

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:

***PROCESSUS DE PLANIFICATION DU
RESEAU GSM DE MOBILIS***

Proposé par : Mr T.LAHDIRI.

Présenté par :

Mlle Nassima DEKKICHE

**Dirigé par : Mr M. LAHDIR
Mr T.LAHDIRI**

Année universitaire 2008/2009

Soutenu le : 4/07/2009

REMERCIEMENTS

*Tous mes remerciements s'adressent à Mr H. BENHAMOU pour toute son aide
ses conseils et sa disponibilité.*

*Tous mes remerciements s'adressent aussi à mon Co- promoteur Mr T.LAHDIRI
que nous tenons à témoigner notre sincère gratitude pour nous avoir confié ce
sujet, et pour son intérêt, sa disponibilité, ses conseils et sa générosité.*

Je tiens à remercier aussi Mr M.LAHDIRI pour toute son aide.

*Toute ma profonde reconnaissance pour le personnel de MOBILIS, à savoir,
A.DIDAOUI, K.HAMDAD,*

*Ainsi que toute l'équipe L'NPOC pour toute l'aide qu' nous a fournie. , et de
nous avoir encouragé pour bien mener ce travail.*

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

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

SOMMAIRE

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I : ARCHITECTURE DU RESEAU GSM | 1 |
| I.1. Introduction au GSM | 1 |
| I.2. Architecture de GSM | 1 |
| I.2.1. Les équipements fonctionnels du GSM | 1 |
| I.2.1.1. La station mobile | 2 |
| I.2.1.2. Le sous système radio | 2 |
| I.2.1.2.1 La station de base (BTS) | 3 |
| I.2.1.2.2. Le contrôleur de la station de base (BSC) | 3 |
| I.2.1. 3. Le sous système réseau (NSS) | 3 |
| I.2.1. 3. 1. le centre de commutation (MSC) | 4 |
| I.2.1. 3. 2. L'enregistreur de localisation nominal (HLR) | 4 |
| I.2.1. 3. 3. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) | 4 |
| I.2.1. 3. 4. Le centre d'authentification (AUC) | 5 |
| I.2.1. 3. 5. L'enregistreur des identités des équipements(EIR) | 5 |
| I.2.1. 4. Sous système d'exploitation et de maintenance(OSS) | 5 |
| 1. Les OMC (operating and maintenance système) | 5 |
| 2. Les NMC (Network Management Center) | 5 |
| I.2.2. les interfaces du réseau | 6 |
| I.2.3. Structure géographique du réseau | 6 |
| I.3. L'interface radio : | 7 |
| I.3. 1. Les bandes de fréquences allouées | 8 |
| I.3. 2. Techniques de multiplexage | 8 |
| I.3. 3. Les canaux physiques | 8 |
| I.3. 4. Les canaux logiques | 9 |
| I.3. 5. Chaîne de transmission de signal de parole | 10 |

| | |
|------------------------------------------------------|-----------|
| I.4. Les services offerts par GSM | 12 |
| I.4.1. Les services supports | 12 |
| I.4.2. Les téléservices | 12 |
| I.4.3. Les services supplémentaires | 12 |
| I.5. Le mobile en fonctionnement | 13 |
| I.5.1 Le handover | 13 |
| I.5.2 <i>La Localisation (location update)</i> | 13 |
| I.5.3 Le Roaming « l'itinérance » | 13 |
| I.5.4 Le paging..... | 13 |
| I.5.5. Déroulement des appels..... | 13 |
| I.6. Conclusion | 16 |
| | |
| CHAPITRE II : ANTENNES | 19 |
| II.1. Généralités | 19 |
| II.1.1. Définition | 19 |
| II.1.2. Caractéristiques des antennes | 19 |
| II.1.2.1. Antenne isotrope | 19 |
| II.1.2.2. Diagramme du rayonnement..... | 20 |
| II.1.2.3. Réciprocité | 22 |
| II.1.2.4. Directivité et gain d'une antenne | 22 |
| II.2. Les antennes GSM | 22 |
| II.2.1. Antennes des terminaux GSM/DCS | 22 |
| II.2.2.1. Caractéristiques | 23 |
| II.2.2.1.2. Directivité | 23 |
| II.2.2.1.3. Gain– Puissance | 24 |
| II.2.2.1.4. Azimut..... | 24 |
| II.2.2.1.5. Tilt..... | 24 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| II.2.2.1.6. Sectorisation | 24 |
| II.3. Propagation des ondes électromagnétiques (O.E.M) | 28 |
| II.3.1. Propagation en espace libre | 28 |
| II.3.2. Mécanismes de propagation | 29 |
| II.3.3. Affaiblissement en espace libre | 30 |
| II.3.3.1. Distorsion de fréquence (Effet Doppler) | 31 |
| II.3.3.2. Distorsion d'amplitude | 31 |
| II.3.3.3. Changement de polarisation | 31 |
| II.3.3.4. Les bruits dans les communications | 31 |
| II.3.3.1.1. Le bruit d'intermodulation | 31 |
| II.3.3.3.2. La diaphonie | 32 |
| II.3.3.3.3. Le bruit thermique | 32 |
| II.3.4. Mécanismes de compensation des erreurs | 32 |
| II.3.4.1. La correction aval des erreurs | 32 |
| II.3.4.2. Egalisation | 32 |
| II.3.4.2. Techniques de diversité | 33 |
| II.3.4.3.1. La diversité spatiale | 33 |
| II.3.4.3.2. La diversité temporelle | 33 |
| II.3.4.3.3. La diversité fréquentielle | 33 |
| II.4. Les modèles de propagation | 33 |
| II.4.1. Les modèles pour macrocellules | 34 |
| II.4.1.1. Modèle de Hata | 34 |
| II.4.1.2. Modèle de COST 231-Hata | 35 |
| II.4.1.3. Modèle de Walfisch-Ikegami | 36 |
| II.4.2. Modèles pour microcellules | 36 |
| II.5. Conclusion | 38 |

CHAPITRE III : CONCEPTS CELLULAIRES ET INGENIERIE DE TRAFIC

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| III.1. Concepts cellulaires | 39 |
| III.1.1. Organisation des cellules | 39 |
| III.1.2. Réutilisation des ressources fréquentiels | 40 |
| III.1.3. Les motifs | 40 |
| III.1.3.1. Motif régulier | 41 |
| III.1.3.2. Motifs fractionnaires | 42 |
| III.1.3.3. Motif de Stockholm..... | 42 |
| III.1.4. Interférences et bruit | 43 |
| III.1.4.1. Système limité par le bruit | 43 |
| III.1.4.2. Système limité par les interférences..... | 44 |
| III.1.4.2.1. Interférence co-canal | 44 |
| III.1.4.2.2 Interférence des canaux adjacents | 45 |
| III.1.5. Paramètres influençant la capacité | 45 |
| III.1.5.1. Le Handover..... | 45 |
| III.1.5.2. Contrôle de puissance | 46 |
| III.1.5.3. Saut de fréquence | 46 |
| III.1.5.3. 1. Protection contre les évanouissements | 46 |
| III.1.5.3.2. La diversité de brouilleurs | 47 |
| III.1.5.4. La transmission discontinue | 47 |
| III.1.6. Schéma général d'une liaison radio-mobile | 48 |
| III.1.7. Equilibrage de la liaison | 48 |
| III.2. Ingénierie du trafic | 49 |
| III.2.1. Définition | 50 |
| III.2.2. Types de trafic | 50 |
| III.2.3. Variation de trafic | 51 |
| III.2.3.1. L'heure chargée | 51 |
| III.2.3.2. Traitement des appels | 52 |
| III.2.3.2.1. Les tentatives d'appels inefficaces | 52 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| III.2.4. Qualité de service et comportement des abonnés | 52 |
| III.2.5. Calcul de la probabilité d'encombrement | 52 |
| III.2.5.1. 1 ^{er} formule d'Erlang | 53 |
| III.2.5.2. 2 ^{eme} formule d'Erlang | 54 |
| III.3. Conclusion | 55 |

CHAPITRE IV : Processus de la planification cellulaire

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| IV.1. Définition | 56 |
| IV.2. Objectif de la planification | 56 |
| IV.3. Processus de la planification | 56 |
| IV.3.1. Analyse du trafic et de la couverture | 57 |
| IV.3.2. Plan nominal des cellules | 58 |
| IV.3.3 Relevé des sites et mesure radio | 59 |
| IV.3.4. Evaluation des mesures | 61 |
| IV.3.5. Plan final des cellules | 62 |
| IV.3.6. Réglage fin du réseau | 62 |
| IV.3.7. Extension du réseau | 63 |
| IV.3.7.1 Adjonction de niveaux canaux | 63 |
| IV.3.7.2 : Emprunt des canaux | 64 |
| IV.3.7.3 : Modification du motif cellulaire | 65 |
| IV.3.7.4 : Division de cellules | 66 |
| IV.3.7.5. Sectorisation | 66 |
| IV.3.7.6 Down-tilting | 67 |
| IV.3.7.7. Superposition de cellules | 68 |
| IV.3.7.8. Configuration des stations de bases | 70 |
| IV.3.7.8.1. Configuration des stations de bases | 70 |
| IV.3.7.7.1 Structure en étoile | 70 |
| IV.3.7.8 .2 Structure en anneau | 71 |
| IV.3.7.8.3 Structure chaînée | 72 |

| | |
|-------------------------|----|
| IV. 4. Conclusion | 73 |
|-------------------------|----|

V. APPLICATION.

| | |
|---------------------------|----|
| Conclusion générale | 73 |
|---------------------------|----|

Annexes.

Bibliographie.

INTRODUCTION

GENEERAL

INTRODUCTION GENERALE :

*L*a communication mobile existe depuis un demi-siècle ; mais c'est dans les années 80 qu'elle s'est vraiment développée. Avec plus de 250 million d'abonnés dans le monde à la fin de la dernière décennie, le système GSM est largement utilisé. C'est la première norme de la téléphonie cellulaire de seconde génération qui soit pleinement numérique, elle constitue désormais la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles.

*U*n système de radiophonie a pour premier objectif de permettre l'accès au réseau sur un territoire étendu ; ce service utilise une liaison radio électrique entre une station mobile et une station de base (émetteur- récepteurs). Le nombre de communications simultanées que peut écouler une station de base est limité par des questions matérielles et surtout à cause du nombre de fréquences qui est très limité.

*L*es différents environnements (urbains, ruraux,...) et les prévisions de trafic imposent des contraintes de nature diverses sur l'interface radio et le déploiement du système .La surface sur laquelle un terminal mobile peut établir une liaison radio est appelée cellule, l'opérateur cherche donc à réaliser une couverture du territoire en utilisant des cellules dont il peut réutiliser la même fréquence mais à des distances suffisamment éloignées dont le but est de faire face aux différentes sortes de brouillage.

*L*a planification d'un réseau cellulaire est une opération très délicate dont le résultat conditionne le succès de l'opérateur. Celle-ci consiste à déterminer sa couverture et sa capacité qui sont vitales pour l'opérateur car les abonnés s'attendent à disposer d'un service de mobilité complète et ne pas reprendre a leurs attentes se traduisent par des pertes conséquentes de revenu et de part du marché.

*L*e travail qui nous a été confié consiste en l'étude du processus de planification d'un réseau GSM. Pour ce faire, notre mémoire est organisé en cinq chapitres, le premier introduit le réseau GSM, le second étudié les principales caractéristiques des antennes et propagation, le troisième décrit les concepts de base d'un réseau cellulaire,

la quatrième partie est consacrée à l'étude du processus de l'ingénierie et de planification d'un réseau de deuxième génération 2G. Quant au cinquième chapitre il comporte une simulation sur un logiciel de planification utilisé au niveau de MOBILIS .Enfin nous terminons notre mémoire par une conclusion générale.

NOTIONS SUR LE
GSM

*C
H
A
P
I
T
R
E
1*

I.1. Introduction au GSM :

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21^{ème} siècle le standard de téléphonie mobile le plus répandu, il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée « Global System for Mobile communications » en 1991.

Le GSM offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de station mobile de bout en bout à travers le réseau ; la téléphonie est la plus importante des services offerts. Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles où entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services proposés sont la transmission de données et la transmission de messages alphanumériques courts.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour MultiMedia Message Service).

I.2. Architecture de GSM :

I.2.1. Les équipements fonctionnels du GSM :

Un réseau de radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC). Il s'interface avec le RTC et comprend des commutateurs. Il est caractérisé par un accès très spécifique: la liaison radio. Enfin, comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

L'architecture du réseau GSM peut être divisée en quatre sous ensemble :

- La station mobile (MS).
- Le sous système radio(BSS).
- sous système réseau(NSS).
- Le sous système d'exploitation et de maintenance(OSS).

Ces différents sous-systèmes sont référencés sur la figure ci après :

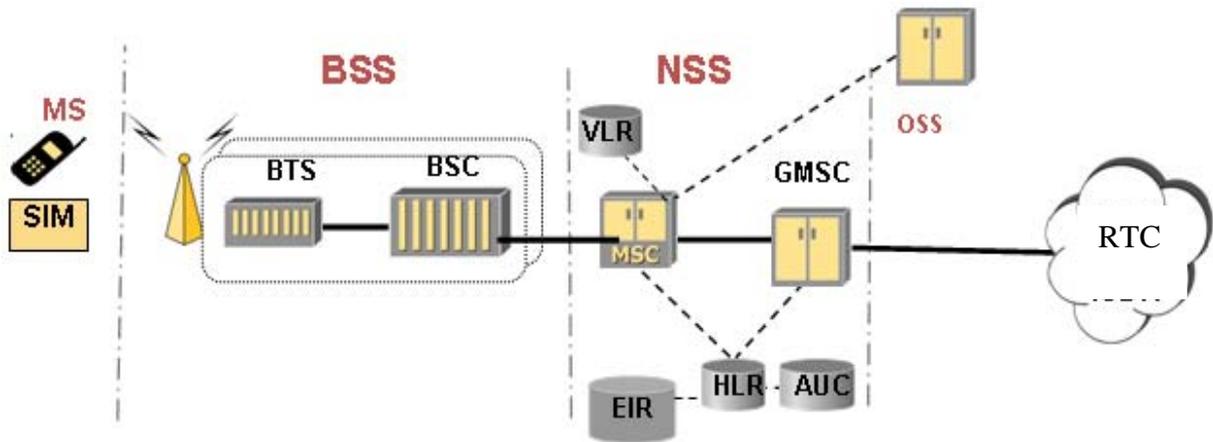


Figure I.1 : Architecture de GSM

I.2.1.1. La station mobile :

Elle se compose d'un terminal et d'une carte SIM, le terminal mobile est constitué d'un émetteur / récepteur, chaque terminal est différencié des autres par un code IMEI (international mobile Equipment identity) qui est un numéro de 15 chiffres. La carte Sim est une mini base de données dotée d'une mémoire et d'un microprocesseur elle contient des données spécifiques comme le code PIN et IMSI (international mobile subscriber identity) qui sert à identifier un abonné dans n'importe quel réseau GSM.



Figure : I.2. Station mobile (terminal et carte SIM).

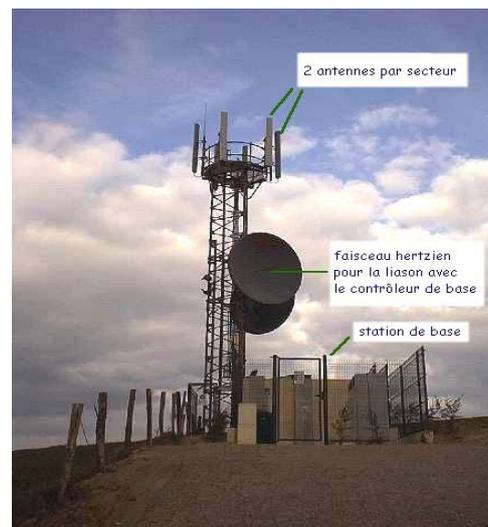
I.2.1.2. Le sous système radio :

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

I.2.1.2.1 La station de base (BTS):

C'est un ensemble d'E/R appelé TRX, il a la charge de la transmission radio : modulation, démodulation, codage, multiplexage, saut de fréquence...etc. Elle réalise aussi l'ensemble des mesures radio nécessaire pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement. Ces données ne sont pas exploitées par la BTS mais directement transmises au BSC.

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



I.2.1.2.2 Le contrôleur de la station de base (BSC) :

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

I.2.1. 3. Le sous système réseau (NSS):

Les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans les bases de données nécessaires à l'établissement des connexions, il est constitué de :

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

I.2.1.3.1. le centre de commutation (MSC) :

Il assure la commutation entre les abonnés du réseau, il participe à la fourniture des différents services tel que la téléphonie, la transmission des messages courts et l'exécution de Handover, Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR,VLR et AUC) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisations dans le réseau.

Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une interopérabilité entre réseaux; on distingue deux types d'appels au niveau du MSC :

Mobile-Mobile : dans ce cas le MSC établit une liaison avec un autre MSC

Mobile-réseau fixe(RTC) : le MSC possède une fonction passerelle GMSC (Gateway MSC) activée au début de chaque appel d'un abonné vers un réseau fixe.

I.2.1.3.2. L'enregistreur de localisation nominal (HLR) :

C'est une base de données de localisation, cette localisation est effectuée à partir des informations émises par le MS à travers le réseau, elle contient les informations relatives aux abonnés de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible, le HLR contient :

- L'identité internationale de l'abonné(IMSI).
- Le numéro d'annuaire de l'abonné(MSISDN).

- Le profit de l'abonnement, autrement dit, toutes les informations relatives aux abonnés, le type d'abonnement, les services souscrits, autorisation d'appel international...etc.

I.2.1.3.3. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR) :

C'est une base de données qui ne contient que des informations dynamiques de façon temporaire de tous les abonnés qui appartiennent à la surface géographique qu'il contrôle, elle contient des données qui lui sont transmises par le HLR avec lequel il communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre MSC auquel il est rattaché. Lorsque l'abonné quitte cette zone, ces données sont transmises à un autre VLR, d'où un dialogue permanent entre les bases de données du réseau.

I.2.1.3.4. Le centre d'authentification (AUC) :

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

I.2.1.3.5. L'enregistreur des identités des équipements(EIR) :

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

I.2.1. 4. Sous système d'exploitation et de maintenance(OSS) :

Cette partie s'occupe de la gestion et de l'exploitation des éléments des deux systèmes précédents, les concepteurs du GSM ont adopté une structure hiérarchique, elle présente deux niveaux :

I.2.1.4. 1: Les OMC (operating and maintenance système) :

Ils permettent une supervision locale des équipements, ils regroupent la gestion administrative qui s'intéresse aux abonnés en termes de création, modification,

factorisation et la gestion technique qui veille à garantir la disponibilité et la bonne configuration des équipements, ils gèrent notamment les alarmes, les pannes, la sécurité, la mise à jour des logiciels...etc. Dans les OMC, on distingue l'OMC/R (radio) qui est relié à travers les BSC au sous système radio, l'OMC/S (système) qui est relié à travers les MSC au sous système réseau. Il y a aussi l'OMC/M (maintenance) qui contrôle les OMC/R et les OMC/S

I.2.1.4.2. : Les NMC (Network Management Center) :

Ils permettent l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé. Ainsi, les incidents majeurs transmis à l'OMC remontent jusqu'au NMC qui les traite.

I.2.2 les interfaces du réseau :

- L'interface radio Um : elle assure le dialogue entre la station mobile et la station de base, c'est l'interface la plus importante du réseau, à ce niveau le GSM met en œuvre deux techniques de multiplexage FDMA et TDMA.
- L'interface A-bis relie une BTS à son contrôleur, le support est une liaison filaire MIC.
- L'interface A : localisée entre un contrôleur et un commutateur.
- X-25 relie un contrôleur au centre d'exploitation.

L'interface entre le MSC et le réseau public est défini par le protocole de signalisation N°7 du CCITT.

I.2.3. Structure géographique du réseau :

Le réseau GSM est hiérarchiquement structuré en zones possédant chacune un identifiant; le schéma suivant présente cette structure géographique avec les codes associés à chaque zone :

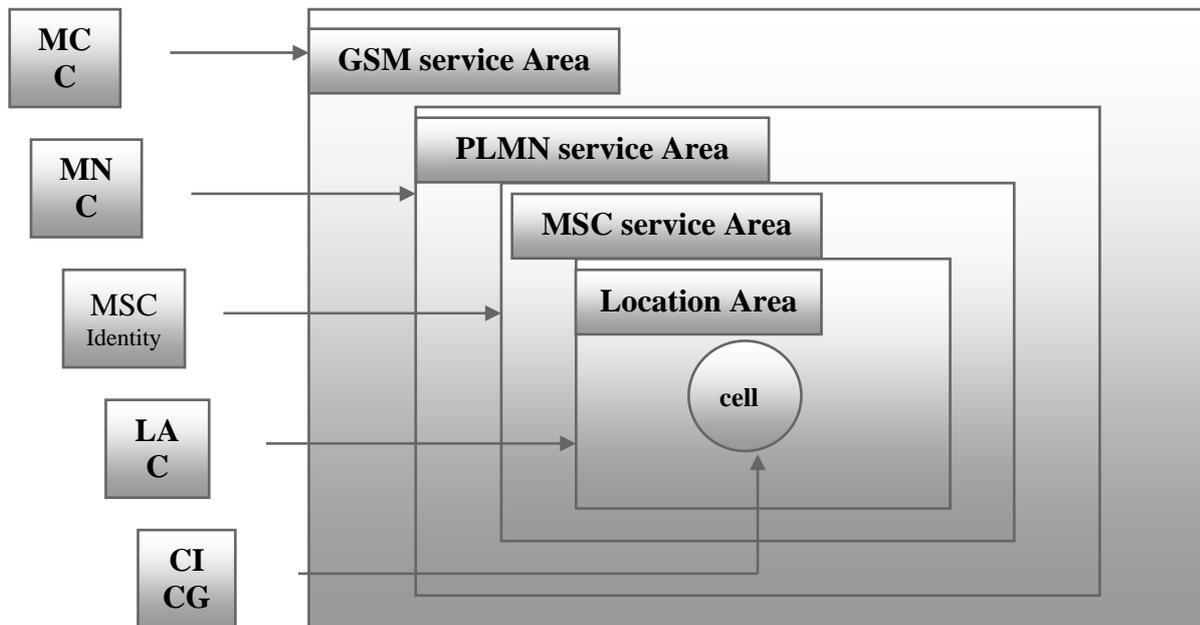


Figure : I.4: Zones géographiques

- **GSM service Area :**

C'est toute la zone géographique dans laquelle un abonné peut accéder à un réseau GSM. Elle est identifiée par MCC (Mobile Country Code) et CC (Country Code).

- **PLMN service Area :**

C'est l'ensemble des cellules servies par le réseau d'un opérateur. Il est identifié par MNC (Mobile Network Code) et NDC (Network Destination Code).

- **MSC service Area :**

C'est un ensemble de zones de localisation (LAs) représentant la partie géographique du réseau contrôlée par un MSC.

- **Location Area :**

Regroupe un certain nombre de cellules contrôlées par un ou plusieurs BSCs et permet de connaître la localisation de l'abonné dans le réseau et ainsi faciliter la procédure de recherche. Elle est identifiée par LAI (Location Area Identity) .

- **Cellule :**

C'est l'unité de base d'un système cellulaire définie comme étant la zone couverte par une BTS. Elle est identifiée globalement par CGI (Cell Global Identity).

I.3. L'interface radio :

La transmission radio de GSM est assurée par l'interface radio, c'est l'une des parties les plus complexes du réseau car elle est riche en fonctions qui sont de nature variées.

L'interface radio permet de relier un utilisateur mobile au réseau. C'est sur cette interface que le système doit faire face aux différents problèmes que pose le médium radio (atténuation, interférences, évanouissements, ...).

I.3.1. Les bandes de fréquences allouées :

Dans le système GSM/DSC, deux bandes de fréquences sont utilisées, l'une autour de 900M Hz et l'autre autour de 1.8Ghz, chaque bandes est divisée en deux sous bandes, l'une pour la voie montantes (Mobile vers BTS), l'une pour la voie descendante (BTS vers Mobile), le GSM 900 occupe deux bandes de 25MHz, pour le DSC elles sont de l'ordre de 75MHz, le DSC est utilisé dans les zones a faibles densité de trafic lorsque le GSM est saturé.

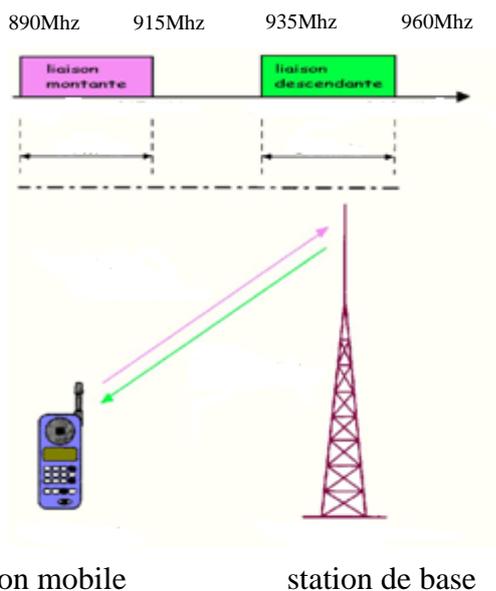


Figure I.5: Liaison entre Mobile et station de base pour le GSM 900.

Station mobile

station de base

I.3.2. Techniques de multiplexage :

Au niveau de l'interface radio le GSM dispose de deux techniques de multiplexage le FDMA et le TDMA, le multiplexage FDMA divise les deux bandes en 124 canaux pour le GSM 900 et en 375 canaux pour le DSC1800, les canaux sont espacés de 200KHz. Les fréquences sont attribuées aux différentes cellules d'une manière fixe tout en veillant à ce que deux cellules limitrophes n'utilisent pas des porteuses identiques ou adjacentes. Si on note F_m et F_d les fréquences porteuses des voies montantes et descendantes respectivement, les valeurs des fréquences du GSM900 sont :

$$F_m(n) = 890,2 + 0,2 \times (n-1) \quad (\text{Mhz}) \dots\dots\dots (\text{I.1})$$

$$F_d(n) = 935,2 + 0,2 \times (n-1) \quad (\text{Mhz}) \dots\dots\dots (\text{I.2})$$

Avec : $1 \leq n \leq 124$

Le multiplexage FDMA partage chaque porteuse en 8 intervalles de temps appelés slot, sa durée est fixée à $0.5769\mu s$, sur une même fréquence les slot sont regroupés par paquets de 8 qui constitue une trame TDMA de durée $4.6\mu s$, l'information continue dans la trame s'appelle Burst.

I.3.3. Les canaux physiques :

Un canal physique est défini comme la répartition périodique d'un slot dans une trame TDMA sur une fréquence particulière, les canaux physiques sont bidirectionnels, ils sont utilisés pour le transport de la voie et la signalisation, un canal physique duplex est constitué de deux canaux simplex, l'un supporte la voie montante l'autre la voie descendante, ses échanges sont effectués sur des fréquences différentes et n'ont pas lieu au même temps ; l'écart duplex est égal à 45MHz pour le GSM 900 et 95MHz pour le GSM1800, au niveau du mobile la réception et l'émission sont décalées dans le temps de 3 slots. Le mobile reçoit donc le signal émis par la base sur la fréquence descendante f durant un time slot soit $577\mu s$, puis $1.7ms$ plus tard émet son signal vers la station de base sur la fréquence montante ($f+45MHz$).

I.3.4. Les canaux logiques :

On distingue 2 types de canaux logiques (figure I.7):

Les canaux de trafic ("traffic channel")

Les canaux de commande ("control channel").

➤ Les canaux de trafic (TCH) :

Les canaux de trafic transportent la voix ou les données et sont bidirectionnels. On distingue 2 types de canaux de trafic :

- Les canaux plein débit ("full rate") = TCH/F avec un débit brut de 22.8 kbit/s.
- Les canaux demi-débit ("half rate") = TCH/H avec un débit brut de 11,4 kbit/s.

➤ Les canaux de commande :

Ils véhiculent le trafic de signalisation et se subdivisent en 3 catégories :

- Les canaux de diffusion "broadcast".
- Les canaux communs "common".
- Les canaux spécifiques "dedicated".

Les canaux de commande de diffusion et communs sont affectés à tous les mobiles.

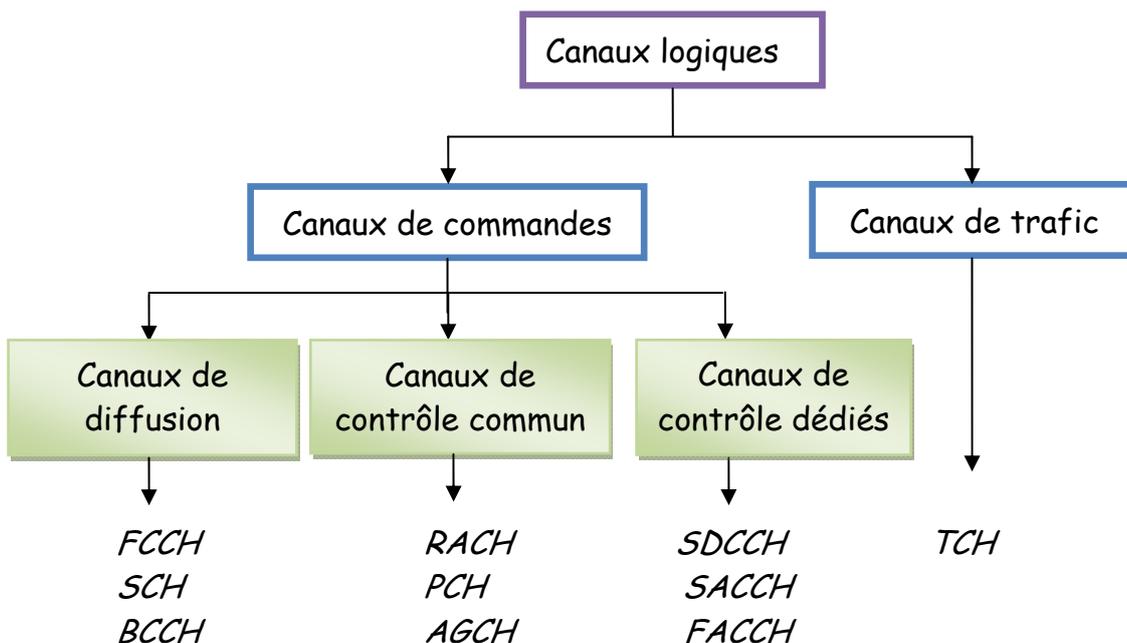


Figure I.7: les canaux logiques

I.3.5 Chaîne de transmission :

La figure I.8 représente les différentes étapes que subit un signal de parole en partant du microphone de l'émetteur jusqu'au haut parleur du récepteur.

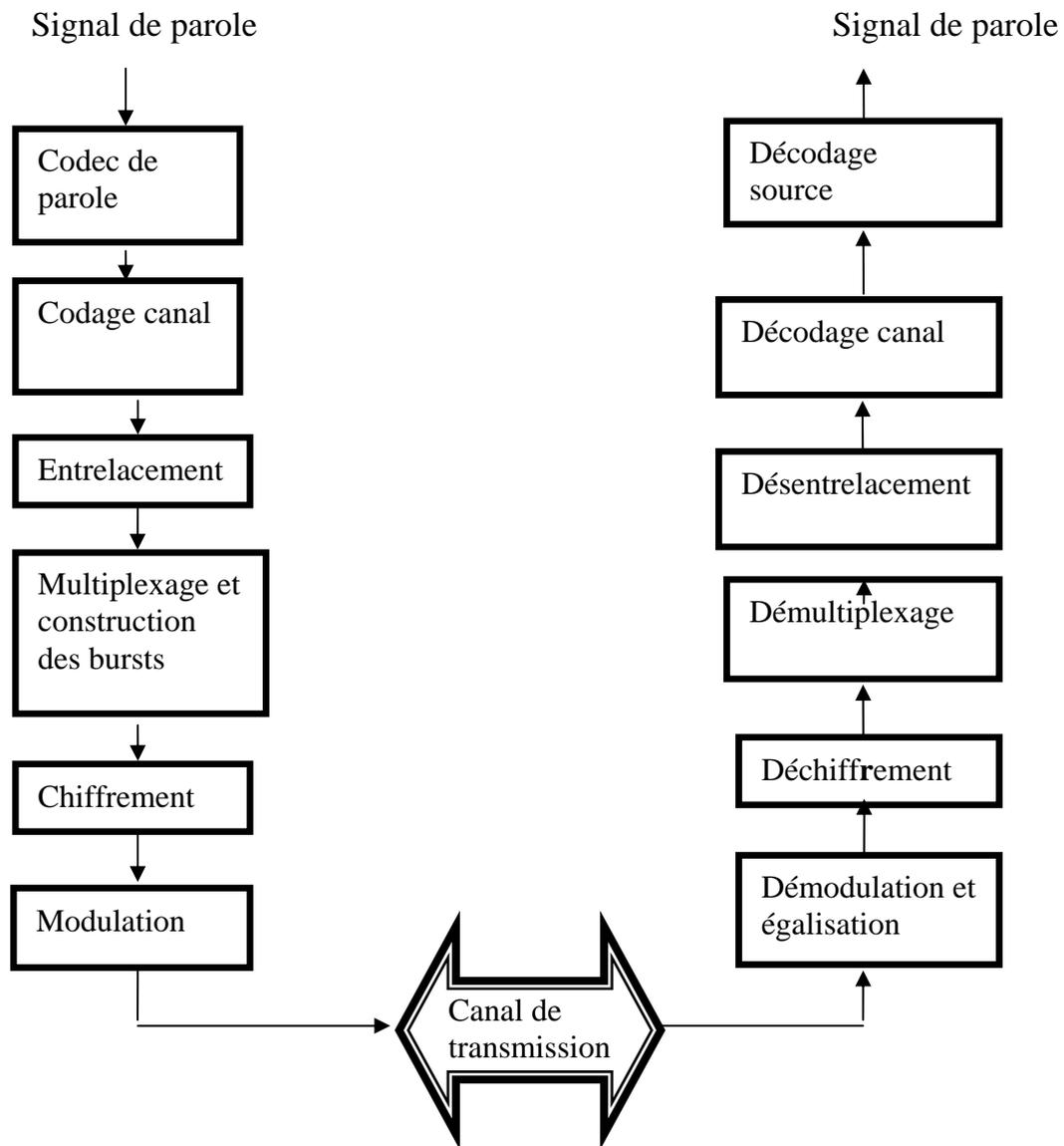


Figure I.8: Chaîne de transmission.

- Codage de source (numérisation du signal) :

Le signal analogique de parole peut être vu comme une fonction du temps avec un spectre limité à la bande (300Hz-3400Hz), il est découpé en intervalles jointifs de durée égal à 20ms, chaque séquence est échantillonnée à la fréquence 8, codée sur 13 bits, ce qui donne un débit de 2080 bits/20ms. Le codec réduit ce débit jusqu'à 13Kb/s.

- Codage canal :

Ce canal a comme rôle la détection des erreurs et l'adaptation du signal au canal de la transmission, cela est fait en ajoutant des bits de redondances, ce codec délivre 260 bit(s) toutes les 20ms ces bits n'ont pas la même importance vis-à-vis de la qualité du signal vocal. C'est la raison pour laquelle ils sont groupés en 3 classes :

50 bits très importants (classe 1A).

132 bits importants (classe 1B).

78 bits peu important (classe 1C).

Les bits de la première catégorie sont particulièrement bien protégés par 3 bits de parité, on obtient donc 53 bits qui seront ajoutés aux bits de la classe 1B, les 189 bits résultant seront placés à l'entrée d'un codeur de rapport $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire on récupère à sa sortie le double du débit d'entrée, ce qui fait $2 \times 189 = 378$ bits à la sortie de ce codeur. Ces 378 bits sont ensuite ajoutés aux bits de la classe 1C, ce qui fait un total de 456 bits sur les 20 ms de départ soit un débit final de 22.8 kbps.

- Entrelacement, multiplexage et constitution des bursts :

Il est utilisé pour rendre plus aléatoire les positions des erreurs en brassant les symboles codés avant leur transmission dans le but est d'augmenter en réception les performances des correcteurs d'erreurs.

- Chiffrement :

Se fait au niveau le plus bas de la chaîne avant la modulation. L'authentification permet la sécurité des abonnés ainsi que les opérateurs contre les utilisations frauduleuses de la ressource *radio*. Le GSM utilise des nombres aléatoires, des algorithmes A_3 , A_5 , A_8 et des clés, K_i . A chaque abonné est attribué une clé propre, les algorithmes sont les mêmes pour tous les abonnés d'un même réseau. La procédure de l'authentification est la suivante :

Le réseau envoie un nombre aléatoire au mobile.

La carte SIM calcule la signature de ce nombre grâce à A_3 et la clé K_i .

Le résultat sera envoyé par le mobile au réseau.

Le réseau compare ce résultat à celui trouvé de son côté.

Si les résultats sont identiques l'abonné est authentifié.

- Modulation :

Le message vocal a été numérisé, le débit a été compressé par le vocodeur, et les données numériques résultantes ont été protégées contre les erreurs, cryptées et entrelacées. Elles sont maintenant prêtes à être modulées. La méthode utilisée dans le système GSM est appelée « Modulation à Déplacement Minimal Gaussien » (GMSK Gaussian Minimum Shift keing). Il s'agit d'une modulation MSK à laquelle on a ajouté un filtre passe –bas Gaussien dans le but de diminuer l'occupation spectrale de signal modulé.

I.4. Les services offerts par GSM :

Le GSM offre à ses abonnés trois catégories de services qui sont :

I.4.1. Les services supports :

Ils permettent les transferts de données de bout en bout à travers le réseau. Un service support particulier s'identifie par ses attributs. La norme GSM définit trois catégories d'attributs :

- Les attributs de transfert d'information (mode de transfert circuit ou paquet, débit de transfert, type d'information,...).
- Les attributs d'accès (canal et débit d'accès, protocole d'accès).
- Les attributs généraux (qualité de services, commerciaux,...).

I.4.2. Les téléservices :

Les téléservices sont les applications opérationnelles offertes par le réseau à ses abonnés, ces derniers utilisent les possibilités offertes par les services supports. Essentiellement les principaux services offerts par GSM sont :

- La téléphonie (entre deux postes mobiles ou entre un poste mobile et un poste fixe).
- Les messages courts.
- Le fax.

I.4.3. Les services supplémentaires :

Les services supplémentaires améliorent les autres services, ils sont nombreux : identification de l'appelant, mise en garde d'appels, information de taxation, restrictions d'appels, messagerie vocale, conférence, numérotation abrégée...etc.

I.5. Le mobile en fonctionnement :

I.5.1 Le handover:

Une des plus importantes caractéristiques de la téléphonie mobile est de pouvoir continuer l'appel tout en se déplaçant d'une BTS à une autre ou d'une BSC à une autre, cette caractéristique est appelée Handover, pour ce faire, des mesures de qualité de signal sont échangées (chaque 480 ms) entre le MS et le BSC à travers la BTS pour décider sur quelle nouvelle station on va « muter » l'appel.

I.5.2 La Localisation (location update) :

Le fait d'être mobile, le MS n'a pas de localisation fixe, donc pour être joint il faut que le système ait l'information de sa localisation en permanence.

I.5.3 Le Roaming « l'itinérance » :

Pour être joint n'importe quand et n'importe où, un abonné mobile peut utiliser sa ligne GSM (avec le même MSISDN) dans un autre réseau mobile d'un autre opérateur à l'extérieur du pays, cette possibilité est assurée après un commun accord entre les opérateurs ; lors de l'opération du roaming par les abonnés mobile.

I.5.4 Le paging :

Le paging est un message de recherche pour éventuel établissement d'appel envoyé par le BSC aux BTS situées dans une zone de localisation. Ces BTS diffusent ce message sur l'interface air sur le canal PCH. La recherche du MS s'effectue utilisant le numéro IMSI ou TMSI.

I.5.5. Déroulement des appels :

Il existe trois cas d'appels :

- D'un MS vers un MS.
- D'un MS vers un fixe

- D'un fixe vers un MS.

I.5.5.1. Appel d'un MS vers un fixe :

Etudions la signalisation utilisée pour établir un appel téléphonique :

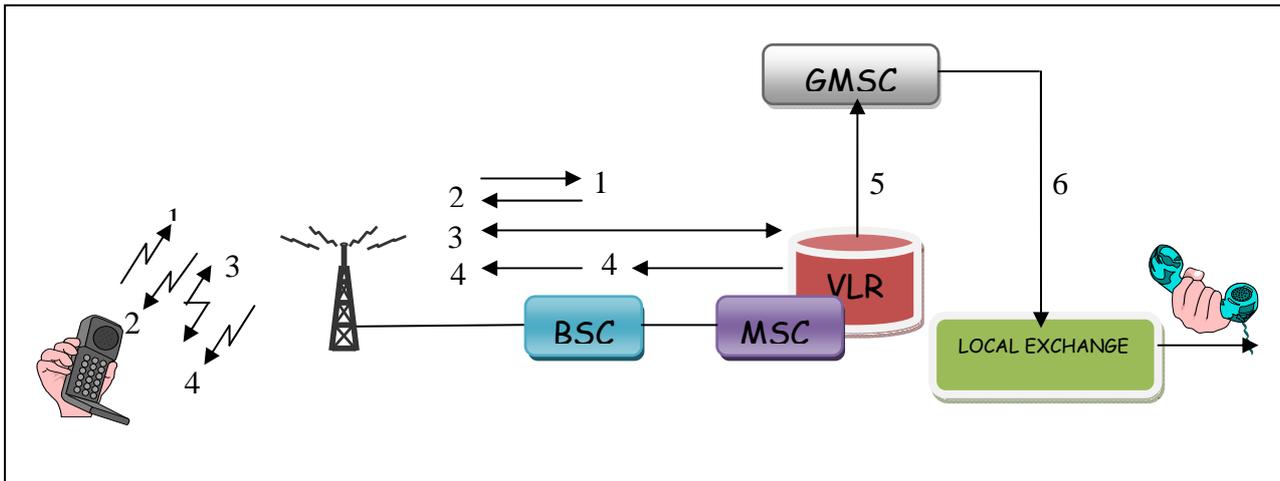


Figure : I.9: Établissement d'un appel de MS vers RTC.

- 1- Le MS utilise RACH, pour demander un canal de signalisation SDCCH pour établir une communication.
 2. le BSC attribue un canal de signalisation en utilisant AGCH.
 3. Le MS envoie une demande d'établissement d'appel au MSC/VLR par l'intermédiaire du canal SDCCH, sur lequel a lieu toute la signalisation qui précède un appel. Ceci comprend le repérage « occupé » du MS dans le MSC/VLR, la procédure d'authentification, l'envoi du numéro B et la vérification de l'activation éventuelle des services (exemple : interdiction des appels sortants (Barring of outgoing calls), renvoi d'appel) pour l'abonné.
 4. Le MSC/VLR demande au BSC d'attribuer un TCH libre. Ceci est transmis au BTS et au MS, qui reçoit l'ordre d'activer le TCH.
 5. Le MSC/VLR transmet le numéro B au GMSC où il y aura le filtrage des appels.
 6. Le GMSC transmet à son tour le numéro au central du RTC, qui établit la liaison avec l'abonné B dans le RTC.
- B répond et la communication est établie.

I.5.5.2.Appel d'un fixe vers un MS :

La différence principale entre un appel à destination d'un abonné mobile et un appel à destination d'un abonné du RTC est que nous ne connaissons pas la localisation de l'abonné mobile. Il faut donc effectuer une recherche du MS pour établir une liaison.

Etudions la procédure d'établissement d'un appel d'un abonné du TRC à destination d'un abonné mobile.

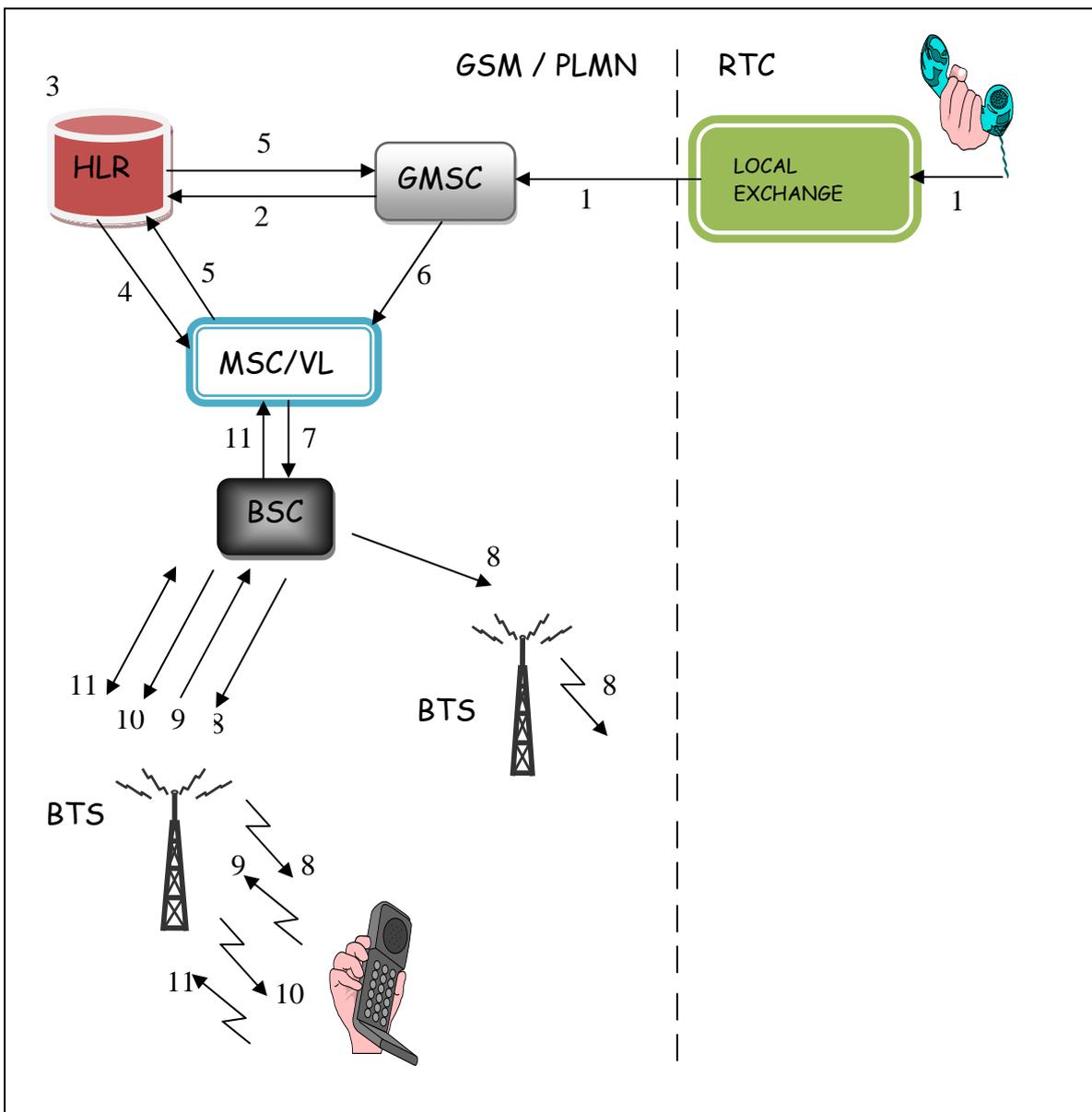


Figure I .10: Appel du RTC à destination du MS

1- l'abonné RTC compose la MSISDN (numéro d'appel du MS). Le MSISDN est analysé dans le central du PSTN, qui détermine qu'il s'agit d'un appel à destination d'un abonné d'un réseau GSM. Une liaison est établie avec le GMSC.

2. le GMSC analyse le MSISDN pour déterminer le HLR dans lequel le MS est enregistré, puis interroge le HLR pour obtenir des informations sur l'acheminement de l'appel au MSC/VLR desservant.
3. le HLR transpose le MSISDN en IMSI et peut alors déterminer le MSC/VLR qui dessert actuellement le MS. Le HLR dispose également d'informations relatives aux services, comme le renvoi d'appel (à un numéro C). Si ce service est activé, l'appel est réacheminé à ce numéro par GMSC et ensuite probablement par l'intermédiaire du RTC.
4. Le HLR demande un numéro de Roaming MSRN au MSC/VLR desservant. Le MSRN contient l'adresse du MSC/VLR.
5. le MSC/VLR renvoie le MSRN au GMSC par l'intermédiaire du HLR.
6. le GMSC réacheminé l'appel au MSC/VLR directement ou par l'intermédiaire du PSTN, en y ajoutant les informations provenant du PSTN.
7. le MSC sait dans quelle zone de localisation LA le MS se trouve. Un message «Paging» est envoyé au BSC.
8. le BSC envoie le message «Paging» à les BTS situées dans la LA voulue et les BTS diffusent ce message sur l'interface hertzienne sur le canal PCH. La recherche du MS s'effectue en utilisant le numéro IMSI ou TMSI.
9. Lorsque le MS détecte le message sur «Paging», il envoie une demande de canal de signalisation SDDCH.
10. le BSC délivre un SDCCH en utilisant AGCH.
11. SDDCH est utilisée pour les procédures d'établissement de l'appel, comme dans le cas d'un appel en provenance de MS, après quoi un TCH est attribué et SDCCH est libéré.

Le poste mobile sonne et la communication est établie lorsque l'abonné mobile répond.

I.6 Conclusion :

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

L'interface radio constitue la partie la plus importante et la plus compliquée car elle est riche en fonctions, c'est à ce niveau que s'effectuent les différents traitements que peut subir une trame de parole ; beaucoup de paramètres entrent en jeu (environnement, types d'antennes...), mais en règle générale, on essaie de trouver un compromis pour que les systèmes implantés soient économiquement viables pour l'opérateur tout en gardant une qualité de service minimale pour tous les usagés.

La ressource radio est rare, son optimisation est dans l'intérêt de tout réseau, elle fait appel à la mise en place d'un mécanisme de gestion des aléas de la propagation qui influent sur la qualité des signaux. Il est alors nécessaire d'étudier le mécanisme de propagation, qui nous conduira à porter notre regard sur les paramètres fondamentaux que sont les antennes et phénomènes optiques.

ANTENNES ET
PROPAGATION

C
H
A
P
I
T
R
E
2

II.1 Généralités

II.1.1. Définition :

Une antenne est définie comme un conducteur électrique utilisé pour rayonner ou capter de l'énergie électromagnétique entre un émetteur / récepteur et l'espace libre. L'antenne est reliée à la source d'émission/réception par un support qui est fréquemment une ligne coaxiale ou un guide d'onde. Les antennes sont utilisées dans des gammes de fréquence de longueurs d'onde différentes pour un très grand nombre d'applications :

- Les ondes kilométriques (30kHz-300kHz) et hectométriques (300kHz-3000kHz) pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude et les liaisons avec les sous-marins ;
- Les ondes décamétriques (3Mhz-30Mhz) pour les liaisons radio intercontinentales ou maritimes ;
- Les ondes métriques (30Mhz-300Mhz) pour la radio diffusion à modulation de fréquence, la télévision, et la radionavigation ;
- Les ondes décimétriques (300Mhz-3000 Mhz) pour la télévision, le radar et les liaisons avec les mobiles ;
- Les ondes centimétriques (3Ghz-3000Mhz) pour les liaisons terrestres par faisceaux hertziens, les liaisons partielles avec les satellites artificiels ;
- Les ondes millimétriques (30Ghz-300Ghz) pour la radioastronomie et certains radars.

II.1.2. Caractéristiques des antennes :

II.1.2.1. Antenne isotrope :

On caractérise une antenne, en comparant son diagramme du rayonnement à une antenne de référence dite isotrope, cette dernière est constituée par une source ponctuelle qui rayonne sa puissance d'alimentation P_a de la même manière dans toutes les directions. Bien qu'une telle antenne n'ait pas de réalité physique, elle est très utile comme repère.

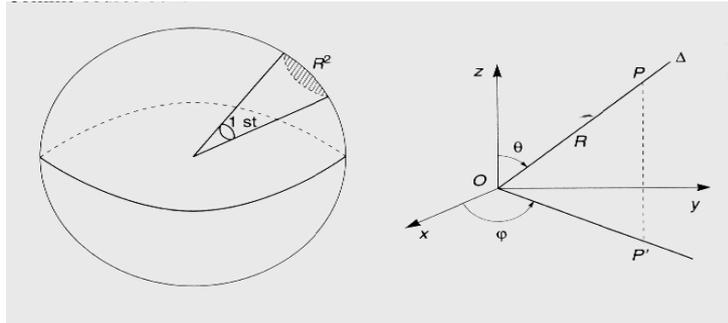


Figure II.1. : A gauche : Source à rayonnement omnidirectionnel.
 À droite : Définition d'un point p et d'une direction Δ dans un système de coordonnées (R, θ, Ψ) .

II.1.2.2. Diagramme du rayonnement :

C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. Graphiquement c'est la représentation d'une fonction $r(\theta, \Psi)$. (Figure II .2)
 Soit $P(\theta, \Psi)$ la puissance que rayonne l'antenne autour d'une direction $\Delta(\theta, \Psi)$ et soit $\Delta_0(\theta_0, \Psi_0)$ une direction dans l'espace dans la puissance est maximale; soit $P_0(\theta_0, \Psi_0)$.

$$r = P(\theta, \Psi) / P_0(\theta_0, \Psi_0) \dots\dots\dots(II.1).$$

C'est la fonction caractéristique du rayonnement de l'antenne. Pour faire un relevé complet du diagramme du rayonnement, il faudrait calculer $r(\theta, \Psi)$ dans toutes les directions de l'espace. Les antennes ne rayonnent pas leur puissance de façon uniforme dans toutes les directions. Il ya en général, une direction de rayonnement maximal autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions de rayonnement secondaires autour desquelles se répartie la fraction de la puissance restante.

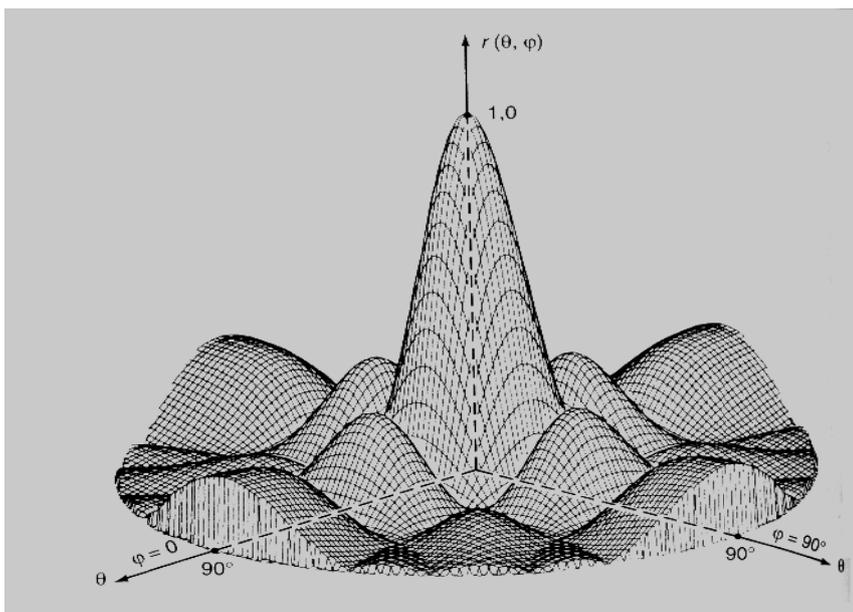


Figure : II.2 : Diagramme de rayonnement en 3 dimensions.

Dans un plan ; le diagramme de rayonnement a l'allure générale représentée par la figure II.3.a en coordonnées polaires ou par la figure II.3.b en coordonnées cartésiennes.

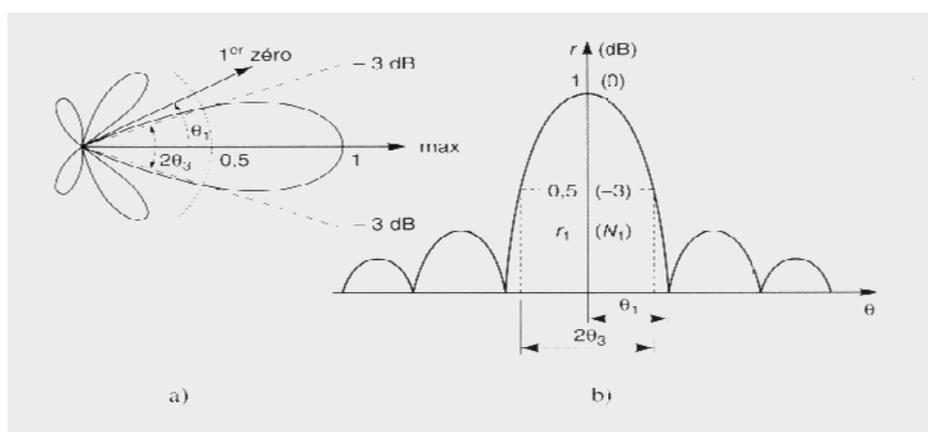


Figure II.3 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel.

- a. En coordonnées polaires.
- b. En coordonnées cartésiennes.

Ces diagrammes sont caractérisés par un lobe principal et des lobes secondaires ; il est nécessaire d'affiner le lobe principal et de réduire au maximum les lobes secondaires. D'autres caractéristiques du diagramme du rayonnement sont : l'angle d'ouverture à 3dB que font entre elles les deux directions du lobe principal selon lesquelles la puissance est égale à la moitié de la puissance rayonnée par l'antenne dans la direction

de rayonnement maximal, l'angle θ_1 du premier zéro, et le niveau N_1 du premier lobe secondaire. En communication ; ce niveau doit être inférieur à -20dB par rapport au maximum du lobe principal dont le niveau de référence est 0dB.

II.1.2.3. Réciprocité :

Sur une même fréquence, le diagramme du rayonnement en réception d'une antenne est le même qu'en émission ; la même antenne peut être utilisée en réception ou/et en émission car les caractéristiques d'une antenne sont les mêmes quelle reçoit ou quelle émet de l'énergie électromagnétique.

II.1.2.4. Directivité et gain d'une antenne :

- ❖ La directivité $D(\theta, \Psi)$ dans une direction $\Delta(\theta, \Psi)$ est par définition le quotient de l'intensité du rayonnement dans une direction par la valeur moyenne de cette intensité de rayonnement pour toutes les directions de l'espace.
- ❖ Le gain d'une antenne est par définition le rapport entre la puissance maximale rayonnée par l'antenne considérée sur la puissance rayonnée par l'antenne isotrope de référence alimentée par la même énergie. Plus l'antenne est directive plus son gain est fort.

II.2. Les antennes GSM :

II.2.1 Antennes des terminaux GSM/DCS:

Elles sont en générale des dipôles de longueur $\lambda/4$; ce type d'antennes repose sur l'hypothèse que la surface du support (sol ; toit d'une voiture) est conductrice et quelle réfléchit les ondes. Le support n'est pas un réflecteur parfait et le gain considéré est de 5.15 dBi. Dans tout les cas il est nécessaire de prendre en compte l'environnement immédiat. Pour les portatifs le corps humain situé à proximité de l'antenne induit un masque supplémentaire typique de 3 dBi.

II.2.2. Antennes des stations de bases :

Ce sont les composants les plus visibles du réseau GSM ; elles permettent de réaliser la liaison U_m entre les stations mobiles et les BTS.

II.2.2.1. Caractéristiques :

II.2.2.1.1. Fréquence d'utilisation :

Sur les sites GSM, il existe des antennes qui émettent seulement en 900 Mhz ; seulement en 1800Mhz, des antennes bibrandes 900Mhz et 1800Mhz. On trouve aussi des antennes bimodes (GSM et UMTS) dans le nombre ne fera qu'augmenter et tribandes (900 Mhz;1800Mhz ; 2200Mhz) ; qui servent à la fois pour le GSM et l'UMTS.

II.2.2.1.2. Directivité :

Selon l'environnement à couvrir, plusieurs types d'antennes sont disponibles.

➤ Omnidirectionnelles :

Particulièrement destinées aux zones rurales, elles ressemblent à des brins d'environ 2m de haut et 5cm de diamètre, comme elles peuvent servir aussi pour les zones urbaines, ce sont des brins de 40cm de haut et de 2 à 3 cm de diamètre.

➤ Directionnelles :

Elles représentent la quasi-totalité des antennes utilisées. Elles émettent seulement dans la direction dans elles sont orientées, ce qui permet de limiter le champ de propagation d'une fréquence pour pouvoir ainsi la réutiliser à une distance proche, sans risque de brouillage.

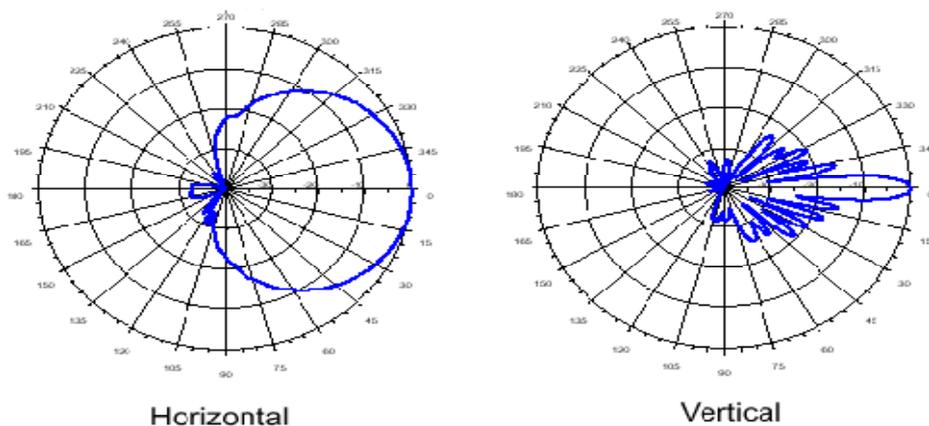


Figure II.4 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.

II.2.2.1.3. Gain– Puissance:

Chaque antenne possède un gain qui lui est propre. Ce gain s'exprime en dB ou dBi, il est d'environ 2 à 11 dBi pour les antennes omnidirectionnelles et jusqu'à 18 dBi pour les antennes directionnelles. La puissance émise par l'antenne est appelée PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente). Cette puissance est fournie par la BTS et ses amplificateurs de puissance, commandés depuis le BSC. La PIRE est de quelques watts pour des antennes couvrant des micros cellules, et d'une vingtaine à une cinquantaine de watts pour des macros cellules. La PIRE est exprimée en dBm.

II.2.2.1.4. Azimut:

Chaque antenne est dirigée dans une direction déterminée par des simulations, de manière à couvrir exactement la zone définie. L'azimut est un angle qui se compte en degrés, positivement dans le sens horaire, en partant nord (0°).

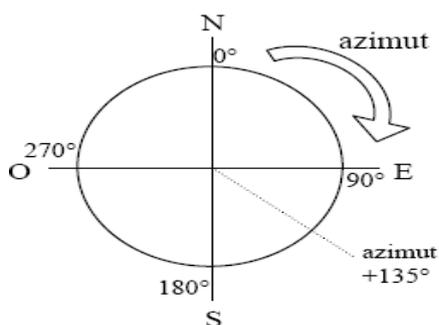


Figure II.5: Représentation des azimuts

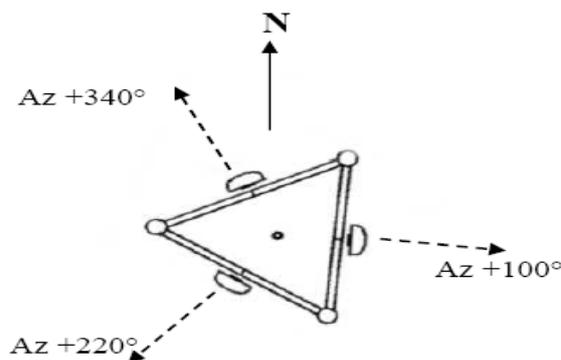


Figure II.6 : Exemple des azimuts sur un site sectorisé.

II.2.2.1.6. Tilt :

Tout comme l'azimut, le tilt (ou down-tilt) est laissé à la discrétion des installateurs d'antennes qui les orientent selon les recommandations de l'opérateur. Le tilt est l'angle d'inclinaison (en degrés) de l'azimut du lobe principal de l'antenne dans le plan vertical. Le diagramme de rayonnement d'une antenne avec un tilt positif sera dirigé vers le haut, alors qu'un tilt négatif fera pointer l'antenne vers le bas.

II.2.2.1.7. Sectorisation :

Chaque relais GSM est partagé en plusieurs zones d'émission, une pour chaque antenne (Sauf présence de diversité spatiale), habituellement jusqu'à 3 zones par relais, appelées aussi secteur ou cellule.

❖ Site monosectorisé :

C'est un site GSM qui ne possède qu'un seul secteur, c'est-à-dire qui ne gère qu'une seule cellule. Il y a une seule antenne, ou deux si la diversité spatiale est utilisée, voire jusqu'à trois pour certains sites omnidirectionnels constitués de trois brins omnidirectionnels.

Ce type de site omnidirectionnel est utilisé en zone rurale pour assurer une couverture assez importante, sans permettre une grande quantité de communications, ou en zone urbaine importante, pour micro cellule, afin de supporter des communications passées dans une zone réduite (centres commerciaux, rues piétonnes...). Un site monosectorisé avec panneau directionnel, peut être utilisé pour affiner une couverture locale, ou en zone rurale, au dessus d'une vallée encaissée, où les deux autres secteurs ne seraient pas utiles.



Figure II.7 : site monosectorisé

❖ Site bisectorisé :

Un site bisectorisé est un site GSM qui possède deux secteurs, et donc deux cellules distinctes. Le site peut comporter au moins deux antennes et jusqu'à quatre si la diversité spatiale est utilisée. Ce type de site sert à couvrir des zones où seuls deux secteurs sont utiles (flanc d'une colline...).



Figure II.8 : site bisectorisé.

❖ Site Trisectorisé :

La majorité des sites GSM sont des sites trisectorisés, c'est-à-dire qu'ils sont constitués de trois cellules, ce qui permet une meilleure intégration au PDF (Plan De Fréquences). Ces sites sont très répandus en zone rurale et périurbaine, où la couverture n'est quasiment assurée qu'à partir de ce type de sites.



Figure II.9: site trisectorisé.

❖ Numérotation des secteurs:

Les secteurs de chaque site sont numérotés. Le secteur n°1 est le secteur qui a l'azimut le moins élevé, c'est le secteur dont l'azimut est le plus proche du Nord (fig. I.9).

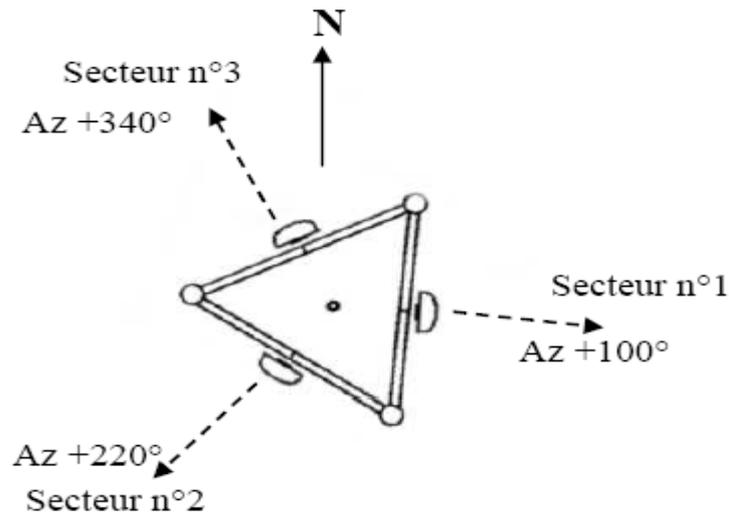


Figure II.10 : Exemple de numérotation des secteurs d'un site trisectorisé.

❖ Câbles coaxiaux :

Pour relier la BTS aux antennes, on utilise des câbles coaxiaux (feeders), qui peuvent atteindre jusqu'à une cinquantaine, voire exceptionnellement une centaine de mètres de longueur, pour parcourir la distance entre la BTS et les antennes. Ces câbles sont blindés et parfaitement isolés, de manière à n'introduire aucun parasite entre l'antenne et la BTS, mais surtout pour éviter les pertes.

❖ Faisceau Hertzien (F.H.) :

Un FH est une liaison radio spécialisée, composée de 2 antennes émettrices-réceptrices ultra directionnelles pointées exactement l'une vers l'autre, sans obstacle intercalé. Lorsque le BSC est très éloigné du MSC, il peut arriver que la liaison soit assurée par plusieurs couples de FH. Un FH a souvent un débit de 2 Mbit/s, il est donc nécessaire sur certains sites à capacité importante d'en utiliser plusieurs.



Figure II.11: Antenne d'un faisceau hertzien

II.3. Propagation des ondes électromagnétiques (O.E.M) :

II.3.1. Propagation en espace libre :

La propagation des O.E.M est un phénomène régi par les équations de Maxwell. Si le model théorique est bien maitrisé la propagation dépend :

- des caractéristiques du milieu ;
- de la position et de la nature des sources.

Les ondes radio peuvent être propagées d'une antenne d'émission a une antenne de réception de diverses manières ; en suivant la courbure du sol, en travers de l'atmosphère ou par réflexion au moyen de réflecteurs naturels ou artificiels, et ce en fonction de leur fréquence.

❖ Propagation par ondes de surface :

L'onde de surface suit la courbure de la terre (fig. II.12a) sans être gênée par les obstacles ; ce comportement se trouve jusqu'à 2 Mhz. La portée dépend de la nature du sol rencontré, de la fréquence et bien sure de la puissance d'émission ; l'exemple le plus connu de transmission par ondes de surface est la radio AM.

❖ Propagation ionosphérique :

Elle est utilisée par la radio amateur et les radios diffusion interactionnelles. Dans ce cas, un signal émis par une antenne est réfléchi vers la terre par la couche ionisée de l'atmosphère supérieure appelée ionosphère .Un signal se propageant de cette manière peut suivre une trajectoire composée de plusieurs rubans entre l'ionosphère et la surface de la terre (fig. 12.b) et être reçu à des milliers de kilomètres de l'émetteur.

❖ Propagation en directe :

Au-delà de 30Mhz, les deux modes de propagation précédent ne sont plus possibles et la transmission doit s'opérer en vue directe (fig12.c).Pour les communications par satellites un signal à ce niveau de fréquence n'est pas réfléchi par l'ionosphère et peut par conséquent être transmis directement entre une station terrestre et un satellite au dessus de l'horizon.

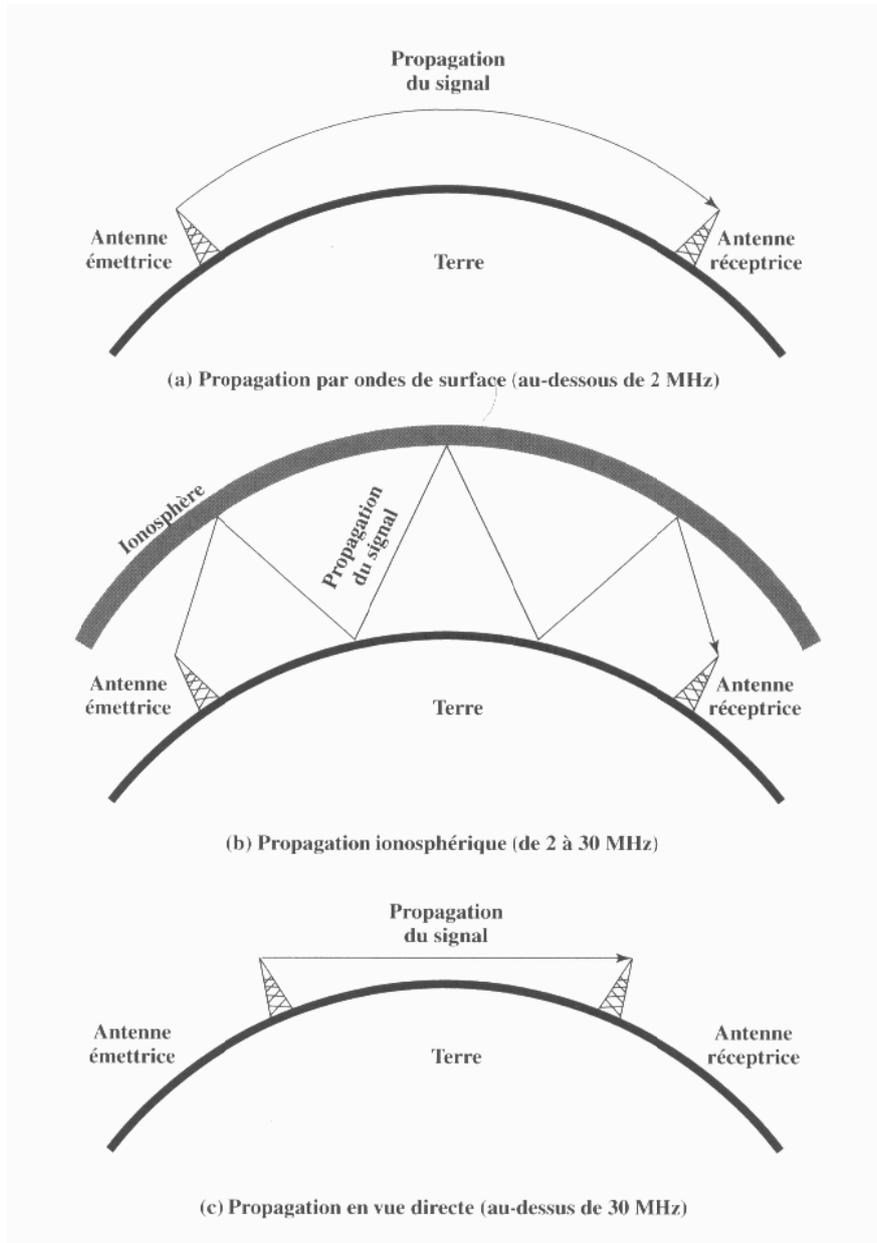


Figure II.12: Modes de propagation sans fil.

II.3.2. Mécanismes de propagation :

En propagation radio fréquence, la présence de la terre et de l'atmosphère peut induire des divers phénomènes optiques que sont la réflexion, la réfraction, la diffraction et l'absorption. Ces phénomènes ont une influence assez importante sur la propagation.

❖ La réflexion :

Le phénomène de réflexion est un phénomène courant en propagation radiofréquence. Il se traduit par la déviation de l'onde électromagnétique due à la présence des obstacles en environnement radio. En milieu urbain, la présence des immeubles, des véhicules et parfois des reliefs peut considérablement contribuer à la réflexion des ondes électromagnétiques. Ce phénomène peut être observé même en milieu dégagé où le sol libre constitue une surface réfléchissante pour les signaux radio électrique.

❖ La réfraction

Facteur très important dans le positionnement des sites macro cellulaires. Soit un milieu constitué de plusieurs couches diélectriques horizontales qui ne se différencient que par leur indice de réfraction qui sont très peu différents. Si l'indice de réfraction varie progressivement (augmentation ou diminution), selon la théorie de l'optique, les ondes qui se propagent se courbent. Elles se rapprochent de l'horizontale si l'indice traversé diminue et s'éloigne de celle-ci, dans le cas d'une augmentation de l'indice.

❖ La diffraction :

C'est un phénomène major dans la propagation des signaux UHF en zone urbanisée, où la vue directe entre l'émetteur et le récepteur est une situation très exceptionnelle. Pour cela elle est un mécanisme qui permet la réception du signal malgré les obstacles qui masquent le récepteur, que ce soit dans les milieux urbains ou ruraux. La résolution analytique de ce problème peut être considérée comme une source secondaire. Le phénomène de diffraction peut modifier profondément le champ que l'on calculerait en espace libre et apporte une forte atténuation.

❖ Absorption :

La traversée des zones de pluie, de nuages ou de brouillard donne lieu à une atténuation des ondes centimétrique et millimétrique. Cette atténuation qui résulte des pertes par absorption et par diffusion, augmente rapidement avec la fréquence. Les gaz atmosphériques et les hydrométéores absorbent une partie de l'énergie. Cependant l'absorption croît avec la fréquence, ainsi que chaque milieu est caractérisé par sa raie d'absorption (par exemple la raie d'absorption de l'oxygène est à 60GHz) dans la quelle l'absorption est maximale.

II.3.3. Affaiblissent en espace libre :

Dans tout système de transmission sans fil ; l'affaiblissement est une fonction très complexe qui dépend de la distance et des conditions atmosphériques. L'affaiblissement induit trois facteurs que l'ingénieur réseau doit considérer :

1. Un signal reçu doit avoir suffisamment de puissance pour que le circuit électronique de récepteur puisse le détecter et l'interpréter.

2. Le signal doit se maintenir à un niveau notablement supérieur au bruit.
3. L'affaiblissement est plus élevé dans les hautes fréquences ; ce qui entraîne des distorsions.

II.3.3.1. Distorsion de fréquence (Effet Doppler) :

L'effet Doppler est un phénomène dû à la mobilité de la station mobile par rapport à la station de base. Il entraîne une variation dans la fréquence du signal reçu appelé décalage Doppler. Ce décalage de fréquence dépend essentiellement de deux facteurs :

- La direction de déplacement ;
- La vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur.

II.3.3.2. Distorsion d'amplitude :

Après réflexion sur un obstacle, l'onde radio peut être altérée en phase et en amplitude. Le phénomène d'évanouissement ou fading résulte des variations temporelles des phases qui varient aléatoirement dans le temps. Celles-ci peuvent résulter en des signaux multiples s'ajoutant de façon destructive au niveau du récepteur. Dans ce cas, le signal reçu résultant sera très faible ou pratiquement nul.

II.3.3.3. Les bruits dans les communications:

Tout signal reçu peut être composé en un signal utile (information) et en des signaux perturbateurs (bruit). Ce bruit peut être réparti en quatre catégories :

- Le bruit thermique ;
- La diaphonie ;
- Le bruit d'intermodulation ;
- Le bruit impulsif.

II.3.3.1.1. Le bruit d'intermodulation :

Il se produit lorsque de différentes fréquences partagent le même support de transmission. Par exemple ; le mélange de deux signaux de fréquence f_1 et f_2 peut produire de l'énergie à une fréquence f_1+f_2 ; ce signal dérivé pourrait interférer avec un signal attendu d'une fréquence égale.

II.3.3.3.2. La diaphonie :

Il s'agit d'un couplage perturbateur de trajets de signaux ; il peut aussi se produire lorsque des signaux indésirables sont captés par les antennes et cela malgré l'emploi des antennes nettement directionnelles.

II.3.3.3.3. Le bruit thermique :

Il est provoqué par l'agitation thermique des électrons. Il est présent dans tous les équipements électroniques et les supports de transmission ; et dépend de la température ; il ne peut être éliminé et limite donc les performances de façon incontournable.

II.3.4. Mécanismes de compensation des erreurs :

Les méthodes permettant la compensation des erreurs et les distorsions introduites par l'environnement et les bruits sont réparties en trois catégories générales : correction d'erreurs anticipée ; égalisation adaptative et techniques de diversité. Dans un environnement sans fil les mécanismes de ces trois catégories sont combinés pour limiter au maximum le taux d'erreurs.

II.3.4.1.1. La correction aval des erreurs (Forward Error Correction) :

Egalement appelée correction d'erreurs sans voie de retour ; convient pour les communications numériques ; dans ce type de correction le récepteur corrige les erreurs contenues dans les données en exploitant uniquement les informations contenues dans les données entrantes, cela s'oppose à la correction d'erreurs par retransmission (Backward Error Correction) dans laquelle le récepteur se contente de détecter la présence d'erreurs et d'envoyer une demande de retransmission des données erronées.

II.3.4.1.2. Egalisation :

Elle met en œuvre des circuits analogiques et des algorithmes sophistiqués de traitement du signal. Cette méthode permet de faire face à l'interférence intersymboles.

II.3.4.2. Techniques de diversité :

La diversité se fonde sur le principe que des canaux individuels subissent des effets d'évanouissements indépendants, il est par conséquent possible de compenser

l'effet des erreurs en établissant plusieurs canaux entre l'émetteur et le récepteur et d'envoyer une partie du signal sur chacun d'eux.

II.3.4.2.1. La diversité spatiale :

Elle porte sur le chemin de transmission (spatiale) .Par exemple ; plusieurs antennes proches les une des autres peuvent être employées pour recevoir le même message, les signaux ensuite sont combinés d'une manière ou d'une autre pour reconstituer le plus fidèlement le signal émis .Un autre exemple implique l'emploi de plusieurs antennes directionnelles orientées selon un angle de réception différent ; les signaux entrants étant aussi rassemblés pour former le signal de départ.

II.3.4.2.2. La diversité temporelle :

Les techniques de diversité temporelles répartissent les données dans le temps de sorte qu'une poussière soudaine de bruit affecte moins de bits. En communication mobile le codage correcteurs d'erreurs et l'entrelacement effectue une distribution temporelle de l'information et en ajoutant des bits de redondance permet encore une protection plus efficace des informations.

II.3.4.2.3. La diversité fréquentielle :

La diversité fréquentielle est, la technique utilisant un changement régulier des fréquences utilisées ; c'est-à-dire, que la BTS et le mobile changent régulièrement de fréquence d'émission et de réception, c'est ce que l'on appelle le saut de fréquence ; un changement de fréquence 217 fois par seconde, qui permet de lutter contre l'évanouissement du signal (ou fading). Ce procédé permet aussi de moyenner le brouillage ; par exemple : si un canal est brouillé, et si une communication est établie sur ce canal, la communication sera fortement perturbée, alors que si l'on change très régulièrement de canal (fréquence), la communication ne sera perturbée qu'à certains instants, mais restera en moyenne, audible.

II.4. Les modèles de propagation :

A cause des phénomènes intervenant dans la propagation radio mobile, le calcul de l'atténuation de l'onde radio tout au long de son chemin est toujours approximatif. Des études statistiques et mathématiques ont donné naissance à des modèles de simulation qui ne sont que des algorithmes de calcul qui prédisent le niveau de champ en fonction de la distance. En se basant sur l'environnement ; les modèles de prédiction peuvent être classés en deux principales catégories, les modèles pour les macrocellulaires et les modèles pour les microcellulaires.

II.4.1. Les modèles pour macrocellules :

A partir de nombreuses mesures effectuées dans les environs de Tokyo à différentes fréquences, Y.Okumura a calculé l'affaiblissement médian en fonction de la distance, et en a déduit des graphiques permettant des prévisions en fonction de divers paramètres. M. Hata a établi, à partir de ces courbes, des formules empiriques qui ont été reprises dans le rapport 567-4 du CCIR. Ces formules ont été complétées par la COST 231 (european COoperation in the field of Scientific and Technical research, ensemble de comité réunissant des constructeurs et opérateurs européens travaillant sur des questions spécifiques parmi lesquels le 231 étudie la propagation).

Les modèles de Hata et du COST 231-Hata s'appliquent pour des tailles de cellules relativement grandes (de et surtout rayon supérieur ou égal à 1 km) lorsque l'antenne de la station de base est située au-dessus des niveaux des toits avoisinants.

Les conditions d'applications du modèle sont les suivantes:

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

II.4.1.1 Modèle de Hata :

Le modèle de Hata s'applique aux fréquences comprises entre 150 et 1000 MHz. En milieu urbain, l'affaiblissement en dB appelé ici L_u est donné par :

$$L_u = 69,55 + 26,16 \text{Log} (f) - 13,82 \text{Log}(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \text{Log}(h_b)] \text{Log}(d) \dots\dots\dots(I.2)$$

Le paramètre **a (hm)** est un facteur de correction dépendant de la hauteur de l'antenne de la station mobile et de l'environnement dont la valeur est:

- Pour une ville de taille moyenne :

$$a(h_m) = [1,1 \text{Log}(f) - 0,7] h_m - [1,56 \text{Log}(f) - 0,8]$$

- Pour une grande ville (au dessus de 400 Mhz) :

$$a(h_m) = 3,2[\text{Log}(11,75 h_m)]^2 - 4,97$$

Dans le cas d'un utilisateur au sol, c'est à dire pour une hauteur de 1,5 m, le coefficient $a(h_m)$ est tout à fait négligeable.

En milieu suburbain, l'affaiblissement L_{su} exprimé en dB est donné en appliquant la formule (2) milieu urbain affectée d'une correction:

$$L_{su} = L_u - 2[\text{Log}(f/28)]^2 - 5,4 \dots \dots \dots (II.3)$$

En milieu rural, on distingue le cas où l'environnement est totalement dégagé comme dans un désert (affaiblissement L_{ro}) ou bien saemi-dégagé comme dans une campagne sympathique affaiblissement (L_{rqo}) :

$$L_{ro} = L_u - 4,78[\text{Log}(f)]^2 + 18,33\text{Log}(f) - 40,94 \dots \dots \dots (II.4)$$

$$L_{rqo} = L_u - 4,78[\text{Log}(f)]^2 + 18,33\text{Log}(f) - 35,94 \dots \dots \dots (II.5)$$

II.4.1.2. Modèle de COST 231-Hata :

Le modèle COST 231-Hata s'applique aux fréquences comprises entre 1500 et 2000 MHz. En milieu urbain, l'affaiblissement L_u exprimé en dB est donné par:

$$L_u = 46,33 + 33,9\text{Log}(f) - 13,82\text{Log}(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55\text{Log}(h_b)]\text{Log}(d) + C_m \dots \dots \dots (II.6)$$

Avec :

$$a(h_m) = [1,1 \text{Log}(f) - 0,7] h_m - [1,56 \text{Log}(f) - 0,8]$$

$C_m = 0 \text{ dB}$; pour une ville de taille moyenne.

$C_m = 3 \text{ dB}$; pour les grands centres métropolitains.

II.4.1.3. Modèle de Walfisch-Ikegami :

Ce modèle empirique est une combinaison des modèles de J. Walfisch et de F. Ikegami. Il a été encore développé par le projet du COST231. Il s'appelle maintenant le modèle empirique de COST-Walfisch-Ikegami.

Le modèle considère seulement les bâtiments dans le plan vertical entre l'émetteur et le récepteur. L'exactitude de ce modèle empirique est tout à fait haute parce que dans les environnements urbains particulièrement, la propagation au-dessus des toits (diffractions multiples) est la partie la plus dominante. Seulement des effets de guidage d'onde dus aux réflexions multiples ne sont pas considérés.

Les paramètres principaux du modèle sont :

- La fréquence **f** comprise entre 800 et 2000 MHz.
- L'hauteur de station de base **h_{TX}** entre 4 et 50 m.
- L'hauteur de station de mobile **h_{RX}** entre 1 et 3 m.
- Distance **d** entre le mobile et la station entre 20 et 5000 m.

II.4.2. Modèles pour microcellules :

En milieu urbain, lorsque l'antenne de la station de base est située en dessous du niveau des toits et que les puissances d'émission sont faibles, la zone couverte est appelée microcellule. Si le mobile est en visibilité de la station de base (LOS, Line Of Sight), le trajet direct de l'onde est prépondérant devant les diffractions et les réflexions. L'affaiblissement est estimé par la formule suivante, proposée par le comité COST 231 :

$$L_{los} = 42.6 + 20\text{Log}(f) + 26\text{Log}(d) \dots\dots\dots(\text{II.7}).$$

Elle est pertinente pour des fréquences de 800 à 2000 MHz, une antenne mobile entre 1 et 3 m et une antenne de station de base entre 4 et 50 m.

Un modèle simple, lorsque le mobile ne se trouve plus dans la même rue que la station de base consiste à considérer que les ondes se propagent le long des rues comme dans

un guide d'onde, et à compter la distance suivant les rues. Il est possible d'utiliser alors la formule ci dessus et d'ajouter 20 dB de perte supplémentaire par coin de rue.

II.4.2.1 Modèle de Walfisch-Ikegami :

Ce modèle empirique est une combinaison des modèles de J. Walfisch et de F. Ikegami. Il a été encore développé par le projet du COST231. Il s'appelle maintenant le modèle empirique de COST-Walfisch-Ikegami.

Le modèle considère seulement les bâtiments dans le plan vertical entre l'émetteur et le récepteur. L'exactitude de ce modèle empirique est tout à fait haute parce que dans les environnements urbains particulièrement, la propagation au-dessus des toits (diffractions multiples) est la partie la plus dominante. Seulement des effets de guidage d'onde dus aux réflexions multiples ne sont pas considérés.

Les paramètres principaux du modèle sont :

- La fréquence f comprise entre 800 et 2000 MHz.
- L'hauteur de station de base h_{TX} entre 4 et 50 m.
- L'hauteur de station de mobile h_{RX} entre 1 et 3 m.
- Distance d entre le mobile et la station entre 20 et 5000 m.

II.5. Conclusion :

Les antennes constituent les éléments essentiels d'une station de base, se sont des émetteurs-récepteurs qui reçoivent ou émettent de l'énergie électromagnétique. L'espace libre constitue le support de transmission qui assure la liaison entre la station mobile et la BTS, cependant, le signal reçu n'est jamais égal au signal émet, beaucoup de phénomènes entrent en jeu (réflexion, diffraction, absorption, etc.) qui font que le signal subit des atténuations à la réception ; pour palier à ces problèmes des modèles de propagation et des techniques de compensation des erreurs sont proposés, mais en réalité ils ne font que prévoir l'affaiblissement, et ils ne prennent pas en considération d'autres bruits tels que les interférences par exemple qui influent largement sur la qualité du signal.

Les interférences sont le résultat de la réutilisation des fréquences que le réseau emploie dont le but d'augmenter sa capacité, elles dépendent des motifs implantés, de la distance entre les cellules et de l'intensité du trafic à gérer.

Dans le chapitre qui suit nous allons aborder ces concepts ; qui sont les caractéristiques essentielles d'un réseau cellulaire.

CONCEPTS
CELLULAIRES ET
INGENIERIE DE
TRAFIC

*C
H
A
P
I
T
R
E
3*

III.1. Concepts cellulaires :

La radiocommunication cellulaire est une technique qui a été développée pour améliorer la capacité du service de téléphonie mobile. Avant son introduction, ce service n'était assuré que par un émetteur-récepteur à haute puissance ; un système classique qui pouvait gérer environ 25 canaux avec un rayon effectif d'environ 80km. Un moyen d'augmenter cette capacité a été d'employer des systèmes de faible puissance avec un rayon inférieur et de multiplier le nombre des émetteurs- récepteurs. La portée d'un tel émetteur étant réduite, la puissance est faible de l'ordre de 100w.

III.1.1. Organisation des cellules :

Pour couvrir une zone vaste, le secteur géographique est divisé en petites zones appelées cellules, chaque cellule dispose de son propre émetteur-récepteur sous le contrôle d'une station de base (BTS), une certaine plage au bande de fréquence est affectée à une cellule, des cellules voisines ne doivent pas utiliser la même fréquence pour réduire les interférences ou la diaphonie. La première décision à prendre lors de la conception d'un réseau cellulaire concerne le modèle organisationnel des cellules devant couvrir une zone géographique. Une matrice de cellules carrées serait la structure la plus simple (Fig.IIIa) ; mais cette géométrie est loin d'être idéale. Si la largeur d'une cellule carrée est d ; une cellule possède alors quatre cellules voisines à une distance d et quatre à une distance $\sqrt{2} d$, lorsqu'un utilisateur s'éloigne du centre d'une cellule et se rapproche de ses limites, il est bon que les émetteurs des cellules adjacentes soient équidistants de celui de la cellule considérée, dans ce cas la tâche de détermination de moment auquel la connexion doit être transférée a une autre cellule, ainsi que la tâche de sélection du nouvel émetteur s'en trouve simplifiée.

La forme circulaire peut représenter idéalement une zone couverte, mais des problèmes de recouvrement intercellulaire sont envisageables (Fig. III.b). Par contre la forme hexagone permet de palier à ces manques tout en simplifiant les processus de planification (Fig.III.b). Le rayon d'un hexagone est défini comme étant le rayon du cercle qui le circonscrit, ce qui équivaut à la distance entre le centre et chaque sommet, ou à la longueur d'un côté de l'hexagone. Pour un rayon R d'une cellule la distance entre son centre et celui de chaque cellule adjacente est $d=\sqrt{3}R$.

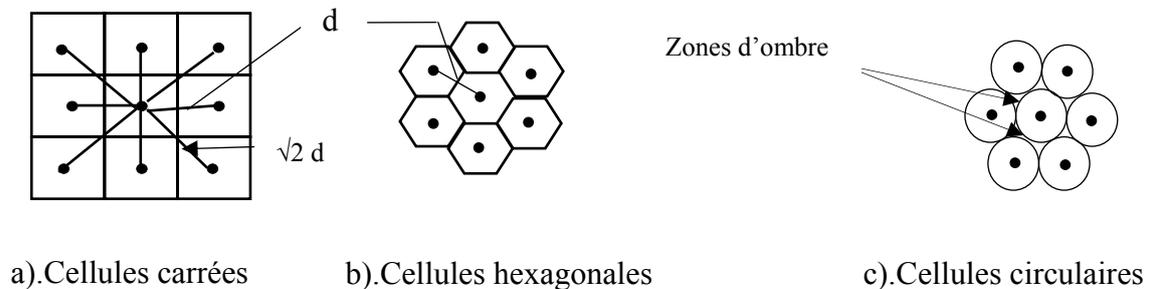


Figure III.1 : formes géométriques des cellules.

Dans la pratique les cellules ne suivent pas une forme hexagonale idéale en raison des différences topographiques, des conditions de propagation et des limitations pratiques dans le placement des antennes, on emploie plutôt des variations de la forme idéale (Figure III.2.).

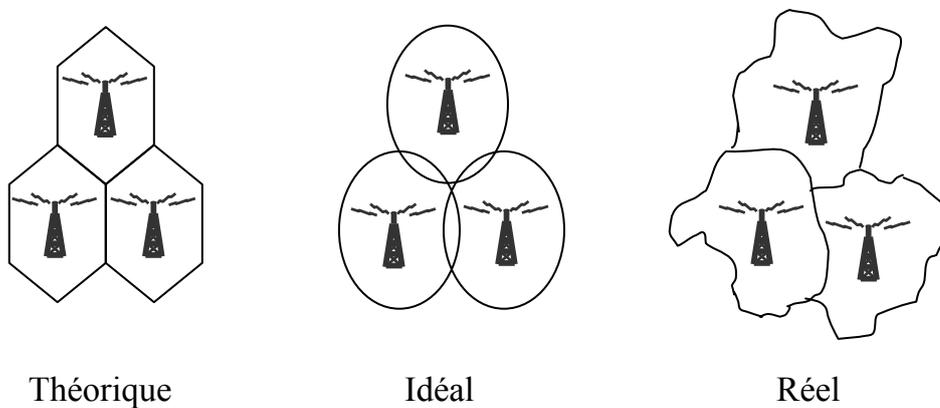


Figure III.2 : Les formes des cellules.

III.1.2. Réutilisation des ressources fréquentiels :

La planification des fréquences est l'une des tâches les plus importantes lors de l'implantation des systèmes radios cellulaires, elle doit être faite suivant un concept précis. Grâce à la réutilisation des fréquences, l'architecture cellulaire permet d'atteindre potentiellement une capacité illimitée. Dans le réseau GSM, la bande de fréquence qui lui est allouée est partagée en deux sous bandes, dans l'une est utilisée pour la liaison mobile vers l'infrastructure et l'autre de l'infrastructure vers mobile, chaque sous bande est ensuite partagée en un certain nombre de porteuses. En fonction de trafic estimé un ensemble de fréquences est affecté à chaque cellule. Il est possible de réutiliser la même fréquence dans des cellules voisines, cependant cette technique pose un ensemble de problèmes, en effet le mobile va recevoir non seulement un signal utile provenant de la station de base à laquelle il est rattaché, mais des signaux interférents provenant des stations de base utilisant la même fréquence dans les régions proches d'où la notion de réorganiser les cellules sous des ensembles appelle « motif ».

III.1.3. Les motifs :

On appelle motif le plus petit groupe de cellules contenant l'ensemble des canaux une et une seule fois, ce motif est repéré sur toute la surface à couvrir. La distance minimale entre deux émetteurs utilisant la même porteuse est la « distance de réutilisation » (Fig.III.3), plus le motif est grand plus cette distance exprimée en nombre de cellule est grande. Déterminer le motif minimal pour un système revient à trouver le motif qui va assurer une qualité de réception suffisante sur l'ensemble des points de la cellule et sur l'ensemble des cellules contiguës.

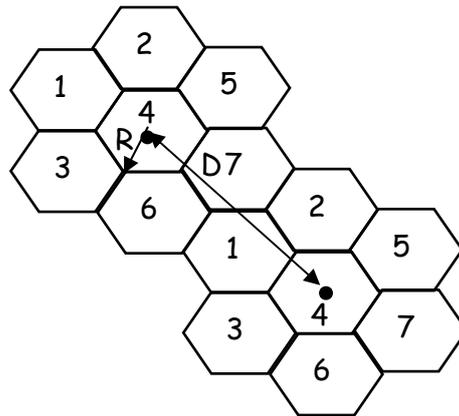


Figure III.3 : Distance de réutilisation.

III.1.3.1. Motif régulier :

Des considérations géométriques et arithmétiques permettent de démontrer qu'un motif ayant un nombre de fréquences données est optimal s'il est régulier, c.à.d. s'il est invariant par rotation de 120°. Dans ce cas la taille du motif K vérifie la relation :

$$K = I^2 + J^2 + I * J \quad \dots(1) \quad I, J = 0, 1, 2, 3, \dots \text{entiers naturels positifs ou nuls.}$$

Les premiers entiers qui vérifient une telle relation sont 1,3,4,7,9,12,13,16,19,21,25, 27, etc. et correspond à des taille de motifs possibles.

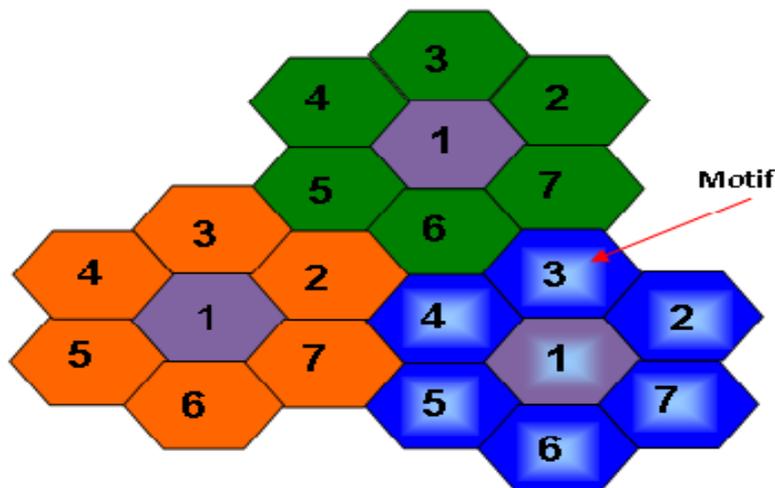


Figure III.4: Motif régulier k= 7.

Les motifs réguliers les plus courants comprennent 3, 4, 7, 9, 12, 21, ou 27 cellules.

III.1.3.2. Motifs fractionnaires :

Une des limites de la planification cellulaire régulière est qu'elle oblige à considérer des motifs de taille déterminée par la relation (1), lorsque un opérateur veut réduire la taille du motif, il doit passer de 9 à 7, il n'y a pas de valeurs intermédiaires. Il est cependant possible de planifier les fréquences par groupe et de considérer des tailles de motifs différents pour chaque groupe (Fig. 4).

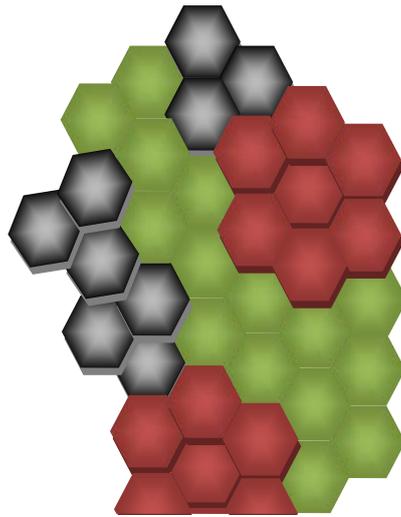


Figure III.5: Exemple de motifs fractionnaires. $K=3$ et $K=7$.

III.1.3.3. Motif de Stockholm:

Un exemple de motif irrégulier est le motif de Stockholm représenté sur la figure (). Ce type de couverture est réalisé à l'aide des antennes directives qui permettent aux cellules d'avoir cette forme atypique. Le recours à ce type de motif est justifié par une couverture progressive de la zone de service : l'opérateur commence par couvrir le centre-ville (hexagone central) puis étend progressivement la couverture des couronnes de cellules autour du site initial.

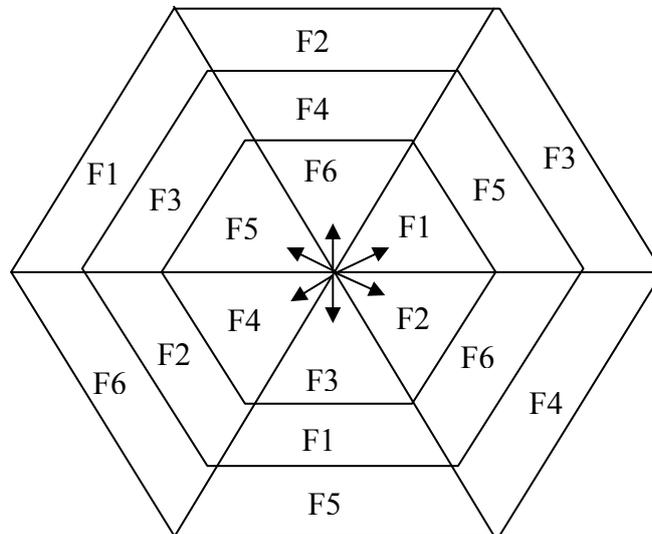


Figure III.6 : Motif de Stockholm.

III.1.4. Interférences et bruit :

Considérons un mobile dans une cellule particulière, il reçoit un signal utile de puissance C provenant de sa station de base et des signaux perturbateurs de deux types : des interférences et du bruit. Les interférences sont dues aux stations en émission sur la même fréquence (les interférences co-canaux), et aux stations en émission sur des fréquences proches (interférences des canaux adjacents). On note I , la puissance totale des interférences et N la puissance de bruit. Le rapport $C / (I+N)$ permet d'apprécier la qualité du signal reçu, plus ce rapport est petit, plus la distance de réutilisation est faible, i.e. deux stations utilisant la même fréquence pourront être d'autant plus proche que ce rapport sera faible.

III.1.4.1. Système limité par le bruit:

Considérant le cas d'une zone étendue avec une faible demande en trafic, l'opérateur peut utiliser une seule cellule pour l'ensemble de la zone, dans ce cas les interférences sont négligeables devant les bruits : $I \ll N$, le rapport $C / (I+N)$ est donc un rapport signal sur bruit. La taille des cellules est déterminée par l'ensemble des points par lequel le signal est supérieur avec une certaine marge au bruit du récepteur N , on désigne un tel système par le terme «système limité par le bruit», «noise-limited-system», c'est le cas typique des zones rurales qui sont faiblement peuplées.

III.1.4.2. Système limité par les interférences :

III.1.4.2.1. Interférence co-canal :

Lorsque les signaux émis sur une fréquence f_1 sont brouillés par d'autres signaux émis sur la même fréquence, il y a interférence co-canal, ce phénomène se rencontre de façon importante dans les systèmes à réutilisation de fréquences comme les systèmes cellulaires. Si l'opérateur veut disposer de beaucoup de canaux sur chaque station de base, il va réutiliser au maximum les fréquences. L'interférence co-canal va être prépondérante par rapport à tous les autres brouillages: $N \ll I$

Le rapport $C / (I+N)$ a donc la forme :

$$C/I = C / \sum_{k \in B_i} I_k \dots\dots\dots(III.1)$$

$K \in B_i$

Où B_i est l'ensemble des stations de base en émission sur la fréquence de réception du mobile et I_k est l'interférence reçue via la k ème cellule de la première couronne.

Notons que les signaux co-canaux sont souvent beaucoup plus gênant que les signaux provenant des cellules adjacentes car ils arrivent de façon centrée dans la bande du récepteur.

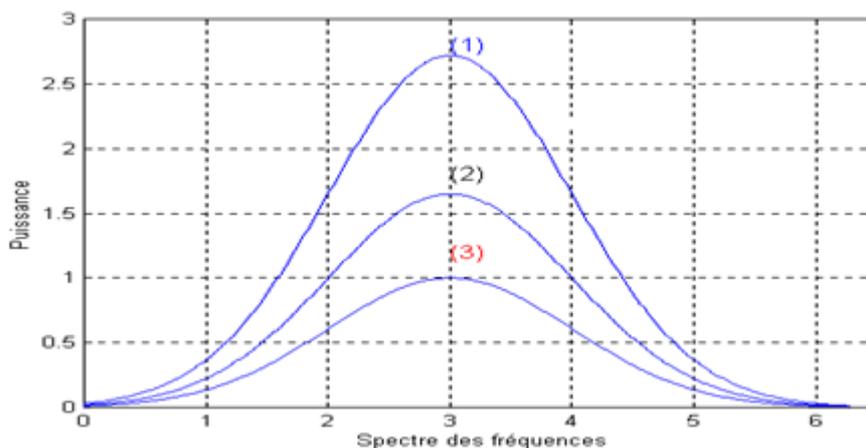


Figure III.7 : Interface co-canal.

III.1.4.2.2 Interférence des canaux adjacents :

Due aux émissions par d'autres équipements sur des fréquences adjacentes. L'origine principale de l'interférence sur canal adjacent est l'utilisation des canaux très proches les uns des autres dans le spectre des fréquences, ce choix a pour but de maximiser l'efficacité spectrale du système.

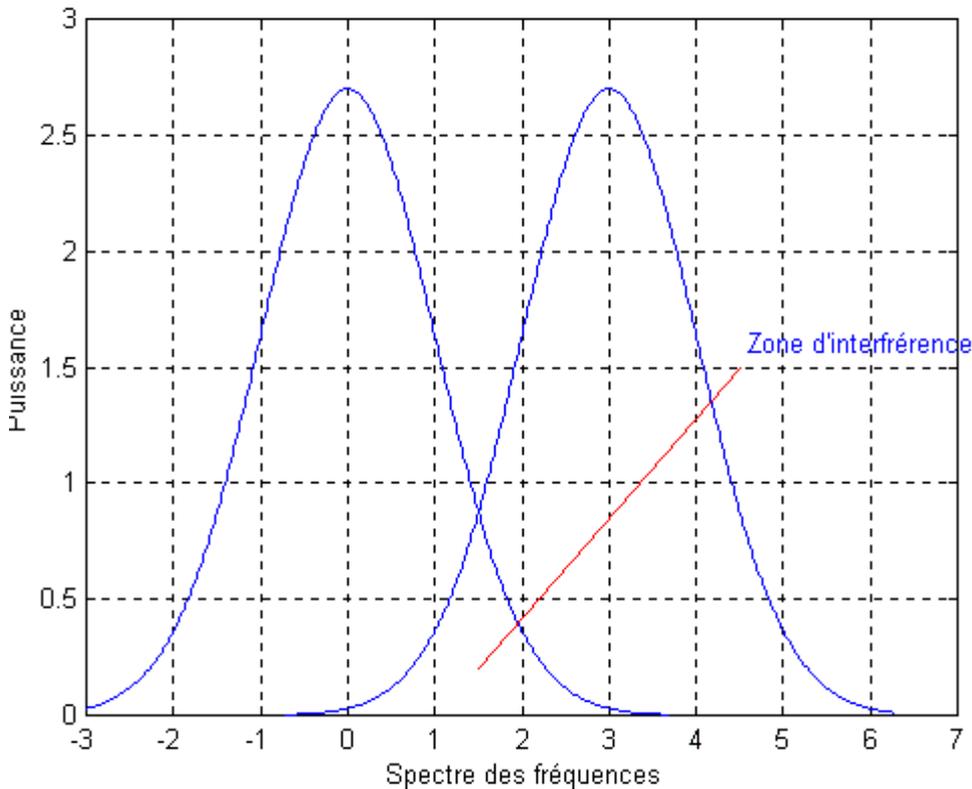


Figure III.8: Interférence due au canal adjacent.

III.1.5. Paramètres influençant la capacité :

III.1.5.1. Le Handover :

Le processus de sélection de cellules permet à un mobile à l'état de veille de choisir la meilleure cellule, en cours de communication, le mobile va être aussi amené à changer de canal et/ou de cellule pour des raisons essentielles radio, afin principalement de maintenir le lien avec une qualité acceptable.

III.1.5.2. Contrôle de puissance :

Dans un réseau couvrant des environnements différents (ruraux, urbains), les cellules sont de taille variée. Afin de ne pas entrainer un déséquilibre entre la voie montante et la voie descendante, chaque station de base indique aux mobiles de la cellule la puissance à utiliser. On parle quelquefois de contrôle de puissance statique.

Le mécanisme de contrôle de puissance dynamique consiste à ajuster la puissance d'un émetteur radio de façon à minimiser la puissance requise par cet émetteur tout en conservant la qualité de la communication. La conséquence principale du recours à cette technique est la diminution du niveau d'interférence co-canal.

La puissance d'émission varie ainsi dans une certaine marge. Le contrôle est effectué soit uniquement pour les stations mobiles, soit pour les stations mobiles et stations de bases. Le contrôle de puissance est un mécanisme qui est géré à un niveau centralisé, c'est-à-dire en pratique par une entité située au niveau du réseau. La raison principale de cette situation est que le contrôle de puissance est une décision qui résulte d'une observation globale du système, observation que seul le réseau peut réaliser.

Les principales causes conduisant à l'augmentation ou la diminution de la puissance émise sont d'une part l'éloignement ou le rapprochement d'une MS de sa station de base, d'autre part, l'augmentation ou la diminution du niveau d'interférence du canal radio utilisé.

III.1.5.3. Saut de fréquence :

A l'origine, le mécanisme de saut de fréquence fut introduit dans les systèmes militaires. Il consiste pour un émetteur à changer régulièrement de fréquence de sorte à obtenir une diversité de fréquences et une diversité des brouilleurs. Il a pour conséquence d'augmenter l'efficacité du codage et de l'entrelacement dans le GSM, et ce pour les mobiles en arrêt ou se déplaçant lentement. Le recours au mécanisme de saut de fréquence offre les deux principaux avantages suivants: obtenir une diversité en fréquences et une diversité de brouilleurs.

III.1.5.3. 1. Protection contre les évanouissements :

En général, les évanouissements sur un canal radio sont décorrélés d'une fréquence à une autre (à condition qu'elles soient espacées d'au moins un certain écart, plusieurs centaines de khz par exemple). Ainsi, l'utilisation de plusieurs fréquences différentes pour une communication, diminue la probabilité de perte des messages par évanouissements. De cette façon, et grâce en particulier à la redondance introduite dans les différents messages , un message perdu pour cause d'évanouissement sur une fréquence donnée, peut être reconstitué au niveau du récepteur grâce aux informations

transportées par les messages transmis sur les autres fréquences. Le gain apporté par la diversité de fréquences est de l'ordre de quelques dB.

III.1.5.3.2. La diversité de brouilleurs :

Le saut de fréquence permet de créer une diversité de brouilleurs. Dans les zones urbaines, les systèmes sont principalement limités par les interférences. Ainsi l'implantation du mécanisme de saut de fréquence a pour objectif de moyenniser le niveau d'interférences global sur toutes les porteuses plutôt que d'avoir un niveau de brouillage élevé sur certaines porteuses uniquement.

III.1.5.4. La transmission discontinue :

Dans les communications de parole, il est rare que les deux intervenants parlent en même temps. De plus, les caractéristiques de la parole font apparaître des silences très courts entre les mots. Le taux d'utilisation du canal de transmission usager est en moyenne de 40%. C'est-à-dire que chaque canal (dans un sens comme dans l'autre) est inutilisé pendant 60% du temps. La transmission discontinue de la parole consiste à interrompre l'émission pendant les silences de la parole pour diminuer l'énergie émise sur la voie radio. Ceci permet, d'une part de réduire la consommation des émetteurs et notamment du mobile, et d'autre part de diminuer le niveau moyen d'interférence généré. Lorsque le saut de fréquence est mis en œuvre, la planification se fait en prenant en compte ce niveau moyen. Il est donc possible de réutiliser plus efficacement les fréquences.

III.1.6. Schéma général d'une liaison radiomobile :

On considère une liaison radio qui permet à une station de base d'émettre un signal vers une station mobile. Cette liaison comprend plusieurs éléments (Fig.III.9) qui influent d'une manière ou d'une autre sur la qualité de la liaison.

- Un émetteur de la station qui va générer une onde électromagnétique modulée à la fréquence désirée.
- Un coupleur permet de superposer les ondes électromagnétiques produites par les différents émetteurs sur un même conducteur électrique.
- Un câble transmet les ondes produites et se comporte comme un guide d'ondes.
- Un coupleur qui sépare les voies montantes des voies descendantes.
- Une antenne qui assure la transmission entre le guide d'ondes et l'espace libre dans lequel les ondes vont se propager.*

- L'espace permet aux ondes de se propager. Différents obstacles, diffracteurs ou réflecteurs qui influent sur la propagation.
- Le signal est reçu par l'antenne du mobile, transmis par un câble vers l'émetteur-récepteur du mobile.

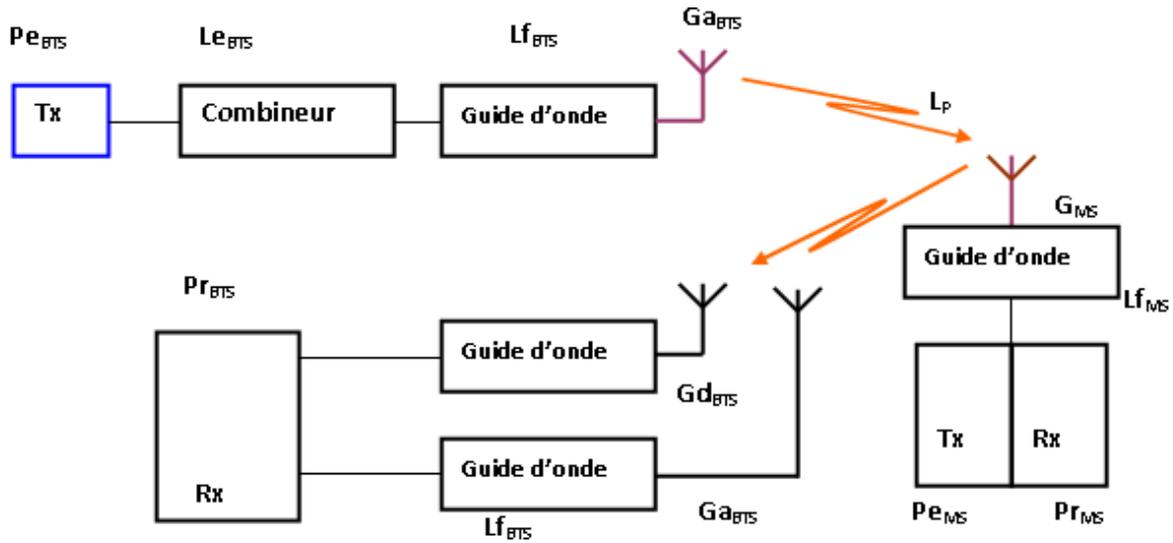


Figure III.9: Schéma général d'une liaison radiomobile.

Chaque élément de ce schéma de liaison introduit des pertes : sauf une fraction de la puissance émise arrive au récepteur. A partir du seuil intégrant les différentes marges, l'opérateur peut déterminer la couverture obtenue en fonction de la puissance des émetteurs. La couverture se calcule à partir des modèles de propagation et intègre le gain des antennes et les pertes dues aux câbles et aux couplages. La puissance des émetteurs peut ainsi être ajustée pour assurer une bonne couverture.

III.1.7. Equilibrage de la liaison :

L'utilisateur du réseau a une indication du champ reçu sur son portatif et qui lui permet d'avoir l'assurance que la liaison descendante est de bonne qualité. Sans équilibrage préalable, il n'est pas évident que la liaison montante est de qualité équivalente.

L'équilibrage de la liaison consiste à choisir des gains d'antenne pour que la puissance du signal reçu sur la voie montante soit voisine de celle reçue sur la voie descendante lorsque le terminal est en limite de portée. La qualité perçue par les deux intervenants d'une communication est alors voisine.

La formule d'équilibrage de la liaison s'établit selon la méthode que nous présentons ci-après. Le niveau de signal reçu au niveau du mobile et provenant de la BTS est donnée par la formule suivante :

$$Pr_{MS} = Pe_{BTS} - Lc_{BTS} - Lf_{BTS} + Ga_{BTS} - L_P + G_{MS} - Lf_{MS} \dots \dots \dots (III.2).$$

Et de la même façon pour la BTS :

$$Pr_{BTS} = Pe_{MS} - Lc_{MS} - Lf_{MS} + G_{MS} - L_P + Gd_{BTS} + Ga_{BTS} - Lf_{BTS} \dots \dots (III.3).$$

En exprimant L_P en fonction des autres paramètres dans les équations (III.2) et (III.3) nous obtenons :

$$L_P = Pe_{BTS} - Lc_{BTS} - Lf_{BTS} + Ga_{BTS} + G_{MS} - Lf_{MS} - Pr_{MS} \dots \dots \dots (III.4).$$

$$L_P = Pe_{MS} - Lc_{MS} - Lf_{MS} + G_{MS} + Gd_{BTS} + Ga_{BTS} - Pr_{BTS} - Lf_{BTS} \dots \dots (III.5).$$

La formule de bilan de liaison est donc donnée par l'équation (III.6) :

$$Pe_{BTS} = Pr_{MS} + Gd_{BTS} + Lc_{BTS} - Pe_{MS} - Pr \dots \dots \dots (III.6).$$

La puissance d'émission de la BTS (Pr_{BTS}) doit donc être supérieur à celle du mobile d'une valeur correspondant à la somme du gain de diversité (Gd_{BTS}), de la perte du combineur de la BTS (Lc_{BTS}) et de la différence de sensibilité ($Pr_{MS} - Pr_{BTS}$).

III.2. Ingénierie du trafic :

Sur un réseau FDMA, la capacité d'une cellule est égale au nombre de canaux fréquentiels qui lui ont été alloués. Idéalement, ce nombre devrait être identique à celui de tous les abonnés qui pourraient être actif à tout moment ; dans la pratique, avoir une capacité capable de gérer n'importe quelle charge à tout moment n'est pas faisable, heureusement, les usagers ne composent pas tous leurs appels en même temps, il est donc acceptable que le réseau ne soit dimensionné que pour gérer un certain niveau de charge. La discipline qui intervienne à cette fin est l'ingénierie de trafic.

III.2.1. Définition :

L'intensité du trafic peut être définie de trois façons différentes:

a). C'est le pourcentage du temps où un organe est occupé par rapport au reste du temps:

Exemple 1:

Un circuit a été utilisé par plusieurs appels pour un temps total de 25 minutes par heure. Durant cette heure l'intensité moyenne du trafic était de $25/60 = 0.4$ Erlang.

Exemple 2:

Durant une heure d'observation, quatre circuits ont été utilisés par des communications pendant respectivement 25, 15, 18 et 12 minutes. L'intensité du trafic sur la route est de $(25+15+18+12)/60 = 1.2$ Erlang pendant la période d'observation.

b). C'est le nombre d'organes occupés simultanément dans un groupe:

Exemple 1:

Sur une route ayant un certain nombre de circuits, si 5 sont occupés à un moment donné l'intensité du trafic sera égale à 5 Erlang.

Exemple 2:

On observe d'une façon aléatoire, le nombre de circuits occupés sur une route pendant une période d'une heure. Le nombre moyen de circuits occupés donne l'intensité du trafic.

c). C'est le produit du nombre d'appels par unité de temps par la durée moyenne d'un appel.

Exemple 1:

Dans un centre local le nombre total d'appels durant une heure est de 1800.

La durée moyenne d'un appel est de 3 minutes. On trouve donc une intensité du trafic de: $A = 1800 * (3/60)$
 $= 90$ Erlang.

III.2.2. Types de trafic :

Dans GSM 900, la bande de fréquence de chacune des voies est limitée à 25Mhz, répartie sur 124, soit au maximum 868 communication au même temps. Dans un secteur à quatre fréquences, le nombre maximum de communications simultanées qui peuvent être supportées est de 28, si le nombre de tentatives d'appels dépasse ce nombre, alors une partie sera rejetée.

On définit les types de trafic comme suit :

➤ **Le trafic offert (A_o):**

Il correspond au nombre total de tentatives faites par les abonnés.

➤ **Le trafic écoulé(A_c) :**

C'est le nombre total des appels qui ont aboutit.

➤ **Le trafic perdu(A_p) :**

Il correspond au nombre d'appels rejeté par le réseau, autrement c'est le nombre moyen de serveurs qu'ils auraient fallu prendre en compte tous les appels (pris et perdus).

III.2.3. Variation de trafic :

La densité de trafic susceptible de souscrire au service varie dans le temps et dans l'espace, elle est composée d'une population résiduelle, d'une population d'affaire, des visiteurs (pour le travail ou les loisirs), et d'une population absente (qui travail en dehors de la zone), cette densité dépend de :

- la localisation des abonnés : l'intensité du trafic engendrée dans les zones urbaines et suburbaines est nettement plus grande que celle des zones rurales.
- Le type d'abonnés : le trafic généré dans les zones industrielles, les quartiers d'affaires est plus important relativement aux quartiers résidentiels.
- L'heure de la journée : le trafic varie considérablement tout au long de la journée.
- Jours de la semaine : le trafic augmente le début de semaine et diminue les weekends.

- Période de l'année : l'intensité de trafic est plus impotente dans la saison estivale qu'en hiver par exemple.
- Pouvoir d'achat : une population riche génère un trafic plus important qu'une population pauvre.

III.2.3.1. L'heure chargée :

La conséquence des variations du trafic est que le dimensionnement des équipements et voies de communications doit être faite pour le trafic offert pendant la période la plus chargée, cette période est appelée l'heure chargée. L'heure chargée peut varier suivant les centraux, les jours de semaine, les semaines ou mois de l'année.

Pour déterminer l'heure chargée on mesure l'intensité du trafic et la période d'une heure ayant le plus grand volume sera délimitée comme heure chargée. Le CCITT définit l'heure chargée comme les 4 quarts d'heure consécutifs pendant lesquels le volume de trafic est le plus important.

III.2.3.2. Traitement des appels :

III.2.3.2.1. Les tentatives d'appels inefficaces :

Il est évidemment impossible de dimensionner un réseau suivant les pointes de trafic. Nous devons accepter qu'un certain nombre de tentatives d'appel soient infructueuses à cause des équipements qui sont insuffisants. Il existe deux manières de traiter les tentatives d'appel infructueuses :

- a) Rejets des appels qui ne peuvent pas être traités (Système à appels perdus).
- b) Mise en attente des appels (Système à attente).

➤ Système à appels perdus :

Dans un système à appels perdus, si un appel ne trouve pas d'organe disponible, il sera refusé : l'abonné sera renvoyé en occupation.

➤ Système à attente :

Dans un système à attente, l'appel n'est pas refusé immédiatement mais mis en attente, en attendant la disponibilité d'une voie ou d'un organe.

III.2.4. Qualité de service et comportement des abonnés :

Il n'y a pas que les encombrements qui font diminuer la qualité de service d'un réseau, il y a aussi les équipements en fautes, le dimensionnement du réseau doit en tenir

compte. Un des facteurs importants à prendre en considération est le comportement des abonnés aux évènements tels que :

- Mauvais numéro ;
- Pas de réponse ;
- Occupation ;
- Encombrement ;
- Coupure ;
- délai trop long ;
- etc.

L'abonné réagit naturellement à ces situations en renouvelant les appels, ce qui crée un trafic supplémentaire pour les équipements.

III.2.5. Calcul de la probabilité d'encombrement:

Si on connaît le trafic offert sur une route entre deux centraux, ainsi que le nombre de voies, on pourrait calculer mathématiquement la probabilité d'encombrement.

III.2.5.1. 1^{er} formule d'Erlang :

Elle système aux systèmes à appels perdus, elle calcul la probabilité qu'un appel soit rejeté. La probabilité de congestion est calculée en utilisant l'équation (III.7), dite première formule d'Erlang.

$$P_B = \frac{\frac{A^c}{c!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \dots + \frac{A^c}{c!}} \dots\dots\dots (III.7).$$

A : trafic offert.

C : nombre de canaux.

III.2.5.2. 2^{eme} formule d'Erlang :

Elle s'applique aux systèmes à attente, elle calcul la probabilité d'attente.

$$P_a = \frac{\frac{A^c}{c!} * \frac{c}{c - A}}{\sum_{i=0}^{c-1} \frac{A^i}{i!} + \frac{A^c}{c!} * \frac{c}{c - A}} \dots\dots\dots(III.8)$$

Cette équation donne la probabilité qu'un appel soit retardé avant d'être acheminé à travers un canal de trafic TCH vers le destinataire.

III.3 Conclusion :

L'ingénierie cellulaire consiste à organiser le découpage du réseau en cellule de façon à satisfaire les contraintes de couverture et de trafic. Le concept de réutilisation de fréquences est le seul moyen à la disposition des opérateurs leur permettant de couvrir des zones d'étendue illimitée et de densité de trafic théoriquement infinies, avec une bande de fréquence fixe et limitée.

L'opérateur définit le seuil C/I pour un environnement donné. A partir de seuil de couverture, de la puissance d'émission des terminaux et des marges de sécurité, l'opérateur détermine les valeurs minimales de champ électromagnétique à assurer pour équilibrer les sens montant et descendants de la liaison radio. Il en déduit la puissance des stations de base à utiliser.

Les mécanismes de saut de fréquence, de contrôle de puissance et de transmission discontinue ont pour conséquence de diminuer le niveau d'interférence global du système.

PROCESSUS DE LA
PLANIFICATION
CELLULAIRE 2G

*C
A
H
P
I
T
R
E
4*

IV.1. Définition :

La planification d'un réseau cellulaire consiste en la définition de sa capacité et du sa couverture et cela en fonction du la bande de la fréquence qui lui est allouée, du l'environnement à couvrir et des abonnés à desservir.

IV.2. Objectif de la planification :

La planification du réseau en cellule permet de dimensionnement les sites radio, et de déterminer le nombre de sites à installer, leur positions, leur taille et capacités et une allocation des fréquences de façon optimale.

La planification du réseau suivra des objectifs différents en fonction de la zone à planifier (contexte urbain ou milieu rural): en zone urbaine ou suburbaine ou la densité de trafic est assez importante, l'objectif est d'assurer une capacité de trafic importante alors qu'en zone rurale ou dans les zones à faible densité de trafic, on cherche une couverture la plus complète possible sans nécessite de capacité élevée.

IV.3. Processus de la planification :

Le processus peut être alors schématisé par la figure(IV.1) suivante qui donne un aperçu des étapes importantes à aborder lors de cette opération.

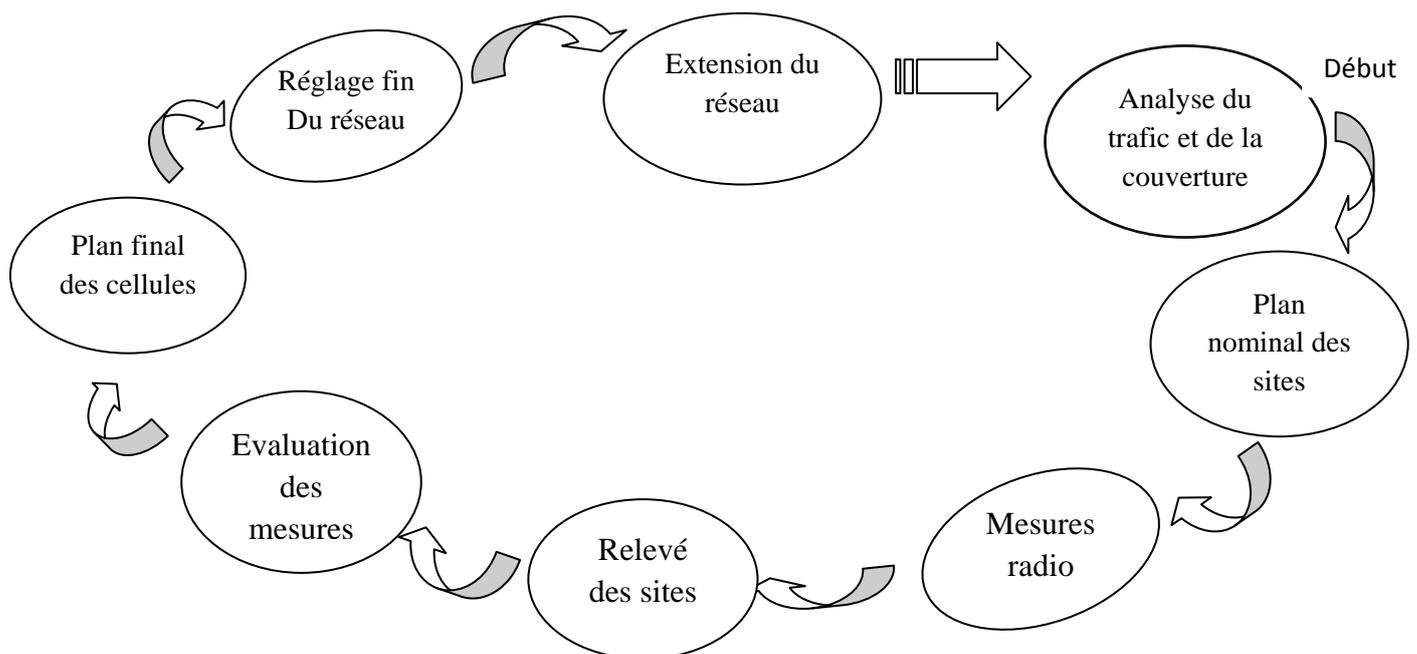


Figure IV.1 : processus de la planification cellulaire.

IV.3.1. Analyse du trafic et de la couverture :

Le processus de la planification des cellules commence lorsqu'une analyse du trafic et de la couverture montre qu'un réseau est nécessaire, après analyse l'opérateur aura des informations sur le type de la zone à couvrir et la capacité prévue.

En parallèle l'opérateur collecte un ensemble de données (input) :

- Les couts ;
- La capacité ;
- Les fréquences disponibles ;
- La possibilité d'extension du système.

Après analyse l'opérateur pourra calculer :

- Le trafic total ;
- Le trafic /secteur ;
- Le nombre de sites à planifier.

Exemple du calcul du trafic pour la wilaya de Tizi Ouzo:

Données de base :

- ❖ Nombre de TRX/Secteur : on suppose c'est (4-4-4) ;
- ❖ Le GOS (Grade Of Service): il est défini comme étant le pourcentage des appels qui peuvent être rejetés par le réseau ; Mobilis autorise un GOS= 2% ;
- ❖ Nombre d'habitants de la wilaya : 1.290.575(statistique de 1998) ;
- ❖ Nombre d'abonnés estimé : 10%.
- ❖ Nombre de fréquences disponibles :(40 fréquences pour GSM900 et 30pour GSM 1800 sont réservées pour Mobilis).
- ❖ Trafic /abonné=A : il se calcul comme suit :

$$A = N * T / 3600 \quad (\text{Erlang}) \dots \dots \dots (IV.1)$$

N : le nombre d'appels /heure.

T : la durée moyenne des conversations.

Pour N=1 et T= 90s :

$$A = 1 * 90 / 3600 = 25mE.$$

Calcul de nombre de sites trisectoriels correspondant aux données citées ci-dessus:

$$1 \text{ Secteur} \implies 4 \text{ TRX}$$

$$4\text{TRX} = 32\text{TS} - 1\text{TS (BCCH)} - 2\text{TS (SDCCH)} = 29 \text{ TCH.}$$

$$4\text{TRX} \implies 29 \text{ TCH}$$

$$29 \text{ TCH} \implies 21 \text{ E} \quad \text{D'après la table d'Erlang.}$$

$$21 \implies \text{Trafic total / secteur.}$$

$$\frac{21 \text{ E/ secteur}}{0.025\text{E/ abonné}} = 840 \text{ abonnés/ secteur} = B$$

$$B * 3 = 840 * 3 = 2520 \text{ abonnées/site.}$$

$$\frac{\text{Nombre d'abonnés estimé}}{\text{Nombre d'abonnés / site}} = \frac{129057}{2520} = 51 \text{ sites}$$

Nombre de sites nécessaire est de 51.

VI.3.2. Plan nominal des cellules :

Après calcul du nombre de sites nécessaire, l'étape suivante consiste en la définition d'un plan théorique qui ressemble à un modèle cellulaire sur la carte de la zone à desservir ; cette étape se fait sous l'aide d'un logiciel de planification (Figure IV.2).

A ce stade se fait, la distribution des fréquences, la prévision de la couverture et les calculs théoriques de qualité des signaux et les interférences.

Les prévisions de couverture se font après adaptation d'un modèle de propagation.

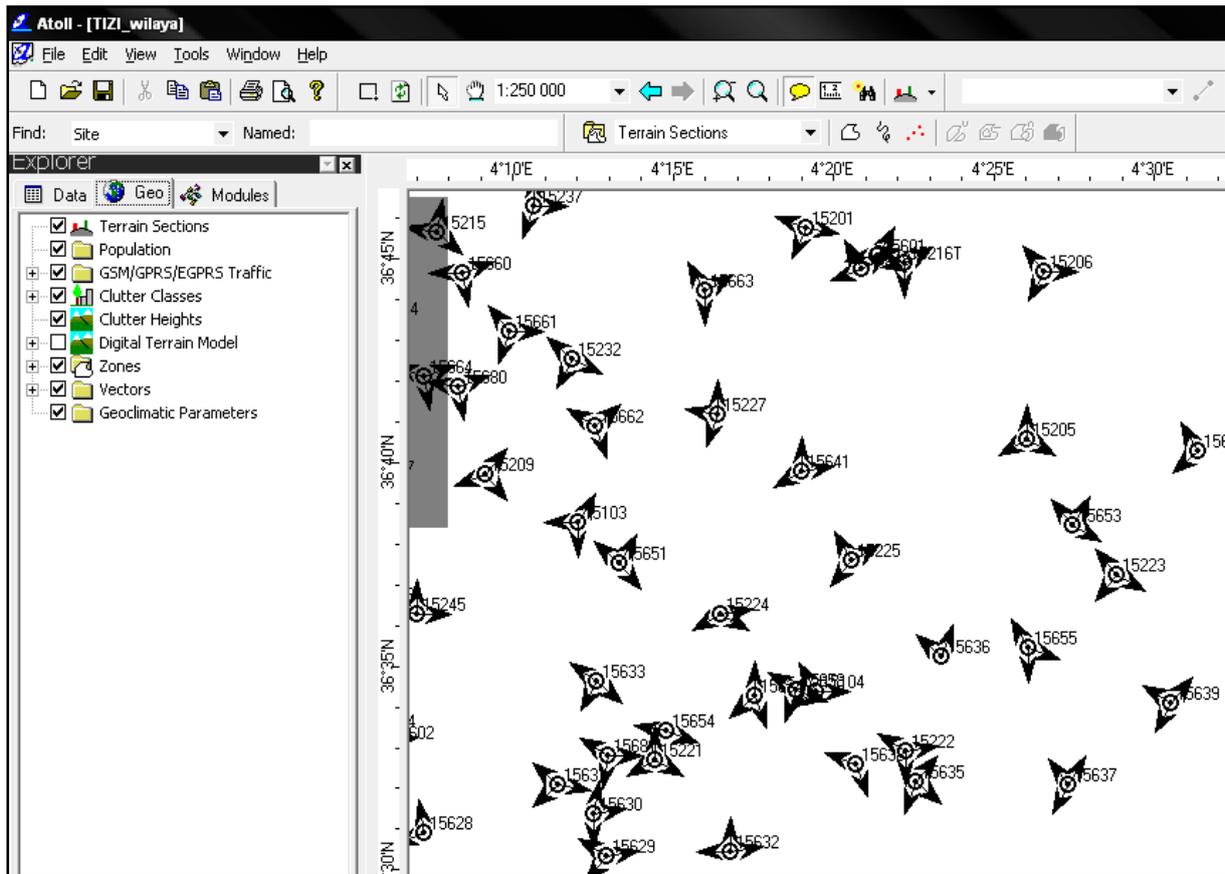
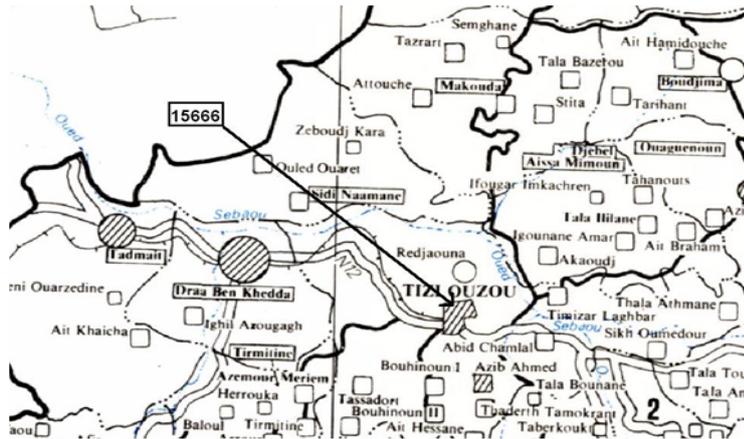


Figure IV.2 : Exemple d'un plan nominal des sites.

VI.3.3 Relevé des sites et mesure radio:

Après élaboration du plan nominal et prévision de la couverture ; il faut passer à faire les mesures réelles, l'ingénieur radio rend une visite sur les endroits des points et faire les mesures. Les informations collectées sont signalées sur un document appelé SA1 (Figure IV.3).

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|------------------|
|  | | SA-1 | |
| | | Formulaire de Recherche de Site | |
| Nom du site: | Gare Routiere | Code Site: | 15666 |
| Ville: | Tizi Ouzou | Wilaya: | TIZI OUZOU |
| Coordonnées et Configuration | | | |
| Longitude: | 4.03944 | Band de BTS: | 900 |
| Latitude: | 36.7136 | Configuration BTS: | S444 |
| | Secteur 1 | Secteur 2 | Secteur 3 |
| Azimuth (°): | 60 | 180 | 300 |
| E & M Inclinaison (°): | 0 | 0 | 0 |
| hauteur d'antenne (m): | 20 | 20 | 20 |



| | | | |
|-----------------------------------------------|----|----------|---|
| Rayon maximum de recherche : | 50 | échelle: | 0 |
| Informations additionnelles | | | |
| Urban - Couverture+Capacité+indoor de la zone | | | |

| | | | |
|-----------------------------|-----------------|------------|--|
| Responsable RF: (Ingénieur) | Ahmed EL ASSALI | Signature: | |
| Date: | 25 July 2006 | | |
| Responsable RF: (Manager) | Eile MALOUF | Signature: | |
| Date: | 25 July 2006 | | |

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------|
|  | | SA-1 | |
| | | Formulaire de Recherche de Site | |
| INFORMATIONS PRELIMINAIRES SUR LES CANDIDATS | | | |
| Nom du site: | Gare Routiere | Code Site: | 15666 |
| Ville: | Tizi Ouzou | Wilaya: | TIZI OUZOU |



CANDIDAT X

Long: 4.03944
 Lat: 36.7136
 Addr: Gare Routiere Tizi Ouzou

Figure IV.4 : Exemple d'un SA1.

Ce document nous renseigne sur :

- ❖ Nom du site : gare routière
- ❖ Code site : 15666, 15 correspond au code wilaya.
666 correspond au numéro du site.
- ❖ Coordonnées GPS du site.
- ❖ Azimutes de chaque site.
- ❖ Type et hauteur de chaque antenne.
- ❖ Bande de fréquence.
- ❖ Nombre de secteurs
- ❖ Type de la configuration (4-4-4).

IV.3.4. Evaluation des mesures :

En se basant sur SA1, les résultats des mesures précédentes seront comparées à celles proposés par l'outil informatique de planification.

L'ingénieur se rend sur le terrain dans le but est d'identifier le candidat qui correspond mieux aux objectifs de couverture, le choix sera fait selon des critères :

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

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

Le format du rapport SA2 comprend les informations suivantes :

- Informations générales sur le site et sur le candidat (nom, adresse, coordonnées)

- Code du site ainsi que ses coordonnées GPS théoriques (longitude, latitude et altitude).

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

IV.3.5. Plan final des cellules:

Une fois nous avons optimisé et pouvons avoir confiance en les prédictions produites par l'outil de planification, le plan cellulaire définitif est alors produit, le propriétaire est ok, un seul candidat est élu ; un autre document appelé SA3 sera délivré il contient tous les paramètres radios pour chaque secteur (Figure IV.5).

| Configuration Radio | | | |
|----------------------------|------------------|---------------------------|---------|
| Type de BTS: | 2206 | Configuration BTS: | 4+4+4 |
| Secteur 1 | Secteur 2 | Secteur 3 | |
| Azimut: | 50° | 140° | 240° |
| Nombre d'antennes: | 1 | 1 | 1 |
| HBA toit: | 11m | 7m | 7m |
| HBA sol: | 25.5m | 21.5m | 21.5m |
| Type d'antenne: | K739623 | K739623 | K739623 |
| TMA: | NON | NON | NON |
| Tilt électrique: | / | / | / |
| Tilt mécanique: | 2° | 2° | 2° |
| Longueur feeder: | 40X2m | 10x2 | 10x2 |
| Diamètre feeder: | 7/8" | 7/8" | 7/8" |
| Combiner: | G | G | G |

Figure IV.5 : Exemple d'un document SA3.

IV. 3.6. Réglage fin du réseau :

Un certain temps après l'installation et la mise en service du réseau, il faut de nouveau contrôler la manière dont il est adapté à son environnement réel. Ceci est appelé « *réglage fin du système* » il comporte ce qui suit :

- ❖ Contrôle de la réalisation correcte du plan final des cellules.
- ❖ Evaluation des réclamations éventuelles des usagers.
- ❖ Contrôle du niveau correct des performances du système.

IV.3.7. Extension du réseau :

Un système cellulaire doit avoir une croissance en surface et en capacité progressive en fonction de la demande en trafic, ce qui nous conduit à recommencer la procédure décrite ci-dessus. Les travaux de planification des cellules ne sont jamais finis.

En effet l'un des initiaux de l'opérateur consiste à couvrir la zone de service le plus rapidement possible. Pour cela, les antennes de grande taille omnidirectionnelle sont implantées. Durant cette phase, la taille de cellule dépendra généralement de la fréquence utilisée, des gains des antennes, des caractéristiques d'environnement et des équipements déployés. L'interférence co-canal est quasi inexistante puisque les cellules et par conséquent les clusters sont de grande taille. Après cette première phase, le réseau se présente sous les formes suivantes: soit les stations de bases sont situées au centre de la cellule, soit elles sont situées dans les coins des cellules (Figure IV.6).

Au fur et à mesure de l'augmentation de la demande en trafic, le réseau est densifié dans les zones qui le nécessitent. Plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre dont les plus utilisées seront présentées par la suite.



Figure IV.6 : Géométrie Cellulaire.

IV.3.7.1 Adjonction de niveaux canaux :

La méthode la plus immédiate et la plus rapide consistent à ajouter de nouveaux canaux aux cellules dans le cas où toute la bande de fréquences n'a pas encore été utilisée. Ce qui revient à ajouter des émetteurs/récepteurs au niveau des stations de base. En général à la mise en place initiale d'un réseau, tous les canaux alloués au

système ne sont pas utilisés. En effet, la croissance du nombre d'abonnés est généralement planifiée en prévoyant l'utilisation progressive de tous ces canaux. Quand tous ceux-ci ont été alloués, il faut avoir recours à d'autres méthodes.

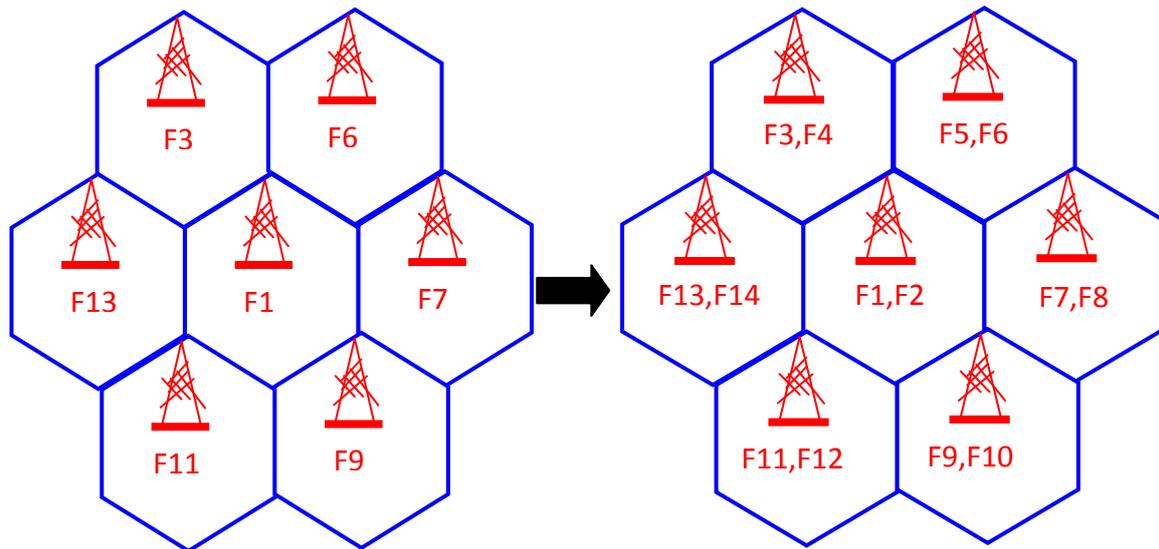


Figure IV.7 : Méthode d'adjonction de nouveaux canaux.

L'avantage du recours à cette méthode est qu'elle ne nécessite pas la modification du motif cellulaire. Ses inconvénients sont d'une part la consommation des fréquences et d'autre part, la nécessité d'ajouter des équipements supplémentaires.

IV.3.7.2 : Emprunt des canaux :

Après le processus de planification, les canaux sont alloués aux cellules en fonction de la distribution géographique du trafic prévu. Or cette distribution varie dans le temps et il arrive parfois qu'une demande excède la capacité du réseau dans certaines régions alors le trafic est largement inférieur à la capacité du réseau dans les zones voisines. Un rééquilibrage entre les zones peut avoir lieu par transfert temporaire ou permanent des fréquences d'une cellule peu chargée vers une cellule surchargée. L'intérêt de cette technique est qu'elle ne nécessite pas de grands changements au niveau matériel.

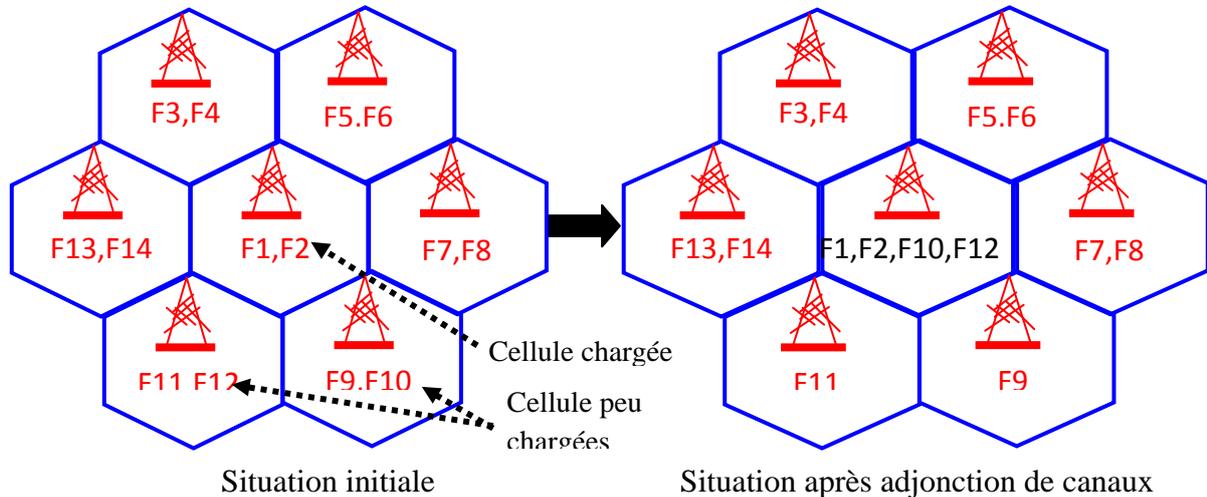


Figure IV.8 : méthode d'emprunt de canaux.

La technique d'emprunt de canaux peut être réalisée de façon automatique et fréquente dans le réseau. Des algorithmes d'allocation dynamique des canaux permettent aux stations de base d'utiliser un canal de fréquence si les conditions d'interférence le lui permettent.

IV.3.7.3: Division de cellules :

La solution classique mise en œuvre pour augmenter la capacité consiste à réduire la zone de service des cellules. La technique de division de cellules (*cell splitting*) consiste donc à réduire leur taille, ce qui a pour conséquence immédiate d'augmenter la capacité du réseau.

Chaque cellule sera donc divisée en un certain nombre de cellules de plus petite taille. La réduction d'un facteur k de la surface de couverture entraîne l'augmentation du nombre de stations de base d'un facteur k^2 .

Les principaux inconvénients de cette méthode sont:

- ❖ le coût engendré par la mise en place des sites cellulaires,
- ❖ la re planification nécessaire des fréquences,
- ❖ l'augmentation du niveau d'interférence,

- ❖ l'augmentation du nombre de handovers.

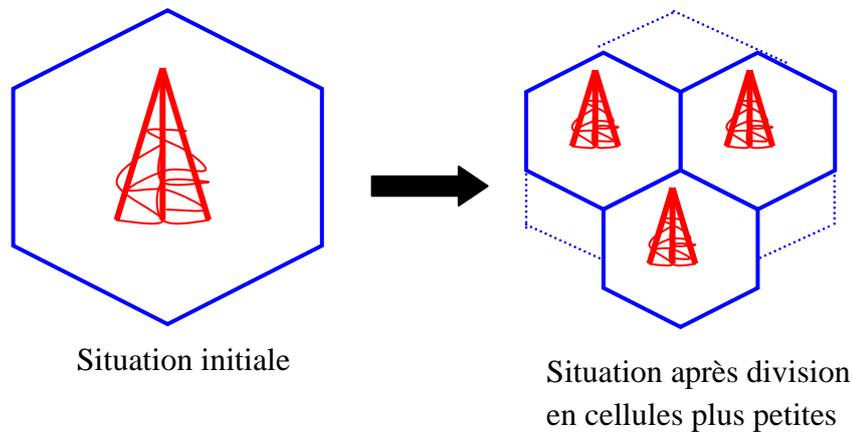


Figure IV.10: Méthode de division des cellules.

Théoriquement, la division de cellules peut être réalisée indéfiniment. En pratique, certaines contraintes limitent le recours à cette technique.

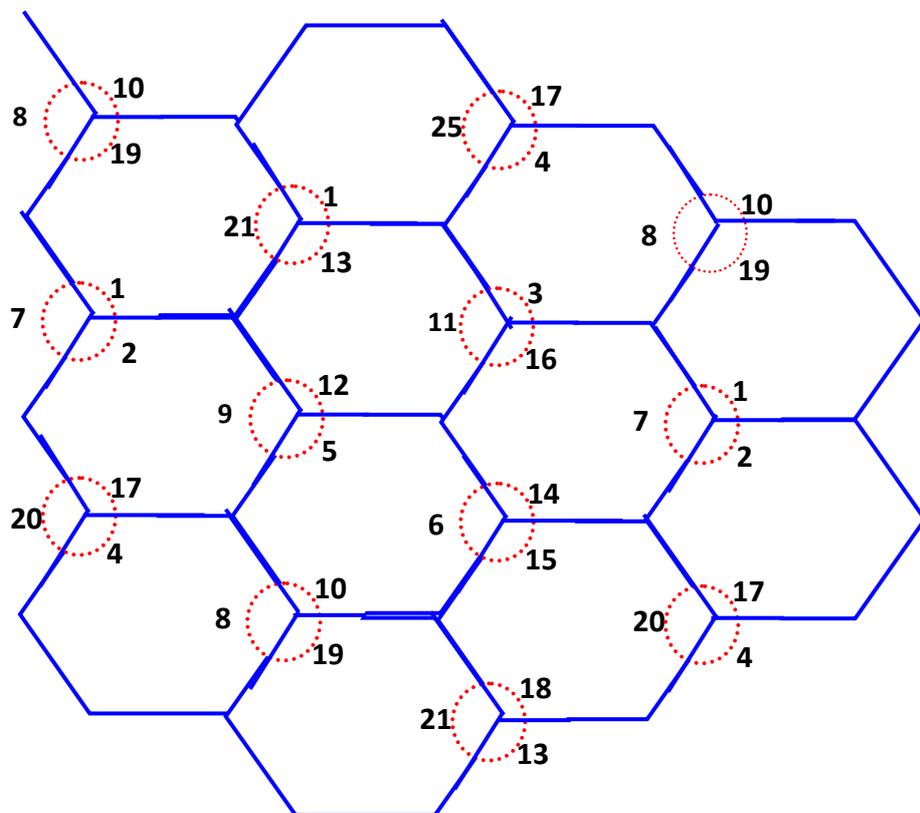
- ❖ Quand la distance entre cellules diminue, l'interférence co-canal augmente.
- ❖ trouver de nouveaux sites et y installer des équipements pour les nouvelles stations de base est un processus long et compliqué,
- ❖ le coût total du système augmente avec l'augmentation du nombre de BTS,
 - ❖ Le taux de Handover augmente avec la diminution de taille des cellules (ce qui entraîne des charges supplémentaires en signalisation et en traitements).

IV.3.7.4 Sectorisation :

Une alternative à la division des cellules est la sectorisation. Cette technique consiste à diviser une cellule en plusieurs secteurs utilisant un ensemble différent de canaux et une antenne directionnelle. Chaque secteur peut donc être considéré comme une nouvelle cellule. Les configurations les plus courantes comportent des cellules à trois ou six secteurs.

Les configurations typiques sont des sites trisectoriels pour les zones urbaines. Les sites omnidirectionnels pour les zones rurales et les sites bisectoriels pour les couvertures de routes. Dans la phase de densification, les antennes omnidirectionnelles vont donc être remplacées par des antennes directionnelles, sectorielles, ce qui permet de multiplier le nombre de cellules sans avoir à ajouter de sites radio. L'autre avantage de la sectorisation est qu'elle permet d'augmenter le rapport C/I ce qui améliore la qualité de service.

La méthode la plus courante consiste à adopter une organisation trisectorielle à chaque site. Dans les sites cellulaires trisectoriels, chaque canal géré par un site sera émis et reçu dans l'un des trois secteurs de 120° des antennes. Comparé au cas omnidirectionnel, une antenne directionnelle peut délivrer le même niveau de signal dans la zone desservie tout en induisant moins d'interférence avec les cellules co-canal. Ainsi, un système à antennes directives pourra opérer avec un rapport de réutilisation co-canal plus faible.



IV.12: Exemple d'implantation de cellules trisectorielles.

IV.3.7.5 Down-tilting :

Le principe de down-tilting consiste à orienter l'antenne de la station de base de façon à la faire émettre dans une direction telle que ses émissions brouillent le moins possible les autres cellules tout en gardant une qualité de service acceptable. Cette

technique présente deux intérêts particuliers: le premier intérêt est de diminuer au maximum les interférences, ce qui permettra d'obtenir des facteurs de réutilisation plus élevés. Le deuxième intérêt est d'éviter les trous de couverture dans les zones situées bien en dessous du site d'émission, en dirigeant l'antenne vers ces zones.

Les antennes utilisées sont généralement des antennes à gain élevé et leur lobes sont orientés vers la zone à couvrir. L'angle θ est de l'ordre de 10 à 20° typiquement. Une inclinaison de 10° diminue la puissance de 4dB dans le plan horizontal et le niveau d'interférence de 0,25dB dans la cellule d'interférence, contrairement à l'inclinaison de 20° qui diminue le niveau d'interférence de 1dB dans la cellule interférée.

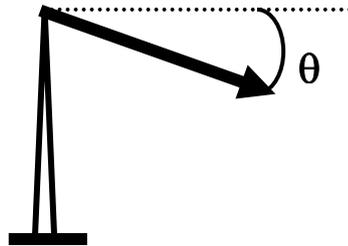


Figure IV.13: Technique de down-tilting.

IV.3.7.6. Superposition de cellules :

L'augmentation du nombre d'abonnés combinée à la grande diversité des services et des environnements couverts (notamment en environnement urbain) fait qu'il devient difficile de fournir un accès universel à partir d'un seul type de réseau. Il s'agit par exemple de fournir des densités très élevées à des usagers faiblement mobiles dans un environnement *indoor*, des densités moyennes à des piétons et densités faibles à des usagers rapides (véhicules) en environnement extérieur. Un même réseau ne peut assurer de façon optimale l'accès à ces trois principaux groupes d'utilisateurs aux caractéristiques très différents. Pour réaliser une couverture adaptée à chaque population et à chaque environnement, le concept de cellule superposée a été introduit. Trois types de cellules sont définis (Figure IV.14).

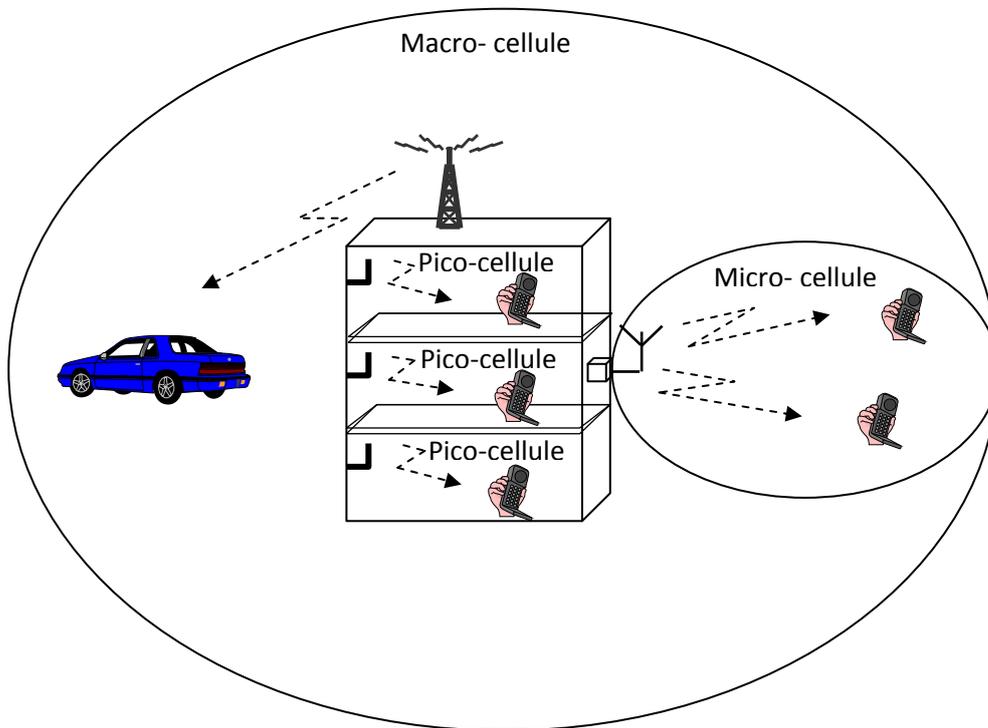


Figure IV.14.: superposition des différents types de cellules.

➤ **Les macrocellules :**

Elles sont utilisées pour desservir les abonnés rapides et leur rayon est compris entre un et une trentaine de kilomètre. Elles permettent d'une part de colmater des trous de couverture entre les micro-cellules et d'autre part de secours pour des problèmes radio et d'accueil du trafic de débordement pour; les problèmes de capacité des micro-cellules. Les antennes utilisées pour ces types de cellules ont une taille supérieure à 30 mètres et une puissance de travail comprise entre 1 et 10 Watts.

➤ **les microcellules :**

Elles sont couvertes par des stations de base à faible puissance situées dans des rues ou dans des espaces intérieurs à grand volume (aéroports, gares, centres commerciaux...). Elles desservent des abonnés piétons et des véhicules lents avec un rayon de couverture allant de 100 à quelques centaines de mètres. Les antennes de station de base sont généralement situées sous les toits et émettent souvent avec une puissance comprise entre 10 et 100 mWts. L'importance du nombre de masque et les difficultés de prévision de trafic surtout lorsque le rayon devient très petit constituent

des inconvénients majeurs pour l'utilisation des micro-cellules. Pourtant dans les zones à fort trafic les opérateurs font recours à ces types de cellules pour renforcer le trafic.

➤ **les pico-cellules :**

Elles sont utilisées pour couvrir l'intérieur des bâtiments (bureaux principalement). Leur couverture peut pour cela être tridimensionnelle puisqu'elles peuvent couvrir plusieurs étages d'un même bâtiment. Les terminaux utilisent des faibles puissances (généralement inférieur à 10 mWatts), avec un rayon de couverture variant de 10 à quelques dizaines de mètres. L'inconvénient principal a pour origine les variations très importantes du champ qui conduit à l'impossibilité de prédiction du trafic et de couverture.

IV.3.7.7. Configuration des stations de bases :

Pour satisfaire les contraintes de couvertures et du trafic estimé dans chaque zone, les cellules sont organisées, selon le besoin, en omnidirectionnel ou multi sectorielle.

IV.3.7.7.1 Structure en étoile :

Dans la structure en étoile, les stations de bases sont connectées au BSC de façons directes.

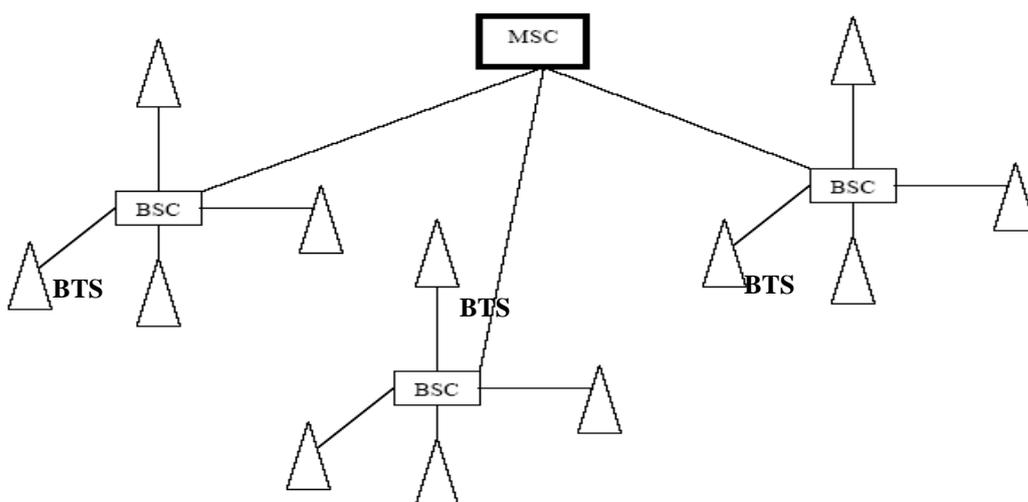


Figure IV.15 : Structure en étoile.

La topologie en étoile est la plus utilisée dans les réseaux actuels. Cependant de telles configurations sont moins fiables car la rupture d'un lien proche du BSC peut conduire à l'isolement de plusieurs stations de base. Pour remédier à ce problème une solution consiste à dupliquer ces liens.

IV.3.7.7.2 Structure en anneau :

Dans l'architecture en anneau, le réseau est conçu de façon circulaire et les stations sont connectées à des boucles. Les canaux de trafic peuvent emprunter deux chemins différents vers le BSC permettant le routage automatique des canaux en cas de rupture d'un lien.

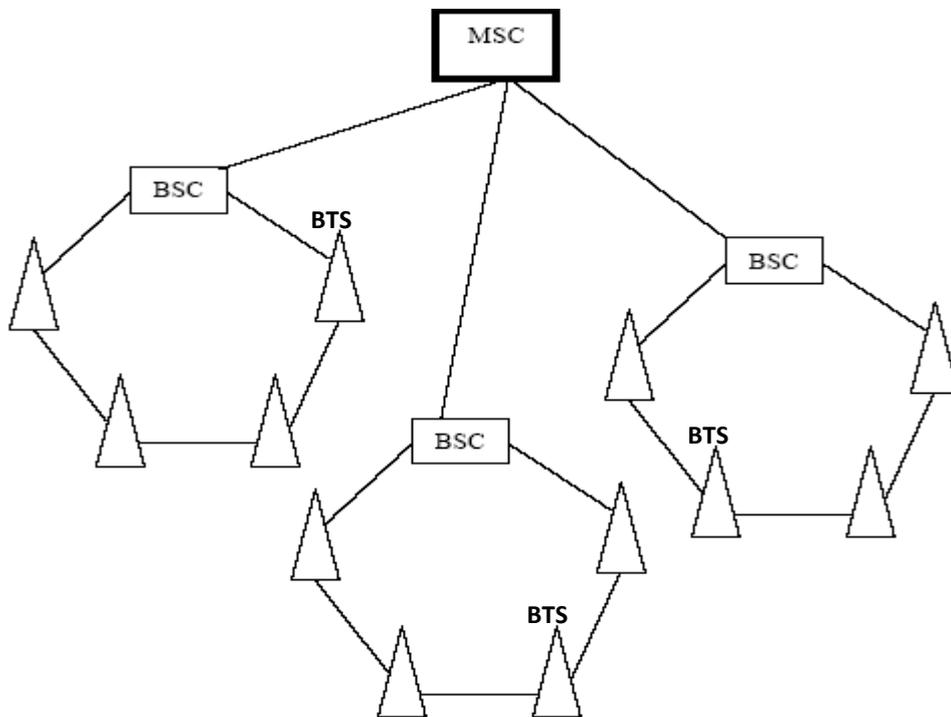


Figure IV.16: structure en anneau

La topologie en anneau est la plus complexe à mettre en oeuvre. Cette structure permet de fournir une protection de trafic satisfaisante sans nécessité de dupliquer les interconnexions des sites.

IV.3.7.7.3 Structure chaînée :

Cette structure permet la transmission de trafic venant de plusieurs BTS sur le même lien MIC. Elle est utilisée pour le rattachement des sites voisins de faible capacité.

L'avantage de cette méthode c'est l'exploitation des ressources de transmission. Par contre son inconvénient essentiel est l'isolation de l'ensemble des sites en cas de rupture sur le lien MIC qui les relie au BSC de rattachement.

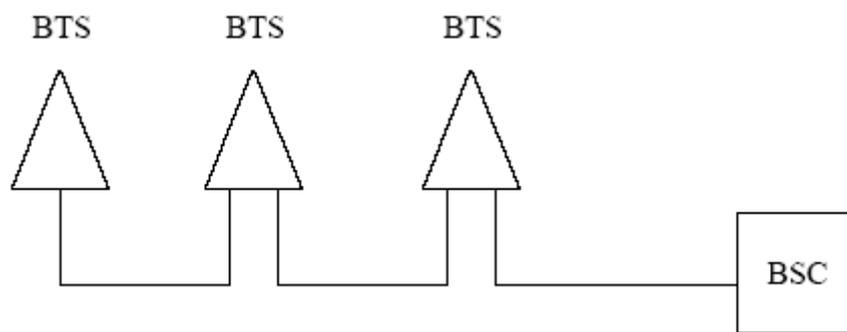


Figure IV.17. : Structure chaînée.

IV.4. Conclusion :

La planification d'un réseau cellulaire est une opération très délicate dont le résultat conditionne le succès de l'opérateur. En effet un réseau mal planifié se traduira par une qualité d'appel médiocre, un taux de perte d'appels important, un taux blocage élevé etc.

La planification d'un système cellulaire est souvent répétée plusieurs fois dans la vie du réseau, les opérateurs peuvent être amenés à installer, pendant cette phase, une centaine de nouveaux sites. La montée en charge, avec la croissance de nombre d'abonnés, nécessite la densification du réseau.

En effet, le processus de la planification doit aboutir à des résultats performants qui permettent à l'opérateur de dimensionner les différentes sections et d'éviter des saturations dans les futurs prochains.

APPLICATION

V.1 Définition du lieu de pratique :

Dans le cadre de notre stage, nous avons été accueillis par l'opérateur de téléphonie mobile **ATM / MOBILIS**. Afin de suivre les opérations de planification d'un nouveau site nous avons été guidé par un ingénieur de planification.

Les fréquences allouées à cet opérateur sont au nombre de quarante, comprises entre 85 et 124Mhz pour GSM 900 et trente (30) pour DCS 1800.

Certaines fréquences sont réservées pour le canal logique de diffusion « **BCCH** » comprises entre 85 et 115 et le reste des fréquences est destiné aux canaux de trafic « **TCH** », comprises entre 115 et 124. (Voir annexe 5).

V.2 Outils de planification :

Pour planifier un réseau cellulaire, l'opérateur MOBILIS dispose d'un logiciel de planification appelé ATOLL de la société Forsk.

V.3. Situation de la zone étudiée :

La ville et de Tizi-Ouzou est couverte par le réseau MOBILIS par 9 stations BTS réparties comme suite :

- 2 BTS dans le centre ville,
- 2 BTS dans la nouvelle ville,
- 1 BTS dans la zone sud-ouest,
- 1 BTS à Boukhalfa,
- 2 BTS à l'est de la ville et 1 BTS a Belloua.

La zone à étudier se trouve dans la ville de TZI-OUZOU, dans la région sud à la gare routière.

La figure V.1 présente la répartition des sites dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

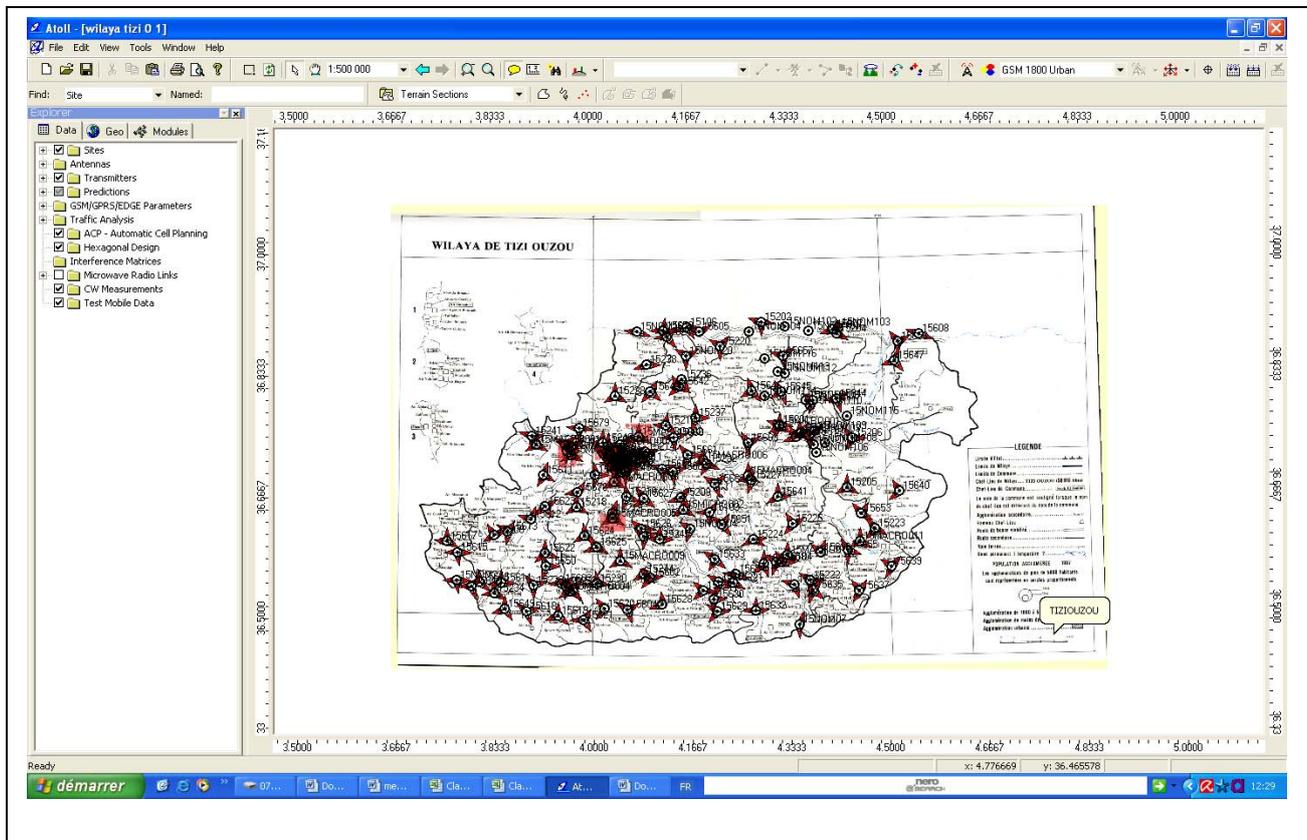


Figure V.1 : Représentation des sites sur la carte de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Notre application consiste en la planification d'un nouveau site GSM de Mobilis au niveau de la gare routière de TIZI-OUZOU. Avant la planification de ce nouveau site, la zone de la gare routière était couverte par un seul site : le 15666.

Dans le chapitre précédant, nous avons présenté le processus de planification d'un nouveau site et nous avons pris comme exemple le 15666. Après la mise en service de ce site, le drive test a montré qu'il avait un problème de congestion ; la solution à ce problème était rajouter un nouveau site.

V.5. Les différentes étapes de planification avec l'outil ATOLL

❖ Première étape :

Cette première étape consiste à choisir le domaine de travail. Puisque nous travaillons sur la planification 2G, nous allons choisir le domaine GSM, comme le montre la figure V.2.

GSM GPRS

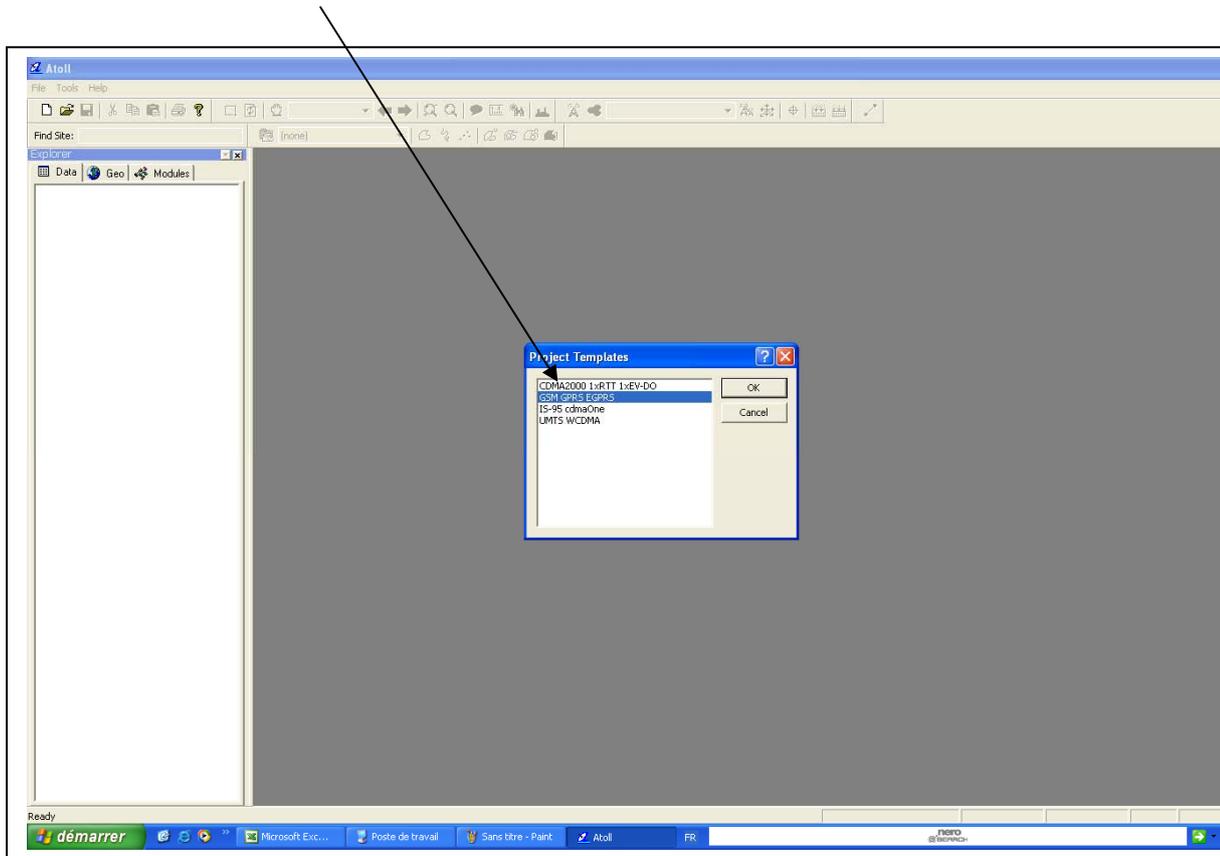


Figure V.2 : choix du domaine de travail.

❖ Deuxième étape :

Il faut zoomer sur le lieu concerné (la ville), puis importer les données géographiques de la carte de TIZI-OUZO. Ensuite, il faut cliquer sur le bouton "file" puis sur "import" (figure V.3).

Le bouton file

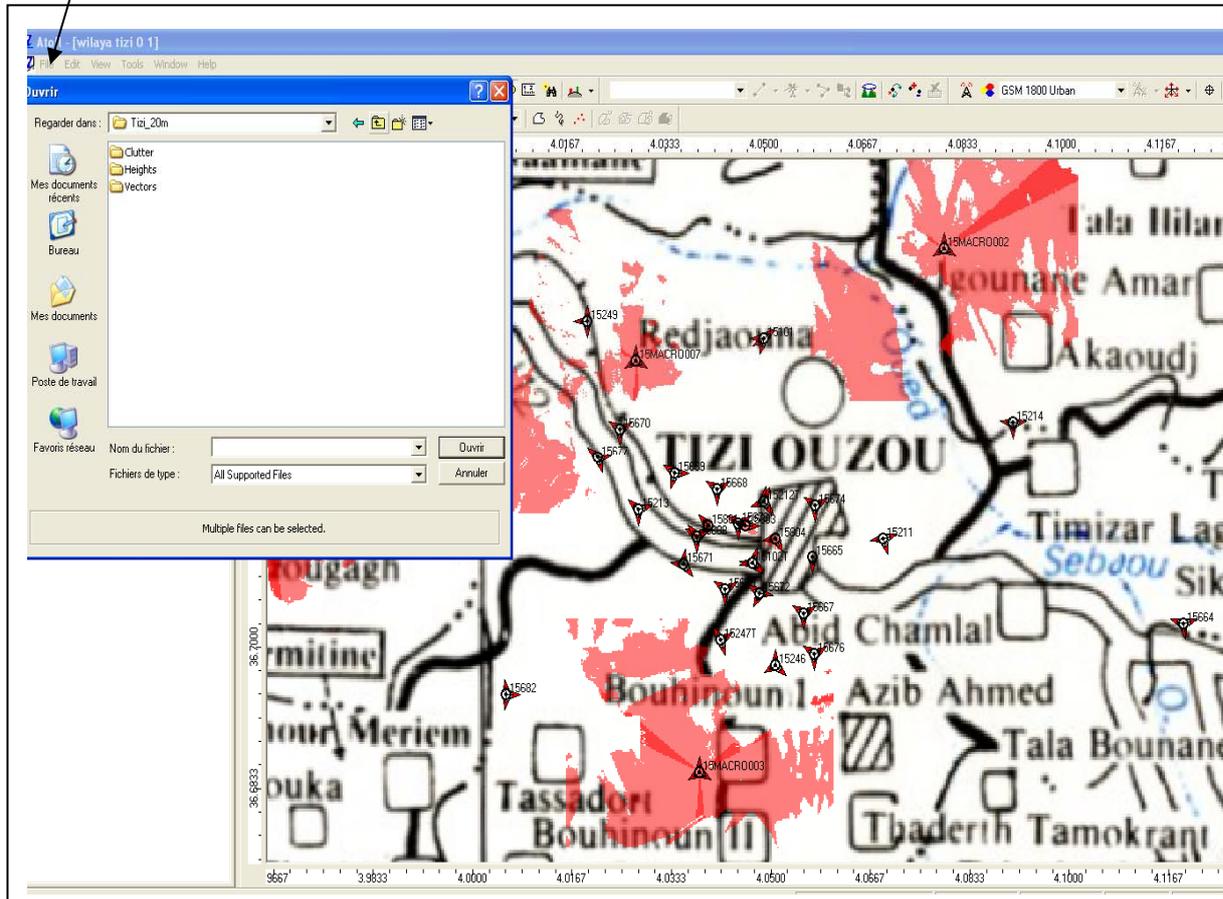


Figure V.3: Importation des données géographiques de la carte de Tizi –Ouzou.

La carte géographique est présentée sous forme de données :

- ❖ Les hauteurs.
- ❖ Les clutter.
- ❖ Les vecteurs.

On doit les importer un à un (voir figure V.4)

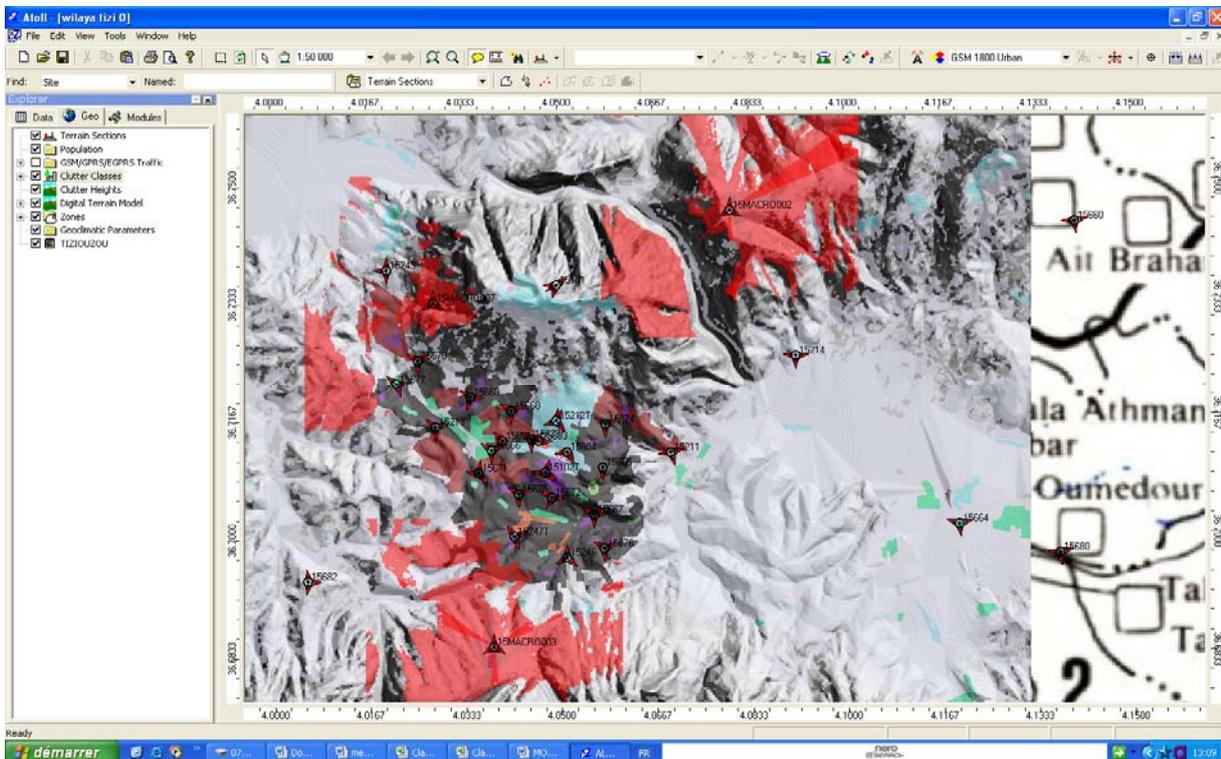


Figure V.4 : Présentation de la ville de Tizi Ouzou avec les données géographiques

Quand on importe les clutters le logiciel va faire la différence entre tous les points de la zone, et à chaque fois qu'on pointe la souris sur un point, il va nous donner la classe de la zone. En important les hauteurs il va nous indiquer la hauteur (z) de chaque point de la carte. Quand aux vecteurs l'outil va nous tracer les routes principales, secondaires, les boulevards, etc.

❖ Troisième étape :

Dans cette étape on va créer le point nominal du nouveau site 15802 (représenté en rouge sur la figure V.5). Pour ce faire, il faut cliquer sur le bouton "site" puis "new". Dans cette étape on va donner un nom au site, la hauteur du pylône et les coordonnées GPS du site.

Création du point nominal

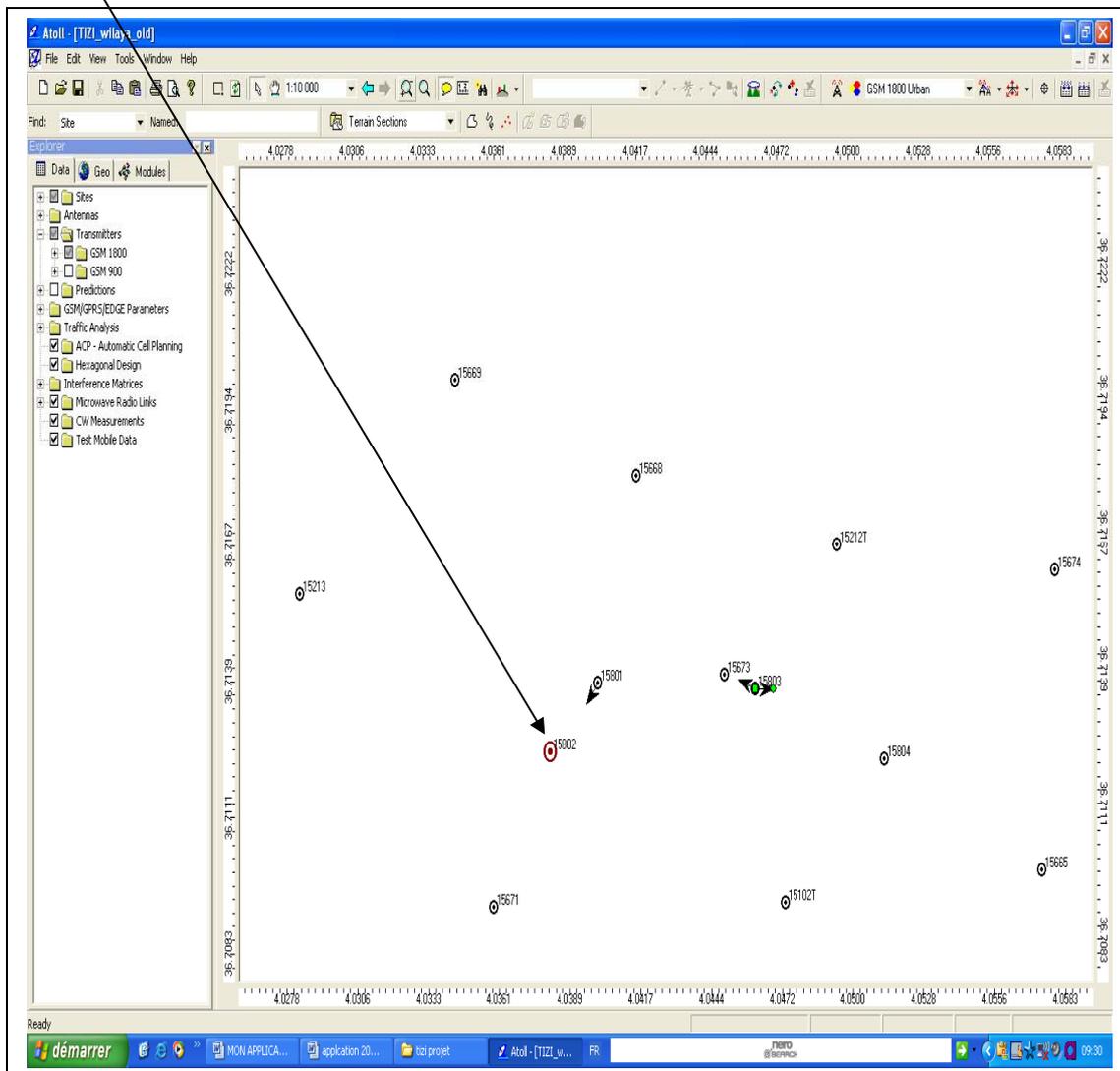


Figure V.5 : Création du point nominal de nouveau site.

❖ Quatrième étape :

Après création du point nominal on passe à la création des secteurs. Pour ce faire il faut cliquer sur "transmitters", "new" et faire entrer les données spécifiques de chaque secteur (le nom, le type d'antennes, les azimuts et les tilts.) à tour de rôle (Le site créé comporte deux secteurs 15802A et 15802B ils sont représentés en bleu sur la figure V.6.

Représentation des secteurs de site 15802

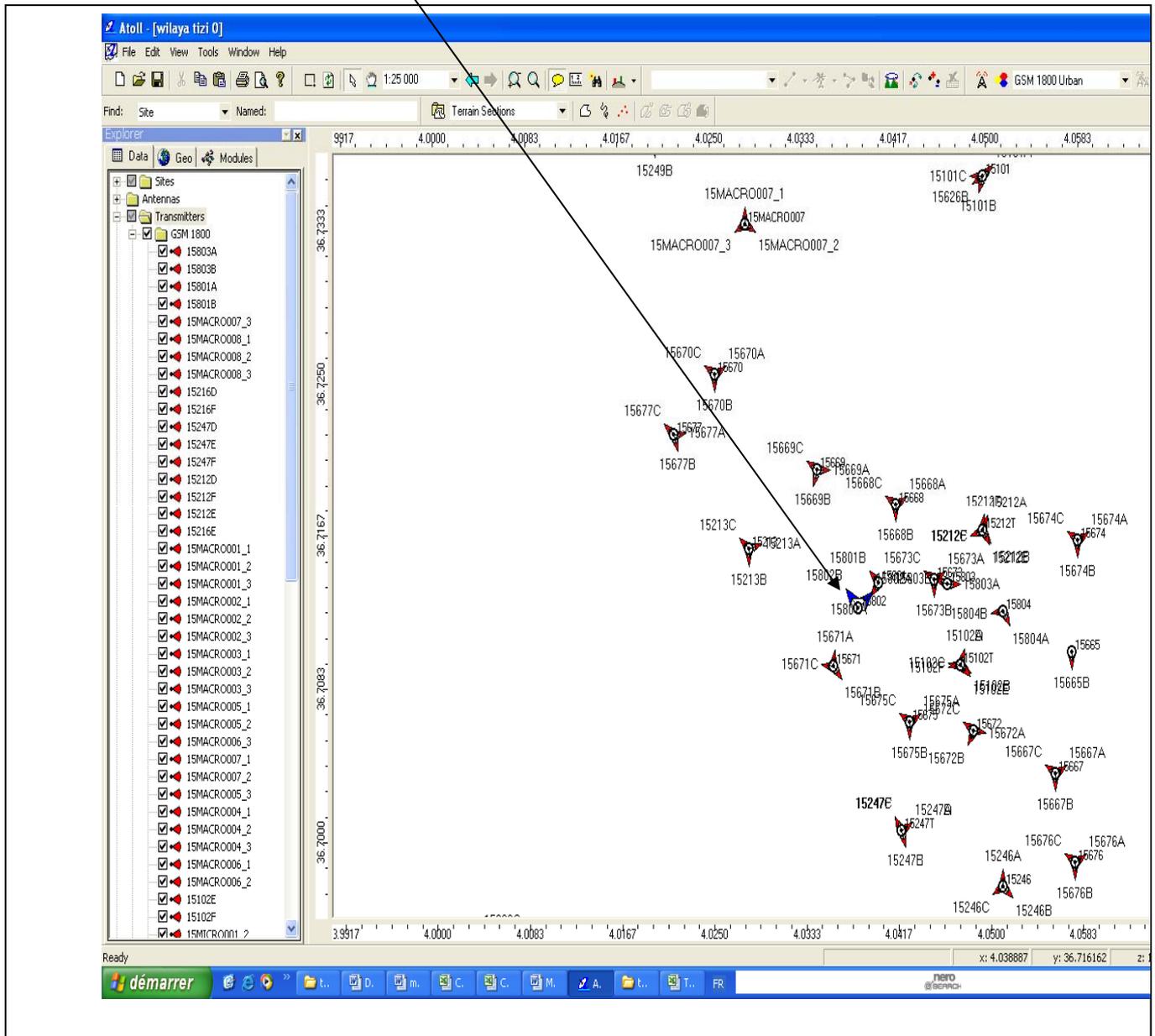


Figure V.6 : Représentation des secteurs de site 15802.

❖ Cinquième étape : Visualisation de la visibilité du site

A ce niveau, il faudrait visualiser la visibilité avec les autres sites, pour cela il faut cliquer avec le bouton droit de la souris sur le site en question, puis choisir "line of sight area", puis "calculate", on choisit la distance voulue, la hauteur de l'émetteur et celle du récepteur pour voir si le site va assurer la visibilité recherchée. Figure (V.7).

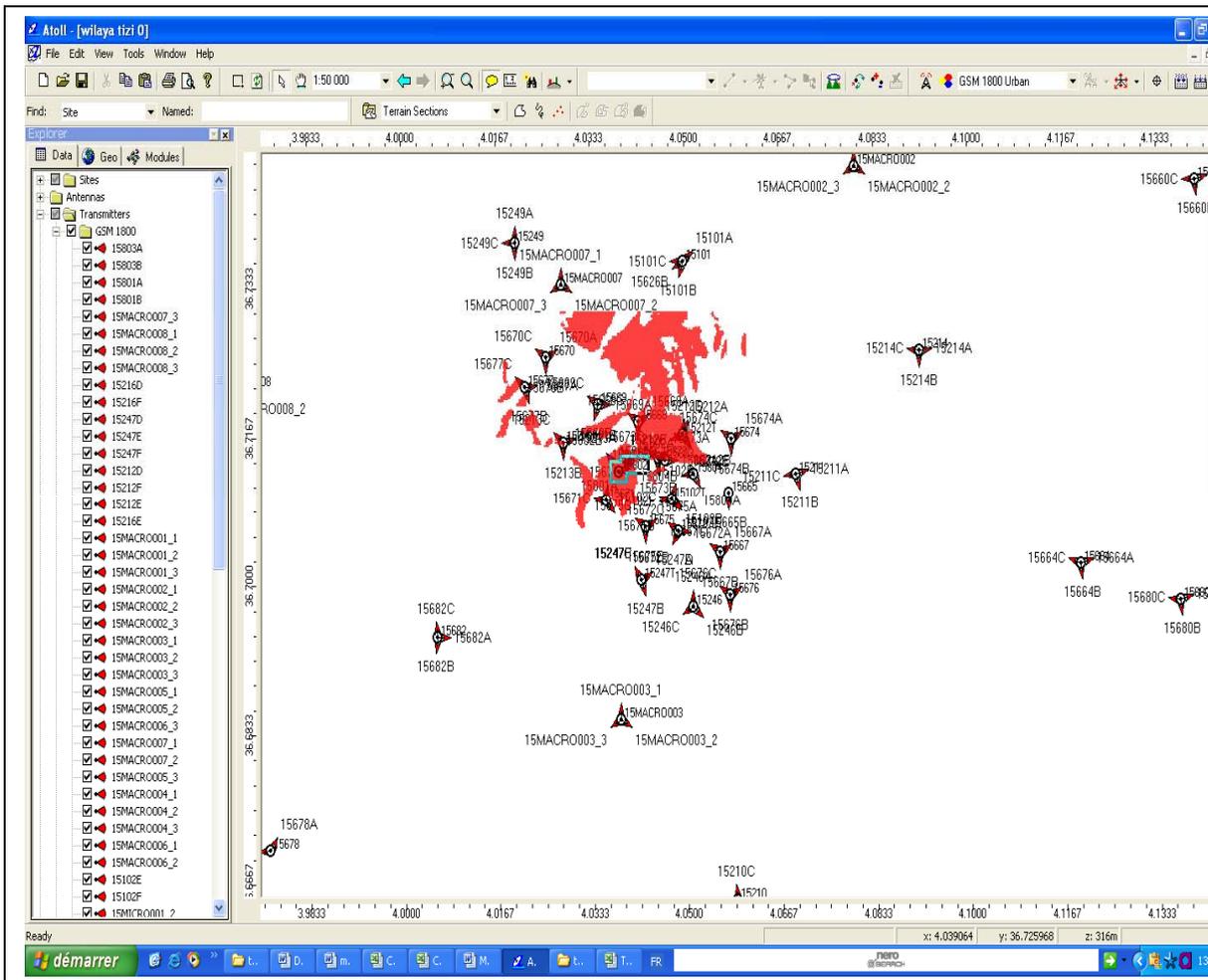


Figure V.7 : Visualisation de la visibilité du site.

❖ **Sixième étape : Visualisation de la couverture.**

Dans cette étape l’outil va nous visualiser la couverture que le site peut assurer. Pour ce faire on doit d’abord choisir un modèle de propagation bien calibré, celui-ci va nous calculer les pertes dues au chemin (figure V .8).

Légende : qualité de signal.

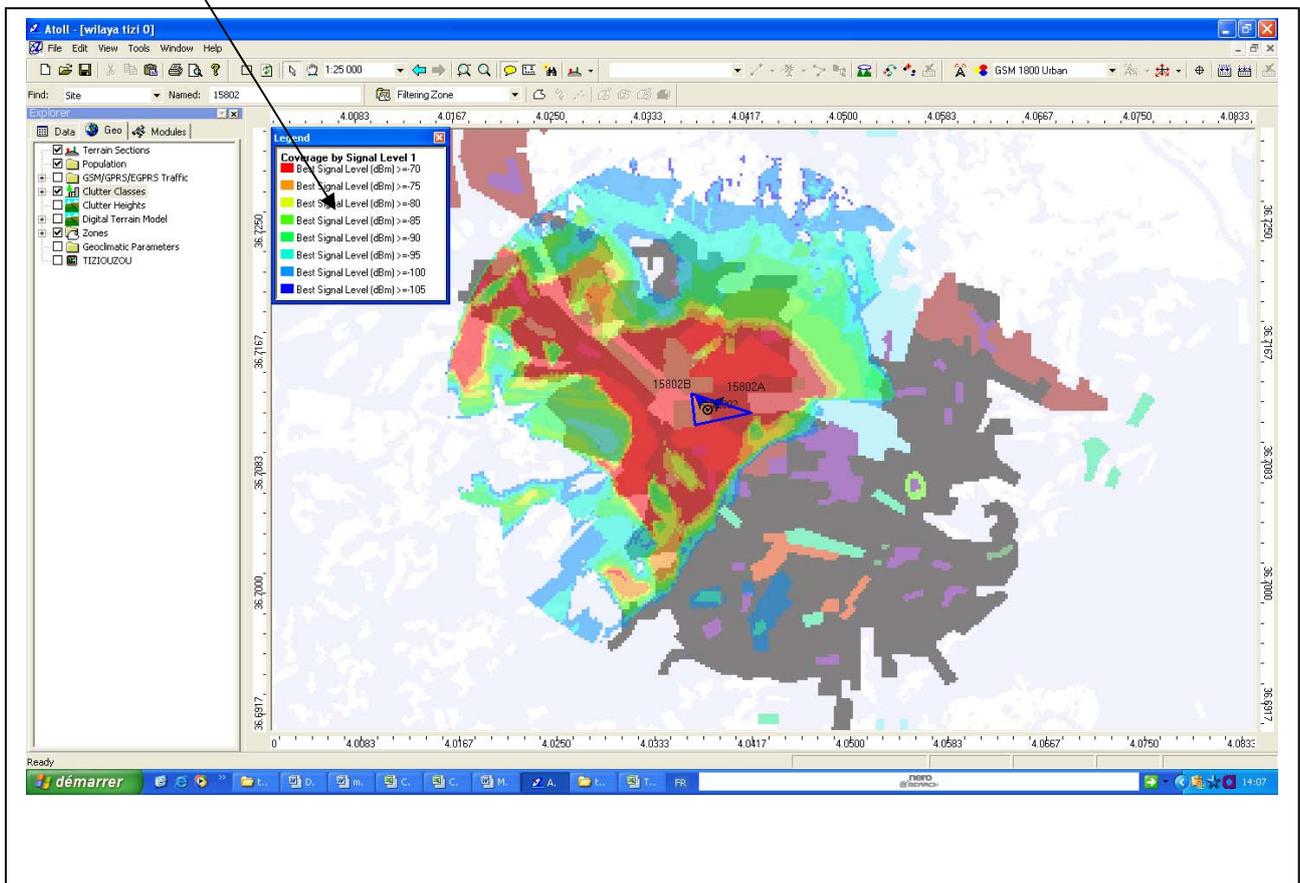


Figure V.8 : Calcul et visualisation de la qualité du signal.

Dans cette étape on peut aussi visualiser la couverture de tous les sites y compris le nouveau. Comme la montre la Figure ci-après.

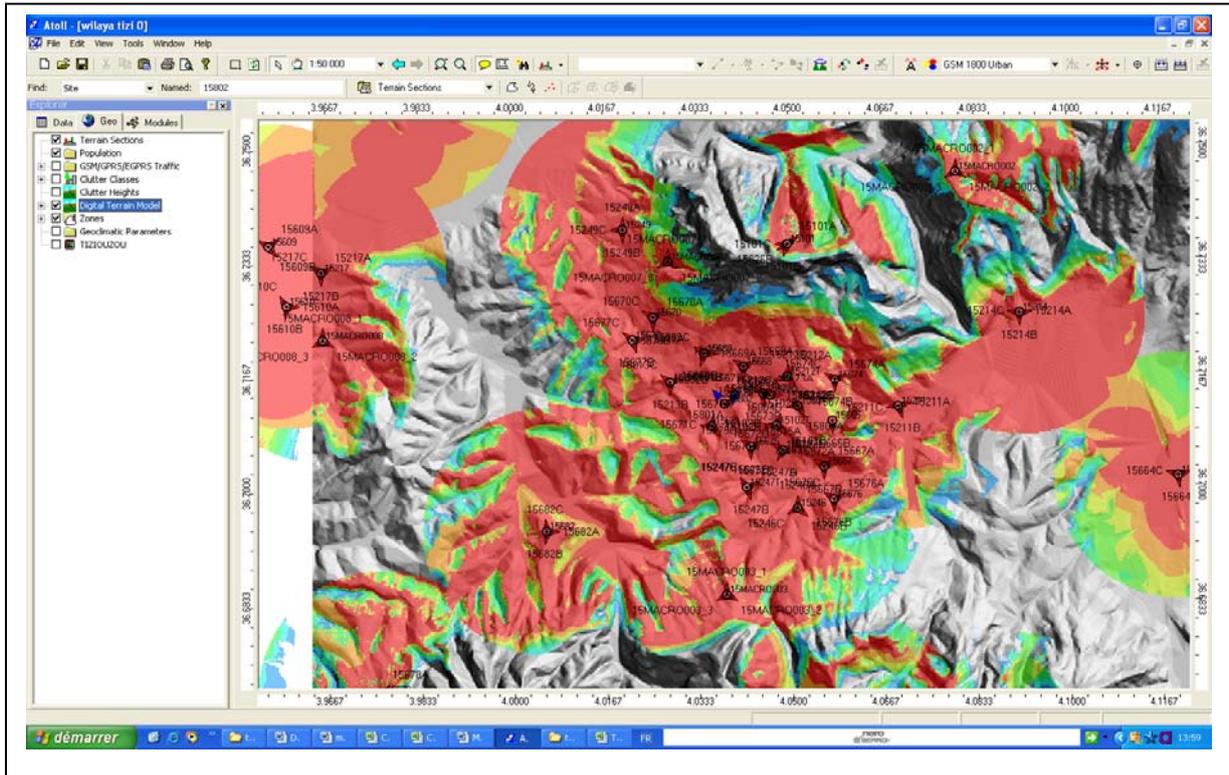


Figure V.9 : Présentation de la couverture de tous les sites.

❖ Septième étape :

Après visualisation de la couverture de la zone, on passe au calcul du trafic que peut nous assurer chaque secteur (figure V.10).

Légende : Résultats du trafic calculé par secteur.

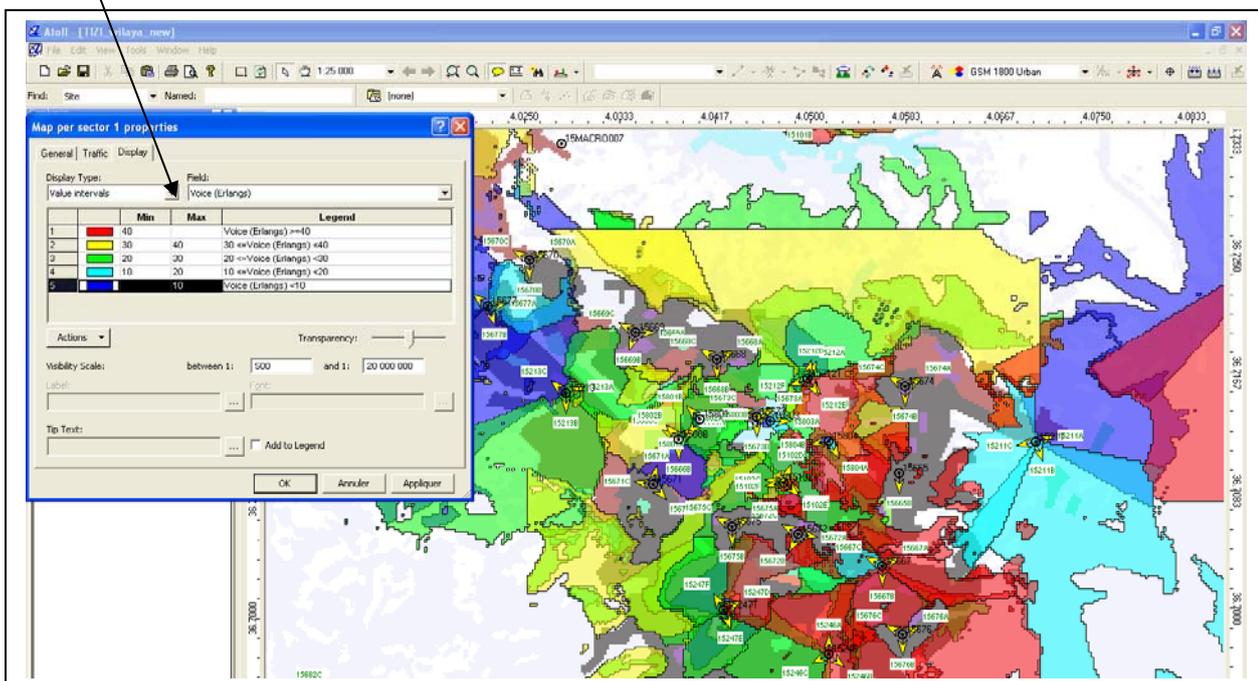


Figure V.10 : Calcul de trafic engendré par secteur.

❖ Huitième étape :

Vue les résultats de l'étude de trafic, nous pouvons distribuer les fréquences pour les secteurs 15802A et 15802B. Pour cela on filtre les secteurs par bande de fréquence, on supprime les secteurs ayant pour bande de fréquence 900 Mhz. On freeze les fréquences des anciens sites (1800 Mhz), on ne laisse que celles du nouveau site, l'outil va nous calculer d'une manière automatique les fréquences du nouveau site.

❖ Neuvième étape :

La dernière étape consiste à voir si les fréquences attribuées au site 15802 ne créent pas un problème d'interférences avec les fréquences des anciens sites. Pour ce faire on accède au menu "transmitters", "create", "new", "study coverage by C/I".

Légende : Qualité de C/I

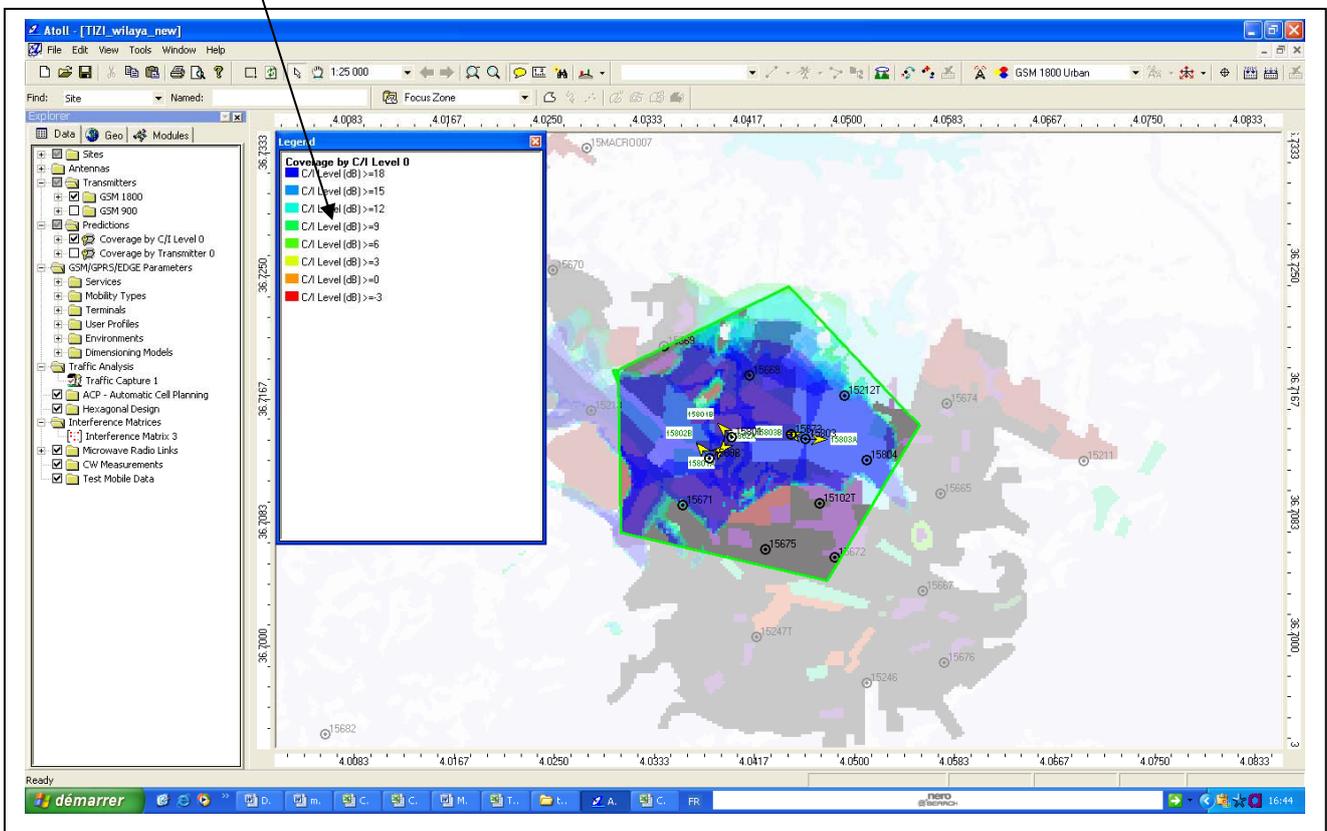


Figure V.11: Visualisation du rapport C/I.

D'après les résultats de la légende, vu la couleur observée on peut déduire qu'il n'y a pas d'interférences. Ainsi, on peut conclure que le site 15802 peut être mis-en-œuvre.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les réseaux cellulaires sont les systèmes radio-mobile terrestres les plus compliqués à planifier, le réseau GSM est considéré par les spécialistes comme une révolution dans le domaine des télécommunications, a su se faire apprécier du grand public en proposant une bonne qualité de service à un tarif accessible.

Après l'étude que nous avons abordée dans ce mémoire, on peut conclure les points suivants :

Le canal radio mobile est le milieu de transmission le plus incontrôlable, cette complexité est due aux phénomènes de propagation dans ce cas très difficile à cerner, ce qui oblige l'utilisation des modèles de propagation pour prédire le comportement du canal radio.

La planification cellulaire d'un réseau est mise en place en se basant sur les caractéristiques de l'environnement à couvrir, les caractéristiques des abonnés à desservir, en minimisant le nombre des sites radio à installer tout en satisfaisant la qualité de service.

La planification cellulaire est un processus sans fin (boucle fermée), elle est suivie d'un travail d'ingénierie tout aussi important, l'augmentation de la charge du trafic avec la croissance du nombre d'abonnés nécessite la densification du réseau, en utilisant plusieurs techniques qui ont été présentées précédemment.

En fin on peut dire que ce travail nous a permis d'apprendre la structure, les méthodes de planification et densification d'un réseau mobile GSM.

ANNEXES

Annexe 1 :

➤ La voie balise :

La voie balise est propre à chaque station de base sur une fréquence particulière appartenant aux fréquences allouées à la station.

Sur cette fréquence descendante (fréquence - balise) il y a émission, en permanence, d'un signal modulé de puissance constante qui permet aux mobiles de faire des mesures de puissance.

Cette voie est indispensable à l'itinérance et au handover ; le mobile mesure périodiquement le niveau du signal qu'il reçoit et détermine si il est à la portée de la station, chose qui lui permet de se raccorder en permanence à la station de base la plus favorable.

Chaque voie balise comprend des signaux de forme spécifique (détection et calage en fréquence et en temps) et des informations systèmes (identité du réseau et caractéristiques d'accès). A la mise sous tension, le mobile effectue un calage sur la voie balise de la BTS.

En mode veille, il surveille constamment le signal reçu sur cette voie et sur les voies des stations voisines.

Le mobile écoute périodiquement les voies balises des stations avoisinantes et mesure la puissance reçue il dispose ainsi d'une liste des stations susceptibles de l'accueillir en cas de Handover. La scrutation des voies balises se fait en permanence (veille ou communication) .Les canaux logiques en diffusion (*Broadcast Channel*) implantés sur cette fréquence balise sur le slot 0 sont : FCCH, SCH et BCCH (vus précédemment).

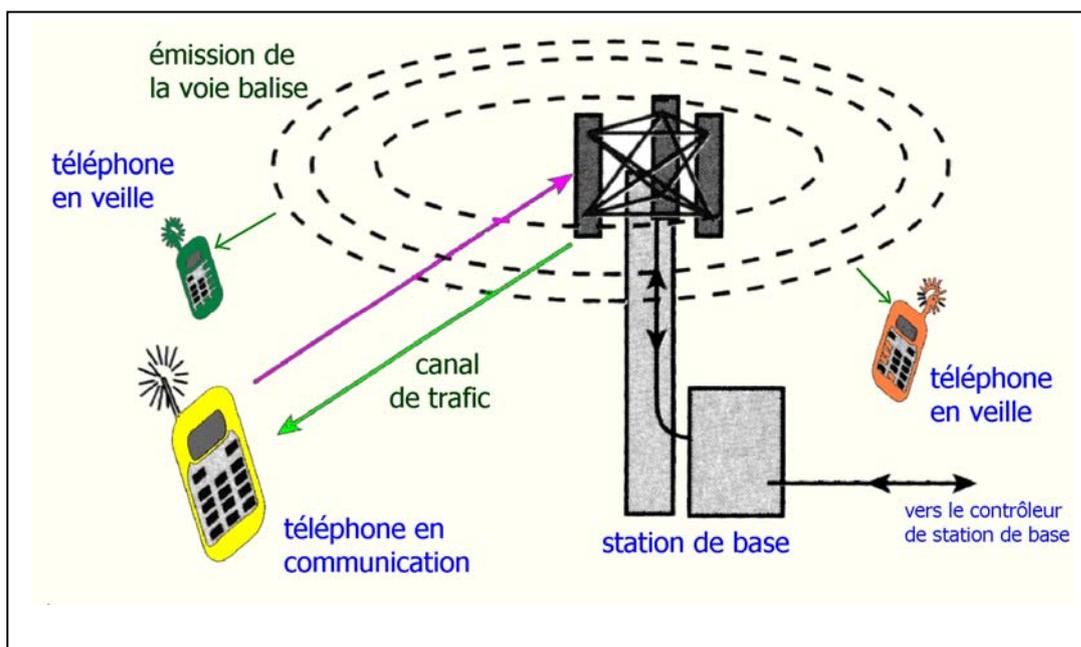


Figure 1 : Par la voie balise, la base diffuse ses informations vers tous les mobiles de la cellule.

➤ **Gestion de la mobilité de l'abonné coté radio :**

Contrairement aux réseaux fixes où un numéro d'abonné correspond à une adresse physique fixe (prise téléphonique), le numéro d'un terminal mobile est du point de vue réseau, une adresse logique constante à laquelle il faut faire correspondre une adresse physique qui, elle, varie au gré des déplacements du terminal mobile d'où la nécessité pour le système de connaître en permanence la localisation de chaque mobile afin de pouvoir le joindre et ceci est possible grâce à la procédure de mise à jour de localisation déployée dans le réseau GSM.

Toutefois le fait qu'un abonné se déplace peut engendrer le besoin de changer de canal (fréquence) et/ou de cellule, spécialement lorsque la qualité de la communication se détériore. La procédure qui permet de changer de canal est appelée transfert de communication intercellulaire (Hand Over).

➤ **Mise à jour de localisation ("location updating")**

Chaque station de base diffuse périodiquement sur une voie balise (le canal logique BCCH) le numéro de la zone de localisation (LA = "location area" qui est constituée par un ensemble de cellules définies par l'opérateur), à laquelle elle appartient. Le mobile de son côté écoute périodiquement la voie balise et stocke en permanence le numéro de sa zone de localisation courante. Si le mobile s'aperçoit que le numéro de la zone dans laquelle il se trouve est différent du numéro stocké, il signale sa nouvelle position au réseau.

C'est le mécanisme de « mise à jour de localisation » (location updating procedure), également appelée « inscription » ou « enregistrement ». Les bases de données de localisation vont ainsi être mise à jour au niveau du réseau (VLR et HLR).

Contrôle par la base du début d'émission :

Les différents utilisateurs d'un système cellulaire sont à des distances variables de leur station de base et endurent des délais de propagation variables.

Or l'onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière soit **$c = 300\ 000$ km/s**.

Cette vitesse est très élevée, mais pas infinie et les retards engendrés par la distance se font sentir sur le timing puisqu'une distance de **30 km** cause un retard de **100 μ s**.

Prenons l'exemple de deux mobiles MS1 et MS2 appartenant à la même cellule. Le premier MS1 est en limite de cellule alors que le second, MS2 est situé près de la station de base.

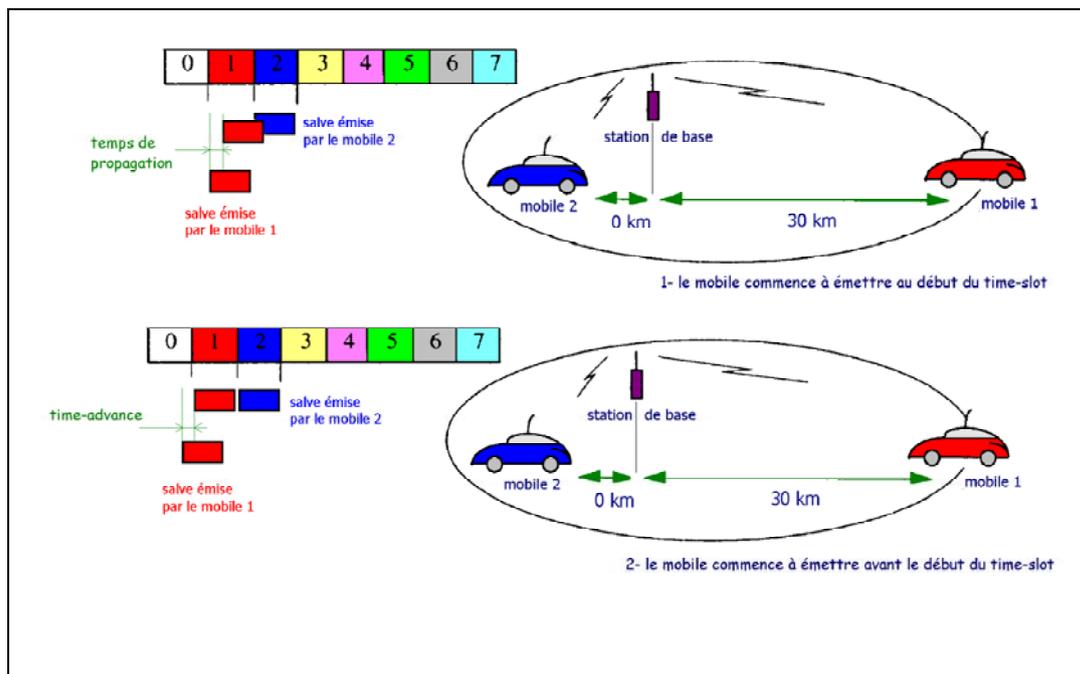


Figure 2 : Importance du paramètre de Time Advance

On suppose que ces deux mobiles utilisent des slots consécutifs sur la même porteuse : MS1 émet dans le slot 1, MS2 dans le slot 2 :

- en l'absence de compensation du temps de propagation, les bursts émis par chacun des mobiles se chevaucheraient au niveau du récepteur de la BS.
- pour pallier à cette difficulté, la station de base va compenser ce retard en gérant un paramètre TA (Time Advance) correspondant au temps de propagation aller-retour.
- le mobile éloigné doit avancer l'émission de chacun de ses bursts par rapport à l'instant nominal de début de slot
- la distance entre mobile et station de base étant susceptible de varier en permanence, ce paramètre TA est réajusté à chaque trame et pourra prendre une valeur comprise entre 0 et 63.

La détermination du paramètre TA permet à la base de connaître la distance à laquelle se trouve le mobile. Par triangulation avec une deuxième station de base, on pourra donc déterminer la position exacte d'un mobile.

❖ Les différents types de signaux échangés :

Annexes

Les signaux de voix et de contrôle échangés entre le mobile et la base sont classés en plusieurs catégories, mais transitent tous sur 2 voies radio montantes et descendantes :

- la voie balise : FCCH, SCH, BCCH, PCH, RACH.
- la voie trafic : TCH, SACCH, FACCH...

| | | | | fonction | méthode de multiplexage | |
|----------------|---------------------------------------------------------|-----|------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Voie balise | BCH Broadcast Channel voie balise (diffusion) | ↓ | FCCH | <i>Frequency Correction Channel</i> | Calage sur la porteuse | un burst particulier toutes les 50 ms sur le slot 0 de la voie balise. |
| | | | SCH | <i>Synchronization Channel</i> | Synchronisation, identification de la BTS | Un burst sur le slot 0 de la voie balise, une trame après le burst FCCH |
| | | | BCCH | <i>Broadcast Control Channel</i> | Informations système | 4 burst "normaux" à chaque multiframe |
| | CCCH Common Control Channel (accès partagé) | ↓ ↑ | PCH | <i>Paging Cannel</i> | Appel des mobiles | sous-blocs entrelacés sur 4 bursts "normaux". |
| | | | RACH | <i>Random Access Channel</i> | Accès aléatoire des mobiles | Burst court envoyé sur des slots particuliers en accès aléatoire |
| | | ↓ | AGCH | <i>Access Grant Channel</i> | Allocation de ressources | 8 blocs entrelacés sur 4 bursts "normaux" |
| | | | CBCH | <i>Cell Broadcast Channel</i> | Messages courts diffusés (météo, trafic routier, etc.) | utilise certains slots de la trame à 51.C (utilisation marginale) |
| Voie de trafic | Canaux de Contrôle dédiés | ↓ ↑ | SDCCH | <i>Stand-Alone Dedicated Control Channel</i> | Signalisation | 8 SDCH + 8 SACCH sur un canal physique |
| | | | SACCH | <i>Slow Associated Control Channel</i> | <ul style="list-style-type: none"> • compensation du délai de propagation • contrôle de la puissance d'émission du mobile • contrôle de la qualité de liaison • mesures sur les autres stations. | associé à TCH sur un canal physique ou à 8 SDCH sur un canal physique |
| | TCH Traffic Channel | ↓ ↑ | FACCH | <i>Fast Associated Control Channel</i> | Exécution du Handover | vol du TCH lors de l'exécution du handover. |
| | | | TCH/FS TCH/HS | <i>Traffic Channel for Coded Speech</i> | voix plein débit/ demi débit | occupe la majeure partie d'un canal physique |
| | | | | <i>Traffic Channel for data</i> | données utilisateur 9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s, < 2,4 kbit/s | |

Annexe 3 : quelques types d'antennes utilisées dans GSM :

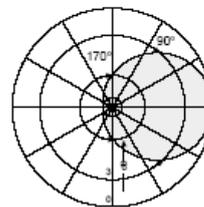
Quelques types d'antennes utilisées dans MOBILIS :

| | |
|------------------------------|-----------|
| F-Panel | 1710–1990 |
| Dual Polarization | X |
| Half-power Beam Width | 90° |

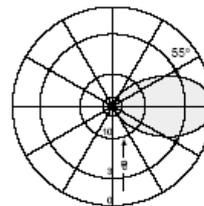
KATHREIN
Antennen · Electronic

XPol F-Panel 1710–1990 90° 8dBi

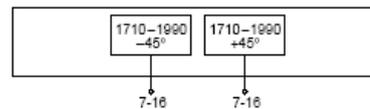
| | |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Type No. | 739 695 |
| Frequency range | 1710 – 1990 MHz |
| Polarization | +45°, -45° |
| Gain | 2 x 8 dBi |
| Half-power beam width Copolars +45°/-45° | Horizontal: 90° Vertical: 55° |
| Front-to-back ratio, copolar | > 20 dB |
| Isolation, between ports | > 30 dB |
| Impedance | 50 Ω |
| VSWR | < 1.4 |
| Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier) | < -150 dBc |
| Max. power per input | 200 W (at 50 °C ambient temperature) |
| Input | 2 x 7-16 female |
| Connector position | Bottom or top |
| Weight | 3 kg |
| Wind load (at 150 km/h) | Frontal / Lateral / Rearside: 20 N / 15 N / 30 N |
| Max. wind velocity | 200 km/h |
| Height/width/depth | 174 / 155 / 69 mm |



Horizontal Pattern

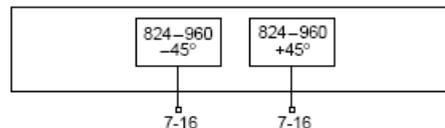
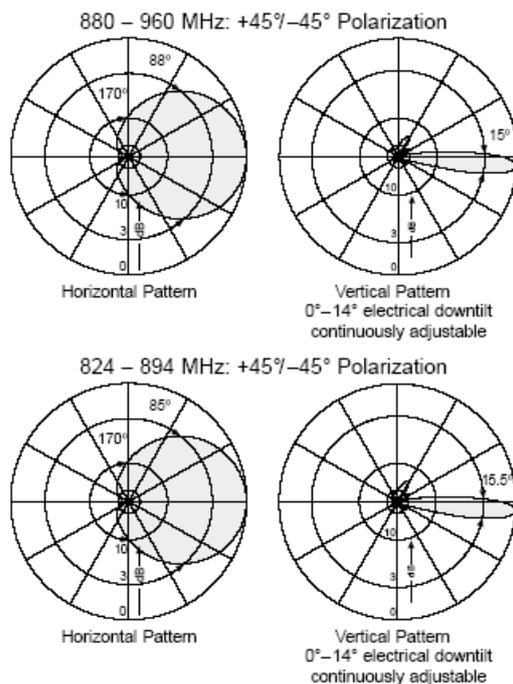


Vertical Pattern



XPol A-Panel 824–960 88° 13.5dBi 0°–14°T

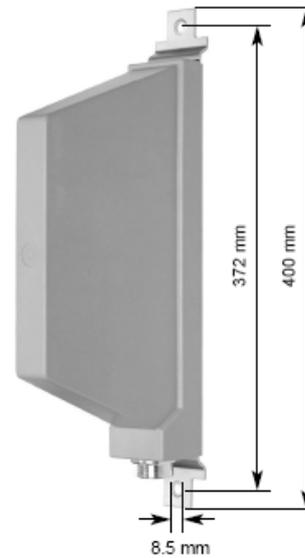
| | | |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Type No. | 739 664 | |
| Frequency range | 824–960 | |
| | 824 – 894 MHz | 880 – 960 MHz |
| Polarization | +45°, –45° | +45°, –45° |
| Gain | 13.5 dBi | 13.5 dBi |
| Half-power beam width Copolars +45°/–45° | Horizontal: 85° Vertical: 15.5° | Horizontal: 88° Vertical: 15° |
| Electrical tilt continuously adjustable | 0°–14° | 0°–14° |
| Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon | 0° ... 4° ... 8° ... 14° T 16 ... 16 ... 16 ... 16 dB | 0° ... 4° ... 8° ... 14° T 15 ... 16 ... 16 ... 16 dB |
| Front-to-back ratio, copolar | > 23 dB | > 23 dB |
| Cross polar ratio Maindirection Sector | 0° ±60° Typically: 25 dB > 10 dB | Typically: 25 dB > 10 dB |
| Isolation | > 30 dB | |
| Impedance | 50 Ω | |
| VSWR | < 1.5 | |
| Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier) | < –150 dBc | |
| Max. power per input | 400 W (at 50 °C ambient temperature) | |



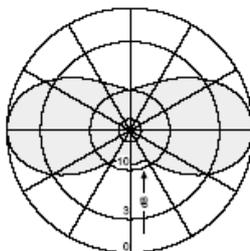
| Mechanical specifications | |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Input | 2 x 7-16 female |
| Connector position | Bottom |
| Adjustment mechanism | 1x, Position bottom continuously adjustable |
| Weight | 14 kg |
| Wind load | Frontal: 230 N (at 150 km/h) Lateral: 130 N (at 150 km/h) Rearside: 500 N (at 150 km/h) |
| Max. wind velocity | 200 km/h |
| Packing size | 1562 x 287 x 165 mm |
| Height/width/depth | 1296 / 262 / 116 mm |

VPol BiDir 824–960/1710–2170 65° 5dBi

| Type No. | 738 445 | 738 446 |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Input | 1 x 7-16 female | 1 x N female |
| Frequency range | 824 – 960 MHz, 1710 – 2170 MHz | |
| VSWR | < 1.5 | |
| Gain | 824 – 960 MHz: 5 dBi 1710 – 1880 MHz: 5.5 dBi 1880 – 2170 MHz: 6.5 dBi | |
| Impedance | 50 Ω | |
| Polarization | Vertical | |
| Max. power (total) | 200 W (at 50 °C ambient temperature) | |
| Weight | 0.8 kg | |
| Wind load | Frontal: 25 N (at 150 km/h) Lateral: 65 N (at 150 km/h) Rearside: 35 N (at 150 km/h) | |
| Max. wind velocity | 200 km/h | |
| Packing size | 422 x 212 x 95 mm | |
| Height/width/depth | 310 / 55 / 190 mm | |



- Material:** Radiator: Tin plated copper.
Reflector: Weather-proof aluminum.
Radome: High impact plastic, colour: Grey.
All screws and nuts: Stainless steel.
- Mounting:** Wall mounting: No additional mounting kit needed.
For pipe mast mounting use clamps listed on the datasheet (order separately).
- Ice protection:** The radiating system is protected by the radome. Due to its very sturdy construction, the antenna remains operational even under icy conditions.
- Grounding:** All metal parts of the antenna as well as the inner conductor are DC grounded.



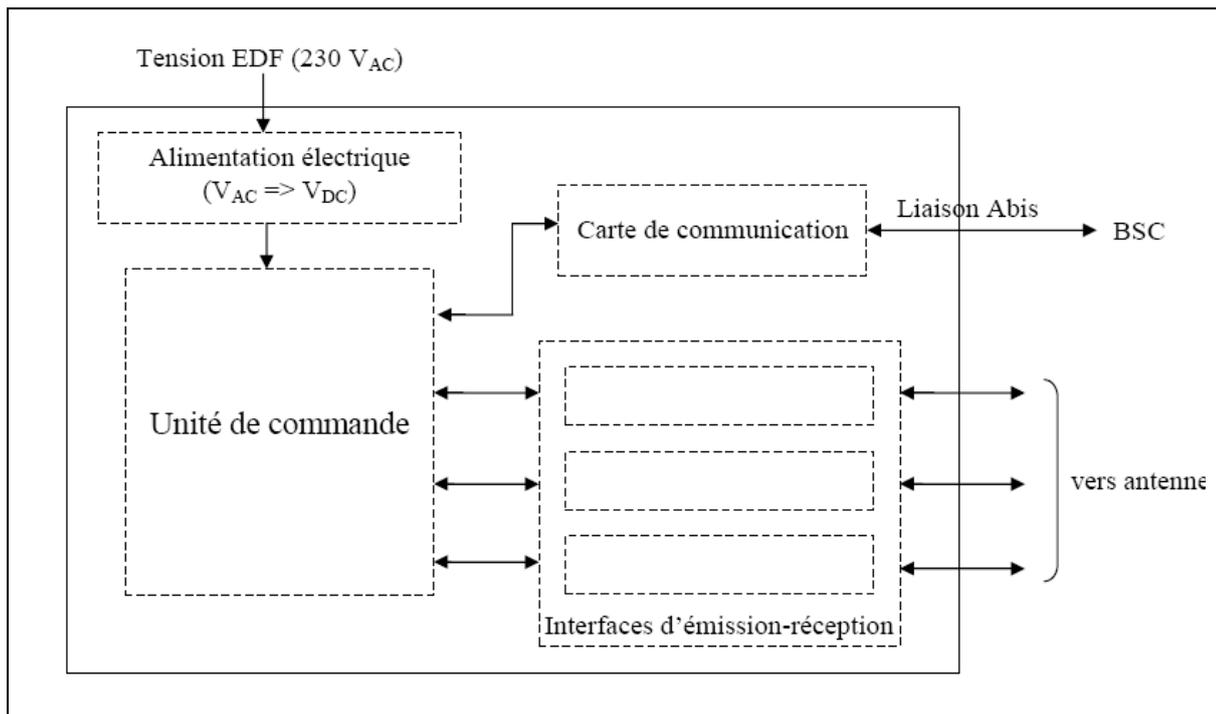
Typical Horizontal Pattern

Annexe 4: La station de base

Base Transceiver Station :

La BTS est le premier élément électronique actif du réseau GSM, vu par le mobile. C'est l'élément intermédiaire entre le BSC qui reçoit des informations, donne des ordres et le mobile qui les exécute.

Schéma synoptique d'une BTS :



Ce schéma synoptique est très simplifié, afin de présenter de manière très claire les éléments essentiels d'une BTS.

➤ Éléments d'une BTS :

Une BTS est composée d'une baie (grande armoire métallique) modulaire avec des emplacements disponibles pour enficher des cartes électroniques.

Baie :

La baie est une grande armoire métallique, parfaitement blindée électriquement, hermétique, climatisée l'été et chauffée en hiver pour conserver une température de fonctionnement constante.

Une baie est modulaire, elle contient des emplacements pour des cartes électroniques qui sont ajoutées suivant les besoins du site.

Alimentation :

L'alimentation de la baie se fait avec la tension du réseau EDF 230V alternatif. Ensuite, le transformateur convertit cette tension en une tension continue pour l'alimentation de tous les éléments de la BTS, qui peut consommer jusqu'à une trentaine d'ampères en fonctionnement à plein régime. Des batteries sont associées à cette alimentation, pour permettre un fonctionnement de plusieurs heures en cas de coupure de courant.

Unité de commande :

L'unité de commande est la partie essentielle de la BTS, elle gère tout son fonctionnement. Elle génère les fréquences de référence, crée les différentes porteuses, assure la modulation et démodulation des signaux, commande les amplificateurs de puissance, fournit les signaux aux TRX, et ceci sur tous les secteurs.

Carte de communication :

La carte de communication est l'intermédiaire entre l'unité de commande de la BTS et le BSC. Cette carte gère la liaison Abis entre la BTS et le BSC.

Interface d'émission-réception :

Chaque secteur a sa propre interface d'émission-réception, cette interface gère le signal radio, elle est composée de TRX (ou DRX et PA) et d'éléments de couplage, qui permettent d'associer ou de dissocier des signaux en provenance ou à destination des antennes.

Annexe 5 : Fréquences réservées pour MOBILIS.

| GSM 900 | | | | DCS1800 | | | |
|-----------|--------------|--------------|------------|-----------|---------------|---------------|------------|
| N° | Up 900 | Down 900 | ARFCN | N° | Up 1800 | Down 1800 | ARFCN |
| 1 | 907,2 | 952,2 | 85 | 1 | 1759,2 | 1854,2 | 756 |
| 2 | 907,4 | 952,4 | 86 | 2 | 1759,4 | 1854,4 | 757 |
| 3 | 907,6 | 952,6 | 87 | 3 | 1759,6 | 1854,6 | 758 |
| 4 | 907,8 | 952,8 | 88 | 4 | 1759,8 | 1854,8 | 759 |
| 5 | 908 | 953 | 89 | 5 | 1760 | 1855 | 760 |
| 6 | 908,2 | 953,2 | 90 | 6 | 1760,2 | 1855,2 | 761 |
| 7 | 908,4 | 953,4 | 91 | 7 | 1760,4 | 1855,4 | 762 |
| 8 | 908,6 | 953,6 | 92 | 8 | 1760,6 | 1855,6 | 763 |
| 9 | 908,8 | 953,8 | 93 | 9 | 1760,8 | 1855,8 | 764 |
| 10 | 909 | 954 | 94 | 10 | 1761 | 1856 | 765 |
| 11 | 909,2 | 954,2 | 95 | 11 | 1761,2 | 1856,2 | 766 |
| 12 | 909,4 | 954,4 | 96 | 12 | 1761,4 | 1856,4 | 767 |
| 13 | 909,6 | 954,6 | 97 | 13 | 1761,6 | 1856,6 | 768 |
| 14 | 909,8 | 954,8 | 98 | 14 | 1761,8 | 1856,8 | 769 |
| 15 | 910 | 955 | 99 | 15 | 1762 | 1857 | 770 |
| 16 | 910,2 | 955,2 | 100 | 16 | 1762,2 | 1857,2 | 771 |
| 17 | 910,4 | 955,4 | 101 | 17 | 1762,4 | 1857,4 | 772 |
| 18 | 910,6 | 955,6 | 102 | 18 | 1762,6 | 1857,6 | 773 |
| 19 | 910,8 | 955,8 | 103 | 19 | 1762,8 | 1857,8 | 774 |
| 20 | 911 | 956 | 104 | 20 | 1763 | 1858 | 775 |
| 21 | 911,2 | 956,2 | 105 | 21 | 1763,2 | 1858,2 | 776 |
| 22 | 911,4 | 956,4 | 106 | 22 | 1763,4 | 1858,4 | 777 |

Annexes

| | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------------|------------|-----------|---------------|---------------|------------|
| 23 | 911,6 | 956,6 | 107 | 23 | 1763,6 | 1858,6 | 778 |
| 24 | 911,8 | 956,8 | 108 | 24 | 1763,8 | 1858,8 | 779 |
| 25 | 912 | 957 | 109 | 25 | 1764 | 1859 | 780 |
| 26 | 912,2 | 957,2 | 110 | 26 | 1764,2 | 1859,2 | 781 |
| 27 | 912,4 | 957,4 | 111 | 27 | 1764,4 | 1859,4 | 782 |
| 28 | 912,6 | 957,6 | 112 | 28 | 1764,6 | 1859,6 | 783 |
| 29 | 912,8 | 957,8 | 113 | 29 | 1764,8 | 1859,8 | 784 |
| 30 | 913 | 958 | 114 | 30 | 1765 | 1860 | 785 |
| 31 | 913,2 | 958,2 | 115 | | | | |
| 32 | 913,4 | 958,4 | 116 | | | | |
| 33 | 913,6 | 958,6 | 117 | | | | |
| 34 | 913,8 | 958,8 | 118 | | | | |
| 35 | 914 | 959 | 119 | | | | |
| 36 | 914,2 | 959,2 | 120 | | | | |
| 37 | 914,4 | 959,4 | 121 | | | | |
| 38 | 914,6 | 959,6 | 122 | | | | |
| 39 | 914,8 | 959,8 | 123 | | | | |
| 40 | 915 | 960 | 124 | | | | |

Les fréquences réservées pour le canal logique de diffusion **BCCH** sont en clair dans le tableau ci-dessus) et le reste des fréquences est destiné pour les canaux de trafic « **TCH** » (fréquences en gras dans la table ci-dessus)

Annexe 6 : Table d'ERLANG

| N/B | 0,01 | 0,05 | 0,10 | 0,50 | 1,00 | 2,00 | 5,00 | 10,00 | 15,00 | 20,00 | 30,00 | 40,00 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,11 | 0,18 | 0,25 | 0,43 | 0,67 |
| 2 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,11 | 0,15 | 0,22 | 0,38 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | 1,45 | 2,00 |
| 3 | 0,09 | 0,15 | 0,19 | 0,35 | 0,46 | 0,60 | 0,90 | 1,27 | 1,60 | 1,93 | 2,63 | 3,48 |
| 4 | 0,23 | 0,36 | 0,44 | 0,70 | 0,87 | 1,09 | 1,53 | 2,05 | 2,50 | 2,95 | 3,89 | 5,02 |
| 5 | 0,45 | 0,65 | 0,76 | 1,13 | 1,36 | 1,66 | 2,22 | 2,88 | 3,45 | 4,01 | 5,19 | 6,60 |
| 6 | 0,73 | 1,00 | 1,15 | 1,62 | 1,91 | 2,28 | 2,96 | 3,76 | 4,45 | 5,11 | 6,51 | 8,19 |
| 7 | 1,05 | 1,39 | 1,58 | 2,16 | 2,50 | 2,94 | 3,74 | 4,67 | 5,46 | 6,23 | 7,86 | 9,80 |
| 8 | 1,42 | 1,83 | 2,05 | 2,73 | 3,13 | 3,63 | 4,54 | 5,60 | 6,50 | 7,37 | 9,21 | 11,42 |
| 9 | 1,83 | 2,30 | 2,56 | 3,33 | 3,78 | 4,35 | 5,37 | 6,55 | 7,55 | 8,52 | 10,58 | 13,05 |
| 10 | 2,26 | 2,80 | 3,09 | 3,96 | 4,46 | 5,08 | 6,22 | 7,51 | 8,62 | 9,69 | 11,95 | 14,68 |
| 11 | 2,72 | 3,33 | 3,65 | 4,61 | 5,16 | 5,84 | 7,08 | 8,49 | 9,69 | 10,86 | 13,33 | 16,31 |
| 12 | 3,21 | 3,88 | 4,23 | 5,28 | 5,88 | 6,62 | 7,95 | 9,47 | 10,78 | 12,04 | 14,72 | 17,95 |
| 13 | 3,71 | 4,45 | 4,83 | 5,96 | 6,61 | 7,40 | 8,84 | 10,47 | 11,87 | 13,22 | 16,11 | 19,60 |
| 14 | 4,24 | 5,03 | 5,45 | 6,66 | 7,35 | 8,20 | 9,73 | 11,47 | 12,97 | 14,41 | 17,50 | 21,24 |
| 15 | 4,78 | 5,63 | 6,08 | 7,38 | 8,11 | 9,01 | 10,63 | 12,48 | 14,07 | 15,61 | 18,90 | 22,89 |
| 16 | 5,34 | 6,25 | 6,72 | 8,10 | 8,88 | 9,83 | 11,54 | 13,50 | 15,18 | 16,81 | 20,30 | 24,54 |
| 17 | 5,91 | 6,88 | 7,38 | 8,83 | 9,65 | 10,66 | 12,46 | 14,52 | 16,29 | 18,01 | 21,70 | 26,19 |
| 18 | 6,50 | 7,52 | 8,05 | 9,58 | 10,44 | 11,49 | 13,39 | 15,55 | 17,41 | 19,22 | 23,10 | 27,84 |
| 19 | 7,09 | 8,17 | 8,72 | 10,33 | 11,23 | 12,33 | 14,32 | 16,58 | 18,53 | 20,42 | 24,51 | 29,50 |
| 20 | 7,70 | 8,83 | 9,41 | 11,09 | 12,03 | 13,18 | 15,25 | 17,61 | 19,65 | 21,64 | 25,92 | 31,15 |
| 21 | 8,32 | 9,50 | 10,11 | 11,86 | 12,84 | 14,04 | 16,19 | 18,65 | 20,77 | 22,85 | 27,33 | 32,81 |
| 22 | 8,95 | 10,18 | 10,81 | 12,64 | 13,65 | 14,90 | 17,13 | 19,69 | 21,90 | 24,06 | 28,74 | 34,46 |
| 23 | 9,58 | 10,87 | 11,52 | 13,42 | 14,47 | 15,76 | 18,08 | 20,74 | 23,03 | 25,28 | 30,15 | 36,12 |
| 24 | 10,23 | 11,56 | 12,24 | 14,20 | 15,30 | 16,63 | 19,03 | 21,78 | 24,16 | 26,50 | 31,56 | 37,78 |
| 25 | 10,88 | 12,26 | 12,97 | 15,00 | 16,13 | 17,51 | 19,99 | 22,83 | 25,30 | 27,72 | 32,97 | 39,44 |
| 26 | 11,54 | 12,97 | 13,70 | 15,80 | 16,96 | 18,38 | 20,94 | 23,89 | 26,43 | 28,94 | 34,39 | 41,10 |
| 27 | 12,21 | 13,69 | 14,44 | 16,60 | 17,80 | 19,27 | 21,90 | 24,94 | 27,57 | 30,16 | 35,80 | 42,76 |
| 28 | 12,88 | 14,41 | 15,18 | 17,41 | 18,64 | 20,15 | 22,87 | 26,00 | 28,71 | 31,39 | 37,21 | 44,41 |
| 29 | 13,56 | 15,13 | 15,93 | 18,22 | 19,49 | 21,04 | 23,83 | 27,05 | 29,85 | 32,61 | 38,63 | 46,07 |
| 30 | 14,25 | 15,86 | 16,68 | 19,03 | 20,34 | 21,93 | 24,80 | 28,11 | 31,00 | 33,84 | 40,05 | 47,74 |
| 31 | 14,94 | 16,60 | 17,44 | 19,85 | 21,19 | 22,83 | 25,77 | 29,17 | 32,14 | 35,07 | 41,46 | 49,40 |
| 32 | 15,63 | 17,34 | 18,21 | 20,68 | 22,05 | 23,73 | 26,75 | 30,24 | 33,28 | 36,30 | 42,88 | 51,06 |
| 33 | 16,34 | 18,09 | 18,97 | 21,51 | 22,91 | 24,63 | 27,72 | 31,30 | 34,43 | 37,52 | 44,30 | 52,72 |
| 34 | 17,04 | 18,84 | 19,74 | 22,34 | 23,77 | 25,53 | 28,70 | 32,37 | 35,58 | 38,75 | 45,72 | 54,38 |
| 35 | 17,75 | 19,59 | 20,52 | 23,17 | 24,64 | 26,44 | 29,68 | 33,43 | 36,72 | 39,99 | 47,14 | 56,04 |
| 36 | 18,47 | 20,35 | 21,30 | 24,01 | 25,51 | 27,34 | 30,66 | 34,50 | 37,87 | 41,22 | 48,56 | 57,70 |
| 37 | 19,19 | 21,11 | 22,08 | 24,85 | 26,38 | 28,25 | 31,64 | 35,57 | 39,02 | 42,45 | 49,98 | 59,37 |
| 38 | 19,91 | 21,87 | 22,86 | 25,69 | 27,25 | 29,17 | 32,62 | 36,64 | 40,17 | 43,68 | 51,40 | 61,03 |
| 39 | 20,64 | 22,64 | 23,65 | 26,53 | 28,13 | 30,08 | 33,61 | 37,72 | 41,32 | 44,91 | 52,82 | 62,69 |
| 40 | 21,37 | 23,41 | 24,44 | 27,38 | 29,01 | 31,00 | 34,60 | 38,79 | 42,48 | 46,15 | 54,24 | 64,35 |
| 41 | 22,11 | 24,19 | 25,24 | 28,23 | 29,89 | 31,92 | 35,58 | 39,86 | 43,63 | 47,38 | 55,66 | 66,02 |
| 42 | 22,85 | 24,97 | 26,04 | 29,09 | 30,77 | 32,84 | 36,57 | 40,94 | 44,78 | 48,62 | 57,08 | 67,68 |
| 43 | 23,59 | 25,75 | 26,84 | 29,94 | 31,66 | 33,76 | 37,57 | 42,01 | 45,94 | 49,85 | 58,50 | 69,34 |
| 44 | 24,33 | 26,53 | 27,64 | 30,80 | 32,54 | 34,68 | 38,56 | 43,09 | 47,09 | 51,09 | 59,92 | 71,01 |
| 45 | 25,08 | 27,32 | 28,45 | 31,66 | 33,43 | 35,61 | 39,55 | 44,17 | 48,25 | 52,32 | 61,35 | 72,67 |
| 46 | 25,83 | 28,11 | 29,26 | 32,52 | 34,32 | 36,53 | 40,55 | 45,24 | 49,40 | 53,56 | 62,77 | 74,33 |
| 47 | 26,59 | 28,90 | 30,07 | 33,38 | 35,22 | 37,46 | 41,54 | 46,32 | 50,56 | 54,80 | 64,19 | 76,00 |
| 48 | 27,34 | 29,70 | 30,88 | 34,25 | 36,11 | 38,39 | 42,54 | 47,40 | 51,71 | 56,03 | 65,61 | 77,66 |

Annexes

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 49 | 28,10 | 30,49 | 31,69 | 35,11 | 37,00 | 39,32 | 43,53 | 48,48 | 52,87 | 57,27 | 67,04 | 79,32 |
| 50 | 28,87 | 31,29 | 32,51 | 35,98 | 37,90 | 40,26 | 44,53 | 49,56 | 54,03 | 58,51 | 68,46 | 80,99 |
| 51 | 29,63 | 32,09 | 33,33 | 36,85 | 38,80 | 41,19 | 45,53 | 50,64 | 55,19 | 59,75 | 69,88 | 82,65 |
| 52 | 30,40 | 32,90 | 34,15 | 37,72 | 39,70 | 42,12 | 46,53 | 51,73 | 56,35 | 60,99 | 71,31 | 84,32 |
| 53 | 31,17 | 33,70 | 34,98 | 38,60 | 40,60 | 43,06 | 47,53 | 52,81 | 57,50 | 62,22 | 72,73 | 85,98 |
| 54 | 31,94 | 34,51 | 35,80 | 39,47 | 41,51 | 44,00 | 48,54 | 53,89 | 58,66 | 63,46 | 74,15 | 87,65 |
| 55 | 32,72 | 35,32 | 36,63 | 40,35 | 42,41 | 44,94 | 49,54 | 54,98 | 59,82 | 64,70 | 75,58 | 89,31 |
| 56 | 33,49 | 36,13 | 37,46 | 41,23 | 43,32 | 45,88 | 50,54 | 56,06 | 60,98 | 65,94 | 77,00 | 90,97 |
| 57 | 34,27 | 36,95 | 38,29 | 42,11 | 44,22 | 46,82 | 51,55 | 57,14 | 62,14 | 67,18 | 78,43 | 92,64 |
| 58 | 35,05 | 37,76 | 39,12 | 42,99 | 45,13 | 47,76 | 52,55 | 58,23 | 63,31 | 68,42 | 79,85 | 94,30 |
| 59 | 35,84 | 38,58 | 39,96 | 43,87 | 46,04 | 48,70 | 53,56 | 59,32 | 64,47 | 69,66 | 81,27 | 95,97 |
| 60 | 36,62 | 39,40 | 40,80 | 44,76 | 46,95 | 49,64 | 54,57 | 60,40 | 65,63 | 70,90 | 82,70 | 97,63 |
| 61 | 37,41 | 40,22 | 41,63 | 45,64 | 47,86 | 50,59 | 55,57 | 61,49 | 66,79 | 72,14 | 84,12 | 99,30 |
| 62 | 38,20 | 41,05 | 42,47 | 46,53 | 48,77 | 51,53 | 56,58 | 62,58 | 67,95 | 73,38 | 85,55 | 101,00 |
| 63 | 38,99 | 41,87 | 43,31 | 47,42 | 49,69 | 52,48 | 57,59 | 63,66 | 69,11 | 74,63 | 86,97 | 102,60 |
| 64 | 39,78 | 42,70 | 44,16 | 48,31 | 50,60 | 53,43 | 58,60 | 64,75 | 70,28 | 75,87 | 88,40 | 104,30 |
| 65 | 40,58 | 43,52 | 45,00 | 49,20 | 51,52 | 54,38 | 59,61 | 65,84 | 71,44 | 77,11 | 89,82 | 106,00 |
| 66 | 41,38 | 44,35 | 45,85 | 50,09 | 52,44 | 55,33 | 60,62 | 66,93 | 72,60 | 78,35 | 91,25 | 107,60 |
| 67 | 42,17 | 45,18 | 46,69 | 50,98 | 53,35 | 56,28 | 61,63 | 68,02 | 73,77 | 79,59 | 92,67 | 109,30 |
| 68 | 42,97 | 46,02 | 47,54 | 51,87 | 54,27 | 57,23 | 62,64 | 69,11 | 74,93 | 80,83 | 94,10 | 111,00 |
| 69 | 43,77 | 46,85 | 48,39 | 52,77 | 55,19 | 58,18 | 63,65 | 70,20 | 76,09 | 82,08 | 95,52 | 112,60 |
| 70 | 44,58 | 47,68 | 49,24 | 53,66 | 56,11 | 59,13 | 64,67 | 71,29 | 77,26 | 83,32 | 96,95 | 114,30 |
| 71 | 45,38 | 48,52 | 50,09 | 54,56 | 57,03 | 60,08 | 65,68 | 72,38 | 78,42 | 84,56 | 98,37 | 116,00 |
| 72 | 46,19 | 49,36 | 50,94 | 55,46 | 57,96 | 61,04 | 66,69 | 73,47 | 79,59 | 85,80 | 99,80 | 117,60 |
| 73 | 47,00 | 50,20 | 51,80 | 56,35 | 58,88 | 61,99 | 67,71 | 74,56 | 80,75 | 87,05 | 101,20 | 119,30 |
| 74 | 47,81 | 51,04 | 52,65 | 57,25 | 59,80 | 62,95 | 68,72 | 75,65 | 81,92 | 88,29 | 102,70 | 120,90 |
| 75 | 48,62 | 51,88 | 53,51 | 58,15 | 60,73 | 63,90 | 69,74 | 76,74 | 83,08 | 89,53 | 104,10 | 122,60 |
| 76 | 49,43 | 52,72 | 54,37 | 59,05 | 61,65 | 64,86 | 70,75 | 77,83 | 84,25 | 90,78 | 105,50 | 124,30 |
| 77 | 50,24 | 53,56 | 55,23 | 59,96 | 62,58 | 65,81 | 71,77 | 78,93 | 85,41 | 92,02 | 106,90 | 125,90 |
| 78 | 51,05 | 54,41 | 56,09 | 60,86 | 63,51 | 66,77 | 72,79 | 80,02 | 86,58 | 93,26 | 108,40 | 127,60 |
| 79 | 51,87 | 55,25 | 56,95 | 61,76 | 64,43 | 67,73 | 73,80 | 81,11 | 87,74 | 94,51 | 109,80 | 129,30 |
| 80 | 52,69 | 56,10 | 57,81 | 62,67 | 65,36 | 68,69 | 74,82 | 82,20 | 88,91 | 95,75 | 111,20 | 130,90 |
| 81 | 53,51 | 56,95 | 58,67 | 63,57 | 66,29 | 69,65 | 75,84 | 83,30 | 90,08 | 96,99 | 112,60 | 132,60 |
| 82 | 54,33 | 57,80 | 59,54 | 64,48 | 67,22 | 70,61 | 76,86 | 84,39 | 91,24 | 98,24 | 114,10 | 134,30 |
| 83 | 55,15 | 58,65 | 60,40 | 65,39 | 68,15 | 71,57 | 77,87 | 85,48 | 92,41 | 99,48 | 115,50 | 135,90 |
| 84 | 55,97 | 59,50 | 61,27 | 66,29 | 69,08 | 72,53 | 78,89 | 86,58 | 93,58 | 100,70 | 116,90 | 137,60 |
| 85 | 56,79 | 60,35 | 62,14 | 67,20 | 70,02 | 73,49 | 79,91 | 87,67 | 94,74 | 102,00 | 118,30 | 139,30 |
| 86 | 57,62 | 61,21 | 63,00 | 68,11 | 70,95 | 74,45 | 80,93 | 88,77 | 95,91 | 103,20 | 119,80 | 140,90 |
| 87 | 58,44 | 62,06 | 63,87 | 69,02 | 71,88 | 75,42 | 81,95 | 89,86 | 97,08 | 104,50 | 121,20 | 142,60 |
| 88 | 59,27 | 62,92 | 64,74 | 69,93 | 72,82 | 76,38 | 82,97 | 90,96 | 98,25 | 105,70 | 122,60 | 144,30 |
| 89 | 60,10 | 63,77 | 65,61 | 70,84 | 73,75 | 77,34 | 83,99 | 92,05 | 99,41 | 107,00 | 124,00 | 145,90 |
| 90 | 60,92 | 64,63 | 66,48 | 71,76 | 74,68 | 78,31 | 85,01 | 93,15 | 100,60 | 108,20 | 125,50 | 147,60 |
| 91 | 61,75 | 65,49 | 67,36 | 72,67 | 75,62 | 79,27 | 86,04 | 94,24 | 101,80 | 109,40 | 126,90 | 149,30 |
| 92 | 62,58 | 66,35 | 68,23 | 73,58 | 76,56 | 80,24 | 87,06 | 95,34 | 102,90 | 110,70 | 128,30 | 150,90 |
| 93 | 63,42 | 67,21 | 69,10 | 74,50 | 77,49 | 81,20 | 88,08 | 96,43 | 104,10 | 111,90 | 129,80 | 152,60 |
| 94 | 64,25 | 68,07 | 69,98 | 75,41 | 78,43 | 82,17 | 89,10 | 97,53 | 105,30 | 113,20 | 131,20 | 154,30 |
| 95 | 65,08 | 68,93 | 70,85 | 76,33 | 79,37 | 83,13 | 90,12 | 98,63 | 106,40 | 114,40 | 132,60 | 155,90 |
| 96 | 65,92 | 69,79 | 71,73 | 77,24 | 80,31 | 84,10 | 91,15 | 99,72 | 107,60 | 115,70 | 134,00 | 157,60 |
| 97 | 66,75 | 70,65 | 72,61 | 78,16 | 81,25 | 85,07 | 92,17 | 100,80 | 108,80 | 116,90 | 135,50 | 159,30 |
| 98 | 67,59 | 71,52 | 73,48 | 79,07 | 82,18 | 86,04 | 93,19 | 101,90 | 109,90 | 118,20 | 136,90 | 160,90 |
| 99 | 68,43 | 72,38 | 74,36 | 79,99 | 83,12 | 87,00 | 94,22 | 103,00 | 111,10 | 119,40 | 138,30 | 162,60 |
| 100 | 69,27 | 7~.,25 | 75,24 | 80,91 | 84,06 | 87,97 | 95,24 | 104,10 | 112,30 | 120,60 | 139,70 | 164,30 |

GLOSSAIRE

A

AGCH: Access Grant Channel

AUC: Authentication Center.

B

BCCH: Broadcast Control Channel.

BSC: Base Station Controller.

BSS: Base Station Subsystem.

BTS: Base Transceiver Station.

C

CGI: Cell Global Identity.

D

DCS: Digital Cellular System.

E

EIR: Equipment Identity Register.

ETSI: European Telecommunication Standardization Institute

F

FACCH: Frequency Associated Control channel.

FCCH: Frequency Correction Channel.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FH: Faisceaux Hertziens.

G

GMSC: Gateway Mobile Switching Center.

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.

GPS: Global Positioning System.

GSM: Global System for Mobile communications.

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.

BIBLIOGRAPHIE

MSC: Mobile Switching Center.
MSISDN: Mobile Station Integrated Service Digital Number.

N

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.
RTC : Réseau Téléphonique Commuté.

S

SACCH: Slow Associated Control Channel.
SDCCH: Stand Alone Dedicated Control Channel.
SCH: Synchronisation Channel.
SIM: Subscriber Identity Module.

T

TCH: Traffic Channel.
TDMA: Time Division Multiple Access.
TRX: Transceiver unit.

U

UIT : Union Internationale des Télécommunications.

V

VLR: Visitor Location Register.

BIBLIOGRAPHIE

1. « Réseaux GSM », 5^o édition Ferme Science.
Xavier Lagrange-Philippe Godlewski- Sami Tabbane.
2. «Micro onde», 2eme tome edition DUNOD, Paul,F.Combes.
3. «Les antenes »edition DUNOD, D BEN SOUSSA.
4. «Téléphones GSM et PC», 3^oédition. Edition ETSF. Patrick GUEULLE.
5. «Les relais GSM», document PDF,<http://www.juliendelmas.com>
6. «PRINCIPES DE BASE DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU GSM»,
document PDF, <http://www.ulg.ac.be/telecom>

7. Documentation de Mobilis.
 - cell planning principale.
8. Ericsson GSM System Survey Student Book IZT 123 3321 R6A.
9. Module de Mr KANANE et Mr AIT BACHIR de quatrième année électronique,
option communication, UMMTO.