz et 3400Hz**, Le signal vocal continu est découpé en séquences de 20ms, chaque séquence est échantillonnée à la fréquence 8KHz.

Chaque échantillon est ensuite codé sur 13 bits ce qui donne un débit de 2080 bits par 20ms, ce débit est trop important pour les transmissions par ondes radioélectriques. Le codec de la parole réduit ce débit jusqu'à 260 bits par 20ms soit 13kbps. A noter que le codage source ne protège pas la parole, c'est le rôle de l'étape suivante qui est le codage canal.

II.10.2. Codage canal :

Ce codage permet d'adapter le signal au canal de transmission, il consiste à ajouter des bits de redondances aux blocs issus de l'étape précédente. Pour cela, chaque bloc de 260 bits est divisé en 3 classes en fonction de leur sensibilité aux erreurs et du degré de protection effectivement appliqué.

- Classe I.a-50 bits: Ce sont les plus sensibles aux erreurs et seront donc ultra protégés.
- Classe I.b-132 bits: sensibilité modérée aux erreurs.
- Classe II-78 bits : les moins sensibles aux erreurs.

Une séquence de 20ms est traitée de la manière suivante : les 50 bits de la classe I.a sont protégés par 3 bits de parité et quatre bits de redondances, on obtient donc 57 bits qui seront ajoutés aux bits de la classe I.b, Les 189 bits résultant seront placés à l'entrée d'un codeur de rapport $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire on récupère à sa sortie le double du débit d'entrée, ce qui fait $2 \times 189 = 378$ bits à la sortie de ce codeur. Ces 378 bits sont ensuite ajoutés aux bits de la classe II, ce qui fait un total de 456 bits sur les 20 ms de départ soit un débit final de 22.8 kbps.

II.10.3. Entrelacement, multiplexage et constitution des bursts :

Le but de cette opération est de disperser les bits afin de rendre plus aléatoire la position des erreurs, elle est subdivisée en trois étapes :

Etape1 : les 456 bits d'un paquet de 20ms sont introduits dans une matrice à 57 lignes et 8 colonnes (voir figure 2.10), les données sont ensuite groupées colonne par colonne pour former des sous blocs de 57 bits, on aura donc 8 demi bursts numérotés de 0 à 7.

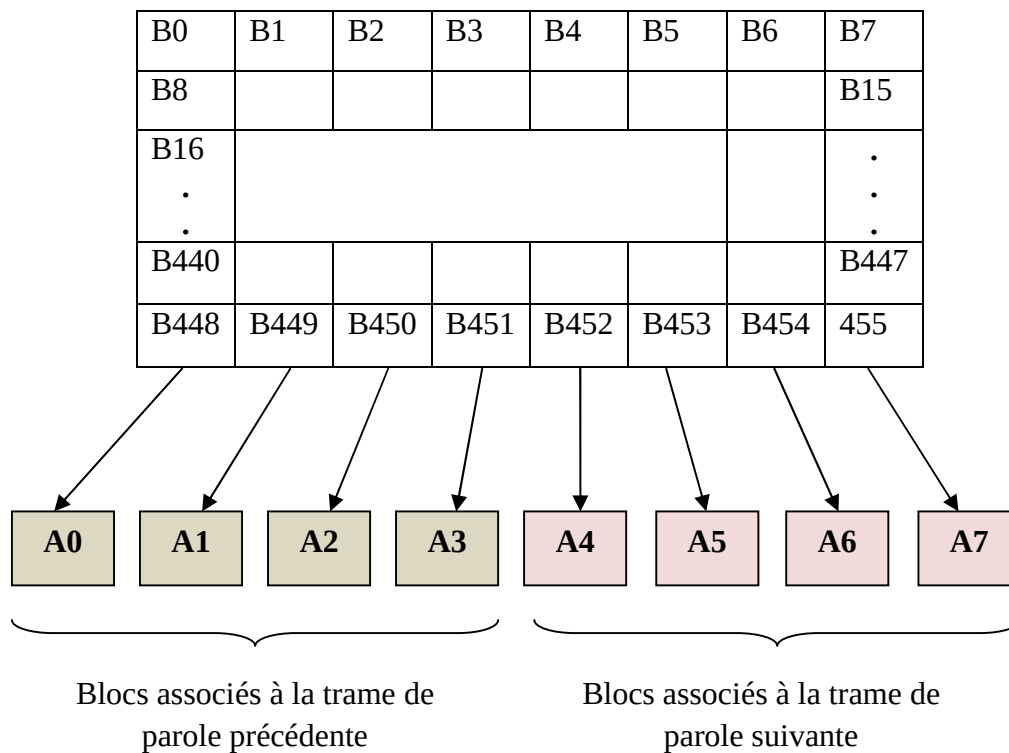


Fig.2.10 : Principe d'Entrelacement.

Etape 2 : chaque demi-burst est ensuite associé à une trame de parole voisine, les sous blocs 0,1,2 et 3 sont associés à la trame de parole précédente, et les sous blocs 4,5,6 et 7 sont associés à la trame de parole suivante.

Etape3 : cette étape consiste à intercaler finement les bits de deux sous blocs (deux demi-bursts), ainsi les bits pairs correspondent au slot de la trame de parole la plus récente et les bits impairs correspondent au slot de la trame de parole précédente. Pour la transmission des 8 sous blocs de 20ms, il nous faut 8 trames TDMA soit 40ms.

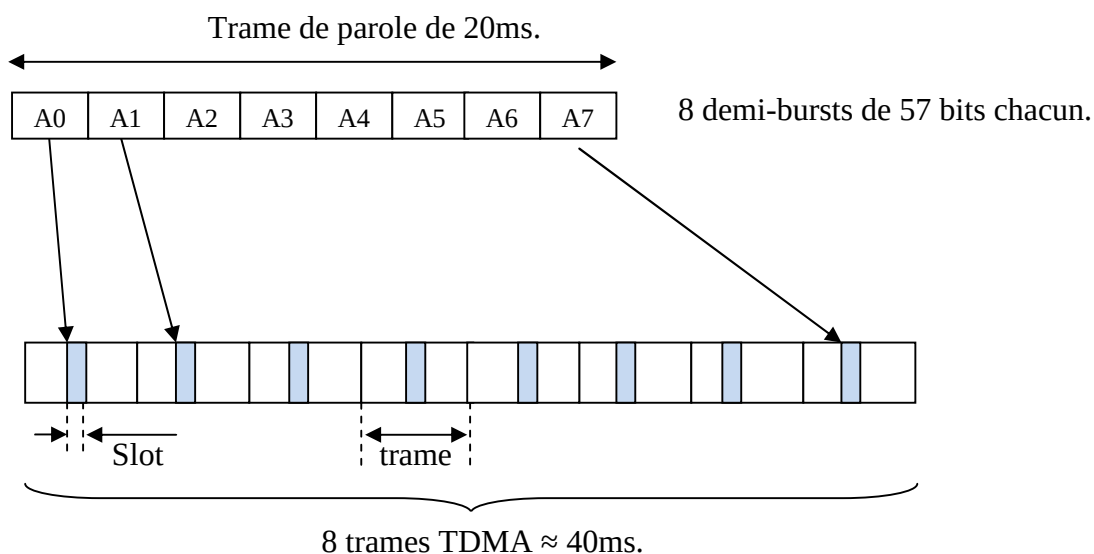


Fig.2.11 : Entrelacement au Niveau Burst.

II.10.4. Le chiffrement :

Le chiffrement est une technique de cryptographie appliquée aux trames TDMA pour sécuriser les données. Le cryptage des données se fait au niveau le plus bas de la chaîne de transmission avant la modulation. Le chiffrement dans le GSM utilise des clés secrètes K_i et K_c , et des algorithmes de cryptages A3, A5 et A8. A chaque abonné est attribué une clé K_i propre, les algorithmes A3, A5 et A8 sont les mêmes pour tous les abonnés d'un même réseau.

II.10.5. La modulation :

Le système GSM utilise une modulation numérique dite modulation GMSK « *Gaussian Minimum Shift Keying* » et signifie modulation de fréquence à spectre minimisée avec filtrage Gaussien, c'est une modulation de fréquence FSK obtenue en affectant à chacun des symboles binaires 0 et 1 une fréquence différente, comme le montre la figure 2.12:

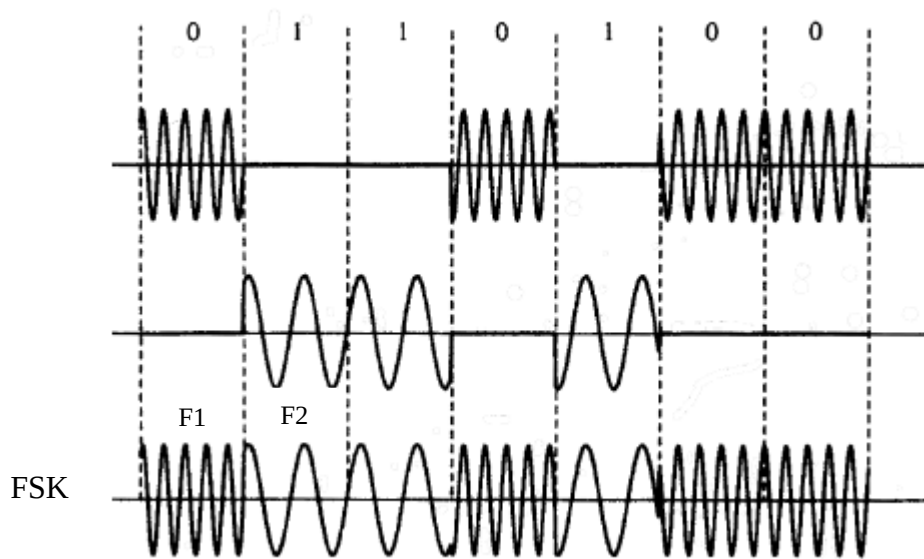


Fig.2.12 : Modulation FSK.

Le signal FSK obtenu présente des discontinuités de phase au niveau des transitions entre F1 et F2, le signal dans ce cas occupe une largeur de bande très importante, il faut donc minimiser le spectre en ajoutant un filtre, on aboutit alors à un signal à phase continue MSK avec des fréquences : $F1=2 \times F2$.

Pour engendrer le signal GMSK on peut utiliser, comme sur montre la figure 2.13, un modulateur de fréquences correspondant à un simple oscillateur commandé en tension VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), où le signal binaire d'entrée est préfiltré par un filtre Gaussien passe bas. Si on supprime ce filtre d'entrée, on obtient un modulateur MSK.

La réponse impulsionnelle du filtre est donnée par l'équation suivante :

$$h(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad \dots\dots\dots (2.5) \quad \text{Où} \begin{cases} \sigma : \text{est l'encart type} \\ t : \text{représente le temps.} \end{cases}$$

Le filtre Gaussien permet d'atténuer les transitions de phase lors du changement de fréquences, de façon à concentrer le maximum de l'énergie du signal autour de la fréquence centrale et ainsi éviter toute interférence entre les canaux adjacents

Le schéma suivant représente les différents blocs du modulateur :



Fig.2.13 : Modulateur GSM.

II.11. Les antennes :

Une antenne est un transducteur qui permet de générer à partir de signaux électriques, des ondes électromagnétiques. En réception, elle joue le rôle d'un capteur qui convertit des OEM en tensions électriques, on distingue deux genres d'antennes :

- Les antennes filaires dont les longueurs sont proportionnelles à λ la longueur d'ondes, exemple : les $\frac{1}{2}$ ondes connue 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 bases et les BSC à travers les faisceaux hertziens, pour cela il faut que l'émetteur et le récepteur soient en visibilité directe.

Les antennes aussi appelées « aérien » sont les derniers composants de la chaîne d'émission, ce sont les éléments les plus importants dans une BTS, elles sont placées souvent sur des hauts pylônes ou sur des toits d'immeubles afin de réaliser une couverture plus large. On distingue plusieurs types d'antennes, avec des caractéristiques propres correspondant à des besoins particuliers.

II.11.1. **Caractéristiques des antennes :**

II.11.1.1. Les Fréquences d'utilisation : l'une des caractéristiques les plus importantes d'une antenne est la bande de fréquences supportées par cette dernière. C'est à dire les fréquences des signaux que l'antenne pourra émettre et recevoir. Sur les sites GSM, on trouve des antennes qui émettent seulement en 900 MHz, seulement en 1800 MHz ou des antennes bibandes 900 et 1800 MHz.

Il existe aussi des antennes bimodes, c'est-à-dire s'adaptant avec la norme GSM et la norme UMTS dont les fréquences se situent autour de 2GHz.

II.11.1.2. Le Diagramme de rayonnement : (portée) il est défini comme étant le volume de l'espace couvert par le rayonnement d'une antenne. Graphiquement, c'est la représentation d'une fonction $R(\theta, \varphi)$ défini comme le rapport entre l'intensité de rayonnement dans une direction et l'intensité maximale de l'antenne. On définit alors plusieurs paramètres, essentiellement : Le lobe principal, qui est la direction dans laquelle le champ EM est maximum, les lobes secondaires, l'angle d'ouverture à -3 dB qui correspond à $R(\theta, \varphi) = 1/2$.

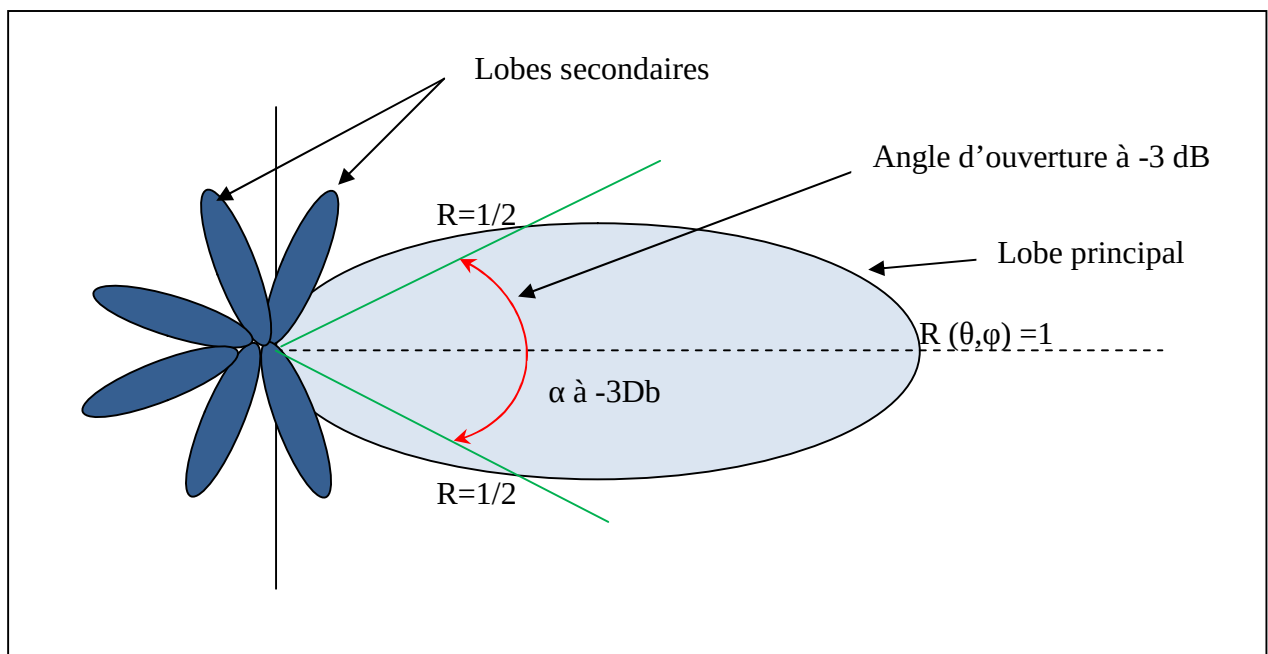


Fig.2.14 : Exemple de Diagramme de Rayonnement.

II.11.1.3. La Directivité : par définition, c'est l'intensité de rayonnement de l'antenne dans une direction donnée. Il existe deux grands types de directivités pour les antennes.

- a) 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 5 cm de diamètre. Alors que pour les microcellules, ce sont des brins de 40 cm de haut et 2 à 3 cm de diamètre.

La figure 2.15 représente le diagramme de rayonnement d'un dipôle élémentaire qui est une antenne omnidirectionnelle :

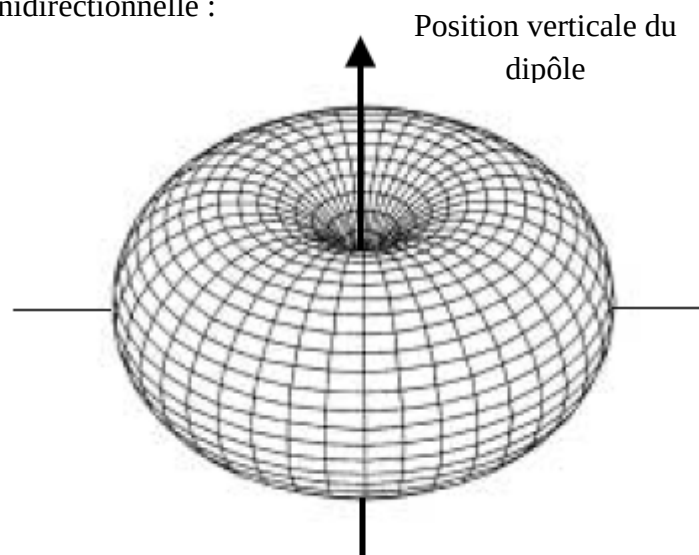


Fig.2.15. Diagramme de Rayonnement d'un Dipôle Élémentaire.

- b) 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 360° .

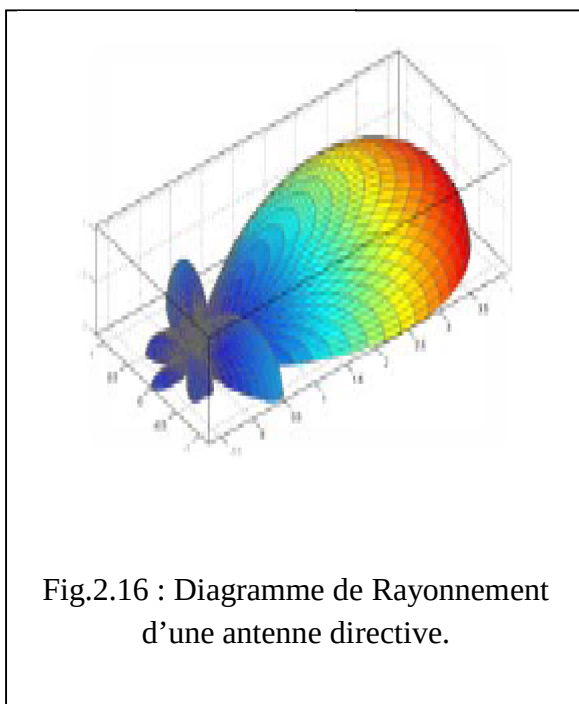


Fig.2.16 : Diagramme de Rayonnement d'une antenne directive.

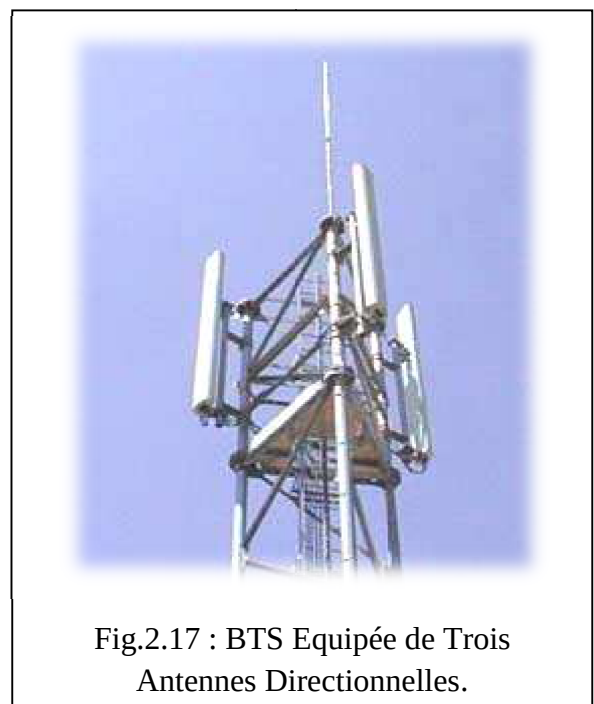


Fig.2.17 : BTS Equipée de Trois Antennes Directionnelles.

II.11.1.4. Le gain : le gain noté G d'une antenne est le rapport entre la puissance rayonnée par celle-ci et la puissance rayonnée par une antenne idéale isotrope qui rayonne de la même façon dans toutes les directions.

Le gain d'une antenne est exprimé en dB ou en dBi (pour dB isotrope), il est compris entre 2 et 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et peut aller jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles.

Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée de manière à couvrir exactement la zone couverte. On définit alors l'azimut qui est la direction principale de propagation des ondes émises par l'antenne, c'est-à-dire la direction dans laquelle l'antenne émet à sa puissance la plus importante. L'azimut est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant du nord (0°), (voir figure ci-contre). De cette façon, l'azimut 90° correspond à l'est, l'azimut 180° au sud ...etc.

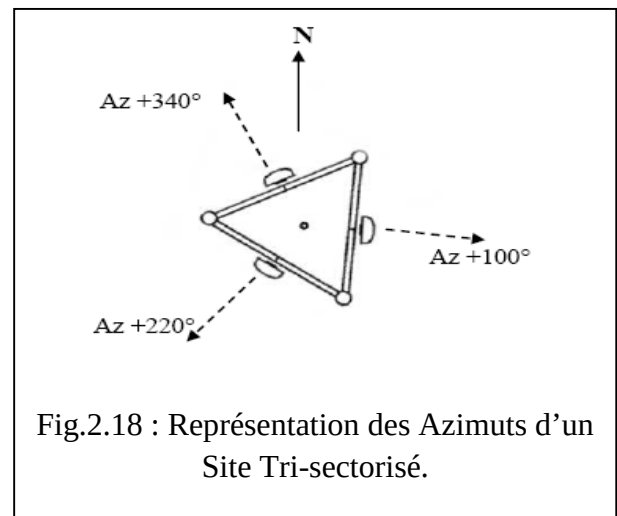


Fig.2.18 : Représentation des Azimuts d'un Site Tri-sectorisé.

Tout comme l'azimut qui est une rotation horizontale, on définit le tilt comme une inclinaison verticale du lobe principale d'une antenne. Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors qu'un tilt négatif fera pointer l'antenne vers le bas.

Il existe deux façons de réaliser un tilt :

- Le tilt mécanique : c'est-à-dire l'antenne est inclinée mécaniquement vers le haut ou vers le bas.
- Le tilt électrique : dans ce cas l'antenne est dotée d'un système électrique pour réaliser les tilts.

II.12. La propagation des ondes électromagnétiques :

Les études de propagation ont pour principale objectif la quantification des transmissions par ondes radio (atténuation, retard, distorsion,...etc.). Une onde électromagnétique est constituée d'un champ électrique E, et d'un champ magnétique H qui sont orthogonaux et en phase. Cette OEM peut être générée par des courants (cas des antennes filaires), ou par des ouvertures rayonnantes (cas des antennes paraboliques). La propagation des OEM résulte des études faites par MAXWELL, ses quatre fameuses équations conduisent à une équation d'onde propagatrice. La variation du champ magnétique donne naissance à un champ électrique et vice versa, c'est ainsi que les deux vecteurs E et H sont maintenus dans l'espace.

II.12.1. Propagation en espace libre :

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

$$P_r = P_e G_e G_r \frac{\lambda^2}{16 d^2 \pi^2} = \frac{P_e G_e G_r}{\left(\frac{4\pi}{c}\right)^2 f^2 d^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

Avec :

- P_r : est la puissance reçue.
- P_e : est la puissance émise.
- G_e : est le gain de l'antenne d'émission.
- G_r : est le gain de l'antenne de réception.
- λ : est la longueur d'onde.
- d : est la distance entre l'émetteur et le récepteur.
- f : 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 : $l = \left(\frac{4\pi}{c}\right)^2 f^2 d^2 \dots\dots (2.7)$, qui est fonction de la distance pour f fixe.

L'affaiblissement peut s'exprimer en dB et calculé par l'équation suivante :

$$L(\text{dB}) = 32.4 + 20\log(f) + 20\log(d) \dots\dots\dots (2.8)$$

Avec : d exprimé en Km et f en MHz.

Pour que cette équation 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 (visibilité indirecte), ce qui est souvent le cas dans les transmissions radio électriques. L'onde radioélectrique peut être confrontée à différents obstacles qui dévient sa trajectoire. On définit alors les mécanismes de propagation qui permettent d'acheminer l'onde de l'émetteur vers le récepteur.

II.12.2. Mécanismes 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 est 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 des indices n différents :

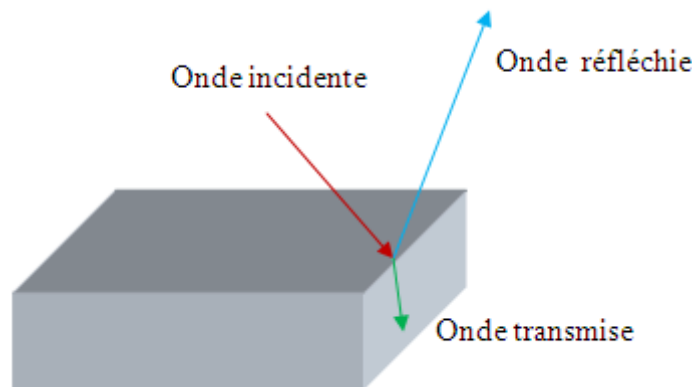


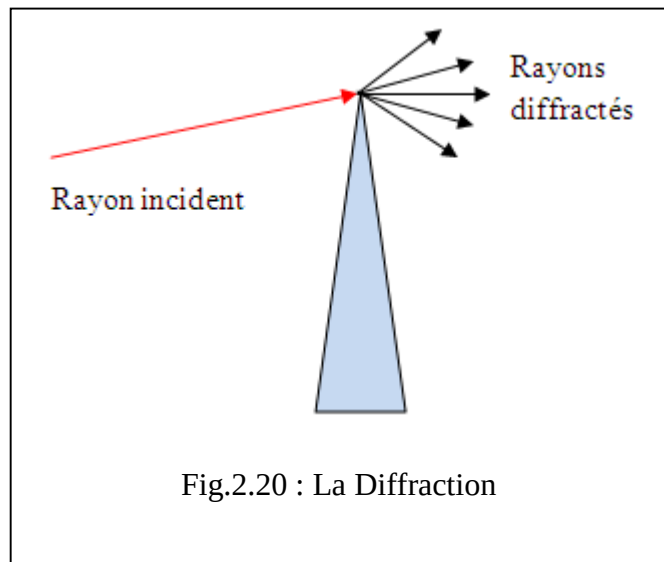
Fig.2.19 : réflexion et réfraction des OEM.

Lorsqu'une OEM rencontre un milieu d'indice de réfraction différent, dans le cas où les dimensions de l'obstacle sont plus grandes que la longueur d'onde incidente, à l'interface on constate deux phénomènes :

- Après la traversée de l'interface, l'onde est déviée. C'est le phénomène de réfraction.
- Une onde est réfléchie par l'interface. C'est le phénomène de réflexion.

Les deux ondes résultantes ont la même fréquence et la même polarisation. Ces deux mécanismes sont pris en considération lors du 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.

Un autre mécanisme aussi important est la diffraction, il intervient lorsque l'onde rencontre un obstacle dont les dimensions sont infiniment grandes devant la longueur d'onde, le rayon incident est dispersé par l'obstacle et donne naissance à plusieurs rayons diffractés, comme le montre la figure ci-contre.



La diffraction est un phénomène majeur dans la propagation des ondes radioélectriques, il permet la réception du signal malgré les obstacles qui masquent le récepteur.

Les ondes se propageant 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 de 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.

II.12.3. Les bruits et 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 (en anglais "*Carrier* ") et des signaux perturbateurs de deux types : les bruits N (en anglais "*Noise*") et les interférences I . Le rapport $C/(N + I)$ permet d'apprécier la qualité du signal reçu, en effet, ce rapport doit être supérieur au seuil déterminé par la sensibilité du récepteur.

- a) Les bruits : ils sont dus essentiellement aux bruits de fond des récepteurs. Dans les macrocellules, les fréquences sont réutilisées dans des 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.
- b) Les interférences : un récepteur dans une cellule reçoit le signal utile provenant de la station BTS 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 de deux types d'interférences :
 - 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.

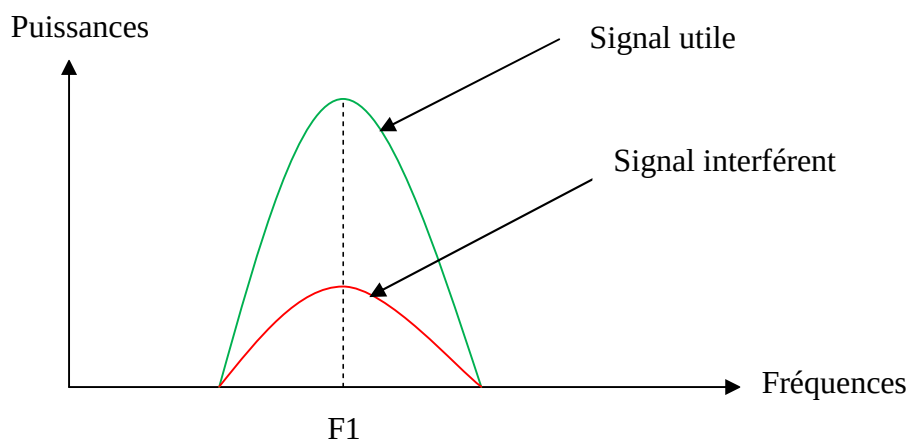


Fig.2.21. Interférence Co-canal.

- Les interférences canal adjacent : L'origine des interférences canal adjacent (appelée aussi Interférence Inter-Fréquences) 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.

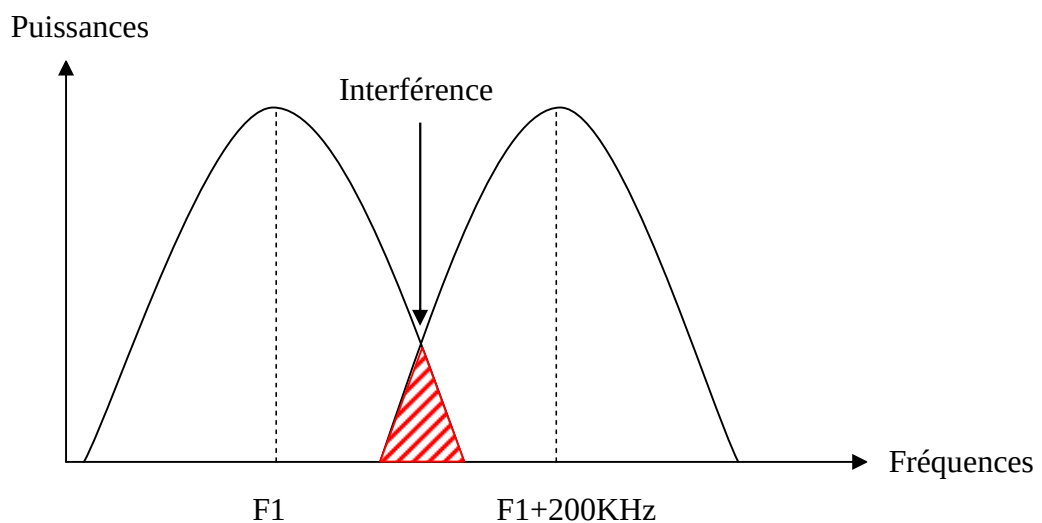


Fig.2.22. Interférence Canal Adjacent.

II.12.4. Les Multi trajets :

La réflexion d'une onde sur des obstacles multiples provoque plusieurs trajets entre l'émetteur et le récepteur. Dans les transmissions radio électriques, le signal capté par une antenne peut être le résultat de plusieurs réflexions, on définit alors le phénomène de multi trajets qui présente deux effets, l'un est bénéfique pour la transmission tandis que l'autre cause des dispersions.

Les trajets multiples permettent des transmissions entre un émetteur et un récepteur même si ces deux derniers ne soient pas en visibilité directe. D'autre part, les trajets multiples affectent les trois paramètres caractérisant un signal :

- Distorsions en fréquence (effet Doppler) : L'effet doppler est un phénomène dû à la mobilité du récepteur par rapport à la station de base, il entraîne une variation ΔF dans la fréquence du signal reçu appelée décalage doppler (en anglais : *Doppler Spread*), et vaut : $\Delta F = f \frac{v}{c} \cos(\alpha)$ (2.9)

Avec : { f : est la fréquence du signal émis.
 v : est la vitesse de déplacement du mobile par rapport à la BTS.
 c : est la célérité de la lumière.
 α : est l'angle formée par le vecteur vitesse du mobile et le vecteur de l'onde transmise.

- Distorsion en amplitude (le fading de Rayleigh) : la réflexion des signaux provoque un régime d'ondes stationnaires causant des évanouissements et atténuations d'amplitude dans différents points de l'espace.
- Dispersion en retard (*Delay Spread*) : en radio communication, le signal capté par un récepteur est la superposition de plusieurs signaux passés par des trajets différents. Les signaux provenant d'une même source arrivent donc au récepteur avec un léger décalage dans le temps dû aux multiples trajets, il se produit alors des déformations et un étalement du signal.

Pour remédier à toutes ces contraintes causées par les trajets multiples, il est indispensable d'utiliser les différentes techniques de diversités.

II.12.5. Techniques de diversités :

- Diversité spatiale : La liaison U_m dans le sens montant est plus difficile à assurer que la liaison descendante, puisque la puissance des terminaux est limitée à 2 watts en 900 Mhz et 1 watt en 1800 MHz, on utilise donc deux antennes par secteur au lieu d'une pour favoriser la réception du signal. Les deux antennes sont espacées d'environ 3 à 6m l'une au dessus de l'autre ou l'une à côté de l'autre. La puissance du signal reçu est augmentée d'environ 5 dB.

- b) Diversité de polarisation : La polarisation d'une onde électromagnétique est décrite par l'orientation de son champ électrique, il existe plusieurs polarisations pour les OEM. Dans la téléphonie mobile, les antennes émettrices et les antennes réceptrices communiquent toutes les deux avec un signal dans la même polarisation. La diversité en polarisation consiste à utiliser des antennes qui ont une double polarisation (ou polarisation croisée), elle est ni verticale, ni horizontale, mais intermédiaire : $+ 45^\circ$ et $- 45^\circ$, c'est ainsi que la puissance du signal reçu est augmentée d'environ 6 dB.
- c) Diversité en fréquence : La diversité fréquentielle est une technique utilisant un changement régulier de fréquences. C'est-à-dire que la BTS et le mobile changent régulièrement de fréquence d'émission et de réception, c'est le phénomène étudié précédemment connu sous le nom de saut de fréquence.

II.12.6. Les modèles de propagations :

Les études de la propagation des OEM dans l'atmosphère constituent une tâche très difficile. Les théoriciens doivent prendre en considération les effets de tous les éléments qui constituent l'environnement. Des études mathématiques et statistiques ont été faites dans le but 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 fonctions de plusieurs paramètres.

Les opérateurs des réseaux cellulaires utilisent ces logiciels 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 les microcellules :

- Modèles macrocellulaires : ils sont caractérisés par les paramètres suivants :
- La hauteur de la station de base h_b est comprise entre 30 et 200m.
 - La hauteur de l'antenne du mobile h_m est comprise entre 1 et 10m.
 - La distance entre le mobile et la station de base est peut varier entre 1 et 20km.
 - La fréquence d'utilisation est de l'ordre des Mhz (cas du GSM900).
 -

Il existe plusieurs modèles macrocellulaires, les uns sont différenciés par rapport aux autres 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 1000MHz. Un autre modèle aussi important est celui nommé COST231-HATA qui est une amélioration du modèle de HATA, il s'adapte aux systèmes dont les fréquences sont comprises entre 800 et 2000MHz.

- 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, il est adéquat pour les fréquences allant de 800 MHz jusqu'à 2000MHz, la hauteur des antennes mobiles varient entre 1 et 3m, et celle des stations de base entre 4 et 50m.

II.13.Conclusion

L'interface radio est la partie du réseau la plus complexe, elle met en évidence tous les changements que subit le signal de parole depuis l'émetteur jusqu'au récepteur, en passant par les différents blocs de la chaîne de transmission vers la propagation dans le canal radioélectrique. Ce canal radioélectrique figure parmi les canaux de transmissions les plus compliqués à étudier.

Les modèles de prédictions constituent une solution idéale pour comprendre et modéliser les phénomènes de propagations dans l'atmosphère, cependant, il est très difficile de tenir en compte de tous les éléments entrant en jeu lors de la propagation d'une onde dans l'air. Ces différents algorithmes permettent de simuler les zones de couvertures et d'estimer les affaiblissements. Lors du déploiement d'un relais GSM, ces simulations ne constituent qu'une approche théorique parmi les différentes étapes de déploiement, les valeurs exactes sont obtenues en procédant à des mesures sur le terrain avec un matériel sophistiqué. Dans le chapitre suivant, nous allons nous intéresser aux différentes étapes d'ingénierie à effectuer pour le déploiement d'un site GSM.

III.1. Planification d'un réseau cellulaire :

Dans le GSM, les communications sont acheminées d'un point à un autre en transitant via différents équipements. Une bonne distribution de ces équipements sur une région permet d'assurer une bonne qualité d'appel.

La planification d'un réseau cellulaire consiste à répartir différents sites GSM (BTS) sur la zone à couvrir, c'est une étape primordiale qui conditionne directement le succès du réseau. Un réseau mal planifié aura pour conséquences des coupures fréquentes des appels, et des chevauchements des zones de couvertures des sites limitrophes.

La planification d'un réseau cellulaire est un processus répétitif. L'opérateur doit constamment évaluer les nouvelles données de trafic et d'analyse. La figure 3.1 représente les différentes étapes de planification:

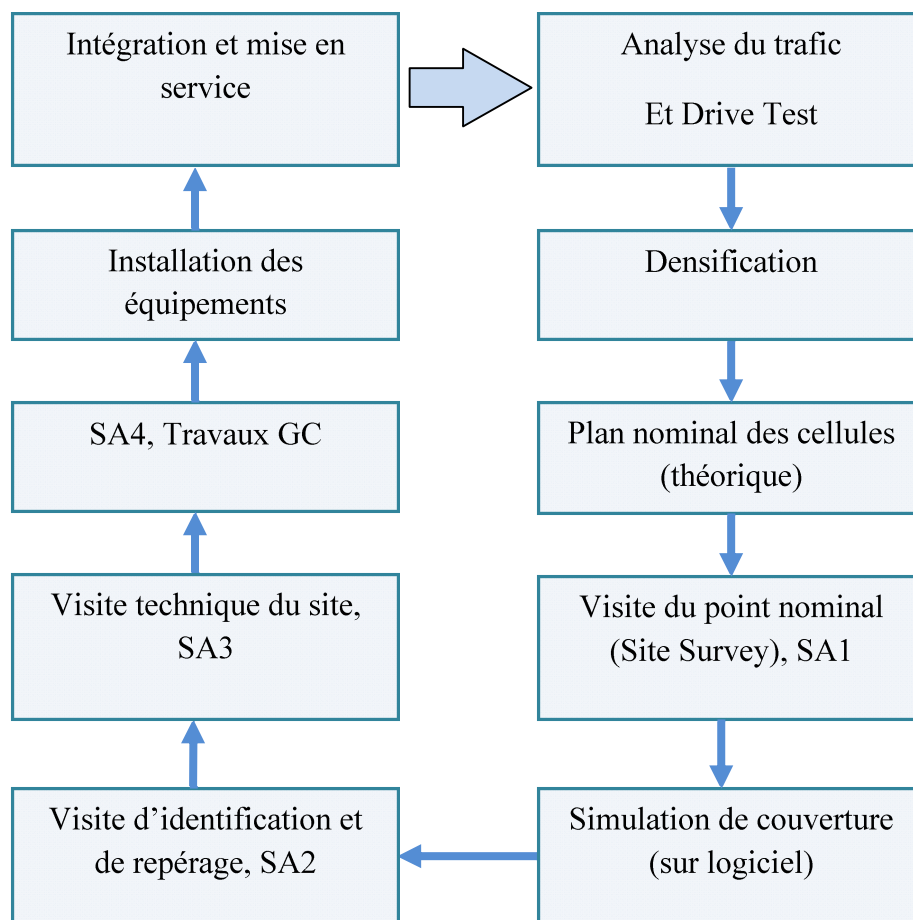


Fig.3.1 : Processus de Planification.

La planification d'un réseau permet de définir sa couverture et sa capacité. La difficulté majeure lors d'une planification d'un réseau réside dans son dimensionnement, en effet, tout est question de compromis entre les caractéristiques géographiques et démographiques de la région d'une part, et de la disponibilité des ressources radio d'autre part. Les opérateurs doivent également minimiser le coût de l'installation des infrastructures radio et réseau, ils utilisent pour cela des outils (logiciels) de planification très sophistiqués qui constituent pour cette raison un savoir faire confidentiel.

Comme on peut constater sur la figure3.1, les résultats de l'analyse du trafic et du drive test sont les deux opérations qui renseignent l'opérateur sur la nécessité de l'extension de son réseau en déployant de nouveaux sites.

III.2. Analyse du trafic :

Un abonné ne téléphone pas en permanence, c'est-à-dire qu'il occupe un canal de trafic pendant un certain temps et à la fin de sa communication, il libère le canal. La proportion de temps pendant laquelle le canal est occupé par l'abonné définit ce qu'on appelle le trafic de l'abonné, ou plus rigoureusement l'intensité moyenne du trafic. L'activité d'un abonné vis-à-vis du réseau peut être caractérisée par deux phénomènes : il peut téléphoner plus ou moins fréquemment, ou plus ou moins longtemps. Ces deux phénomènes peuvent être caractérisés par : une loi d'arrivée (les débuts de communication), et une loi de service (durée des communications). Différents modèles mathématiques sont utilisés pour représenter ces deux phénomènes, les plus courants sont :

- Le modèle Poissonien : c'est-à-dire que les abonnés arrivent sur le réseau suivant la loi de Poisson.
- Le modèle exponentiel : les durées des communications évoluent suivant une loi exponentielle.

L'étude du trafic a pour but le dimensionnement des composants d'un réseau, autrement dit l'estimation des ressources à préconiser afin d'assurer une couverture optimale et donc l'achat du matériel qui en découle. L'estimation de la charge du trafic d'un réseau de téléphonie mobile n'est pas une chose évidente, il est difficile de mener une statistique exacte vu la mobilité des abonnés d'une part et la dépendance en des facteurs socio-économiques variables d'autre part.

III.2.1. Variation du trafic :

La variation du trafic dépend de plusieurs facteurs, Il est nécessaire d'identifier les facteurs entrant en jeu et d'extraire ceux qui ont plus d'influence et qui expliquent mieux l'évolution de la demande des services radio mobile au fil du temps, on distingue alors :

- la localisation des abonnés : l'intensité du trafic engendrée dans les zones urbaines et suburbaines est nettement plus grande que celle des zones rurales.
- Le type d'abonnés : les quartiers d'affaires génèrent un trafic plus important relativement aux quartiers résidentiels.
- L'heure de la journée : le trafic varie considérablement tout au long de la journée.
- Jours de la semaine : le trafic diminue le weekend et atteint des valeurs maximales les jours de travail.
- Période de l'année : dans les zones touristiques par exemple, le trafic généré est beaucoup plus grand en été qu'en hiver.

Ajouter à tous ces facteurs, un paramètre très important qui est le pouvoir d'achat des abonnés, une population riche génère un trafic plus important en comparaison avec celui généré par une population pauvre, ce paramètre permet d'estimer le taux de pénétration des services.

Le problème qui se pose donc est de dimensionner le réseau à partir des résultats de l'étude du trafic, c'est-à-dire de déterminer le nombre de canaux de trafic TCH à utiliser dans la région observée. L'analyse du trafic résulte des travaux menés par le mathématicien Danois ERLANG qui a donné son nom à l'unité de trafic. D'autres chercheurs ont étudiés le trafic, mais les modèles les plus utilisés sont ceux d'ERLANG.

III.2.2. Paramètres utilisés :

Le modèle d'ERLANG se base sur les paramètres suivants :

- Durée moyenne d'un appel : elle dépend surtout du coût de l'appel, du moment de la journée.
- Taux d'occupation des ressources (c'est le pourcentage de temps pendant lequel une ressource radio est occupée). Il dépend essentiellement des raisons de l'établissement de l'appel.

- Taux d'arrivée des appels : c'est le nombre de tentatives d'appels reçus par le réseau par unité de temps.
- Taux de pénétration : c'est la densité de population susceptible de souscrire à un service, elle dépend principalement du coût du service.

III.2.3. Types de trafic :

Le nombre d'abonnés que compte chaque opérateur dépasse largement le nombre de canaux disponibles, tous les abonnés ne peuvent pas donc téléphoner simultanément. Dans un secteur à 4 fréquences, le nombre maximum de communications supportées est de $4 \times 7 = 28$, si le nombre de tentatives d'appels dans cette cellule dépasse 28, alors une partie de ces appels seront rejetés, seuls 28 appels peuvent être écoulés simultanément. On définit les types de trafic :

- Le trafic offert : il correspond au nombre total de tentatives d'appel faites par les abonnés.
- Le trafic écoulé : il correspond au nombre total d'appels qui ont aboutit.
- Le trafic perdu (rejeté) : représente le nombre d'appels rejeté par le réseau faute de congestion.

III.2.4. L'unité de trafic :

L'unité de trafic est définie comme étant le pourcentage d'appels reçu par un réseau par unité de temps, elle est mesurée en Erlang, on considère les variables suivantes :

- **n** : le nombre d'appels par unité de temps qui est de 1 heure.
- **T** : la durée moyenne d'un appel en seconde.
- **A** : le trafic généré.

On calcule le trafic généré en utilisant l'équation : $A = \frac{(n \times T)}{3600}$ (Erlang)..... (3.1)

*A noter que le nombre d'appels **n** est calculé sur une heure chargée. En Algérie par exemple, l'heure la plus chargée en trafic est 11h de la journée.*

III.2.5. Paramètre de qualité de services :

Le modèle d'ERLANG est le plus utilisé pour le trafic téléphonique. Pour pouvoir appliquer ses équations, il faut que Le flux d'arrivée des appels soit soumis à la loi de Poisson de paramètre A. Deux paramètres de qualité de services sont considérés :

1. **Taux de blocage, 1^{ère} formule d'Erlang** : cette équation s'applique aux systèmes dits : à appels perdus, elle donne la probabilité de perte (blocage) en fonction de la charge du trafic offert A et du nombre de canaux de trafic C, c'est la probabilité pour que l'appel d'un abonné ne soit pas acheminé à travers un canal de trafic vers le destinataire, donc son appel sera rejeté.

Le taux de blocage est calculé en utilisant l'équation 3.2 :

$$P_B = \frac{\frac{A^c}{c!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \dots + \frac{A^c}{c!}} \dots\dots\dots (3.2), \quad \text{Cette équation est aussi appelée : formule d'Erlang B.}$$

La probabilité de blocage (probabilité de congestion) admise en GSM varie en général en fonction de l'environnement. Elle est plus importante dans les zones urbaines où la densité d'abonnés est importante, le taux de blocage dans ces zones se situe entre 2 et 5%. Par contre, dans les zones rurales où les conditions de trafic sont moins contraignantes, Le taux maximum de blocage est de 2%.

2. **Temps d'attente, 2^{ème} formule d'Erlang** : Lorsque le système est à l'attente, on utilise la deuxième équation d'Erlang pour calculer la probabilité d'attente, elle a la forme suivante :

$$P_a = \frac{\frac{A^c}{c!} \cdot \frac{c}{c-A}}{\sum_{i=0}^{c-1} \frac{A^i}{i!} + \frac{A^c}{c!} \cdot \frac{c}{c-A}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Cette équation (aussi appelée : formule d'Erlang C) donne la probabilité pour qu'un appel soit retardé, avant d'être acheminé à travers un canal de trafic TCH vers le destinataire.

En utilisant cette probabilité, on peut estimer le délai moyen d'attente qui est donné par l'équation suivante : $T_a = \frac{P_a \cdot T}{c - A}$ (3.4)

L'opérateur, pour assurer une qualité de service acceptable à ses abonnés doit faire en sorte qu'un usager n'attende pas trop longtemps avant de voir sa demande d'appel satisfaite, Pour cela, des techniques particulières de gestion des files d'attentes sont souvent mises en œuvre.

III.2.6. Dimensionnement d'un site GSM : à partir des données statistiques de la région considérée, de l'objectif de couverture (superficie de zone à couvrir), et en utilisant le modèle d'ERLANG, on peut estimer le nombre de ressources radio à allouer à cette cellule.

III.2.6.1. Calcul du nombre de TCH :

Etant donnée l'intensité de trafic A généré par un abonné, et en connaissant la densité de population associée à la région, on peut déterminer le trafic A_p engendré par cette population de la manière suivante : $A_p = A \cdot d_h$ (Erlang/Km²).3.5.
Où d_h est la densité de population (nombre d'habitant par Km²).

Ensuite, si on est capable de prédire le rayon de la zone à couvrir par la cellule, il est alors possible d'estimer le trafic que la cellule doit absorber : $A_{tot} = A_p \cdot S$ (Erlang)....3.6.
Où : S représente la superficie de la cellule.

Ainsi, à partir de la connaissance de la densité de trafic et de la surface couverte par un émetteur, il est possible de calculer le nombre de canaux TCH à affecter à une cellule pour garantir un taux de blocage inférieur à un certain pourcentage (par exemple 2%), en utilisant l'équation d'Erlang B, comme est illustré dans le schéma de la figure 3.2.

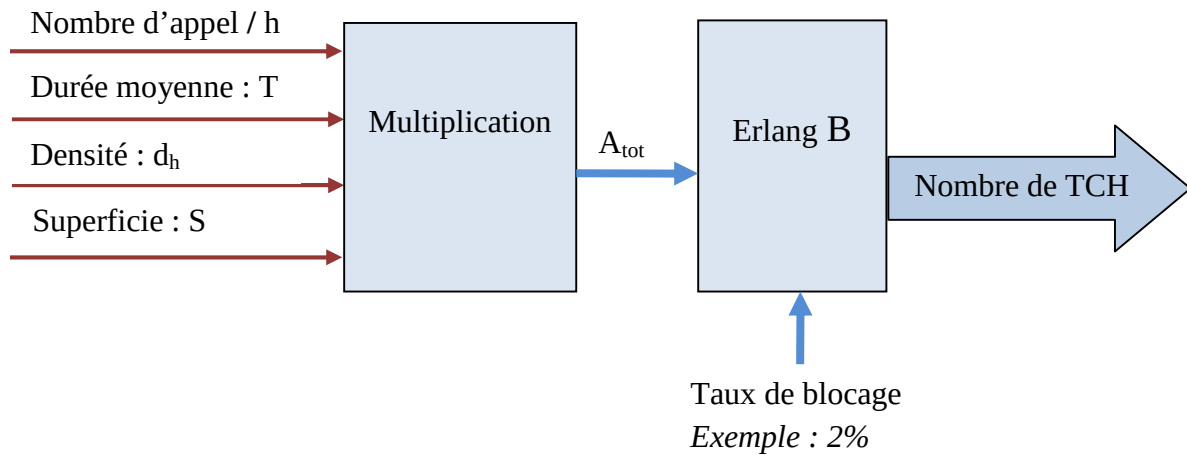


Fig.3.2 : Calcul Du Nombre de Canaux TCH.

III.2.6.2. Calcul du Nombre de TRX :

Dans le GSM, la technique TDMA permet de diviser chaque fréquence en 8 intervalles de temps appelés Slots, pour constituer alors les canaux de trafic et les canaux de signalisation.

Sur une trame TDMA, 7 slots sont utilisés pour les données, ils constituent les canaux de trafic TCH. Le slot restant est utilisé pour la signalisation.

Un TRX est un module émetteur / récepteur qui correspond à une fréquence porteuse, le nombre de TRX par cellule (ou par secteur) est calculé de la manière suivante :

$$\text{Nb de TRX} = (\text{Nb de TCH} + \text{Nb de canaux de signalisation}) / 8 \quad \text{.....3.7.}$$

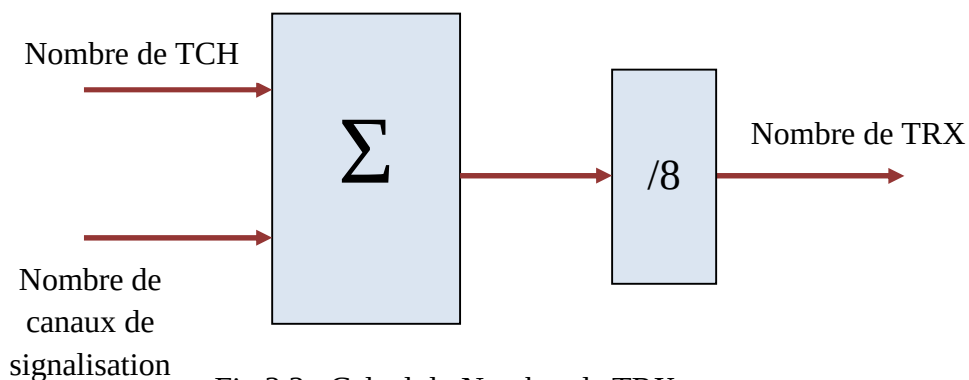


Fig.3.3 : Calcul du Nombre de TRX.

III.3. le Drive Test :

Une étape aussi importante que l'étude du trafic est le drive test, c'est une opération qui a pour but de mesurer le niveau et la qualité des signaux diffusés par les BTS. Le dispositif de mesure utilisé s'appelle TEMS (*Test Mobile System*), il se compose d'un ensemble d'appareils électroniques connectés entre eux comme le montre la figure 3.4 :

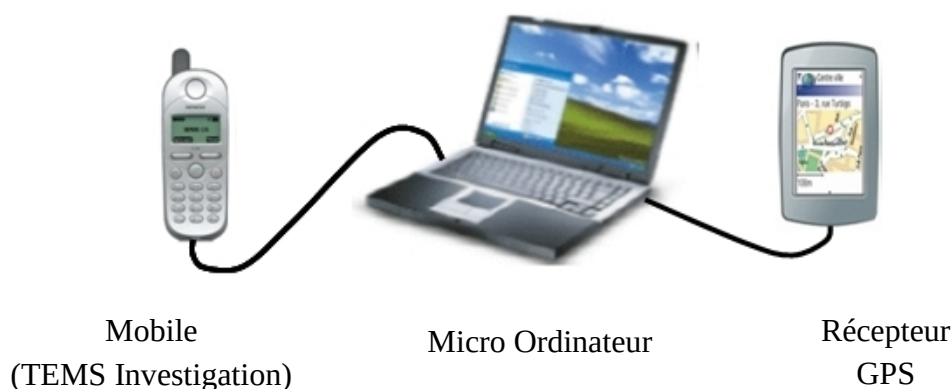


Fig.3.4 : Les équipements du TEMS.

Le TEMS se compose de :

- ✓ Un terminal mobile équipé d'un logiciel spécial appelé *TEMS Investigation*, ce terminal est utilisé pour mesurer et jauger 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 disponibles 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, ces paramètres sont ensuite classifiés suivant un code de couleur bien spécifique. Sur l'itinéraire suivi par le dispositif TEMS, on aura des changements de couleurs pour chaque paramètre.

Les paramètres contrôlés par le TEMS sont :

III.3.1. RxLevel : C'est un paramètre de control 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 -48 dBm par pas de 1dB.

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

Couleur	Plages de valeurs	Niveau de 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 3.1 : Code de couleurs pour RxLevel.

La figure 3.5 montre un exemple de drive test dans la région d'Alger avec les changements de couleurs pour RxLevel.

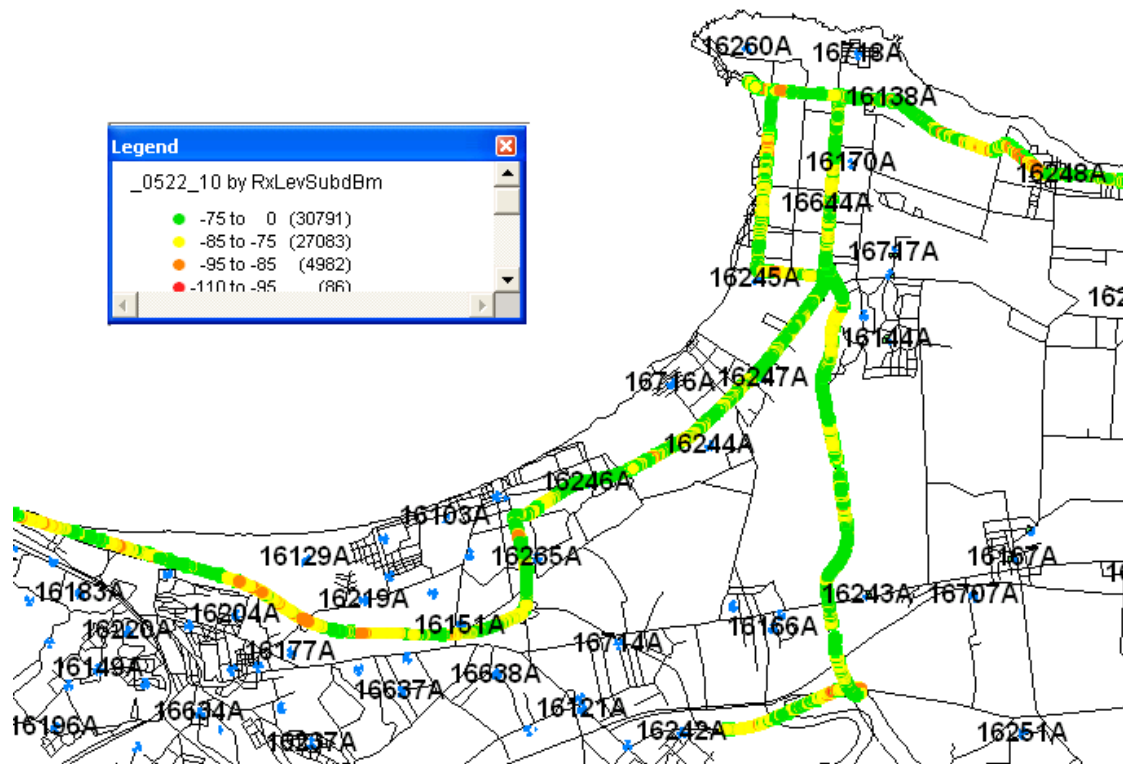


Fig. 3.5 : Mesure du niveau de signal RxLevel.

III.3.2. RxQual : C'est un paramètre de control 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 de RxQual sont classifiées selon un code de couleur :

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

Tableau3.2 : Code de couleurs pour RxQual.

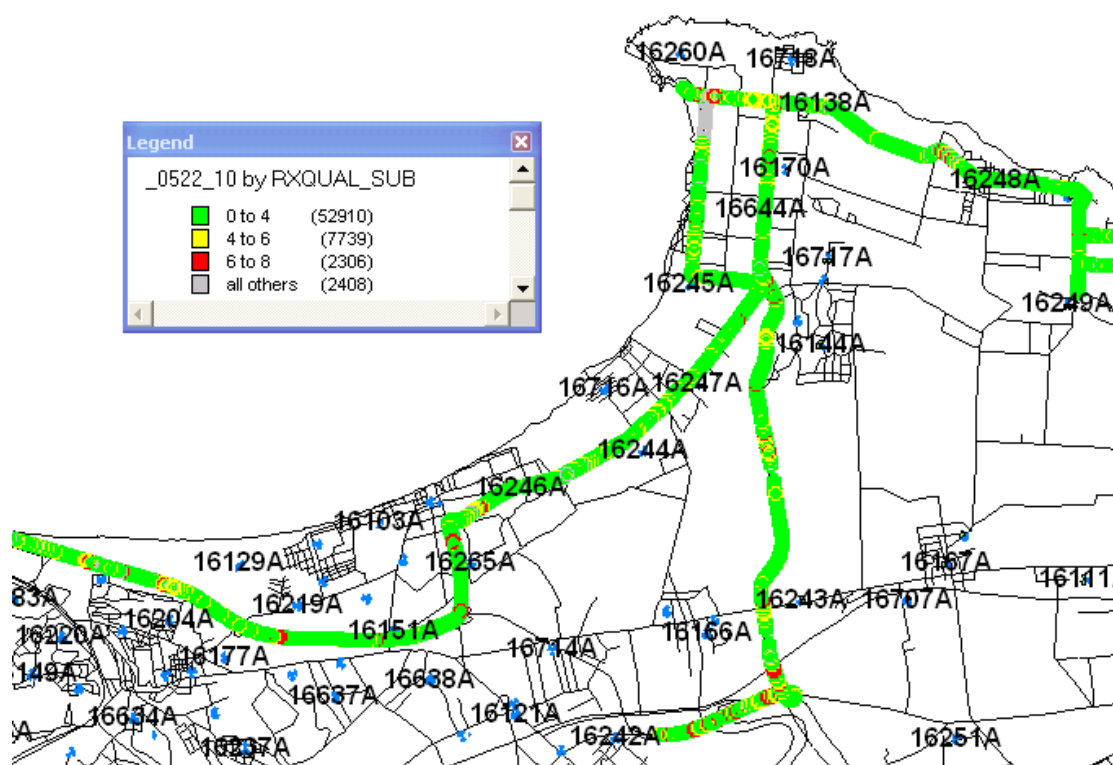


Fig. 3.6 : Control de la qualité de signal RxQual.

III.3.3. La distance Timing Advance (TA) : Ce paramètre sert à calculer la distance entre le terminal mobile et la BTS, cette distance est comprise entre : $TA \leq 554m$ et $(TA + 1) \leq 554m$. Le paramètre TA prend des valeurs dans une échelle allant de 0 à 62 (62 est la valeur maximale, elle correspond à 35 Km).

Exemple : pour $TA = 4$, la distance entre le MS et la BTS est comprise entre 2,2Km et 2,8Km.

On remarque que le paramètre TA augmente lorsque le mobile s'éloigne de la BTS.

La distance entre la BTS et le mobile est donnée par des couleurs suivant le tableau 3.3 :

Couleur	Plages de valeurs	Distance MS-BTS.
Vert	0 jusqu'à 4.	Entre 0 et ≈ 3 Km.
Jaune	4 jusqu'à 8.	Entre 3 Km et 5 Km.
Rouge	8 jusqu'à 62.	Entre 5 Km et 35Km.
Gris	Autres valeurs.	Autres.

Tableau3.3 : Code de couleurs pour TA.

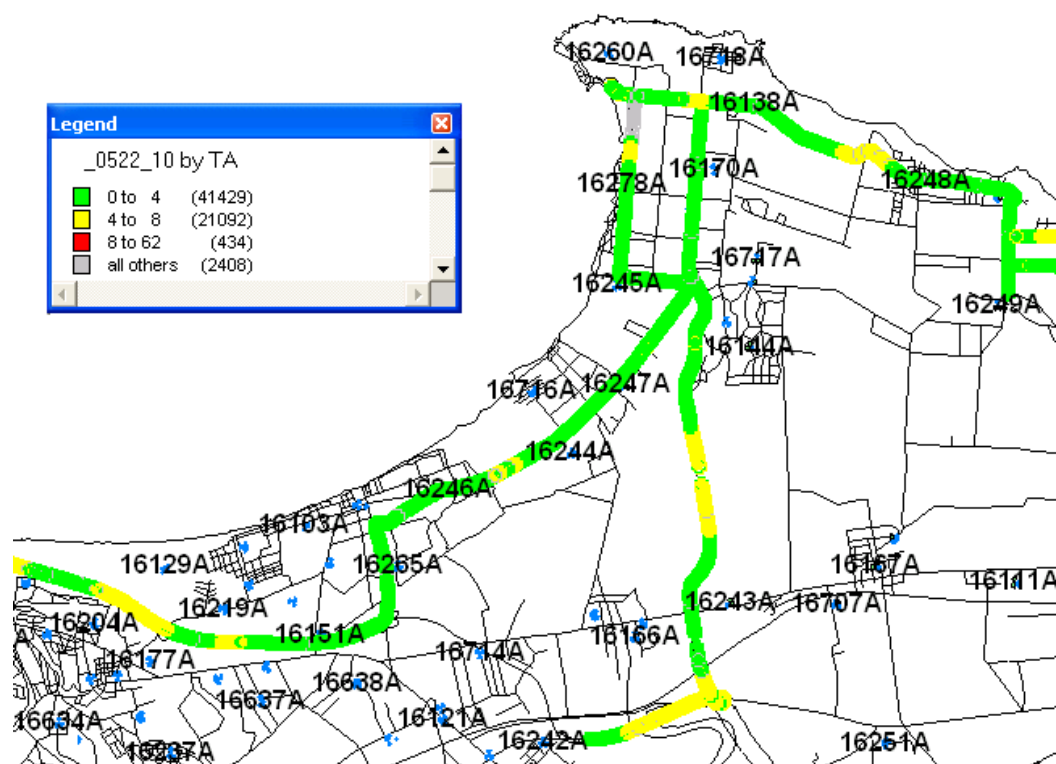


Fig. 3.7 : Mesure de la distance TA.

III.3.4. Les interférences (C/I) : Le TEMS contrôle les interférences entre les canaux de trafic TCH et entre les canaux de diffusion BCCH. À noter que plus le niveau des interférences augmente, plus la qualité de l'appel diminue jusqu'à la coupure.

- Pour les canaux TCH, le code de couleurs est donné dans le tableau 3.4 :

Couleur	Plages de valeurs	Interprétation
Rouge	0 jusqu'à 9.	Forte interférence
Jaune	9 jusqu'à 12.	Interférence moyenne
Vert	12 jusqu'à 30.	Faible interférence
Gris	Autres valeurs.	Autre

Tableau3.4 : Code de couleurs pour les interférences inter TCH.

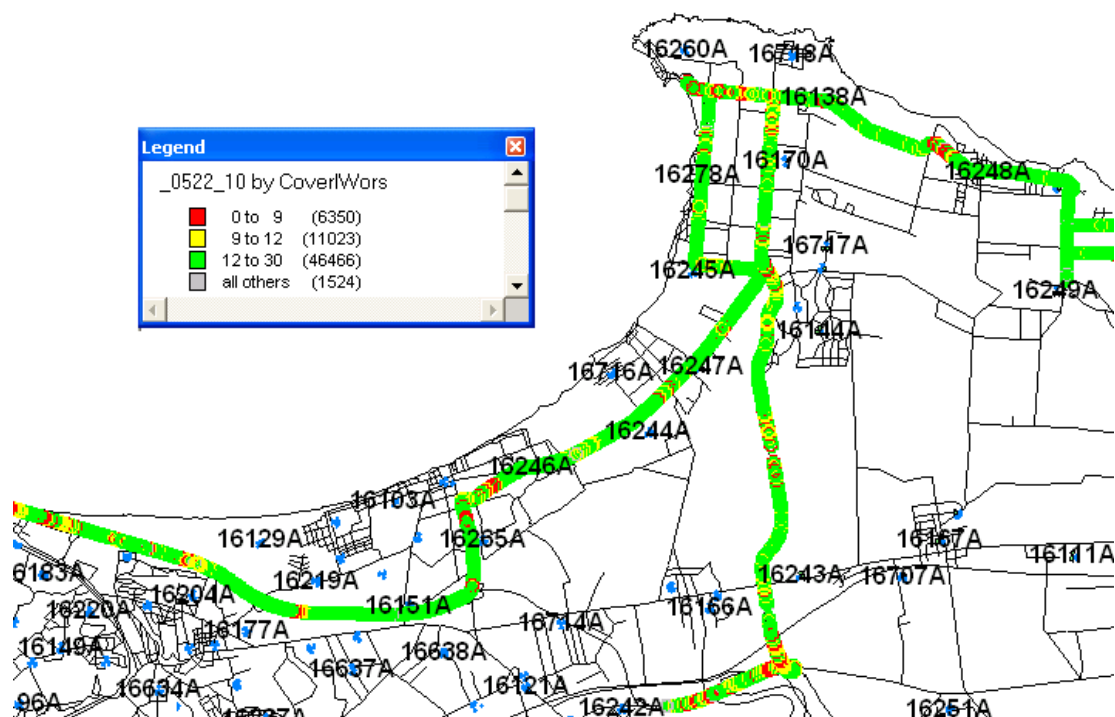


Fig. 3.8 : Mesure des interférences entre TCH.

- Pour le BCCH, le code de couleur est donné dans le tableau 3.5 :

Couleur	Plages de valeurs	Interprétation
Rouge	0 jusqu'à 9.	Forte interférence
Jaune	9 jusqu'à 12.	Interférence moyenne
Vert	12 jusqu'à 30.	Faible interférence
Gris	Autres valeurs.	Autre

Tableau.3.5 : code de couleurs pour les interférences entre BCCH.

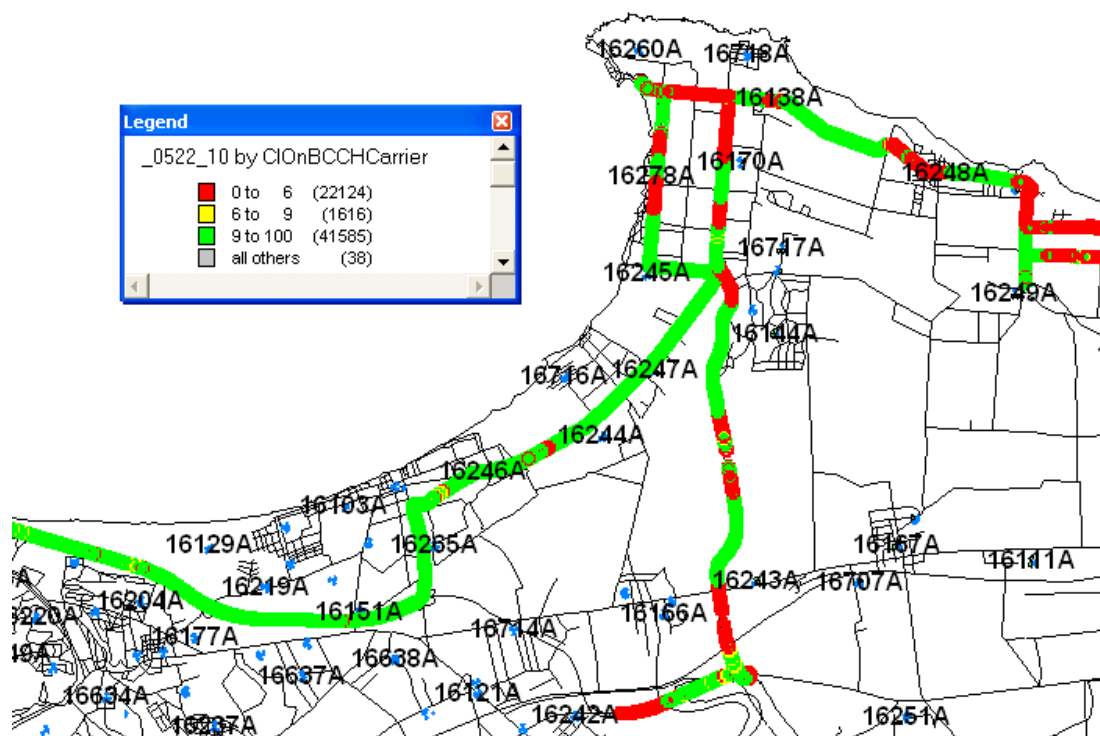


Fig. 3.9 : Mesure des interférences entre BCCH.

III.3.5. La qualité de la parole (Speech Quality : SQI): Le TEMS contrôle aussi la qualité de la parole lors d'un appel, le logiciel classe la qualité de la parole selon le code de couleur donné par le tableau 3.6 :

Couleur	Plages de valeurs	Qualité de la parole
Rouge	0 jusqu'à 16.	Mauvaise
Jaune	16 jusqu'à 22.	Moyenne
Vert	22 jusqu'à 32.	Bonne
Gris	Autres valeurs.	Autre

Tableau 3.6 : code de couleur pour la qualité de la parole.

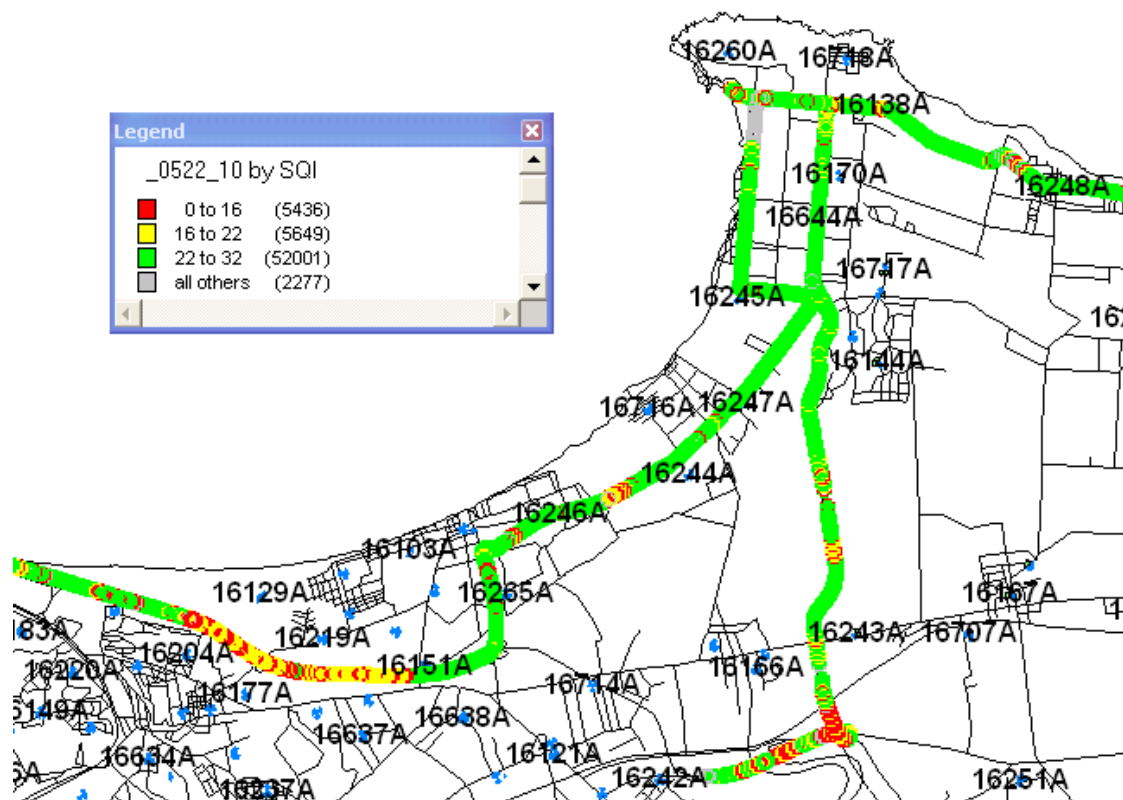


Fig.3.10 : Control de la Qualité de la Parole.

III.4. La densification :

Le Drive Test est une opération répétitive, les cellules sont analysées de façon itérative dans le but de contrôler l'augmentation du nombre d'abonnés. Afin d'éviter les congestions et satisfaire la demande de ses abonnés, l'opérateur doit procéder à des modifications dans son réseau. Plusieurs techniques de densifications peuvent être mises en œuvre, les plus utilisées sont :

III.4.1. Augmentation des ressources radio :

C'est la technique la plus immédiate et la plus rapide, elle consiste à ajouter des canaux de trafic aux cellules congestionnées, cela revient à ajouter des modules émetteur/récepteur au niveau des BTS.

Chaque secteur peut être équipé au maximum de 4TRX dans une bande, dans le cas où le nombre limite de TRX dans un secteur est atteint, l'opérateur peut ajouter des canaux dans la bande des 1800 MHz, c'est-à-dire dans un secteur, il peut y avoir : 4TRX GSM900 et 4TRX DCS 1800, soit au total 8TRX.

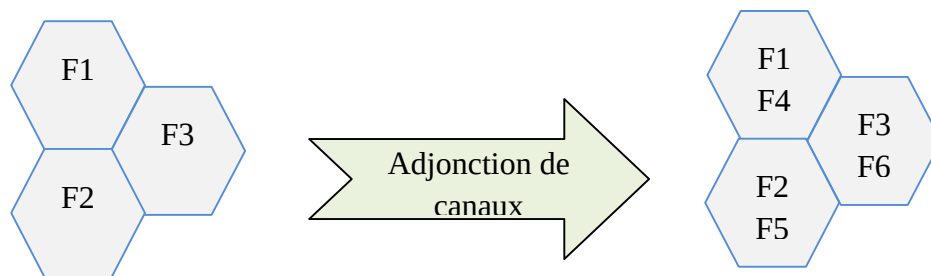


Fig.3.11 : Adjonction de Canaux.

III.4.2. Modification du plan de fréquences.

La modification du plan de fréquence PDF a pour but de réduire les interférences, en effet, lorsque les interférences augmentent, c'est-à-dire le rapport C/I diminue, il arrive que les appels se coupent, ce phénomène est connu sous le nom « *Drop Call* ». Pour remédier à ce problème, le changement du plan de fréquences est nécessaire, cette opération se fait au niveau de la BSC, son principe est de redistribuer les fréquences sur différents sites, et ainsi éviter au maximum la réutilisation des fréquences adjacentes dans une même cellule, et aussi éviter d'utiliser une même fréquence dans des cellules limitrophes.

III.4.3. Modification des motifs cellulaires.

Lorsque la demande en trafic augmente et que les techniques précédentes ne permettent pas d'augmenter la capacité du réseau, il est nécessaire de procéder à la réduction des tailles des motifs.

La distance de réutilisation des fréquences est donnée par : $D = R \sqrt{3N}$ (3.8), où R est le rayon de la cellule, et N est le nombre de cellules par motif. On constate que lorsque D diminue, N diminue. Les fréquences peuvent être réutilisées dans des cellules plus proches, cela permettra d'augmenter le nombre de canaux de trafic par cellule.

Lorsque le nombre de canaux par cellule augmente, cette cellule peut écouler un trafic plus important, mais plus on réduit la distance de réutilisation D , plus les interférences sont importantes, d'où la nécessité de trouver un compromis.

III.4.4. 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.

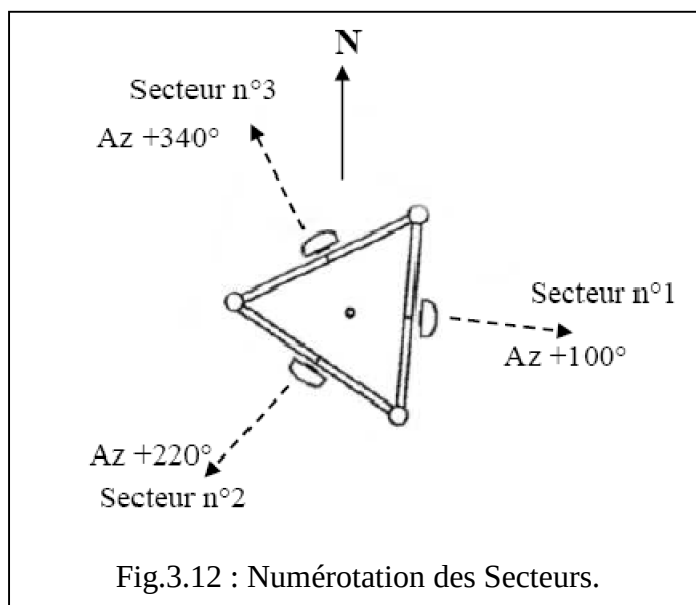
L'avantage de la sectorisation est d'augmenter le nombre de cellules sans pour autant augmenter le nombre des stations de base BTS. Il existe plusieurs configurations pour les secteurs, les plus courantes sont :

- 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, soit une antenne omnidirectionnelle ou bien une antenne directionnelle orientée dans un azimuth donné. Ces types de sites sont rarement utilisés, ils sont déployés généralement dans des petites zones fermées telles que les centres commerciaux, les gares...etc.
- Site bisectorisé : Un site bisectorisé est un site GSM qui possède deux secteurs, et donc deux cellules distinctes. Le site peut comporter au moins deux antennes directionnelles et jusqu'à quatre si la diversité spatiale est utilisée. Ce type de configuration est utilisé pour couvrir des zones où seuls deux secteurs sont utiles, telle que les autoroutes.
- Site trisectorisé : La majorité des sites GSM sont trisectorisés, ils sont constitués de trois secteurs avec des antennes directionnelles placées dans un relais GSM qui se trouve au centre de la cellule, les trois antennes sont pointées dans des azimuths de telle façon à couvrir 360° .

Les secteurs de chaque site sont numérotés. Chaque opérateur utilise une numérotation différente. Le premier secteur est le celui qui correspond à l'azimut le moins élevé, c'est-à-dire, c'est le secteur dont l'azimut est le plus proche du Nord dans le sens horaire.

La figure 3.6 donne un exemple de site trisectorisé avec les numérotations et les azimuts établis :

- 1^{er} secteur : azimut $+100^\circ$
- 2^{ème} secteur : azimut $+220^\circ$
- 3^{ème} secteur : azimut $+340^\circ$.



Dans le cas où les opérations de densification ne permettent pas d'améliorer la qualité du signal, et que la zone est toujours saturée par les communications, l'opérateur doit alors déployer un nouveau site pour régler définitivement le problème de congestion.

III.5. Etapes de déploiement d'un nouveau site :

La procédure ou mode opératoire se décompose des étapes suivantes :

III.5.1. Création d'un point nominal :

C'est une représentation sur une carte géographique des cellules modélisée par un hexagone, elle consiste à choisir les coordonnées GPS (latitude et longitude théoriques) du nouveau site. Le plan nominal choisit est l'emplacement idéal pour installer le nouveau site. Cette représentation est réalisée avec des logiciels (*Google Earth* ou *MAP Info*) utilisant des cartes géographiques conventionnelles où sont mentionnés tous les sites GSM existant dans la région. Ce point n'est qu'un choix théorique de l'emplacement, il ne tient pas compte de l'environnement de la région ni de la disponibilité de la zone.

III.5.2. Le Site survey :

Le site survey est la première visite sur le terrain de l'ingénieur radio. Après avoir créé un point nominal (coordonnées GPS théoriques), l'ingénieur doit se rendre sur les lieux du point pour vérifier la possibilité d'installer un site dans l'endroit choisit, l'ingénieur doit éviter les zones inaccessible (zones militaires, lac, tarmac d'un aéroport,...etc.). Les informations relevées au cours de cette visite sont mentionnées sur un document de référence qui s'appelle « **SA1** » (*Site Acquisition1*).

Nom du site:	xxx	Code Site:	15102
Ville:	xxx	Wilaya:	TIZI OUZOU
Coordonnées et Configuration			
Longitude:	4,03944	Band de BTS:	900
Latitude:	36,7136	Configuration BTS:	S444
	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3
Azimet (°):	60	180	300
E & M Inclinaison (°):	0	0	0
Hauteur d'antenne (m):	20	20	20

Tableau.3.7 : Exemple d'une configuration initial d'une BTS.

- Le code du site, tous les sites sont numérotés, l'opérateur MOBILIS utilise des codes de cinq chiffres :

Exemple : 15102 : $\left\{ \begin{array}{l} 15 : \text{le code de la Wilaya, ici Tizi-Ouzou.} \\ 102 : \text{c'est le numéro du site.} \end{array} \right.$

- Secteur1 : 15102A.
- Secteur2 :15102B.
- Secteur3 :15102C.
- La zone de recherche : c'est le rayon de recherche d'un autre emplacement autour du point nominal. Le rayon de recherche diffère selon les zones, il peut aller jusqu'à 100m pour les zones rurales et il est au maximum de 70m pour les zones urbaines.
- Le nombre de secteurs.
- Les azimuts des antennes.

- Le nombre d'antennes.
- Bande de fréquences : la bande de fréquences utilisée dans les zones rurales est la bande des 900 MHz, pour les zones urbaines les deux bandes 900 et 1800MHz sont utilisées.
- Configuration de la BTS : c'est-à-dire le nombre de modules TRX à utiliser pour chaque secteur, à noter que chaque TRX correspond à une fréquence porteuse.
Exemple : configuration: **S444** : c'est-à-dire trois secteurs avec 4 TRX chacun.

III.5.3. Simulation de couverture sur logiciel :

Il existe plusieurs logiciels de simulation, ce sont des outils de planifications très sophistiqués destinés aux professionnels. Les opérateurs achètent les licences auprès des compagnies qui développent ces logiciels, ils constituent pour cette raison un savoir faire confidentiel.

L'opérateur MOBILIS utilise le logiciel *Atoll de la société Forsk*, il permet de tracer le diagramme de rayonnement des antennes sur une carte géographique de la zone à couvrir, ce diagramme est en fonction de plusieurs paramètres qui peuvent être ajuster jusqu'à atteindre les objectifs souhaités.

III.5.4. visite d'identification et de repérage : en se basant sur la SA1, le négociateur se rend sur le terrain afin d'identifier les candidats potentiels répondant le mieux aux objectifs de couverture. Les endroits sont choisis selon beaucoup de critères entre autres :

- Dégagement radio : il faut que l'emplacement du site soit le plus haut possible et domine la région.
- Raccordement énergie électrique : les relais doivent être alimentés en électricité, pour cela, la distance entre le candidat et le premier transformateur électrique doit être la plus petite possible.
- Aspect esthétique : il est intéressant de choisir des endroits où les antennes GSM ne vont pas altérer l'architecture du bâtiment. Sous d'autres cieux, les opérateurs utilisent des techniques de camouflages pour dissimuler et intégrer les antennes dans le décor architectural des bâtiments.

Pour chaque candidat potentiel, le négociateur doit noter un certain nombre d'informations qui seront mentionnées dans un rapport d'identification appelé **SA2** (*Site Acquisition 2*).

Le format du rapport SA2 comprend les informations suivantes :

- Informations générales sur le site et sur le candidat (nom, adresse, coordonnées)
- Code du site ainsi que ses coordonnées GPS théoriques (*longitude, latitude et altitude*).
- Repérage du nord et prise panoramique de photos en indiquant avec des flèches tous les sites des cellules voisines avec leurs codes ainsi que les sites des autres opérateurs.
- Identification des obstacles et report sur le diagramme.

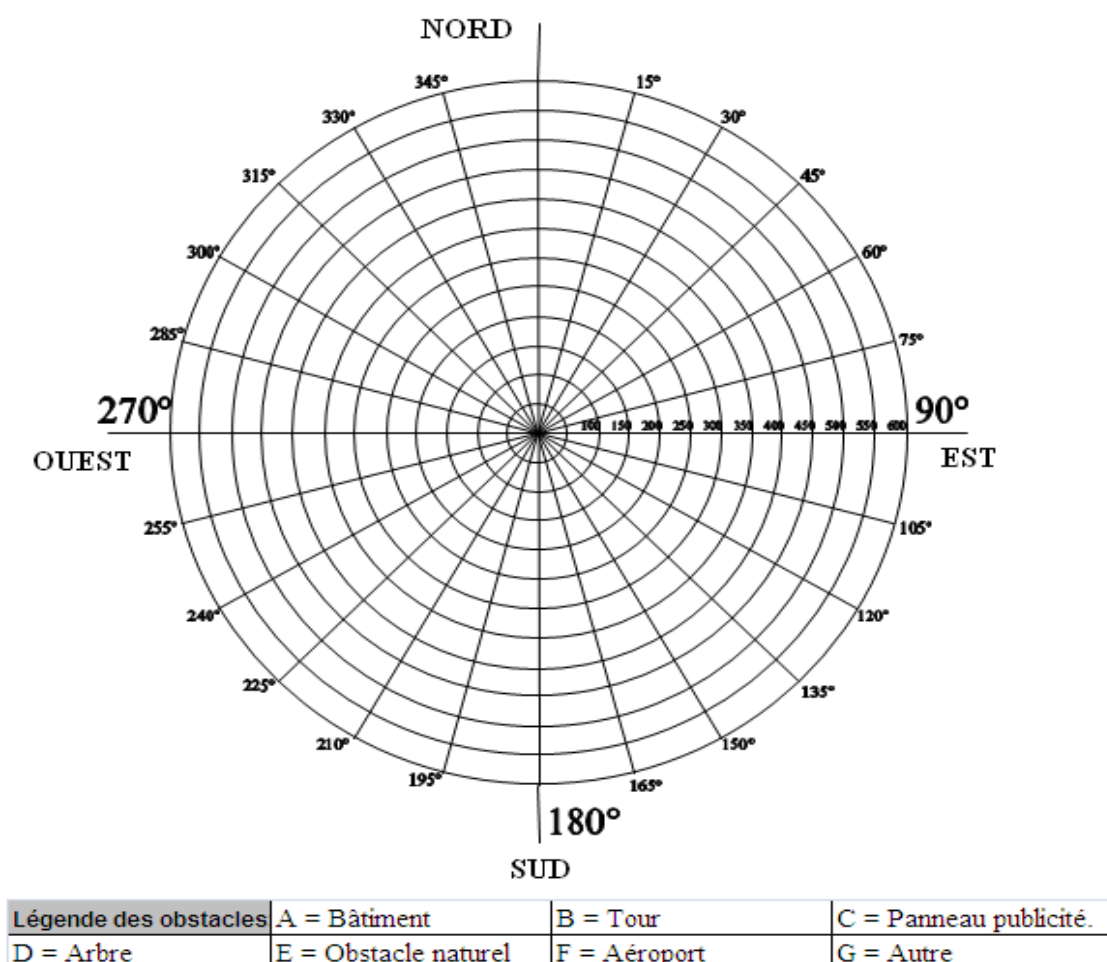


Fig. 3.13 : Diagramme des Obstacles.

- Croquis sommaire de la terrasse, avec comme indications : la direction nord, l'emplacement prévu pour les antennes et pour le SHELTER, les installations présentes (notamment les paraboles, qui seront par la suite déplacées pour éviter les interférences).

Le rapport d'identification SA2 sera évolué et validé, l'étape suivante est la visite technique du candidat retenu par l'opérateur.

III.5.5. Visite technique du site : Cette visite s'appelle aussi « *le DRAFT* », elle a pour but de valider la faisabilité technique du candidat retenu, elle permet à l'ingénieur génie civil d'étudier la possibilité d'installer les équipements techniques selon les choix de l'ingénierie radio.

A l'issue de cette visite, un rapport d'acquisition appelé **SA3** (*Site Acquisition 3*) sera rédigé. Ce rapport devra être validé par les trois parties (Radio, Transmission, Génie Civil).

Le rapport SA3 comprend entre autre:

- Les informations générales concernant le site et le candidat (nom, code, adresse, coordonnées...etc.).
- Informations sur la configuration radio de la BTS : nombre de secteurs, types antennes, les tilts, les azimuts, les câbles de liaison, nécessité d'un parafoudre.

Configuration Radio			
Type de BTS:	RBS 2216	Configuration BTS:	4+4+4
	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3
Azimut:	90°	180°	310°
Nombre d'antennes:	1	1	1
HBA toit:	/	/	/
HBA sol:	30	30	30
Type d'antenne:	K 739623	K 739623	K 739623
TMA:	Non	Non	Non
Tilt électrique:	0°	0°	0°
Tilt mécanique:	2°	2°	2°
Longueur feeder:	35x2	35x2	35x2
Diamètre feeder:	7/8"	7/8"	7/8"

Tableau.3.8 : Exemple de Configuration Radio d'une BTS.

Le rapport technique devra aussi comprendre des informations concernant tous les sites hubs existant dans la région.

III.5.6. Travaux Génie Civil :

Une fois ce formulaire SA3 validé, un dernier formulaire de contrat appelé **SA4** (*Site Acquisition*⁴) est rédigé.

Les travaux génie civil peuvent à présent commencer, l'aménagement et la construction comprend:

- Le terrassement.
- La construction des fondations et plateformes.
- L'aménagement des pylônes ou des mâts.
- La construction d'une cloison.
- Le raccordement au réseau de distribution de l'énergie électrique et installation de la mise à terre.
- L'installation des groupes électrogènes.

III.5.7. Installation des équipements :

Une fois le site est aménagé, c'est à présent le tour de l'équipementier pour installer les équipements techniques du site, les équipements nécessaires pour le fonctionnement d'un site GSM sont :

1. Le pylône (ou mat) : C'est un support métallique qui peut atteindre une centaine de mètre, tout le système d'antenne, les amplificateurs et le parafoudre sont supportés par celui-ci.
2. Le système d'antennes : elles sont utilisées pour générer des ondes radioélectriques. Dans les relais GSM, l'équipementier doit installer les antennes FH et celles pour la transmission entre BTS et les MS.
3. L'unité radio : c'est un ensemble émetteur/récepteur placé en juxtaposition avec la parabole du FH, son rôle est de traiter le signal venant ou sortant des antennes FH (modulation et l'amplification en émission, démodulation et conversion analogique/numérique en réception). L'unité radio permet de multiplexer les canaux radio plein débit (13kbits/s) sur une liaison MIC à 2Mbits/s et l'acheminer vers l'RBS à travers des câbles.

4. Le parafoudre : C'est un tube métallique placé tout en haut du pylône, il est utilisé pour absorber l'énergie des foudres et ainsi protéger les équipements électroniques du site.
5. Les amplificateurs TMA (*Tower Mounted Amplifier*) : ces amplificateurs sont placés à côté des antennes, leur rôle est d'amplifier le signal reçu par l'antenne, ils sont composés de deux filtres pour séparer les voies montantes et les voies descendantes. Le signal reçu est amplifié puis envoyé vers la station radio à travers des câbles à faibles pertes.
6. Le système d'alimentation : L'alimentation de tous les équipements se fait par une tension continue, obtenue après transformation de la tension du réseau électrique 220v/50Hz. Le système d'alimentation est doté d'un dispositif de secours en cas de coupure ou de chute de tension.
7. La station de base radio (*Radio Base Station : RBS*) : C'est une grande armoire métallique, Parfaitement blindée, hermétique, et climatisée pour conserver une température de fonctionnement constante, elle contient plusieurs emplacements pour des cartes électroniques. Le réseau GSM MOBILIS est équipé par la société *ERICSSON*, cette dernière possède plusieurs familles de RBS, toutes ces station radio sont conçues conformément au schéma synoptique suivant :

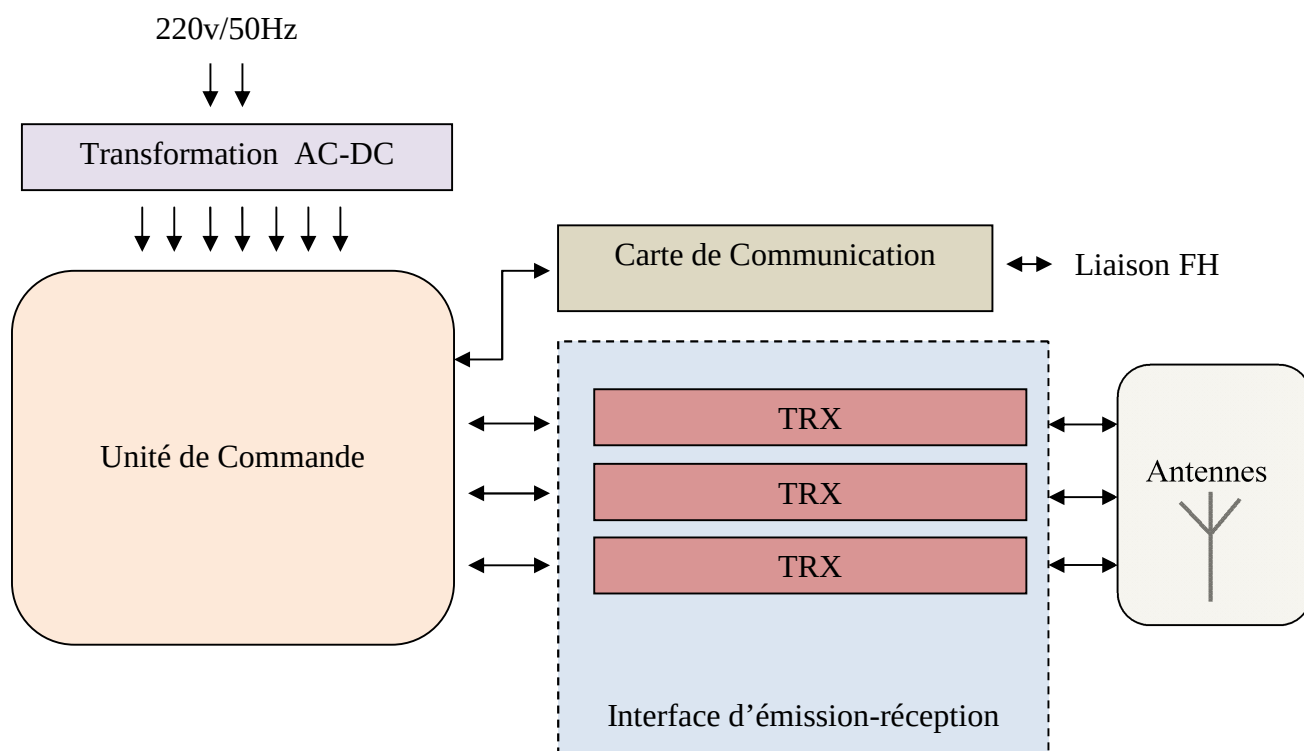


Fig.3.14. Schéma Synoptique d'une RBS.

- L'alimentation : la tension 220v/50Hz est convertit en +24 volt DC.
- L'unité de commande : C'est le cerveau de la BTS, elle gère tout le fonctionnement de la station radio. Elle génère les fréquences porteuses, commande les niveaux de puissance des amplificateurs, fournit les signaux aux TRX, et ceci pour tous les secteurs.
- La carte de communication : c'est l'intermédiaire entre l'unité de commande de la BTS et le dispositif de transmission FH.
- Interface d'émission/réception : Chaque secteur a sa propre interface d'émission-réception, cette interface gère le signal radio, elle est composée de TRX et d'éléments de couplage, ces derniers permettent d'associer ou de dissocier des signaux en provenance ou à destination des antennes :
 - Le TRX : c'est un module émetteur/récepteur, il émet vers l'antenne via le signal TX et reçoit depuis l'antenne avec le signal RX. Ces TRX définissent la capacité en nombre de communication d'un site puisque chacun d'entre eux correspond à une fréquence porteuse.
 - Les éléments de couplage : ils permettent de mélanger ou de diviser plusieurs signaux, afin d'utiliser une seule antenne pour plusieurs TRX, ou bien diffuser le signal d'un seul TRX à travers plusieurs antennes dans le cas de la diversité spatiale.

Pour relier tous ces éléments, les câbles de transmission (*Feeders* en anglais) utilisés sont : les paires de cuivre, les câbles coaxiaux ou les fibres optiques. Les supports les plus utilisés sont les câbles coaxiaux, ils ont très souvent un diamètre de 2,2 cm et apportent une atténuation d'environ 2dB pour 100 mètres. Ces câbles sont blindés et parfaitement isolés, de manière à n'introduire aucun parasite entre l'antenne et l'RBS.

III.5.8. Intégration et mise en service de la BTS :

Une fois tous les équipements installés, c'est au tour de l'intégration du site. Cette opération se fait au niveau de la BSC à laquelle est reliée la BTS. C'est-à-dire, charger dans la BSC un programme Software et l'envoyer vers l'RBS à travers l'interface Abis.

Après l'installation de la BTS, les ingénieurs radio doivent rédiger un rapport qui englobe tout les paramètres caractérisant le nouveau site, ce document est appelé : le CDD (*Cell Design Data*), c'est un fichier Excel d'extension « .xls ». Ce document contient 158 paramètres, entre autres :

- NW : c'est un paramètre indiquant la technologie de commutation utilisée, le réseau GSM MOBILIS utilise la technologie AXE dans sa version la plus récente l'AXE810.
- Les codes de la BSC et de la MSC auquel la BTS est reliée.
- Le nom du site, ses coordonnées GPS et son code (pour chacun des secteurs).
- Paramètres liés à la puissance de la BTS, exemple : "bspwr" et "bspwr", ils donnent les niveaux de puissances émises par la BTS en dBm.
- Paramètres liés aux puissances (en dBm) minimales et maximales des MS admises par la BTS, exemple : Accmin, Mstxpwr.
- Paramètres liés au Handover, exemple : lho, Maxiho.
- Paramètres liés au Saut de Fréquence (*Frequency Hopping*), exemple : hsn qui définit la séquence utilisé dans le saut de fréquence.
- Paramètres concernant les sites voisins (*NEIGHBOURS* en anglais).
- Paramètres concernant la transmission FH ou MIC vers les sites voisins.

Le rapport CDD est ensuite convertit en un fichier nommé le CNA (*Cell Network Administration*), ce fichier résultant est un ensemble de commande (programme) traduisant chacun des paramètres du CDD en des commandes spéciales.

Le programme principale d'intégration est fournit par ERICSSON, c'est un ensemble de commandes uniquement compatibles avec la technologie AXE. L'intégration d'une BTS est subdivisée en plusieurs étapes correspondant à des ensembles de commandes, l'intégration se fait conformément à l'organigramme suivant :

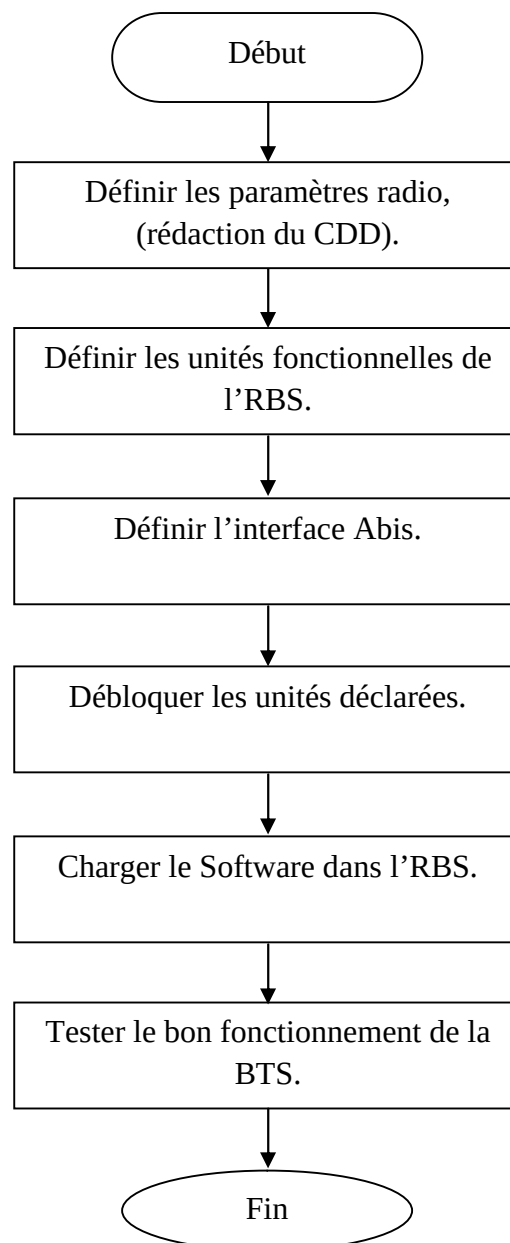


Fig.3.15 : Organigramme d'intégration d'une BTS.

- Après la rédaction et la conversion du CDD en un document CNA, on ajoute les commandes de ce dernier au programme principal. On aboutit alors au programme d'intégration.
- Les unités fonctionnelles de l'RBS sont dites les objets contrôlés (*Managed Object*, *MO*), c'est une représentation logique des éléments matérielles et logiciels de l'RBS

dans la BSC. Définir les MO's revient donc à décrire les paramètres de chaque module de l'RBS dans la BSC.

- Définir l'interface Abis : chaque BTS est connue dans la BSC par une adresse, la vérification de l'interface Abis revient à définir l'adresse de la BTS (exemple 112), cette étape a pour but d'éviter d'éventuels chevauchements des informations venant de différente BTS liées à la même BSC.
- Débloque les MO's : c'est préparer les modules de l'RBS à recevoir les programmes chargés à partir de la BSC.
- Charger le Software dans l'RBS, le Software d'intégration sera chargé via le logiciel *WinFiol*, il sera sauvegardé dans le disque dur du DXU.
- Après la mise en service, des tests sont effectués pour vérifier le bon fonctionnement de la BTS. Il est nécessaire de vérifier chaque time slot dans chaque TRX de la BTS. Les appels sont effectués à l'aide d'un TEMS et doivent être exécutés à une distance d'au moins 50m de la BTS. Plusieurs tests sont réalisés :
 - Effectuer des appels pour vérifier la diversité des antennes (si elle est utilisée).
 - Effectuer un appel depuis le réseau fixe vers un TEMS se trouvant dans la cellule.
 - Vérifier les handovers : inter secteur, inter cellule, inter BSC.
 - Effectuer un appel avec saut de fréquence.

Le logiciel utilisé pour le chargement du programme est le **WinFiol**, c'est une interface de communication conçue pour l'installation et l'entretien des équipements de la technologie AXE. Il possède un éditeur partagé en deux parties : une pour l'entrée des commandes d'installation, l'autre pour la traduction des commandes, c'est-à-dire si on saisit une commande sur cette dernière, le logiciel affiche les paramètres que traduit cette commande.

Nota Bene : le programme principal d'intégration a pour but de mettre en service la BTS, il existe toutefois un programme de mise hors service de la BTS, c'est-à-dire charger dans la BSC un Software et l'envoyer vers l'RBS pour déconnecter la BTS du réseau.

III.6. Conclusion :

Le processus de planification d'un système cellulaire est l'une des tâches les plus importantes pour un opérateur. Il est basé sur les caractéristiques de l'environnement à couvrir et celles des abonnés à desservir, il est souvent répétitif (sans fin) tout au long de la vie de réseau.

L'augmentation de la charge de trafic avec la croissance de nombre d'abonnés, nécessite la densification du réseau, en utilisant les techniques de densifications citées précédemment.

Le processus de planification s'appuie sur des outils et des logiciels de planification qui permettent aux ingénieurs d'aboutir à des résultats performants, afin de dimensionner le réseau et éviter la saturation de réseau dans le futur proche.

IV.1. Situation de la zone étudiée :

Dans le cadre de notre stage effectué chez l'opérateur ATM MOBILIS, nous avons mené notre étude sur le déploiement d'un nouveau site GSM. Le site auquel nous allons nous intéresser se situe sur la périphérie de la ville de Tizi-Ouzou dans le lieu dit : Zone des Dépôt qui est à l'ouest de la ville. La situation de la zone est donnée par logiciel *Google Earth*, les coordonnées théoriques du site sont les suivantes : E04°022362 N36°719677.

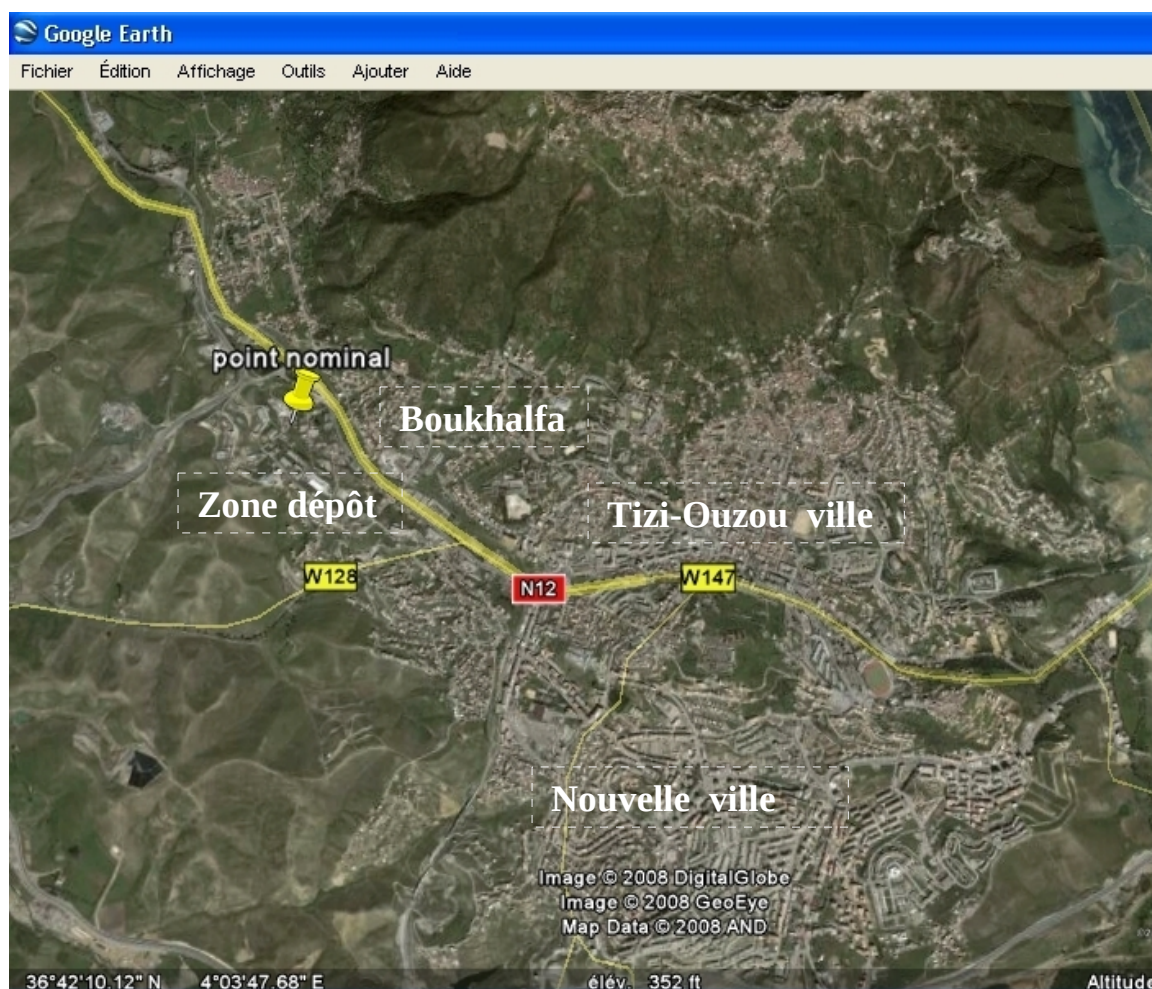


Fig.4.1 : Situation de la Zone Avec le Logiciel Google Earth.

La décision de déployer un nouveau site dans cette zone a été prise après avoir fait un Drive Test dans le centre ville de Tizi-Ouzou et dans ses alentours.

La ville et les environs de Tizi-Ouzou sont couverts par le réseau MOBILIS par 9 stations BTS réparties comme suite : 2 BTS dans le centre ville, 2 BTS dans la nouvelle ville, 1 BTS dans la zone sud-ouest, 1 BTS à Boukhalfa, 2 BTS à l'est de la ville et 1 BTS sur les hauteurs de BELLOUA. La figure 4.2 illustre cette répartition.

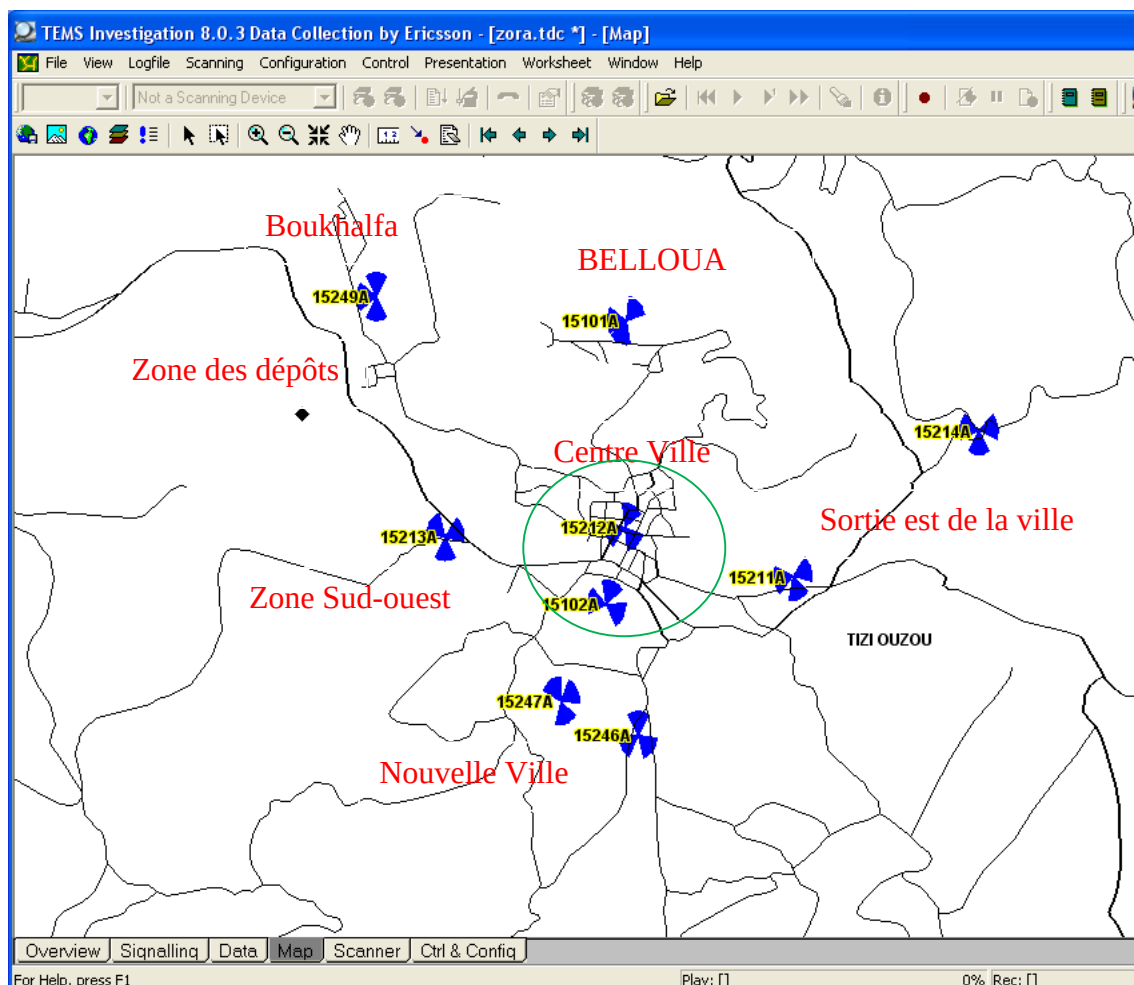


Fig.4.2 : Répartition des Stations BTS à Tizi-Ouzou.

Avant la planification de ce nouveau site, la zone des dépôts était couverte par les BTS suivantes : 15249 de Boukhalfa, 15213 de la zone sud-ouest et celle de BELLOUA 15101 qu'on peut considérer comme une cellule parapluie.

A l'aide du TEMS Pocket, nous avons effectué un Drive Test dans la ville de Tizi-Ouzou et ses environs. Le TEMS investigation est un logiciel d'acquisition de données, ces données seront ensuite analysées avec le logiciel Map Info Professionnel.

Nous avons vérifié les cinq paramètres habituels, le drive test a été effectué sur l'itinéraire donné par la figure 4.3.

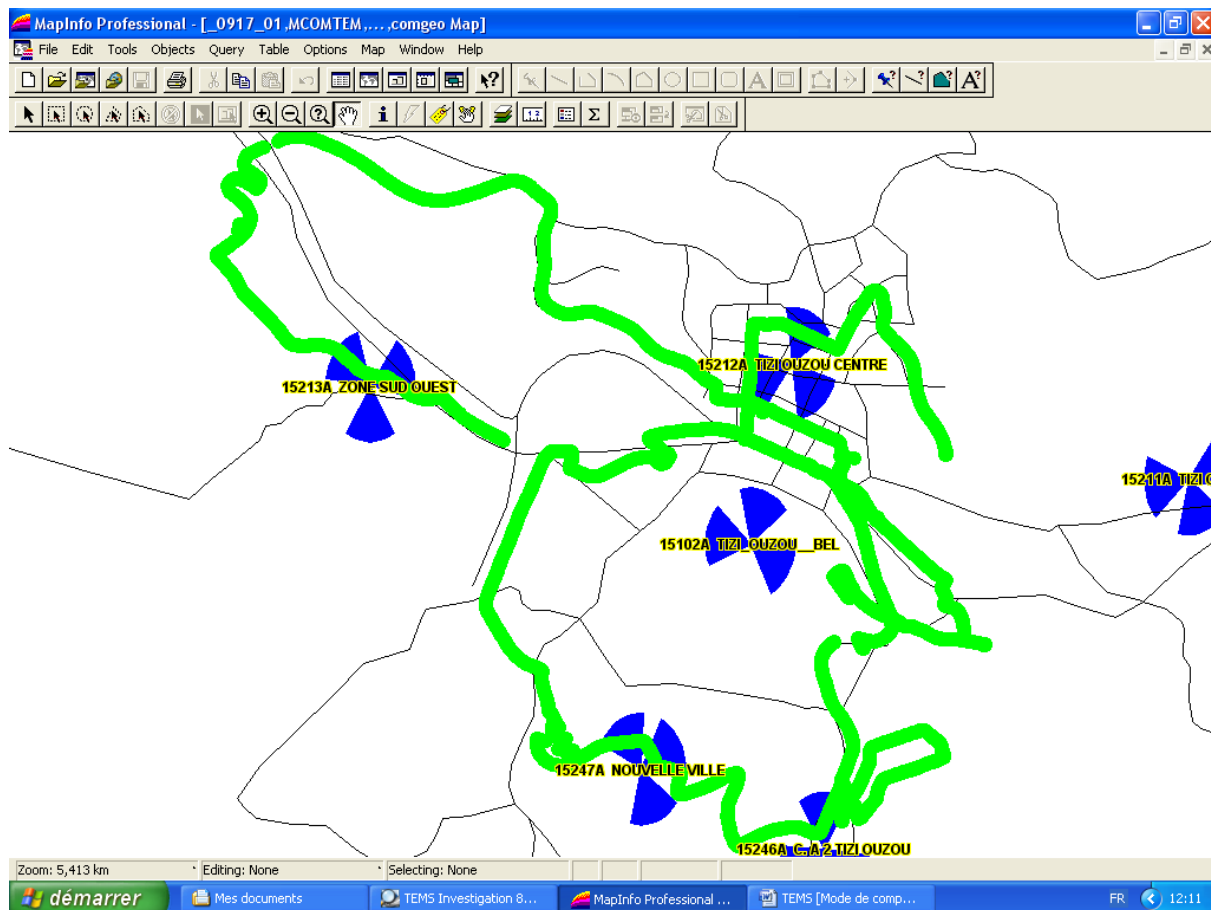


Fig.4.3: le Drive Test.

IV.2. Le Drive Test:

IV.2.1 : Le niveau du signal RxLevel :

Le niveau du signal est mesuré en dBm. Chaque utilisateur (opérateur) définit ses propres valeurs afin d'établir une échelle pour le niveau du signal. Sur la figure 4.4, la couleur vert foncée indique les endroits où le niveau du signal est très bon. La puissance reçue par le mobile dans ces zones est comprise entre -65dBm et 0dBm. En vert sont coloriés les endroits où le niveau du signal est relativement bon, les niveaux des puissances reçues se dégradent en passant du jaune à l'orange jusqu'au rouge. On remarque que dans la ville de Tizi-Ouzou, la couleur rouge est carrément inexistante. Cela signifie que sur tout l'itinéraire que nous avons parcouru, le niveau du signal est relativement bon par endroit.

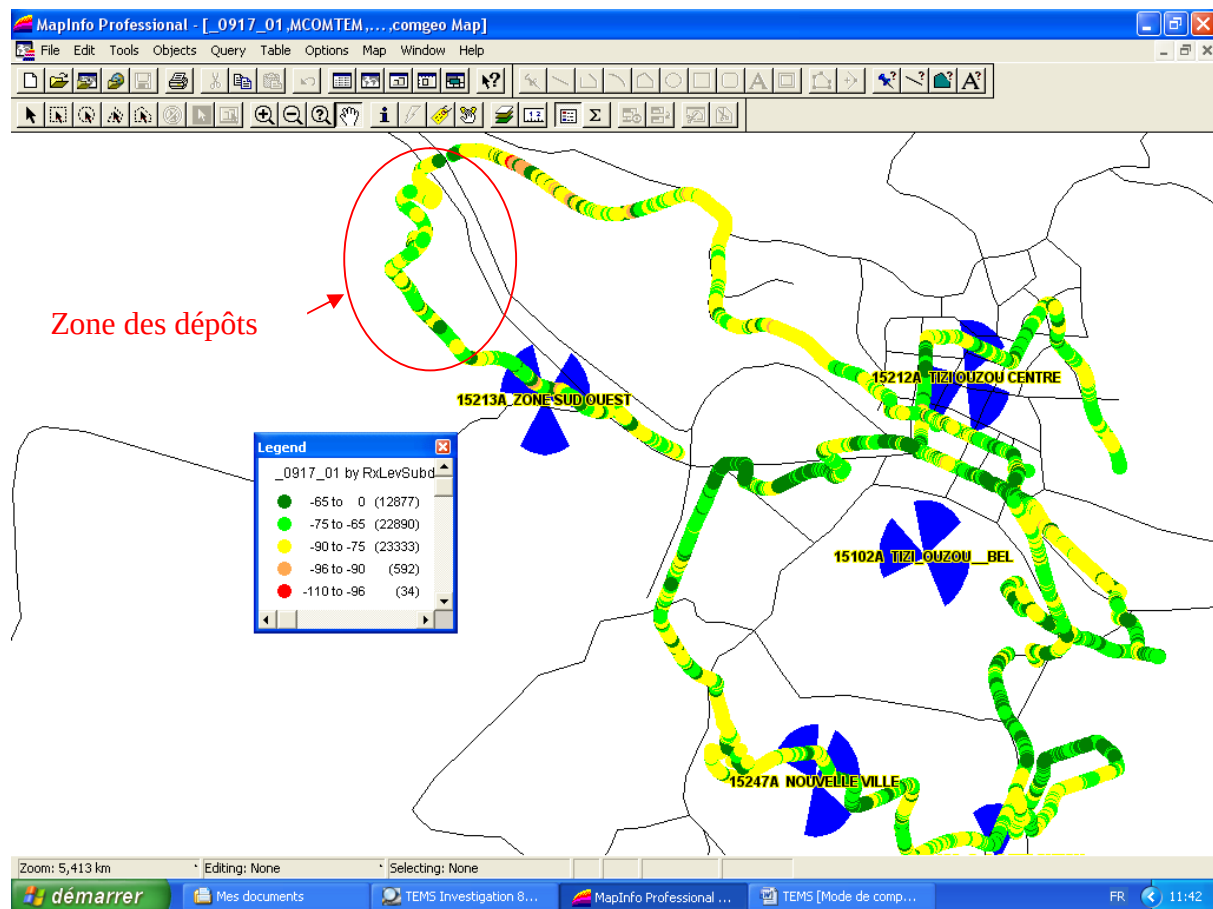


Fig. 4.4. RxLevel.

L'analyse des données par Map Info Professionnel nous a donnée le graphe de la figure 4.5 :

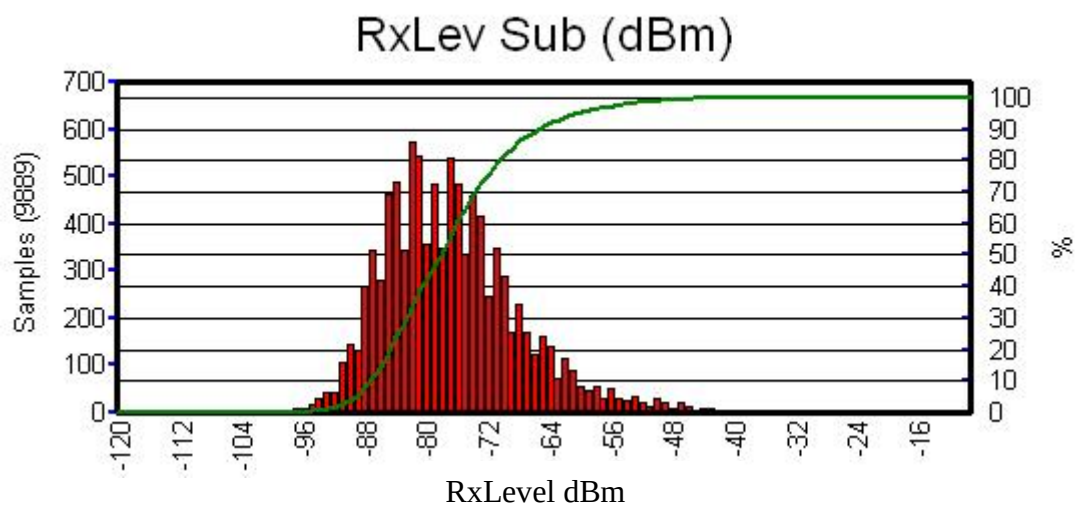


Fig.4.5 : Graphe de RxLevel.

Le graphe de la figure 4.5 montre que : 15% des échantillons ont des valeurs de puissances supérieures ou égales à -65 dBm, c'est donc de très bons signaux. 80% des échantillons pris ont une puissance comprise entre -95 et -65 dBm, ce qui correspond à un bon niveau du signal (couleurs jaune ou verte). 5% des échantillons ont une puissance inférieure à -95 dBm, ce sont les endroits coloriés en rouge ou en orange sur l'itinéraire.

On remarque que dans la zone des dépôts, le niveau RxLevel est bon. Les puissances reçues dans cette zone se situent approximativement entre -90 dBm 0 dBm.

IV.2.2 : la qualité du signal RxQual :

La qualité du signal sur l'itinéraire suivi est donnée par la figure 4.6 :

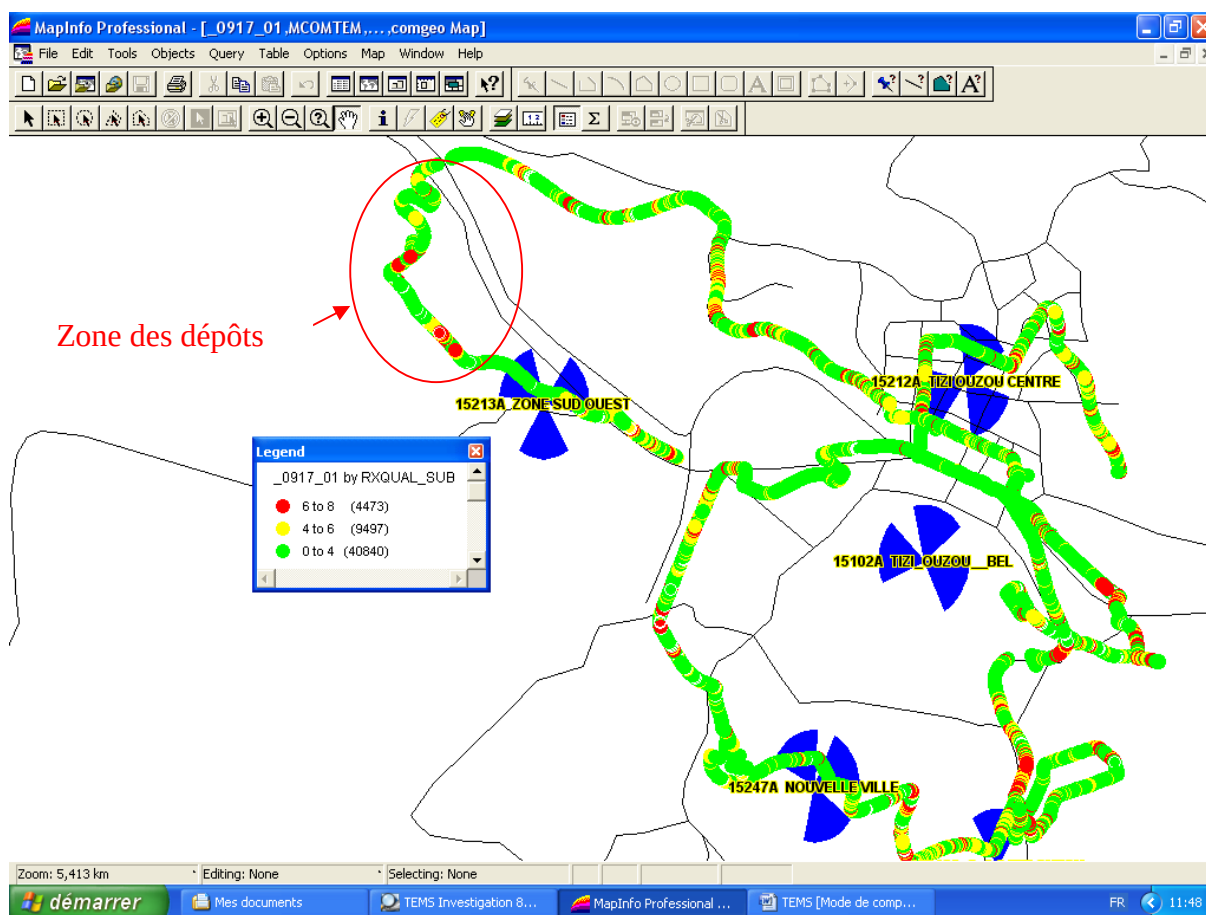


Fig.4.6 : RxQual.

La qualité du signal est divisée en plusieurs niveaux correspondant chacun à une couleur distincte. La couleur verte indique que la qualité du signal est très bonne.

La couleur jaune correspond à un signal de qualité acceptable, alors que le rouge indique les points où la qualité est mauvaise.

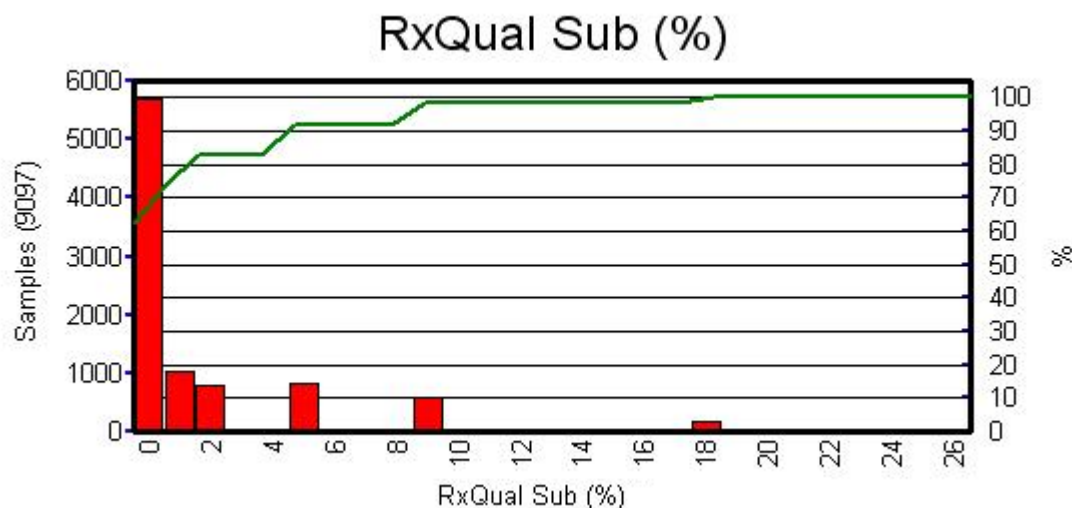


Fig.4.7 : graphe de RxQual.

Sur ce graphe, 85% des échantillons ont une RxQual comprise entre 0 et 4 (couleur verte), ce qui correspond à une très bonne qualité du signal. 5% ont une RxQual comprise entre 4 et 6, c'est une qualité acceptable (couleur jaune). 10% des échantillons ont une RxQual plus grande que 6, c'est un signal de mauvaise qualité (couleur rouge).

On remarque que dans la zone des dépôts, il y a deux endroits distincts où la qualité du signal est très mauvaise.

IV.2.3 : La qualité de la parole (Speech Quality, SQI) :

La qualité de la parole est contrôlée suivant une échelle de 3 niveaux. Sur la figure 4.8, la couleur verte indique les endroits où la qualité est très bonne, en jaune sont colorées les zones où la parole est de qualité acceptable. Alors que le rouge indique les endroits où la qualité de la parole est très mauvaise.

On remarque que dans la ville de Tizi-Ouzou la qualité de la parole est mauvaise dans beaucoup d'endroits, et cela malgré la présence de BTS à proximité.

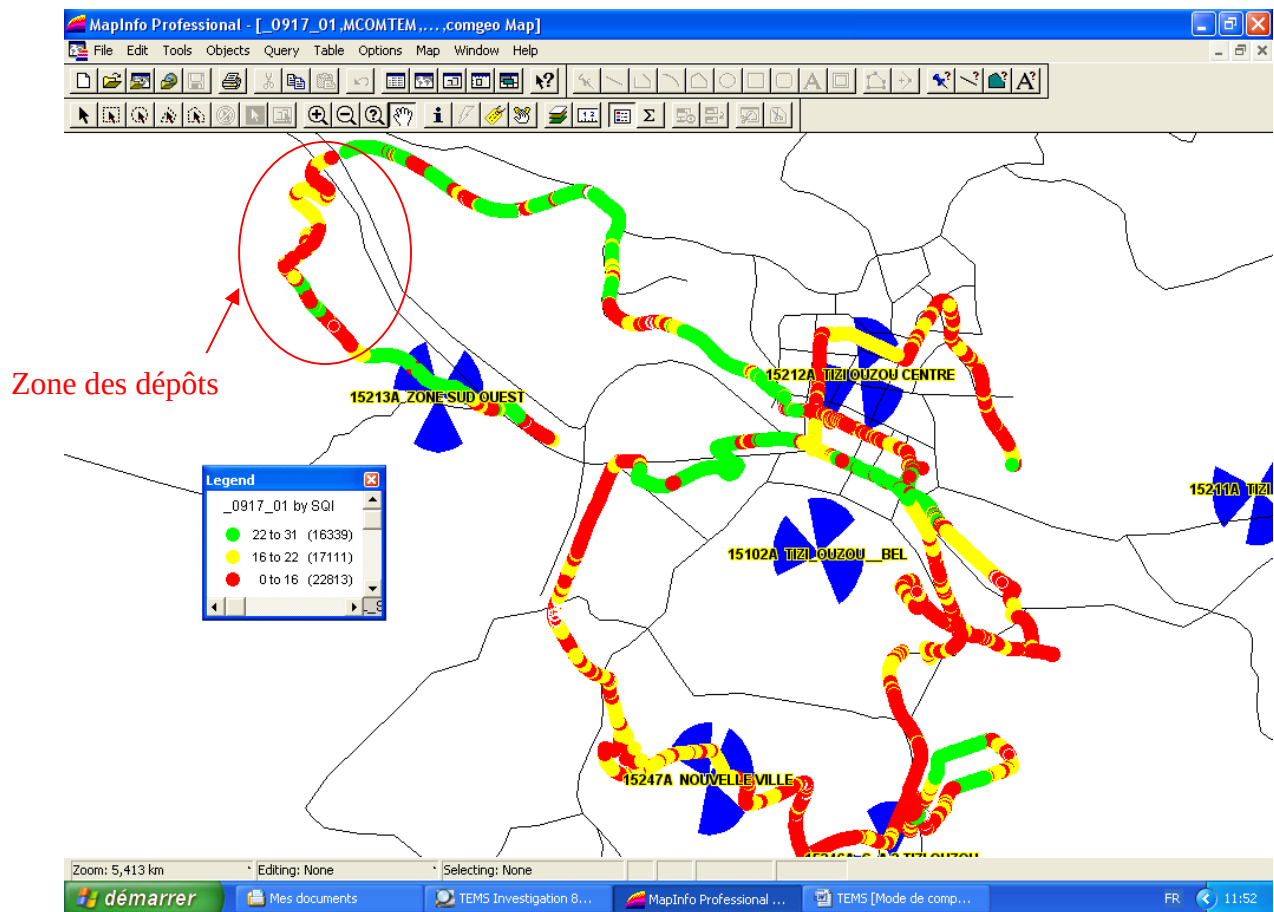


Fig.4.8 : La qualité de la parole, SQL.

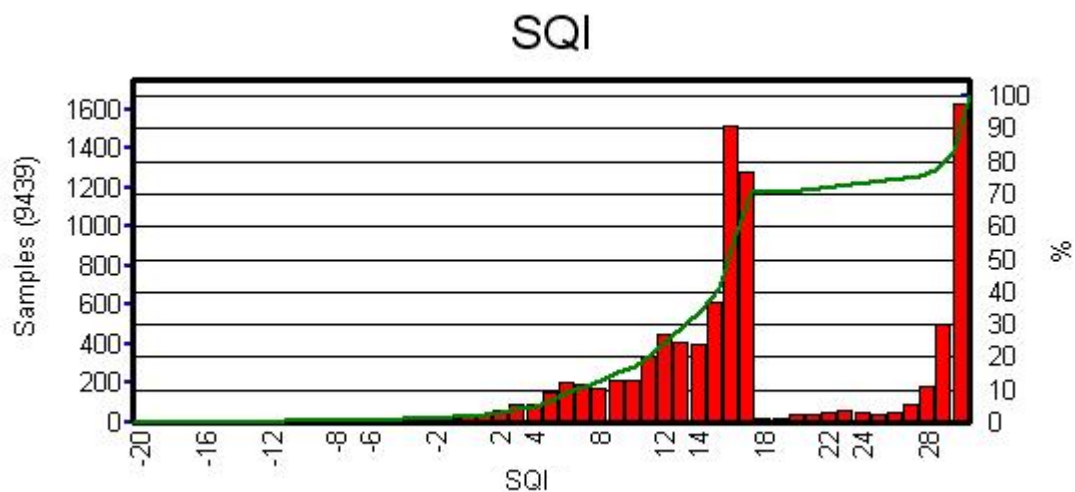


Fig.4.9 : Graphe de SQL.

Sur le graphe de la figure 4.9, seulement 25% des échantillons ont un SQI compris entre 22 et 31, cet intervalle correspond à une bonne qualité de la parole. 25% ont un SQI compris entre 16 et 22, c'est-à-dire que sur les points jaunes de l'itinéraire, la qualité de la parole est acceptable. 50% des endroits sont de couleur rouge, cette couleur correspond aux zones de mauvaise qualité de la parole.

Dans la zone des dépôts, la qualité de la parole est très mauvaise. Cela est dû à la forte densité de trafic que supportent les sites avoisinants.

IV.2.4 : la Timing Advance TA:

Le paramètre TA indique la position du mobile par rapport à la BTS avec laquelle il est connecté.

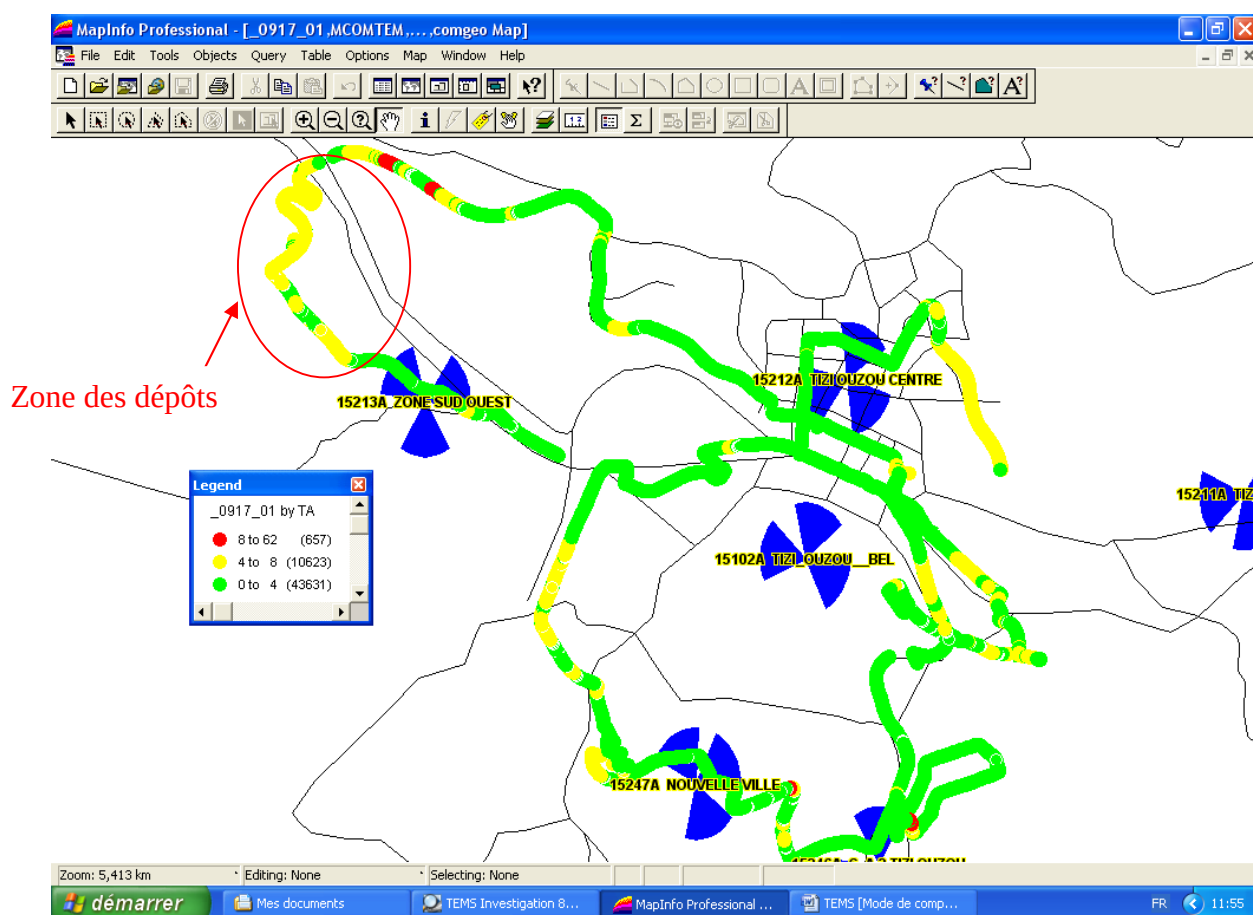


Fig.4.10 : le Timing Advance.

On remarque que dans le centre ville, à coté des stations BTS, le TA est indiqué avec une couleur verte. Le jaune montre les zones où le mobile est connecté avec une BTS relativement loin. Les zones rouges indiquent les endroits où le mobile est connecté avec une BTS se trouvant à une grande distance de celui-ci.

Dans la zone des dépôts, la couleur dominante est le vert, cela signifie que le mobile est connecté avec une BTS se trouvant à une distance comprise entre 3 et 5Km.

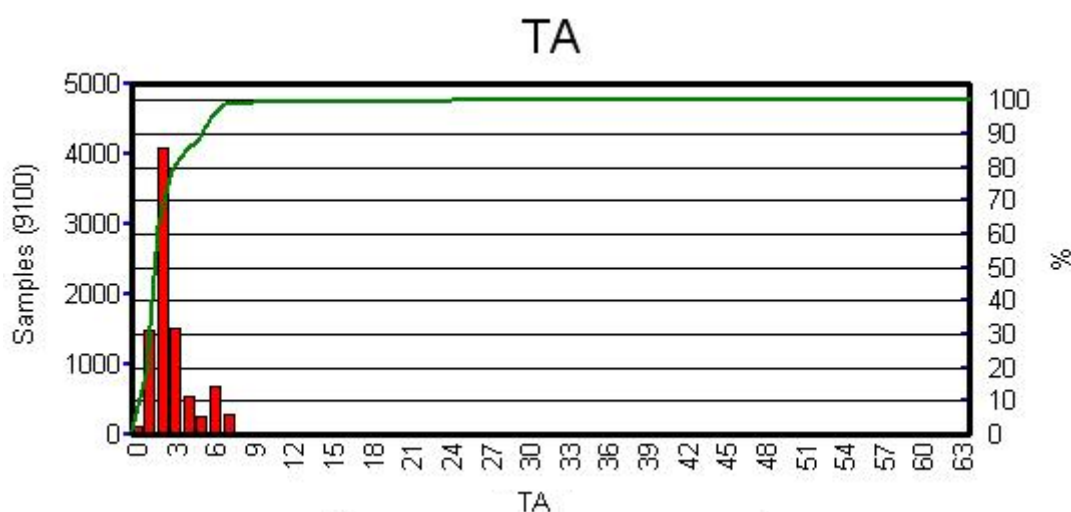


Fig.4.11 : Graphe de TA.

Sur le graphe de la figure 4.11, 80% des échantillons ont un TA compris entre 0 et 4 ce qui correspond à une distance MS-BTS inférieure à 3 KM. 15% ont un TA compris entre 4 et 8, donc la BTS se situe entre 3 et 5 Km (cas de la zone des dépôts). 5% des endroits analysés se situent à une distance supérieure à 5Km des BTS avec lesquelles ils sont connectés.

IV.2.5 : Les interférences :

Les interférences peuvent être mesurées sur tous les canaux (TCH, BCCH, ACCH,...etc.). Dans le drive test que nous avons effectué, nous avons mesuré seulement les interférences entre TCH.

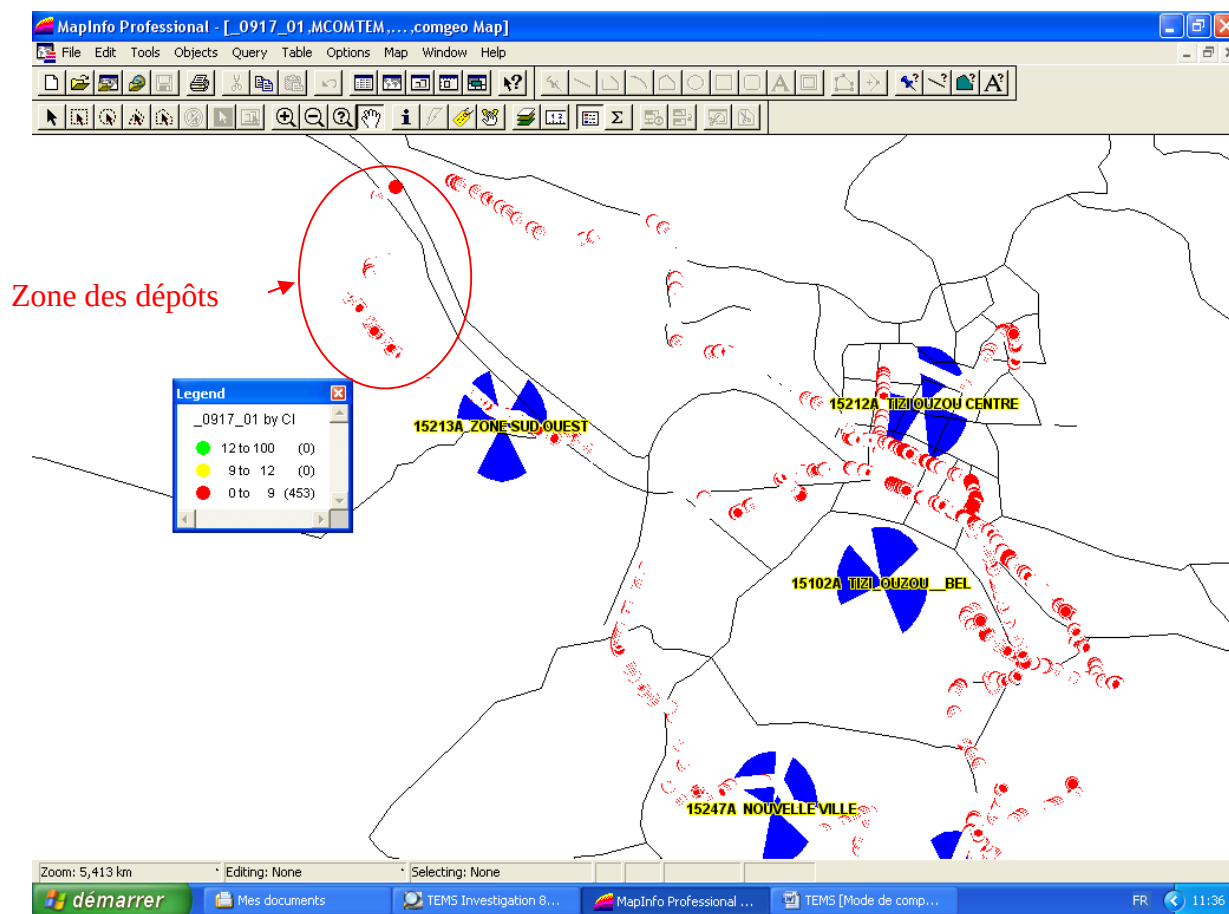


Fig.4.12 : Mesure des interférences inter TCH.

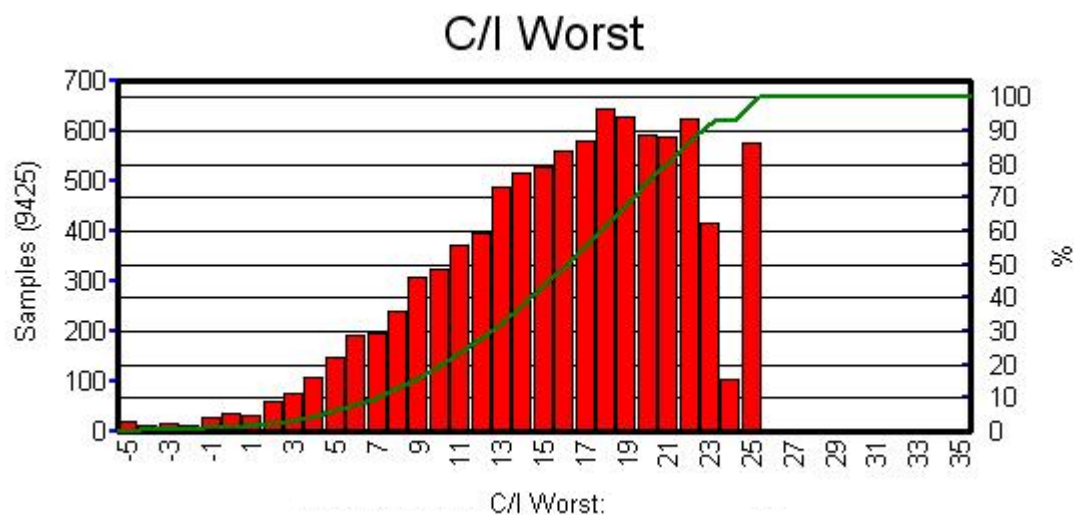


Fig.4.13 : Graphes des Interférences.

Sur le graphe de la figure 4.13, on remarque que 15% des échantillons mesurés indiquent les zones de fortes interférences, et 85% sont les endroits où les interférences sont tolérables.

En plus des cinq paramètres principaux mesurés. Le TEMS mesure aussi d'autres paramètres, nous nous intéressons aux Handovers. Le TEMS indique tous les endroits où les changements de cellule sont effectués.

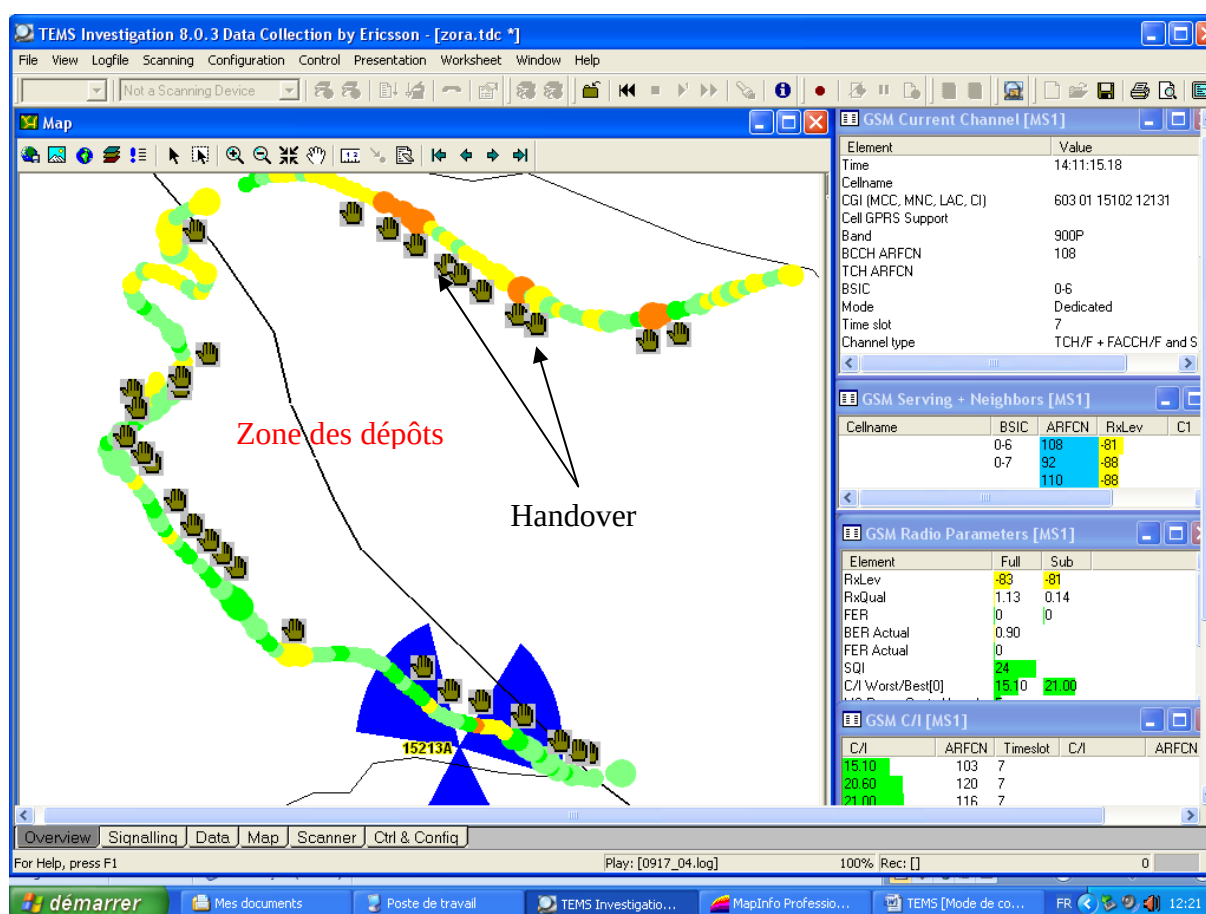


Fig.4.14 : Les handover.

On remarque que dans la zone des dépôts, le handover s'effectue plus d'une dizaine de fois, cela signifie que les BTS voisines sont congestionnées.

Après avoir effectué un Drive Test, nous pouvons conclure les points suivant :

- Le niveau du signal dans la zone analysée est moyen.
- La qualité du signal est acceptable mais très mauvaise dans certains endroits.
- La qualité de la parole est très mauvaise.
- Le Timing Advance nous a indiqué que l'endroit se trouve à quelque Km des BTS voisines.
- Les interférences dans cet endroit sont moyennes.

Enfin nous pouvons dire aussi que dans l'endroit étudié s'effectue beaucoup de Handover, cela signifie qu'au cours d'un appel, le mobile change souvent de BTS faute de saturation de celles-ci.

Il a été décidé d'installer un nouveau site trisectorisé dans le point nominal de coordonnées E04°022326 N36°719677. Le code du nouveau site est : 15677.

Configuration radio :

Configuration Radio			
Type de BTS:	RBS 2206	Configuration BTS:	4+4+4
	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3
Azimut:	90°	160°	310°
Nombre d'antennes:	1	1	1
HBA toit:	/	/	/
HBA sol:	28	28	28
Type d'antenne:	K 739623	K 739623	K 739623
TMA:	Non	Non	Non
Tilt électrique:	0°	0°	0°
Tilt mécanique:	4°	2°	2°
Longueur feeder:	35x2	35x2	35x2
Diamètre feeder:	7/8"	7/8"	7/8"

Tableau.4.1 : Configuration radio.

Le nouveau site a été donc planifié, il est nécessaire de procéder à une simulation de couverture sur logiciel.

IV.3. Simulation de couverture sur le logiciel ATTOL :

Le logiciel ATTOL est un outil de planification utilisé dans les réseaux mobiles. On saisit les coordonnées GPS du site, le logiciel localise et fait un zoom sur l'endroit choisit, on introduit alors le code du site.

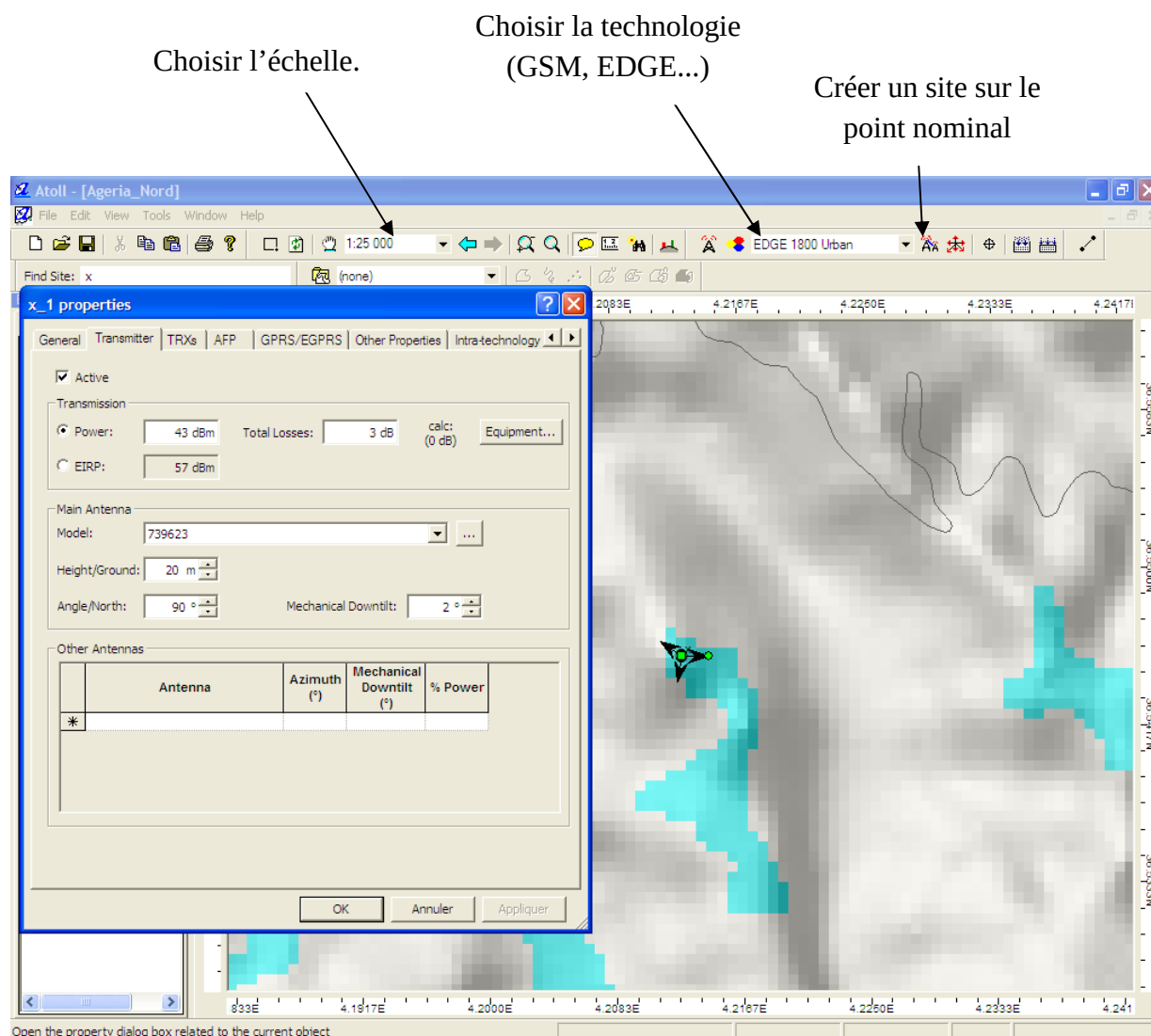


Fig. 4.15 : Création d'un Site.

Après avoir créé une station de base dans l'endroit choisit, le logiciel donne par défaut trois secteurs, il est alors possible de supprimer ou d'ajouter un ou plusieurs secteurs.

Avec la souris, on sélectionne les secteurs à tour de rôle, et en cliquant sur le bouton droit sur le secteur choisit, on fait apparaître les propriétés de chaque secteur (figure 4.16) :

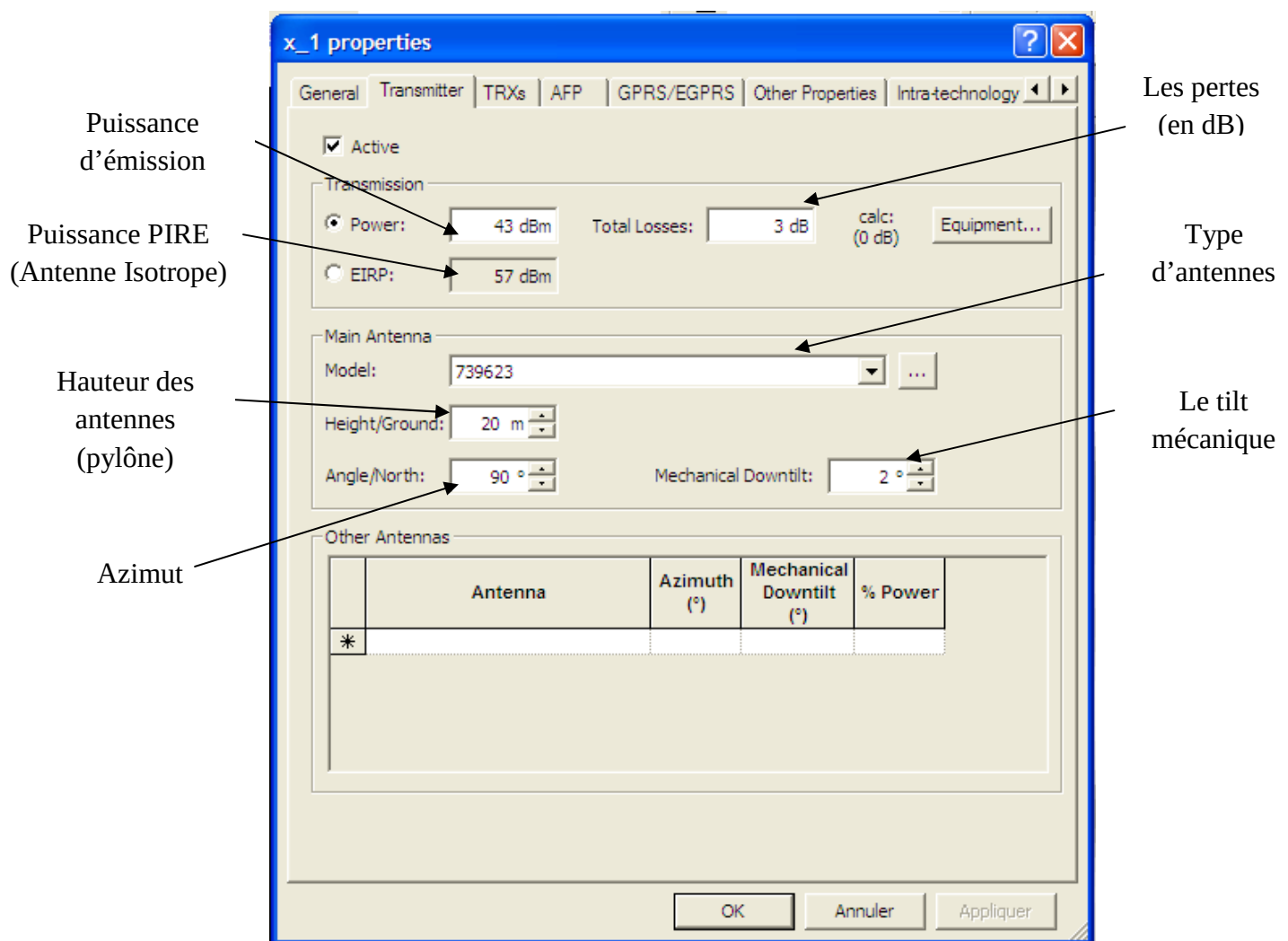


Fig.4.15 : Propriétés des Sites.

Dans la fenêtre de paramétrage, avec un double clique sur le paramètre "prédiction", on fait apparaître la fenêtre suivante :

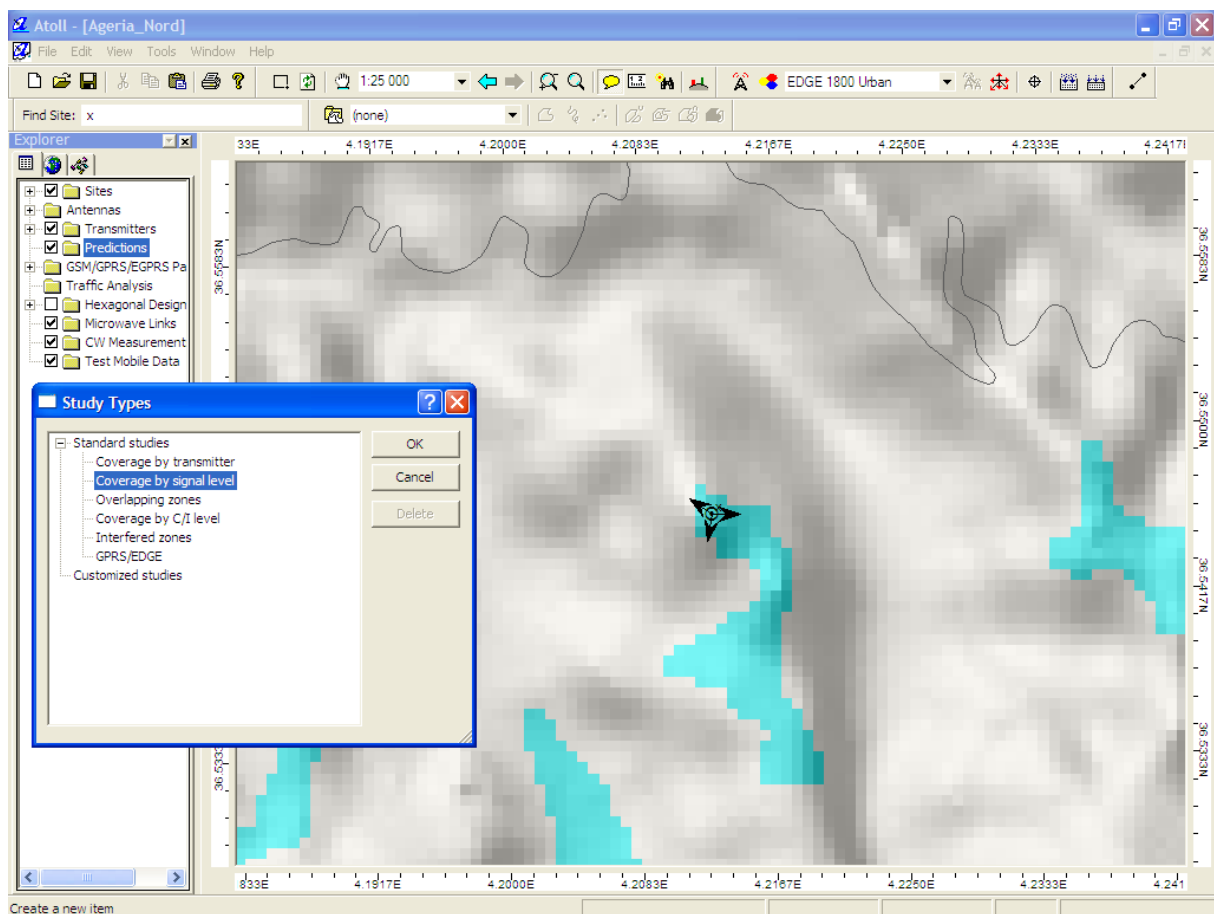


Fig.4.16 : Propriétés de Couverture.

Dans cette fenêtre, plusieurs paramètres peuvent être ajustés, on clique sur le paramètre "prédiction par niveau de signal", la fenêtre suivante apparaît:

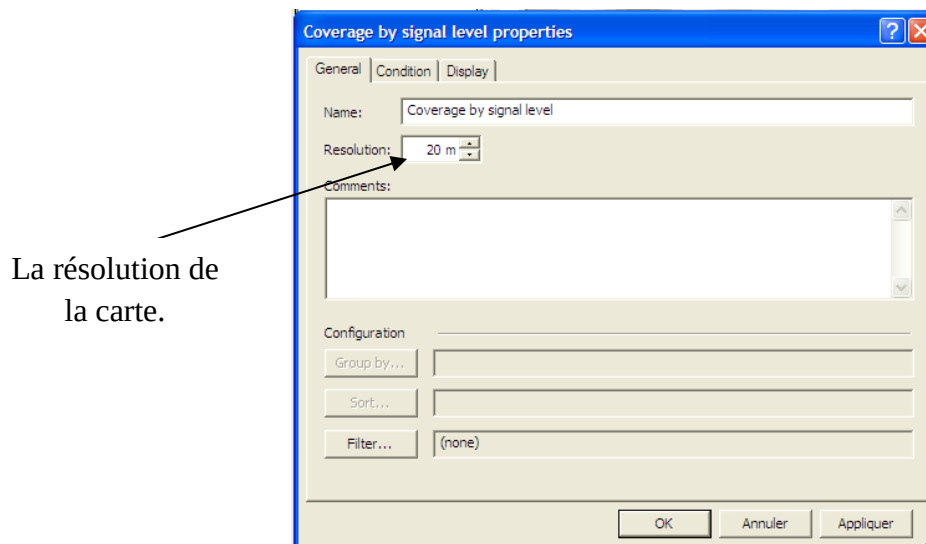


Fig.4.17 : Propriétés du niveau du signal

On sélectionne l'onglet "condition" dans cette fenêtre pour choisir la puissance du signal qui sera émis par les émetteurs.

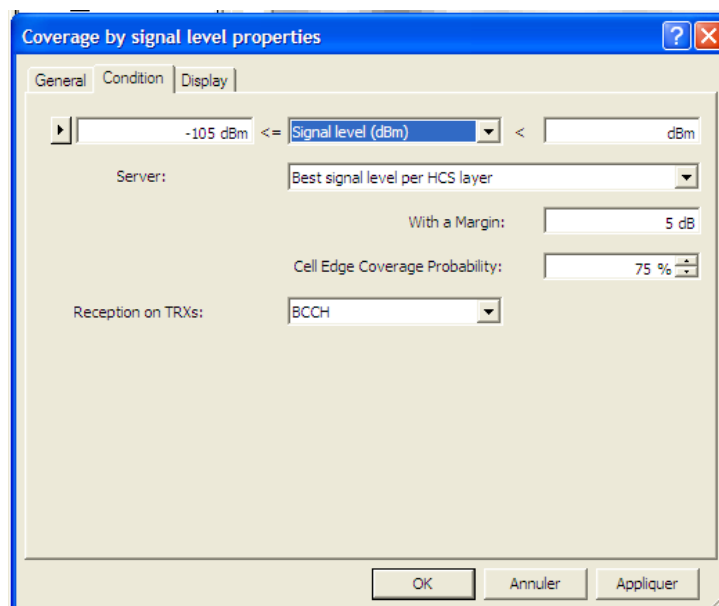


Fig.4.18 : Propriétés du Niveau du Signal.

Après avoir ajusté tous ces paramètres, on délimite la zone d'étude en cliquant sur le bouton



dans la barre des tâches et avec le curseur de la souris on délimite notre zone:

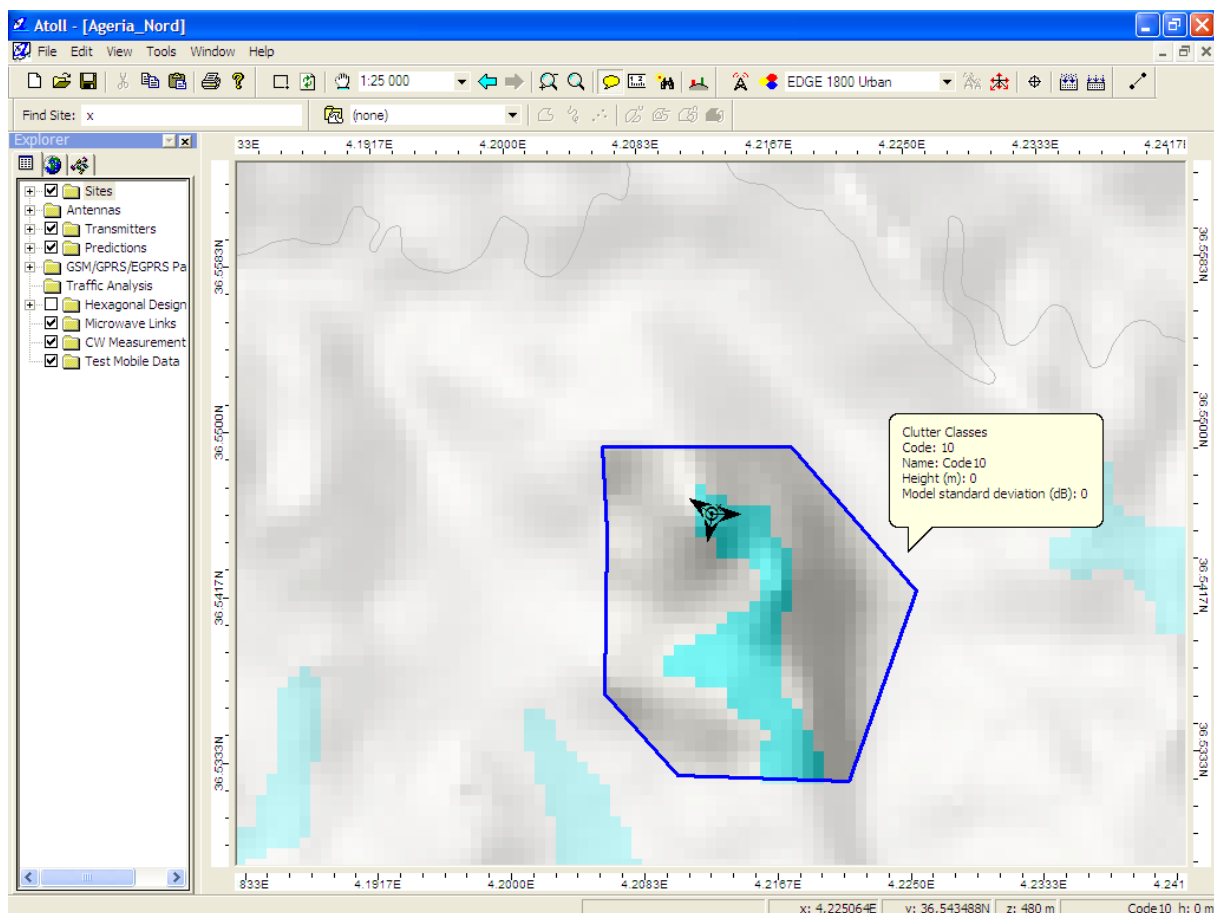


Fig.4.19 : Délimitation de la Zone de d'étude.

A présent, tous les paramètres de prédiction sont déterminés, la simulation peut alors être faite :

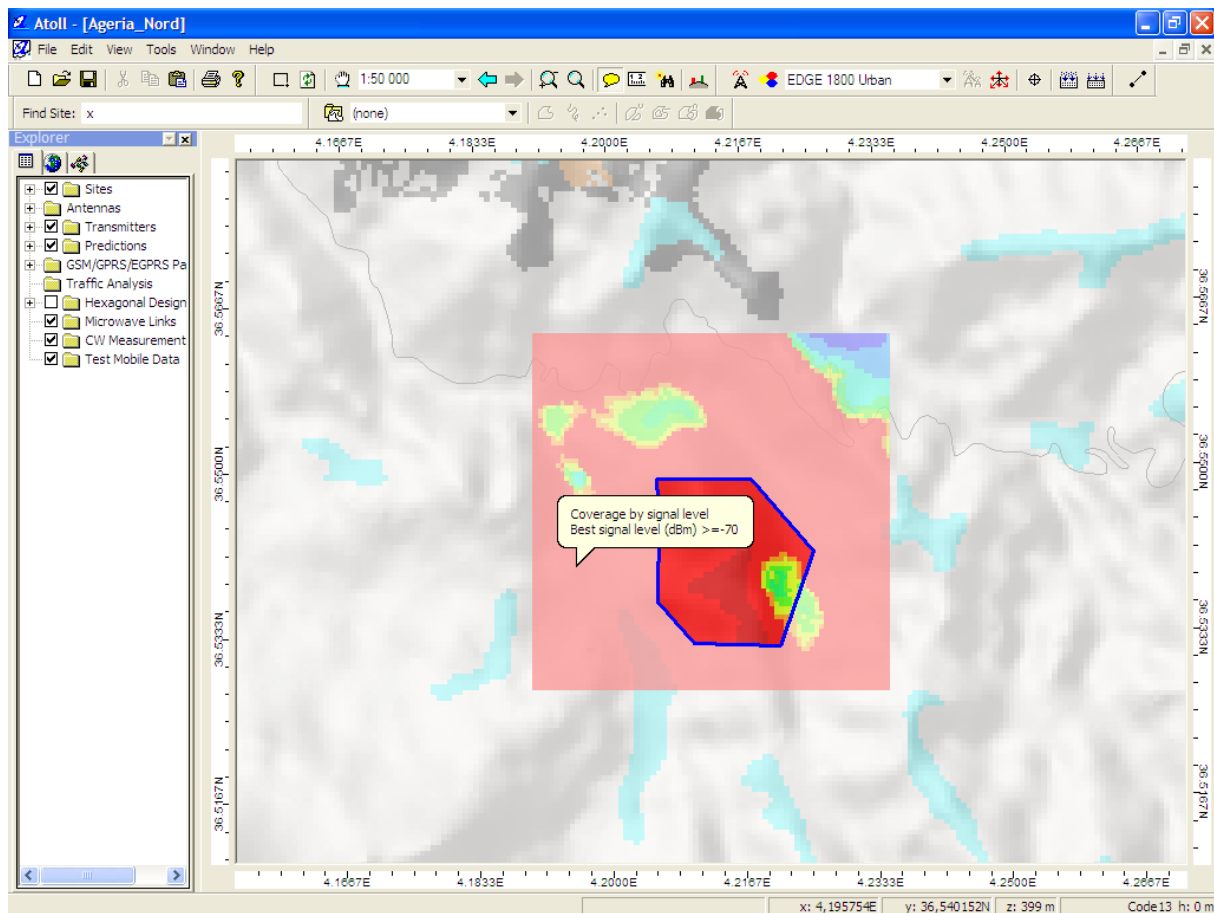


Fig.4.20 : Simulation de Couverture.

Dans cette fenêtre, la couleur rouge signifie que le niveau du signal est bon, par contre le vert et le jaune donnent les zones où le niveau du signal est faible. En posant le curseur de la souris sur n'importe quel point, le logiciel affiche le niveau de signal en ce point :

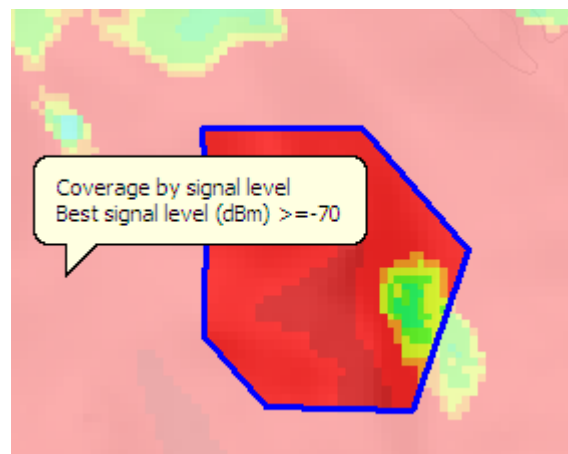


Fig.4.21 : Le Niveau du Signal.

Une fois la simulation est faite et le niveau du signal est acceptable, il faut alors définir les des cellules voisines dans le but de faire le plan de fréquence :

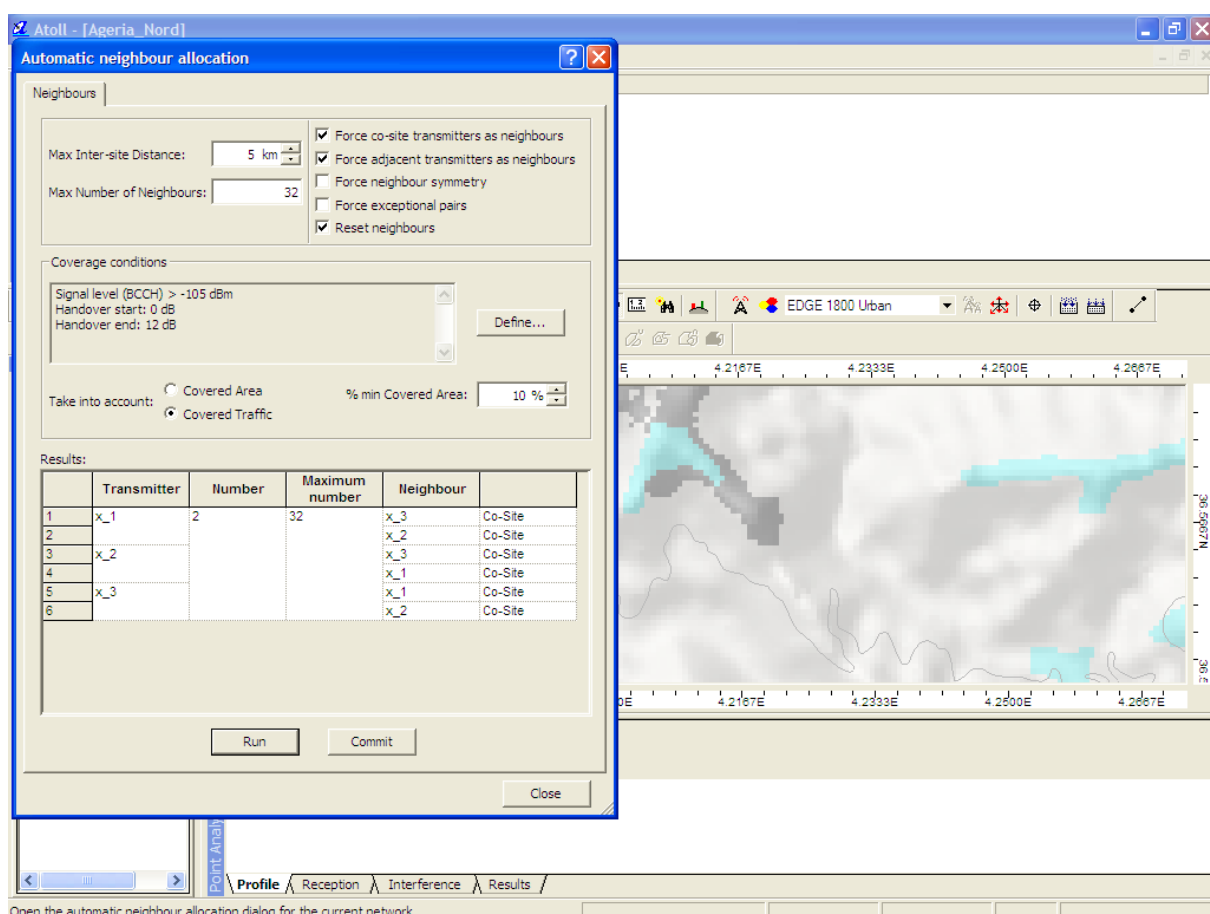


Fig.4.22 : Définition des sites voisins.

IV.4. Conclusion.

Nous pouvons conclure au terme de ce stage que le déploiement d'un nouveau site GSM est basé essentiellement sur les résultats du drive test. L'analyse du trafic se fait continuellement et est contenue de façon indirecte dans ce drive test. L'augmentation du nombre d'abonnés dans une région affectera chacun des paramètres analysés par le drive test. Les sites congestionnés par le trafic seront révélés au cours des Drive Test effectués d'une façon itérative.

Il est évident aujourd'hui que les équations d'Erlang, pour le calcul du trafic et le dimensionnement des réseaux, sont mises en œuvre dans des logiciels de calculs très sophistiqués. Toutefois, l'estimation du trafic reste un paramètre très important dans le dimensionnement d'un réseau.

Conclusion générale

Le travail qui nous a été confié est l'étude et déploiement d'un nouveau site GSM de MOBILIS dans la région de Tizi-Ouzou, Ce projet nous a permis de bien comprendre et compléter nos connaissances dans le domaine des télécommunications.

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.

Le déploiement d'un nouveau site GSM nécessite la maîtrise des technologies très avancées dans le domaine des télécommunications, l'installation d'une BTS demande des connaissances théoriques dans le domaine radioélectrique, et des connaissances informatiques pour la maîtrise des outils d'analyse, de déploiement et d'intégration des BTS. La conception d'un logiciel de simulation contribuera de plus à l'intégrité de notre travail. Nous espérons que les promotions à venir tireront profit de notre travail et aurons les outils nécessaires pour concevoir ce logiciel.

Nous pouvons aussi dire que le stage que nous avons effectué 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.

Glossaire :

A

AGCH: Access Grant Channel

ARFCN: Absolute Radio Frequency Channel Number.

ARPT: Agence de Régulation des Postes et Télécommunication.

AUC: Authentication Center.

B

BCCH: Broadcast Control Channel.

BSC: Base Station Controller.

BSS: Base Station Subsystem.

BTS: Base Transceiver Station.

C

CEPT: Conférence Européenne des Postes et Télécommunications.

CGI: Cell Global Identity.

D

DCS: Digital Cellular System.

E

EDGE: Enhanced Data for GSM Evolution.

EIR: Equipment Identity Register.

EGSM: Extend Global System for Mobile communications.

ETSI: European Telecommunication Standardization Institute

F

FACCH: Frequency Associated Control channel.

FCCH: Frequency Correction Channel.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FH: Faisceaux Hertiens.

FSK: Frequency Shift Keying.

G

GMSC: Gateway Mobile Switching Center.

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.

GP: Guard Period.

GPS: Global Positioning System.

GSM: Global System for Mobile communications.

GPRS: General Packet Radio Service.

H

HLR: Home Location Register.

I

IMEI: International Mobile Equipment Identity.

IMSI: International Mobile subscriber Identity.

IT: Intervalle de Temps.

L

LA: Localization Area.

LOS: Line Of Sight.

M

MIC: Modulation par Impulsions Codées.

MS: Mobile Station.

MSC: Mobile Switching Center.

MSISDN: Mobile Station Integrated Service Digital Number.

MSK: Minimum Shift Keying.

N

NLOS: No Line Of Sight.

NMC: Network Management Center.

NSS: Network SubSystem.

O

OMC: Operating and Maintenance Center.

OSS: Operating SubSystem.

P

PCH: Paging Channel.

PDF: Plan De Fréquences.

PIN: Personal Identification Number.

PLMN: Public Land Mobile Network.

R

RACH: Random Access Channel.

RBS: Radio Base Station.

RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Service.

SQI : Speech Quality.

RTC : Réseau Téléphonique Commuté.

S

SACCH: Slow Associated Control Channel.

SDCCH: Stand Alone Dedicated Control Channel.

SCH: Synchronisation Channel.

SIM: Subscriber Identity Module.

T

TA: Timing Advance.

TEMS: Test Mobile System.

TCH: Traffic Channel.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TMA: Tower Mounted Amplifier.

TRX: Transceiver unit.

U

UIT : Union Internationale des Télécommunications.

UMTS : Universal Mobile Telecommunication System.

V

VCO: Voltage Controlled Oscillator.

VLR: Visitor Location Register.



Annexe 1 : Acheminement des appels.

Acheminement des appels :

En GSM, trois types d'appels peuvent se présenter :

- Appel d'un mobile vers un mobile.
- Appel d'un mobile vers le réseau fixe PSTN.
- Appel d'un abonné du réseau PSTN vers le réseau GSM.

Nous nous intéresserons au deux derniers cas.

a) : Appel d'un mobile vers le réseau fixe PSTN. (appel sortant)

L'abonné compose le numéro de son correspondant qui se trouve dans le réseau fixe, sa demande passe tout d'abord par la BTS de la cellule où il se situe en utilisant le canal d'accès aléatoire(RACH), le BSC reçoit les signalisations venant de la BTS et les transmet au MSC ainsi il répond sur le canal d'allocation des ressources (AGCH). Après l'établissement de liaisons de signalisation entre Le MSC et la MS, cette dernière envoie une demande de l'établissement d'un appel au MSC/VLR en utilisant le canal SDCCH. Le MSC/VLR vérifiera les droits de l'abonné, si l'abonné remplit les conditions, le MSC/VLR transmet l'appel au réseau public PSTN et demande au BSC d'allouer un canal TCH pour la communication.

b) : Appel d'un abonné de réseau fixe vers le réseau GSM (appel entrant).

L'abonné de réseau fixe PSTN compose le numéro MSISDN de son correspondant (numéro d'appel de MS), ce numéro est analysé dans le central de PSTN qui détermine qu'il s'agit d'un appel à destination d'un l'abonné d'un réseau GSM. Une liaison s'établit avec le commutateur passerelle GMSC, ce dernier analyse le numéro formé(MSISDN) et interroge le HLR qui le transpose en IMSI. Le HLR détermine également le MSC/VLR dont la MS se trouve, ainsi que son état (libre, occupée, éteinte).

Le MSC/VLR envoie le numéro de roaming de station mobile MSRN au HLR qui le transmet à son tour au GMSC, ce dernier achemine l'appel directement à destination de MSC/VLR qui sait dans quelle zone de localisation LA la station mobile se trouve ; un message de recherche (paging message) est envoyé au BSC qui contrôle cette zone LA.

Le BSC diffuse le message de recherche vers les différentes BTS de LA, qui diffusent à leur tour ce message sur le canal logique PCH sur l'interface radio. Lorsque la station mobile détecte le message (paging), elle envoie une demande de canal de signalisation SDCCH et le BSC répond à la demande en utilisant le canal AGCH. Un canal de trafic TCH est alloué à la MS et le SDCCH est libéré, le mobile sonne et la communication s'établit lorsque l'abonné répond.

NB.: lorsque il s'agit d'un appel de mobile vers un autre mobile les procédures d'établissement de l'appel restent les mêmes que précédemment sauf que le GMSC au lieu d'être connecté à un central PSTN, il est connecté à un autre MSC/VL où l'appel arrive.

Annexe 2 : les couches et les protocoles.

1 le modèle OSI (Open System International) :

C'est la base de référence pour tout système de communication, il a été mis au point par l'Organisation Internationale des Standards, il a pour but d'assurer une compatibilité entre les réseaux propriétaires et que la communication entre tous les réseaux soit possible et efficace.

Le modèle OSI est composé de sept couches, chacune d'entre elles a sa propre fonction, les protocoles utilisés dans chacune des couches collaborent pour assurer une communication efficace. Les trois premières couches appelées couches utilisateurs et les trois dernières appelées couches de traitement.

couche	nom	
1	Application	}
2	Présentation	
3	Session	
4	Transport	}
5	Réseau	
6	Liaison	
7	Physique	

Couches utilisateurs

Couches de traitement

Tableau 1.1. Les couches du modèle OSI

2 Les piles de protocoles

Les piles de protocoles de différents sous systèmes de réseau GSM permettent de relier une station mobile MS à un centre de communication MSC. Le système GSM a adopté les trois couches basses de la structure du modèle OSI qui sont : couche physique, couche liaison de données, et couche réseau.

- La couche physique : elle assure des services par lesquels les informations sont transmises (multiplexage des canaux logiques, mesure radio, mic), cette couche permet d'établir une connexion pour conduire les éléments binaires jusqu'à leur destination.

- La couche liaison de données : elle permet la transmission fiable entre deux équipements en s'appuyant sur le service qu'offre la couche physique et à la demande de la couche réseau. Elle détecte et corrige les erreurs émises par la couche physique.
- La couche réseau : elle est responsable d'établir des liens pour le transfert des paquets de données (routage) et libère les circuits de paroles. Elle est subdivisée en trois sous couches.
 - ✓ Sous couche radio ressource RR : elle s'occupe de la partie radio, pour cela la connexion RR s'établit entre la station mobile MS et le BSC. Elle gère l'établissement et la libération des canaux logiques, et surveille la voie à partir des mesures effectuées par la couche physique.
 - ✓ Sous couche mobilité management MM : la sous couche MM gère l'identification, l'authentification, et la localisation de terminal mobile. La connexion MM s'établit entre la station mobile et le centre de communication MSC.
 - ✓ Sous couche connexion management CM : elle gère la connexion entre le mobile et le MSC. Elle est divisée lui-même en trois sous couches : la sous couche CC (Call Control) qui gère, contrôle, et traite les appels ; la sous couche SMS (Short Message Service) qui permet d'envoyer les messages courts ; et la sous couche SS (Supplementary Service) qui gère les services supplémentaires.

Annexe 3 : les modèles de propagation

Les modèles macrocellulaires les plus utilisés sont :

- Le modèle de HATA : il s'applique aux fréquences comprises entre 150 et 1000 MHz (par exemple le GSM900). En milieu urbain, l'affaiblissement L_u en dB est donné par l'équation :

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.821 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Le paramètre " $a(h_m)$ " est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne mobile et de l'environnement radio, il est donné dans le tableau 2.1 :

Environnement radio	$a(h_m)$
Pour une ville de taille moyenne	$a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \quad \dots\dots\dots (2.2)$
Pour une grande ville, avec $f > 400$ MHz.	$a(h_m) = 3.2[\log(11.75 h_m)]^2 - 4.97 \quad \dots\dots\dots (2.3)$

Tableau 2.1. Valeurs du paramètre $a(h_m)$.

En milieu suburbain, l'affaiblissement L_{su} est donné par:

$$L_{su} = L_u - 2[\log(f/28)]^2 - 5.4 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

En milieu rural, on distingue deux cas :

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

$$L_{rd} = L_u - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

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

$$L_{rsd} = L_u - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 35.94 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

- Le modèle de COST 213-HATA : Il s'applique aux fréquences comprises entre 1500 et 2000 MHz (par exemple le DCS1800). En milieu urbain, l'affaiblissement est donné par :

$$L_u = 44.33 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) + C_m \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Avec : $a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7]h_m - [1.56 \log(f) - 0.8] \dots\dots\dots (2.8)$

Et : $C_m = 0 \text{ dB}$ Pour les villes de tailles moyennes

$C_m = 3 \text{ dB}$ Pour les grandes villes.

En milieu rural, les équations 2.5 et 2.6 peuvent être combinées avec l'équation 2.7 pour estimer l'affaiblissement dans les deux cas.

La courbe suivante donne l'affaiblissement en fonction de la distance dans le modèle de COST231-HATA :

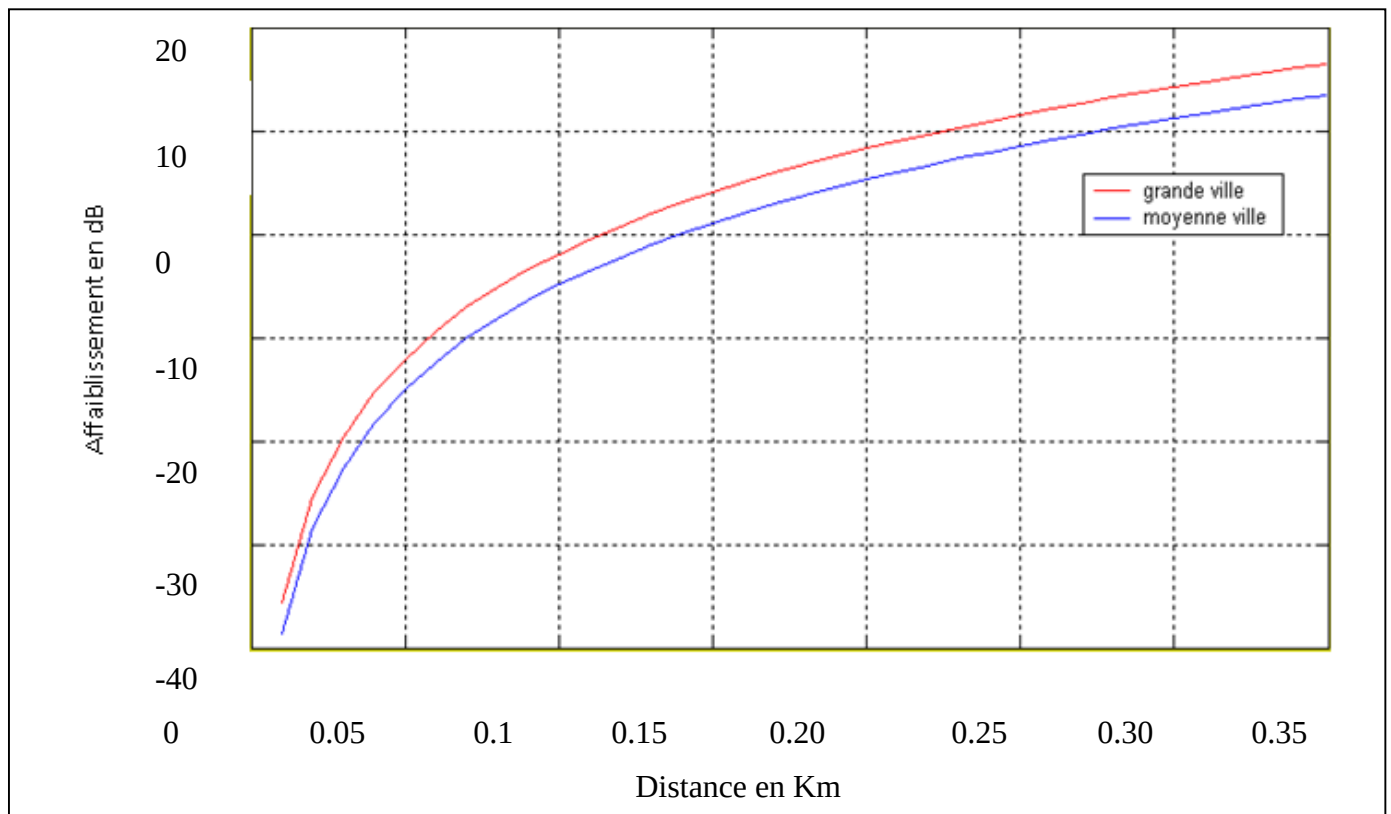


Fig1.1 : courbe d'affaiblissement du modèle COST231-HATA.

- Modèle de Walfish-Ikegami : il est destiné aux systèmes dont les fréquences sont comprises entre 800 et 2000Mhz, la hauteur des stations de base doit être comprise entre 4 et 50m, celle des stations mobile de 1 à 3m, et la distance entre les deux est comprise entre 20 et 2000m. 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 :

$$L_{los} = 42.6 + 20 \log(f) + 26 \log(d) \dots\dots\dots (2.9) \quad \text{pour } d > 0.02Km$$

Cette équation est applicable pour des fréquences allant de 800MHz à 2000MHz, la hauteur de l'antenne mobile est comprise entre 1 à 3 m, et la hauteur de l'antenne BTS est de 4 à 50m.

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 20dB.

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

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 30cm engendre une atténuation de d'environ 10 dB.

La courbe suivante donne l'affaiblissement en fonction de la distance dans le modèle COST231 appliqué aux microcellules :

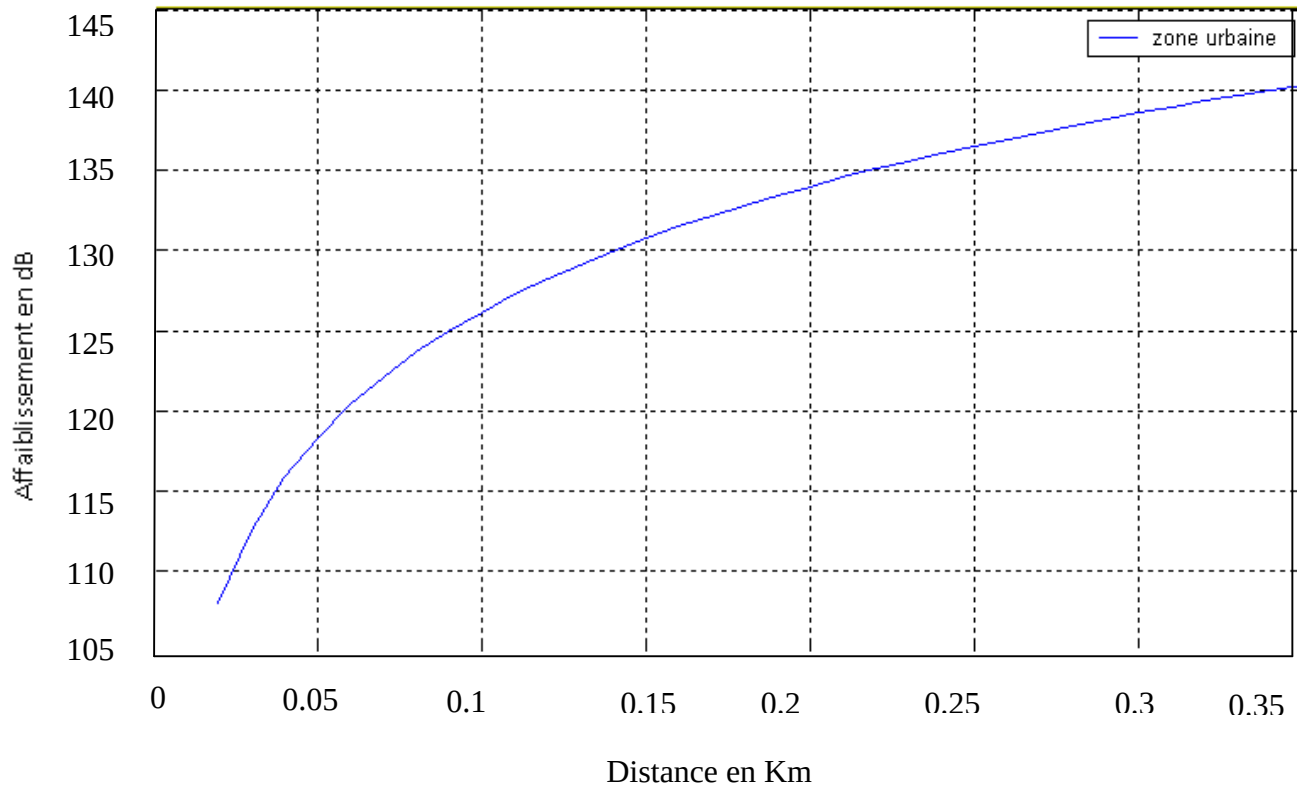


Fig1.2 : courbe d'affaiblissement du modèle COST231.

Le tableau suivant illustre l'affaiblissement apporté par différents matériaux de construction sur le signal :

Matériaux	Pertes (dB)
Béton poreux	6,5
Béton (30cm)	9 ,5
Mur de béton épais (25cm) sans vitre	13
Mur de béton épais avec vitre	11
Mur de béton peu épais (10cm)	6
Mur double de béton (2*20cm)	17
Mur très peu épais (brique<14cm)	2,5
Vitre	2
Vitre renforcée	8
Bois	1 ,5
Plaque de plâtre	1.5
Dalle	23

Annexe 4 : Zone de Fresnel.

LA ZONE DE FRESNEL :

Soit A un émetteur, et B un récepteur, la puissance reçue est donnée par l'équation :

$$P_r = P_e \cdot G_e \cdot G_r \cdot \frac{\lambda^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}$$

Cette équation est applicable dans la propagation en espace libre, c.-à-d., il faut que l'ellipsoïde de FRESNEL soit dégagée.

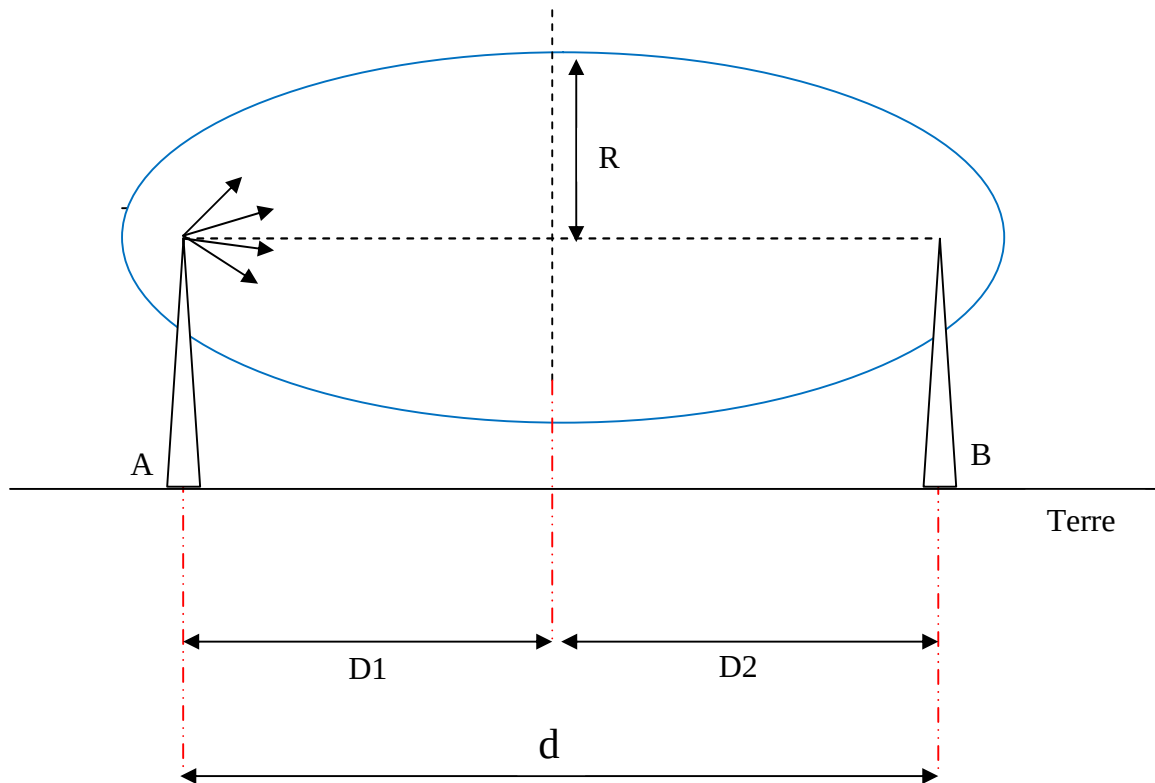


Fig1.3 : la zone de Fresnel.

Le volume entouré par l'ellipsoïde est la première zone de FRESNEL. Si l'ellipsoïde ne touche pas la terre, on dit que la 1^{ère} zone de FRESNEL est dégagée, on parle alors de la propagation en espace libre. Le rayon de l'ellipsoïde de FRESNEL vaut : $R = \sqrt{\lambda \cdot \frac{D1 \cdot D2}{D1 + D2}}$

Si l'ellipsoïde de FRESNEL n'est pas dégagé, il faut prendre en compte de l'effet du sol, c'est-à-dire de l'affaiblissement que causera le sol lors de la propagation de l'onde radioélectrique.

Annexe 5 : Description de l'RBS 2206.

L'RBS 2206 est une station de base radio conçue par ERICSSON, elle fait partie de la famille des RBS2000 (exemple 2202, 2207). L'RBS 2206 contient 12 modules TRX, cette unité radio peut gérer 3 secteurs, c'est une solution très efficace pour les applications Indoor.

L'RBS 2206 contient plusieurs unités différentes comme le montre la figure suivante :

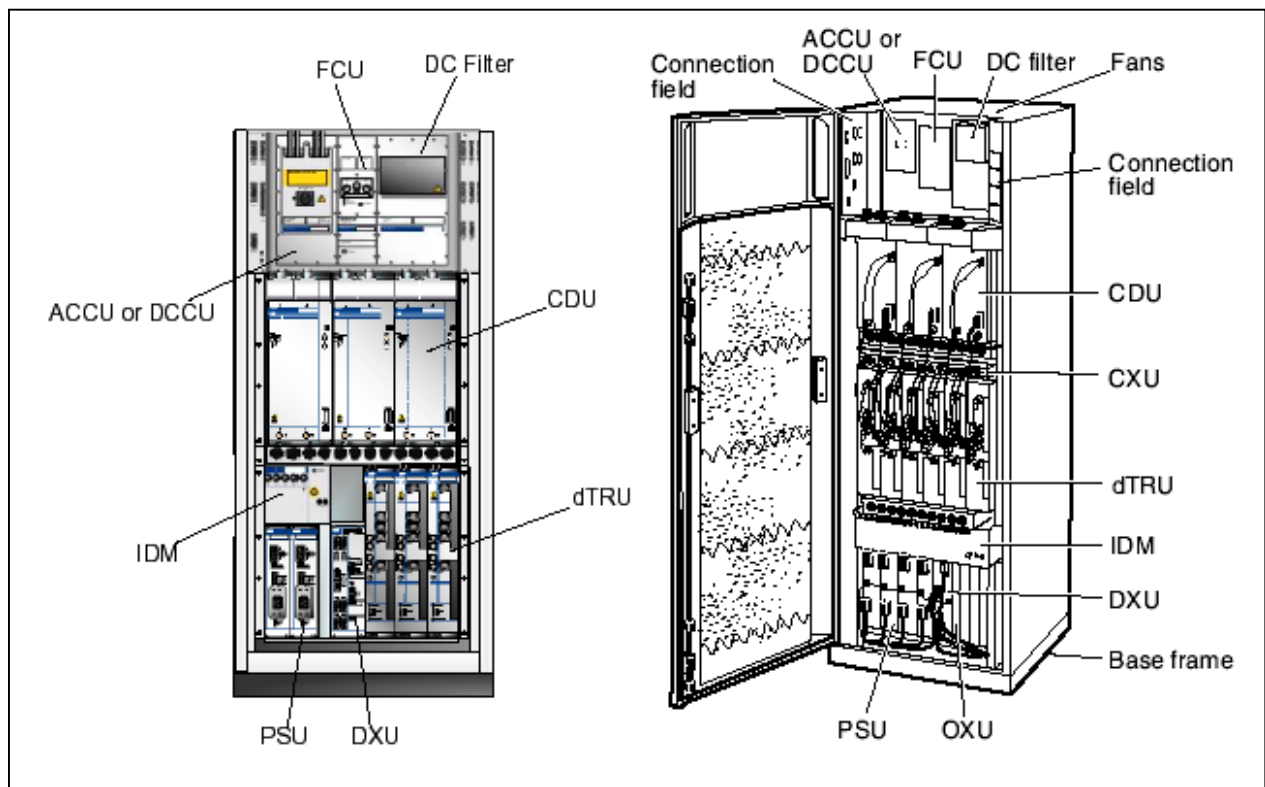


Fig. 1.4. Les Différentes Unités Hardware de l'RBS 2206.

Les différentes unités matérielles de l'RBS 2206 sont connectées entre eux suivant le synoptique ci-dessous :

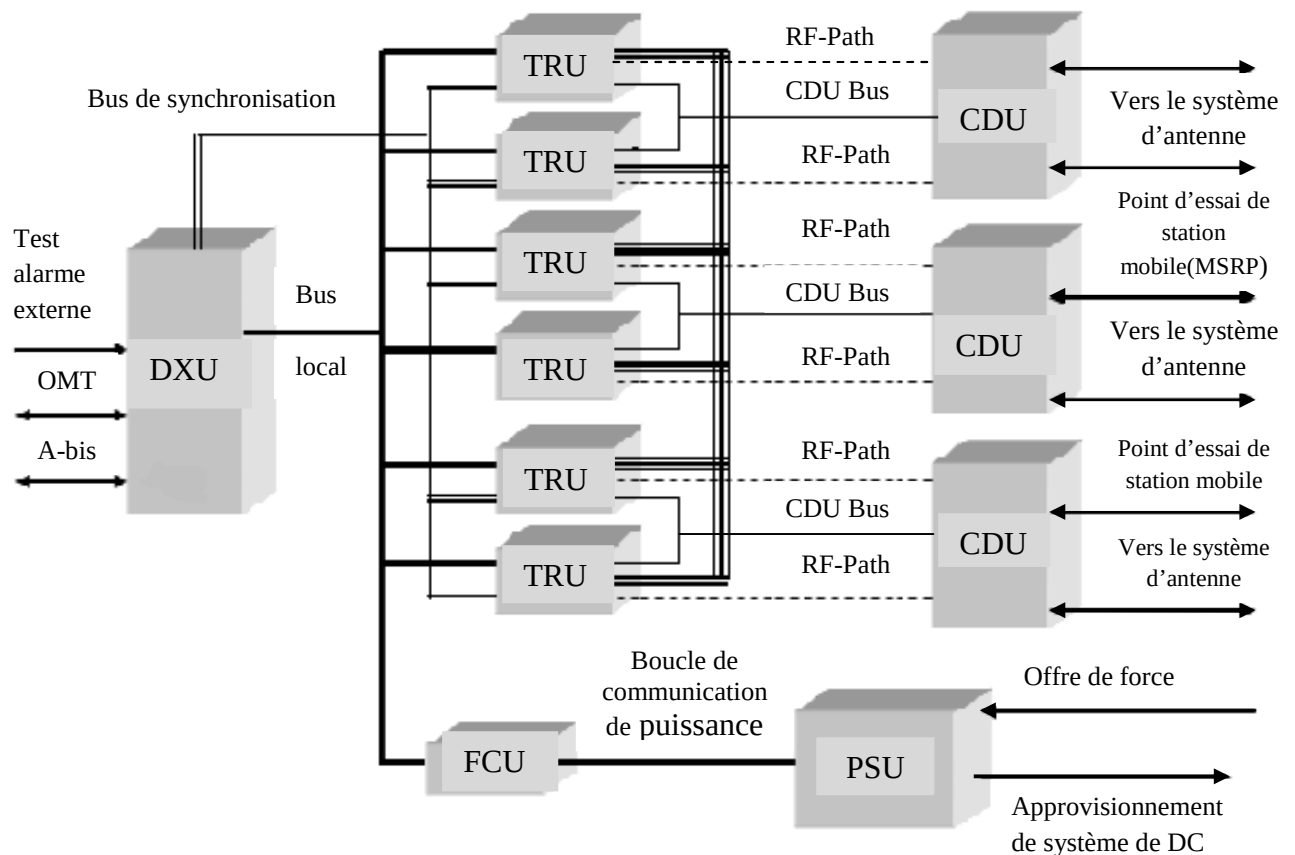


Fig. 1.5. Schéma synoptique des unités matérielles de l'RBS 2206

1. L'alimentation : le coffret BRS2206 est alimenté à travers les unités ACCU (AC Connection Unit) et DCCU (DC Connection Unit), ces unités distribuent et contrôlent les tensions AC et DC entrant au PSU. (nombre d'unité 1)
2. FCU (Fan Control Unit) : Le FCU contrôle les quatre ventilateurs dans le système de refroidissement en réglant la vitesse du ventilateur. Le FCU est contrôlé par le DXU. (nombre d'unité 1).
3. CDU (Combining and Distribution Unit): Le CDU est l'interface entre les émetteurs/récepteurs et le système d'antenne. Tous les signaux sont filtrés avant la transmission et après la réception à l'aide des filtres passe-bandes. Le CDU permet à plusieurs TRU de partager une même antenne, l'RBS 2206 contient au maximum 3 CDU.

Le schéma fonctionnel de CDU est représenté sur la figure ci-dessous :

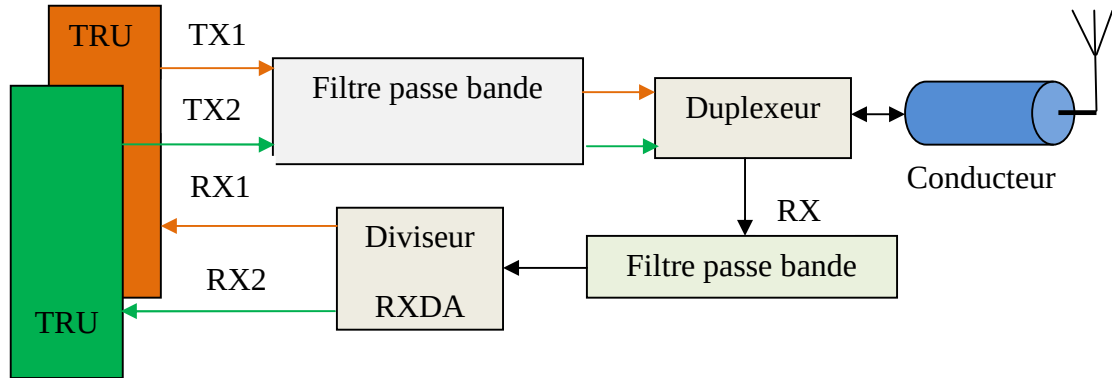


Fig.1.6. Schéma fonctionnel d'un CDU.

4. CXU (*Configuration Switch Unit*) : cette unité sert d'interface entre le CDU et le dTRU dans le sens récepteur, il permet d'augmenter ou de modifier un module sans déplacer ni remplacer aucun câble RX. Nombre d'unités : 1.
5. dTRU : (*double Transeiver Unit*) c'est une double unité d'émission/réception, c'est-à-dire elle comporte 2TRX (2TS et 2RX), l'RBS 2206 peut contenir jusqu'à 6 dTRU. Le dTRU peut combiner deux signaux différents d'émission dans un seul TX. La version des dTRU utilisée dans l'RBS 2206 ne peut assurer que la transmission des signaux modulés GMSK. Nombre d'unités 0 jusqu'à 6.

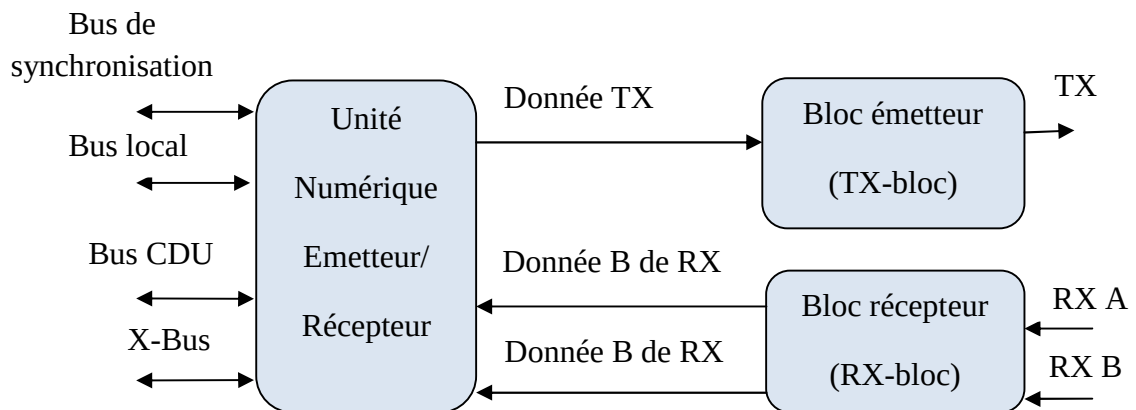


Fig.1.7. schéma fonctionnel d'un DTRU

Le TRU est devisé en trois sections :

- Le TRUD qui est un contrôleur de TRX, il se connecte au reste des unités par l'intermédiaire du : bus local, bus CDU, bus de synchronisation et du bus-X. il exécute le traitement numérique du signal : comme le codage canal, l'entrelacement, le chiffrement etc.
- Le bloc de transmission qui exécute la modulation et l'amplification du signal du trajet descendant.
- Le bloc de récepteur effectue la démodulation du signal du trajet montant, puis achemine le signal vers le TRUD.

Le TRU contient une boucle entre TX et RX, cette boucle permet d'examiner le TRU en générant des signaux tests.



Fig.1.8. : le dTRU.

6. Le DXU (*Distribution Switch Unit*) : c'est l'unité centrale de l'RBS, cette unité de distribution et de commutation sert d'interface entre l'RBS et Le BSC. Elle transmet les alarmes, contrôle la puissance des émetteurs, et contrôle aussi le système de climatisation. Cette unité contient une carte numérique rechargeable (mémoire flash) amovible qui offre la possibilité de remplacer un DXU défectueux sans avoir besoin de charger le software de l'RBS dans le BSC. Nombre d'unité : 1.



Fig.1.9. : le DXU.

Le DXU est constitué de quatre unités :

- L'unité centrale de traitement CPU (*Central Processing Unit*) : cette unité effectue la gestion des ressources dans l'RBS, elle est responsable entre autre de la maintenance a travers l'interface OMT, et des alarmes internes et externes.
- L'unité centrale de traitement CTU : cette unité produit des impulsions de références stables pour le TRU, cette unité peut être synchronisée avec le lien A-bis ou avec une source externe (exemple : récepteur GPS).
- Un concentrateur HDLC (*High level Data Link Control*): cette unité permet de déchiffrer l'information de signalisation et de la distribuer aux TRU ou à l'unité de traitement CTU du DXU.
- L'unité PCM-Part: son but c'est d'extraire les times slots de l'interface A-bis et de les transmettre vers le TRU via le bus local.

7. L'IDM (*Internal Distribution Module*) est un panneau pour distribuer l'alimentation Interne de +24v aux diverses unités. Chaque circuit de distribution dans le coffret de l'RBS est relié à un disjoncteur dans l'IDM. Nombre d'unité : 1.

8. OXU (*Optional Expansion Unit*) : c'est une unité d'expansion facultative. Nombre d'unité : 0-1.

9. PSU (*Power Supply Units*) : c'est une unité d'alimentation de puissance, cette unité est disponible sur deux versions :

- PSU-DC pour convertir DC -48v ou -60v en +24v DC.
- PSU-AC pour convertir AC 120-250 en +24v DC.

Nombre d'unité : 1-4.

BIBLIOGRAPHIE

1. Réseaux GSM, 5° édition revue et augmentée.
Xavier Lagrange-Philippe Godlewski- Sami Tabbane.
2. Système de radiocommunication avec les mobiles, 2° édition revue et augmentée.
Jean Gabriel REMY- Jean CUEUGNIET- Cédric SIBEN.
3. Téléphones GSM et PC, 3°édition. Edition ETSF. Patrick GUEULLE.
4. Ingénierie et planification d'un réseau cellulaire GSM, rapport de projet de fin d'étude, Ingénieur en télécommunication de l'Institut Des Télécommunication d'Oran. Réalisé par : M. B.CHIHEB et A.SOUHLIA. promotion juin2004.
5. Planification cellulaire, rapport de projet de fin d'étude de l'Institut Des Télécommunication d'Oran. Réalisé par : Mr. K. HOUARI et Melle B.HOURIA. promotion juin2005.
6. Architecture interne et principe de fonctionnement d'une station de base radio du réseau GSM, rapport de projet de fin d'étude ingénieur en électronique UMMTO. Réalisé par Melle Z.HABANI et L.RECHIK. promotion juin2006.
7. Planification radio d'une solution de couverture indoor GSM, rapport de projet de fin d'étude ingénieur en télécommunication de l'Ecole Supérieur des Communication de TUNIS. Réalisé par I. DAYA. promotion juin 2005.
8. Les relais GSM, document PDF, <http://www.juliendelmas.com>
9. PRINCIPES DE BASE DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU GSM, document PDF, <http://www.ulg.ac.be/telecom>

Document ERICSSON :

1. Ericsson GSM System Survey Student Book IZT 123 3321 R6A.
2. EN/LZT 720 0222 R3A, RBS2106 RADIO BASE STATION PRODUCT DISCRPTION.
3. EN/LZT 720 0225 R3A, RBS 2206 RADIO BASE STATION PRODUCT DISCRPTION.
4. EN/LZT 720 0009 R5A, RBS 2206 INSTALLATION AND INTEGRATION MANUAL.
5. EN/LZT 720 0025 R4A, RBS 2106 INSTALLATION AND INTEGRATION MANUAL.