

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOD MAMMERI, TIZI-OUZOU



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

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

Option : communication

***Thème: optimisation et performances du
réseau GSM (TEMS investigation)***

Proposé par : M^r T.LAHDIRI
Dirigé par : M^r M.LAHDIR

Présenté par : M^{elle} BENALI LAMIA
M^{de} Hamadou née Gater Kahina

Année universitaire 2008/2009

Soutenu le : 6/07/2009.

Remerciements

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr. Lahdir mourad enseignant au département d'électronique Pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils.

Nous tenons également à présenter nos sincères remerciements à Mr. LAHDIRI Toufik, chef du centre MSC Tizi-Ouzou, de nous avoir permis de réaliser notre stage pratique.

Tout particulièrement nous adressons nos profonde reconnaissances à Melle HABANI Zohra, Ingénieur radio à Mobilis et Co-promotrice de ce projet, qui n'a épargné aucun effort pour le bon déroulement de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail

Nous remercions tous ceux qui n'ont épargné aucun effort, de près ou de loin, pour nous permettre d'accomplir notre travail.

Dédicaces

A la mémoire de mes grands parents, k̄halti yamina, na dahbia, Da mouh.

A mon cher mari Kamal qui m'a toujours entouré de sa généreuse affection et de son grand amour. A toi mon cher Kamal qui a toujours su m'accompagner dans ces moments de stress et d'euphorie.

A ses deux êtres qui ne voient le monde qu'à travers nos yeux,

A ses deux êtres qui nous portent comme un unique et noble projet ;

Ses deux êtres sont : Papa et Maman.

Mes sentiments d'amour, de gratitude, de reconnaissance et de respect vont vers vous mes très chers parents.

A mes frères youva et Mouh, qui m'a toujours encouragé, soutenu et pu savoir me faire confiance.

A mes sœurs Taous, Rosa et son fiancé et Thilelli, qui chacune à sa façon, ont su apporter un bonheur à ma vie

A ma grand -mère paternelle.

A mes beaux parents pour leur immense aide et leur affection.

A ma belle sœur Hakima qui m'a toujours aidé.

A mes beaux frères Karim et Akli et sa fiancée pour leur gentillesse et aide.

A mon cousin Hakim.

A Fatima Hamadou pour son aide.

A mon oncle Arezki et toute sa famille.

A toute ma famille (Hamadou, Gater, Belhadj).

Ainsi qu'à tous mes amis (es) en particulier : Fariza, kahina .l, kahina .h, chahra, Brahim et à tous ceux qui m'ont aidé le long de mon cursus scolaire.

A l'adorable Lamia avec qui j'ai partagé ce travail, ainsi que toute sa famille en particulier Amine.

Je vous dédie ce mémoire.

Kahina.



Dédicaces

A la mémoire de mon grand père Idir.

A mes chers parents Narima et Abdelmalek qui m'ont soutenu tout au long de ma vie en témoignage de leurs affections et sacrifices.

A ma très chère sœur Latifa qui a cru en mes compétences.

A mes chère frère Nabil, Nassim, Walid et mon adorable Amine.

A mes grands parents.

A mes chère tantes Djamilia et Fatima.

A tous mes oncles et tantes ainsi que leurs petites familles.

A mes cousins (es) particulièrement Menad.

A ma très chère Kahina Gater avec qui j'ai partagé ce travail ainsi que toute sa famille et son époux.

A mes amies intimes Kahina, Chahrazed, Mounia, Fadila.

A mes amis Kahina.BS, Nadia, Naouel, Fariza.

Je vous dédie ce mémoire.

LAMIA.



Sommaire

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : généralités sur le réseau GSM

I. Introduction.....	3
----------------------	---

II. Le déploiement cellulaire.....	3
------------------------------------	---

III. Itinérance et Handover.....	7
----------------------------------	---

III.1 L'itinérance.....	7
-------------------------	---

III.2. Le handover.....	8
-------------------------	---

III-3- Les types de hadover.....	8
----------------------------------	---

IV-L'architecture du réseau GSM.....	8
--------------------------------------	---

IV-1-La station mobile(MS).....	10
---------------------------------	----

IV-2-Le sous système radio(BSS).....	11
--------------------------------------	----

IV-2-1-La station de base(BTS).....	11
-------------------------------------	----

IV-2-2-Le contrôleur de station de base(BSC).....	11
---	----

IV-3-Le sous système réseau(NSS).....	12
---------------------------------------	----

IV-3-1-Centre de commutation mobile(MSC).....	12
---	----

IV-3-2-L'enregistreur de localisation nominale(HLR).....	13
--	----

IV-3-3- L'enregistreur de localisation des visiteurs(VLR).....	13
--	----

IV-3-4-Le centre d'authentification(AUC).....	13
---	----

IV-3-5-Registre d'identité de l'abonné(EIR).....	13
--	----

IV-4-Le sous système d'exploitation et de maintenance(OSS).....	13
---	----

IV-4-1-Le système d'exploitation et de maintenance(OMC).....	14
--	----

IV-4-2-Le NMC (Network Management Center).....	14
--	----

V-Gestion de la sécurité dans GSM.....	14
V-1-Confidentialité de l'identité de l'abonné(IMSI).....	14
V-2-Principe générales d'authentification et de chiffrement.....	15
V-3-Procédure d'authentification.....	15
V-4-confidentialité des données transmises (chiffrement).....	16
VI-Les interfaces du réseau GSM.....	17
VII-La transmission sur l'interface radio.....	19
VII-1-Partage des bandes de fréquences.....	19
VII-1-1-Les canaux montants.....	19
VII-1-2-Les canaux descendants.....	19
VII-2-Les méthodes d'accès au réseau GSM.....	20
VII-2-1- Le multiplexage en fréquence FDMA.....	21
VII-2-2-Le multiplexage en temps TDMA.....	21
VII-2-2-1Organisation des trames.....	22
VII-2-2-2-Constitution d'un slot.....	23
VII-2-3-Le saut de fréquence.....	24
VIII-Compensation du temps de propagation.....	25
IX-Les canaux physiques et logiques.....	26
IX-1-Les canaux physiques.....	26
IX-2-Les canaux logiques.....	27
IX-2-1-Les canaux de trafics.....	27
IX-2-2-Les canaux de signalisation.....	27
X-Les services offerts par le réseau GSM.....	30
X-1-Les services supports.....	30

X-2-Les télé services.....	30
X-3-Les services supplémentaires.....	30
XI-L' évolution du GSM.....	31
XII Conclusion.....	31

Chapitre II : Etude de la transmission sur l'interface radio.

I. Introduction.....	32
II. La chaine de transmission.....	32
II.1. Codage de source.....	34
II.2. Codage canal.....	35
II.3. L'entrelacement.....	35
II.4. Le multiplexage.....	36
II.5. Le chiffrement.....	36
II.6. La modulation.....	36
III. La propagation sur l'interface radio.....	36
III.1. Mécanisme de propagation.....	37
III.1.1. La réflexion.....	38
III.1.2. La réfraction.....	38
III.1.3. La diffraction.....	38
III.1.4. La diffusion.....	39
III.1.5. L'absorption.....	40
IV. Bruit et interférences.....	40
V. Les trajets multiples.....	41
V.1.Dispersion en retard.....	41
V.2.Dispersion en amplitudes (évanouissement).....	41
V.3.Dispersion en fréquence (effet d'doppler).....	42
VI. Techniques de diversités.....	42
VI. 1. Diversité de polarisation.....	42
VI.2. Diversité spatiale.....	42
VI.3. Diversité en fréquence.....	42
VII. Etude de la propagation dans les différentes zones.....	43
VII.1. Dans les macros cellules.....	43
VII.2. Dans les micros cellules.....	43
VII.3. Propagation à l'intérieur des bâtiments.....	43
VIII. Les antennes.....	44
VIII.1. Types d'antenne.....	44

VIII.1.1. Les antennes omnidirectionnelles.....	44
VIII.1.2. Les antennes sectorielles (directionnelles).....	45
VIII.1.3. Les antennes paraboliques.....	45
IX. Caractéristique des antennes.....	46
X. Faisceaux hertzien.....	48
XI. Conclusion.....	49

Chapitre III : Les stations de base BTS.

I. Introduction.....	50
II. Définition d'une station de base.....	50
III. Différent types et classe de station de base.....	50
III.1. Les types de BTS.....	51
III.1.1 Les macros BTS.....	51
III.1.2 Les micros BTS.....	51
III.1.3 Les BTS ciblées.....	52
III.1.4 Les BTS normales.....	53
III.1.5 Les amplificateurs du signal (relais).....	53
III.2 Classes de BTS.....	54
IV. Les équipements d'une station de base.....	54
V. Schéma fonctionnel d'une station de base.....	57

Chapitre IV : Performances du réseau GSM (TEMS investigation)

I. Introduction.....	60
II. Description du drive test.....	60
II.1 Les équipements du drive test.....	61
III. Définition du TEMS.....	62
III-1 Module de collection de données (Data collection)	62
III-2 Module de l'analyse de l'itinéraire (route analysis).....	63

IV. Présentation du logiciel TEMS.....	63
IV.1. Le workspace.....	63
IV.2. Le worksheet.....	64
IV.3. Les toolbar.....	65
V. Les paramètres contrôlés par le TEMS.....	67
V.1.RxLevel.....	67
V.2.RxQualité.....	67
V.3.Les interférences(C/I).....	68
V.4.La qualité de la parole (SQI).....	68
V.5. La distance Timing Advance (TA).....	69
VI. Les type de drive test.....	69
VII. Les étapes de drive test.....	70
VIII. Applications.....	78
VIII.1. Application1 : Le drive test effectué à BOUFHAMA.....	79
VIII.1.1. Le drive test route.....	79
VIII.1.2. Les mesures du drive test.....	79
VIII.1.2.Analyse de données et suggestion.....	87
VIII.3. Application 2 : Le drive test effectué au centre ville de Tizi-Ouzou.....	92
VIII.3.1. Le drive test route.....	92
VIII.3.2. Les mesures du drive test.....	92
VIII.3.3.Analyse de données et suggestion.....	98
IX. Conclusion.....	100
Conclusion générale.....	101

Introduction
Générale

Après sa commercialisation en 1992, le réseau GSM ne cesse d'évoluer et le nombre d'abonnés continue à croître de façon considérable. Sa couverture est quasi mondiale et ces services de plus en plus nombreux utiles et conformes aux désirs des abonnés qui ne cessent d'évoluer et de se diversifier.

La téléphonie mobile est basée sur la radiotéléphonie c'est-à-dire la transmission de la voix sous forme d'une onde radio entre la station mobile et une base. Ces ondes sont transmises sur l'interface radio qui permet la connexion sans fil. Le reste du réseau étant câblé relève des réseaux fixes exception faite pour le lien entre les stations de base et les contrôleurs de station de base ce qui est parfois assuré par des liaisons à faisceaux hertziens (FH). Pour une gestion efficace de cette interface radio commune à tous les utilisateurs, de nouvelles technologies ont été créées dans le but de s'adapter aux propriétés des systèmes mobiles, ce sont :

- les méthodes d'accès.
- les méthodes de multiplexage.
- les techniques de localisation optimales.

Toutes ces méthodes ont été donc déployées offrant au GSM une couverture quasi mondiale et donnant naissance à une économie de l'information et des télécommunications dont le marché est disputé par plusieurs opérateurs ou chacun d'eux cherche à réaliser un plus grand chiffre d'affaire, mais tous soumis à une condition sine qua non concurrentielle qui est de pouvoir assurer en permanence une bonne qualité de service aux abonnés. Pour répondre à cette condition, l'opérateur doit optimiser son réseau notamment l'interface radio et ce pour améliorer ces performances. Sur cette interface l'accessibilité du mobile au réseau, sa retenue tout au long de sa communication et l'intégrité de la qualité du signal doivent être tous optimaux et ce pour permettre à l'abonné d'effectuer ses appels avec netteté et sans aucune coupure en dépit de sa mobilité. Pour atteindre cet objectif, on doit disposer d'un potentiel humain qualifié et un matériel spécifique pour pouvoir cerner tout ce qui se passe dans l'air lorsqu'on effectue une communication téléphonique mobile.

Les opérateurs et les ingénieurs de réseaux sont toujours en quête de nouvelles solutions logicielles et matérielles pour le contrôle et l'optimisation des réseaux cellulaires. Ainsi, plusieurs produits plus ou moins puissants sont présents sur le marché. Parmi eux nous citons le logiciel TEMS utilisé lors du drive test qui sert notamment à collecter les informations directement de l'interface radio. Le TEMS traite et exploite les informations afin d'améliorer les performances des réseaux téléphoniques.

Pour réaliser notre travail, nous avons divisé notre mémoire en quatre chapitres.

Le premier chapitre aborde les notions de bases et les définitions du réseau GSM ou on présente principalement ses différents équipements ainsi ses modes d'accès.

Le deuxième chapitre s'intéresse aux différents traitements liés au signal de parole avant sa transmission sur le lien radio, qui est tout le temps sujet aux pertes, obstacles, bruit et interférences

Le troisième chapitre décrit les types et les fonctions des stations de base.

Dans le quatrième chapitre nous décrivons le logiciel que nous avons manipulé et l'outil drive test utilisé pour l'optimisation radio. Nous avons ensuite illustré le drive test en présentant celui effectué à Boufhama et celui du centre ville de Tizi-Ouzou durant notre stage au sein de l'entreprise Mobilis. Enfin nous terminons notre mémoire par une conclusion générale ainsi par des perspectives.

Chapitre I



Généralités sur le réseau GSM

I-Introduction

Le GSM, ou Global System for mobile Communications, premier système de téléphonie mobile efficace, économique et universel répondant aux exigences d'interconnexion et de mobilité du monde contemporain. Il a été rapidement adopté par les utilisateurs ces dix dernières années. Pour ce maintenir à la hauteur de ce succès tout en participant à la convergence des mondes de l'informatique et des télécommunications dont notre époque est le témoin, le GSM évolue constamment.

Le réseau de mobile peut donc se définir, par la fourniture à l'utilisateur des services lui permettant de se déplacer à travers le réseau tout en conservant un même numéro et lui proposant un accès sans fil à l'information. Cette diversité n'est possible que par l'entremise d'une architecture spécifique comportant des éléments originaux au regard des réseaux fixes.

Pour gérer les spécificités des communications avec les mobiles, le GSM a introduit des équipements spécifiques n'existant pas dans les réseaux téléphoniques fixes classiques.

II-Le déploiement cellulaire

C'est le concept de base de radio téléphone. La liaison du mobile et le réseau doit être de qualité suffisante, ce qui nécessite la mise en place d'un ensemble de stations de base (BTS) sur l'ensemble du territoire que l'on souhaite couvrir, de telle sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles [7]. Son principe consiste à diviser une région en unités géographiques appelées cellules desservies par un relais radioélectrique (BTS) émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines. Le nombre de fréquences accordé au réseau GSM est restreint, l'opérateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telles sortes que deux communications ne se brouillent pas.

La cellule est sous forme d'hexagone d'une forme régulière qui ressemble le plus au cercle et que l'on peut juxtaposer sans laisser de zones vides. [7] Toutefois la réalité du terrain est bien différente de ce modèle théorique notamment en zones urbaines ou de nombreux obstacles empêchent une propagation linéaire.

Dans les réseaux de la première génération de radiotéléphone il y a qu'une cellule de très grande dimension. Par contre dans le réseau de la seconde génération il y a plusieurs cellules, pour chacune il y a une station de base. [1] C'est un émetteur récepteur qui interconnecte le réseau mobile avec le réseau filaire.

La figure 1 représente ce concept Cellulaire.

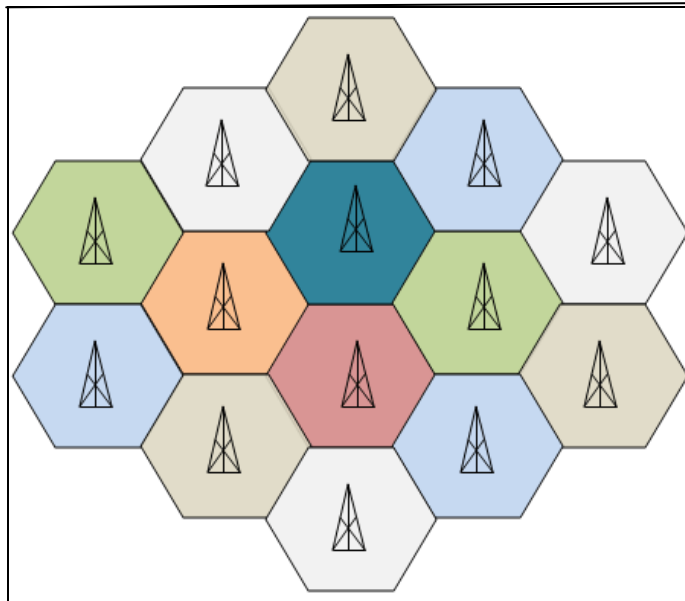
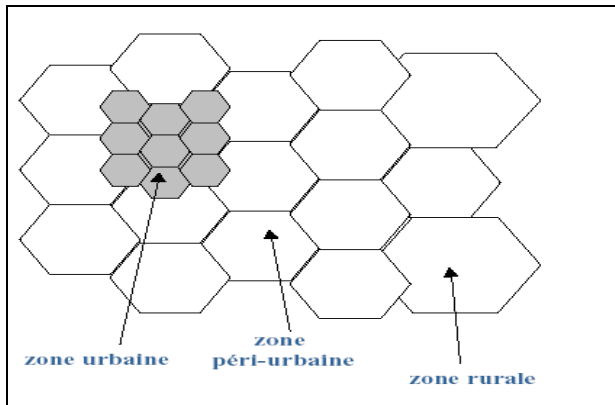


Fig. I.1 : Configuration Cellulaire.

La taille d'une cellule varie en fonction d'un ensemble de contraintes parmi lesquelles on trouve : Le relief du territoire (plaine, montagne), la localisation (urbaine, rurale, suburbaine), la densité d'abonnés, la nature des constructions (maisons, pavillons, tours). On peut ainsi distinguer plusieurs types de cellules :

- **Les macros cellules** : Ce sont des cellules de taille importantes allant jusqu'à 35Kms adaptées aux zones rurales faiblement peuplées. Vu leur taille, les émetteurs doivent fournir des puissances très élevées.
- **Les micros cellules** : sont adaptées aux zones urbaines denses. Ce sont des cellules de petites tailles, leur rayon est de quelques centaines de mètres. Elles permettent d'écouler un trafic important par unité de surface.
- **Les picos cellules** : Ce sont des cellules de très petites tailles .Leur rayons est de quelques dizaines de mètres. Elles sont adaptées pour la propagation à l'intérieur des bâtiments, les galeries marchandes, les gares.

La figure 2 illustre les différents types de cellules.



Macro cellules (zone rurale) $d_{max} = 35\text{km}$
Microcellules (zone péri urbaine) $d_{moye} = 500\text{ m}$
Pico cellules (zone urbaine) $d_{max} = 100\text{m}$

Fig. I. 2 : Macro cellules, microcellules, pico cellules.

Il serait extrêmement coûteux pour un opérateur d'assurer une couverture continue d'une ville seulement avec des microcellules. L'opérateur garde une couverture avec des cellules classiques (antennes au dessus des toits) et placé des microcellules aux seuls endroits nécessaires. Le réseau comporte alors deux couches (micro cellulaire et macro cellulaire) ; il est appelé réseau hiérarchique ou Hierarchical Cell Structures (HCS). Les couches hautes sont utilisées pour les cellules larges et les couches basses pour les cellules de taille réduite. Les cellules larges fonctionnent comme parapluies pour les cellules de taille moyenne. [21] En outre, les microcellules peuvent être ajoutées dans le réseau cellulaire afin d'avoir une bonne capacité de couverture.

En effet, un abonné qui traverse de très petites cellules engendre un nombre important de Handover ; afin de résoudre ce problème, le concept de cellules parapluies a été introduit. La cellule parapluie couvre plusieurs autres cellules, sa puissance est plus élevée. Les fréquences de la cellule parapluie sont différentes de celles utilisées dans les micros cellules couvertes. Quand la vitesse du mobile est très élevée, le mobile est transféré sur la cellule parapluie pour y rester le plus longtemps possible, cela réduira le nombre de Handover aussi le trafic interne du réseau. Le nombre élevé de demandes de handover et les caractéristiques de propagation des signaux peuvent aider à détecter la vitesse de déplacement. La figure 3 illustre le principe de cette structure cellulaire hiérarchique.

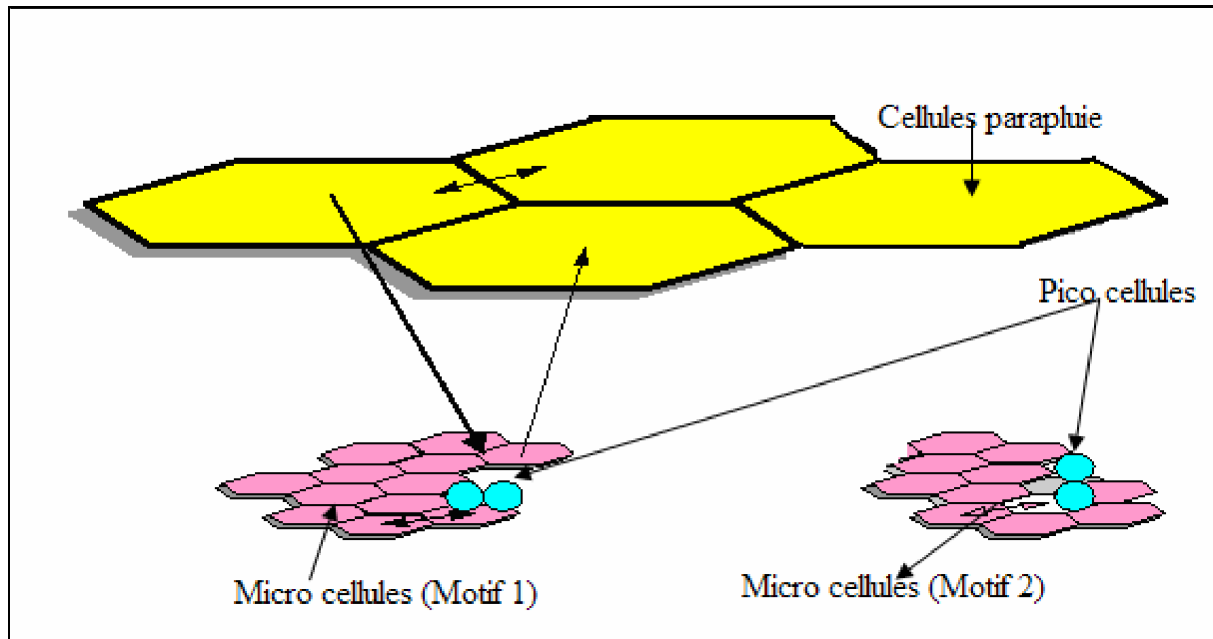


Fig. I. 3: Modèle d'un réseau hiérarchique.

La division cellulaire a pour but :

- Garantir l'itinérance : le réseau GSM doit reconnaître à tout instant la localisation de l'abonné. C'est ce qu'on appelle : gestion d'itinérance ou roaming. Le numéro du terminal devient du point de vue réseau fixe et il correspond à une adresse physique qui varie.
- Garantir la mobilité : par des procédures automatiques dites de transfert ou de handover, la communication doit être maintenue au cours de déplacement du mobile.

Les ondes radioélectriques sont aujourd'hui le seul moyen que l'on ait trouvé pour rendre possible les communications mobiles. Malheureusement, le spectre radioélectrique est une ressource limitée, déjà largement sollicitée par ailleurs. Le concept de motif cellulaire a donc été introduit pour permettre la réutilisation d'une même fréquence dans des endroits différents. Le principe de la réutilisation des fréquences repose sur l'atténuation que subissent les ondes radio lorsqu'elles se propagent dans l'atmosphère. Lorsqu'on se trouve assez loin d'un émetteur, le signal envoyé par celui-ci est très faible, on peut alors utiliser la même fréquence que l'émetteur lointain sans crainte d'interférences, le signal local étant beaucoup plus puissant que le signal lointain. Le GSM utilise donc un réseau maillé, formé d'émetteurs disséminés sur la zone à couvrir. Deux émetteurs voisins utilisent des fréquences différentes, mais des émetteurs éloignés réutilisent les mêmes fréquences selon le principe énoncé plus haut. On réunit un certain nombre de cellules qui utilisent des fréquences différentes pour former un motif. On répète alors ce motif pour couvrir tout

le territoire permettant ainsi à partir d'un nombre de fréquences limité de mettre en place un grand nombre d'émetteurs.

Ce concept permet d'exploiter efficacement les ressources allouées au système. Une même fréquence peut être réutilisée dans les cellules qui ne sont pas adjacentes et aussi pouvoir couvrir tout le territoire voulu. Il faut prendre en considération la possibilité de localiser le mobile et connaître sa cellule et gérer automatiquement son Handover pour qu'il puisse continuer sa communication lorsqu'il change de cellule.

Un motif (cluster) est le regroupement de plusieurs cellules de différentes fréquences, on retrouve des blocs à 3, 4, 7, 12 cellules [7]. La figure 4 représente un format de cluster à 7 cellules.

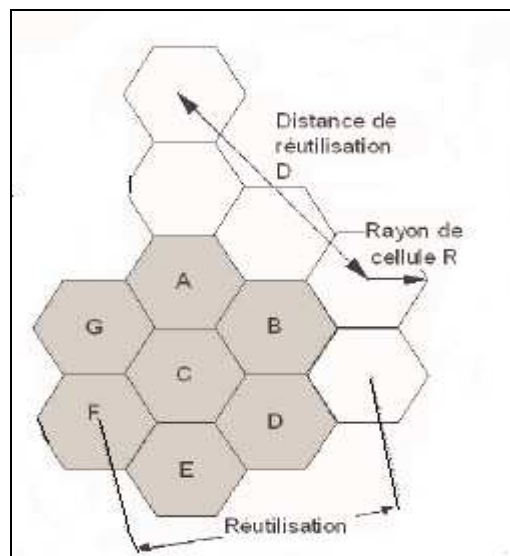


Fig. I. 4 : cluster à 7 cellules.

III- Itinérance et Handover

III-1-Itinérance

L'itinérance c'est d'offrir à l'abonné la possibilité d'appeler et d'être appelé en tout point du territoire couvert. La gestion de l'itinérance consiste à localiser le mobile, pouvoir connaître sa position à tout moment par le système, la possibilité de le joindre et lui lancer des signalisations pour le rechercher dans les cellules où le système l'a déjà localisé [19]. Dans les systèmes de la première génération la gestion d'itinérance n'est pas assurée. Des zones de localisations ont été définies, elles regroupent un certain nombre de cellules.

Le système peut connaître la zone de localisation précise de l'abonné mais ignore sa cellule précise. Quand un abonné reçoit un appel le système émet un avis de recherche dans les cellules de cette zone et donc la consommation des ressources sont réduites. [4]

III-2-Le Handover :

Pendant une communication, le terminal est en liaison radio avec une station de base déterminée. Lors du déplacement de l'utilisateur, il est souhaitable d'assurer la continuité de cette communication même avec le changement de station de base c'est ce qu'on appelle le transfert intercellulaire ou Handover. Ce lui-ci est nécessaire dans les cas suivants :

- La station mobile quitte une cellule et entre dans une autre cellule, la nécessité du Handover est déterminé par la qualité de transmission on parle ici de RUSCUE Handover.
- La cellule présente des interférences, il est souhaitable que la station mobile change de cellule. C'est ce qu'on appelle confinement handover.
- Le nombre de station mobile est trop important pour la cellule contrairement aux autres cellules voisines qui peuvent accueillir de nouvelle station mobile. On parle ici de trafic handover. [1]

III-3-Les types de handover

- handover intra-BSC : un nouveau canal est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par un même BSC.
- handover intra –MSC : un nouveau canal est attribué à la MS dans la même cellule gérée par un autre BSC, lui-même étant géré par la même MSC.
- handover inter –MSC : un nouveau canal est attribué à la station mobile dans une cellule qui est gérée par un autre MSC.
- handover inter système : un autre canal est attribué à la station mobile dans un autre réseau mobile que ce lui qui est en charge de la station mobile.

IV- L'architecture du réseau GSM

Pour gérer les spécificités des communications avec les mobiles, de nouveaux équipements ont été introduits par rapport au RTCP et plus généralement toutes les fonctions relatives à la gestion des utilisateurs mobiles ont été regroupés dans un type de réseau particulier appelé PLMN (Public Land Mobile Network), comme l'indique la figure 5.

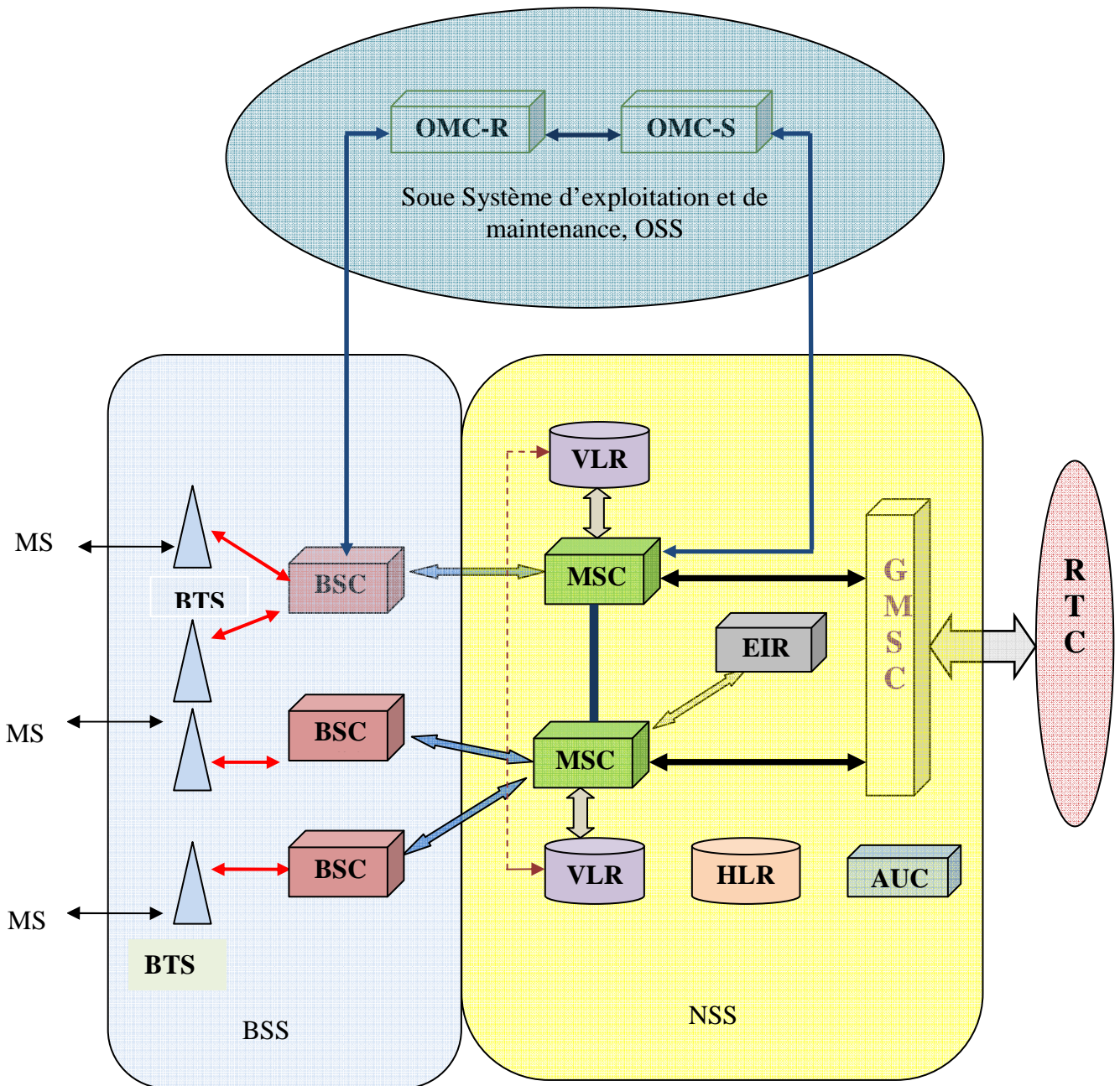


Fig. I. 5 : Architecture du GSM.

Le réseau GSM est caractérisé par ses équipements qui sont partagés en quatre sous groupes qui sont :

- La station mobile : **MS**
- Le sous système radio : **BSS**
- Le sous système réseau : **NSS**
- Le sous système d'exploitation et de maintenance : **OSS**

IV-1-La station mobile (MS)

Une station mobile ou MS est composée d'un équipement mobile ME (terminal GSM) et d'une petite carte possédant une mémoire, micro processeur. Elle sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal utilisé. Cette carte est appelée module d'identité de l'abonné (subscriber identity mobile, carte SIM). Il est donc possible de continuer à émettre et recevoir des appels tout en utilisant ces services simplement grâce à l'insertion de la carte SIM dans un terminal quelconque.

➤ L'équipement mobile ME

L'équipement mobile est identifié à l'intérieur de n'importe quel réseau GSM par l'international mobile équipement identity (**IMEI**). [3]

Les terminaux GSM sont dévissés en cinq classes. Leur appartenance à une classe est déterminée en fonction de leur puissance maximale de transmission sur le canal radio ; celle-ci varie entre 0,8 et 20 watt. La puissance de la station mobile détermine sa capacité à s'éloigner des stations de base tout en continuant à utiliser le service, une particularité des stations mobiles réside dans leur capacité à changer la puissance d'émission du signal.

L'augmentation ou la diminution de la puissance du signal est transmise à la station mobile par le système radio faisant de façon constante la surveillance de la qualité de la communication.

➤ Module d'identité de l'abonné carte SIM :

La carte SIM contient toutes les informations nécessaires aux opérations du réseau GSM. Ces informations peuvent être rattachées à l'abonné mobile ou aux services de son opérateur. Elle contient les informations suivantes :

- **L'IMSI (international mobile subscriber identity)** : n'est connu qu'à l'intérieur du réseau GSM. Cette identité doit rester secrète autant que possible, aussi GSM a recours au TMSI. C'est un numéro qui sert à identifier l'abonné dans n'importe quel réseau GSM.

-Le **TMSI (temporary mobile subscriber identity)** : est une identité temporaire utilisée pour identifier le mobile lors des Interactions station mobile/réseau.

- Le **MSISDN (mobile station ISDN number)** : est le numéro de l'abonné, c'est le seul identifiant de l'abonné mobile connu à l'extérieur du réseau GSM.

- Le **MSRN (Mobile Station Roaming Number)** : est un numéro attribué lors de l'établissement d'appel. Sa principale fonction est l'acheminement des appels par les commutateurs (MSC et GMSC)

- Le **PIN Numéro d'identification personnel (personal identity number)** : c'est un numéro à 4 chiffres utilisé par l'abonné comme mot de passe qu'il composera à chaque mise sous tension du mobile pour y accéder à son abonnement. A noter que le code PIN peut être librement activé ou non par l'abonné et l'introduction 3 fois de suite d'un code PIN erroné bloquera la carte SIM.
- Le **PUK La clé de déblocage personnelle (Personal Unlocked Key) PUK** : c'est un numéro à 8 chiffres qu'on utilise dans le cas où une carte SIM sera bloquée. A noter que l'introduction d'un code PUK erroné bloquera définitivement la carte SIM.
- Le numéro de téléphone de l'abonné.
- L'état de la carte SIM
- Le code de l'opérateur
- La clé d'authentification **Ki**
- La clé de chiffrement **Kc**
- L'algorithme de chiffrement A8 ainsi que celui d'authentification A3
- Des mémoires : pour stocker un répertoire de numéros de téléphones et les noms correspondants (en général 200) ainsi que les messages textes reçus.
- La table de service SIM : indique le service optionnel autorisé par l'abonnement est activé par l'abonné (FAX, SMS, le transfert d'appels, la messagerie vocale.....).

IV-2- Le sous système radio (BSS)

Le sous système radio est l'ensemble des constituants radios qui gèrent l'échange et la transmission des données par voie hertzienne. Il est constitué de:

IV-2-1 La station de base (BTS)

Chaque cellule d'un réseau est constituée d'une BTS qui assure la couverture radioélectrique. Elle assure la transmission des appels à ses abonnés. La BTS gère simultanément huit (08) communications grâce au multiplexage TDMA. Elle mesure les interférences sur les canaux non alloués à des communications, calcul du timing advanced pour la synchronisation temporelle selon la distance qui sépare le mobile de la station de base, aussi la détection des demandes d'accès du mobile reçues sur le canal de contrôle commun.

IV-2-2 Contrôleur de Station de Base (BSC)

Un contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base, il communique avec elles via l'interface A-bis. Il remplit les fonctions d'émission de communication et d'exploitation.

C'est l'organe intelligent du sous système radio, c'est un Concentrateur pour le trafic issu de l'abonné venant des stations de base et un aiguilleur pour le trafic venant du commutateur vers la station de base destinatrice.

Le contrôleur est un relais pour les alarmes et les statistiques issues des stations de base destinées au centre d'exploitation et de maintenance. Il est une banque de données pour la version logicielle et les données de configuration téléchargées par l'exploiteur dans les stations de base.

Le contrôleur affecte à chaque station de base (BTS) une fréquence radio et l'allocation des canaux. Il prend également le transfert inter cellulaire lorsqu'un mobile entre dans une autre cellule. Il va communiquer les informations nécessaires à la BTS de la nouvelle cellule, il avise son HLR.[18]

IV-3-Le sous système réseau (NSS)

Le sous-système réseau joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement des connexions. Il assure essentiellement les fonctions de commutation. Le NSS assure l'accès au réseau RTCP et RNIS on y retrouve aussi les fonctions de gestion de la mobilité et de la sécurité, ainsi que la confidentialité implantée dans le réseau GSM. Le NSS comprend les parties suivantes :

IV-3-1 Centre de commutation mobile (MSC)

Le MSC est l'élément central du NSS. Ces éléments prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et l'analyse des contenus dans des bases de données nécessaire à l'établissement des connexions.

Le commutateur MSC assure l'interconnexion du réseau GSM et le réseau téléphonique public. Le commutateur est un nœud qui donne accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification. Il participe à la gestion de la mobilité des abonnés donc à leur localisation dans le réseau. Il fournit aussi tous les services offerts par le réseau. On distingue deux types d'appels avec le MSC :

Mobile –mobile : c'est le MSC qui établit la liaison.

Mobile –réseau fixe RTC il doit posséder une fonction passerelle GMSC (Gateway MSC) qui est activé à chaque appel de l'abonné mobile vers un abonné fixe ou un abonné d'un autre réseau.

IV-3-2 L'enregistreur de localisation nominal (HLR)

Il enregistre toutes les coordonnées d'un abonné soit statiques (carte SIM), ou dynamiques (localisation,...). C'est une base de donnée qui contient l'identité internationale de l'abonné, le numéro d'appel, les services supplémentaires autorisés et mémorise pour chaque abonné le numéro du VLR ou il est enregistré.

IV-3-3 Centre d'authentification (AUC)

L'AUC est une base de données qui stocke les informations confidentielles. Pour accéder à cette base de données, il faut fournir un mot de passe. L'AUC contrôle les droits d'usage possédés pour chacun des abonnés sur les services du réseau. Il fournit les clés d'authentification et de cryptage nécessaire pour l'identification de l'abonné et assurer la confidentialité des conversations. Un AUC est généralement associé à chaque HLR.

IV-3-4 Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Le VLR est une base de données associée à un commutateur MSC, sa mission est d'enregistrer les informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau. Le VLR doit connaître à chaque instant la localisation de ses abonnés présents. A chaque changement de cellule d'un abonné, le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné.

IV-3-5 Registre d'identité de l'abonné (EIR)

L'EIR est une base de données qui contient les informations relatives aux terminaux pour empêcher l'utilisation frauduleuse d'appareils mobiles non reconnus par le réseau. Chaque mobile possède son propre numéro d'identification désigné par l'identité internationale d'équipement de station mobile qui peut être vérifiée dans des listes de stations mobile autorisées par le réseau.

IV-4 Le sous système d'exploitation et de maintenance (OSS)

Ce sous système assure le bon fonctionnement du réseau grâce à ses fonctions de contrôle d'administration, la gestion ainsi la maintenance de tous les équipements du réseau, aussi la détection des pannes afin d'offrir aux usagers un certain niveau de qualité. On distingue :

IV-4-1 Le système d'exploitation et de maintenance (OMC) [7]

OMC est l'entité de gestion et d'exploitation du réseau. Elle regroupe la gestion administrative des abonnés et la gestion technique des équipements. L'OMC assure les tâches suivantes :

- Contrôler la qualité du service fourni par le réseau.
- Commander et contrôler les autres entités du réseau.
- Assurer la cohérence des bases de données dans les autres entités.
- Assurer la maîtrise des modifications du système en ce qui concerne les versions de logiciels et les bases de données de configuration dans les entités du réseau.

IV-4-2 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.

V- Gestion de la sécurité dans le GSM

La sécurité dans un réseau téléphonique est le problème majeur qu'il faut résoudre pour protéger l'opérateur et l'abonné dans le réseau GSM. Il gère le problème de sécurité par :

- confidentialité de l'identité de l'abonné
- L'authentification de l'identité de l'abonné
- Le chiffrement : la confidentialité des données

V-1-confidentialité de l'identité de l'abonné IMSI

Il s'agit d'éviter l'interception de l'IMSI lors de son transfert sur la voie radio par des entités non autorisées. Ainsi, il est difficile de suivre un abonné mobile en interceptant les messages de signalisation échangés. Le meilleur moyen d'éviter l'interception de l'IMSI est de le transmettre le plus rarement possible. Le réseau GSM à recours au TMSI et c'est le réseau qui gère les bases de données et établit la correspondance entre IMSI et TMSI. En général le IMSI est transmis lors de la mise sous tension du mobile et ensuite les TMSI successives du mobile seront transmises, ce n'est quand cas de perte de TMSI ou lorsque le VLR courant ne le reconnaît pas après une panne par exemple que le IMSI peut être transmis. L'allocation d'une nouvelle TMSI est faite au minimum à chaque changement du VLR et suivant le choix de l'opérateur à chaque intervention du mobile. Son envoi à la station mobile à lieu en mode chiffré.

V-2-Principe général d'authentification et de chiffrement

L'authentification et le chiffrement des informations à transmettre par GSM sont assurés grâce au nombre aléatoire RAND et la clé K_i spécifique à chaque abonnée, avec l'utilisation des algorithmes.

- L'algorithme A_3 , permet d'obtenir un nombre SRES au niveau du HLR, AUC et MS.
- L'algorithme A_8 , permet d'obtenir la clé K_C au niveau du HLR, AUC et MS.
- L'algorithme A_5 et le triplet, SRES et K_C assure le chiffrement.

V-3- Procédure d'authentification (AUC)

L'authentification de l'identité de l'abonné permet de protéger l'opérateur de l'utilisation frauduleuse de ces ressources et l'abonné contre l'utilisation de son compte.

Lors de l'authentification le réseau envoie le RAND à la station mobile, et sa carte SIM calcule le SRES grâce à A_3 et la clé K_i . Le résultat obtenu est envoyé vers le réseau qui sera comparé à celui calculer par se dernier. S'il ya égalité donc l'abonné est authentifié et peut accéder au réseau, sinon l'accès est refusé [1].

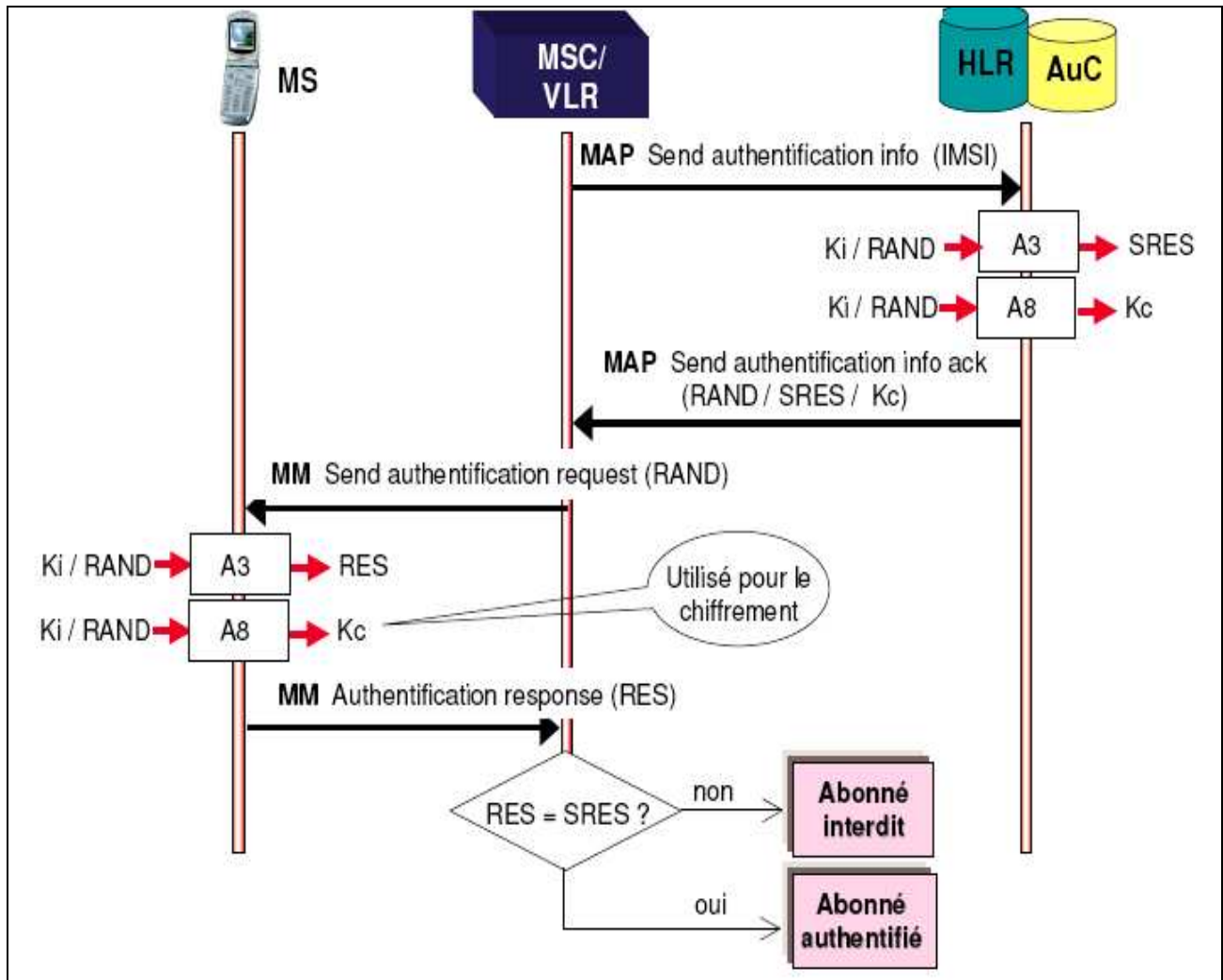


Fig.1.6 Procédure d'authentification. [1]

V-4-Confidentialité des données transmises (chiffrement)

Cette confidentialité permet d'interdire le décodage d'informations des abonnés, elle sert à protéger l'identité de l'abonné IMSI et du terminale IMEI.

Le chiffrement est assuré sur l'interface radio (BTS-MS). Il est obtenu grâce à la clé Kc et l'algorithme A5. Pour l'obtention de la clé Kc le réseau le calcule grâce à RAND et Ki avec l'algorithme A8, la carte SIM du terminal calcule son Kc avec le nombre aléatoire RAND délivré par le réseau et son Ki. Si les deux Kc sont identiques alors la procédure de chiffrement est activée.

[1]

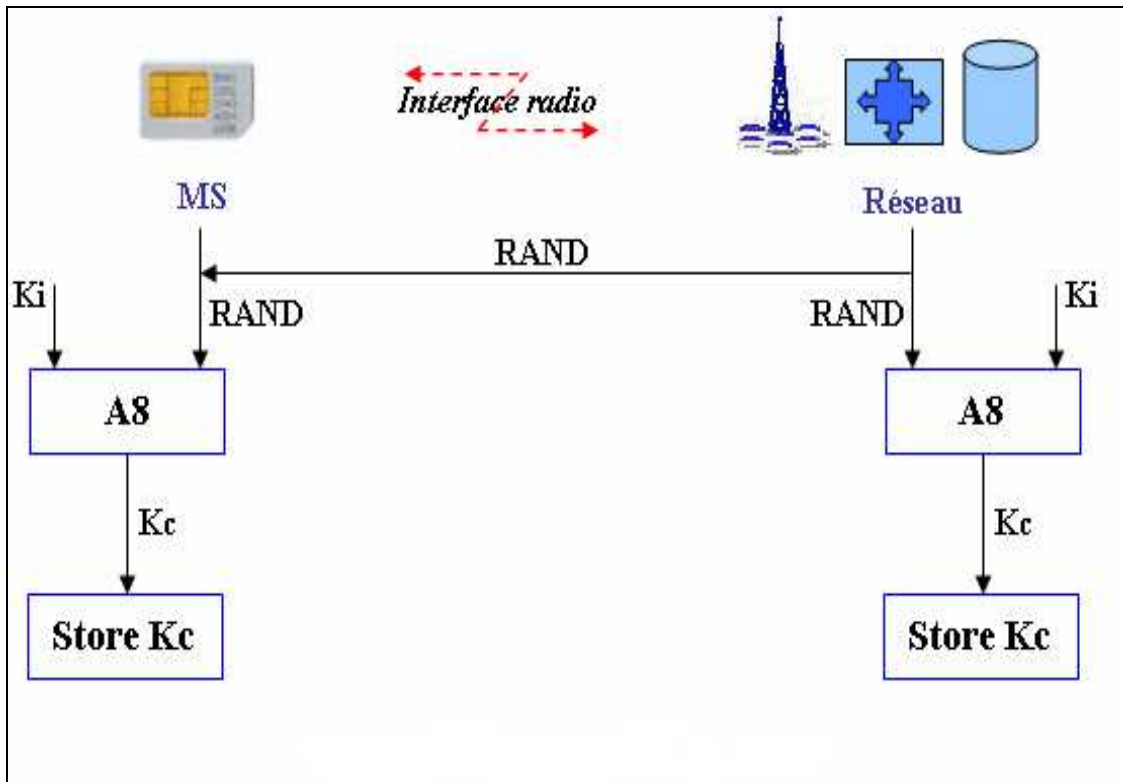


Fig.1.7 Procédure de chiffrement. [1]

VI-Les interfaces du réseau GSM

Les interfaces sont les moyens de communication entre les différentes structures du réseau GSM on retrouve:

- **L’interface Air (Um)**

C’est l’interface radio qui est localisée entre le terminal et la station de base, elle permet à tout mobile de communiquer dans la totalité du réseau GSM.

- **L’interface A-bis**

Elle est définie entre la BTS et la BSC, elle supporte la transmission de communication telle que la voie de trafic et des voix de commande des usagers et de la signalisation et aussi le transport de l’information de synchronisation vers la BTS.[18]

- **L’interface A**

C'est le lien filaire qui relie la BSC avec le sous système réseau, elle véhicule les informations liés à la gestion des ressources radio et les messages échangés entre la MSC et MS, aussi les messages d'administration du BSS peuvent traiter sur l'interface A.[9]

Les équipements du réseau sont reliés par d'autres interfaces tel que : B, C, D, F, H.

• L'interface B

C'est l'interface entre MSC et VLR. Le MSC transfère l'information de localisation de l'abonné vers le VLR.

• L'interface C

C'est l'interface entre MSC et HLR. Quand le MS est demandé, le MSC doit être informé du routage de l'appel à travers cette interface pour localiser le mobile.

• L'interface D

C'est l'interface entre VLR et HLR, elle véhicule l'information de localisation et d'autorisation de l'abonné. Elle permet à un MSC/VLR de dialoguer avec le HLR et tout réseau étranger, sa conformité permet l'itinérance internationale. La figure suivante illustre les différentes interfaces du réseau GSM.

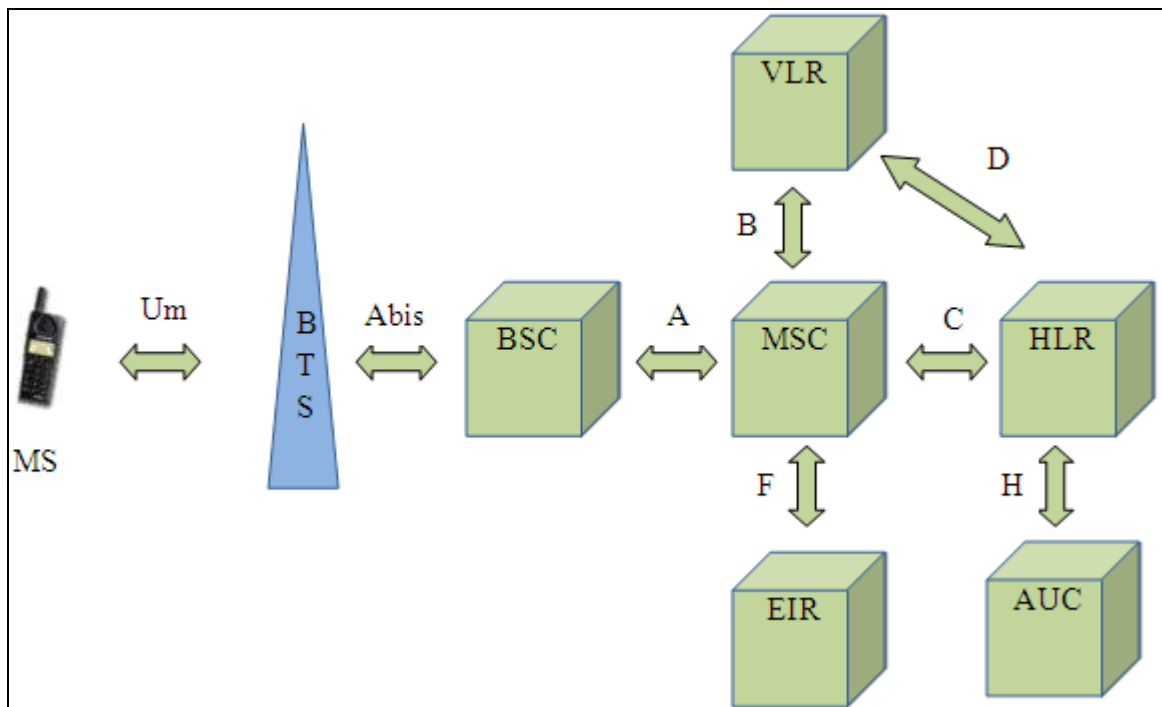


Fig.1.8 Les interfaces du réseau GSM.

VII- La transmission sur l'interface radio :

Elle est caractérisée par les méthodes d'accès et les techniques de transmission de la voix et les données, comme la méthode d'accès multiple (TDMA, FDMA, saut de fréquences).

VII-1-Partage des bandes de fréquences

Les canaux radio sont utilisés pour communiquer dans les deux sens, station mobile et réseau, ils sont décomposés en deux groupes :

VII-1-1 Canaux montants (Up Link)

Se sont des canaux destinées pour les communications des stations mobiles vers la station de base ou ils utilisent la bande 890 Mhz jusqu'à 915Mhz.[18].

VII-1-2Canaux descendants (Down Link)

Se sont des canaux destinées pour les communications des stations de base vers les stations mobiles, ils utilisent la bande 935Mhz à 960Mhz.

La bande de fréquence allouée au réseau GSM est de largeur limitée, donc il faut optimiser le nombre de communication et l'utiliser d'une manière rationnelle. Les porteuses sont séparées d'un écart de 200Khz pour minimiser les 'interférences inter symboles. De cela les 25Mhz de chaque bande sont divisées en 125 canaux dont la première est pour la signalisation pour le GSM 900.

La bande dédiée par l'UIT pour l'extension DCS 1800MHG de GSM est :

1710-1785 pour les canaux montants.

1805-1880 pour les canaux descendants

Si on indique par f_m la fréquence porteuse montante, et f_d la fréquence porteuse descendante on aura alors les valeurs des fréquences porteuses valent : [8]

$$F_m(n) = 890 + 0,2 \cdot (n-1) \text{ [Mhz]}$$

$$F_d(n) = 935 + 0,2 \cdot (n-1) \text{ [Mhz]}$$

ou $1 \leq n \leq 124$ pour GSM

$$F_m(n) = 1710 + 0,2 \cdot (n-1) \text{ [Mhz]}$$

$$F_d(n) = 1805 + 0,2 \cdot (n-1) \text{ [Mhz]}$$

ou $1 \leq n \leq 174$ pour DCS

La table qui suivra résume toutes les spécificités des deux bandes de fréquences GSM.

	GSM 900	GSM 1800	Sens
--	---------	----------	------

Bandes de fréquences (MHZ)	890-915 (↑) 935-960(↓)	1710-1785(↑) 1805-1880(↓)	Voie montante (MS→BTS) Voie descendante (BTS→MS)
Largeur 2×Wsimplex	2×25 Mhz	2×75 Mhz	
Nombre de canaux	125	375	
Largeur des canaux	200 KHz	200 KHz	
Ecart duplex	45 Mhz	95 Mhz	

Table I.1 : Bandes utilisées par les systèmes GSM 900 et DCS 1800.

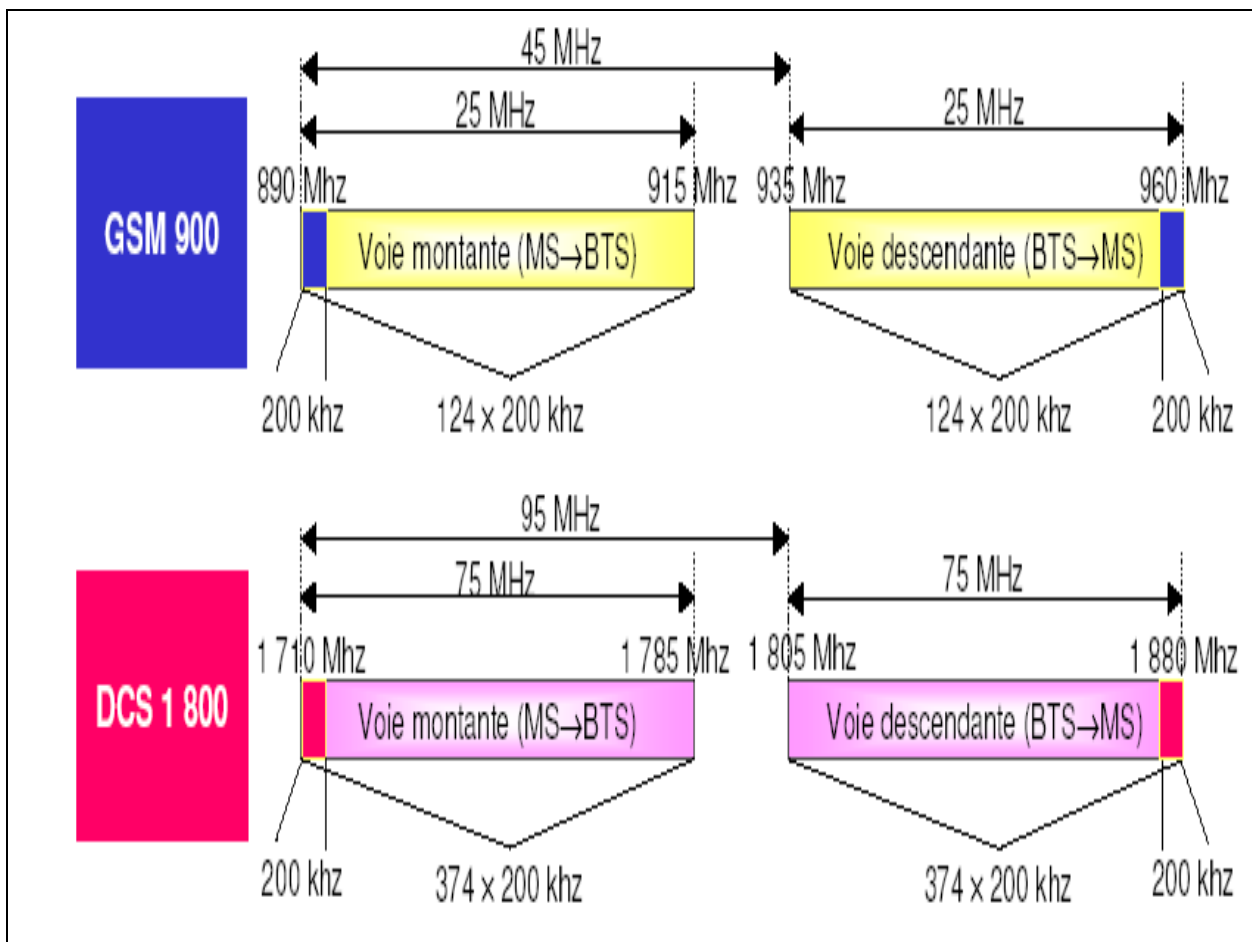


Fig.1.9 Principales bandes de fréquences GSM utilisées dans le monde.

VII-2-Les méthodes d'accès au réseau GSM

La bande radio représente une ressource rare qu'il faut utiliser avec parcimonie. Pour cela le spectre alloué est partagé selon un plan temps/fréquence afin d'obtenir des canaux physiques capables de supporter une communication téléphonique.

VII-2-1 Multiplexage en fréquences FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Cette technique consiste à diviser la bande de fréquence en N canaux de communication. L'allocation des canaux aux utilisateurs peut être fixe ou à la demande, la seconde méthode permet une répartition plus efficace des canaux.

Alors le nombre d'abonnés peut être plus important que le nombre de canaux. La figure ci-dessous représente le partage en fréquence. [9]

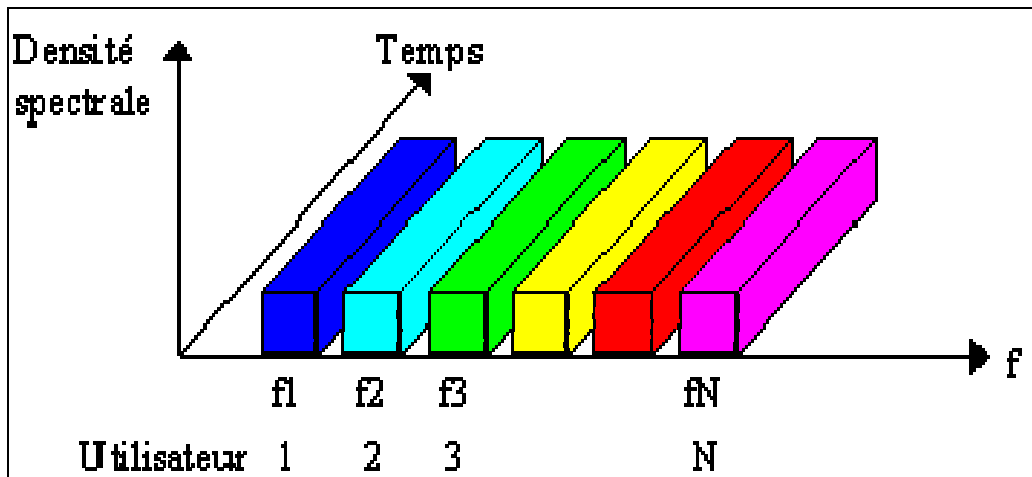


Fig. I.10. Multiplexage en fréquence FDMA

VII-2-2 Multiplexage en temps TDMA

La sensibilité aux perturbations électromagnétiques est l'une des inconvénients de la technique FDMA car une perturbation dans une fréquence particulière aura un taux d'erreur important sur le canal. Pour résoudre ce problème une autre technique est développée c'est la technique TDMA. Le multiplexage en temps TDMA consiste à diviser le canal en N trame celle-ci est divisée en 8 intervalles de temps appelés SLOT de durée 577 μs (cette durée a été fixé pour le GSM à 7500 périodes du signal de referance fourni par un quartz à 13 Mhz.).[9]

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

La durée d'une trame est donnée par :

$$8 \cdot T_{slot} = 8 \cdot 577 = 4,61 \text{ms}.$$

Un mobile GSM en communication n'utilise qu'un time slot donc on peut travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence. Ainsi un slot n'utilise pas deux fois de suite la même fréquence. [20].

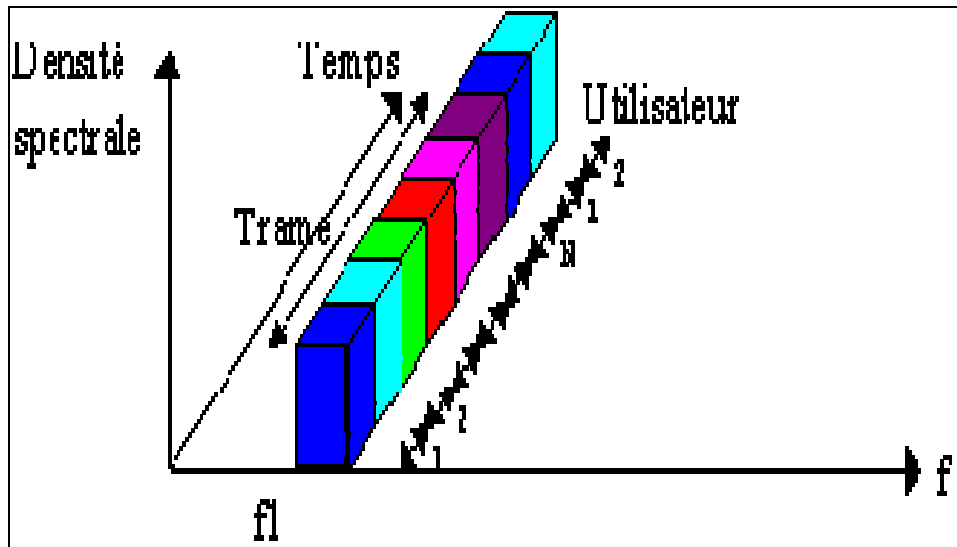


Fig. I.11 La trame TDMA

VII-2-2-1 Organisation des trames

Une trame TDMA est composée de 8 Times slots, sa durée est de 4.6152 ms, on distingue des structures à plusieurs trames :

- Multi trames 26 : Elle associe 26 trames TDMA, donc elle sera de durée $T=26*46152\text{ms}=120\text{ms}$.
- Multi trames 51 : Elle associe 51 trames TDMA, Elle est de durée de $T=51*4.6152\text{ms}=235\text{ ms}$.
- Super trames : Elle associe 26 multi trames 51 ou bien 51 multitrames26, donc elle contient 1326 trames TDMA. Sa durée est de $T=1326*4.6152\text{ms}=6.1198\text{ms}=6.12\text{ms}$.
- Hyper trame : Elle associe 2048 Super trames, donc elle contient 2715648 trames TDMA. Sa durée est de 3 heures et 28 minutes et 259 ms

La figure suivante représente l'organisation des trames :

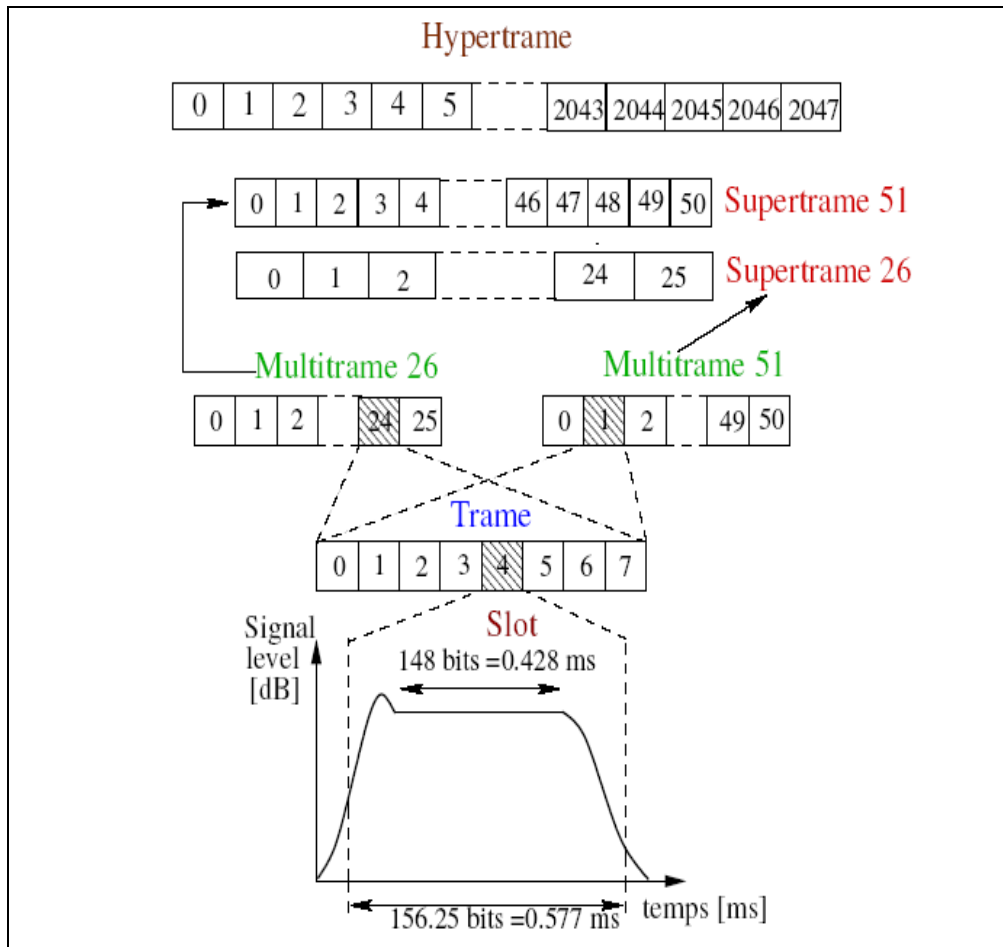


Fig. I.12 Organisation des multi trames.

VII-2-2-2 Constitution d'un slot

Un time slot d'une trame est un ensemble de bits véhiculant l'information qui est appelée burst et un temps de garde servant pour la compensation du temps de propagation.

On distingue plusieurs formats de burst. Le plus couramment utilisé est le format d'un burst normal qui sert au transport de données .Il est constitué de :

- Deux séquences de 58 bits contenant l'information.
- Deux séquences de 3 bits pour la synchronisation.
- Une suite de 26 éléments binaires appelées séquence d'apprentissage qui sert a corrigé les défauts dus aux trajets multiples.

- Une période de garde de 8.25 bits (30.5µs), c'est l'interruption de la transmission entre un burst et un slot.

Notons qu'il existe aussi :

- ✓ Les bursts d'accès, qui sont utilisés lorsqu'un mobile veut se connecter au réseau.
- ✓ Les bursts de synchronisation.
- ✓ Les bursts de correction de fréquence.
- ✓ Les bursts de bourrage, ils sont utilisés lorsque la BTS transmet un signal mais n'a pas d'information à transmettre. Donc a la place des bits de données il possède une séquence fixe ne transportant pas d'information. [1]

La figure 13 représente le format d'un burst normal.

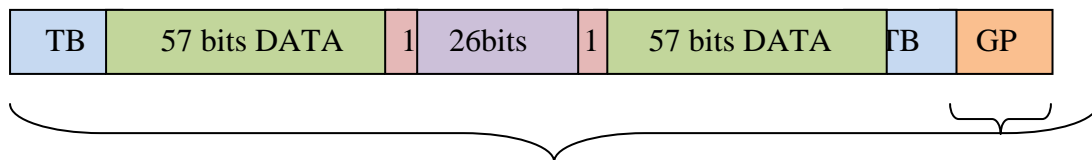


Fig. I.13 format d'un Burst normal

VII-2-3 Le saut de fréquence

La technique TDMA et le saut de fréquence sont les principales méthodes d'accès au réseau GSM qui sont intéressantes pour augmenter la capacité du système. Elles apportent un accroissement des performances. Le saut de fréquence consiste à changer les fréquences attribuées à la BTS. Il peut être périodique ou les N fréquences sont parcourus dans un ordre régulier ou bien pseudo aléatoire. Il lutte contre les évanouissements sélectifs aussi une bonne gestion des interférences.

La figure 14 représente l'implantation du saut de fréquence.

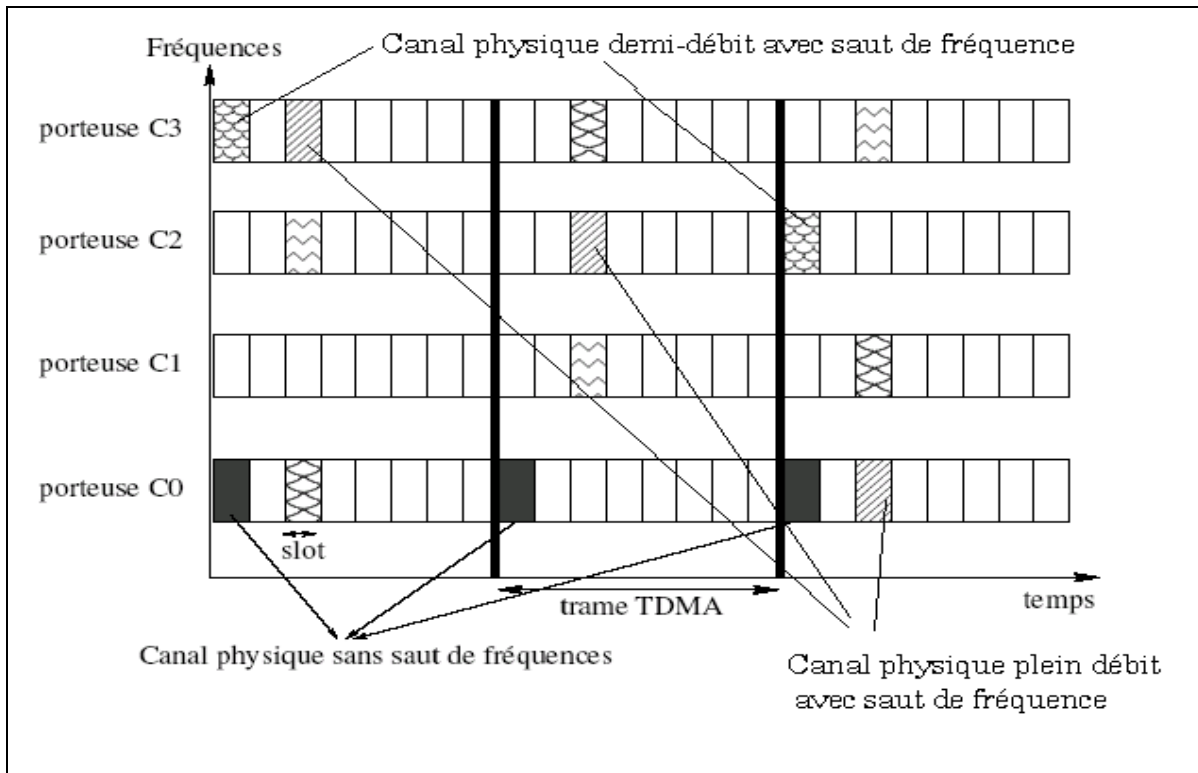


Fig. I.14 Implantation du saut de fréquences.

VIII - Compensation du temps de propagation

Les signaux émis par les stations mobiles utilisant des times slots successifs et se trouvent à des distances différentes par rapport à la BTS, peuvent se chevaucher donc il faut veiller à l'éviter, deux solution sont proposées :

- La première : consiste a augmenté le temps de garde .Elle est utilisée pour des distances petites séparant les deux mobiles de la BTS
- La deuxième : Elle permet au mobile le plus distant d'avancer son time slot d'un temps correspond au temps de propagation aller –retour appelé TA (time Advanced).

La figure ci-dessus illustre la technique de compensation du temps de propagation :

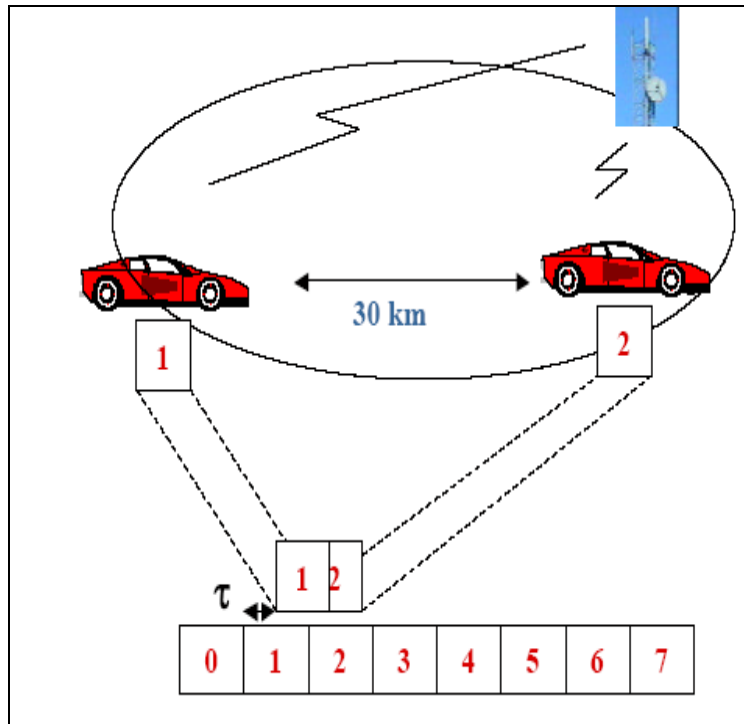


Fig. I.15 Compensation du temps de propagation aller –retour.

IX -Les canaux logiques et physiques

IX-1 Les Canaux physiques

Les canaux physiques correspondent aux moyens physiques qui permettront à l'utilisateur le transfert de données, de voix ou l'acheminement de message de contrôle du réseau. [1] Le canal physique dans le réseau GSM met en œuvre deux techniques de multiplexages : FDMA et TDMA, ce canal sera caractérisé par une fréquence ou une relation temporelle d'allocation d'un time slot sur une paire de fréquences, un slot particulier parmi 8 est alloué à une communication. Cette paire de slot forme un canal physique (duplex) qui forme la base de deux canaux logiques : le premier c'est le TCH qui porte la voix numérisée, le second SACCH qui permet principalement le contrôle des paramètres physiques. Il faut prévoir sur l'interface radio plusieurs fonctions de contrôles.

Le schéma suivant nous donne une représentation d'un canal physique :

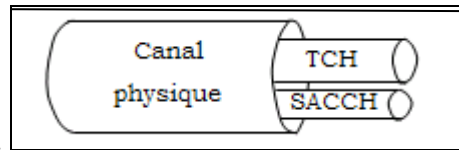


Fig. I. 16 Représentation symbolique d'un canal physique supportant un canal de trafic (TCH) et un canal associé (SACCH).

IX-2 Les Canaux logiques

Les canaux logiques transportent les données des communications ou les informations de signalisation qui s'adressent à la station de base ou à la station mobile. Ils existent deux familles de canaux logiques :

- trafic, pour les données de communication
- Signalisation, pour les données de services entre les équipements.

IX-2-1 Les canaux de trafic

Les canaux de trafic transportent soit la phonie, soit les données. On distingue des canaux à plein débit possédant une capacité de transmission de 13Kbit/s pour la parole, un canal à demi débit de parole de 6,5Kbit/S. Leur utilisation permet de doubler la capacité du réseau.

IX-2-2 Les canaux de signalisation

Se sont des canaux qui transportent la signalisation entre la station mobile et la station de base. Ils sont partagés en canaux dédiés et non dédiés.

- **Les canaux non dédiés**

Se sont des canaux simplex, partagés par un ensemble de mobiles sur la voie descendante. Les données sont diffusées et plusieurs mobiles sont à l'écoute de ce canal. Ces données peuvent concerner le système dans son ensemble. Sur la voie montante leur fonction est l'accès multiple, on a :

1-Canaux de diffusion **BCH** : on distingue

- ✓ Canal de control de diffusion **BCCH** : permet de diffuser des données caractéristique de la cellule, ces informations déterminent :
 - les règles d'accès à la cellule.
 - paramètre de sélection de la cellule.

- Numéro de zones de localisation.
- Les paramètres RACH donnant les règles d'accès aléatoire.
- Indication au mobile des slot à écouter pour détecter les appels diffusés
- Connaissance des fréquences des voies balises des cellules voisines.

Ces informations sont diffusées de la BTS vers la station mobile.

✓ Canal de synchronisation **SCH** :

Il fournit au mobile toutes les informations nécessaires à la synchronisation avec la station de base comme :

-la détermination du timing advance ; la BTS effectue une estimation du temps de propagation aller-retour à partir du RACH émis par le mobile.

-la réception de SCH permet au mobile de calculer le numéro de fréquence de trame dans l'hypérame et de caler sur le slot 0.

✓ Canal de contrôle de fréquences **FCCH** :

Il permet au mobile de se caler sur la fréquence nominale de la station de base, il est présent sur le slot 0 de la trame TDMA il est émis dans les trames 0, 10, 20, 30, 40 d'une multi trame 51, soit 20 fois /s. c'est de la BTS vers la SM

2-Canaux de contrôle commun : **CCCH**

✓ Canal d'allocation **AGCH** :

Il permet l'allocation de ressources ; le message d'allocation contient la description complète du canal de signalisation utilisé ; le numéro de la porteuse et de slot utilisé, le paramètre timing advance. De la BTS vers la SM.

✓ Canal de recherche **PCH** :

L'appel d'une station mobile diffuse l'identité du mobile sur un ensemble de cellules. De la BTS vers SM

✓ Canal à accès aléatoire **RACH** :

La station mobile demande des ressources. De la SM vers BTS

✓ Canal de diffusion d'une cellule **CBCH** :

C'est un canal qui permet de diffuser aux usagers présents dans la cellule des informations spécifiques (informations routières, météo).

• **Les canaux dédiés** :

Ils fournissent une ressource réservée à un mobile ce lui-ci se voit attribué dans une structure de multi trame. Une paire de slots (un en émission, un en réception) dans le quel il est seul à transmettre et recevoir. Les canaux dédiés sont duplex.

✓ Canal associé **FACCH** :

Les signalisations de l'utilisateur au réseau c'est un canal de contrôle rapide, on suspend en cas d'urgence la transmission des informations sur le canal TCH et on récupère la capacité libérée pour la signalisation.

✓ Canal lent **SACCH** :

Il permet la transmission de mesures radioélectriques entre la BTS et SM qui sont:

- compensation du temps de propagation.
- contrôle de la puissance d'émission du mobile.
- contrôle de la qualité du signal

Ce canal est alloué avec un TCH, FACCH ou bien SDCCH. Il ne peut pas exécuter le Handover car il présente un débit faible.

✓ Canaux associés partageant un même canal physique **SDCCH** :

Il est alloué lors de l'établissement de communication et les courts messages avec un SACCH.

Canaux non associés SDCCH qui sont dans des canaux physique séparés : signalisation usager alloué avec un SACCH.

La figure 17 illustre les différents canaux logiques :

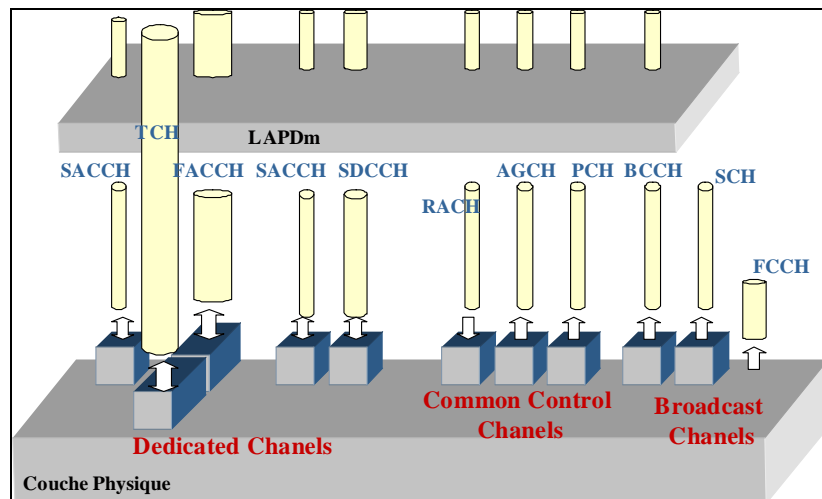


Fig.I.17 Canaux logiques.

XI- Les services offerts par le réseau GSM

Le réseau GSM permet d'offrir un grand nombre de fonction non disponible avec les systèmes analogiques. Les services en GSM sont de trois types : les services support, les télé services et les services supplémentaires.

XI-1-1 Les services support

Le GSM offre à ses abonnés des services supports qui permettent les transferts de données de bout en bout à travers le réseau. Les attributs techniques définissent les services, tels qu'un usager les voit depuis un point d'accès au réseau. Un service support particulier s'identifie par ses attributs. La norme définit trois catégories d'attributs :

- Les attributs de transfert d'information : Ces attributs caractérisent les possibilités de transfert d'informations d'un réseau depuis un point d'origine vers un ou plusieurs destinataires.
- Les attributs d'accès : ces attributs définissent les moyens d'accéder aux fonctions et aux services supplémentaires d'un réseau (Canal et débit d'accès, Protocole d'accès pour l'information, la signalisation) .
- Les attributs généraux : ces attributs concernent l'ensemble des services supplémentaires (Qualité de service, Possibilité d'interfonctionnement).

XI-2- Les télé services

Les télé services sont les applications opérationnelles offertes par le réseau à ses abonnés. Ces derniers utilisent les possibilités offertes par les services supports. Ils permettent la transmission d'informations d'usager à usager, dans le cadre d'une application. La téléphonie est le service le plus important des télé-services. Elle permet les types de communications suivantes :

- communications entre deux postes mobiles,
- communications entre un poste mobile et un poste fixe à travers un nombre quelconque de réseaux. [21]

XI .3 Les services Supplémentaires

Les services supplémentaires permettent une amélioration des télé services et des services support. Ils sont de deux types : essentiels (ceux nécessaires et doivent être présents dans tous les

PLMN) et additionnels tel que le double appel, l'appel en conférence, la restriction d'appels, etc. [21]

XII-L'évolution du GSM :

Les réseaux GSM sont basés sur la commutation de circuit, ce mode de transmission est adapté au transport de la voix. Les opérateurs GSM souhaitent de proposer des services de données de meilleur qualité c'est pour cette raison que L'ETSI recommande la transmission par paquet c'est la nouvelle technologie appelé GPRS qui offre un débit de 170kbit/s. Il vient par la suite l'EDGE qui le réseau de transition entre GPRS et UMTS qui offre un débit de 470kbit/s .

L'ETSI recommande l'UMTS qui permet un accès à INTERNET de 384kbit/S à 2Mbit/s, qui utilise la technique CDMA (aux états unis) et WCDMA(en Europe et au japon)

UIT définit un autre service universel de communication c'est le IMT 2000 possède une mobilité des usagers sur une bande de 2 GHZ.

XIII- Conclusion :

LE GSM a donc, en grande partie, une architecture filaire mis à part la partie reliant le mobile à la BTS qui est une interface air.

Cette interface est unique aux communications sans fil et c'est elle qui est responsable en premier lieu de la complexité liée aux réseaux sans fils et au téléphone mobile, ce qui fait que la majeure partie des opérations d'optimisation des liens avec l'abonné et d'entretien du réseau porte sur le lien radio dont nous allons voir toutes les spécificités, au chapitre suivant.

Chapitre II

**Etude de la
transmission sur
l'interface radio**

I-Introduction

L'interface radio est appelée aussi Um, elle permet de relier la station mobile au réseau. Elle est le maillon faible de la chaîne de transmission car elle est soumise à divers problèmes tels que les interférences, l'évanouissement du signal, etc. Pour la renforcer diverses techniques ont été appliquées comme le multiplexage, la modulation, ...pour bien rattacher le mobile à sa station de base favorable. Ce lien est le médium de transmission radio commun à tous les utilisateurs [1].

II-La chaîne de transmission :

La chaîne de transmission qui correspond à la transmission du signal de parole est décrite sur la figure 1. Elle est riche en fonctionnalités (codage de parole, codage de canal, chiffrement).

La transmission d'une source d'information sur un canal bruité doit mettre en œuvre un codage de source (codage compressif) et de canal (codage protecteur) efficaces. Les techniques cryptographiques permettent d'assurer un service de confidentialité sur un canal de transmission diffusant ou des écoutes indiscretes peuvent être facilement entreprises. Les concepteurs de GSM ont introduit ces fonctions et les ont adaptés aux radio mobiles.[1]

La transmission utilisée dans le réseau GSM est numérique. Elle offre la possibilité d'ajouter des informations de redondance qui fournissent un moyen de détecter les alternations que subit le signal durant sa transmission, d'une autre façon corriger ses défauts. [2]

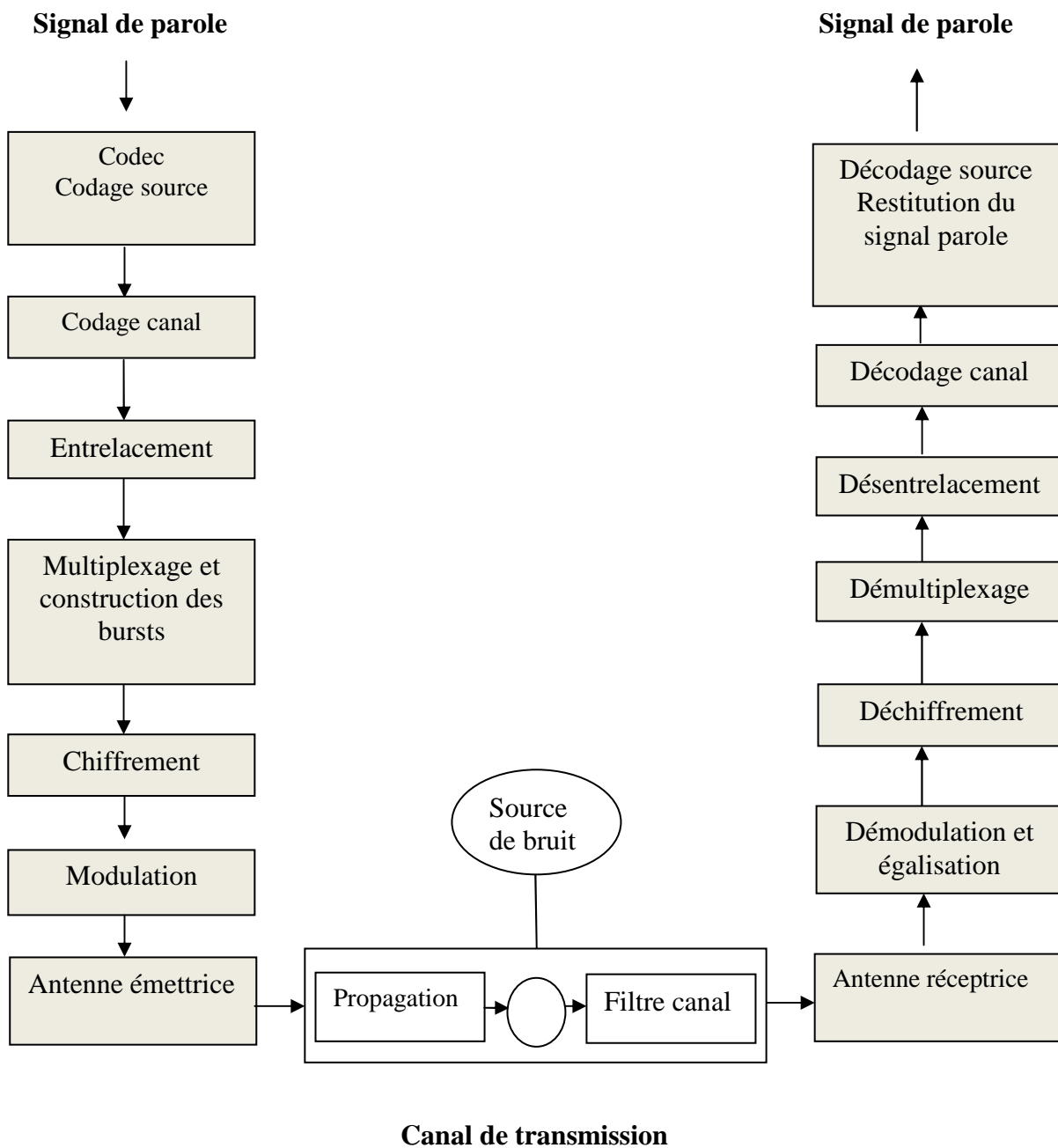


Fig. II.1. La Chaine de Transmission.

• **Source d'information**

Le signal analogique de parole dans la téléphonie peut être vu comme une fonction de temps avec un spectre limité à la bande [300Hz-3400Hz], est découpé en intervalles jointifs de durée 20 ms. Chaque intervalle est numérisé, comprimé (par le codec de parole), protégé (par le codec de canal).

II-1- Codage de source

Avant de transmettre le signal il faut le numériser. Les trois étapes nécessaires pour cette opération sont :

- L'échantillonnage.
- La quantification.
- Le codage.

L'échantillonnage consiste à passer d'un signal à temps continu en une suite discrète de valeurs (valeurs mesurées à intervalles réguliers). [2]. On appelle « période d'échantillonnage » la durée entre la prise de deux échantillons successifs, elle est notée « T_e ». Son inverse est appelée « fréquence d'échantillonnage », elle est notée : $F_e = 1/T_e$.

Dans le cas où on souhaite reconstituer le signal analogique, il faut poser une contrainte dans le choix de 'Te', cette contrainte découle du « théorème d'échantillonnage » ou de « Shannon ». La fréquence $F_e = \frac{1}{T_e}$ doit valoir au moins le double de la fréquence maximale 'Fmax' du signal c'est à dire : $F_e \geq 2 \cdot F_{\max}$.

Les fréquences inférieures à la demi fréquence d'échantillonnage ne seront pas affectées par l'effet de repliement, donc si on souhaite représenter correctement des fréquences jusqu'à 20 kHz, il est nécessaire d'échantillonner le signal à une fréquence supérieure ou égale à 40 kHz. Un filtre appelé « anti-repliement » est disposé en amont de la conversion afin d'éliminer toutes les composantes de fréquences supérieures à la demi fréquence d'échantillonnage $F_c < \frac{1}{2} \cdot F_e$.

La deuxième étape est la quantification. Elle permet de mesurer l'amplitude de l'onde sonore à chaque pas de l'échantillonnage. L'amplitude mesurée du signal est codée sur 'b' bits, donc en 2^b classes. L'approximation de la valeur analogique par une valeur numérique discrète provoque une distorsion du son, dite bruit de quantification. Pour limiter ce bruit on choisit un nombre de classe élevé.

L'erreur relative de quantification vaut en moyenne $(1/2^b)$ tel que b est le nombre de bits utilisé pour le codage des échantillons.

Le codage est la dernière opération pour numériser ce signal. Le RNIS utilise la modulation MIC (Modulation par Impulsion Codée) pour coder la parole avec une fréquence d'échantillonnage de 8 KHZ et une quantification sur 8 bits donc un débit de 64 Kbit/s. GSM n'utilise pas cette

modulation car le débit est trop important pour un canal radio. Il a fallu le réduire à 13 Kbit/s pour un canal plein débit et 6,5 Kbits/s pour un canal demi-débit. Cette diminution est effectuée par un codec qui travaille sur des intervalles jointifs de 20 ms. Ce codage dit par paquet on parle ici de parole paquetées de 260 bit/20 ms qui correspond à un débit de 13 Kbit/s. Notons que le codage de la source (parole) ne protège pas l'information contre les erreurs, c'est le rôle du codage canal.

II-2- Codage canal

Cette étape a pour but de protéger l'information numérisée ou bien les 260 bits. Ce codage consiste à diviser les 260 bits en 3 sous blocs (classes). Prenons en considération la sensibilité des bits aux erreurs :

- **Classe Ia:** elle est composée de 50 bits qui sont très sensibles aux erreurs.

-**Classe Ib :** elle contient 132 bits sensibles aux bruits.

-**Classe II :** elle contient 78 bits, elle est moins sensible aux erreurs.

La protection de ces bits est traitée de la manière suivante :

Les bits de la classe **Ia** sont protégés par un CRC (cyclique redondant check) qui est un code cyclique utilisé pour détecter les erreurs non corrigées au récepteur, il est de 3 bits. Si une erreur se présente à ce niveau, toute la trame est abandonnée, il faut exploiter la trame précédente. Les 53 bits résultants sont rajoutés aux 132 bits de la classe **Ib** ainsi les 4 bits de traîné, globalement on aura 189 bits. On place ces bits à l'entrée d'un codeur convolutionnel de rapport $\frac{1}{2}$, on récupère à sa sortie 378 bits. Les 378 bits sont regroupés avec les bits de la classe **II** pour former une trame de 456 bits.

II-3-L'entrelacement

L'entrelacement permet d'éparpiller ou bien mélanger l'information à transmettre afin d'éviter la perte totale de l'information. Si des perturbations affectent une partie du signal codé après son passage dans un canal radio, les informations transmises ne seront plus synonyme d'une perte totale donc la perte est répartie.

- **Le principe de l'entrelacement de la parole**

L'entrelacement s'effectue en trois étapes :

- 1- Les bits reçus du canal seront rentrés dans une matrice de 57 lignes et 8 colonnes. La lecture s'effectue par colonnes numérotées de 0 à 7. On aura 8 colonnes de demi-burst ou sous blocs.
- 2- Les sous blocs résultants seront séparés. Les 4 premiers de 0 à 3 seront associés à la trame de parole précédente et les sous blocs qui restent numérotés de 4 à 7 seront associés à la trame suivante.
- 3- Enfin chaque deux sous burst seront mélangés dans un même burst.

II-4-Le multiplexage

Le réseau GSM utilise le multiplexage TDMA, FDMA avec saut de fréquence et leurs principes sont donnés dans le chapitre I.

II-5-Le chiffrement

Il se fait au bas de la chaîne de transmission pour la confidentialité des informations des usagers à l'aide de la clé Ki (clé d'identification) et KC (clé de chiffrement) et les algorithmes A5, A8.

II-6-La modulation

Le réseau GSM utilise la modulation GMSK (Gaussien MSK) qui utilise le Principe de déphasage de $\pm\pi/2$ de la modulation MSK à chaque transmission d'un symbole binaire. C'est une modulation de fréquence qui peut être linéaire. Pour avoir un signal GMSK on utilise un modulateur de fréquence qui est un oscillateur contrôleur en tension VCO où le signal numérique d'entrée est préfiltré par un filtre Gaussien (filtre passe bas) qui rend les transmissions de phase plus douces.

III-La propagation sur l'interface radio

Les signaux se propagent sous forme d'onde électromagnétique qui est constitué d'un champ électrique E et d'un champ magnétique H, ils sont orthogonaux et varient au même rythme que le courant qui leur a donné naissance [10]. Le physicien MAXWELL a étudié les rapports entre ces deux champs et établit des équations connus sous le nom d'équations de MAXWELL qui a pu définir l'équation de propagation de l'onde électromagnétique(OEM). Notons que la variation de l'un de ces champs donne naissance à la variation de l'autre.

-L'OEM se propage en ligne droite et sa vitesse est celle de la vitesse de la lumière si le milieu est le vide.

-Lorsqu'elle se propage dans un milieu diélectrique de permittivité ϵ_r sa vitesse est donnée par la

relation : $V=c/\epsilon_r$ (II.1).

III-1-Mécanisme de propagation

La propagation dans un espace libre est assurée lorsque l'émetteur et le récepteur sont en visibilité directe, donc il n y a aucun obstacle entre eux. Prenons deux antennes ayant des gains respectivement G_e et G_r . Pour calculer la puissance reçue par l'antenne on utilise l'équation suivante :

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

- 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.

D'après cette équation on remarque que le dénominateur est indépendant des caractéristiques de l'antenne et correspond à un affaiblissement [1]. Il est rare que l'émetteur et le récepteur soient en visibilité directe. Lors de la transmission des ondes électromagnétiques dans le canal de propagation, le signal subit le long de son trajet des distorsions et des affaiblissements. Plusieurs phénomènes sont à l'origine de la dégradation du signal. Nous en citons la diffraction, la réflexion, la réfraction et la diffusion. Le signal reçu sera éventuellement l'onde émise en trajet directe et surtout des ondes réfléchies et réfractées par l'environnement (Immeubles, montagne...).

Chaque milieu est caractérisé par un indice de réfraction donné par $N=C/V$

C est la vitesse de la lumière, V la vitesse de propagation de l'onde du milieu considéré. L'onde lorsqu'elle rencontre un milieu d'indice de réfraction différent et les dimensions de l'obstacle sont

plus grands que la longueur d'onde incidente ; plusieurs phénomènes sont remarquables :

III-1-1 La réflexion :

La réflexion d'une onde électromagnétique apparaît lorsque cette dernière heurte un objet dont les dimensions sont importantes comparé à sa longueur d'onde. Ainsi, si une onde se propage dans un milieu et se heurte à un autre milieu ayant des propriétés électriques différentes, l'onde est partiellement réfléchi et réfractée cette figure montre le principe de réflexion [21]

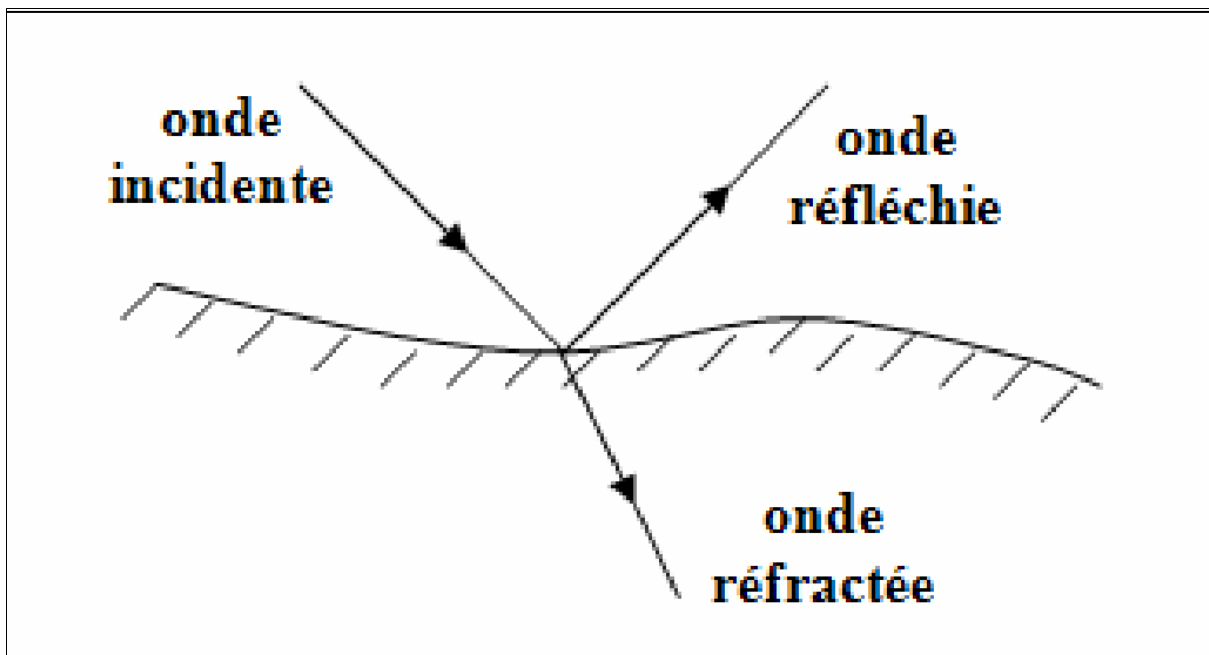


Figure II-2 Principe de la réflexion.

III-1- 2 La réfraction : c'est l'onde déviée lorsqu'elle traverse l'interface.

III-1- 3 diffraction : se manifeste lorsque les dimensions de l'obstacle sont légèrement grandes devant la longueur d'onde, ce phénomène permet de recevoir le signal malgré les obstacles. La figure 3 représente le principe de diffraction.

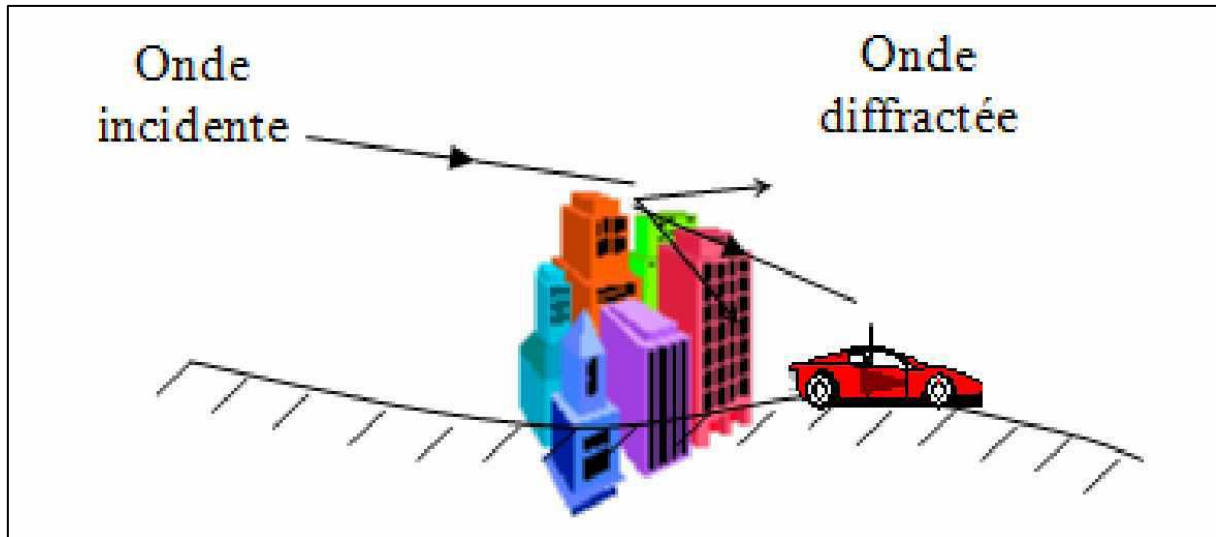


Fig. II.3 : Principe de la diffraction.

III-1-4 La diffusion

Quand une réflexion se produit sur un objet dont la surface présente des rugosités dont les dimensions sont comparables ou supérieures à la longueur d'onde, la réflexion devient diffusion. C'est-à-dire que l'énergie incidente est rayonnée dans toutes les directions comme l'indique la figure suivante.[21]

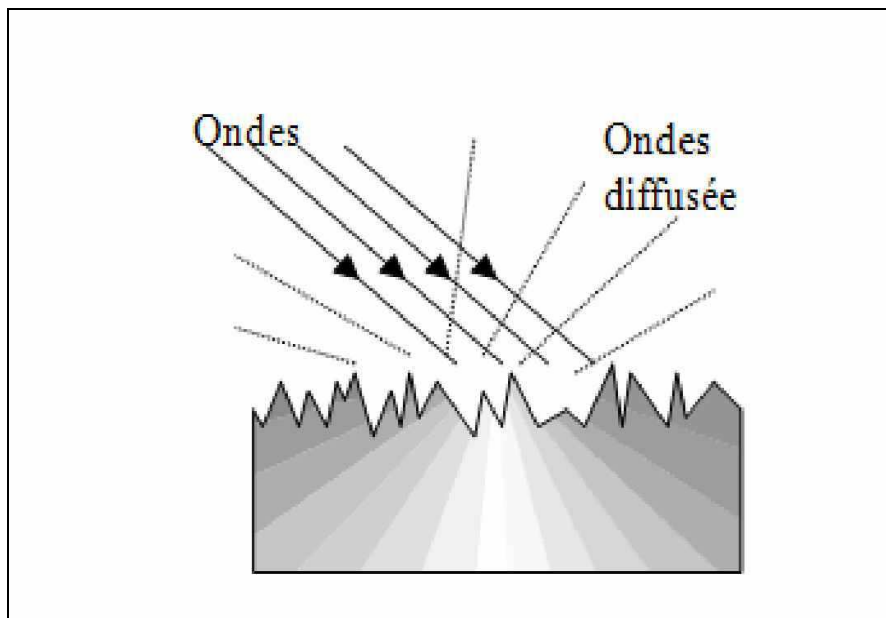


Fig. II.4 principe de diffusion.

III-1-5 L'absorption

L'OEM perd un peu de son énergie lorsqu'elle traverse les zones de pluies, nuages, brouillard. Elle dépend de la fréquence du milieu, plus la fréquence est grande plus l'absorption est maximale.

IV-Bruit et interférences

On apprécie la qualité d'un signal lorsque le rapport signal sur bruit(C/I) est supérieur à un certain seuil déterminé par la sensibilité du récepteur. Un récepteur reçoit un signal utile contenant l'information utile **C** et des perturbations notées **B**. Ces perturbations peuvent être les bruits de fond du récepteur **N** ou les interférences **I**. Donc les performances d'un système dépendent du rapport **C/N+I**. [11]

-Dans les macros cellules les perturbations sont seulement les bruits de fond du récepteur car les interférences sont négligées devant les bruits du moment que les fréquences sont réutilisées mais dans des cellules très éloignées alors le rapport devient **C/N**.

-Dans les microcellules on parle beaucoup plus d'interférences car le mobile reçoit le signal de sa

BTS ainsi les signaux provenant des BTS voisines qui émettent sur des canaux adjacents, on parle d'interférences canal adjacent.

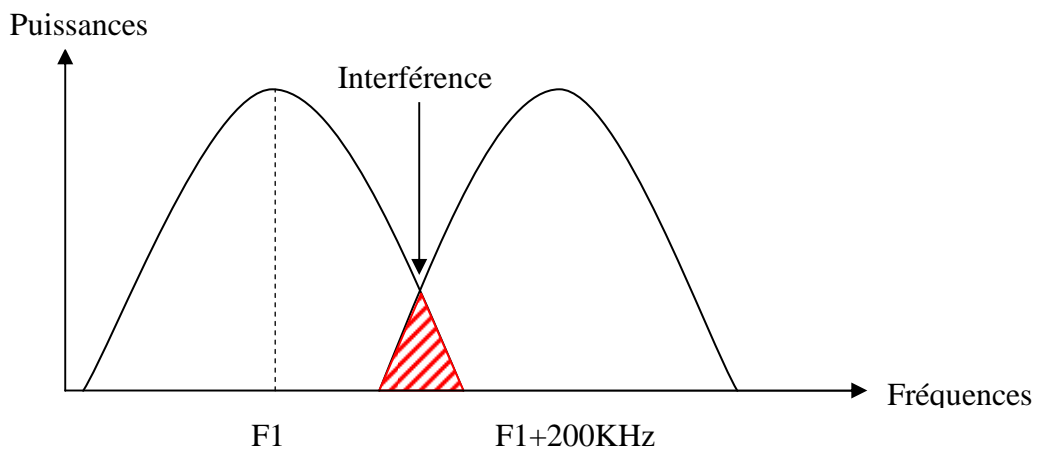


Fig. II.5 Les interférences canal adjacent.

La réutilisation des même fréquences dans d'autres cellules sachant que ces dernières ne sont pas suffisamment éloignées, engendre des interférences Co-canal car leur dimensions et petites vu qu'elles sont utilisées dans les zones urbaines.

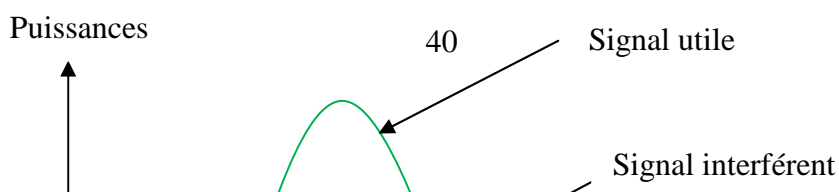


Fig. II.6: Interference Co-canal.**V- Les trajets multiples**

Les trajets multiples sont dus à la réflexion de l'onde sur l'obstacle et le récepteur captera plusieurs réflexions, donc ils offrent la possibilité de la communication entre l'émetteur et le récepteur même s'ils ne sont pas en visibilité directe donc assurer une certaine continuité de la couverture radio. Mais ce phénomène affecte les paramètres de l'onde (amplitude, fréquence, temps).

V-1 Dispersion en retard

Les trajets réfléchis sont généralement plus long que le trajet direct donc ils atteignent le récepteur plus tard que le trajet direct et ils arrivent avec des retards différents donc le signal sera déformé et étalé. La dispersion de retard peut être calculée par la formule suivante :

$$\text{Dispersion des retards} = (\text{trajet le plus long} - \text{trajet le plus court}) / C \dots \dots \dots (\text{II.3}).$$

Où C : vitesse de la lumière.

V-2 Distorsion en amplitude (évanouissement)

Après réflexion sur un obstacle l'onde radio peut être altérée en phase et en amplitude. Le phénomène d'évanouissement est le résultat des variations temporelles des phases et les signaux reçus au niveau du récepteur peuvent être faibles ou nuls, comme ils peuvent être additionnés et le signal reçu est alors plus puissant que le signal du trajet direct.

V-3 Dispersion en fréquence (effet Doppler)

L'effet Doppler est dû au déplacement de la station mobile par rapport à la station de base, il entraîne une variation de fréquence du signal reçu. Cette variation dépend essentiellement de la direction de déplacement et la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur, c'est le phénomène de saut de fréquence.

VI - Techniques de diversité

Pour remédier aux problèmes des trajets multiples on procède à des techniques pour améliorer la qualité du signal qui sont :

VI-1 Diversité de polarisation

Les antennes émettrices et réceptrices communiquent dans la même direction et l'onde électromagnétique est définie par sa polarisation. On définit la diversité de polarisation par l'inclinaison de l'antenne à 45° ou -45° donc il ne sera ni horizontal ni vertical. La réception du signal sera meilleure.

VI-2 Diversité spatiale

La diversité d'espace est une technique destinée à combattre les évanouissements rapides liés au fading de Rayleigh. La méthode consiste à positionner deux antennes de réception suffisamment espacées pour que les signaux reçus sur chacune d'elle subit une statistique de fading indépendante. La sélection d'un signal plutôt qu'un autre peut s'effectuer suivant deux méthodes : Sélection de la meilleure réception instantanée ou combinaison des réceptions. Cette technique permet d'accroître la qualité du service.

L'utilisation de la diversité spatiale permet d'améliorer le rapport signal sur bruit du signal reçu de 5 dB car elle utilise à la station de base plusieurs antennes de réception ; il y a plusieurs méthodes de combiner les signaux reçus tels que :

- la sélection du meilleur signal.
- combinaison des signaux avec le même poids.
- combinaison des signaux affectés de poids proportionnel à leur niveau.

La distance qui sépare les antennes est de 3 à 6 mètres.

VI-3 Diversité en fréquence

C'est le phénomène du saut de fréquence effectué à la station mobile à l'émission ou à la réception de ces signaux, il évite les évanouissements sélectifs du signal.

VII- Etude de la propagation dans les différentes zones

On sait qu'en communication radio mobile les signaux reçus subissent des déformations qui peuvent être l'atténuation médiane fonction de la fréquence et la distance ou l'évanouissement du signal à la réception simultanée des signaux d'amplitude et de fréquence aléatoire issus des trajets multiples. Des études mathématiques et statistiques ont été faites sur l'environnement et ont donné l'affaiblissement en fonction des paramètres présents. Chaque environnement (rural, urbain...) possède son propre modèle :

VII-1 Dans les macros cellules :

C'est le modèle de HATA et du COST 231-HATA qui est utilisé dans cet environnement. Ces deux modèles ont été établis à partir de l'étude des courbes prélevées en calculant l'affaiblissement médian en fonction de la distance d'après les mesures effectuées dans les environs de Tokyo à différentes fréquences. Les conditions d'application de ce modèle sont :

- Hauteur de l'antenne de la station de base h_b (en mètre) comprise entre 30 et 200 m,
- Hauteur de l'antenne du mobile h_m (en mètre) comprise entre 1 et 10 m.
- Distance entre le mobile et la station de base d (en kilomètres) entre 1 et 20 kms.
- Fréquence exprimée en Mhz.

Le modèle de HATA s'applique aux fréquences comprises entre 150 et 1000 Mhz (cas du GSM).[1]

VII-2 Dans les microcellules

C'est le modèle COST 231 qui est utilisé, il est pertinent pour les fréquences allant de 800 à 2000 Mhz. Les antennes utilisées pour les stations mobiles sont d'environ de 1 à 3 m et les antennes des stations de base sont de 4 à 50 m.

VII-3 Propagation à l'intérieur des bâtiments

L'atténuation du signal est remarquable lors de la traversée d'un bâtiment, cela est dû à la nature des murs et leurs épaisseurs. Beaucoup d'études ont été faites par différentes équipes, il est à noter que des phénomènes ont été observés :

- La pénétration d'une onde n'est pas possible lorsque l'épaisseur de l'obstacle est bien supérieure à la longueur d'onde.
- Une onde pénètre via une ouverture dont la taille est au moins de l'ordre de la longueur d'onde.
- Les phénomènes d'évanouissements sont beaucoup plus sévères à l'intérieur des bâtiments. [1]

Pour améliorer la couverture du réseau et atteindre les objectifs tracés par les opérateurs plusieurs paramètres sont nécessaires comme on l'a vu déjà tel que la puissance ; la nature des cellules...mais aussi les types d'antennes utilisées.

VIII-Les antennes

L'antenne est tout conducteur fournissant des ondes électromagnétiques quand elle est traversée par un courant électrique. On parle d'antenne d'émission lorsque l'onde émise est voulue sinon elle est parasite, mais quand l'OEM crée des courants induits on parle alors d'antenne réceptrice [22]. Elle est un élément fondamental dans les systèmes radio électriques. Chaque antenne est caractérisée par :

- Champ électrique et magnétique
- Directivité
- Gain (faible ou fort)
- Impédance
- Type
- Diagramme de rayonnement
- La bande de fréquence de fonctionnement
- Le rendement

VIII-1 Types d'antenne

Le réseau GSM utilise différents types d'antennes pour une bonne couverture qui sont :

VIII-1-1 Les antennes omnidirectionnelles

Une antenne équidirective ou omnidirectionnelle rayonne de la même façon dans toutes les directions du plan horizontal. Le gain varie de 12 à 15 dBi. La figure ci-dessous représente une antenne omnidirectionnelle.

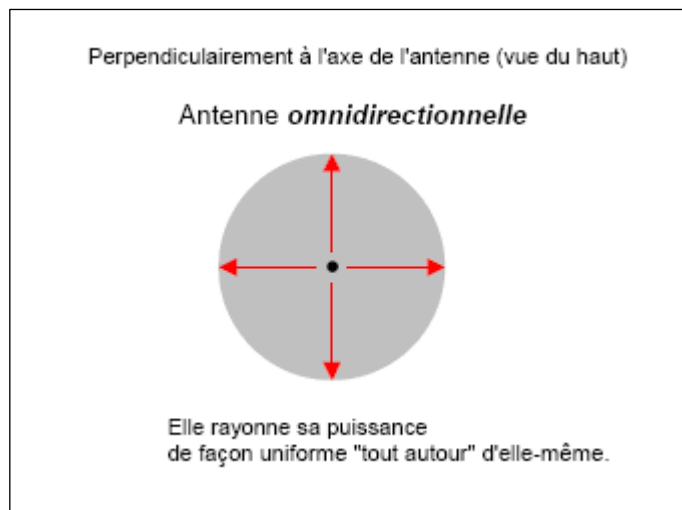


Fig. .II.7 : Rayonnement d'une antenne Omnidirectionnelle.

VIII-1-2 Antennes sectorielles (directionnelles)

Se sont des antennes qui rayonnent dans la direction de leurs orientation ; Une antenne directionnelle (sectorielle) émet ou capte la plus grande partie de l'énergie dans une seule direction. Son gain varie de 15 à 20 dBi. La figure 7 illustre le cas d'une antenne sectorielle.

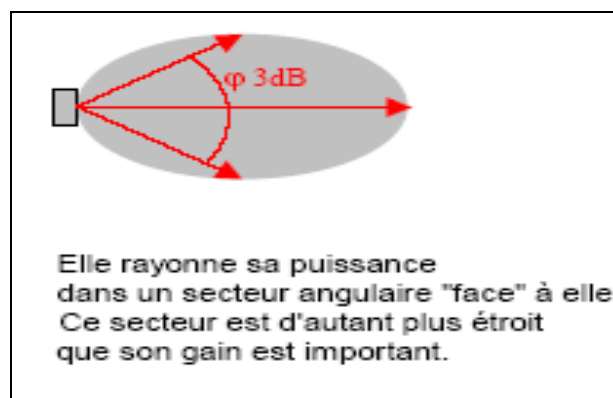


Fig. II.8: Rayonnement d'une antenne directive.

VIII-1-3 Antennes paraboliques

On les utilise pour la transmission entre la station de base et la BSC, leur propriété est d'avoir un gain élevé lié au diamètre du réflecteur et présente aussi une grande directivité. Elle est constituée d'un réflecteur parabolique et d'une tête.[10]

1-Le réflecteur parabolique : Capte et concentre les signaux reçus, transforme les ondes sphériques en ondes planes.

2- La tête : Transforme le signal électromagnétique reçu en un signal électrique. L'antenne parabolique est caractérisée par un gain donné par la formule suivante :

$$G_0 = K (\pi \cdot D / \lambda)^2 \dots\dots\dots \text{II.4.}$$

Ou :

K : varie de 0,5 à 0.8

D : le diamètre de la parabole.

λ: la longueur d'onde.

La figure 8 est un exemple d'antenne parabolique.

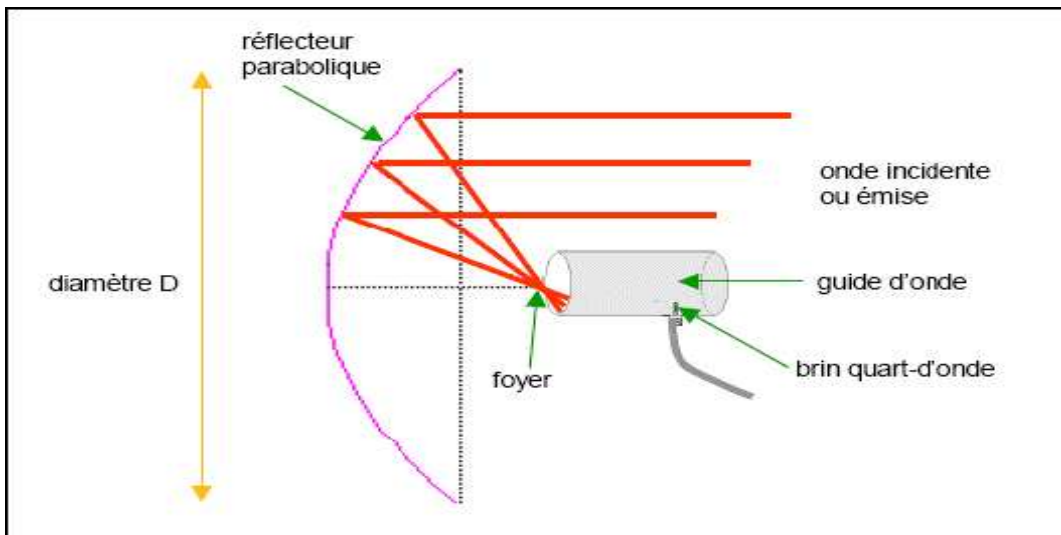


Fig. II.9 : antenne à réflecteur (parabolique)

IX- Caractéristique des antennes

➤ **La bande de fréquence de fonctionnement**

Une antenne émet et reçoit des signaux dans une bande bien déterminé à elle. Dans GSM on retrouve des antennes émettrices et réceptrices dans la bande 900 Mhz et la bande DCS 1800 Mhz, aussi on trouve des antennes fonctionnelles dans les deux bandes citées auparavant, se sont des antennes bi-bande. Comme on peut avoir des antennes qui fonctionnent dans la norme GSM et UMTS aux environ de 2Ghz, on les appelle des bi- mode.

➤ **Le gain**

Le gain de l'antenne est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale rayonnée par l'antenne dans une direction privilégiée et la puissance rayonnée par une antenne isotrope qui est une antenne idéal omnidirectionnelle. Ces deux antennes sont alimentées de la même énergie. Le gain est exprimé en dB.

➤ **Le diagramme de rayonnement**

Une antenne isotrope est dite omnidirectionnelle ou sa puissance est répartie de façon équivalente. mais cela est irréalisable pratiquement on trouve réellement des zones où cette puissance est maximale et des zones où cette puissance est faible, la répartition de cette puissance définit le diagramme de rayonnement. Il permet une ouverture à 3 dB qui est appelé lob primaire, il est aussi caractérisé par des lobes secondaires, l'angle d'ouverture à -3dB qui est défini à $R(\theta, \varphi) = 1/2$

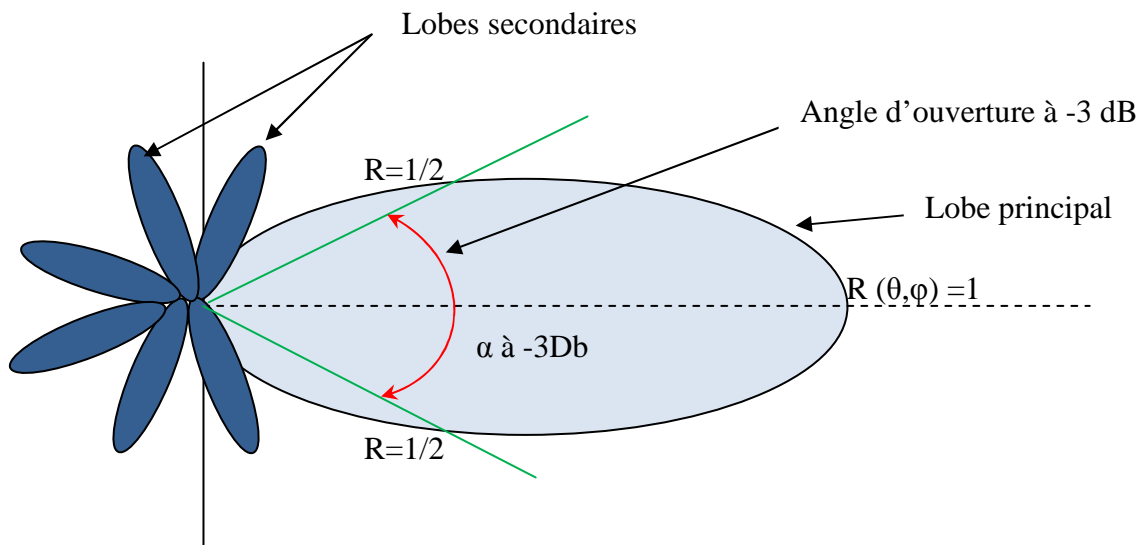


Fig. II.10 : Exemple de Diagramme de Rayonnement.

➤ **La directivité**

La directivité est l'une des caractéristiques les plus importantes lors du choix de l'antenne on a :

1-Antenne equidirective ou omnidirectionnelle : Elle rayonne de façon équivalente dans toute les directions.

2-Antenne directive : Elle privilège une direction par rapport à d'autres, elle possède un ou deux lobes primaires, plus ce dernier et plus étroit plus elle est directive. On définit la directivité par la largeur du lobe primaire entre les angles d'atténuation à 3dB. Se sont les antennes utilisées dans GSM. Chaque BTS est équipée de trois antennes directives à chaque 120° pour couvrir toute la cellule. On définit l'azimut par l'angle θ qui correspond à la direction de propagation des ondes électromagnétiques émises par l'antenne dans le plan horizontal, on sait que les antennes sont installées sur des hauts pylônes ou sur des toits d'immeubles pour se dégager des obstacles proches. Il est donc intéressant d'incliner l'antenne de quelques degrés vers le bas afin de bien couvrir le sol, ce qu'on appelle le down tilt ou tilt, il peut être mécanique ou électrique [1].

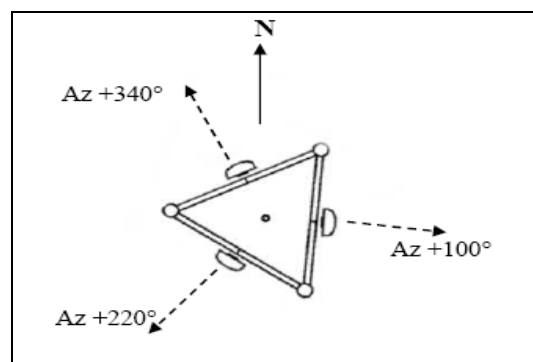


Fig. II.11.Représentation des azimuts dans un site tri-sectorisé.

➤ **Le rendement**

On définit le rendement d'une antenne par le rapport entre la puissance émise dans toute la direction et la puissance offerte par la ligne de transmission. Il diminue avec la diminution des dimensions de l'antenne et la qualité de la surface conductrice.

X - faisceaux hertzien

Le faisceau hertzien est une liaison point à point bilatérale et permanente permettant d'acheminer les informations entre la station de base et la station mobile.

Les faisceaux hertziens permettent de transmettre la voie téléphonique sur des distances plus grandes et avec des délais de mise à disposition de circuits beaucoup plus rapide que les câbles.

Les faisceaux hertziens, compte tenu des fréquences utilisées et de la directivité de la liaison, nécessitent avant toute liaison d'effectuer un calcul pour déterminer la faisabilité, l'affaiblissement de la liaison et la puissance d'émission à utiliser.[17]

On prend en considération le profil du terrain sur le trajet de la liaison, on trace l'ellipsoïde de Fresnel, on détermine l'affaiblissement en fonction de la présence d'obstacles ou pas, on cumule les gains des antennes, les pertes dans les câbles coaxiaux et la perte liée à la distance et l'on compare le résultat à la sensibilité du récepteur.

L'avantage de la rapidité de mise en œuvre des faisceaux hertziens par rapport aux câbles présente l'inconvénient des moyens radios :

- Détectable.
- Localisable.
- Possibilité d'écoute.

Seul le chiffrement permettra d'atteindre un certain degré de confidentialité.

XI-Conclusion

En conclusion de chapitre, on peut dire que le canal radio est très vulnérable, vu qu'il est tout le temps sujet aux pertes, obstacles, bruit et interférences. Cependant, il est difficile de le maintenir performant vu que les perturbations qui l'affectent sont persistantes et parfois imprévisibles ce qui oblige les opérateurs de la téléphonie mobile à effectuer, en permanence, des vérifications de paramètres et de qualité du signal afin de les maintenir à des valeurs optimales.

Chapitre III

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and a horizontal strip at the top and bottom. The corners are rounded and feature small circular motifs.

Les stations de bases

I-Introduction

Dans le réseau 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, en tenant compte du différent type de station de base et l'environnement.

II -Définition d'une station de base

La station de base est l'élément fondamental du réseau cellulaire. Elle est le point d'accès des stations mobiles au réseau par l'ensemble de ces émetteurs récepteurs appelés TRX. Les BTS se matérialisent sous forme d'antennes sur les toits des immeubles en ville ou sur le bord des routes. La sensibilité d'une station de base et la puissance de son amplificateur détermineront les dimensions d'une cellule [3]. Elle transmet les données requises au contrôleur de station de base via l'interface A-bis. Elle permet le dialogue avec ces stations mobiles via l'interface radio (Um).

Les antennes d'une station de base peuvent être omnidirectionnelles ou sectorielle. Le nombre de secteurs varient de 1 jusqu'à 4 secteurs d'ou la capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses. Ces principales fonctions sont :

- La transmission radio : modulation, codage, correction d'erreurs, décodage, démodulation, cryptage des informations.
- Mesures des interférences sur les canaux non alloués à des communications.
- Mesures sur la liaison montante (uplink) servant à l'algorithme de décision du handover.
- Calcul du Timing Advance (avance de temps) pour la synchronisation temporelle selon la distance qui sépare la BTS du mobile.
- Détection des demandes d'accès des mobiles reçues sur le canal de contrôle commun (RACH).
- Détection des messages de handover.
- l'exploitation et la maintenance des équipements composant la BTS. [2]

III- Les différents types et classes des stations de base :

La densité du trafic et l'environnement détermineront le type de station de base adéquat, comme il existe aussi plusieurs classes de BTS définies par leur puissance maximale d'émissions.

III-1 Les types de BTS :**III-1-1 Les macros BTS :**

Elles sont déployées dans les zones rurales ou la densité de trafic est faible. Elles sont placées dans des points stratégiques (sommets, pylônes...etc.). Ces sites recouvrent les macros cellules.[5]

Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones à forte densité car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sur une grande distance jusqu'à 20 Km.

La figure ci-dessous représente un exemple de macros BTS



Fig.III.1 Les Macros BTS

III-1-2 Les micros BTS

Elles sont déployées dans les zones à fortes densités de trafics. Elles recouvrent les microcellules, on les retrouve à titre d'exemple sur les artères principales d'une ville, elles ont une portée d'environ 500m. Elles sont utilisées là où la densité d'abonnés est importante. Les micros BTS constituent un équipement de faible taille. La figure suivante illustre un exemple de micro BTS. [10]



Fig.III. 2 Les Micros BTS

III-1-3 Les BTS ciblées

Elles sont utilisées pour couvrir les zones à très fortes densités de trafic par exemple en ville. Elles sont de forme relativement allongées et permettent d'émettre suivant un angle très précis. Elles sont utilisées pour couvrir les pico cellules. La figure qui suit donne un exemple de BTS ciblée.

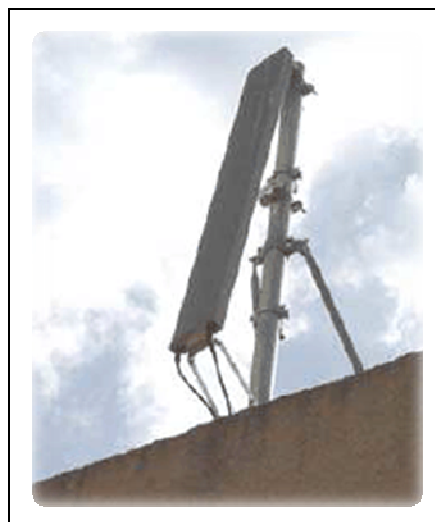


Fig.III.3 Exemple de BTS ciblée

III-1-4 Les BTS normales :

La norme distingue les BTS dites normales des micro-BTS, les premières correspondent aux stations de base classiques des systèmes cellulaires avec des équipements installés dans des

locaux techniques. ; Les micros BTS sont des antennes sur les toits reliées par des câbles. Des dispositifs de couplage permettent d'avoir une seule antenne pour plusieurs TRX mais peuvent réduire considérablement la puissance disponible à l'entrée de l'antenne. La norme spécifie la sensibilité et les puissances maximales des TRX, sans prendre en compte ces dispositifs de couplage. [13]

III-1-4 Les amplificateurs du signal (relais)

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 de capter le signal et l'amplifier par la suite le remettre vers les zones laissées par la BTS mère.

La figure 4 est un exemple d'amplificateur de signal.

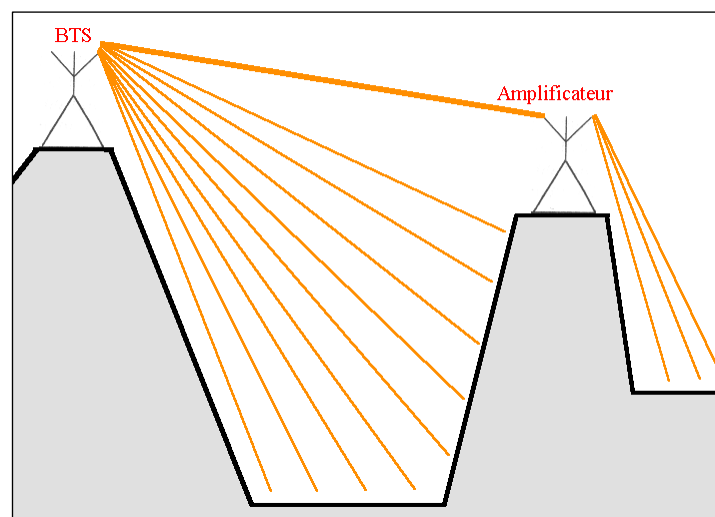


Fig.III.4 Amplificateur de signal

III-2 classe de BTS

La table ci-dessous montre les classes de BTS pour les normes **GSM** et **DCS 1800**.

	GSM 900	DCS 1800
Numéro de classe	Puissance Maximale (W)	Puissance Maximale (W)
1	320	20
2	160	10
3	80	5
4	40	2,5
5	20	
6	10	
7	5	
8	2,5	

Table III.1 Classes des puissances des BTS

IV-Les équipements d'une station de base

La station de base est équipée de plusieurs éléments fondamentaux pour assurer une meilleure couverture du territoire. Elles sont représentées par la figure suivante.

➤ Les antennes

Elles sont placées généralement dans des endroits dégagés, leur fonction principale est de transmettre les signaux modulés et recevoir des signaux des stations de base. Le réseau GSM utilise plusieurs types d'antennes tenant compte de la zone à couvrir.

- Antennes tri sectorielles : émission d'onde sur secteur de 120° .
- Antennes omnidirectionnelles : émission d'ondes dans un cercle de 360° .
- Antennes bidirectionnelles : émission d'ondes sur 180° .

Ces types d'antennes sont utilisés pour la transmission entre les stations de bases ou entre station mobile et station de base par faisceaux hertziens.

- Antennes paraboliques : elles sont utilisées pour les transmissions entre station de base et les contrôleurs de station de base.

➤ Amplificateur TMA(Tower Mounted Amplifier)

Le TMA est monté près des antennes. Il est facultatif pour le réseau GSM 900 et 1800 mais exigé pour le GSM 1900. Il est composé d'un filtre triplex et d'un amplificateur à faible bruit.

Le rôle de ce filtre est de séparer les voies montantes des descendantes et élimine les interférences. L'amplificateur à faible bruit amplifie les signaux faibles donc améliore la sensibilité du récepteur. Le TMA compense les pertes causées par les câbles d'antennes.

➤ **L'intercepteur de foudre (lightning protection)**

L'intercepteur de foudre est utilisé pour protéger les systèmes d'antennes et l'alimentation des dommages du courant issus de la foudre, il est sous forme d'un tube de décharge. Quand les tensions aux deux extrémités du tube se déchargent, atteignent une certaine valeur, le tube conduit et décharge le courant. [6].

➤ **Le pylône**

C'est un poteau vertical métallique qui porte plusieurs antennes, l'intercepteur de foudre, l'unité radio. Il peut atteindre une centaine de metre de hauteur.[5]

➤ **Le climatiseur**

Il est utilisé pour maintenir la température ambiante du système.

➤ **Les batteries**

La batterie est conçue pour remplacer l'alimentation en cas de coupure d'électricité ou une chute de tension, sa durée est d'environ 6 heures. La tension 220 v / 50 Hz est convertit en +24 volt DC.

➤ **L'unité radio**

Elle est l'ensemble d'émetteur récepteur reliée au cabinet de transmission et à la tête de l'antenne parabolique. Elle assure la modulation, la transposition de fréquence et l'amplification de puissance à l'émission ainsi la démodulation, la conversion analogique/numérique à la réception. L'unité radio permet de multiplexer les canaux radio plein débit (13 Kbits/s) sur une liaison MIC à 2 Mbits/s et l'acheminer vers l'RBS à travers des câbles. [2].

➤ **Cabinet de transmission (TMR)**

Il est relié avec le BSC, la station de base radio RBS ainsi l'unité radio. Il est relié aux alarmes externes via le cadre de distribution DF, il est aussi composé de :

MMU : modulateur/démodulateur

SMU : commutateur, multiplexage/démultiplexage

SAU : alimentation de TMR

➤ Le cadre de distribution

C'est un dispositif de connexion pour les alarmes externes et l'interface pour les câbles PCM.

➤ Câbles d'alimentation

Ils sont utilisés pour relier les éléments de la BTS à titre d'exemple entre l'antenne et l'amplificateur TMA. Ils sont à faible perte afin de réduire les pertes de transmission.

➤ La station de base radio (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.

La station de base radio regroupe plusieurs fonctions qui sont :

-La gestion des ressources radio, cela implique la fréquence d'émission et de réception ; la puissance maximale de sortie ainsi le code d'identité de la station de base (BSIC).

-La détection du canal demandé par la station mobile.

-Elle contrôle les signaux de signalisation entre la station mobile et le BSC.

-L'RBS permet l'entretien local des équipements sans raccordement au BSC grâce au logiciel opération and maintenance OMT et MINI-LINK.

-Elle traite les signaux avant transmission et après réception, ceci inclut :

1-Le chiffrement

2-Codage /décodage du canal.

3- L'entrelacement.

4-La modulation/la démodulation.

-Prolongement de la gamme de cellule c'est-à-dire augmenter la couverture d'une macro cellule au delà de la limite maximale (35 Kms) jusqu'à 121 Kms grâce à l'RBS 2000 micro coffret (RBS 2202, RBS 2101, RBS 2102) et avec dTRU utilisé dans l'RBS 2206.

-Augmenter la capacité de transmission entre le BSC et BTS est réalisé par l'introduction de DXU-21 dans l'RBS 2000.

V-Schéma fonctionnel d'une station de base

Le schéma suivant nous présente l'architecture fonctionnelle d'une station de base.

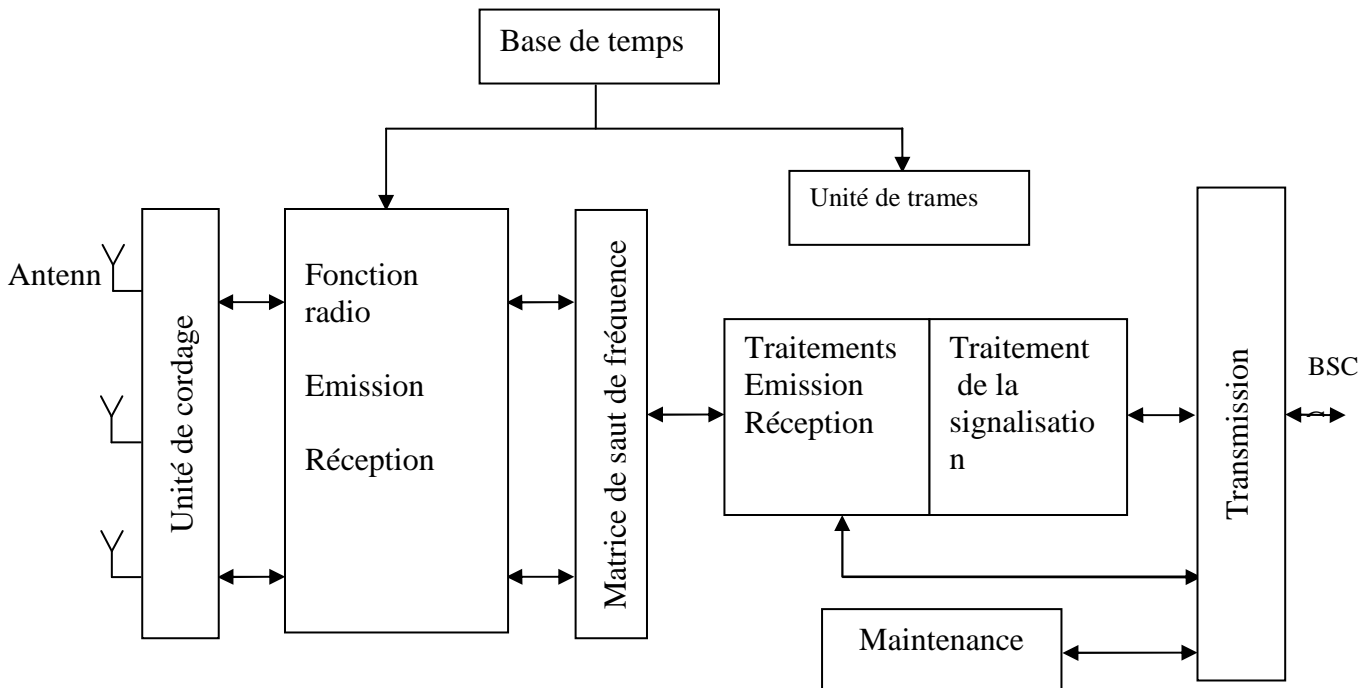


Fig.III.5 : description d'une station de base

▪ Base de temps

La base de temps fournit tous les signaux d'horloge et de synchronisation nécessaire aux autres éléments présents dans la station, aussi elle remplit toutes les références temporelles définies par la norme GSM pour la synchronisation :

- Quart de bit (0,92µs)
- Intervalle de temps (577 µs)
- Trame TDMA (4,615ms)
- Multi trame.
- Super trame.
- Hypertrame

▪ L'unité de maintenance

L'unité de maintenance remplit les missions suivantes :

- La gestion de tous les protocoles internes de communication et d'acquisition des alarmes provenant de tous les équipements présents dans la BTS.
- le filtrage et l'émission vers la BTS des alarmes.
- le transfert aux équipements de la station de commande provenant du contrôleur BTS.
- Le transfert et la mise à niveau des logiciels et des fichiers aux unités.
- La gestion de l'interface home machine pour la gestion locale de la station.

▪ L'unité de saut de fréquence

L'unité de saut de fréquence assure la commutation suivant la règle de saut de fréquence entre les unités de trame et les unités de porteuses pour autoriser le saut de fréquence à chaque intervalle de temps.

▪ L'unité de test radio

L'unité de test radio sert à la localisation et la détection des défauts dans la chaîne émission-réception. Elle permet des rebouclages sur les canaux radios pour cet usage.

▪ L'unité de trame

L'unité de trame possède toutes les fonctionnalités nécessaires au traitement numérique des données en bande de base pour 8 canaux à plein débit ou 16 canaux à demi débit. L'unité de trame gère les canaux radio, pilote les puissances d'émission, contrôle la qualité des transmissions radio. Les traitements avant l'émission sont l'adaptation des débits de données et de la parole, le codage des canaux, l'entrelacement, le chiffrement et la constitution des trames. Les traitements pour la réception sont les opérations inverses pour l'émission avec en plus la démodulation, l'égalisation et la mesure de qualité.

▪ L'unité radio

L'unité radio se compose de l'émetteur et du récepteur radio. L'émetteur assure la modulation, la transposition radiofréquence et l'amplification de puissance. Le récepteur assure la transposition de fréquence inverse, la conversion analogique numérique et le calcul de l'intensité du signal reçu.

▪ L'équipement de couplage

L'équipement de couplage comprend des multi coupleurs pour assurer la diversité de réception (des antennes sont couplées) et des filtres d'émission à cavité. Pour minimiser les pertes de puissances, les filtres d'émission sont accordés à partir du centre d'exploitation du

réseau ; cette option d'exploitation permet depuis l'OMC de sélectionner les fréquences porteuses utilisées par une station de base. [6]

- **L'unité de trafic et d'extension**

Elle est installée en fonction de la densité du trafic à écouler dans une cellule. Les unités d'extension sont des unités de traitement en bande de base ou unité de trame et de la partie radio fréquence (unité de porteuse et unité de couplage).

- **L'équipement de transmission**

Il gère l'interface avec le BSC, il permet de multiplexer jusqu'à 80 canaux à plein débit (13 Kbit/s) sur une liaison MIC à 2 Mbit/s. En zone urbaine, une station de base gère trois cellules. Une telle station peut piloter 8 porteuses radio par cellules, soit un total de 24 porteuses ou 192 (24.8) canaux de communication radio. Une BTS est un équipement offrant une grande souplesse d'exploitation ; tous ces logiciels peuvent être téléchargés. La normalisation des interfaces permet de composer son réseau avec des éléments fabriqués par des constructeurs différents.

Une station de base standard possède une alimentation secteur et une batterie de secours, 1 à 4 émetteurs récepteurs. Le développement de composants ASIC hautement intégrés pour les stations de base a permis de réduire leur volume ; ainsi une station de base peut être installée dans des locaux de faible dimension.[2].

Chapitre IV

**Pérfonnance du réseau
GSM
(TEMS investigation)**

I- Introduction

L'optimisation radio est l'opération qui consiste en l'amélioration des performances du réseau du point de vu accès aux ressources radio pour les abonnés de l'opérateur. [11]

Cette opération doit être permanente car le canal radio subi tout le temps des changements dus à plusieurs facteurs tels que :

-Les conditions climatiques : les vents, pluies fortes et tempêtes agissent sur les antennes, ils les désorientent et mettent en cause leurs zones de couvertures.

-La mobilité des abonnés : les abonnés GSM étant mobiles, doivent effectuer des changements de cellules sans coupures ni même détérioration de leurs communications.

-La démographie : elle induit à l'augmentation du nombre d'abonnés GSM, au bon gré des opérateurs qui doivent, toutefois veiller à ce que cette augmentation, qui engendre des risques élevés de congestion n'affecte en aucun cas, les performances du réseau.

-L'évolution urbaine : l'apparition de nouvelles constructions constitue de nouveaux obstacles pour la propagation du signal radio, ce qui met en péril les performances du réseau. [12]

L'optimisation radio a donc pour objectif de faire face à tous les changements qui apparaissent sur le lien radio, et faire en sorte de maintenir, les différents indicateurs de performances de réseaux GSM ; qui sont des clefs à travers les quelles on juge la qualité de service et dites KPI'S (Key performance index), à des valeurs standards normalisées permettant d'assurer une bonne qualité de service.

L'optimisation radio au sein de l'opérateur Mobilis est assurée par une équipe d'ingénieurs radio qui opère au quotidien dans un centre dit MSC de TIZI OU ZOU, ils disposent d'un outil appelé le **drive test**.

II- Description du drive test

Afin de gérer la qualité du signal sur l'interface radio, les ingénieurs radio effectuent des sorties d'investigations, sur toutes les zones de couvertures, c'est ce qu'on appelle le **drive test**. Pendant ces sorties, ils font des diagnostics sur le réseau ainsi qu'une collecte d'informations concernant les différents paramètres du signal sur le canal radio à l'aide d'un logiciel appelé **TEMS** (test mobile system). Ces paramètres sont, par la suite traités et analysés une fois l'équipe de retour à son siège. [12]

II-1 Les équipements du drive test

Les outils utilisés pour réaliser le drive test sont illustrés dans la figure suivante.

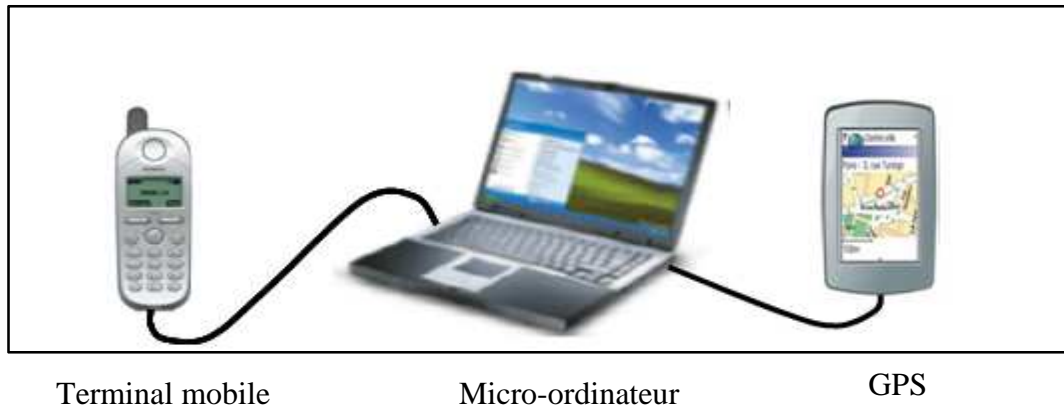


Figure IV.1 : Equipement de test TEMS.

✓ **Le terminal mobile** : équipé d’un logiciel spécial appelé TEMS Investigation, ce terminal est utilisé pour mesurer et juger toutes les classes de puissances émises par les 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.

On effectue un appel d’essai à travers ce terminal et on le maintient tout au long du drive test. Les classes de portables utilisés pour la recherche TEMS sont données par le tableau suivant. [14]

Phone/Feature	WCDMA 1900	WCDMA 2100	GSM 850	GSM 900	GSM 1800	GSM 1900	Video Telephony	External Antenna
Sony Ericsson K790a			✓		✓	✓		✓
Sony Ericsson K790i				✓	✓	✓		✓
Sony Ericsson K800i		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Motorola Razr V3xx EU		✓		✓	✓	✓	✓	
Motorola Razr V3xx US ^a	✓		✓		✓	✓	✓	
Nokia 6230 US			✓		✓	✓		✓
Nokia 6230i				✓	✓	✓		✓
Nokia N80		✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Tableau IV.1 classe des portables.

- ✓ **Un Récepteur GPS (global positioning system) :** indique la position du site où les mesures ont été effectuées. Par satellite ; Il indique, latitude, l'altitude, la longitude. Il est placé sur le toit du véhicule. il est relié via une clé USB au port qu'on lui a configuré sur le micro portable. [13]

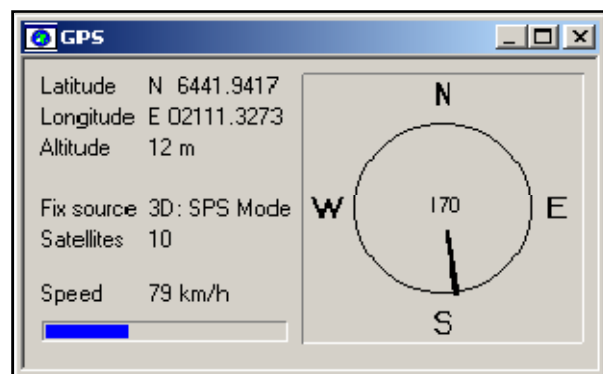


Fig.IV.2 le récepteur GPS.

✓ **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.

✓ **Une licence :** pour l'utilisation du logiciel TEMS il est primordial d'avoir sa licence. Il ya deux types de licence nécessaires à l'application du TEMS investigation :

- Une licence locale incarnée dans une clé USB et incérée dans le PC cette dernière permet la connexion des dispositifs externes, et l'accessibilité à la collection des données.

-La licence au réseau obtenu par sa connexion aux serveurs de la licence local. Ce type de licence est applicable à l'analyse d'itinéraire. [14]

III- Définition du TEMS

Le TEMS est un outil d'essai de l'interface radio pour les réseaux cellulaires UMTS et CDMA, GSM, GPRS.

La recherche TEMS permet la surveillance de la téléphonie de voix et la vidéo dans UMTS. Elle est divisée en deux modules, la collection de données et analyses d'itinéraire. [13]

III-1 Module de collection de données (Data collection)

Le TEMS investigation permet de rassembler les données présentes entre la station mobile et

la station de base .Ces dernières seront représentées sous forme d'un fichier journal appelé **Logfile**. [13]

III-2 Module d'analyse de l'itinéraire (route analysis)

Les logfiles collectés par le TEMS investigation sont analysés rapidement par le module d'analyse d'itinéraire. Ils seront représentés sur des cartes ou des diagrammes en tenant compte du secteur où les mesures sont effectuées, le temps et la distance. L'analyse et la représentation des informations se déroulent au même moment. [13]

IV- Présentation du logiciel TEMS

Le logiciel TEMS est équipé de fenêtres et de barres de tâches différentes comme tout autre logiciel. On retrouve le **workspace** (zone de travail), les **worksheets** (feuilles de travail) et les **toolbar** (barres de tâches).

IV-1 Le Workspace

Le workspace ou zone de travail est l'environnement qui stocke toutes les fenêtres et arrangements nécessaires à une fonction .Les arrangements incluent les informations reliées aux dispositifs externes. Cette zone est configurée où l'on retrouve tous les secteurs et les reliefs d'un territoire .une mise à jour de cette carte est établie à chaque déploiement d'un nouveau site .Par défaut une zone de travail est ouverte à chaque collecte de données par le TEMS. La figure suivante représente un workspace.[13]

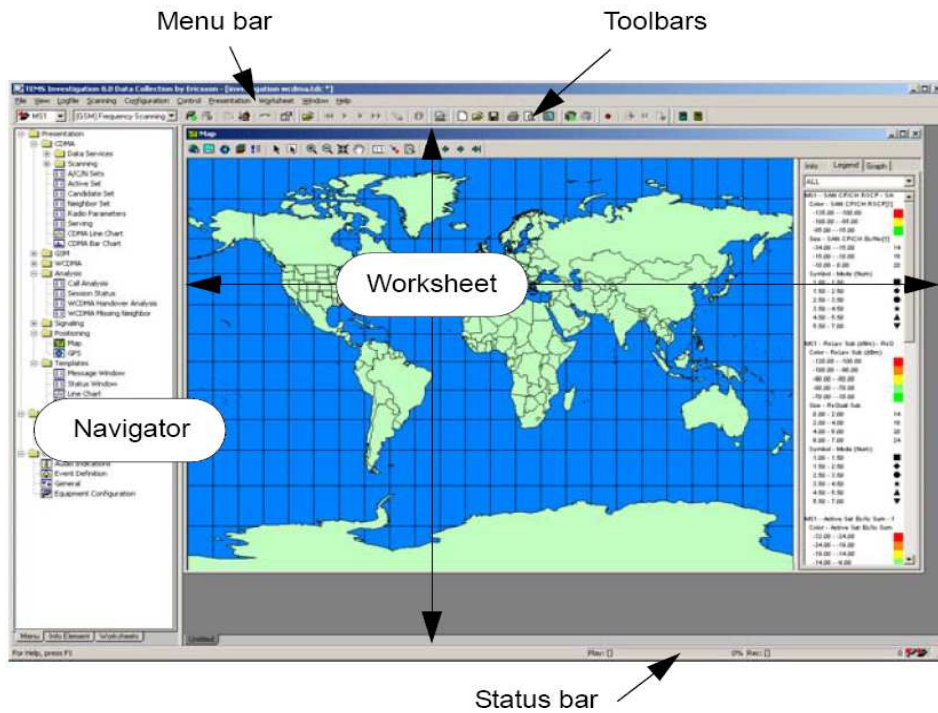


Fig.IV.3 Le Workspace.

IV- 2 Worksheets

La zone de travail est divisée en plusieurs feuilles de travail appelées worksheets .Elles sont utilisées pour différentes fonctions. Elles sont manipulées par le menu de feuilles de travail, un exemple de worksheets est donné dans la figure 4. [13]

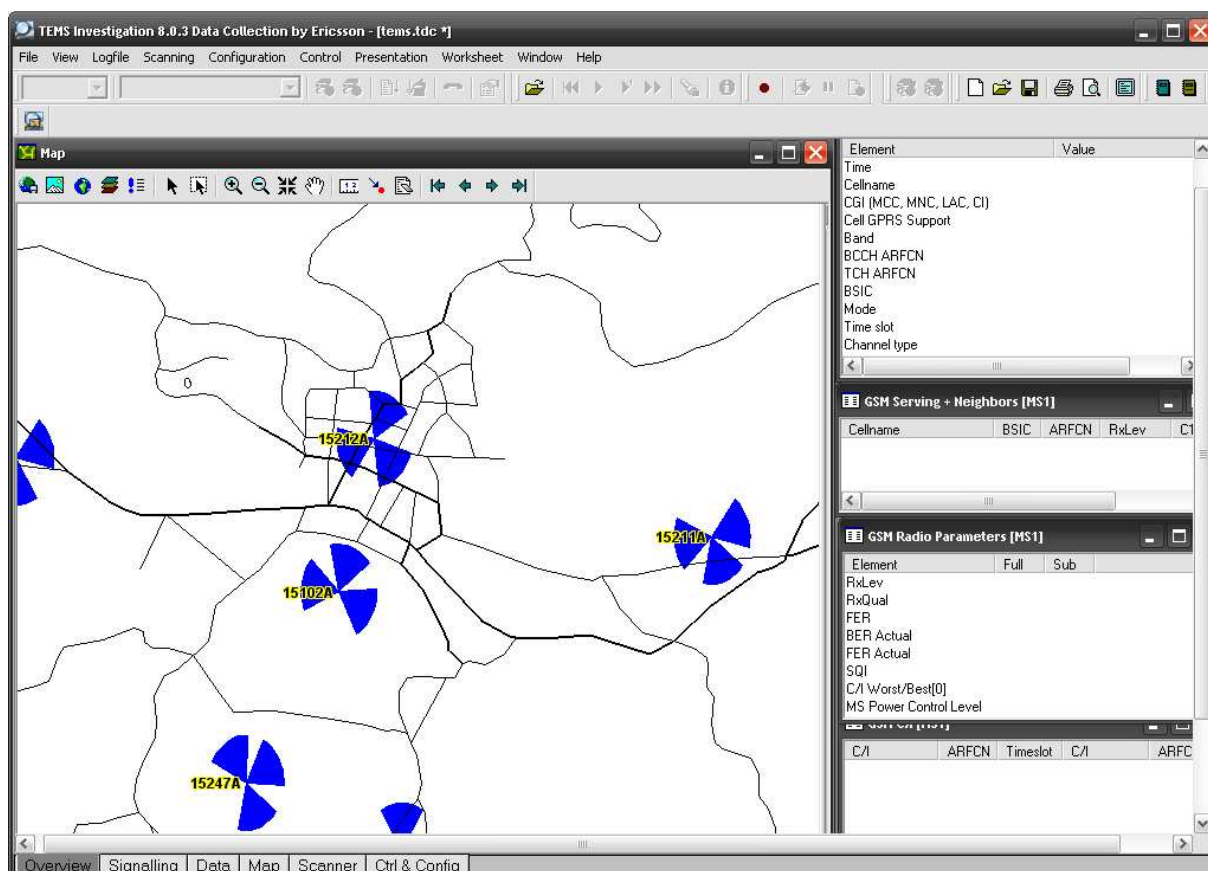
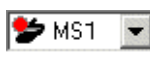



Fig.IV.4 Le worksheet


IV-3 Les Toolbar

La barre des taches de la fenêtre principale conduit a l'accès rapide des fonctions principales de la collection de données TEMS.

Cette barre comporte différentes icônes nécessaires pour le drive test.

 Icône pour la sélection de l'équipement a connecté.

 Cette icône sert à confirmer que les équipements sont connectés.

 L'icône pour déconnecter.

 Commencer /arrêter le scan.

 Icône pour l'installation du scan et ces propriétés.



Icône pour les propriétés des équipements téléphone et GPS.



Icône pour la connexion de tous les équipements.



Icône pour déconnecter tous les équipements.



Icones pour commencer ou arrêter l'enregistrement du test.



L'icône pour arrêter l'enregistrement où il n'est pas nécessaire.



Icône pour fermer le fichier d'enregistrement courant et continuer à enregistrer dans un autre fichier.



Icône pour ouvrir un fichier d'enregistrement.



Icône pour la fermeture du fichier d'enregistrement.



Icône pour revenir au début du fichier d'enregistrement.



Icones pour commencer ou arrêter définitivement l'enregistrement.



Icône pour avancer le fichier d'enregistrement d'une étape.



Icône pour faire avancer le fichier d'enregistrement rapidement.



Icône pour rechercher le fichier d'enregistrement.



Icône pour afficher les informations sur le fichier d'enregistrement.



Icône pour lancer l'analyse d'itinéraire.



Icône pour créer une nouvelle zone de travail



Icône pour enregistrer la zone de travail. [13]

V - Les Paramètres contrôlés par le TEMS

Le mobile transmet un certain nombre de paramètres à la station de base pour contrôler la qualité de la liaison. Nous avons déjà évoqué l'avance en temps (TA), nous introduisons maintenant quatre autres paramètres qui sont : Le niveau du signal reçu (RxLevel), la qualité du signal (RxQual), la qualité de la parole (SQI), les interférences (C/I).

V-1 Le niveau du signal RxLevel

C'est un paramètre de contrôle de puissance, il classe 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, ainsi RxLevel =i correspond à (-110+i) dBm. [1].

Le TEMS classe 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	-90 jusqu'à -75dBm.	Moyen
 Orange	-96 jusqu'à -90dBm.	Acceptable
 rouge	-110 jusqu'à -96dBm.	Mauvais

Tableau IV.2 : Code de couleurs pour RxLevel.

V-2 La qualité du signal RxQual

La qualité du signal est évaluée via le paramètre RxQual. Elle est obtenue en quantifiant le taux d'erreurs binaire BER sur 8 niveaux (3bits). Une valeur représentative permet de représenter chaque niveau de RxQual ; elle peut être utilisée pour moyenner diverses mesures de RxQual. Elle correspond à la moyenne géométrique de la plage du taux d'erreurs binaire BER ce dernier est calculé avant le décodage du canal. Le paramètre RxQual mesure la qualité du canal. [1]

Les valeurs de RxQual sont classifiées selon un code de couleur donné par le tableau ci-dessous :




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

Tableau IV.3 : Code de couleurs pour RxQual.

V-3 Les interférences (C/I)

Le TEMS contrôle les interférences entre les canaux de trafic TCH et 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. [11]

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




Couleur	Plages de valeurs	Interprétation
 Rouge	0 jusqu'à 9.	Forte interférence
 Jaune	9 jusqu'à 12.	Interférence moyenne
 Vert	12 jusqu'à 100.	Faible interférence

Tableau IV.4 : code des couleurs pour C/I.

- Pour le BCCH, le code de couleurs est donné dans le tableau suivant :




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

Tableau IV.5 : code des couleurs pour C/I.

V-4 La qualité de la parole SQI

Le TEMS contrôle aussi la qualité de la parole lors d'un appel, le logiciel classifie la qualité de la parole selon le code de couleurs donné par le tableau.




Couleur	Plages de valeurs	Qualité de la parole
 Rouge	0 jusqu'à 16.	Mauvaise
 Jaune	16 jusqu'à 22.	Moyenne
 Vert	22 jusqu'à 31.	Bonne

Tableau IV.6: code des couleurs pour la parole.

V-5 La distance Timing Advance (TA)

Ce paramètre sert à calculer la distance entre le terminal mobile et la BTS, cette distance est comprise entre : $TA * 554m$ et $(TA + 1) * 554m$. 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 un code de couleurs comme le montre le tableau suivant:




Couleur	Plages de valeurs	Distance MS-BTS.
 Vert	0 jusqu'à 4.	Entre 0 et \approx 3 Km.
 Jaune	4 jusqu'à 6.	Entre 3 Km et 5 Km.
 Rouge	6 jusqu'à 62.	Entre 5 Km et 35Km.

Tableau IV.7 : code des couleurs pour TA.

VI - Les types de drives test

Le tableau ci dessous donne les différents drives test qui seront effectués sur l'interface radio par l'équipe spécialisées dans le domaine. [16]

N°	Non du drive test	période	délivrassions
1	Décollement d'une ville	mensuel	Rapport + logfile
2	Installation d'un nouveau site	3 jours après l'installation du site	Rapport + logfile
3	Problème très important signalé par les clients	1 jour après sa signalisation	Rapport + logfile
4	Problème radio	2 jours après sa signalisation. Ou immédiate	logfile
5	Changement dans le système	immédiate	Rapport + logfile
6	Les événements	2 jours	logfile

Tableau IV.8 : types de drive test.

VII- Les étapes du drive test

Les étapes nécessaires lorsqu'on collecte les données de l'interface radio sont citées ci-dessous :

- 🗨️ Au premier lieu on ouvre le logiciel **TEMS** sur le PC. Cette figure montre la fenêtre TEMS.

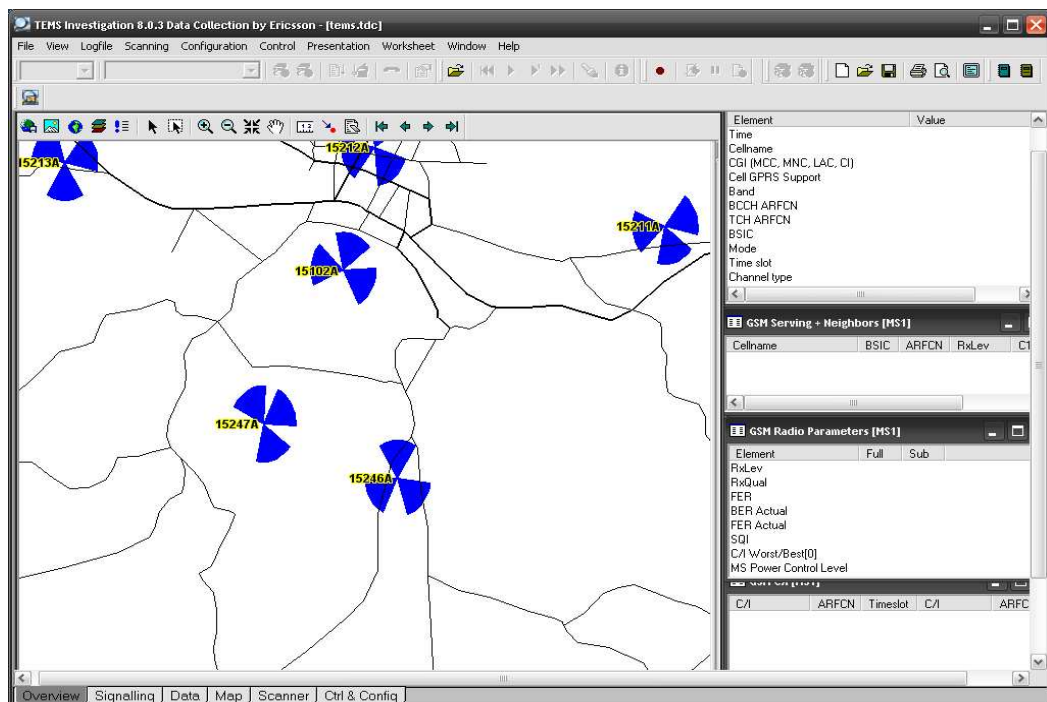
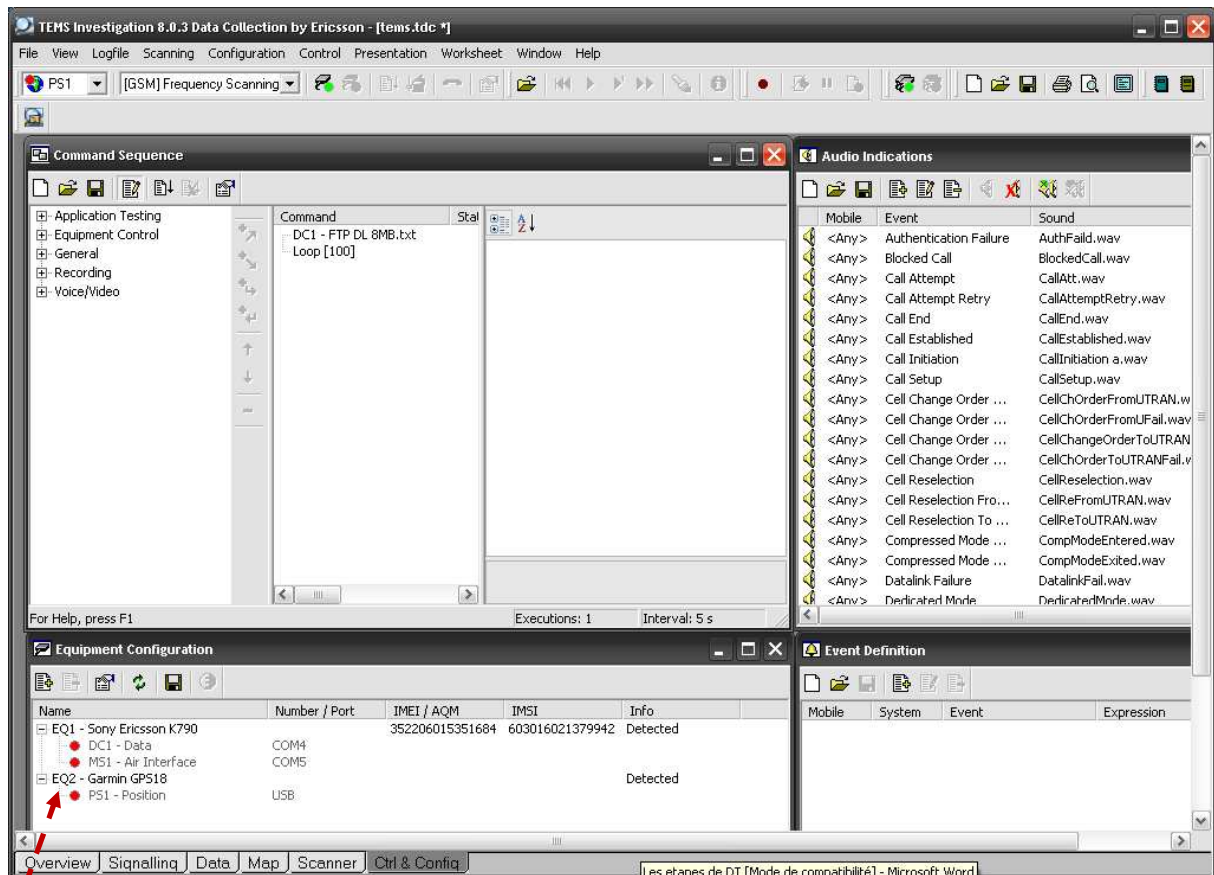



Fig.IV.5 La fenêtre TEMS.

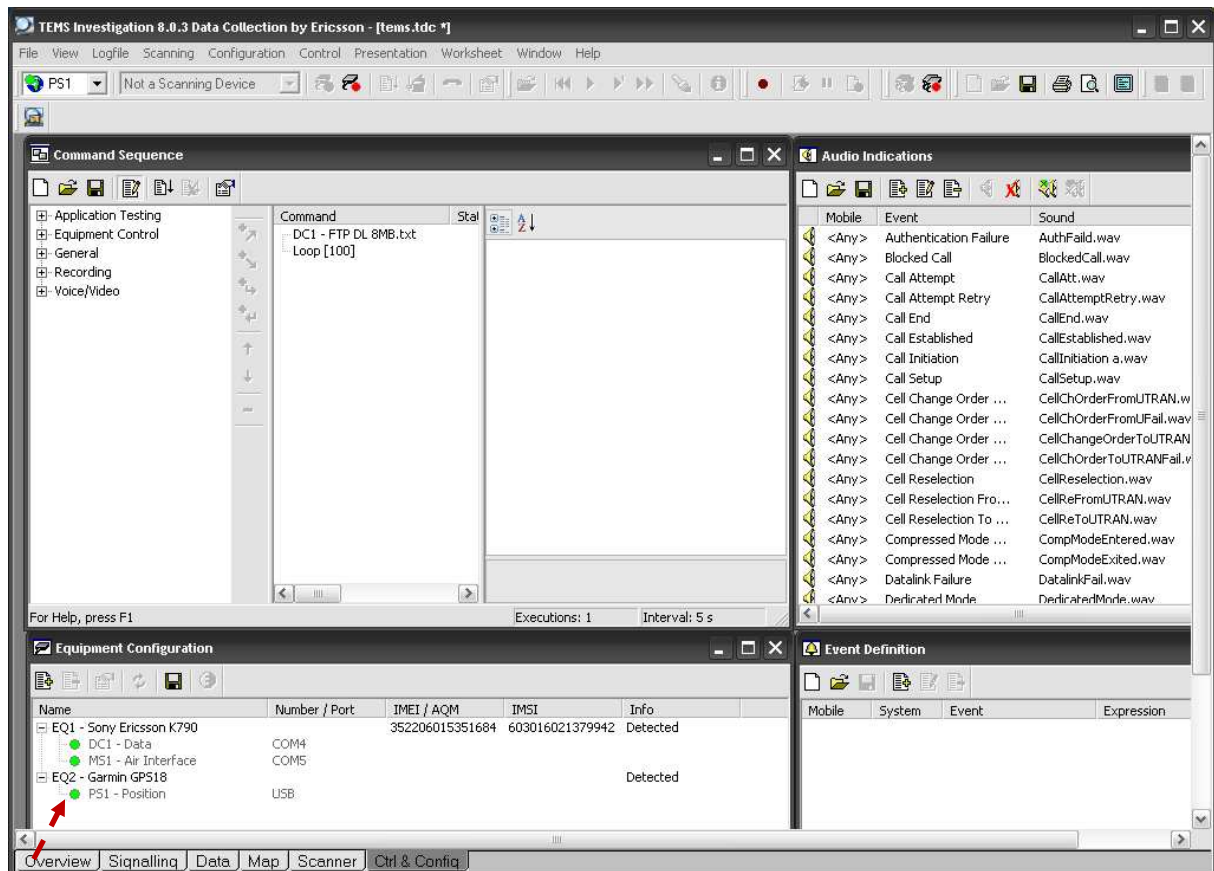
On branche le Tools (la licence, téléphone et le GPS) dans PC, chacun sur le port qu'on lui a configuré. La figure donnée ci-dessous illustre le branchement du Tools qui est indiqué par la couleur rouge.



Veux dire que le TEMS a reconnu les équipements.

Fig.IV.6 branchement du Tools.

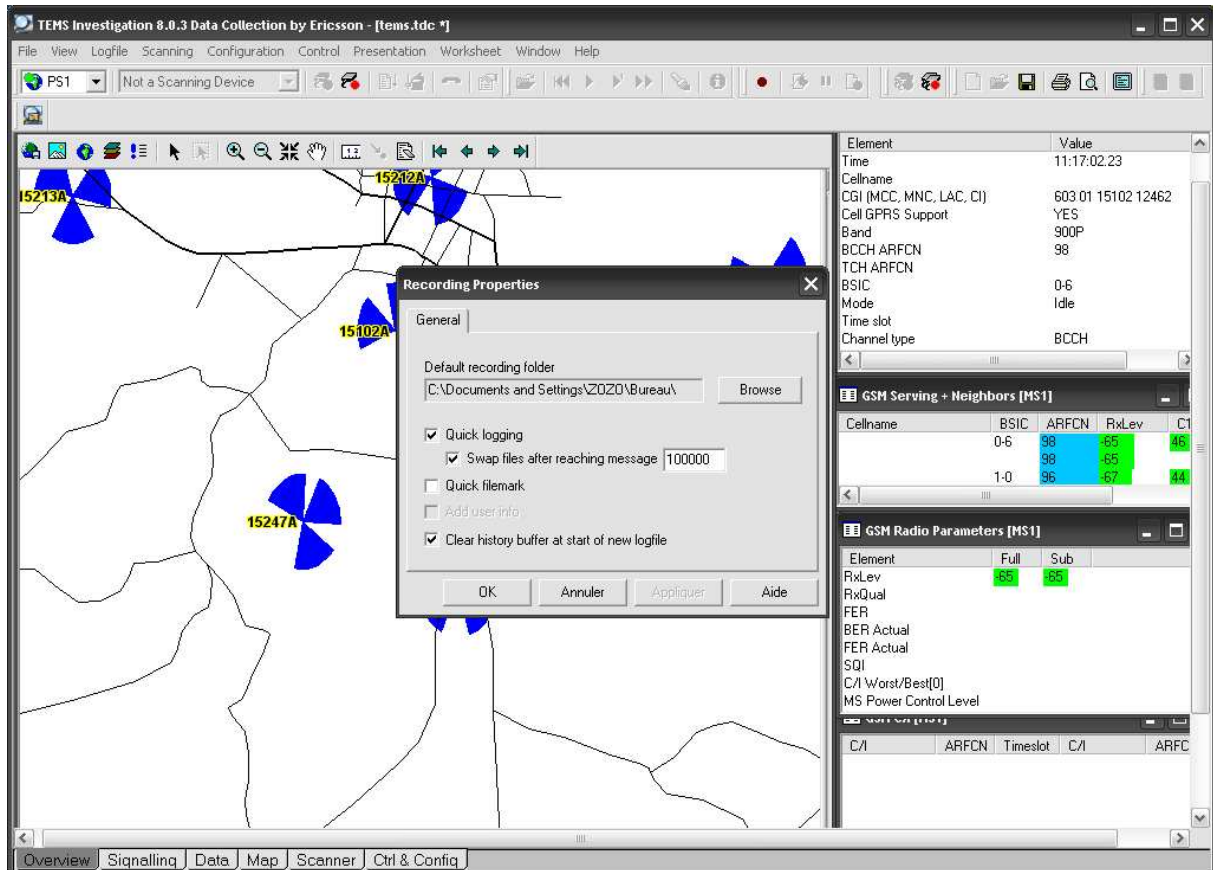
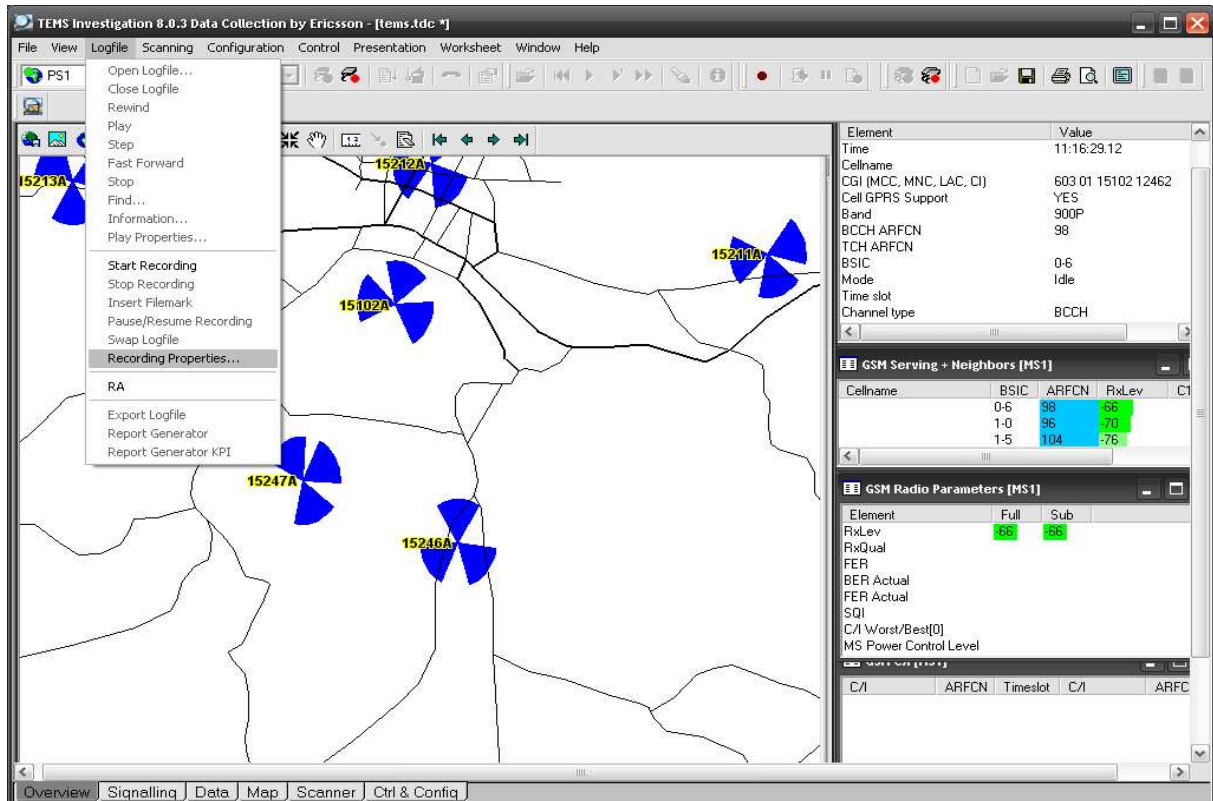
On clique sur cette icône  à fin de connecter tous les équipements. La couleur verte montre que tous les équipements sont connectés.



Veux dire que le TEMS a connecté les équipements.

Fig.IV.7 connexion du Tools.

On donne un chemin aux données collectées, ou ils seront enregistrés sous forme de **Logfile**. Les figures si dessous illustrent ces étapes.



On clique sur **Browse**.

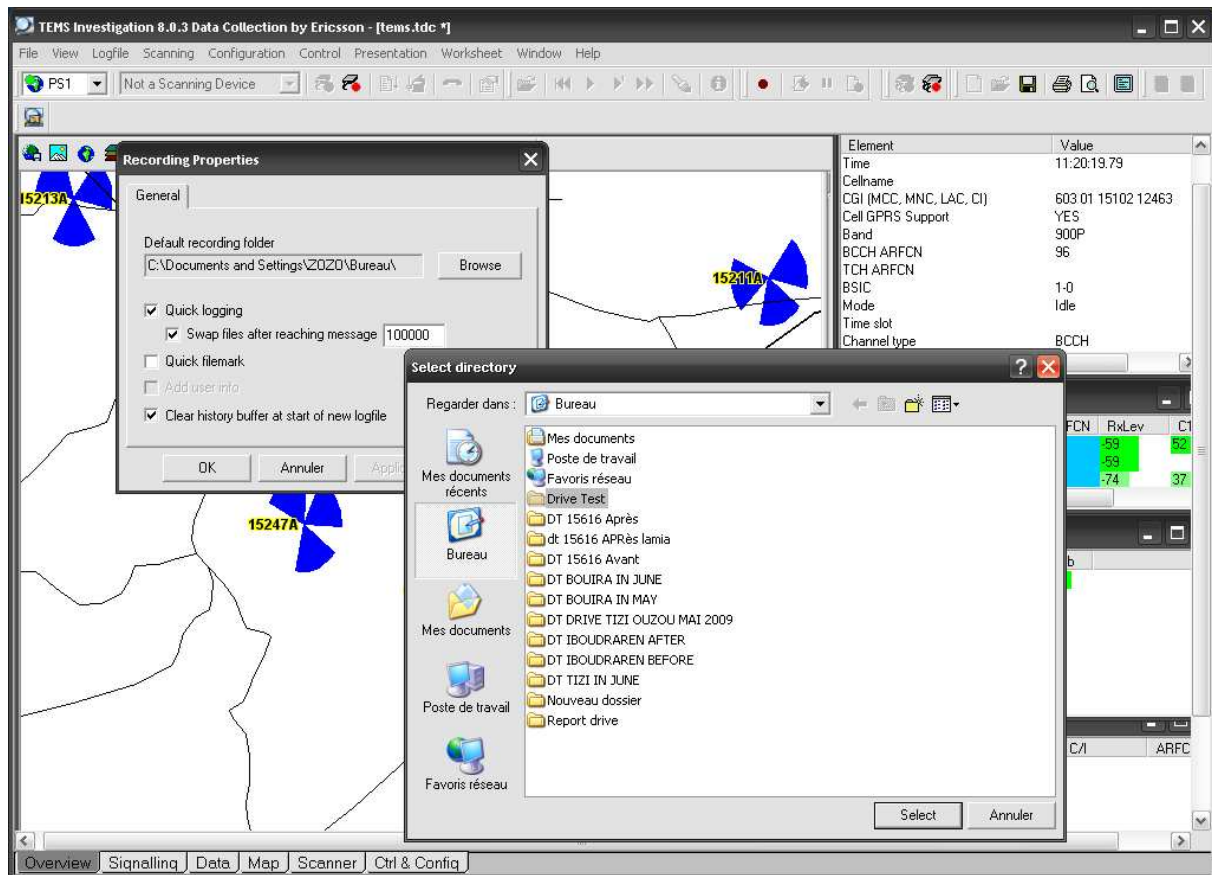


Fig. IV. 8 Les étapes d'enregistrement du logfile.

✚ On établit un appelle.

Après l'indication du chemin d'enregistrement, il reste à commencer le **drive test**, on clique sur l'icône **logfile** puis sur **Start recording** afin de commencer l'enregistrement du **Logfile**. La figure ci-dessous schématise ces étapes.

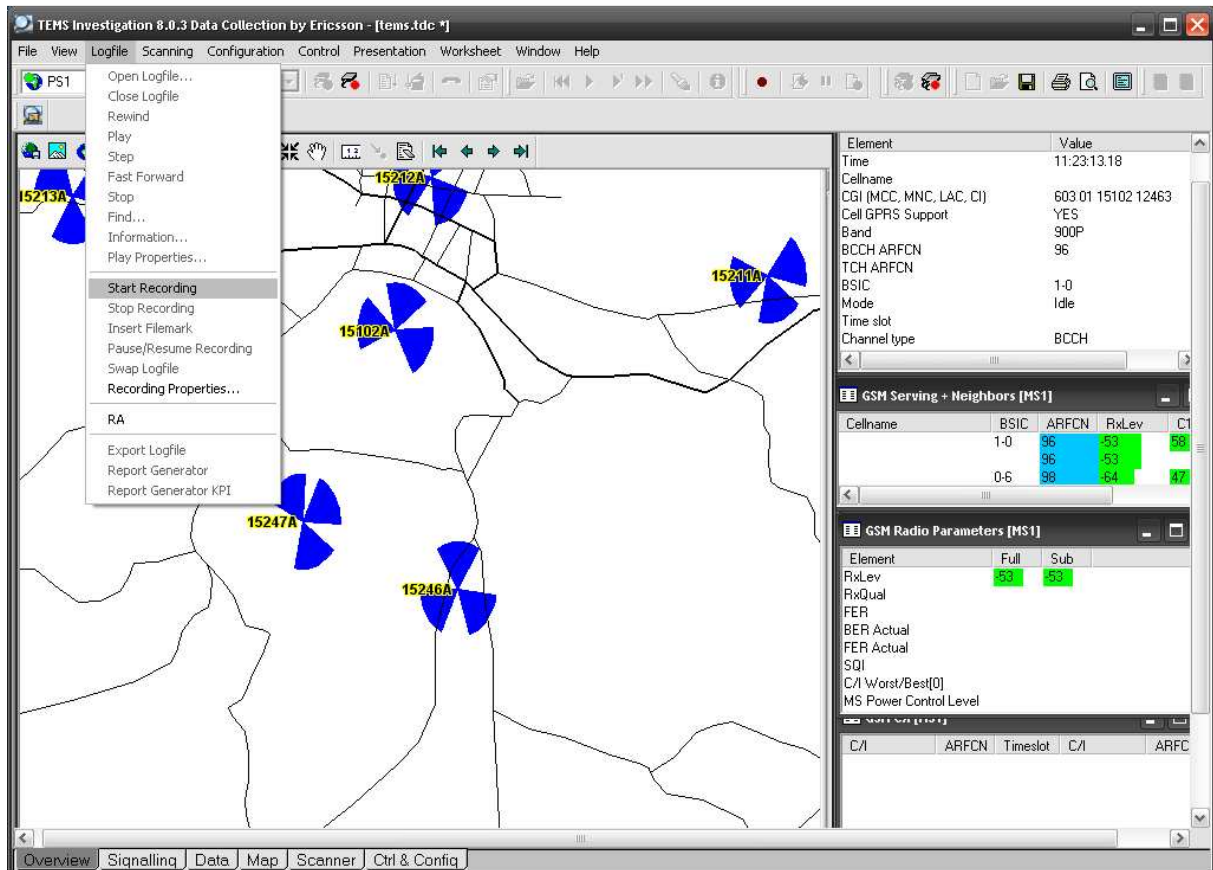


Fig.IV.9 début d'enregistrements.

- ✚ La collecte des données est achevée, on clique sur **Logfile** et **stop recording** pour arrêter l'enregistrement, comme l'indique la figure suivante.

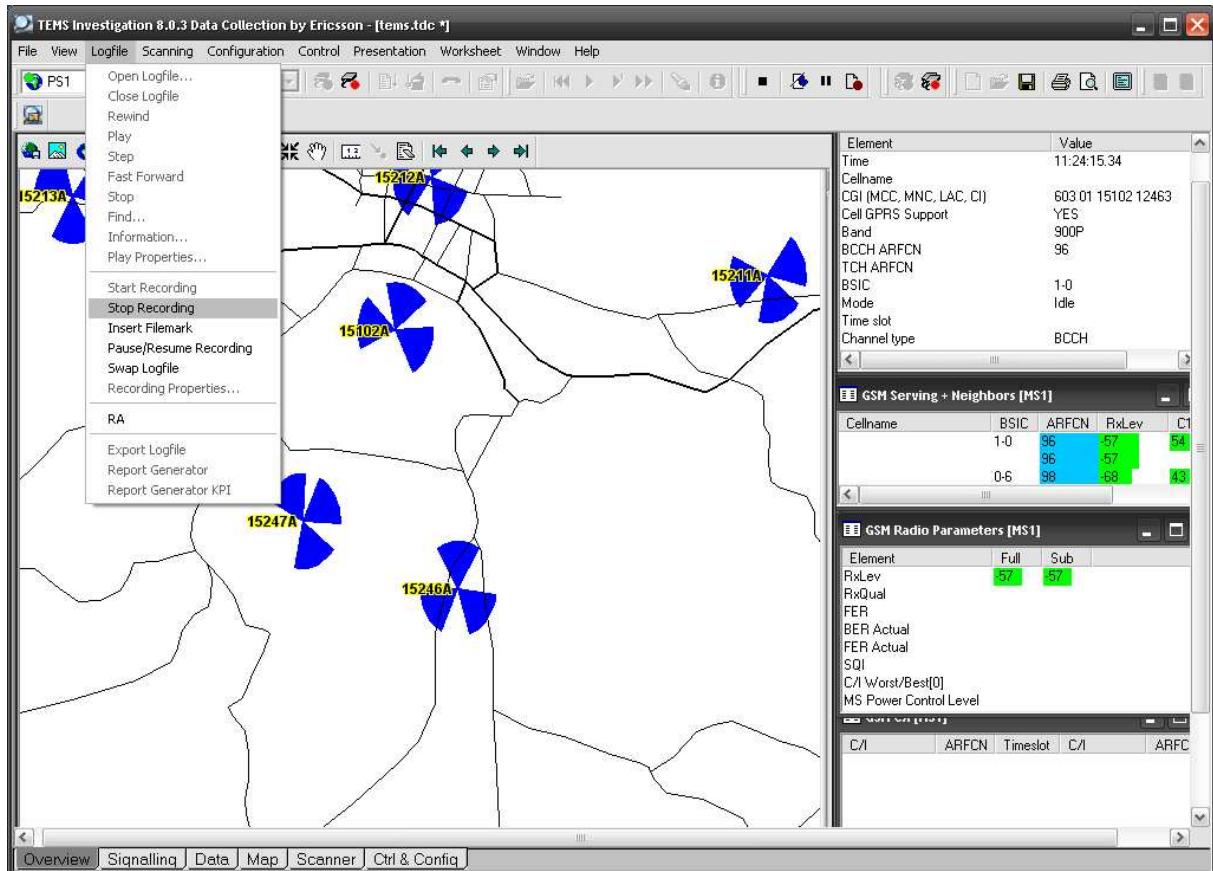



Fig. IV.10 Fin de l'enregistrement.

✚ On coupe l'appelle.

✚ La dernière étape consiste a déconnecté les équipements en cliquant sur cette icône . La figure suivante représente la déconnection complète du **Tools**. La couleur rouge le montre.

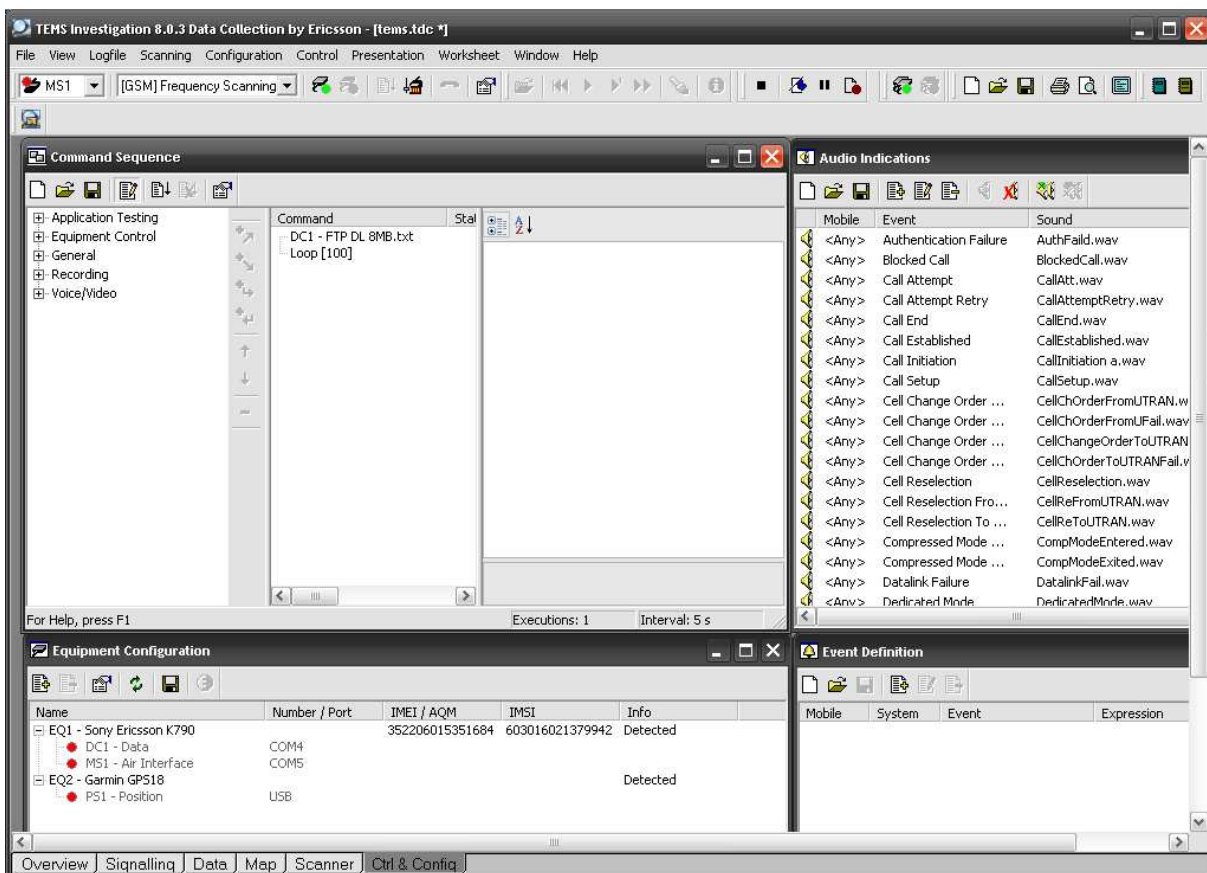


Fig. IV. 11 déconnexions du Tools.

VIII- Applications

Pour illustrer la procédure de Drive Test, nous allons présenter celui que nous avons effectué dans la région de BOUFHAMA (DRAA EL MIZAN) pour le problème du cross feeder (inversement de la position des câbles conducteurs venant des antennes vers la station de base radio) ainsi, celui du centre ville de TIZI OU ZOU afin d'avoir toutes les informations relatives à la qualité de la couverture radio sur cette zone.

Pendant ces drives test, nous avons parcouru toute les régions concernées, muni du matériel cité ci-dessus et avec le logiciel d'investigation. La route parcourue était indiquée au fur et à mesure sur la carte géographique radio .Nous avons scanné toutes les fréquences de ces régions et nous avons prélevé toutes les mesures relative au signal radio. Ces mesures ont été sauvegardées dans des fichiers dits **Logfiles**.

Au retour au siège de Mobilis, nous avons exploité les mesures prélevées afin de comprendre leurs significations, les problèmes rencontrés sur l'interface radio et leurs éventuelles solutions.

VIII-1 Application1 : Le Drive Test effectué à BOUFHAMA

Le but de ce Drive test est de faire une vérification sur la position exacte des câbles conducteur reliant les antennes à la station de base radio lors de leurs installations appelé le **cross feeder**.

VIII-1-1- Drive test route

La route parcourue pendant ce drive test est montrée par la figure ci-dessous :

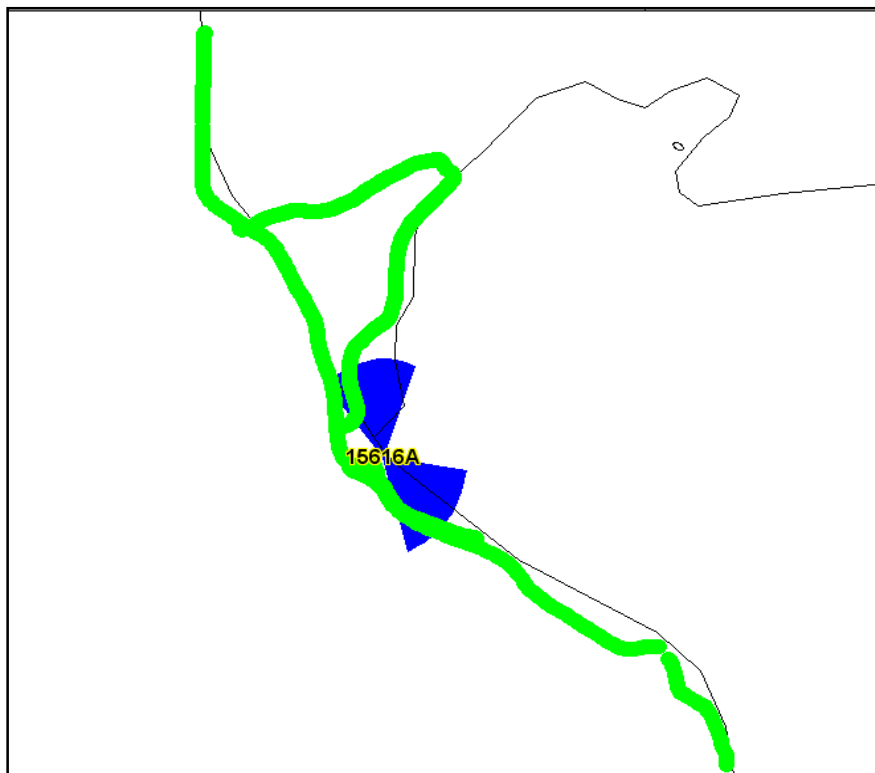


Fig. IV 12: Drive Test route.

VIII-1-2 Les mesures prélevées lors du drive test

- Le niveau du signal reçu (RxLevel)

Le mobile effectue en permanence des mesures du niveau du signal reçu, en mode veille et en mode dédié, avec la cellule serveuse et avec les cellules voisines. Ceci lui permet d'évaluer périodiquement le lien radio. C'est pour cela que le niveau du signal reçu " RxLevel" est la première mesure effectuée durant le drive test.

Le tracé généré selon cette mesure est le suivant :

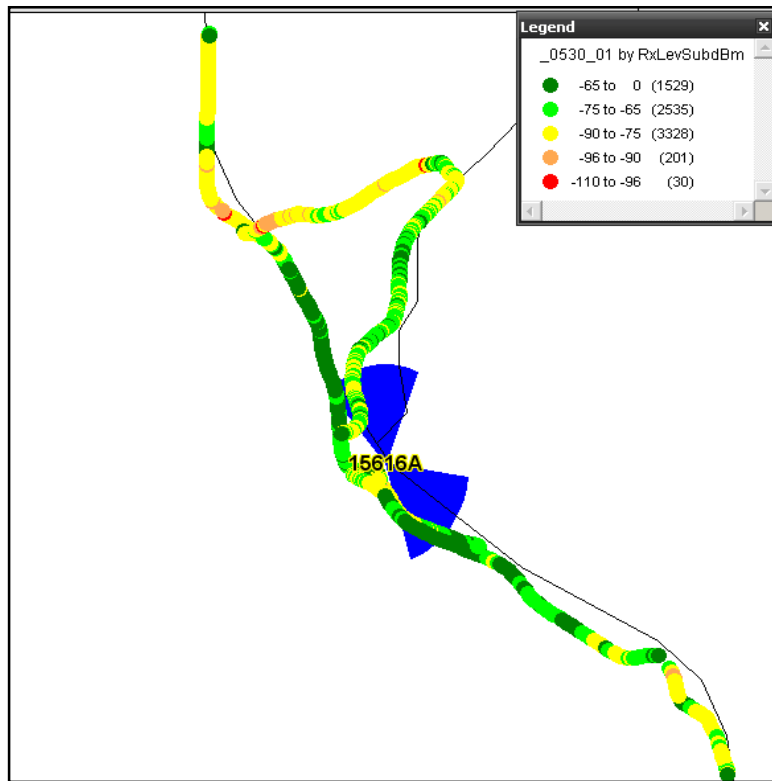


Fig. IV 13: niveau du signal.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

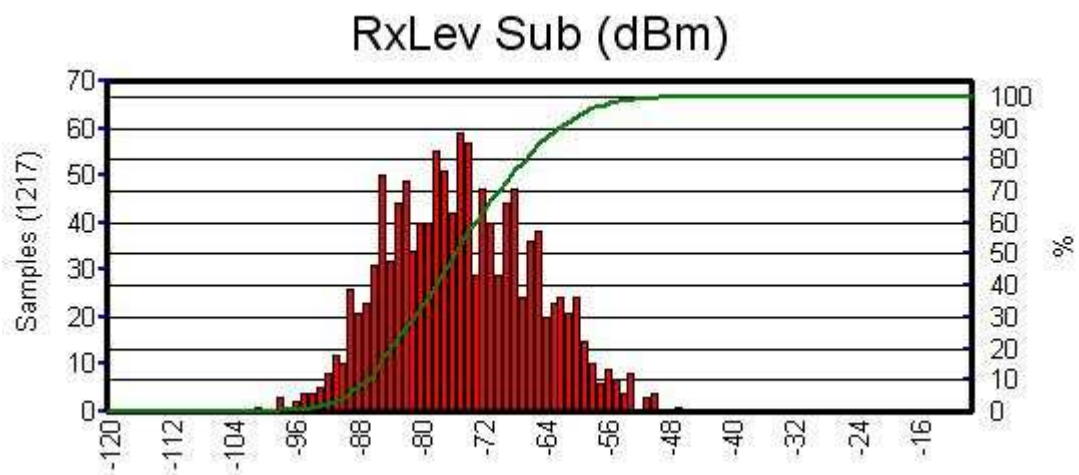


Diagramme IV.1: Pourcentage des échantillons prélevés pour RxLevel.

- **Interprétation du diagramme**

- ✓ 70% des échantillons enregistrés présentent un niveau de signal supérieur ou égal à -80 dbm. Ce qui correspond à un bon niveau de signal.
- ✓ 28% des échantillons appartiennent à l'intervalle [-90,-80] dbm .le niveau du signal est considéré acceptable.
- ✓ 02% des échantillons ont des valeurs inférieures à -90dbm ce qui donne un mauvais signal.

On remarque, selon le diagramme ci dessus, qu'on avait une bonne couverture (Indoor coverage). Cela permet aux abonnés d'être toujours dans la zone de couverture.

- **La qualité du signal reçu**

La qualité du signal reçu (RxQual) est la deuxième mesure à laquelle on s'intéresse pendant l'investigation du lien radio.

Le tracé généré selon cette mesure est le suivant :

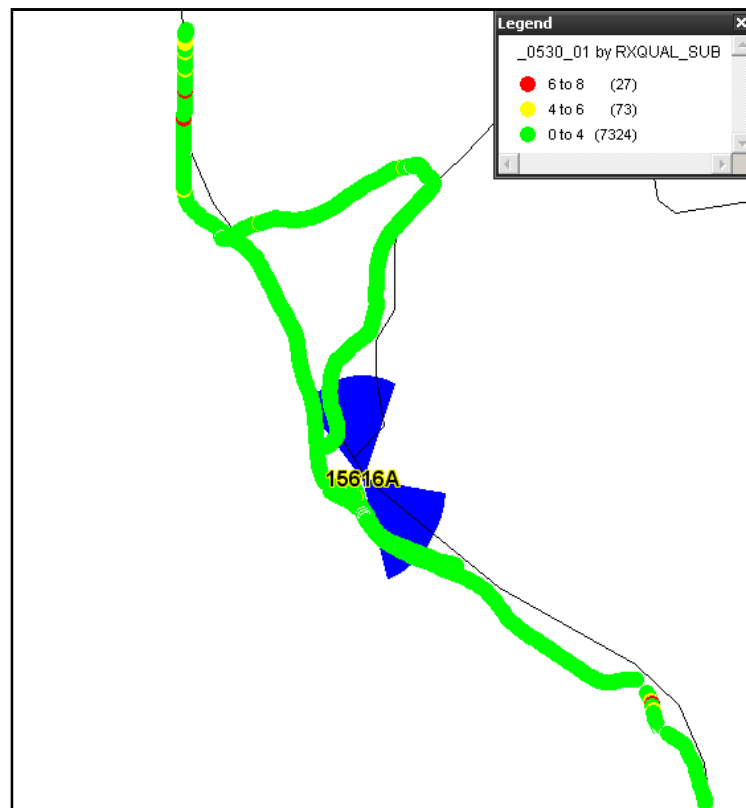


Fig. IV 14: Qualité du signal.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

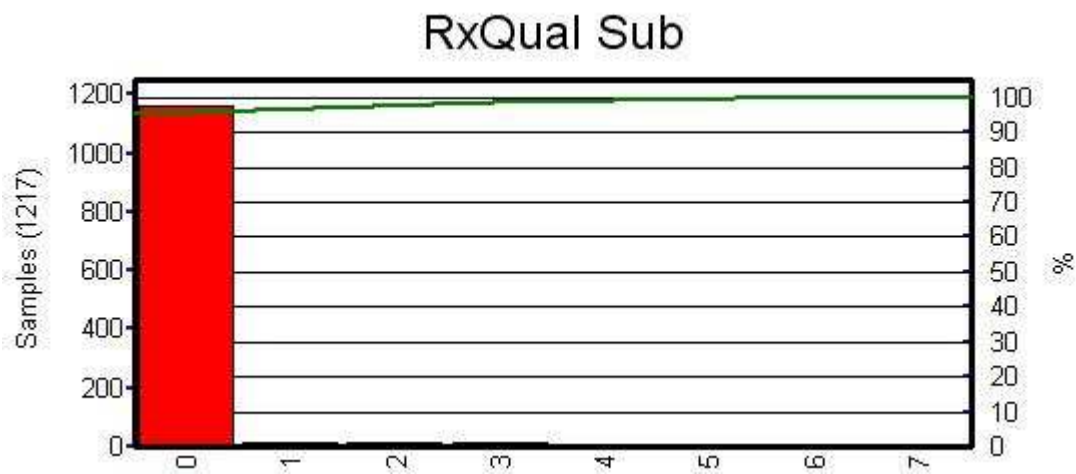


Diagramme IV.2 : Pourcentage des Echantillons Prélevés.

- **Interprétation du diagramme**

- ✓ 99,7% des échantillons enregistrés représente une qualité de signal inférieur ou égal à 4 ; le signal reçu est de bonne qualité.
- ✓ 0,25% des échantillons appartiennent à l'intervalle [4,6], la qualité du signal est acceptable.
- ✓ 0,05% restante ont des valeurs de RxQual comprise entre [6,8]; on a une mauvaise qualité du signal.

Selon ce diagramme, la qualité du signal est donc bonne sur cette zone qui permet aux abonnés d'établir des communications sans coupures.

- Timing advance

Le Temps d'avance représente la durée aller-retour entre MS-BTS et fait partie des paramètres estimés par le réseau lors d'une communication. Il permet de compenser le retard des signaux émis lors du trajet entre le mobile et la BTS.

Le tracé selon la mesure du Timing Advance (TA) est le suivant :

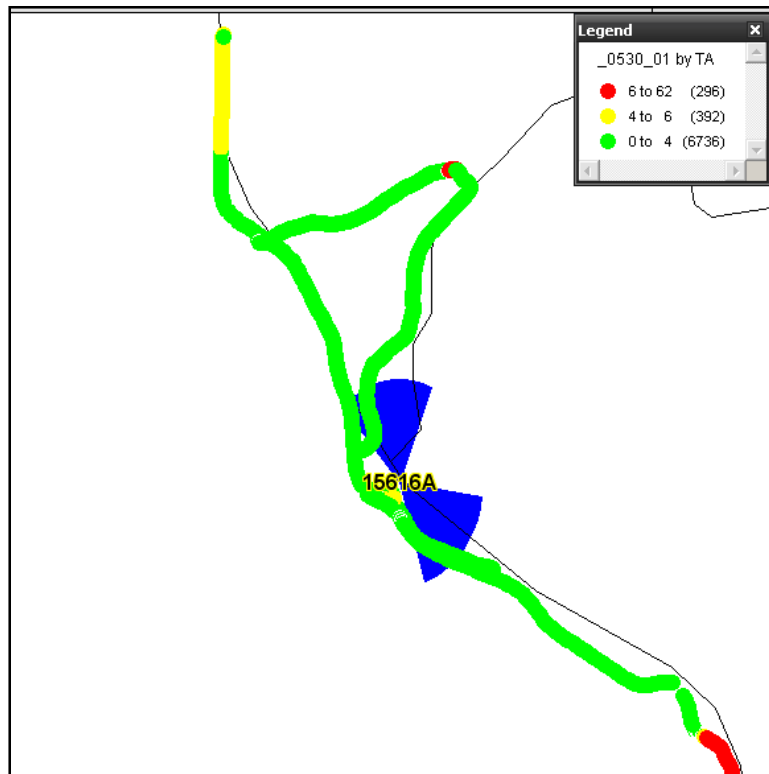


Fig. IV.15 Timing advance

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

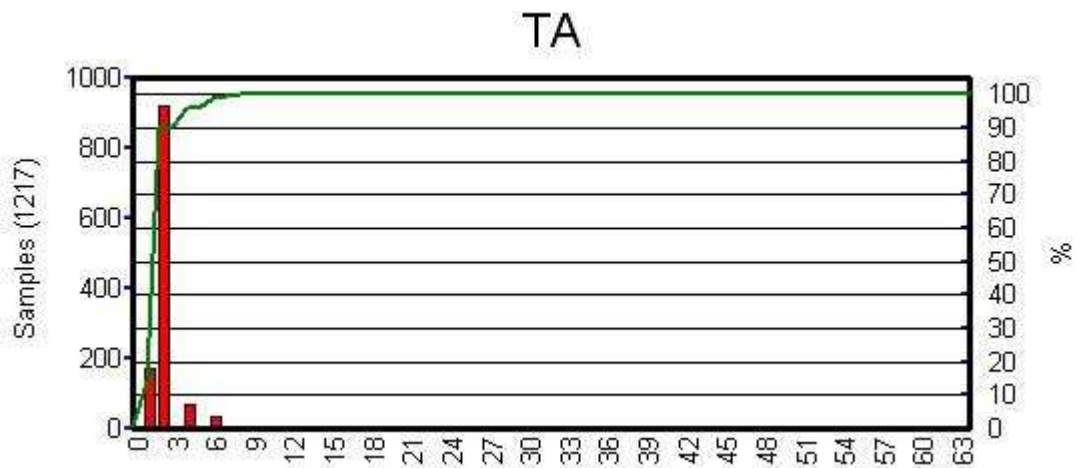


Diagramme IV.3 Pourcentage des échantillons prélevés pour le Timing advance.

- **Interprétation du diagramme**

- ✓ 90% des échantillons enregistrés sont dans l'intervalle [0,4] ; ce qui présente un bon temps d'avance.
- ✓ 07% des échantillons leurs valeurs se situe entre [4,6] ; ce qui présente un temps d'avance acceptable.
- ✓ 03% des échantillons restantes se situent dans l'intervalle [6.62] ; le temps d'avances est mauvais.

D'après ces résultats, les stations mobiles sont captées par les stations de base favorables car le temps d'avance est acceptable dans l'ensemble.

- **Les interférences C/I**

L'interférence fait partie des paramètres les plus importants mesurée durant le drive test, il doit toujours rester optimal vu que les interférences ont un impact très négatif sur la qualité de service offerte aux abonnés.

Ce tracé généré représente les interférences sur le canal radio.

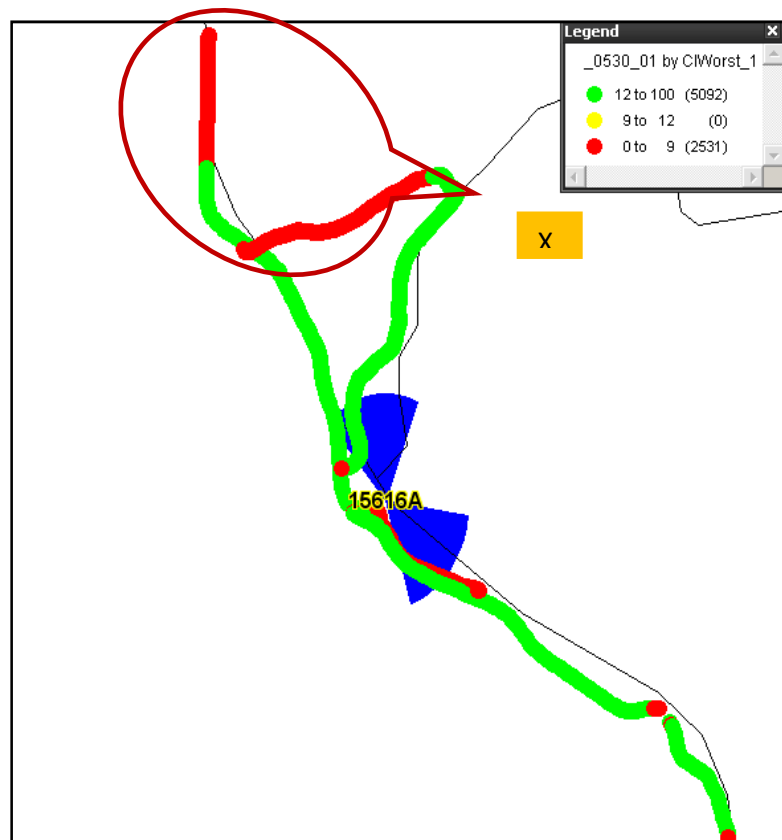


Fig. IV.16: les interférences C/I.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

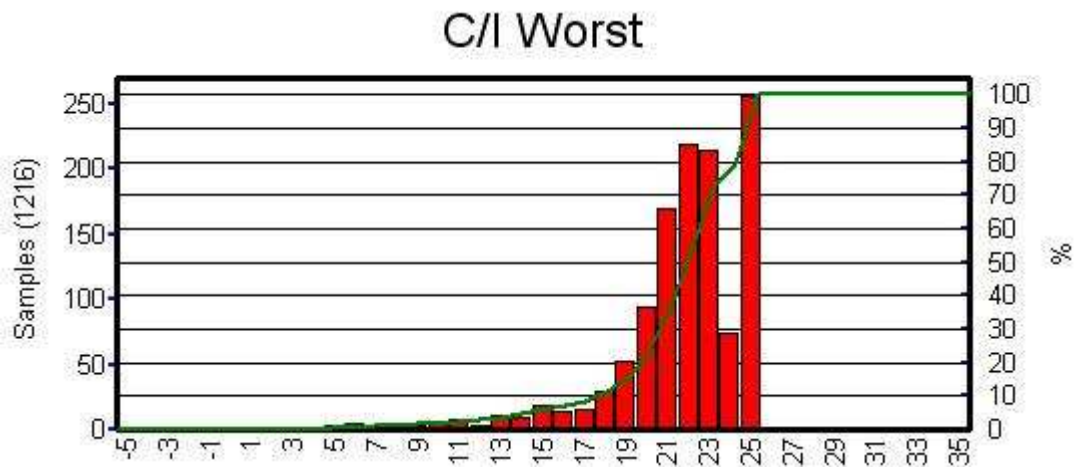


Diagramme IV.4 pourcentage des échantillons prélevés pour les interférences.

- **Interprétation du diagramme**

- ✓ 03% des échantillons enregistrés ont des valeurs inférieures ou égales à 9; ce qui présente un rapport signal sur bruit C/I mauvais.
- ✓ 97% des échantillons restants ont des valeurs supérieures ou égales à 9; ce qui représente un C/I bon.

Le rapport signal sur bruit est bon sauf pour la zone X où ce rapport est mauvais.

-La qualité de la parole SQI

La mesure de la qualité de la parole (SQI) est associée aux deux mesures précédentes, RxLevel et RxQual afin d'approfondir l'investigation sur la qualité de service offerte aux abonnés.

Nous avons donc généré un tracé selon cette mesure comme suit :

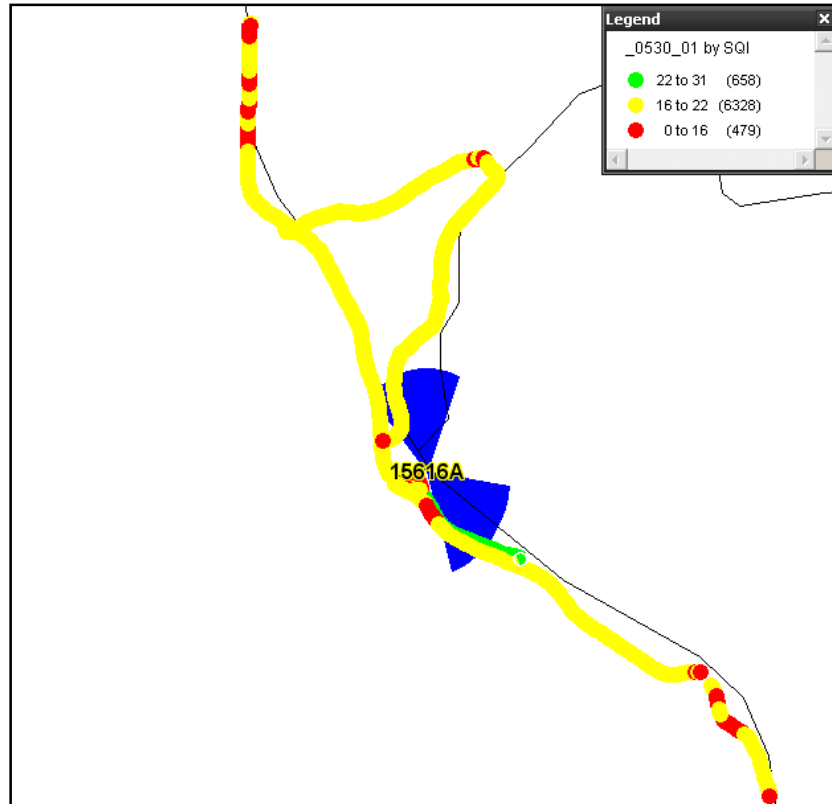


Fig.IV.17 Qualité de la parole.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

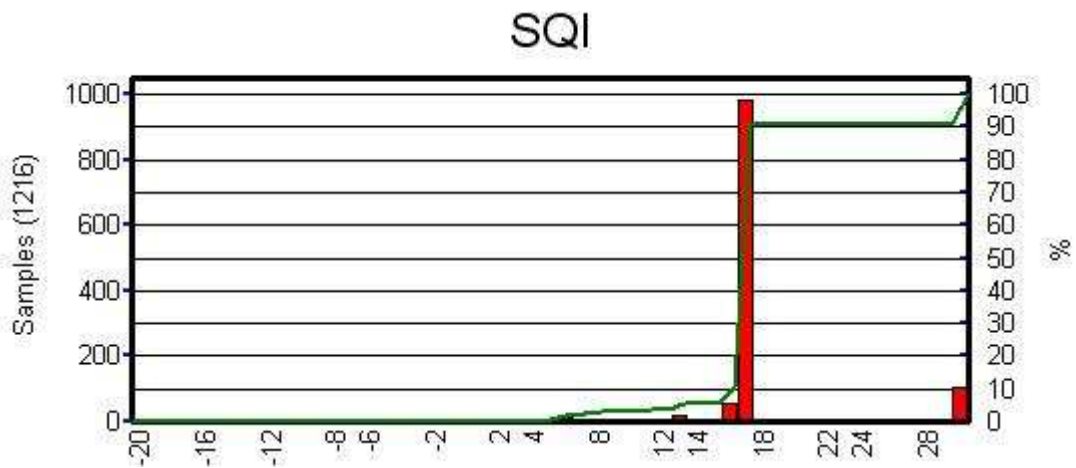


Diagramme IV.5 pourcentage des échantillons prélevés.

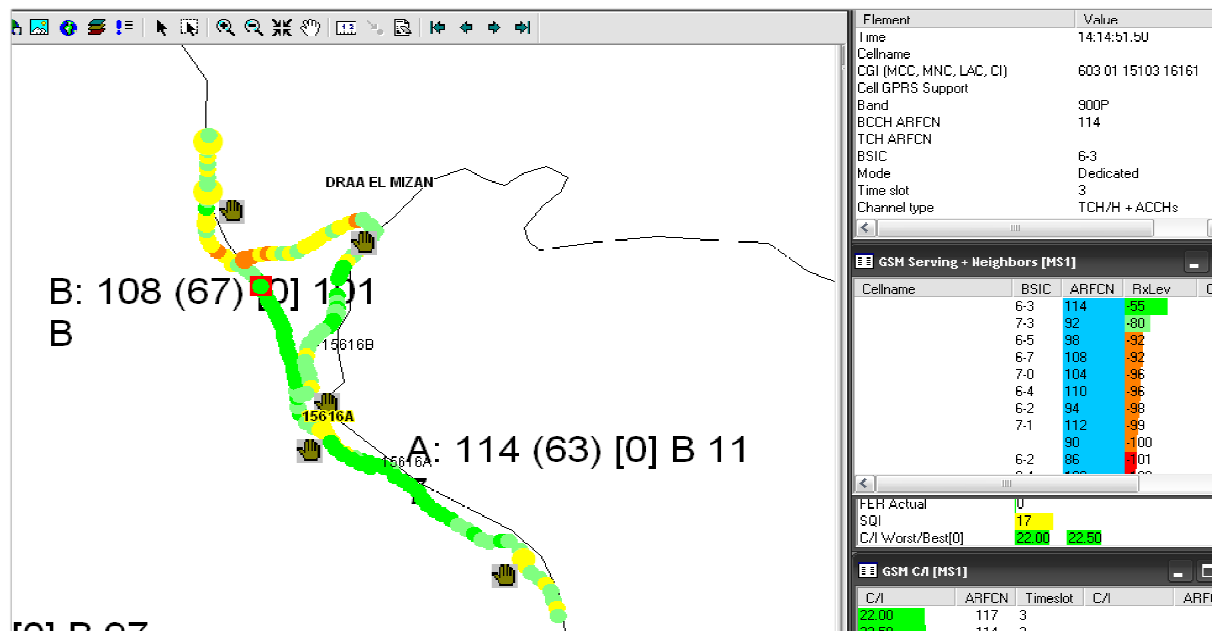
- **Interprétation du diagramme**

- ✓ 5 %des échantillons enregistrés ont des valeurs comprises dans l intervalle [0.16];la qualité de parole est mauvaise.
- ✓ 85% des échantillons prélevés ont des valeurs entre [16.22];la qualité de la parole est moyenne.
- ✓ 10% restante ont des valeurs de 22 à31;ce qui correspond à une bonne qualité de parole.

VIII.2 analyse des données et suggestions

- **avant la correction de la position des deux pairs de câbles (jumpeur ou feeder)**

L'analyse de ce drive test nous montre qu'il ya un cross feeder dans le site 15616 à BOUFHAMA dans la région de DRAA EL MIZAN, car quand on est présent devant le secteur A c'est le secteur B qui nous reçoit. Devant le secteur B le signal est reçu par le secteur A. Les trois figures suivantes indiquent le cross feeder sur le site.



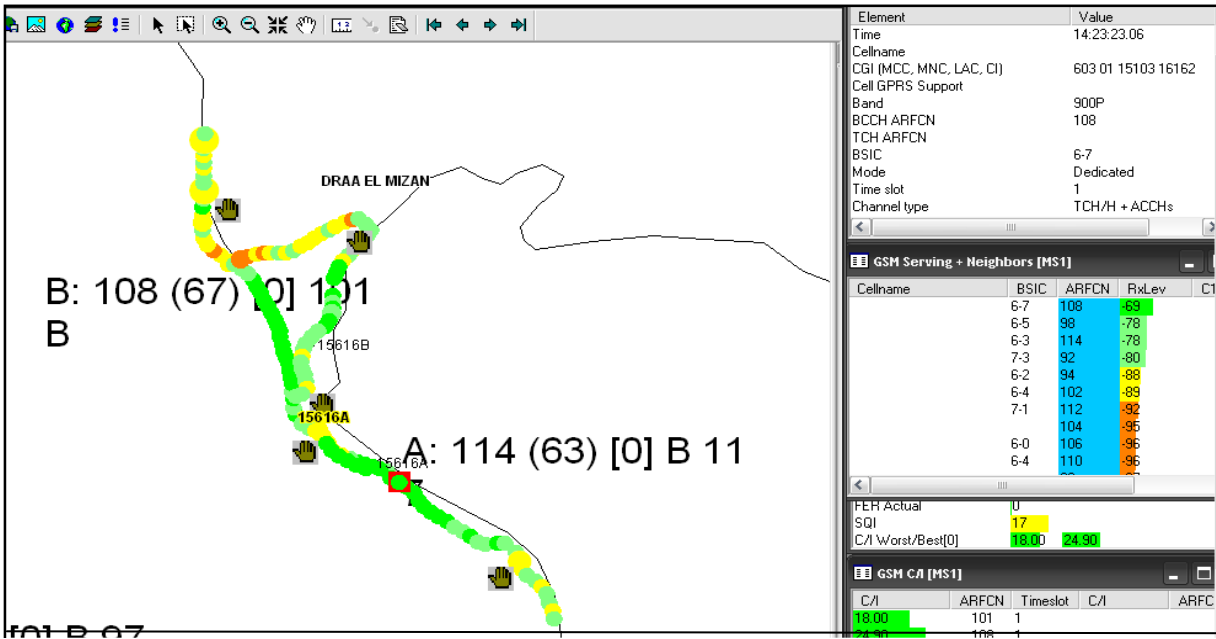
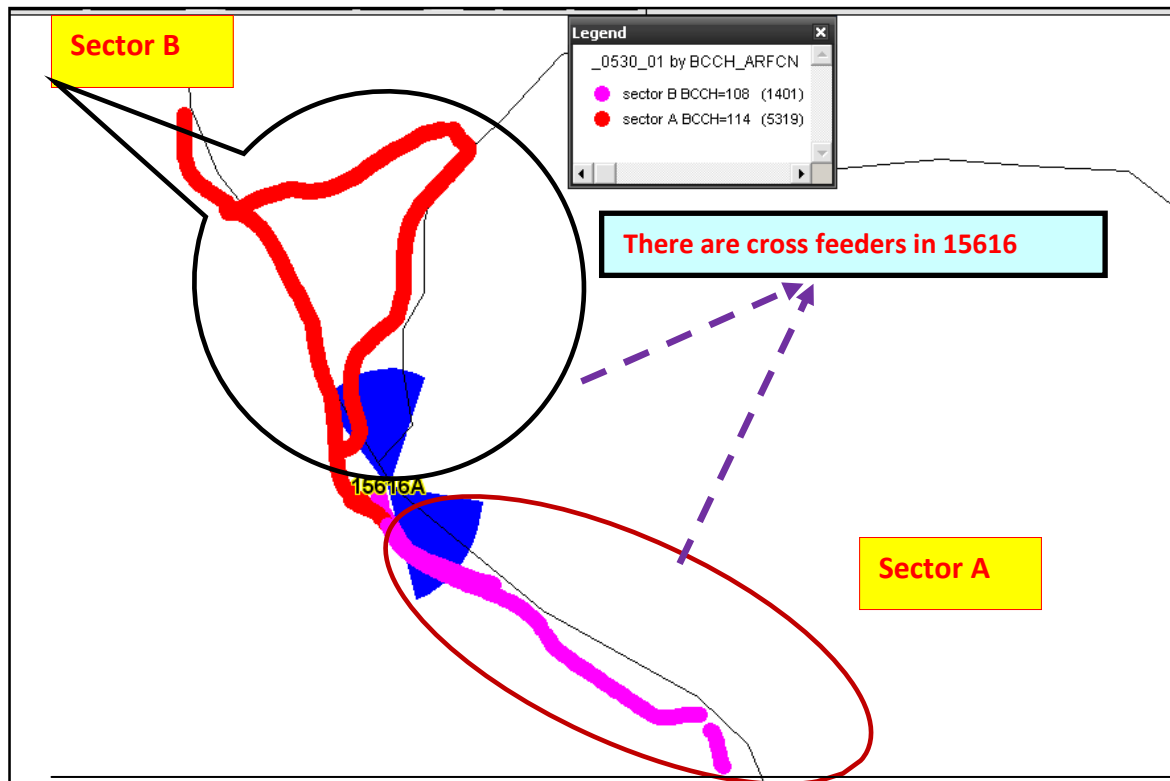


Fig. IV.18: Cross feeders dans le site 15616.

Pour confirmer ce cross feeder on a utilisé un code de couleur à l'aide du TEMS , ou chaque secteur est désigné par une couleur :Secteur A désigné par la couleur rouge,secteur B désigné par la couleur violet.



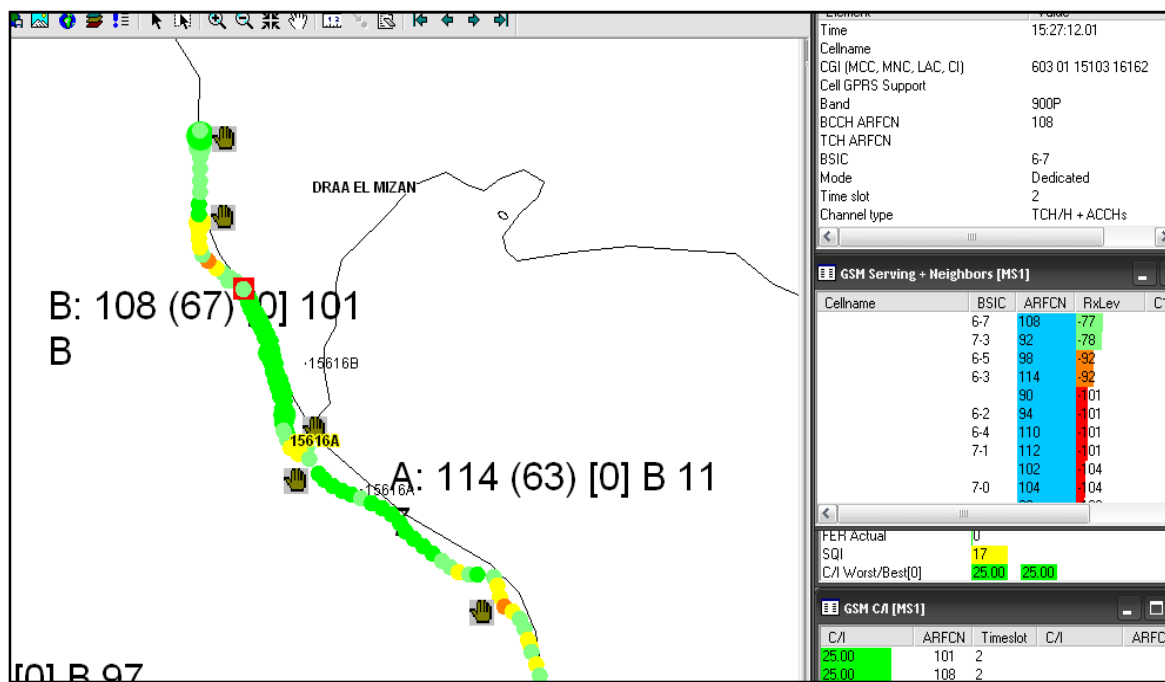
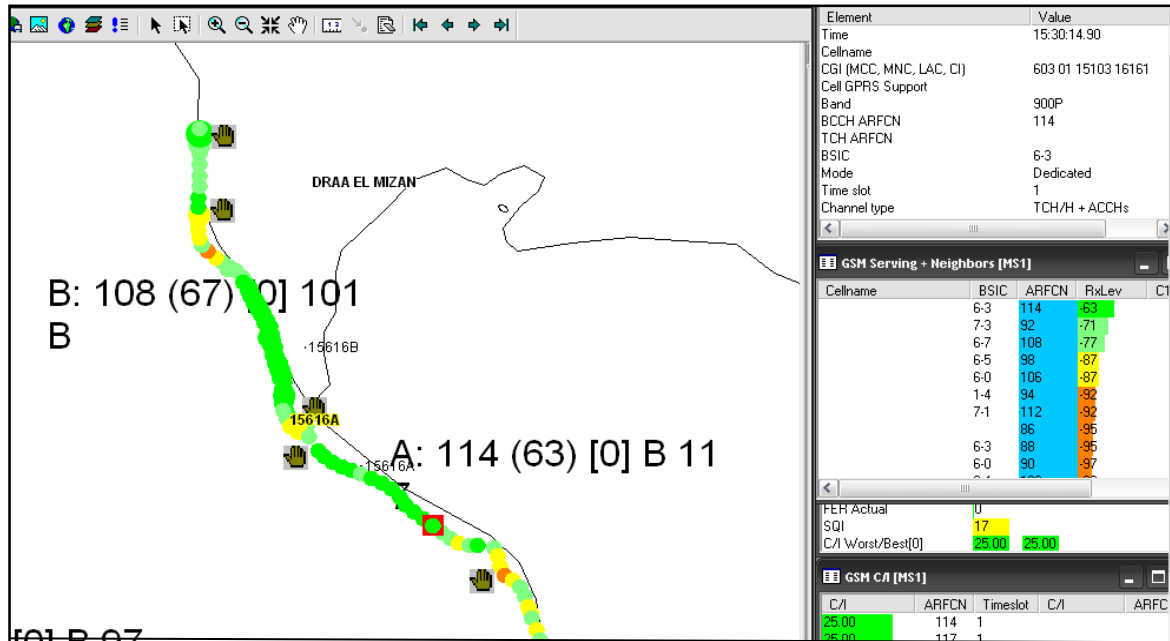
La figure si dessus montre qu'il ya réellement cross feeder car le secteur A présente une couleur violet au lieu du rouge et inversement pour le secteur B.

La photo ci- dessus montre l'emplacement inversés des conducteurs entre le secteur A et B



- **Après correction du branchement inversé :**

Les figures nous prouvent qu'il n ya pas de cross feeder dans le site 15615.réellement lorsque on se retrouve en face du secteur A le worksheets nous indique le secteur A ; également pour le secteur B.



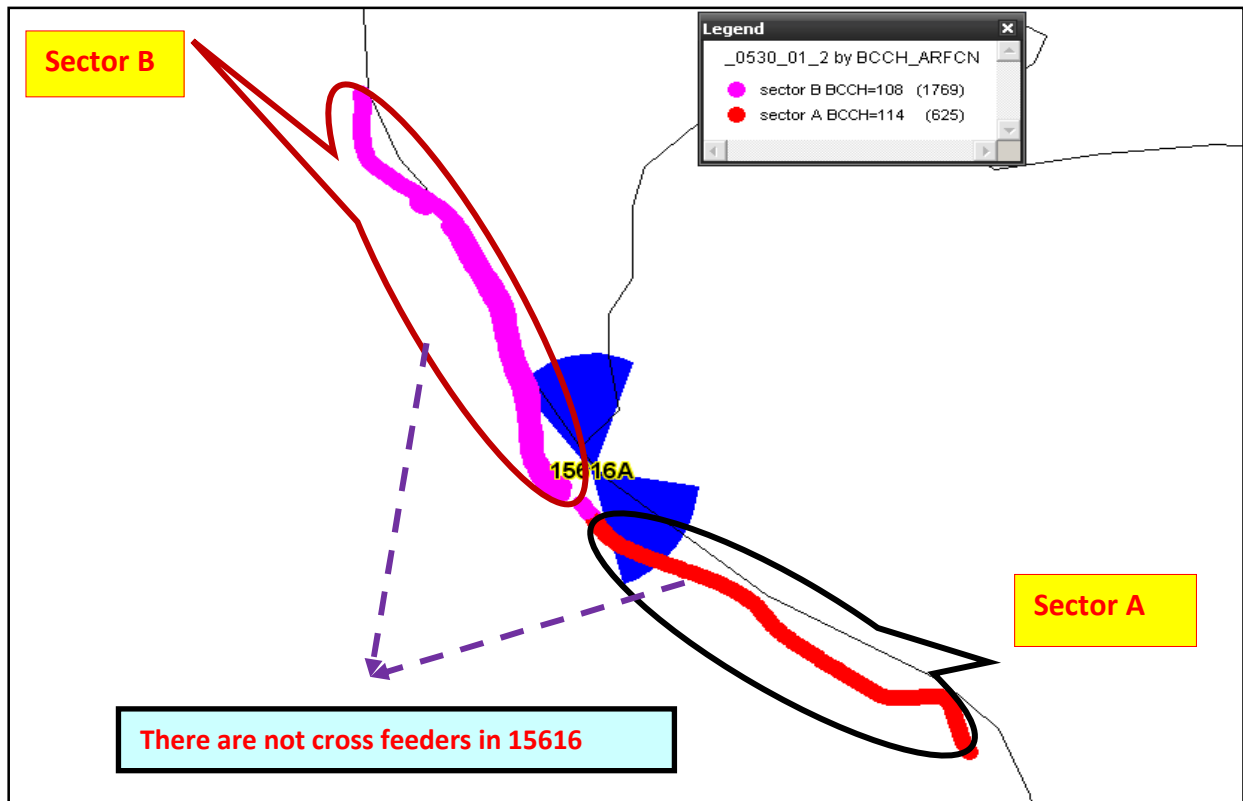


Fig. IV.19 Pas de Cross feeders dans le site 15616.

La photo ci-dessus nous montre la correction mecanique faites pour les fedeer .



VIII-2 Application2 : Drive test effectué au centre ville de TIZI OUZOU

Le but de ce drive test est de vérifier la couverture radio au centre ville de TIZI OUZOU.

C'est un drive test qui se fait au début de chaque mois afin de contrôler les paramètres radio.

VIII- 2-1 Drive test route

La route parcourue pendant ce drive test est montrée par la figure ci-dessous :

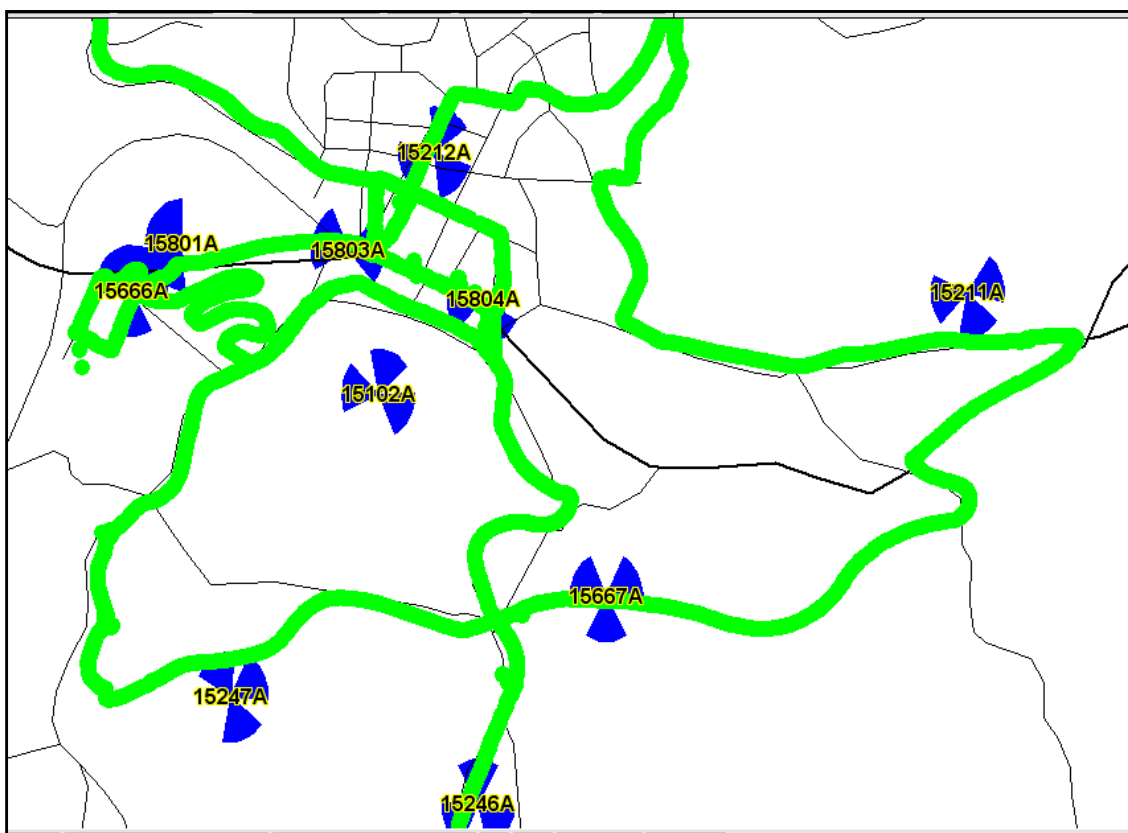


Figure IV.20 Drive Test route

VIII.2.2 Mesures prises lors du Drive Test

- Le niveau du signal (RxLevel)

Le tracé généré selon cette mesure est le suivant :

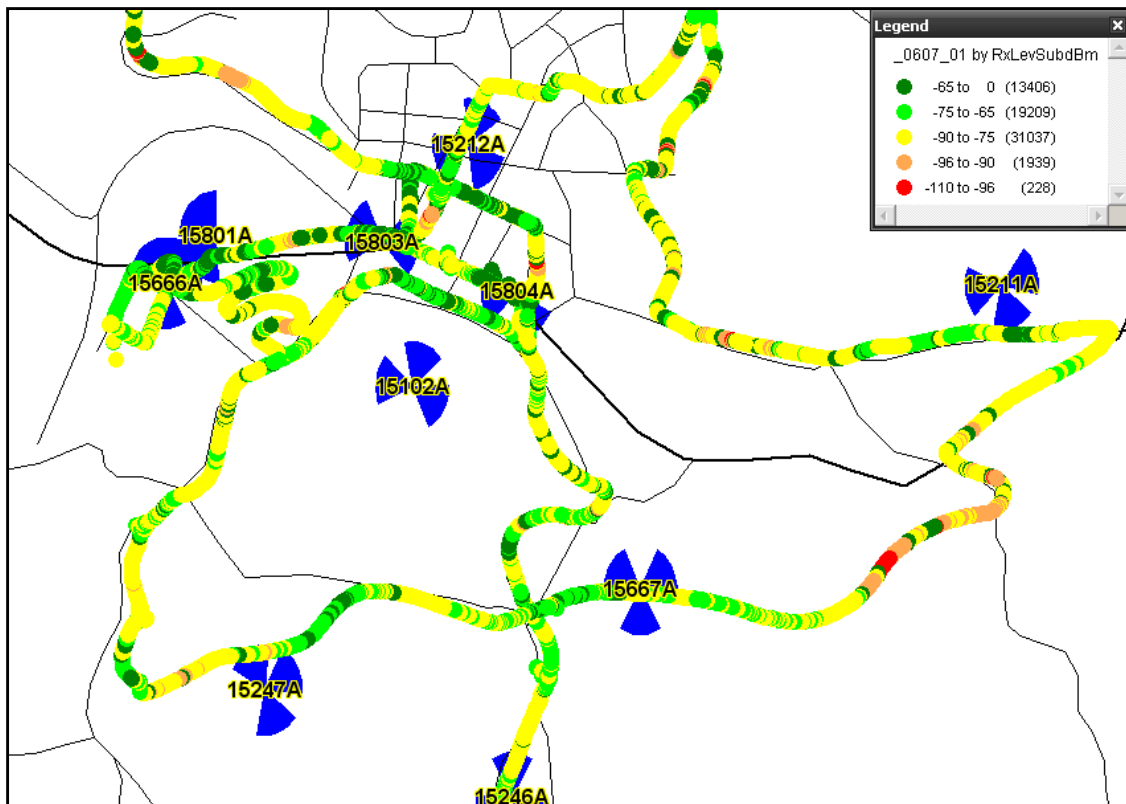


Fig. IV.21 Niveau du signal.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

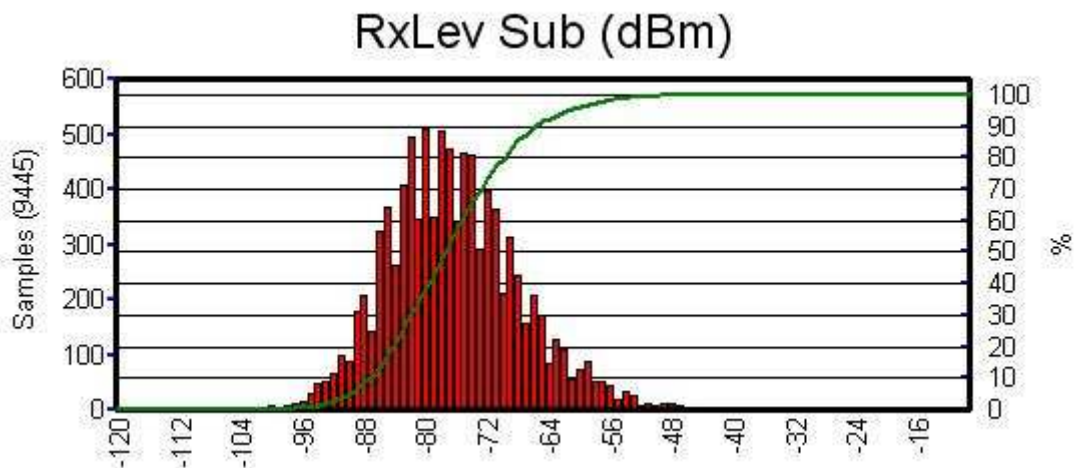


Diagramme IV .6 Pourcentage des échantillons prélevés pour RxLevel.

• **Interprétation du diagramme :**

- ✓ 60% des échantillons enregistrés présentent un signal supérieur ou égal à -80 dbm ; cela implique que le niveau du signal est bon.

- ✓ 37% des échantillons enregistrés sont dans l'intervalle [-90,-80] ; présente un niveau de signal moyen.
- ✓ 3% restantes ont des valeurs inférieures à -90% ; le niveau du signal est mauvais.

D'après ces résultats le niveau du signal au centre ville de TIZI OUZOU est bon sauf à la zone desservie par le secteur A du site 15211.

- La Qualité du signal reçue

Le tracé généré est donné sur cette figure.

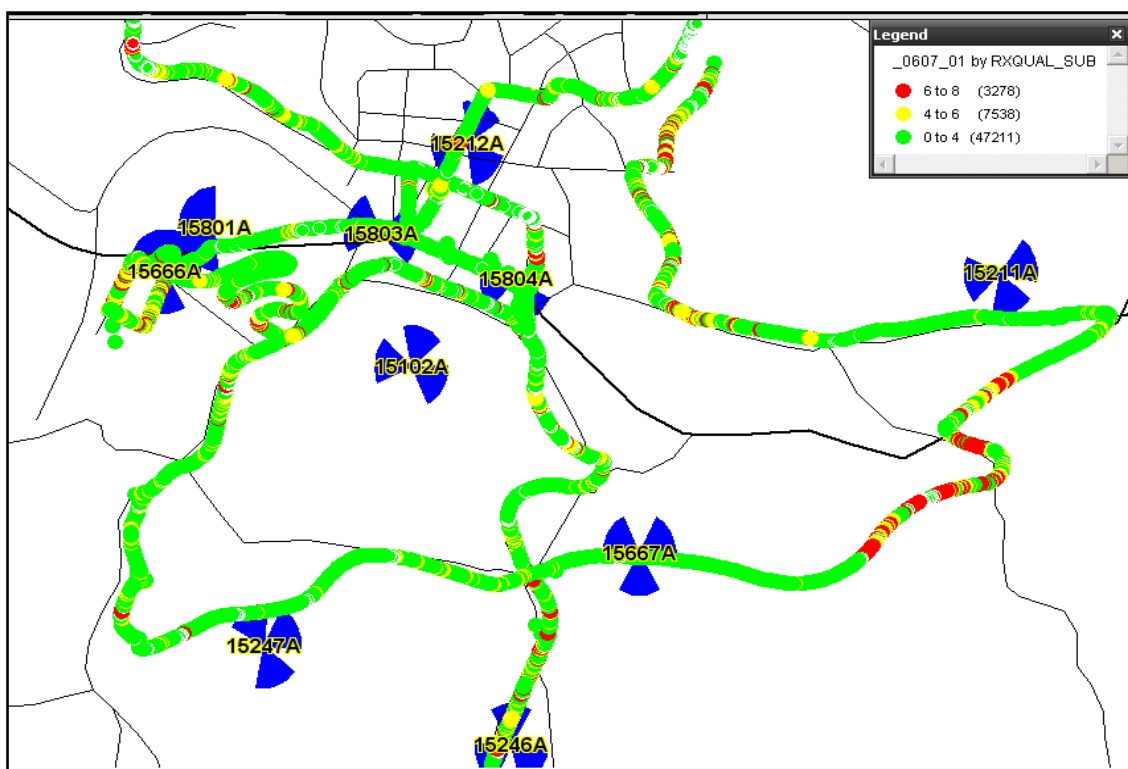


Fig. IV.22 Qualité du signal.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

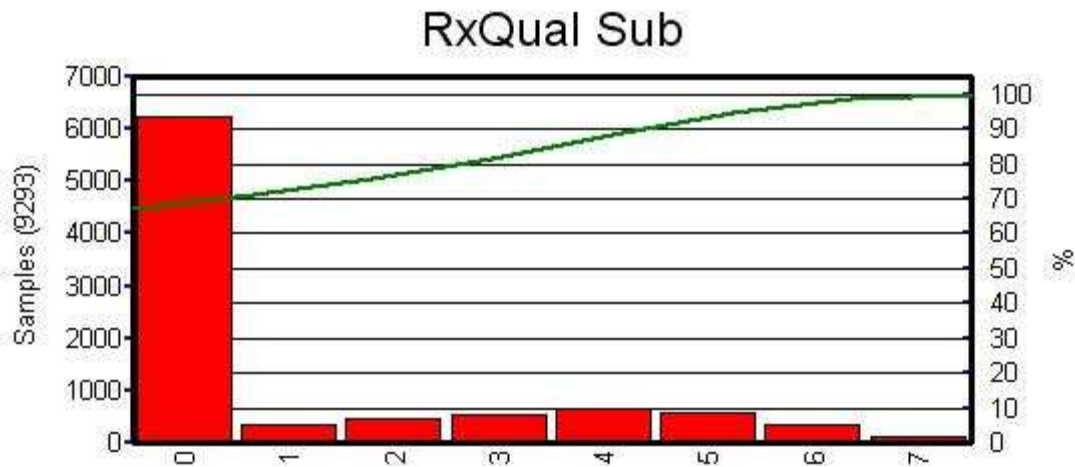


Diagramme IV.7 pourcentage des échantillons prélevés.

- **Interprétation du diagramme :**

- ✓ 85% des échantillons enregistrés ont des valeurs inférieure ou égal à 4 ; la qualité du Signal est bonne.
- ✓ 13% des échantillons sont dans l'intervalle [4,6] ; la qualité du signal est moyenne.
- ✓ 2% restantes ont des valeurs dans l'intervalle [6,8] ; la qualité du signal est mauvaise.

On remarque que le signal est de bonne qualité. Les appels peuvent être effectués sans coupures.

- Timing advance

Le tracé généré selon la mesure du Timing Advance (TA) est le suivant :

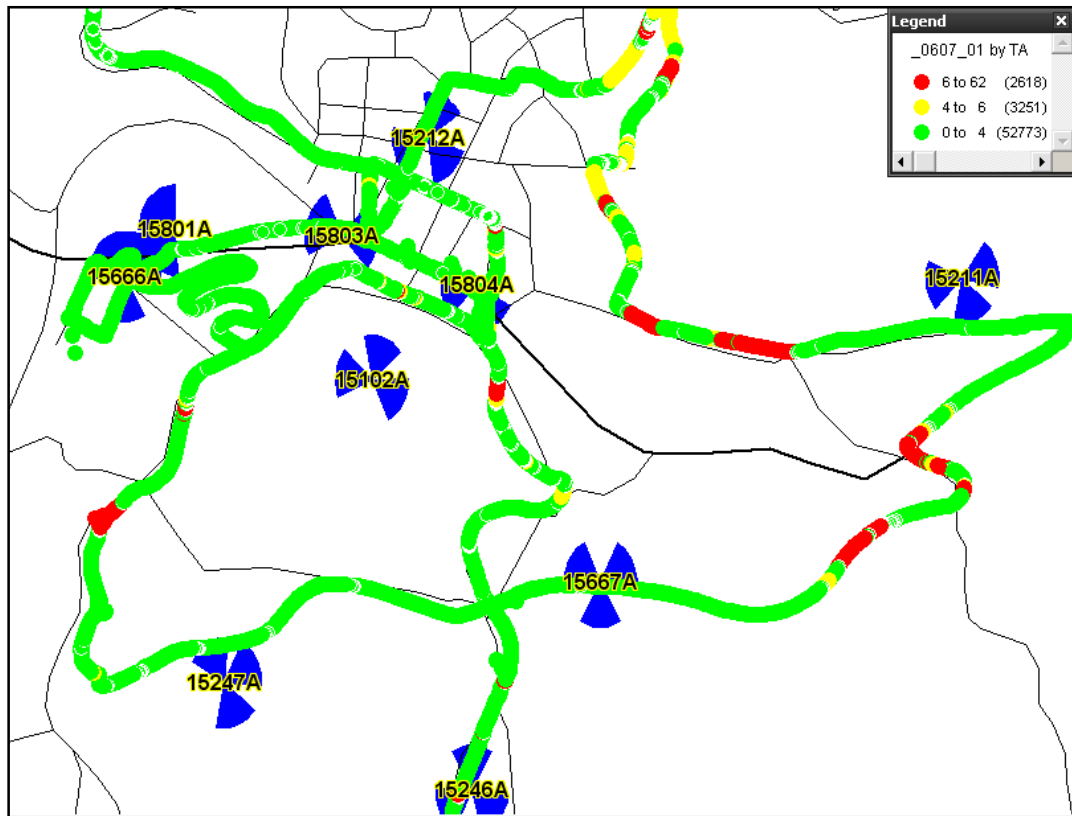


Fig. IV.23: Timing advance.

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

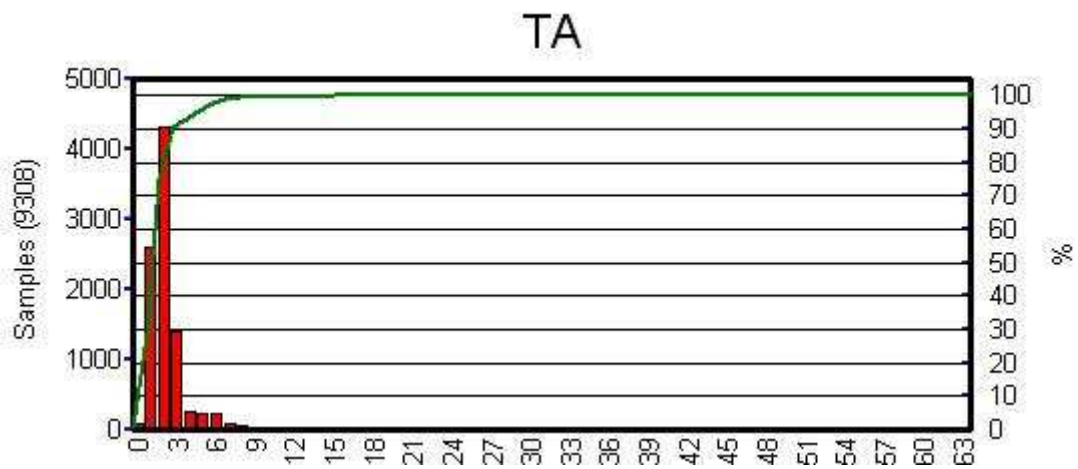


Diagramme IV.8 Pourcentage des échantillons prélevés.

• **Interprétation du diagramme :**

- ✓ 92% échantillons présentent un signal meilleur sur l'intervalle [0,4] ;ce qui donne un bon temps d'avance.
- ✓ 6% des échantillons ont des valeurs sur l'intervalle [4 ;6] ; le temps d'avance est acceptable.
- ✓ 2% restantes ont des valeurs entre 6 et 62 ;le temps d'avance est mauvais.

Dans l'ensemble le temps d'avance n'est pas important sauf pour la zone desservie par le secteur A et B du site 15211.

-Les interférences C/I

Le tracé suivant nous donne les interférences sur le canal radio

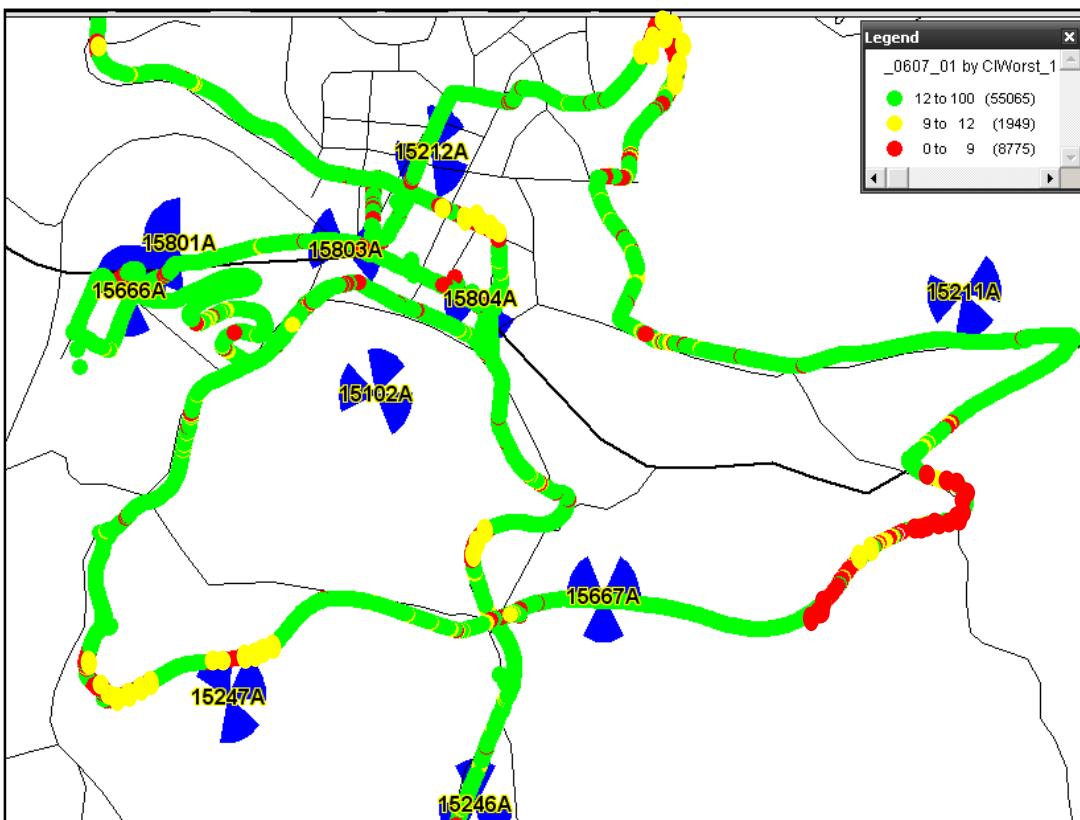


Fig. IV.24: Les interferences (C/I)

On fait correspondre à ce tracé le diagramme suivant :

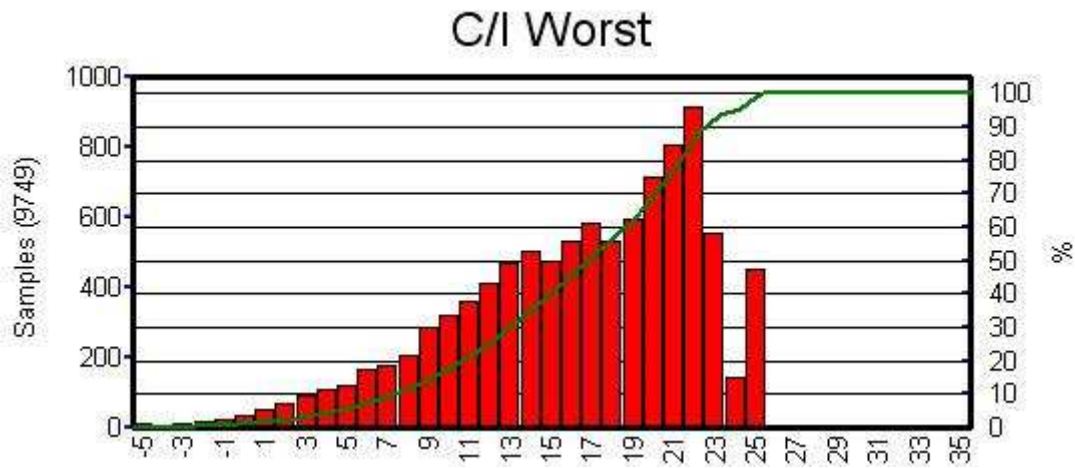


Diagramme .IV.9 pourcentage des échantillons prélevés.

• **Interprétation du diagramme**

- ✓ 18% des échantillons ont des valeurs inférieures ou égales à 9; les interférences sont mauvaises.
- ✓ 82% d'échantillon ont des valeurs supérieures ou égales à 9 ; les interférences sont bonnes.

On remarque qu'il y a problème d'interférences dans la zone desservie par le secteur A du site 15211.

VIII.2.3 : L'analyse de données et suggestion

La couverture radio au centre ville de Tizi-Ouzou est moyenne (acceptable) sauf pour la zone couverte par le secteur A comme le montre les deux figures suivantes.

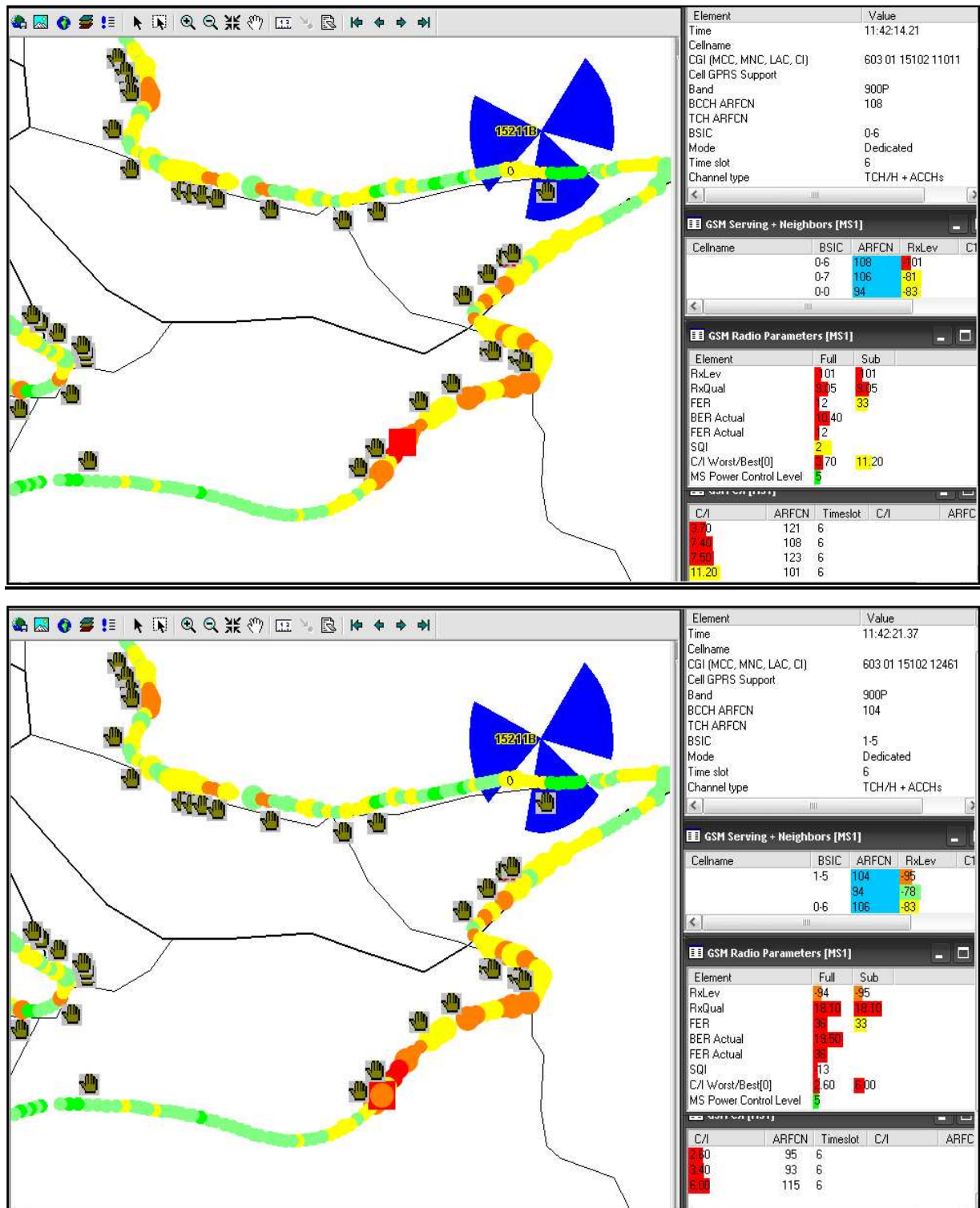


Fig. IV.26: Analyse du secteur A.

L'analyse de ces figures montre qu'il ya un problème de couverture dans ce secteur car la qualité et le niveau du signal sont mauvais, ainsi la valeur du temps d'avance est trop importante. Ce secteur est desservi par les cellules 15246A, 15214B & 15101A, au lieu de la cellule 15211X, malgré qu'il soit fonctionnelle. Ces sites sont caractérisés par des valeurs de Timing Advance supérieures à la norme par conséquent leurs couverture va au delà des zones à couvrir. Ce sont des sites situés sur les hauteurs et les planificateurs les prévoient pour assurer une bonne couverture. A l'ajout de nouveaux sites pour l'augmentation du trafic et suite à la réutilisation de fréquences, ces sites situés sur les hauteurs posent aussi des problèmes d'interférences.

Pour y remédier a se problème :

- Il est recommandés de faire des visites sur ses sites par une équipe hétérogène (ingénieurs radio et antenniste) ainsi faire un down tilt pour les antennes des secteurs de ses sites car ils sont dominants et empêchent la couverture de cette zone par le site le plus favorable
- Diminuer la puissance des sites en question à partir du BSC d'origine et ce pour limiter la portée de leurs rayonnements.

XI-Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons défini l'optimisation radio et nous avons vu qu'elle repose sur l'outil drive test.

Nous avons ensuite illustré le drive test, en présentant celui effectué dans les zones de Boufhama ou la solution était de faire une correction mécanique pour les fedeer inversés et celui du centre ville de Tizi Ouzou pour le problème de couverture ou on a constaté que :

- Dans l'ensemble le niveau du signal reçus est bon.
- Il est recommandé d'effectuer un down tilt pour le secteur B de la cellule 15214 et le secteur A pour le site15246.
- Examiner le système d'antenne du site 15101.
- Planifier un nouveau site au centre de Tizi Ouzou.

*Conclusion
Générale*

Cette étude n'est nullement une approche théorique pour la maîtrise de l'architecture du système radio cellulaire GSM ainsi l'étude de son interface radio afin d'acquérir des connaissances sur les changements qu'elle subit. Mais une réalité du jour largement utilisée par les réseaux de télécommunications.

L'impact de ce projet sur notre formation n'est pas indéniable ; Ce projet nous a permis de se familiariser aux différents équipements constituant le réseau GSM et voir de plus près les problèmes liés à la transmission radio. Ainsi, explorer le monde des télécommunications grâce aux tests de mesures effectués sur le lien radio en exploitant le logiciel TEMS et on compagnie des ingénieurs spécialisés dans le drive test.

Le drive test qui est la collecte de données en se déplaçant par véhicule sur l'endroit concerné afin d'améliorer les performances de l'interface air qui nécessite un maintien permanent et fiable du moment que l'abonné est toujours rattaché au réseau via cette interface. Le drive test est toujours finalisé par un rapport technique qui sera envoyé vers l'OSS (opération and support system) afin d'exploiter les suggestions. Le drive test, on peut dire que c'est un outil pratique efficace pour mettre en exergue tous les problèmes rencontrés sur le lien radio et y remédier en collaboration avec les ingénieurs qui s'occupent des configurations sur les BSC ou avec les antennistes ou encore avec les spécialistes des transmissions.

A ce titre, le contenu de se mémoire constitue d'une part, un apport réel à l'enrichissement et la mise à jour des connaissances au niveau de l'université ; d'autre part, il lui permet d'être au diapason des réalités technologique applicables de nos jour à travers le monde. Nous proposons en perspective de faire une étude sur les statistiques qui sont le deuxième outil utilisé pour optimiser le lien radio afin de permettre au maximum d'abonnés d'accéder au réseau. Ce sont la collecte de différents paramètres radio issus des différents BSC que compte le réseau. Elles se font au niveau d'Alger à l'aide d'autres logiciels très spécifiques appelés X Manager, citrix réflexion X.

Bibliographie

Ouvrages

- [1] Réseau GSM ,5^{ème} édition revue et augmenté.
Xavier Lagrange, Philippe Godlewski, Sami Tabbane.
Avril 2006.
- [2] Le réseau GSM, évolution GPRS, I-mode et wap.
Joachim Tisal ,4^{ème} édition.
Dunod.paris ,2003.
- [3]Télécommunication, principe, Infrastructure et service.
Daniel Battu, préface de Jack Doudou.
Dunod, paris 2001.

Mémoires

- [4] Architecture interne et principe de fonctionnement d'une station de base radio du réseau GSM.
Réalisé par :
M^{lle} ZOHRA HABANI.
M^{lle} LYNDIA RECHIK.
Promotion 2005-2006.
- [5] Etude et déploiement d'un nouveau site GSM(BTS) de MOBILIS dans la wilaya de Tizi-Ouzou.
Réalisé par :
M^r. HASSAN IDIR.
M^r. AREZKI BOUDISSA.
M^r. SAID HARIKENCHIKH.
Promotion 2007-2008.
- [6] Intégration d'une RBS 2206 de MOBILIS wilaya de Tizi Ouzou.
Réalisé par:
M^{elle} FATIHA AIT LARBI
Promotion 2007-2008.

Sites web.

- [7] www.généralité sur le réseau GSM et GPRS.
- [8] www.etsi.org et www. 3gpp.org.
- [9] http://www.gsmworl.com.
- [10] www. Antennes relais de téléphonie mobile.
- [11] C:\Documents and Settings \Administrateur \Bureau \TEMS Investigation.mht.
- [12] Documents and Settings \Administrateur \Bureau \Mesures de signaux RF.

Document ERICSSON.

- [13]. Datta collection User's manual.chm.
- [14]. Getting started manual.chm
- [15]. Route analysis User's manual.chm.
- [16] Drive test spécification

Fichier PDF.

- [17] Généralités sur les supports de transmission.
- [18] Le réseau GSM et le mobile.
- [19] Le téléphone mobile et ses évolutions.
- [20] Etendre dynamiquement la couverture d'un réseau Mesh (Time Division Multiple Access).
- [21] Planification radio d'une solution de couverture indoor GSM,

Rapport de fin d'étude

Elaboré par : Imen DAYA

Promotion 2004-2005.Ecole Supérieur des Télécommunications de Tunis.

Glossaire

Glossaire :

A

AGCH: Access Grant Channel

ARFCN: Absolute Radio Frquency Channel Number.

ARPT: Agence de Régulation des Postes et Télécommunication.

AUC: Authentification 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

ANNEXE

- **La typologie des paquets**

La norme définit quatre types de paquets :

- d'accès,
- de synchronisation,
- normal,
- de correction de fréquence.

Le paquet d'accès : Tous les mobiles prennent contact avec le réseau par l'émission d'un paquet d'accès dédié. Le paquet d'accès est le plus petit des paquets, il transporte 77bits et il dispose d'un temps de garde GP le plus important : 68,25 bits soit 252 μ s. Ce temps GP permet d'établir des communications avec des MS distantes de 35km de la BTS. Le réseau estime en permanence la durée du voyage d'un paquet et asservit en conséquence l'instant du début d'émission de la MS pour compenser le retard dû à la propagation des ondes radio entre le mobile et la BTS.

-Le paquet de synchronisation : Ce paquet transporte 142bits parmi lesquels se trouvent 78bits d'informations pour les stations mobiles, porteur de données à propos de leur localisation dans le réseau (identification de la BTS, identité de la cellule, identité de la zone) et de la fréquence d'accès dans ce réseau.

-Le paquet normal : Ce paquet transporte 142 bits d'informations. Les 26 bits du milieu sont une séquence d'apprentissage servant aux réglages des paramètres de réception. 2 bits indiquent le type de canal utilisé (données, signalisation), 6 bits prédéfinis marquent la montée et la descente en amplitude, la zone TB a une durée de 8,25bits. Ce type de paquet transporte les données d'une communication d'un abonné du réseau.

-Le paquet de correction de fréquence : Ce paquet transporte 142 bits d'informations à propos de la station de base.

- **La modulation à saut de phase MSK**

Plus un signal contient des sauts brusques d'amplitude ou de phase, plus son occupation spectrale est conséquente. Une manière d'obtenir un spectre compact est d'adoucir les transitions en les rendant progressives, c'est ce qui est fait avec la modulation MSK (Minimum Shift Keying) en limitant la variation de phase entre deux symboles à $\pm\pi/2$ et pour cela il suffit de

modifier un seul bit à la fois dans le mot de deux bits à condition d'avoir utilisé un code de type Gray. Pour coder les symboles, c'est -à-dire deux symboles adjacents ne diffèrent que par un bit.

- **Notion de décibel**

dB $n \text{ (dB)} = 10 \log P_1 / P_2$ Gain en puissance.

$n \text{ (dB)} = 20 \log I_1 / I_2$ Gain en courant.

$n \text{ (dB)} = 20 \log V_1 / V_2$ Gain en tension.

dBm : C'est un niveau absolu de puissance exprimé en dB et donnant le rapport P/P_r .

Ou P : est la puissance en un point du système.

P_r : est la puissance de référence = 1mw.

- **Le multiplexage CDMA (Code Division Multi Access)**

La technique CDMA permet la transmission de plusieurs communications sur un même canal, le souci d'augmenter toujours le nombre d'utilisateurs à pousser les concepteurs a trouvé une technique à étalement de spectre CDMA, c'est le résonnement le plus important. Il trouve son application dans la téléphonie cellulaire.

Le CDMA affecte un multiplexage dans la bande 800 à 900 MHz, il utilise tout le spectre radio pour chaque appel, et il lui attribue un codage aléatoire. Contrairement au TDMA chaque utilisateur est différencié au reste des utilisateurs par un code N qui lui est alloué au début de sa communication. Ce code est orthogonal aux restes des codes liés aux autres usagers

Pour écouter l'utilisateur N, le récepteur n'a qu'à multiplier le signal reçu par le code N associé à cet utilisateur. Chaque usager émet sur la largeur du canal.

- **Le Roaming**

Le roaming désigne le pouvoir d'un abonné de téléphoner à n'importe quel pays tout en gardant son numéro. La condition à remplir pour établir une communication dans un réseau mobile étranger est un accord d'itinérance avec l'exploitant du réseau dont on est client, l'appareil portable passe automatiquement sur le réseau de l'exploitant étranger.

- **L'erlang**

L'erlang est l'unité de trafic correspond à 1 heure de communication.

Le trafic par abonné se calcule au moyen de la formule d'erlang, comme suit :

$$A = \frac{n \times T}{60} \text{ Erlang} \dots \dots \dots (I)$$

Avec :

n : la durée des appels.

T : nombre d'appel.

Par exemple, si un abonné a passé 3 communications d'une durée moyenne de 2 minutes pendant l'heure chargée, l'intensité du trafic généré par l'abonné sur une BTS est de :

$$\frac{2}{60} \times 3 = 0.1 \text{ Erlang.}$$

• **Les statistiques :**

Les statistiques sont le deuxième outil utilisé pour optimiser le lien radio afin de permettre au maximum d'abonnés d'accéder au réseau. Ce sont la collecte de différents paramètres radio issus des différents BSC que compte le réseau.

Ces paramètres sont associés à des compteurs implémentés aux niveaux des BSC .Ces compteurs sont gérés par des équations prédéfinies qui permettent une appréciation des différents indicateurs de performances du réseau dits **KPI'S** (Key performance Index).Ces indicateurs reflètent d'une manière transparente la qualité du réseau.

La collecte de paramètre se fait avec un logiciel spécifique qui permet l'accès aux BSC et par la même aux paramètres radio. Les indicateurs de performance les plus importants sont :

- La congestion (Congestion).
- Les coupures d'appels (Dropped calls).

I- La congestion :

La congestion est l'un des problèmes majeurs dans un système mobile. Elle est liée au non disponibilité de canaux de trafic TCH, nécessaire pour l'établissement d'une communication ou de canaux SDCCH nécessaire pour la signalisation.

Une congestion importante détériore toutes les performances du réseau et doit être minimisée. La congestion peut être observée à court terme quand le trafic important est dû à un événement occasionnel tel que les jours de fêtes, les événements sportifs, les foires etc...., dans ce cas on opte pour des solutions temporaires. Elle peut être observée à long terme, lorsqu'il y a saturation au niveau de la cellule, dans ce cas on doit augmenter la capacité du réseau, selon la demande.

- **Type de Congestion**

La congestion peut survenir sur le canal de signalisation SDCCH ou sur le canal de trafic TCH ou sur les deux canaux en même temps. Lorsque la congestion est observée sur les deux canaux en même temps, la seule façon d'y remédier et d'augmenter la capacité physique du réseau, en terme d'émetteur- récepteurs dits TRX ou en terme de sites. Chaque TRX correspond à une porteuse donnée qui elle correspond à une trame TDMA avec 8 time slots (un pour le BCCH, un pour 8 SDCCH et le reste pour TCH). Pour cela, on considère le nombre de canaux alloués à la cellule pour voir si c'est possible d'augmenter la capacité avec de nouveaux TRX sachant que le nombre maximale que peut supporter une cellule en terme de TRX est quatre (4), si non on implémente carrément de nouveaux sites. Pour diminuer la congestion, on peut aussi avoir recours à un schéma de planning fréquentiel utilisant des modèles multiples de réutilisation de fréquence et qui tient compte du problème des interférences. On peut aussi utiliser des microcellules pour absorber le trafic dans les zones à sévère congestion.

1- La congestion sur le canal de signalisation SDCCH (SDCCH Congestion)

Cette congestion est due à une saturation au niveau des canaux SDCCH nécessaires pour la signalisation. La table ci-dessous résume les raisons probables de cette congestion ainsi que les solutions apportées à chaque problème.

Raisons de congestion SDCCH	Solutions
-Augmentation de la demande sur le trafic.	-Augmenter le nombre de canaux SDCCH. A noter que cela nous mène vers l'augmentation des TRX. -Si l'SDCCH combiné avec le BCCH est utilisé, on doit introduire la configuration du SDCCH non combiné.
-Mauvaise utilisation de la configuration adaptive des canaux logiques aux niveaux des BSC.	-Revoir tous les paramètres relatifs à la configuration des canaux logiques aux niveaux des BSC.
-Temps de maintien du canal SDDCH	-Revoir ce temps au niveau du BSC.

relativement long.	
-Congestion sur les canaux de trafic TCH : cela engendre le maintien du mobile sur le canal SDCCH.	-Augmenter la capacité des canaux TCH.
-Faible disponibilité de canaux SDCCH.	-Cela peut être dû à un problème hard, ce qui nous mène à vérifier si les TRX ne sont pas défectueux.
-Canaux SDCCH mal dimensionnés.	-Vérifier le dimensionnement des canaux SDCCH.
-Cellule située au bord de la zone de localisation : les abonnés qui se rattachent à ce genre de cellules font beaucoup de mise à jour de localisation, ce qui engendre une congestion sur le canal de signalisation SDCCH.	- Dans ce cas on peut déplacer la limite de la zone de localisation et cela est possible en manipulant un paramètre réseau dit CRH (Celle Reselection Hysteresis). Lorsque un mobile en mode veille traverse la limite d'une zone de localisation, ce paramètre a une valeur égale à quatre (04). Pour diminuer le nombre de mise à jour de localisation, on affecte une valeur plus grande à ce paramètre ce qui mène à régler le problème de congestion lié à la signalisation.
- Usage des SMS : une grande activité SMS engendre un grand trafic sur le canal SDCCH et peut mener vers une congestion si ce dernier est mal dimensionné.	-Redimensionner les canaux SDCCH en tenant compte de l'activité SMS.
-Taux d'accès au réseau, élevé.	-Revoir les performances d'accès au réseau.

Tableau .1 : la congestion Du canal SDCCH

2 - La congestion sur le canal de trafic TCH (TCH Congestion)

Cette congestion survient lorsque les canaux de trafic nécessaires pour l'établissement d'une communication, sont saturés et deviennent donc indisponibles.

Nous résumons les causes probables de cette congestion ainsi que les solutions qui leurs sont apportées dans le tableau qui suivra :

Raisons de congestion TCH	Solutions
-Augmentation de la demande sur le trafic	-Faire une comparaison du trafic sur des périodes différentes, si la congestion est observée à court terme, par rapport à des évènements particuliers. -Augmenter le nombre de TRX par cellule, si la congestion est observée à long terme.
-Mauvais dimensionnement des canaux TCH.	-Revoir le dimensionnement des canaux de trafic : cela revient à revoir le nombre de TRX alloués aux différents sites du réseau. - On pourra déplacer des TRX des cellules non congestionnées vers celles congestionnées sans compromettre les règles

	de planification préétablies.
-Problèmes hard : des TRX défectueux, engendrent une congestion sur les canaux de trafic qui peuvent être, en réalité, non disponibles.	-Repérer le matériel défectueux et procéder à son remplacement.
-Antenne en très haute position : ces antennes ont une couverture très large et leurs cellules prennent beaucoup de trafic.	-Diminuer la portée des antennes, de manière à ne pas compromettre la couverture optimale. -On pourra jouer sur le tilt ou changer d'antenne afin de diminuer la portée de la couverture.
-Fausse utilisation de la structure hiérarchique des cellules HCS (Hierarchical Cell Structure) : Si une cellule est incorrectement définie comme priorité de niveau supérieur dans la structure hiérarchique des cellules, les paramètres HCS ne vont pas être correctement utilisés ce qui entraîne un trafic supérieur à la normale.	-Changer les paramètres HCS à des valeurs normales.
-Faible activité de Handover : cela peut conduire à une congestion car le mobile est forcé à rester dans une cellule plus longtemps que nécessaire.	-Vérifier s'il n'y a pas de congestion dans les cellules voisines.. -Vérifier les performances du handover. -Vérifier si la définition des cellules voisines est correcte et s'il n'y a pas de pertes de relations entre ces cellules.
-Congestion au niveau des cellules voisines.	- Revoir la liste des cellules voisines et définir de nouvelles relations entre cellules .

Tableau .2 : la congestion du canal TCH.

Les statistiques se font à l'aide d'un logiciel appelé pour générer le taux de congestion sur les canaux TCH et SDCCH. On parlera de la congestion du canal TCH si le taux de congestion est supérieur à 2%. et ce lui de SDCCH si le taux est supérieur à 0,5%.

II-Les coupures d'appels (Dropped calls):

Les coupures d'appels, dans un réseau de téléphonie mobile, sont à l'origine des plus grands désagréments causés aux abonnés. Toutefois, tout abonné exige de son opérateur de pouvoir effectuer des communications téléphoniques continues sans aucune coupure tout au long de ses conversations Par ailleurs, les coupures d'appels peuvent être dus à une multitude de raisons et reflètent, dans tous les cas une déconnection soudaine au réseau.

- **Type de coupures:**

Tout comme la congestion, les coupures d'appels peuvent survenir sur le canal de trafic TCH ou sur le canal de signalisation SDCCH et elles sont dues, en générale aux raisons suivantes :

-Signal reçu de faible niveau ou de qualité mauvaise : Lorsque le signal reçu dans le sens montant (MS-BTS) ou dans le sens descendant (BTS-MS) ou dans les deux sens en même temps, est faible ou de mauvaise qualité, cela provoque des coupures SDCCH (tentatives d'appels échouées) ou des coupures TCH (coupures au milieu des appels).

-Valeur excessive du timing advance : Lorsque la valeur du timing advance est excessive cela veut dire que l'abonné est à une grande distance de sa cellule serveuse et par conséquent loin de la zone de couverture, ce qui provoque des coupures de liaisons MS-BTS.

-Perte soudaine des communications : Cela peut être du à un handover échoué ou à la présence du mobile aux limites de sa zone de localisation.

-Autres raisons : La méconnaissance des abonnés, du paramétrage de leurs terminaux ou un problème hard au niveau de ces derniers peut causer des coupures de communications qui seront comptabilisées dans les statistiques comme des coupures d'appels.

En plus de ses raisons communes aux coupures SDCCH et TCH, il existe d'autres raisons spécifiques à chaque type de coupures.

- **Coupures TCH (TCH Dropped Calls)**

Les raisons probables qui provoquent les coupures sur le canal TCH et par conséquent les coupures de communications, et les solutions que les ingénieurs radio leurs y apportent sont résumées dans la table qui va suivre.

Raisons de coupures TCH	Vérifications et Solutions
-Faible intensité du signal.	-Prévoir un drive test pour diagnostiquer ce problème de couverture. -Changer les antennes par d'autre ayant un gain meilleur. -Ajouter de nouvelles stations de bases pour améliorer la couverture.
-Mauvaise qualité du signal: Cela peut être du à un problème d'interférences.	-Faire un drive test et prélever la valeur du rapport C/I. -Vérifier les fréquences allouées et procéder à leur changement si elles interfèrent. -Incliner ou tilter les antennes pour diminuer leurs portées.

-Valeur du timing advance élevée.	-Corriger le paramétrage du TA au niveau du BSC. -Vérifier si le site ne présente pas un dépassement de couverture.
-Faible puissance de sortie au niveau des BTS.	-Revoir le paramétrage de puissance des BTS au niveau du BSC.
-Congestion au niveau des cellules voisines : dans ce cas les tentatives de handover du mobile en mouvement échouent et cela peut provoquer la coupure de la communication.	-Vérifier la congestion des cellules voisines et essayer d'y remédier.
-Manque de cellule serveuse de bonne performance.	-Améliorer la couverture.
-Mauvais paramétrage du handover au niveau du BSC.	-Corriger le paramétrage.
Perte de définition entre cellules voisines.	-Vérifier la définition de voisinage entre cellule. -Vérifier les performances du handover -Ajout de cellules voisines.
-Mobile défectueux: Des anomalies au niveau du mobile peuvent causer des coupures d'appels.	-Informers l'opérateur.
-Utilisation incorrecte du mobile.	-Ecouter les plaintes des clients et vérifier leurs appareils téléphoniques.
-Batterie du mobile déchargée: cela provoque des coupures d'appels comptabilisées par le réseau comme dus à une faible intensité du signal.	-Vérifier la régulation de puissance des MS au niveau du BSC.
-Problème hard aux niveaux des BTS.	-Faire des visites sur site pour cerner le problème et y remédier.
-Problème de transmission.	-Revoir les performances de transmission au niveau du BSC.

Table. 3: Coupures TCH.

2- Coupures SDCCH (SDCCH Dropped Calls)

Comme pour les coupures TCH, la table qui suivra résume les raisons qui provoquent les coupures sur le canal SDCCH et les solutions que les ingénieurs radio leurs y apportent.

Raisons de coupures SDCCH	Vérifications et Solutions
-Faible intensité du signal.	-Prévoir un drive test pour diagnostiquer ce problème de couverture. -Changer les antennes par d'autre ayant un gain meilleur. -Ajouter de nouvelles stations de bases pour

	améliorer la couverture.
-Mauvaise qualité du signal: Cela peut être du à un problème d'interférences.	-Faire un drive test et prélever la valeur du rapport C/I. -Vérifier les fréquences allouées et procéder à leur changement si elles interfèrent. -Incliner ou tilter les antennes pour diminuer leurs portées.
-Valeur du timing advance élevée.	-Corriger le paramétrage du TA au niveau du BSC. -Vérifier si le site ne présente pas un dépassement de couverture.
-Mobile défectueux: Des anomalies au niveau du mobile peuvent causer des coupures d'appels.	-Informé l'opérateur.
-Utilisation incorrecte du mobile.	-Ecouter les plaintes des clients et vérifier leurs appareils téléphoniques.
-Batterie du mobile déchargée: cela provoque des coupures d'appels comptabilisées par le réseau comme dus à une faible intensité du signal.	-Vérifier la régulation de puissance des MS au niveau du BSC.
-Congestion sur le canal TCH : cela provoque des coupures SDCCH.	-Augmenter la capacité du site en termes de TCH pour minimiser le problème de congestion.

Table.4: Coupures SDCCH.

On parle de coupure d'appel si ce taux de coupure d'appel est supérieur à **2%**, en ce qui concerne le canal TCH, par contre on a coupure sur le canal SDCCH si ce taux est supérieur à **1%**.

- **Définition d'un PLMN**

Un PLMN, Public Land Mobile Network, est défini comme un réseau installé et géré par un opérateur pour fournir un service de télécommunication mobile au public. Un PLMN peut accueillir un abonné d'un autre PLMN. Ceux ci peuvent être appelés et communiquer comme s'ils étaient sur leur propre PLMN. Dans le cas de GSM, cette possibilité est offerte s'il existe des accords de roaming entre l'opérateur du réseau visité et l'opérateur du réseau nominal de l'abonné.

- **Le concept de la voie balise**

La voie balise d'une SB correspond d'abord à une fréquence particulière appartenant à l'ensemble des fréquences allouées à cette station. Un mobile du voisinage mesure périodiquement sur cette voie le niveau de signal qu'il reçoit. Il détermine par cette simple mesure de puissance s'il est à la portée de la station, et plus généralement s'il en est proche ou éloigné.

Chaque voie balise comprend également des signaux de forme spécifique et des informations systèmes. Les signaux permettent aux mobiles de détecter la présence de la station de base et de se caler en fréquence et en temps. Les informations systèmes donnent l'identité du réseau et ces caractéristiques d'accès.

- **La modulation par impulsion codée(MIC)**

La modulation MIC ou PCM (Pulse Mode Modulation) est une technique de base des transmissions téléphoniques (numériques) elle est aussi utilisée en TV numérique. L'élaboration d'un signal MIC nécessite 3 étapes : l'échantillonnage, la quantification, le codage.

- **Transcodeur 13 – 64 K bits /s TRAU**

Le transcodeur, TC encore appelé TRAU (*Transcoder Rate Adaptation Unit*) est l'entité qui permet d'adapter le codage de la voix sur l'interface radio (13 Kbits/s) à celui du réseau local fixe (64 Kbits/s).

La figure suivante montre les éléments d'un sous système de radio :

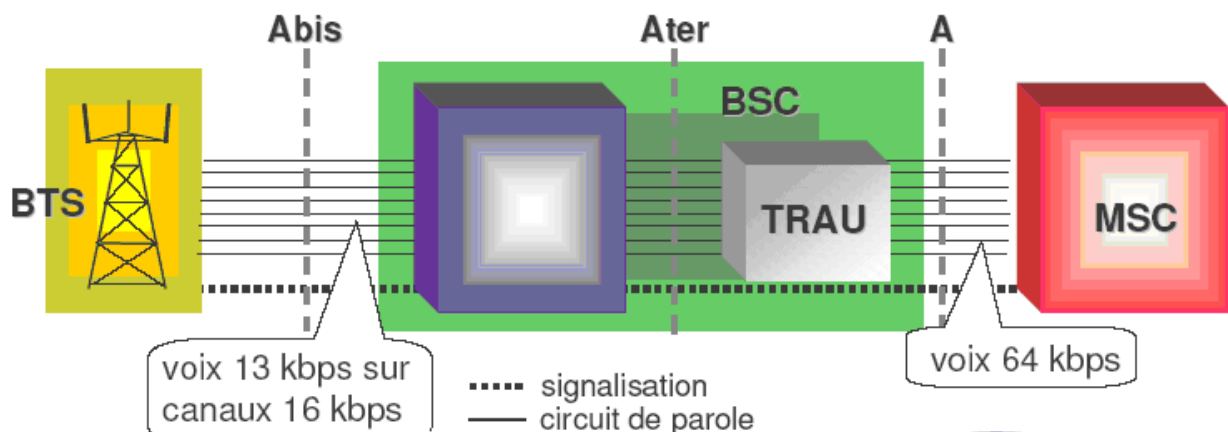


Figure.2. Transcodage de la parole.

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

Nous nous intéresserons au deux derniers cas.

a) Appel d'un mobile vers le réseau fixe (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.

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

L'abonné de réseau fixe 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, éteint).

Le MSC/VLR envoie le numéro de roaming de la 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 station mobile se trouve ; un message de recherche (paging message) est envoyé au BSC qui contrôle cette zone de localisation (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 connecter à un central PSTN, il est connecté à un autre MSC/VL où l'appel arrive.