

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Abou-Bekr Belkaïd Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme

de **Master en Télécommunications**

Option : Systèmes et Réseaux

Sujet du Mémoire

**Dimensionnement et Planification
d'un Réseau GSM**

Présenté et soutenu publiquement en décembre 2010 par

SLIMANI Anwar

Devant le jury composé de :

<i>Président :</i>	<i>Mr. SEDDIKI Omar</i>	<i>Prof. à l'université Aboubekr BELKAÏD Tlemcen</i>
<i>Examineur :</i>	<i>Mr. BENAHMED Nasr-eddine</i>	<i>Prof. à l'université Aboubekr BELKAÏD Tlemcen</i>
<i>Encadreur :</i>	<i>Mr. MERLAH Sidi Mohammed</i>	<i>M.C.A à l'université Aboubekr BELKAÏD Tlemcen</i>

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier toute personne ou organisme qui m'a aidée à bien mener ce projet et en particulier:

Avant tous Je remercie Monsieur MERIAH Sidî Mohammed pour son encadrement et je tien à lui exprimer toute ma gratitude.

Mes remerciements aux membres du jury :

Messieurs : SEDDIKI Omar, et BENAHMED Nasre-ddine.

Mes remerciements à la direction d'AREVA Oran

Je remercie aussi Messieurs : MABKHOUT Miloud, et DAHOU Ilyes pour leurs soutiens.

Je remercie également l'ensemble des enseignants et administrateurs du département des télécommunications de la faculté de l'ingénieur.

Et en fin je remercie tous ceux qui mon aider a élaboré ce travail soit de près ou de loin.

Mr SLIMANI Anwar

Dédicaces

A mes Chers parents (Mohammed, Réra, Amaria)

A mes deux frères et leurs femmes et enfants

A ma sœur et son mari et ses enfants

A tous mes amis (es) en particulier à toi Amine et Mehdi

L'encadrement du cyber Star

Mr BELHADJ AMARA Amr Dinne

Mr SLIMANI Anwar

Table des Matières

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le système GSM.....	2
I. Introduction	2
II . Historique	2
III. Concept Cellulaire	3
III.1.Topologie cellulaire.....	3
III.2.Le motif cellulaire.....	3
III.3.Réutilisation des ressources.....	4
III.3.1.Distance de réutilisation	4
III.3.2.Rapport signal/bruit et signal/interférence.....	6
IV. Architecture du réseau GSM.....	6
IV.1.La station mobile.....	7
IV.2.Le sous système radio (BSS: Base station subsystem).....	8
IV.2.1..La Station de Base (BTS).....	8
IV.2.1.1.Définition.....	8
IV.2.1.2.Antennes de station de base (BTS).....	9
IV.2.1.3.Fonction	11
IV.2.1.4.Capacité	11
IV.2.1.5.Caractéristiques.....	11
IV.2.1.6.Classement.....	12
IV.2.2.Le Contrôleur De Station de Base BSC.....	13
IV.2.2.1.Vue Globale.....	13
IV.2.2.2.L'équipement BSC.....	13
IV.2.2.3.Le BSC comme décrit par les normes.....	13
IV.3.Le sous système réseau NSS(network subsystem).....	15
IV.3.1.Le commutateur de service mobile (MSC).....	15
IV.3.2.L'enregistreur de localisation nominal (HLR).....	15
IV.3.3.L'enregistreur de localisation d'accueil(VLR).....	16
IV.3.4.Le centre d'authentification (AUC).....	16
IV.3.5.L'enregistreur d'identité des équipements (EIR).....	16
IV.4.Le sous système opération et maintenance OSS.....	16
V. Les bandes de fréquences allouées.....	16
VI. Les méthodes d'accès.....	17
VII. Classification des canaux radio.....	19
VII.1.Les canaux physiques.....	19
VII.2. Les canaux logiques.....	21
VII.2.1.Les canaux de trafic (TCH).....	21
VII.2.2.Les canaux de commande.....	22
VII.3.Association des canaux logiques et canaux physiques.....	25
VIII. Les interfaces réseaux	26
IX. Déroulement des communications.....	27
IX.1. Les définitions élémentaires.....	27
IX.1.1. Handover.....	27

IX.1.2.. La Localisation.....	27
IX.1.3. Le Roaming «l'itinérance ».....	28
IX.1.4. Le paging	28
IX.2.Etablissement d'un appel.....	28
IX.2.1. Appel d'un Mobile (MS) vers un fixe.....	29
IX.2.2. Appel d'un fixe vers Mobile(MS).....	30
X. Les services offerts par un réseau GSM.....	31
X.1.Les services supports	32
X.2.Les télé services.....	32
X.3.Les services supplémentaires.....	32
X.I. Conclusion.....	32
Chapitre II : Généralités sur la propagation radio.....	33
I.Introduction.....	33
II.L'onde électromagnétique.....	33
II.1. Génération d'onde.....	33
II.2. Zones de rayonnement d'une antenne.....	34
III. Les mécanismes de propagation.....	34
III.1. La réflexion.....	34
III.2. La diffraction.....	34
III.3. La réfraction.....	35
III.4. L'atténuation.....	35
III.5. La polarisation.....	35
IV . Les antennes en radiocommunications mobiles (GSM/DSC).....	36
IV.1. Paramètres fondamentaux d'une antenne.....	36
IV.2. Antennes des terminaux GSM/DSC.....	36
V. Etude de la liaison radio mobile.....	37
VI. Zones de Fresnel.....	38
VII. Ligne de visibilité.....	38
VIII. Effets de masque.....	39
VIII.1. Atténuation due aux arbres.....	39
VIII.2. Atténuation due à l'atmosphère.....	40
IX. Les trajets multiples.....	40
X. Interférence et brouillage.....	41
X.1. Bruit.....	41
X.2. Interférences.....	41
X.2.1. Interférences co-canal.....	42
X.2.2. Interférences sur canal adjacent.....	42
XI .Techniques de diversité.....	43
XI.1. La Micro-diversité.....	43
XI.2.La Macro-diversité.....	43
XII. Conclusion.....	44
Chapitre III : Etude du trafic et dimensionnement d'un réseau cellulaire.....	45
I. Introduction.....	45
II. Notions générales.....	45
II.1. Intensité d'appel.....	45

II.2. Temps de maintien.....	45
II.3. Taux de pénétration.....	46
II.4. Concepts de base du trafic.....	46
III. Dimensionnement d'un réseau cellulaire.....	47
III.1. Critères de dimensionnement d'un réseau.....	47
III.2. Propriétés de la couche radio GSM.....	48
III.3. Contraintes Radio.....	49
III.3.1. Rapport signal a bruit C/N.....	49
III.3.2. Rapport signal a bruit C/I.....	51
III.4. Contraintes de trafic.....	53
III.5. Définition des zones de services.....	54
IV. Hypothèse de la prévision et du dimensionnement.....	55
IV.1. But.....	55
IV.2. Hypothèses et suppositions.....	56
IV.3. Les paramètres.....	56
IV.4. Données nécessaires pour la planification.....	57
IV.4.1. Distribution des abonnés.....	57
IV.4.2. Trafic.....	57
IV.4.3. Modèle de trafic.....	58
V. Conclusion.....	58
Chapitre IV : Planification d'un réseau cellulaire.....	59
I. Introduction.....	59
II. Importance et objectifs de la planification.....	59
II.1. Importance.....	59
II.2. Objectifs.....	59
III. Etapes de la planification.....	60
III.1. Données en entrée.....	60
III.1.1. Paramètres caractérisant l'environnement.....	60
III.1.2. Paramètre caractérisant la qualité de service.....	61
III.1.3. Calcul du trafic.....	61
III.2. Planification Radio.....	62
III.2.1. Choix des sites pratiques.....	62
III.2.2. Modèle de propagation.....	62
III. 2.3. Bilan de liaison.....	62
III.3. Le dimensionnement des cellules.....	63
III.4. Allocation des fréquences.....	63
III. 5. Ajustement des paramètres.....	66
IV. Planification du réseau fixe.....	66
IV.1. Configuration des stations de bases.....	66
IV.1.1. Structure en étoile.....	66
IV.1.2. Structure en anneau.....	67
IV.1.3. Structure chaînée.....	67
V. Densification du réseau cellulaire.....	68
V.1. Adjonction de nouveaux canaux.....	69
V.2. Emprunt de canaux.....	70
V.3. Division de cellules.....	70
V.4. La sectorisation.....	71
VI. Déploiement micro cellulaire.....	72

VII. Découpage des fréquences par opérateurs.....	72
VIII. Conclusion.....	75
Chapitre V : Simulation et planification d'un réseau GSM.....	74
I. Introduction.....	74
II. Présentation du logiciel ATOLL.....	74
II.1. Description du logiciel ATOLL.....	74
II.2.L'environnement de travail d'ATOLL.....	74
II.3.Description de la fenêtre de travail principal du logiciel ATOLL.....	75
II.4.Recommandations hard et soft du logiciel ATOLL.....	75
III.Simulation.....	76
III.1.Objectif.....	76
III.2.Etapes de la simulation.....	77
III.2.1 Début du projet : Project Template.....	77
III.2.2 Configuration des paramètres.....	77
III.2.3 Import digital maps.....	77
III.2.4.Choisir le modèle de propagation.....	79
III.2.5.Importer les antennes.....	79
III.2.6.Importer les terminaux.....	81
III.2.7.Import Environment.....	81
III.2.8.Import équipements.....	82
III.2.9.Import Sites.....	82
III.2.10.Import transmitters.....	82
Conclusion Général.....	83
Annexe 1.....	84
Annexe 2.....	86
Références Bibliographiques.....	91

Introduction générale

Dans le panorama des systèmes de télécommunication, les réseaux mobiles occupent, notamment depuis leur apparition, une place plus importante en terme de recherche et d'investissement. Les travaux menés par les groupes de recherche ont fourni plusieurs normes dont la plus importante est la norme GSM « Global System for Mobile Communication ». Avec plus d'un 1.22 milliards d'abonnés dans le monde entier pour 620 opérateurs rien que pour les systèmes GSM 900 et DSC 1800, la norme GSM est désormais la norme cellulaire la plus répandue dans le monde. Le succès de ses systèmes repose sur leurs flexibilités et leurs facilités d'utilisation par l'abonné.

La convergence des systèmes de téléphonies mobile de l'analogique vers le numérique a permis d'avoir une signalisation plus facile, et de réduire les interférences, une meilleure intégration de transmission et de commutation et enfin des aptitudes à supporter et à gérer plus de trafic et par la suite une meilleure capacité.

Mon travail s'appuie sur une étude théorique du réseau GSM, il décrit l'architecture du réseau GSM et de ses différents composants ainsi que leurs fonctionnalités en se basant sur l'étude du trafic et le concept cellulaire en vue de la conception du réseau GSM.

Le travail est structuré en quatre chapitres comme suite :

Le premier chapitre recouvre le réseau GSM en générale et ses différents composants.

Le deuxième chapitre décrit la notion de trafic et le dimensionnement du réseau cellulaire.

Le troisième chapitre concerne la planification d'un réseau cellulaire.

Et enfin, le dernier chapitre présente une simulation pratique de la planification d'un réseau GSM, en utilisant un logiciel de planification connue sous le nom d'ATOLL.

Chapitre I:

Généralités sur le système GSM

I. Introduction

De nos jours, les systèmes de radiotéléphonie mobiles constituent l'un des secteurs phares de l'industrie et de l'économie. Le téléphone mobile est devenue un outil incontournable dans le quotidien de nos sociétés, aussi bien dans les pays industrialisés où il satisfait des besoins permanents en nouveaux services que dans les pays en voie de développement où ils suppléent à une carence d'infrastructures de télécommunications.

Les systèmes de radiotéléphonies mobile GSM 900 et leur variante DCS 1800, figurent parmi les systèmes les plus déployés et connu du grand public à travers le monde entier. Dans ce chapitre, nous allons voir la composition et les caractéristiques du réseau GSM.

II .Historique [1]

La préhistoire du GSM (Global Système For Mobile Communication) a commencé en 1979 par la Conférence Administrative Mondiale des Radiocommunications (WARC), un accord a été conclu au sein de cette instance internationale pour ouvrir la bande des 900 Mhz aux services mobiles.

Pendant les années 80, les systèmes de communications cellulaires analogiques ont connu une forte croissance dans différents pays européens, en particulier la Suède, la Grande Bretagne mais aussi la France et l'Allemagne. Chaque pays a développé son propre système analogique, rendant ainsi impossible la compatibilité des différents systèmes au niveau européen.

C'est afin de permettre une intégration de services au niveau européen que le groupe de normalisation GSM (Groupe Spécial Mobile) fut crée en 1982 dans le but d'établir des spécifications pour un système de radiotéléphonie cellulaire mobile fonctionnant dans la bande des 900 Mhz. Ces spécifications furent ultérieurement élargies pour intégrer une interface hertzienne dans la bande de fréquence des 1800 Mhz, appelée DCS1800 (Digital Communication System).

Entre 1982 et 1985, les discussions ont porté sur le choix d'un système analogique ou numérique. Ce dernier remporte la décision en 1985. L'étape suivante consistée à choisir entre une solution à bande étroite ou large bande.

Après plusieurs essais, la solution TDMA (Time Division Multiple Access) a été choisie en mai 1987. Simultanément les 13 premiers pays ont signé un MoU (Mémorandum of Understanding) les engageant vis-à-vis de ces spécifications ouvrant ainsi un vaste

marché potentiel au GSM. Tous les opérateurs ayant signé ce mémorandum s'engageaient à disposer d'un système GSM opérationnel au 1^{er} juillet 1991.

Pour gérer les spécificités des communications avec les mobiles, la norme GSM a introduit des équipements spécifiques n'existant pas dans les réseaux RTC (réseau téléphonique commuté) fixes ou PSTN. Ces équipements, ont toutes les fonctions relatives à la gestion des utilisateurs mobiles, formant un type de réseau particulier appelé PLMN (Public Land Mobile Network). Ainsi ce réseau s'interface (ou se raccorde) aux réseaux PSTN et autres PLMN et comprends plusieurs commutateurs.

III. Concept Cellulaire [2] [^1]

III.1.Topologie cellulaire

Un réseau de téléphonie cellulaire fonctionne de la manière suivante :

Un ensemble de stations de base appelé BTS (Base Transceiver station) réparti uniformément sur un secteur géographique donné (par exemple la wilaya de Tlemcen) assurant la liaison entre les mobiles et le réseau téléphonique commuté public(RTCP). Ces stations de base se regroupent au sein de sites. On représente conventionnellement un site sous la forme d'un hexagone que l'on divise en secteurs ; chaque secteur contenant un certain nombre de station de base (Figure I.1). Une cellule est donc une portion du territoire couvert par une station de base. On affecte à chaque cellule (c'est-à-dire à chaque station de base), un certain nombre de porteuses de la bande de fréquence en fonction du trafic estimé dans cette cellule.

III.2.Le motif cellulaire

Un motif cellulaire est par définition une réunion d'hexagones adjacents où cellules adjacentes qui permet de paver le plan (couverture de la zone).

La Distance de réutilisation D du motif d'un site est donnée par la formule suivante :

$$\sqrt{3BK} \leq D \quad (I.1)$$

Où B est la dimension de la cellule du motif.

K représente le groupe de fréquences du motif.

Autrement dit la forme d'un motif est plus ou moins déterminée par le nombre de stations de base utilisables.

On dispose d'un certain nombre F de fréquences utilisables au sein d'un même motif pour assurer les communications entre les mobiles et les stations de base.

Fabriquer un plan de fréquences, c'est répartir les fréquences entre les différentes BTS d'un motif. On répète ensuite ce plan à l'infini en le reproduisant tel que sur tous motifs pour paver un secteur géographique donné. Choisir un bon plan de fréquences n'est cependant pas une chose facile. Lorsque des stations de base proches utilisent des

fréquences voisines, des interférences apparaissant en effet entre les communications passant par ces BTS. Il convient donc de choisir un plan de fréquences pour minimiser à priori ces interférences.

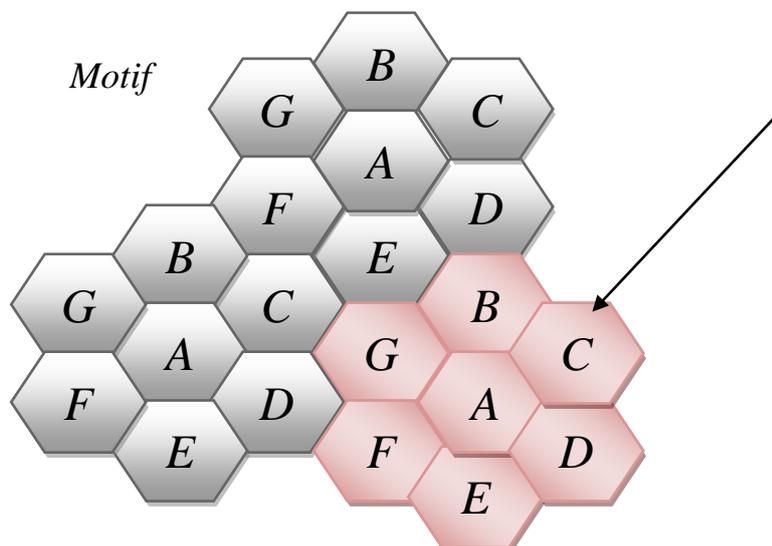


Figure I.1 : exemple de motif à 7 cellules

III.3.Réutilisation des ressources

L'opérateur dispose d'une zone à couvrir et d'une bande de fréquences. Dans les systèmes tel que le GSM, cette bande est partagée en deux sous bandes, dont l'une est utilisée pour les liaisons mobiles vers infrastructure (liaison montante) et l'autre vers le sens inverse infrastructure vers mobiles (liaison descendante). Chaque sous bandes est ensuite partagée en un certain nombre de porteuses. Une porteuse peut écouler une ou plusieurs communications simultanément.

III.3.1.Distance de réutilisation

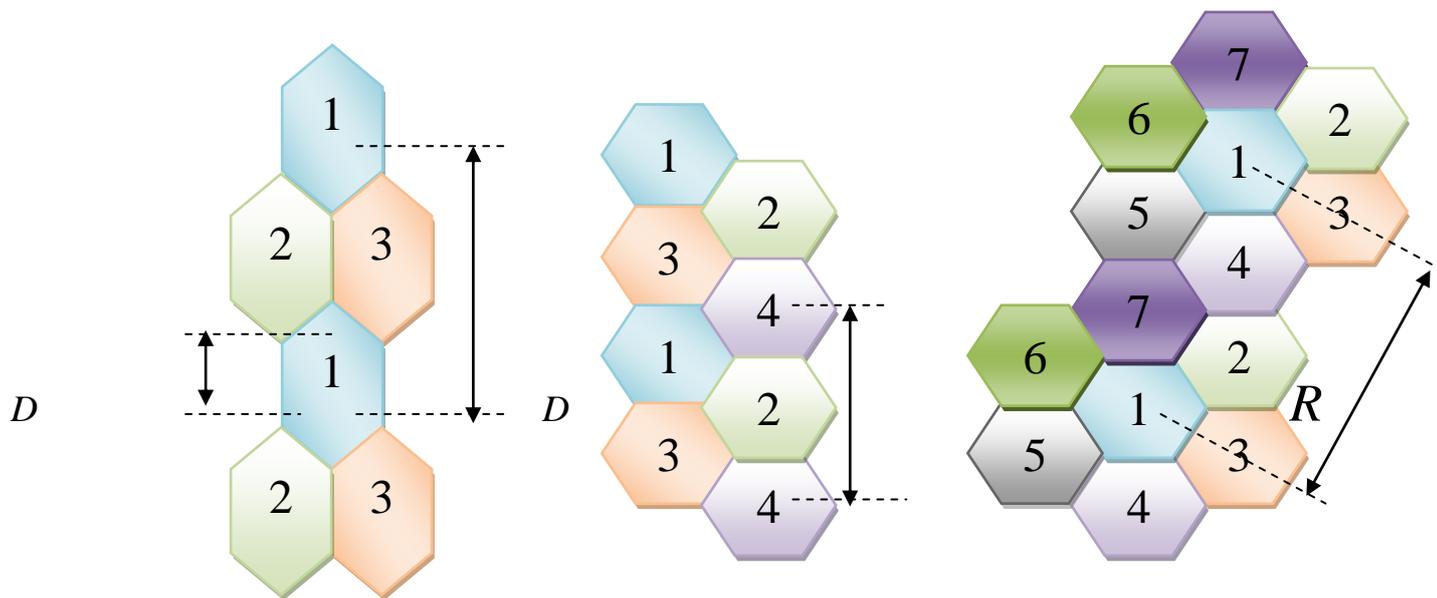
La distance de réutilisation dépend de la grandeur des cellules et des groupes de fréquences N , qu'on utilise dans le modèle de réutilisation des canaux. Plus N est grand plus la distance de réutilisation est grande.

Il existe une relation entre le nombre de groupe et les coordonnées des cellules de groupe de fréquences identiques.

Pour déterminer cette relation, on doit considérer en premier l'approche systématique suivante, pour trouver les cellules de canaux identiques dans un modèle de cellule régulier, comme le montre la figure I.2.

D = distance de réutilisation

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$



**Figure I.2 : distance de réutilisation le modèle hexagonal :
exemple de motifs à 3, 4,7 cellules**

Un motif ayant un nombre de fréquences données est optimal s'il est régulier, c'est-à-dire s'il est invariant par une rotation de 120 degré. Dans ce cas, la taille du motif N vérifié la relation suivante :

$$N = i^2 + i*j + j^2 \text{ ou } i \text{ et } j \text{ sont des entiers naturels positifs ou nuls.}$$

Les exemples de valeurs de N possibles sont 7, 9, 12, 19, 21. La distance de réutilisation D entre cellules de mêmes canaux peut être trouvée comme suit :

$$D = \sqrt{3N} * R \tag{I.3}$$

où R est le rayon de la cellule

N est le numéro de groupe de fréquences.

III.3.2. Rapport signal/bruit et signal/interférence

Une cellule particulière réutilisera les canaux qui ont été utilisés dans d'autres cellules à partir d'une certaine distance. Ceci veut dire que la cellule souffrira d'interférences Co-canal qui arrivent d'autres cellules qui utilisent les mêmes canaux. Finalement, l'étendue de la couverture sera limitée par ces interférences en plus du bruit

habituel. Donc, un système cellulaire sera limité en interférences en opposition à un système conventionnel limité en bruit.

Le problème dans la conception d'un système cellulaire est de contrôler ces interférences à un niveau tolérable. Ceci est fait en partie en contrôlant la distance de réutilisation du canal. Plus la distance est grande moins il y a d'interférences.

Nous seront donc confrontés à deux principaux facteurs qui affectent la qualité de la parole :

-le rapport signal/bruit (ou porteuse/bruit) ; c'est à dire le niveau du signal reçue (C) de la porteuse voulu devrait être plus haut que le niveau de bruit reçue (N),

-le rapport signal/interférences (ou porteuse/interférences), c'est-à-dire le niveau du signal(C) de la porteuse reçue devrait aussi être plus haut que le niveau total d'interférences Co-canal.

La valeur convenable de ces rapports établit par une évaluation subjective est de l'ordre de :

$$C/N=C/I= 18dB$$

Il faut noter que la valeur du signal reçue varie autour d'une certaine moyenne à cause des fadings dus aux trajets multiples et aux masques. Ces variations instantanées sont de l'ordre de 10 à 20 dB.

IV. Architecture du réseau GSM [3][^1]

Pour gérer les spécificités des communications avec les mobiles, la norme GSM à introduit des équipements spécifiques n'existant pas dans les réseaux RTC (Réseau Téléphonique Commuté) fixés ou PSTN.

Ces équipements, ont toutes les fonctions relatives à la gestion des utilisateurs mobiles, formant un type de réseau particulier appelé PLMN (Public Land Mobile Network). Ainsi ce réseau s'interface (ou se raccorde) aux réseaux PSTN et autre PLMN et comprends plusieurs commutateurs, il est caractérisé par un accès très spécifique appelée liaison radio.

Enfin comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

En ne tenant pas compte des extensions GPRS, un tel réseau est composé de 4 grandes entités (Figure I.3) :

- ✓ Une station mobile (ms).
- ✓ Le sous système radio (BSS).
- ✓ Le sous système réseau (NSS).
- ✓ Le sous système opération et maintenance (OSS).

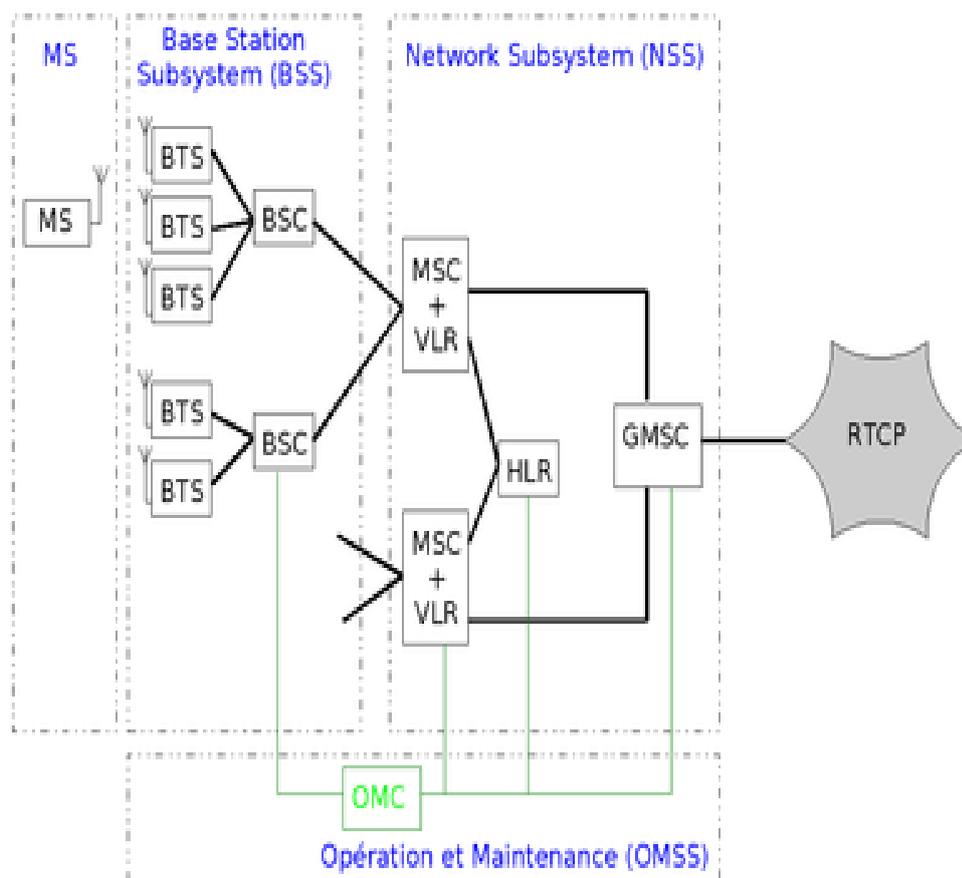


Figure I.3: Architecture du réseau GSM

IV.1. La station mobile [4]

Appelé aussi terminal mobile, il représente la partie visible d'un système radio mobile. La station mobile désigne un équipement terminal muni d'une carte SIM (module d'identification d'abonné, en anglais : Subscriber identity module), qui permet d'accéder aux services de télécommunications d'un opérateur PLMN.

a- la carte SIM :

On en distingue deux type ; les Smart cartes et les cartes plug in.

Cette carte contient les informations relatives à l'abonnement de l'utilisateur, telles que :

- L'IMSI (International mobile Subscriber Identity).
- Le TMSI.
- Les algorithmes de chiffrement et d'authentification.
- Les services, etc....

b- le poste mobile :

La norme GSM définit pour les terminaux, plusieurs classes suivant leur puissance d'émission cependant chaque cellule radio du réseau gère un niveau maximal de puissance auquel, il autorise le MS (station mobile) à émettre. On en dénombre 4 classes de postes mobiles :

- Classe 1: 20 watts – véhicule et portable.
- Classe 2: 8 watts- portable.
- Classe 3: 5 watts - portatif ou (hand-held).
- Classe 4: 2 watts- portatif ou (hand held).

IV.2.Le sous système radio (BSS: Base station subsystem)

La partie radio du réseau, appelée Base Station Subsystem (BSS), est composée d'un maillage de stations de base (BTS) et de leurs stations de contrôle (BSC). A cela se rajoute le transcodeur (Transcoder and Rate Adaptation Unit, TRAU) qui se charge de la compression/décompression de la voix.

IV.2.1..La Station de Base (BTS) [5]

IV.2.1.1.Définition

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station de base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes. Il est fréquent d'avoir des antennes tri-sectorielles, qui couvrent un peu plus de 120 degrés. Ces antennes ont l'allure de paires de segments verticaux, disposées en triangle (figure I.4).



Figure I.4: Exemple d'antennes GSM (BTS tri-sectorielles)[^2]

Une station de base (BTS: base transceiver system), assure la couverture radioélectrique d'une cellule (Unité de Base pour la couverture radio d'un territoire).

Elle constitue un point d'accès au réseau GSM pour les abonnés cela recouvre les opérations de modulation, démodulation, codage et correction d'erreur, estimation du canal et égalisation, etc...

Elles diffusent les informations concernant la cellule utile aux mobiles, et remontent au BSC les mesures sur la qualité des transmissions dans la cellule.

IV.2.1.2. Antennes de station de base (BTS) [^2]

Une panoplie de types d'antennes de station de base existe, et sont employés selon l'environnement des zones à couvrir et selon la portée, on en distingue :

- ✓ Antennes omnidirectionnelles : à monter en extérieur et principalement destinées aux zones rurales et parfois utilisé pour assurer une couverture parapluie.
- ✓ Antennes directionnelles : en forme de panneau à installer en extérieur sur des mats et des plots, surtout utilisé pour couvrir les zones urbaines et aussi rurales.
- ✓ Antennes cylindriques omnidirectionnelles : communément appelée Micro-BTS à monter en intérieur, pour assurer la couverture dans les enceintes ou des surfaces fermées (bâtiments, gare, etc....) elle se présente généralement sous forme cylindrique ou en boîtier embarqué avec son dispositif de traitement (unité RBS).
- ✓ Antennes directionnelles panneaux : pour extérieur ou intérieur.

Les antennes omnidirectionnelles offrent un gain variant de 2dBi (il s'agit alors d'un simple dipôle $\lambda/2$) à 11 dBi. Dans ce dernier cas, l'ouverture verticale à 3 dB est de 5.6° , la hauteur de 3 mètre pour le GSM 900 et de 1.6 mètres pour le DSC 1800.

Les antennes directionnelles présentent un gain pouvant aller jusqu'à 18 dBi. De la même façon que pour les antennes omnidirectionnelles, plus l'antenne est haute, plus le gain est grand. L'ouverture verticale à 3dB est de 6.5° (pour antenne 18 dBi), c'est-à-dire que l'énergie est concentrée dans un plan horizontal contenant l'antenne.

Or celle-ci est généralement montrée en hauteur pour être dégager des obstacles proches : il est donc intéressant d'incliner l'antenne de quelques degrés vers le bas afin de couvrir le sol. Cette opération s'appelle le down tilt ou simplement tilt.

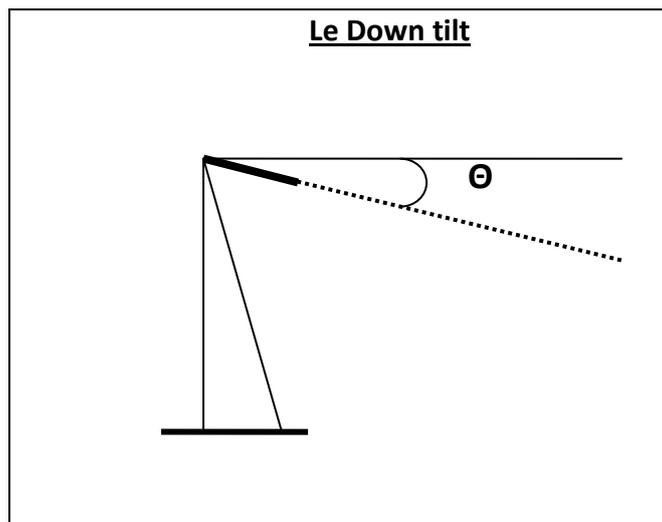


Figure I.5 :Technique de down-tilting

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. 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.

Elle peut être mécanique ou bien obtenue électriquement en ajoutant sur les déphasages des signaux sur les différents dipôles constituant l'antenne.

Dans la pratique, les concepteurs proposent des antennes avec un tilt électrique de 2 à 10° degrés.

Cependant, le rayonnement est modifié par l'environnement, la proximité des autres antennes, et d'autres obstacles. On essaye alors de dégager l'antenne pour que l'influence de l'environnement soit négligeable en contexte macro-cellulaire.

En environnement micro-cellulaire, l'antenne est généralement installée contre un mur : le rayonnement est alors directionnel même pour une antenne omnidirectionnelle.

Les antennes sont en général adaptées à une bande de fréquence particulière. Il existe cependant des antennes d'intérieur multi-bandes qui peuvent être utilisées à la fois pour le GSM900 et le DCS1800.

IV.2.1.3.Fonction

- activation et désactivation d'un canal radio
- multiplexage temporel (TDMA) et saut de fréquence (Frequency Hopping)
- chiffrement du contenu à transmettre (pour la confidentialité de la communication sans fil),

- codage canal, chiffrement des trames, modulation, démodulation et décodage du signal radio (protection contre les erreurs de transmission, interférences, bruits...)
- contrôle de la liaison
- surveillance des niveaux de champ reçus et de la qualité des signaux (nécessaire pour le handover)
- contrôle de la puissance d'émission (limiter la puissance à ce qui est suffisant pour ne pas trop perturber les cellules voisines)

IV.2.1.4.Capacité

Un **TRX** (Transmission/Reception Unit) est un émetteur récepteur qui gère une paire de fréquences porteuses (une en voie montante, une en voie descendante). On peut multiplexer jusqu'à 8 communications simultanées sur un TRX grâce à la technique d'accès multiple TDMA.

En théorie, la capacité maximale d'une BTS est de 16 TRX. Ainsi, elle peut gérer jusqu'à 128 communications simultanées. Mais cette limite n'est jamais atteinte en pratique.

Dans les zones rurales, le rôle de la BTS est d'assurer une couverture. Elle est donc généralement limitée à un seul TRX ou deux si l'opérateur prévoit un TRX de secours. Dans les zones urbaines, la BTS doit assurer une couverture mais également écouler un trafic conséquent. Elle peut donc être équipée de deux à neuf TRX.

Afin d'écouler plus de trafic, les opérateurs préfèrent augmenter le nombre de BTS plutôt que d'augmenter le nombre de TRX par BTS. Ainsi, les interférences entre canaux utilisant les mêmes fréquences sont limitées.

IV.2.1.5.Caractéristiques

Type d'antennes

On peut distinguer les antennes **omnidirectionnelles** (qui émettent à 360°) des antennes bi-sectorielles (180° par antenne) ou tri-sectorielles (120° par antenne) qui sont les plus fréquentes car elles limitent les interférences entre canaux utilisant une même fréquence.

Taille de la cellule

Une BTS classique peut émettre jusqu'à 35 km au maximum. On parle de macro-cellule pour un rayon compris entre 2 km et 35 km et de petite cellule pour un rayon compris entre 500 m et 2 km.

Les micros BTS sont conçues pour les zones urbaines et définissent des micros cellules (rayon inférieur à 500 m).

IV.2.1.6.Classement

BTS normales

La norme GSM impose une sensibilité minimale de -104 dBm en GSM 900 et DCS 1800. Elle définit également plusieurs classes selon la puissance maximale d'émission avant couplage :

Numéro de classe	GSM 900	DCS 1800
1	320 W / 55 dBm	20 W / 43 dBm
2	160 W / 52 dBm	10 W / 40 dBm
3	80 W / 49 dBm	5 W / 37 dBm
4	40 W / 46 dBm	2.5 W / 34 dBm
5	20 W / 43 dBm	
6	10 W / 40 dBm	
7	5 W / 37 dBm	
8	2.5 W / 34 dBm	

Tableau I.1 : Puissance d'émission avant couplage

Micro BTS

En ce qui concerne les micros BTS, il n'existe que trois classes qui spécifient la puissance maximale d'émission avec couplage, ainsi que la sensibilité.

Numéro de classe	GSM 900	DCS 1800
Puissance maximale		
M1	80 mW / 19 dBm	500 mW / 27 dBm
M2	30 mW / 14 dBm	160 mW / 22 dBm
M3	10 mW / 10 dBm	50 mW / 17 dBm
Sensibilité		
M1	0.2 nW / -97 dBm	0.06 nW / -102 dBm
M2	0.6 nW / -92 dBm	0.2 nW / -97 dBm
M3	2 nW / -87 dBm	0.6 nW / -92 dBm

Tableau I.2 : Puissance d'émission avec couplage

IV.2.2. Le Contrôleur De Station de Base BSC [6]

IV.2.2.1. Vue Globale

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis. Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau de la communication qu'au niveau de l'exploitation.

Pour les fonctions des communications des signaux en provenance des stations de base, le BSC agit comme un concentrateur puisqu'il transfère les communications provenant

des différentes stations de base vers une sortie unique. Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base.

Dans le même temps, le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance. Il alimente aussi la base de données des stations de base. Enfin, une dernière fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet, le contrôleur gère les transferts intercellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre.

Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonné.

C'est donc un maillon très important de la chaîne de communication et il est, de plus, le seul équipement de ce sous système à être directement gérable (via l'interface X25 qui le relie au sous-système d'exploitation et de maintenance).

IV.2.2.2.L'équipement BSC

Le BSC est l'équipement le plus intelligent du sous système de base du réseau GSM. Dans ce qui suit, on propose une description des caractéristiques de cet équipement de deux points de vue : le point de vue norme et le point de vue réalisation.

IV.2.2.3.Le BSC comme décrit par les normes

Rôle du BSC

Les fonctions qu'assurent le BSC peuvent être classées selon le type d'équipement auquel il est connecté.

Du côté de la BTS, le BSC assure la gestion des ressources radio à savoir l'allocation des Ressources radio, le contrôle de la puissance d'émission de la BTS et du mobile suivant les mesures rapportées sur le canal SACCH, l'exécution des handover et évidemment l'acheminement du trafic vers le mobile ou vers le réseau cœur.

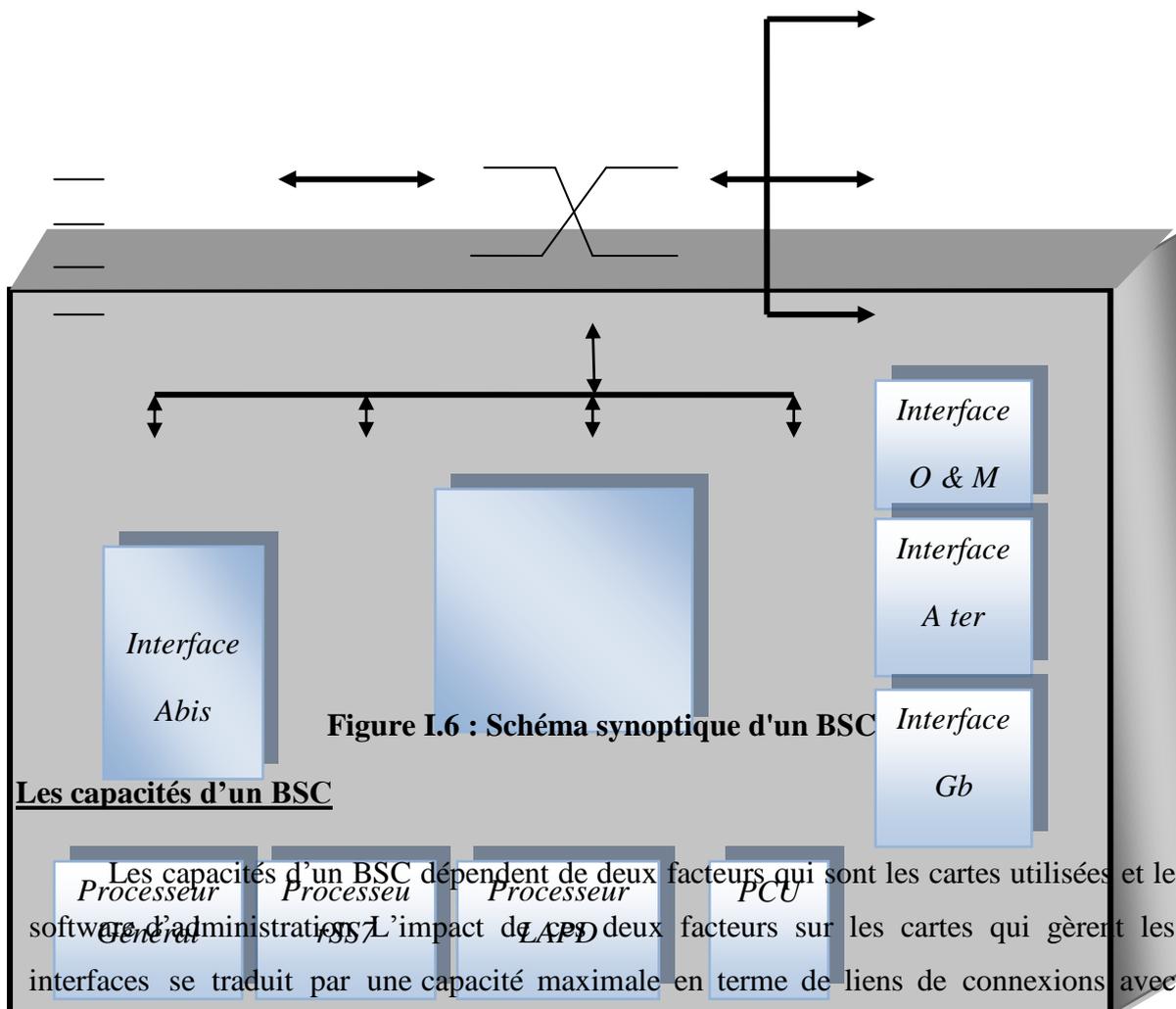
Du côté du MSC, le BSC joue le rôle d'un concentrateur de trafic et de signalisation sur l'interface Ater.

Du côté du SGSN, le rôle du BSC est joué par le PCU qui assure l'accès, l'allocation et la gestion du canal de données au mobile.

A fin de parvenir à assurer toutes ces fonctions, le BSC est aussi doté d'une fonction de commutation entre ses différentes interfaces qui sont l'interface Abis, l'interface Ater et l'interface Gb.

Architecture d'un BSC

Les différentes fonctionnalités d'un BSC sont réalisées par un ensemble de modules qu'il intègre. La figure ci-jointe représente ces principaux composants.



Les capacités d'un BSC

Les capacités d'un BSC dépendent de deux facteurs qui sont les cartes utilisées et le logiciel d'administration. L'impact de ces deux facteurs sur les cartes qui gèrent les interfaces se traduit par une capacité maximale en terme de liens de connexions avec l'équipement approprié du réseau (BTS, MSC, SGSN).

La rapidité du processeur SS7 détermine le nombre maximal de tentatives d'appel en heure chargée. Au niveau du PCU, l'influence de cette rapidité se traduit par une capacité maximale de traitement simultané de paquets de données. Quant au processeur LAPD, il agit sur le nombre maximal de TRx, cellules et BTS que peuvent supporter le BSC.

On en déduit alors que la capacité d'un BSC a trois aspects :

- L'aspect connexion qui traduit par le nombre de pores disponibles sur les interfaces Abis, Ater et Gb.
- L'aspect réseau qui se manifeste par une capacité maximale en termes de gestion de BTS, cellules et TRx.

- L'aspect trafic qui se traduit par une capacité maximale de traitement simultané de tentatives d'appels et de PDCH.

IV.3.Le sous système réseau NSS(network subsystem) [3][7]

Le sous système réseau (NSS) est l'interface entre le réseau téléphonique public commuté et les BSCs. Il est constitué de commutateurs et de bases de données utilisateurs. Le NSS est composé des entités fonctionnelles suivantes :

- ✓ Le commutateur de service mobile (MSC).
- ✓ L'enregistreur de localisation nominal (HLR).
- ✓ L'enregistreur de localisation d'accueil (VLR).
- ✓ Le centre d'authentification (AUC).
- ✓ L'enregistreur d'identité des équipements.

IV.3.1.Le commutateur de service mobile (MSC)

Assure les fonctions traditionnelles de la commutation téléphonique (commande d'appels, analyse des N°, taxation et transfert,etc...).

Cet élément est considéré comme le cœur d'un système cellulaire puisqu'il fait la gestion des appels et tout ce qui est lié à l'identité des abonnés, gère l'exécution des Handover, le dialogue avec le HLR et le VLR, et peut posséder plusieurs passerelles vers d'autres réseaux (RTCP, PLMN, etc,...), dans ce cas ils sont nommés GMSC (Gateway MSC).

IV.3.2.L'enregistreur de localisation nominal (HLR)

Le HLR (Home local Register) d'un opérateur, est une base de données, qui contient les données, c à d essentiellement les services de bases et les services supplémentaires qui ont été souscrites, le couplage entre le N° ISDN, l'identité mobile IMSI.

Le HLR contient aussi des informations sur la localisation du mobile qui sont mises à jour régulièrement par la procédure de « locating Updating » de telle sorte que, lorsqu'un appel est destiné à un mobile, le réseau puisse acheminer l'appel vers le MSC desservant la cellule où se trouve le mobile.

IV.3.3.L'enregistreur de localisation d'accueil(VLR)

Cette base de données contient temporairement des informations sur les abonnés qui visitent une région desservie par un MSC autre que celui où ils sont abonnés.

Ces informations proviennent du HLR auquel l'abonné est enregistré et indiquent les services auxquels l'abonné a souscrit.

IV.3.4. Le centre d'authentification (AUC)

Le centre d'authentification AUC, Authentication Centre, mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer les communications. Un AUC est en général associé à chaque HLR. L'ensemble peut être intégré dans un même équipement.

IV.3.5. L'enregistreur d'identité des équipements (EIR)

L'EIR est une base de données qui contient les caractéristiques des postes mobiles, les identités des terminaux (IMEI). Elle peut contenir une liste blanche de l'ensemble des N° d'homologation, une liste noir des équipements volés et interdits d'accès et une liste grise des terminaux présentant des dysfonctionnements. Le MSC interroge l'EIR pour, par exemple, vérifier le type de poste [est-il approuvé], vérifier si le poste n'a pas été volé [liste noire], statistiques,...

IV.4. Le sous système opération et maintenance OSS [3][8]

Permet de mémoriser et de contrôler les performances et l'utilisation des ressources de façon à offrir un niveau de qualité convenables aux usagers dans un réseau GSM l'OSS comporte un OMC-R (centre d'exploitation et de maintenance radio) et un OMC-N (centre d'exploitation et de maintenance réseau).

Le model adopté dans la plupart des cas est celui de l'architecture TMN. Il regroupe les fonctions d'administration commerciale, la gestion de la sécurité, le contrôle de la configuration du système, la maintenance (détection de pannes, tests d'équipements) etc.

V. Les bandes de fréquences allouées [3]

Un système radio-mobile a besoin d'une partie du spectre radio pour fonctionner. Pour une uniformisation au niveau mondiale, cette bande doit être allouée au niveau de l'UIT (Union International des Télécommunications), permettant une compatibilité réelle entre les différents organes du système à travers le monde entier.

NORMES	GSM 900	DSC 1800
Fréquence d'émission du terminal vers la station de base	890-915 Mhz	1710-1785 Mhz
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal	935-960 Mhz	1805-1880 Mhz

Bande de fréquentielle disponible	25+25 Mhz	75+75 Mhz
Méthode d'accès	AMRT/AMRF	AMRT/AMRF
Espacement des canaux Radio	200 KHz	200 KHz
Ecart duplex	45 Mhz	95 Mhz
Nombre de canaux radio par sens	124	375
Nombre de canaux de parole plein débit	8	8
Débit brut d'un canal radio	270 Kbit/s	270 kbit/s
Type de transmission	Numérique	Numérique

Tableau I.3: Caractéristiques générales des système GSM et DSC

VI. Les méthodes d'accès [2]

Dans les réseaux mobiles, le passage quasi obligatoire de l'information sur l'interface radio restreint les ressources disponibles ainsi que la bande passante dédiée aux utilisateurs. Pour une gestion efficace de l'interface radios communes à tous les utilisateurs, différentes méthodes d'accès aux ressources y sont employées en fonction de la quantité d'information à transmettre et du type de liaison souhaitée.

C'est ainsi que, pour l'interface radio d'un réseau mobile, cette ressource est appelée canal physique. Cette interface est partagée entre les différents utilisateurs d'une même cellule. Plusieurs techniques définissent la manière dont les mobiles accèdent à la ressource radio. Ces méthodes ont toutes pour principe de diviser la bande de fréquence généralement très limitée, en plusieurs canaux physiques assurant la communication tout en respectant les contraintes permettant d'éviter les interférences. Les principales méthodes d'accès utilisées par les réseaux mobiles sont la FDMA (Frequency Division Multiple Access) la TDMA (Time Division Multiple Access) et la CDMA (Code Division Multiple Access).

a- la FDMA :

La méthode d'accès FDMA ou Accès Multiple par Répartition de Fréquences (AMRF) repose sur un multiplexage en fréquences. Un tel procédé divise la bande de fréquence en plusieurs sous bande. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse ou carrier qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut

transporter un signal d'un seul utilisateur. La méthode FDMA est essentiellement utilisée dans les réseaux analogiques.

b- la CDMA :

La méthode CDMA ou accès Multiple par Répartition de Code (AMRC) autorise l'allocation de la totalité de la bande de fréquences de manière simultanée à tous les utilisateurs d'une même cellule. Pour ce faire, un code binaire spécifique est octroyé à chaque utilisateur. Ce dernier se sert de son code pour transmettre l'information qu'il désire communiquer en format binaire d'une manière orthogonale, c'est-à-dire sans interférence entre les signaux ou autres communications. En CDMA l'usage de codes permet une réutilisation de la même fréquence dans des cellules adjacentes. Cela offre un avantage révolutionnaire à cette méthode par réception, un problème d'auto – interférence entre en jeu, qui s'intensifie au fur et à mesure que le nombre de communications simultanées augmente.

C- La TDMA :

La technique d'accès TDMA ou Accès Multiple à Répartition Temporelle (AMRT) offre la totalité de la bande de fréquence à chaque utilisateur pendant une fraction de temps donnée, dénommée slot (intervalle de temps). L'émetteur de la station mobile stocke les informations avant de les transmettre sur le slot autrement dit dans la fenêtre temporelle qui lui a été consacrée. Les différents slots sont regroupés en une trame, le système offrant ainsi plusieurs voies de communication aux différents utilisateurs. La succession des slots dans les trames forme le canal physique de l'utilisateur. Le récepteur enregistre les informations à l'arrivée de chaque slot et reconstitue le signal à la vitesse du support de transmission. La TDMA s'applique principalement à la transmission des signaux numériques, contrairement au FDMA conçue pour une transmission analogique. Toute fois la combinaison des deux techniques est envisageable. Comme dans le cas du GSM900 ou DSC1800.

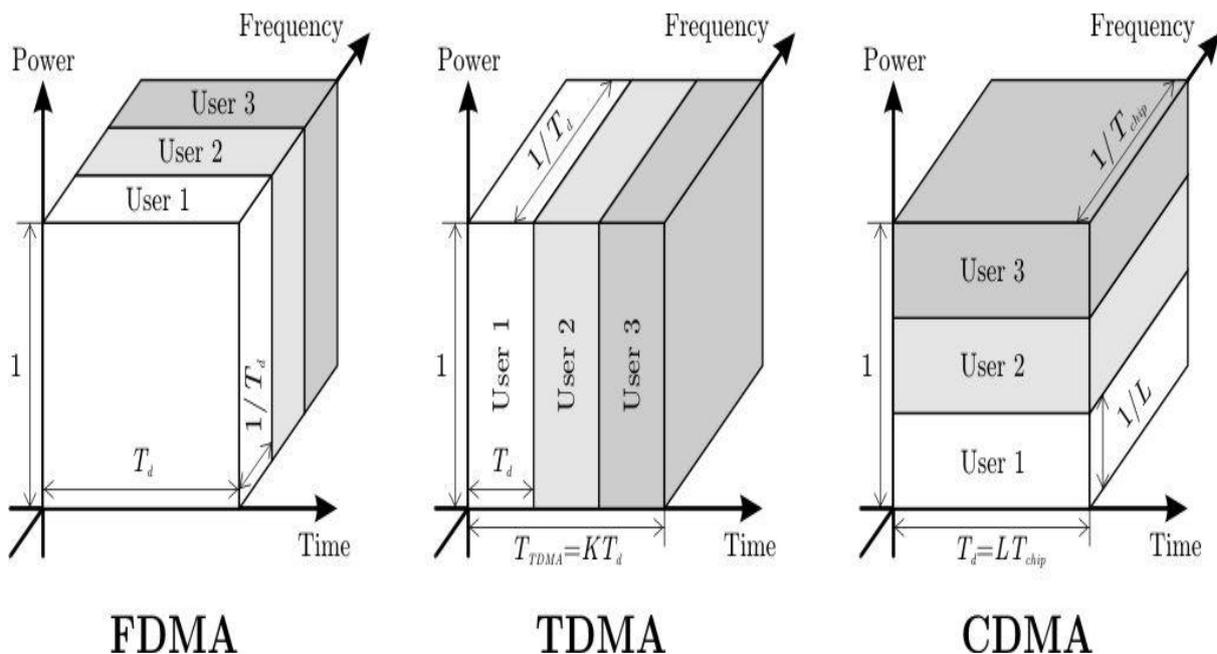


Figure I.07 : Méthodes d'accès

VII. Classification des canaux radio[1][2]

Pour être mobile, les terminaux d'un système de communications ne doivent pas être reliés entre eux physiquement au réseau. L'interface radio entre le mobile et la BTS, en ce qui concerne la couche physique, est constitué d'une série de canaux physique dont le débit brut est de l'ordre de 24,7 Kbit/s ces canaux physiques sont utilisés soit pour le trafic (parole ou données) soit pour la signalisation.

VII.1.Les canaux physiques

Le GSM900 utilise deux bandes de fréquences de largeur de bande de 25 Mhz.
 La voie montante : 890-915 MHz est utilisé dans le sens mobile vers la BTS (uplink).
 La voie descendante : 935-960 MHz est utilisé dans le sens BTS vers le mobile (downlink).
 Ainsi, la bande totale allouée au système et divisée en deux sous bandes séparées par un intervalle fréquentiel qui n'est pas attribué au système, appelée écart duplex égal à 45 MHz.

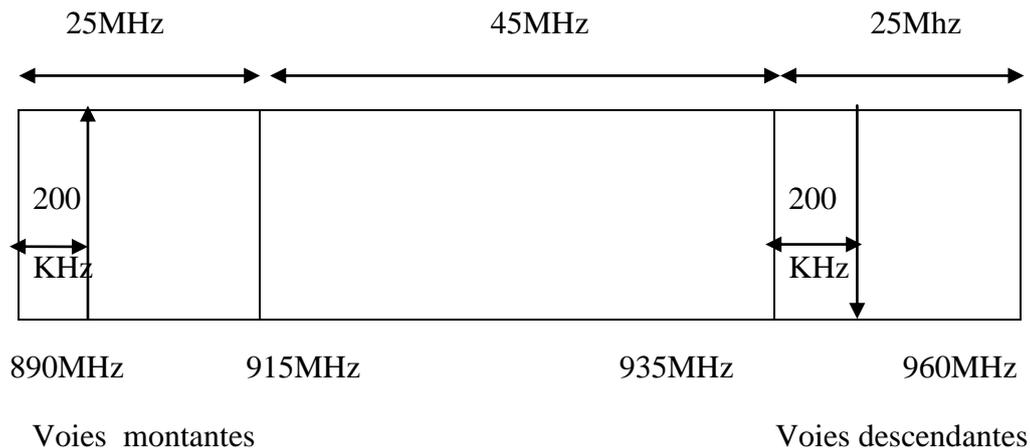


Figure I.8 : Bande Fréquentiel du GSM900

Soit au total 124 paires de fréquences porteuses (RFCH : radio frequencies channel) sont utilisées, espacées de 200 KHz (exemple : la paire 890.2/935.2) Chaque cellule dans le réseau cellulaire dispose d'un certain nombre de paires habituellement comprise entre 1 et 15.

Le spectre est ensuite réparti dans le temps par la méthode d'accès : AMRT (TDMA) : chaque porteuse est divisées dans le temps en 8 TS (TS : time slot= intervalle de temps) d'une durée égale à :

$$S_{lot} = (75/130) * 10^{-3} \text{ soit environ } 0.5769 \text{ ms.}$$

Les slots sont numérotés de 0 à 7, et chaque TS est divisé en 156.25 périodes de bit, accueillant un élément de signal radioélectrique appelé Burst (salve) de durée 0.546 ms, un peu plus petite que TS à cause d'un temps de garde entre TS (time slot) égal à 8.25 bits. La trame TDMA, est constituée donc de 8 TS pour une durée de 4.615 ms.

Un Burst représente l'agencement des informations dans un slot TDMA. Il existe plusieurs types de Burst, dédiés à des fonctions particulières, telles que la synchronisation, l'accès initial où le plus couramment, la transmission de données. Dans ce dernier cas, on parle Burst normal, qu'on peut illustrer de la manière suivante.

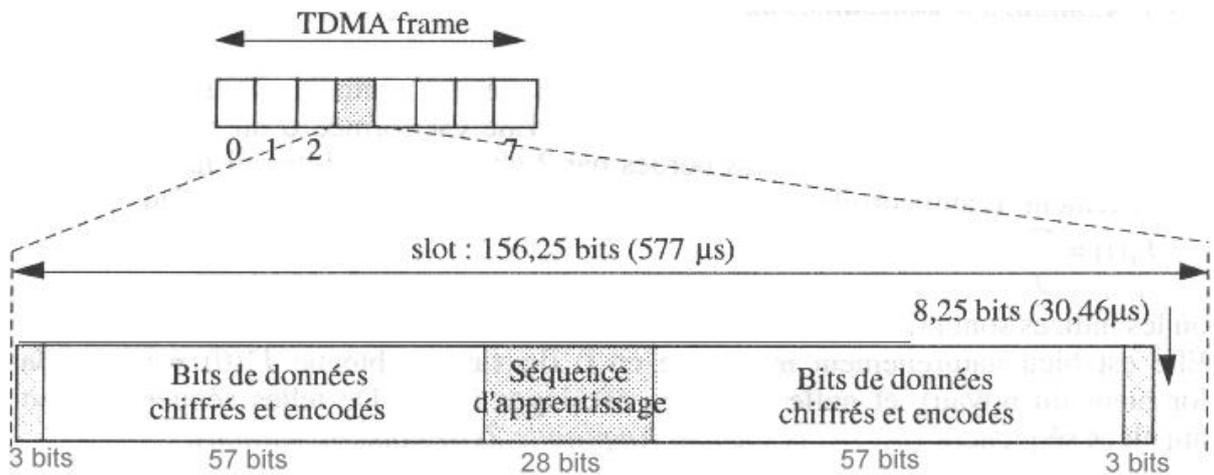


Figure I.9 : Structure d'un Burst

En résumé, un canal physique est défini par, l'occurrence (la répétition périodique) d'un time slot dans la trame TDMA, sur une fréquence particulière. Les canaux physiques permettent de transporter différents types de canaux logiques de débits variés.

VII.2. Les canaux logiques

Alors que les canaux physiques ne font que transporter des informations quelques soient leurs natures, les canaux logiques permettent cependant de distinguer les différents types d'informations circulant dans le système (Figure I.10), il existe deux catégories :

- ✓ Les canaux de trafic (traffic channel).
- ✓ Les canaux de commandes (control channel).

VII.2.1. 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.

La classification selon l'usage (voix/données) est la suivante :

Parole plein débit: TCH/FS (full rate: speech)

Demi-débit : TCH/HS (half rate : speech)

Données : 9,6 Kbit/s plein débit : TCH/F 9.6

4,8 Kbit/s plein débit : TCH/F 4.8

4,8 Kbit/s demi-débit : TCH/H 4.8

2,4 Kbit/s demi-débit : TCH/H 2.4

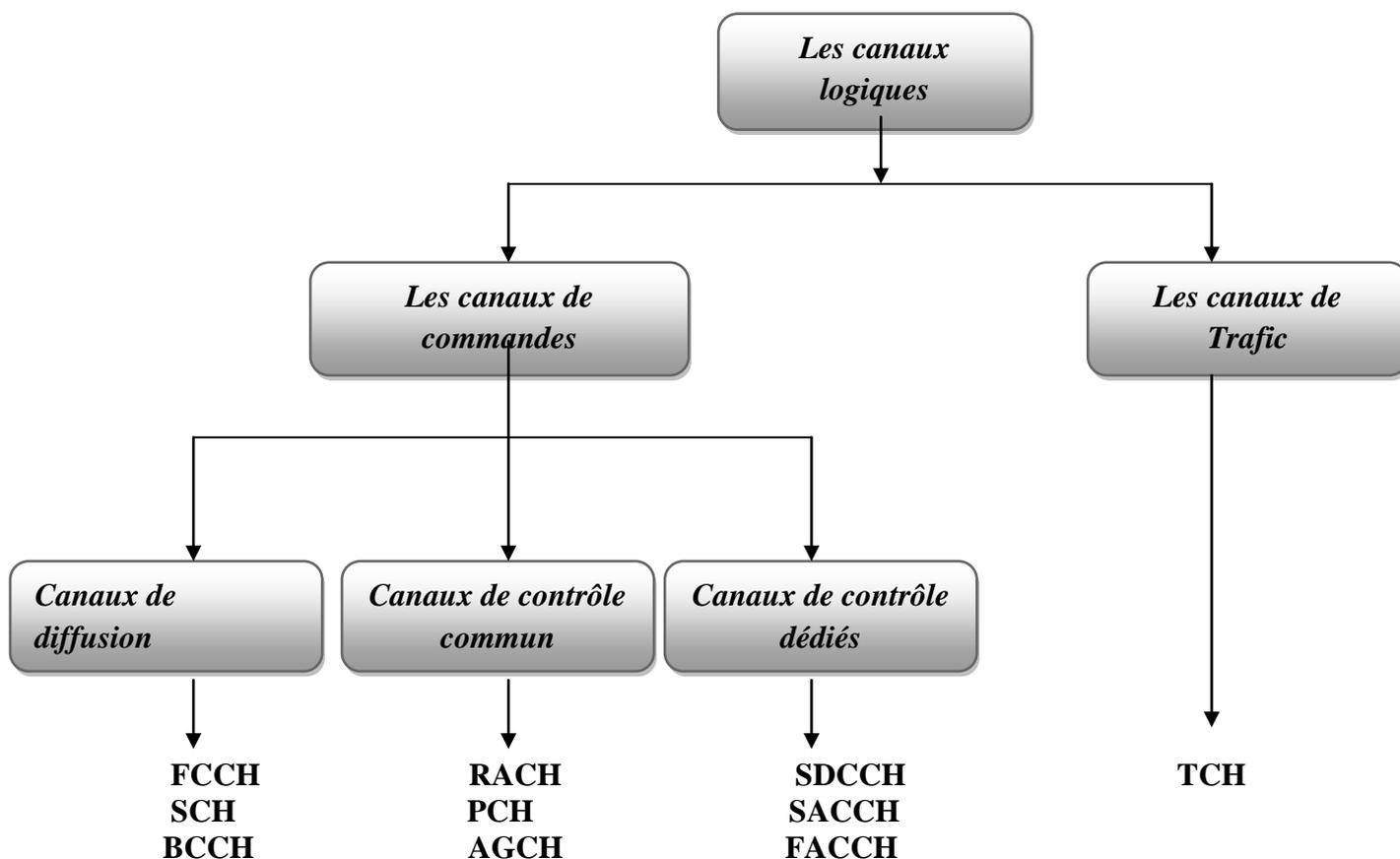


Figure I.10: Classification des canaux logiques

VII.2.2. Les canaux de commande

Les canaux de commande véhiculent le trafic de signalisation et se subdivisent en 3 catégories : les canaux de diffusion (“broadcast”), les canaux communs (“common”) et spécifiques (“dedicated”).

Table de canaux de diffusion

Nom	Signification	Sens mobile ↔ réseau	Usage
FCCH	Frequency Correction Channel	←	Transmis d’une manière fréquente pour faciliter au mobile de se caler sur la bonne fréquence. Lorsque le mobile détecte le FCCH, il cherche le SCH pour se synchroniser

SCH	Synchronisation Channel	←	Transporte les informations Relatives à la synchronisation Sur la trame TDMA (numéro De la trame, l'identité du site, ...)
BCCH	Broadcast Control Channel	←	Transmis tout le temps pour Diffuser les informations Relatives à la configuration De la BTS, il transporte les Informations suivantes : LAI, CI, la liste des Fréquences utilisées et des Cellules voisines à balayer Par le MS.

Table des canaux communs (CCCH)

Les canaux de commande communs sont combinés sous l'appellation CCCH (''Communs Control Channel''). Les combinaisons utilisées sont RACH + PCH où RACH + AGCH.

Nom	Signification	Sens Mobile ↔ réseau	Usage
PCH	Paging Channel	←	Pour appeler un mobile en Cas d'appel à l'arrivée
RACH	Random Access Channel	→	Transmis par le mobile pour demander l'accès au réseau.

			Il peut être utilisé pour Initialiser un appel ou pour Répondre à un message de paging.
CBCH	Cell Broadcast Channel	←	Utilisé pour diffuser des informations à tous les mobiles dans la même cellule (vol du temps au canal SDDCH)
AGCH	Access Grant Channel	←	Emis par la BTS pour allouer Un canal dédié au mobile (un SDCCH).

Table des canaux spécifiques

Spécifique pour un mobile (MS) dans une communication point à point et bidirectionnel : MS -> BS et BS ->MS

Ils sont 2 types :

- Autonomes (“stand-alone”)
- Associés à un autre canal logique dans un canal physique.

Nom	Signification	Type : Associé/autonome	Usage
SDCCH	Stand-Alone Dedicated Control Channel	Autonome	Alloué à une connexion d’un mobile unique pour L’établissement d’un appel ou Pour les besoins d’un Handover.

SACCH	Slow Associated Control Channel	Associé avec un canal De trafic (TCH) ou avec SDCH ←	Transmission de mesures Dans les 2 sens Mobile<-->BTS Commande d'alignement et De puissance dans le sens BTS→mobile
FACCH	Fast Access Control Channel	Associé avec un canal De trafic (TCH)	Signalisation rapide Mobile<-->BTS(vol-de bloc Dans le TCH, Notamment dans le cas des Handovers. Et les services Supplémentaires.

VII.3.Association des canaux logiques et canaux physiques

Comme expliqué précédemment, le GSM a défini des canaux physiques, qui caractérisent la façon dont sont transmises physiquement les informations sur l'interface radio, ainsi que des canaux logiques, qui représentent un ensemble d'informations relatives à une fonction particulière à transmettre sur cette interface.

La norme GSM explicite aussi, la manière avec laquelle ces canaux logiques utilisent les canaux physiques pour le transport des informations.

C'est le mapping, ou association, des canaux logiques et des canaux physiques.

Tous les canaux logiques sont associés à un Burst normal, à l'exception des canaux suivants.

- **FCCH** : le Burst est composé de 148 bits, tous égaux à 0, ce qui après modulation, donne une fréquence pure, permettant au mobile de corriger la dérive de sa référence locale de fréquence donné par les oscillateurs locaux.
- **SCH** : la séquence d'apprentissage est plus longue (64 bits), et, corollairement, les deux blocs d'information sont plus courts (39 bits), ce qui facilite la synchronisation temporelle du mobile.
- **RACH** : la séquence est plus longue (41 bits), de même que le temps de garde, d'une durée d'environ 68 bits ce qui permet de pallier l'absence d'indication de compensation temporelle (timing advance) puisque le mobile n'est pas encore entré dans le réseau.

- **Principe** : il y'a plusieurs combinaisons possibles d'affectation de canaux logiques sur un même canal physique.

En fonction des débits requis des canaux logiques, les ressources physiques leur sont allouées à des périodes différentes, au rythme trame ou multi-trame, par exemple :

- (1) TCH/FS + SACCH associé
- (2) 2TCH/HS + 2 SACCH
- (3) BCH + CCCH
- (4) 8 SDCCH (1 SDCCH a un debit d'environ 0,8 Kbit/s)
- (5) 4 SDCCH + BCCH + CCCH

Il y a 2 structures de multi-trame:

Une multi-trame à 26 trames et une autre à 51 trames. Celles-ci sont organisées en super trames et hyper trames.

En résumé la multi-trame à 51 trames du TDMA est utilisée pour transporter les canaux BCCH, FCCH, SCH, AGCH, PCH, RACH-SDCCH (et son SACCH associé), alors la multi-trame à 26 trames est consacrée aux canaux de trafic TCH et aux canaux de signalisation associés FACCH et SACCH.

VIII. Les interfaces réseaux [1][2]

Les interfaces sont des composantes importantes du réseau car elles assurent le dialogue entre les équipements et permettent leur inter fonctionnement.

- L'interface radio 'UM' est localisée entre la station mobile et la station de base (MS*BTS). C'est l'interface la plus importante du réseau.
- L'interface 'A-bis' relie une station de base à son contrôleur (BTS*BSC).
- L'interface 'A' se situe entre un contrôleur et un commutateur (BSC*MSC).
- L'interface 'E', constitue la liaison inter MSC réalisée par une couche physique utilisant les circuits 2 Mbit/s et une liaison de données utilisant le protocole CCITT N°7.
- L'interface 'B' relie le registre des abonnés visiteurs (VLR) au MSC.
- L'interface 'C' relie le registre des abonnés locaux (HLR) au MSC.
- L'interface 'D' relie les deux bases de données HLR et VLR.
- L'interface 'G' c'est la liaison inter VLR.

- L'interface passerelle, c'est une interface GMSC, et le réseau public et s'appuie sur le protocole sémaphore CCITT N°7 et sont utilisées pour le transport du trafic et des données.
- L'interface X25 relie un contrôleur au centre d'exploitation (BSC*OMC). Le support de la liaison est fourni par un réseau de transmission de données.

IX. Déroulement des communications

IX.1. Les définitions élémentaires

IX.1.1. 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.

En réalité on distingue deux types de Handover, intercellulaire (hard-handover) et intracellulaire (soft-handover) correspondant à 3 cas de figures.

➤ Le Handover intracellulaire :

Le Handover entre canaux radio d'une même BTS ceci peut se produire par exemple, dans les situations suivantes :

- Le canal radio utilisé par la communication est l'objet d'interférences trop fortes.
- Le canal radio utilisé par la communication est mis hors service par la maintenance ou par défaillance.

➤ Le Handover intercellulaire :

- a) le Handover entre BTS du même commutateur MSC, en vue d'assurer la continuité de la communication quand un mobile passe d'une cellule à une autre cellule.
- b) Le Handover entre BTS de différents MSC du même PLMN.

IX.1.2.. La Localisation

Du fait de sa mobilité, la station mobile n'a pas de localisation fixe, donc pour être joint, il faut que le système ait l'information de sa localisation en permanence, pour cela, quatre types de localisation sont générés :

- Normal LU : lorsque l'abonné allume son poste mobile.
- Periodic LU : pour permettre au système de savoir que le MS est toujours en veille.
- IMSI ATTACH : lorsque l'abonné mis sous tension son mobile.
- IMSI DETTACH : lorsque l'abonné éteint son poste mobile.
- Le système a besoin de connaître à n'importe quel moment la localisation de l'abonné.

IX.1.3. 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 ; on parle alors de l'opérateur du roaming par les abonnées mobile.

IX.1.4. Le paging

Le paging est un message de recherche pour un 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 Mobile s'effectue en utilisant le numéro IMSI ou TMSI.

IX.2.Etablissement d'un appel [^1]

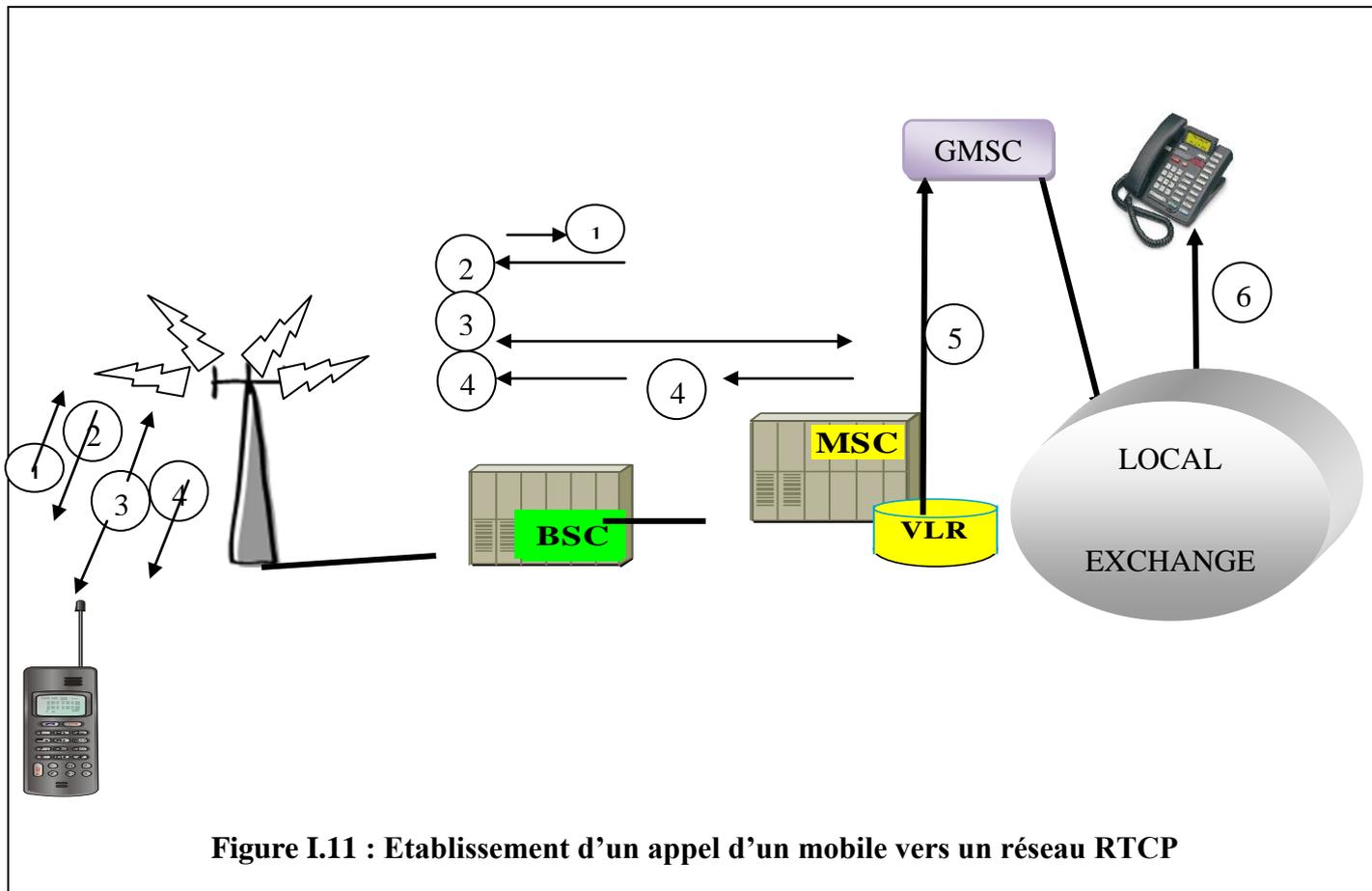
Il existe trois cas de figures :

- Appel d'un MS vers un MS.
- Appel d'un MS vers un fixe.
- Appel d'un fixe vers un MS.

On va décrire les deux derniers cas :

IX.2.1. Appel d'un Mobile (MS) vers un fixe

Décrivons ce qui survient lorsqu'un abonné désire établir une conversation téléphonique.



Etudions la signalisation utilisée pour établir un appel téléphonique :

- 1- Le MS utilise RACH, pour demander un canal de signalisation SDCH 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 (Baring 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 ou il y'aura le filtrage des appels.

- 6- Le GMSC transmet à son tour le numéro au central du PSTN, qui établit la liaison avec l'abonné B dans le PSTN. B répond et la communication est établie.

IX.2.2. Appel d'un fixe vers Mobile(MS)

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

Étudions la procédure d'établissement d'un appel d'un abonné du RTCP à destination d'un abonné mobile.

- 1- L'abonné RTCP compose le MSISDN (numéro d'appel d'un MS). Le MSISDN est analysé dans le central du RTCP, 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 le GMSC et ensuite probablement par l'intermédiaire du RTCP.
- 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 réachemine l'appel au MSC/VLR directement ou par l'intermédiaire du RTCP, en y ajoutant les informations provenant du RTCP.
- 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.

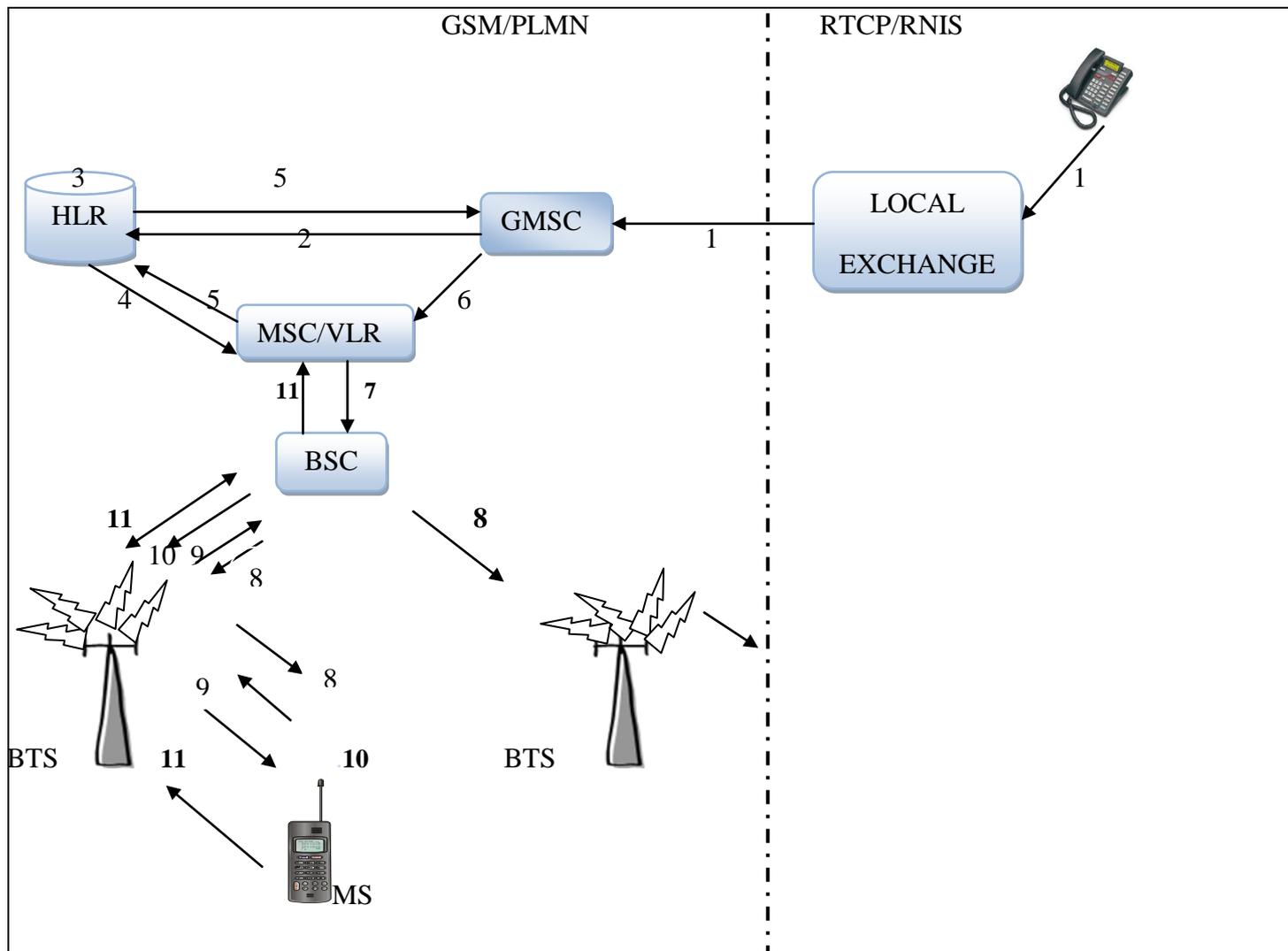


Figure I.12: Appel du RTCP, en direction du mobile(MS)

X. Les services offerts par un réseau GSM^{[1][^3]}

Les principaux services fournis par le GSM à ses abonnés se répertorient en trois catégories, qui sont :

X.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, qui sont :

- De transfert d'information (mode de transfert circuit ou paquet, débit de transfert, type d'information,.....).
- D'accès (canal et débit d'accès, commerciaux,.....).
- Généraux (qualité de services, commerciaux,....).

X.2. Les télé services

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

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

X.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, renvoi d'appels, etc...

X.I. Conclusion

Le réseau GSM est un réseau de téléphonie mobile constitué d'une multitude d'organes (MS, BSS, NSS, OSS). Ces organes sont raccordés entre eux grâce à une liaison radio (canaux physique et logique) où via des interfaces, et aussi des liaisons physiques (câblage).

La station de base représente l'élément clef du réseau GSM, car elle assure la liaison du MS avec le réseau. Cette liaison consiste à échanger des informations codées et multiplexer (Trame de multiplexe TDMA, CDMA, FDMA).

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 fréquence est le seul moyen à la disposition des opérateurs leurs permettant de couvrir des zones d'étendue illimitée et de densité de trafic théoriquement infinies, avec une bande de fréquence fixe et illimitée.

Dans le prochain chapitre nous aborderons les notions de trafic, et le dimensionnement d'un réseau cellulaire tous en prenant compte des facteurs qui peuvent nuire à la qualité de service de réseau.

Chapitre II:

Généralités sur la propagation radio

I. Introduction

Le réseau GSM est caractérisé par sa liaison radio, c à d que les émetteurs et récepteurs des MS et BTS (Station Mobile, Base Transiver Station) s'échangent des signaux au biais d'ondes électromagnétiques sans avoir recours aux canaux de transmission physique (fils, câbles,...etc).

Les ondes électromagnétiques se rattachent à des phénomènes électriques et magnétiques. Elles sont caractérisées par la présence de deux champs variables ; l'un électrique, l'autre magnétique. La notion de champ désigne toute région de l'espace dans laquelle se manifeste l'action de certaines forces : électriques dans le cas d'un champ électrique, magnétiques dans le cas d'un champ magnétique.

II. L'onde électromagnétique[7]

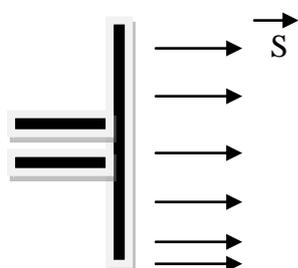
Une onde électromagnétique (OEM) est constituée d'un champs électrique \vec{E} , et d'un champs magnétique \vec{H} .

Dans le vide, ces deux champs sont orthogonaux et transverses (perpendiculaires à la direction de propagation) : c'est une onde TEM (Transverse Electromagnétique).

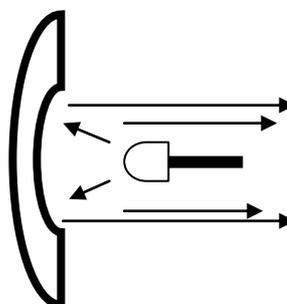
II.1. Génération d'onde

Une onde électromagnétique se propageant dans l'espace peut être produite :

- Par des courants, représentés vectoriellement par une densité de courant J en A/m^2 c'est le cas des antennes filaires.
- Par une ouverture, dans un volume où règne un champ électromagnétique, par exemple l'extrémité ouverte d'un guide d'onde. C'est le principe des antennes paraboliques.



Dipôle élémentaire (a)



Antenne parabolique (b)

Figure II.1 : Schéma Dipôle et parabole

II.2. Zones de rayonnement d'une antenne

On distingue pour chaque type d'antenne trois zones de rayonnement :

- Zone de Rayleigh (ou zone de champs proche).
- Zone de Fresnel.
- Zone de Fraunhofer (ou zone de champs lointains).

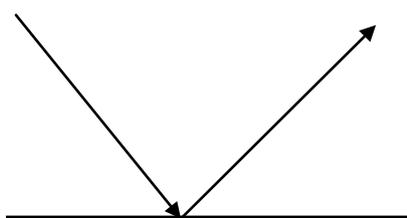
III. Les mécanismes de propagation [10]

III.1. La réflexion

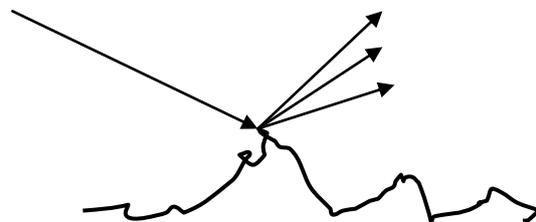
Elle survient lorsque l'onde heurte la surface relativement conductrice d'un obstacle dont les dimensions sont plus grandes que la longueur de l'onde radio incidente. L'onde sera alors réfléchi suivant un angle d'incidence (loi de Descartes).

L'onde réfléchi peut augmenter ou diminuer le niveau de champs à la réception, et cela dépend de la conductivité du corps réflecteur, plus ce dernier est conducteur, plus le signal est puissant.

Comme le montre la figure suivante, il existe deux types de réflexion :



Réflexion spéculaire



Réflexion diffuse

Figure II.2 : Types de Réflexion

III.2. La diffraction

La diffraction intervient dès que les dimensions de l'obstacle ne sont plus infiniment grande devant la longueur d'onde.

De ce fait l'onde change de trajet à cause d'un pique comme celui du bord ou les toits des bâtiments. La diffraction en général permet aux signaux d'atteindre les zones non couvertes et de s'y propager normalement.

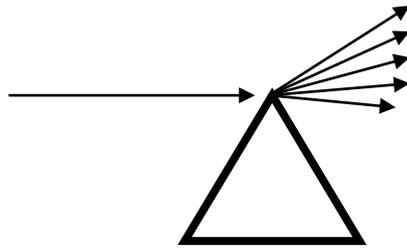


Figure II.3 : Diffraction

III.3. La réfraction

Facteur très important dans le positionnement des sites macro-cellulaires, à cause de la variation de l'indice de réfraction de l'atmosphère, les ondes radio se propagent suivant des courbes, pour cela la zone de couverture effective d'un émetteur est plus large que celle calculée.

III.4. L'atténuation

Elle survient chaque fois que l'onde croise un obstacle dans son trajet, et que celui-ci absorbe une partie du signal. Cet effet est considérable en GSM, car dépendant du milieu, du matériau, des dimensions de l'objet ou obstacle, et aussi de la longueur d'onde utilisée.

Ainsi les bâtiments, les arbres, voir le corps humain peuvent atténuer le signal radio, mais à des degrés d'importance divers .

III.5. La polarisation

La polarisation d'une onde électromagnétique TEM (Transverse ElectroMagnetique) est le type de trajectoire que décrit l'extrémité du champs E au cours du temps dans le plan transverse. Il existe trois types de polarisation :

- ✓ Polarisation linéaire : le champ \vec{E} n'a qu'une composante variant sinusoïdalement, sa trajectoire est donc un segment de droite. Un dipôle génère classiquement une Onde EM polarisée linéairement.
- ✓ Polarisation circulaire : le champ E a deux composantes E_θ et E_φ de même amplitude et déphasées de 90° , son extrémité décrit un cercle.
- ✓ Polarisation elliptique : la polarisation elliptique correspond au cas général d'un champs \vec{E} comprenant deux composantes E_θ et E_φ d'amplitudes et de phases quelconques.

le changement de polarisation

Il peut survenir à tous moment, en association avec les effets de propagation (réflexion, diffraction, réfraction, etc..), sous l'influence des conditions atmosphérique et géométrique terrestre, le signal arrivera déphasé, par conséquent l'antenne réceptrice ne captera qu'une partie, puisse qu'il ne corresponde plus à la polarisation prévue.

IV . Les antennes en radiocommunications mobiles (GSM/DSC)[8][^2]

L'antenne est un dispositif de couplage entre une ligne de transmission et l'espace environnant. Il permet par l'utilisation des propriétés de l'onde électromagnétique d'acheminer les informations d'un point à un autre à travers l'espace libre.

IV.1. Paramètres fondamentaux d'une antenne

En dehors des aspects mécaniques, les principales caractéristiques d'une antenne sont :

- ✓ La bande de fréquence de fonctionnement.
- ✓ L'impédance (en général 50Ω).
- ✓ Le gain.
- ✓ Le diagramme de rayonnement.

Les deux dernières classes de paramètres définissant la façon dont l'antenne rayonne dans les différentes directions ; elles sont particulièrement importantes.

IV.2. Antennes des terminaux GSM/DSC

Les antennes des portatifs et des mobiles sont généralement des dipôles de longueur d'onde $\frac{\lambda}{4}$ appelés « antennes quart d'onde ».

Ce type d'antenne repose sur l'hypothèse que la surface de support (sol, toit d'une voiture) est conductrice et qu'elle réfléchit les ondes.

La longueur de l'antenne apparaît doublée et dans le plan horizontal, les antennes sont omnidirectionnelles.

Le gain théorique est alors de 3dBi ou 5,15 dBi. En pratique le support n'est pas un réflecteur parfait et le gain considéré est 0 dBi à la fois pour les portatifs et pour les antennes sur véhicule.

Pour les antennes montées sur un véhicule, il est possible de disposer d'antennes colinéaires constituées de deux bras $\frac{\lambda}{2}$ qui présentent un gain typique de 5dBi.

Ces antennes sont dites « à gain ».

Cependant, il est nécessaire de prendre en compte l'environnement immédiat de propagation. Le rayonnement d'une antenne placée sur l'aile d'un véhicule, n'est pas le même que lorsqu'elle se trouve au centre du toit. Pour les portatifs, le corps humain situé à proximité de l'antenne induit un masque supplémentaire typique de 3dB.

V. Etude de la liaison radio mobile [7]

Considérons une liaison radio, permettant à un mobile de recevoir un signal émis par la station de base. Cette liaison est caractérisée par les éléments représentés sur la figure suivante :

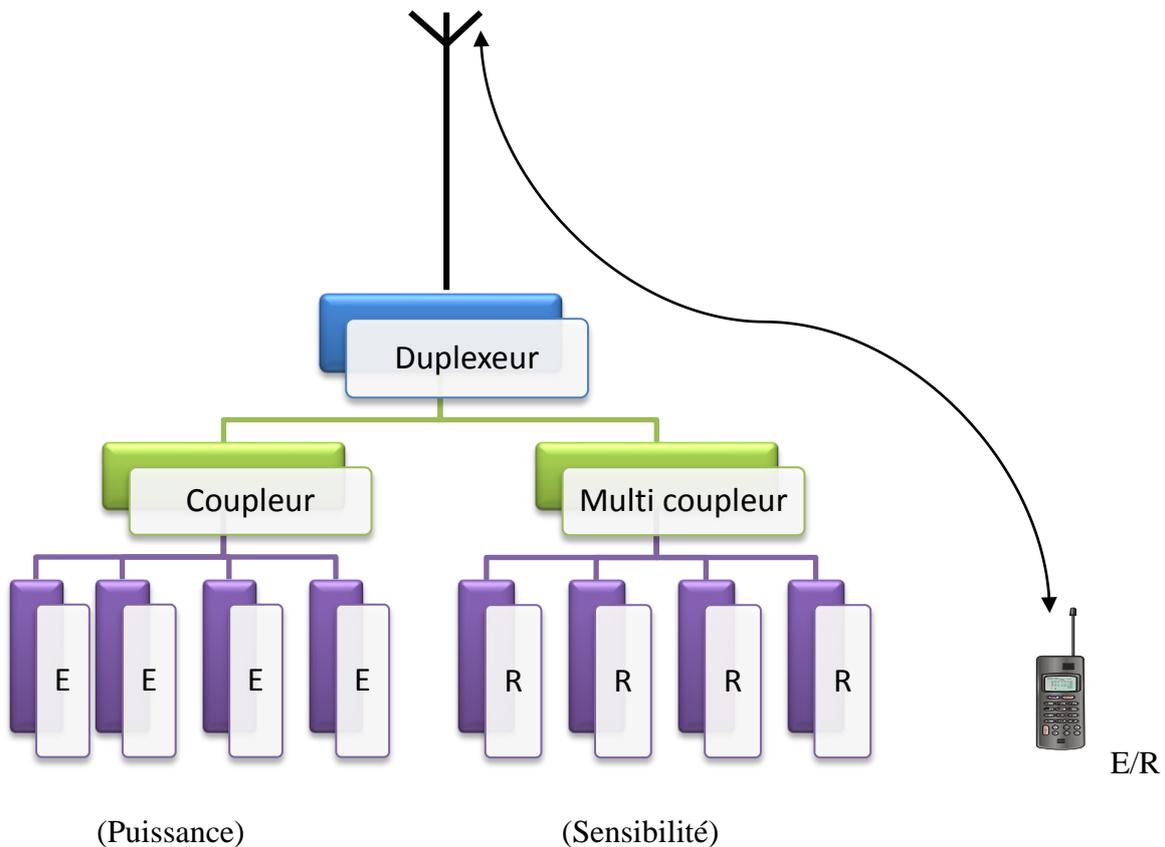


Figure II.4 : Schéma bloc général d'une liaison radio mobile

Notation :

E : Emetteur, R : Récepteur.

Exemple de configuration possible (tous les éléments ne sont pas présents dans toutes les configurations).

- ✓ **Un des émetteur de la station de base (Tx)** : génère une onde électromagnétique modulée à la fréquence désirée.
- ✓ **Un coupleur** ou (combiner) : permet de superposer les ondes produites et se comporte comme un guide d'onde.
- ✓ **Un duplexeur** : sépare les voies montantes et descendantes.
- ✓ **Une antenne** : appelée aussi (Aérien) assure la transition entre le guide d'ondes et l'espace libre dans lequel, ces ondes vont se propager.

- ✓ **L'espace** : permet la propagation des ondes différents obstacles, diffracteurs ou réflecteurs, influent sur la propagation.
- ✓ **Le signal** : est reçu par l'antenne du terminal mobile, transmit par un câble (qui peut être court) vers l'émetteur-récepteur. Le mobile ne comprend généralement pas de dispositifs de couplage car il est constitué d'un seul émetteur-récepteur.

NB : chacun de ces éléments n'est pas forcément présent dans toutes les configurations, il est possible, par exemple, d'installer des antennes d'émission et de réception séparées pour supprimer le duplexeur.

VI. Zones de Fresnel

Elles constituent une multitude de zones de couvertures différentes, formant chacune un ellipsoïde autour de l'axe principale du trajet direct de propagation chaque zone équivaut à un secteur spécifié selon la longueur d'onde et la fréquence du signal.

Si un signal est réfléchi par un obstacle qui dépasse la zone, cela signifie que le signal réfléchi aussi bien le signal du trajet direct arrivera au récepteur.

Ainsi les ondes réfléchies dans les premières zones de Fresnel arriveront au récepteur en déphasage avec celles empruntant le chemin direct et s'y combineront nuisiblement.

Afin d'éviter ces réflexions dans le premier ellipsoïde de Fresnel, qui nuisent considérablement à la couverture radio du réseau, le planificateur fait recours aux règles de dégagement.

VII. Ligne de visibilité

En radiocommunications, la liaison entre l'émetteur et le récepteur est fortement influencée par les conditions de visibilité.

Une distinction importante apparaîtra donc selon que les émetteurs et récepteurs sont en condition de :

- Vision directe (in Line Of Sight) ; cas ou aucun obstacle n'est rencontré sur le trajet direct (ou ligne droite) entre émetteur et récepteur.
- Non visibilité (No Line Of Sight) ; cas ou il n'existe pas de trajet direct ne rencontrant pas d'obstacle entre l'émetteur et le récepteur.

Dans la pratique, la transmission radio requiert un chemin dégagé entre les antennes, donc une vision direct (LOS).

Afin d'avoir un trajet direct ou ligne de visibilité direct (LOS), aucun obstacle ne doit exister entre les deux points distants à relier. Les obstacles suivants pourraient empêcher la visibilité :

- Dispositifs topologiques, tels les montagnes, collines, vallées...
- La courbure de la terre.
- Les bâtiments et d'autres objets synthétiques.
- Les arbres.

D'autre part, le cas de non visibilité NLOS (No Line Of Sight) peut parfois aboutir à diverses phénomènes affectant la transmission des signaux, parmi lesquelles les évanouissements du signal ou Fading, dues à l'effet de masque, ou encore aux phénomènes de trajets multiples.

VIII. Effets de masque

L'atténuation la plus forte que peut subir la puissance du signal est due aux obstacles naturels ou artificiels. Comme la longueur d'onde est de l'ordre de 30 cm pour le GSM900 et de 15 cm pour le GSM1800, il est évident que des objets tels que les bâtiments, les véhicules, les arbres, le corps humain et même les animaux peuvent affecter l'onde lors de sa propagation d'une manière ou d'une autre.

Cet effet a pour dénomination « Effet de Masque » ou Mask Effect ou Shadowing.

La puissance du signal va donc varier en fonction du milieu de propagation, ainsi aux fréquences spécifiques aux communications radio-mobiles (150 à 900 Mhz), l'effet d'atténuation le plus important est dû à l'effet de masque, ou les bâtiments et les collines créent des zones d'ombres radio.

De ce fait le problème des masques est le plus sévère dans les centres urbaines fortement construits.

VIII.1. Atténuation due aux arbres

Les arbres ont un effet atténuant important sur le signal radio. Dans les zones urbains où les arbres sont peux nombreux, leurs effets sont négligeables. L'atténuation des arbres varie en fonction de leurs hauteur, forme et densité de la liaison, de l'humidité ambiante, etc.

Il existe de nombreux modèles sur l'atténuation due à la végétation, parmi lesquelles, le modèle de Weissberger qui fait apparaitre une décroissance exponentielle, sur son domaine de validité le modèle est présenté comme suit :

Affaiblissement A_{dB}	Formule	Domaine de validité
$A_{dB} =$	$1.33F^{0.284} \cdot D^{0.588}$	$14 \leq D \leq 400$ m
$A_{dB} =$	$10.45F^{0.284} \cdot D$	$0 \leq D \leq 14$ m

Tableau II.1 : Formule d'affaiblissement selon le domaine de validité

Notation :

A : est la perte en dB, F : est la fréquence en GHz et D : la distance parcourue par l'onde à travers les arbres en mètres.

Généralement, les planificateurs radio prévoient une marge de 10dB quand la zone de service est fortement remplie d'arbres perdant leurs feuil en hiver.

VIII.2. Atténuation due à l'atmosphère

L'atténuation à travers l'atmosphère d'une liaison radio mobile nécessite la connaissance de différents paramètres sur l'environnement physique et atmosphérique de l'espace de propagation.

Ainsi pour simuler l'établissement d'une liaison radio avec les mobiles, le planificateur doit regrouper les différentes données (mesures) concernant les indices de réfraction qui varie en fonction de la pression, la température, les conditions atmosphériques de saisons et aussi des pluies, etc.

Il doit aussi tenir compte, en modélisant sa liaison radio l'aspect de la courbure de la surface terrestre.

IX. Les trajets multiples [7]

Une onde radio se propage dans tout l'espace, ou suivant le contexte environnemental, elle va être réfléchiée ou absorbée par les obstacles rencontrés.

En milieu urbain, ou il y'a de nombreux obstacles entre l'émetteur et le récepteur, le mobile reçoit des ondes sujettes aux phénomènes de diffraction et réflexions, qui se combinent après avoir effectué des trajets de longueurs différentes ou **trajets multiples** appelé aussi «multipath waves » en anglais.

Dans certains cas, ces ondes sont les seules reçues par le récepteur. Les effets des trajets multiples sont appelées effets à variation rapide, comparativement aux modèles de prédictions normalisés comme le COST 231 « Okumura Hata » qui sont nommés effets à variation lente.

En résumé le mobile se déplace dans un environnement d'ondes stationnaires créées par interférences entre des ondes d'amplitudes différentes, directes diffractées ou réfléchies par des obstacles proches. Ce phénomène possède tant d'aspects positifs que négatifs pour les radiocommunications mobiles, et affecte le signal reçu sur 3 points :

- **L'amplitude** par le Fading de Rayleigh.
- **La phase** par la différence du temps de propagation ou dispersion de retards.
- **La fréquence** par Effet Doppler.

La Figure suivante est un exemple de trajets multiple :

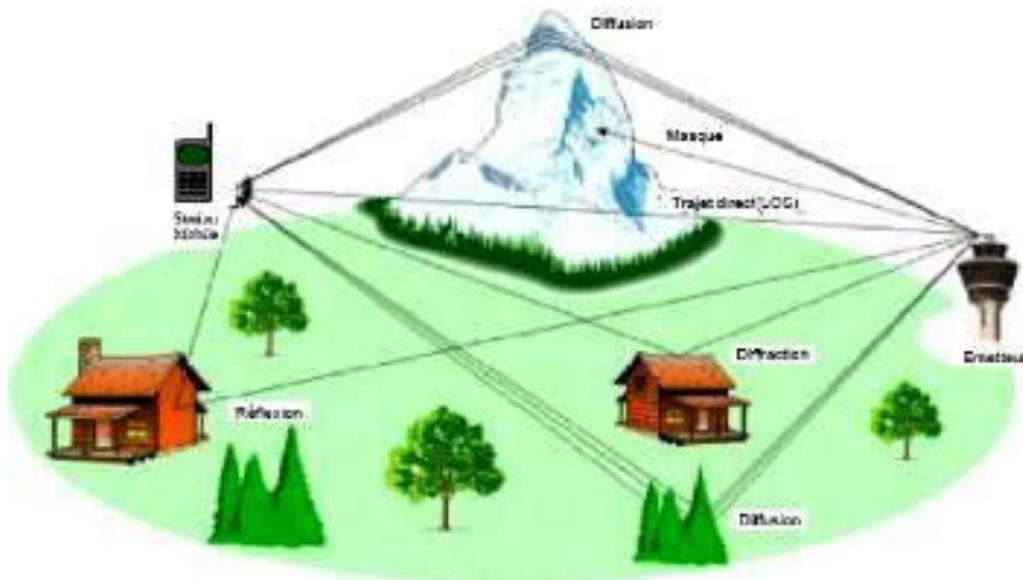


Figure II.5 : Trajets multiples

X. Interférence et brouillage

En dehors des dégradations subies par les signaux de la part des phénomènes de trajets multiples, notons l'existence des détériorations dues aux signaux brouillant.

On distingue deux types de signaux brouilleurs : les bruits et les interférences.

X.1. Bruit

On en dénombre deux types de bruits :

- Les sources de bruits à l'espace libre, à l'extérieur du système de traitement.
- Les sources de bruits internes au systèmes, propre aux équipements, engendrées par les commutations de courants, les bruits de fond des câbles et autre composants électroniques.

X.2. Interférences

Dans un système radio mobile, les liens radio sont affectés par deux types d'interférences :

- Les interférences co-canal, dues aux émissions d'autres équipements sur la même bande de fréquence.
- Les interférences sur canal adjacent, dues aux émissions d'autres équipements sur des fréquences adjacentes.

X.2.1. Interférences co-canal

Résulte de l'utilisation de la même bande de fréquence par différents équipements qui crée un brouillage des différents signaux émis.

Ce phénomène se rencontre de façon importante dans les systèmes à réutilisation de fréquences comme les systèmes cellulaires.

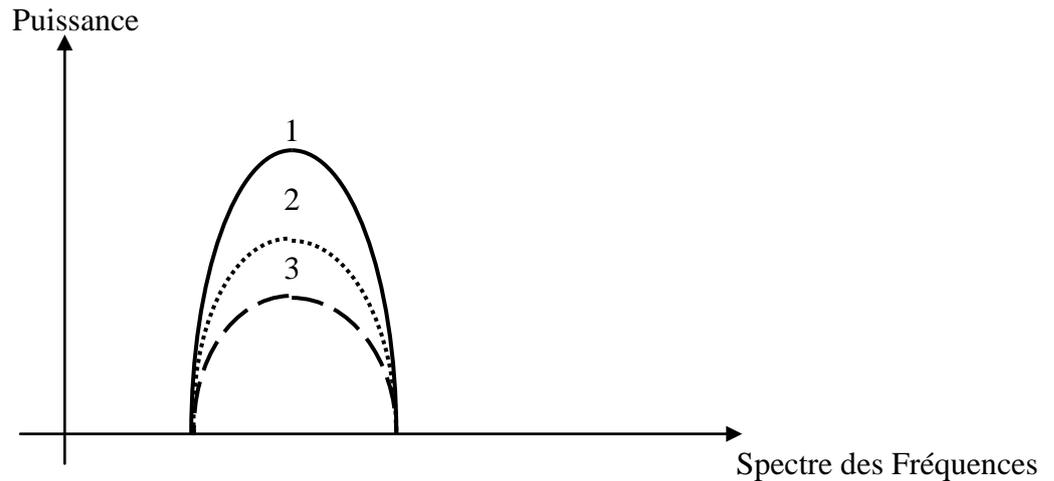


Figure II.6 : Interférence Co-canal

X.2.2. Interférences sur canal adjacent

L'origine principale de l'interférence sur canal adjacent est l'utilisation des canaux très proches les uns des autres dans le spectre de fréquence.

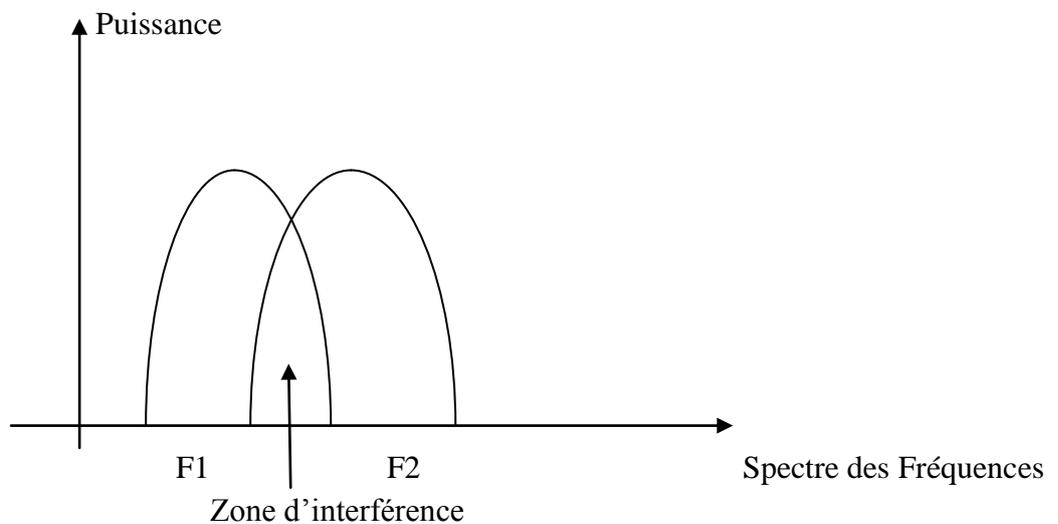


Figure II.7 : Interférence sur canal adjacent

XI .Techniques de diversité [8]

Afin de remédier aux inconvénients créés par les phénomènes de trajets multiples, les planificateurs font recours à une multitude de techniques dont la principale méthode constitue les techniques de diversités.

Elle regroupe une multitude de techniques destinées à lutter contre les effets des multi-trajets. Un des principes sur lequel reposent de nombreuses techniques de diversité consiste à échantillonner de plusieurs manières possibles le signal émis. Les signaux ainsi récupérés à partir d'un signal initial sont soit combinés, soit classés afin d'en sélectionner le meilleur.

On distingue deux grandes familles de diversités : la micro-diversité qui est obtenue au niveau d'un seul récepteur et la macro-diversité qui est obtenue en mettant en jeu plusieurs émetteurs/récepteurs localisés sur des sites différents.

XI.1. La Micro-diversité

La micro-diversité consiste à récupérer un signal au niveau du même site (station de base ou mobile). Quand le récepteur récupère plusieurs répliques du même signal d'information, la probabilité que tous les signaux s'évanouissent au même moment est réduite de façon très importante :

- En espace en utilisant des antennes multiples.
- En fréquence en recevant des répliques du signal à différentes fréquences porteuses.

XI.2.La Macro-diversité

Son implantation dans les système cellulaires n'est qu'a ces débuts.

Dans les techniques de macro-diversité, un mobile peut se connecter à plusieurs stations de base au même moment, ces techniques sont donc utilisées dans les réseaux radio-mobiles disposant de plusieurs points réseau (systèmes cellulaires et systèmes sans cordon à multiples bornes par exemple).

Ainsi, en permettant à un mobile de recevoir/d'émettre les signaux de/vers plusieurs stations de base à la fois, les effets de masque, les pertes de propagation en fonction de la distance et par évanouissements sont indépendant, les méthodes de macro-diversité devraient permettre de réduire la marge de contrôle de puissance dynamique nécessaire et également de réduire le niveau d'interférences.

XII. Conclusion

La liaison radio est caractérisée par la transmission d'une onde électromagnétique à travers l'espace libre grâce à des antennes filaires ou paraboliques.

Au cours de cette transmission l'onde électromagnétique est confrontée aux conditions atmosphériques (pluies, éclairage...etc) et géographiques (arbres, montagnes,..etc). Ces derniers caractérisent les trajets multiple, c.-à-d. que l'onde se transmet selon un certain mécanisme (réflexion, diffraction,...), en plus de ça s'ajoute les bruits et interférences propre au système de transmission.

Ces différents paramètres sont nuisible à la qualité de transmission des ondes (mauvaise réception, pertes d'informations), ils sont combattues par les techniques de diversités, mais ils peuvent être utilisée comme un soutien à la transmission.

Chapitre III:

Etude du trafic et dimensionnement
d'un réseau cellulaire

I. Introduction

Dans ce chapitre nous allons aborder l'étude du trafic ainsi que le dimensionnement d'un réseau GSM en vue de la planification d'un réseau cellulaire.

Dans l'étude du trafic nous allons voir la notion de télé trafic ainsi que la dépendance du trafic selon la mobilité des usagers.

En effet, il donne une idée générale sur le nombre de ressources qu'il faut préconiser afin de satisfaire les besoins des usagers et en même temps d'offrir un service avec une qualité déterminée.

Le dimensionnement des réseaux mobiles est un problème complexe qui met en jeu à la fois des aspects théoriques et pratiques. Il s'agit de trouver la meilleure architecture cellulaire au regard de plusieurs critères.

A la fin nous montrerons aussi l'importance de ces notions dans la planification du réseau GSM.

II. Notions générales [7]

II.1. Intensité d'appel

Le trafic téléphonique est généré par des abonnés. Quand l'abonné décide d'appeler, le central téléphonique local reçoit une impulsion qui fait commencer un nombre d'actions rendant possible la réception des informations numériques du demandeur, il peut donc connecter l'abonné appelant avec l'abonné désiré.

Cette demande d'établissement de communication déclenche la procédure de maintien des sélecteurs dans le centre de commutation. Des séries de demande sont essayées avant que la communication soit établie. Le nombre total de telles demandes à l'unité d'abonné par unité de temps constitue l'intensité d'appel.

II.2. Temps de maintien

Chaque appel accepté signifie que des équipements sont occupés pour un certain temps. La durée de ce temps de maintien dépend de la façon et de la vitesse avec laquelle le commutateur traite les informations. Le temps moyen par conséquent varier d'un appel à un autre ainsi du type d'équipement de commutation utilisé et sa fonction dans la procédure de maintien et d'aboutissement d'appel.

$$T = \frac{\text{temps d'occupation des organes}}{\text{nombre moyen d'appels offert}} \quad (\text{III.1})$$

II.3. Taux de pénétration

La densité de population susceptible de souscrire au service, cette densité varie dans le temps et dans l'espace. Elle est composée de la population résidentielle, d'une population de visiteurs (pour le travail ou pour leurs loisirs) et d'une population absente (partie de la population résidentielle travaillant en dehors de cette zone). Elle dépend des facteurs suivants :

1. Heure de jour
2. Jour de la semaine
3. Saison

Il est généralement fonction de la disponibilité de service, de son coût, de sa valeur pour l'abonné, du niveau de concurrence entre les opérateurs et enfin des aspects marketing (exemple : messagerie vocale gratuit).

II.4. Concepts de base du trafic

Il est nécessaire d'avoir une distinction claire entre les concepts du trafic usuels pour différencier entre trafic offert, demandé, écoulé.

Les variables suivantes décrivent le comportement du système :

- N = Nombre de sources.
- R = Nombre de serveurs
- T = Temps moyen de services.
- C = Taux d'arrivées : c'est le nombre moyen d'appels se présentant dans l'unité de temps.
- On appelle P_i les probabilités d'état d'occupation de j serveurs ($i=0,1,\dots,R$).

1- Trafic offert

C'est le nombre moyen d'appels arrivant pendant le temps moyen de service. On le note A et il est égal à $C \cdot T$. il est mesuré en Erlang (E).

2- Trafic écoulé

C'est le nombre moyen de serveurs (de circuits) occupés simultanément. Il est égal $A \cdot C$. on interprète le trafic écoulé comme le nombre moyen de clients admis pendant la durée de service. Il est aussi mesuré en Erlang (E).

3- Trafic rejeté

C'est le nombre moyen de serveurs (circuits) qu'il aurait fallu pour prendre en compte tous les appels (pris et perdus). Il est égal $A \cdot R$ et mesuré en Erlang (E).

4- **Blocage dans le temps**

On l'appelle ainsi la proportion de temps pendant laquelle tous les serveurs sont occupés. On la note BT. la probabilité de blocage est déterminée grâce à la loi d'Erlang qui se base sur la théorie des files d'attente. Les hypothèses à partir desquelles ce modèle a été élaboré sont : les arrivées aléatoires des appels (suivant la loi de poisson), la connaissance de la charge du système (trafic offert), l'équilibre statistique du système, le nombre de charge infini de sources de trafic et sources homogènes et surtout la durée des appels qui suit une distribution exponentielle.

$$BT = P(R) = \frac{A^R}{R!} \left(\sum_{i=0}^R \frac{A^i}{i!} \right)^{-1} \quad (\text{III.2})$$

P(R) étant la probabilité d'occupation totale (occupation des R serveurs).

La probabilité de blocage admise varie en générale en fonction de l'environnement. L'opérateur, pour assurer une qualité de service acceptable à ses abonnés doit faire en sorte qu'un usager n'attend pas trop longtemps avant de voir sa demande d'appel satisfaite. Et la probabilité pour qu'un appel arrive au hasard, et trouve les R serveurs du système occupés et subisse l'attente est :

$$P'(R) = P(R) \frac{R}{R - A(1 - P(R))} \quad (\text{III.3})$$

III. Dimensionnement d'un réseau cellulaire [11]

III.1. Critères de dimensionnement d'un réseau

Les critères de dimensionnement d'un réseau cellulaire sont :

- **Qualité de couverture** :
garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir.
- **Absorption de la charge** :
le réseau doit être capable de fournir un nombre de canaux de communication adapté à la densité de trafic associée à chaque cellule.
- **Mobilité** :
Faciliter le handover lors des changements de cellules. Chaque station de base doit connaître ses voisines pour permettre à un utilisateur de se déplacer sans perte de communication.
- **Evolutivité** :
un réseau cellulaire de type GSM est en perpétuelle évolution, intégrant de nouvelles stations de bases, ou simplement de nouveaux TRX associés à chaque station de base.

- **Déploiement du réseau fixe via un ensemble de faisceaux hertziens :**
Afin d'interconnecter les stations de base.

III.2. Propriétés de la couche radio GSM

Les Principales propriétés de la couche radio GSM sont mentionner dans le tableau suivant :

	GSM	DSC
Bande de fréquence	890-915 MHz (up) 935-960 MHz (down)	1710-1785 MHz (up) 1805-1880 MHz (down)
Nombre d'intervalles e de temps par trame TDMA	8	8
Nombre de porteuses	124	374
Fréquences porteuses	$f_d = 935 + 0,2.n$, pour $1 < / = n < = 124$	$f_d = 1805,2 + 0,2.(n - 512)$, pour $512 < / = n < / = 885$
Ecart Duplex	45 MHz	95 MHz
Rapidité de modulation	271 Kbit/s	271 Kbit/s
Débit de la parole	13 Kbit/s (5,6 Kbit/s)	13 Kbit /s (5,6 Kbit/s)
Débit après codage d'erreur	22,8 Kbit /s	22,8 Kbit/s
Débit max de données	12 Kbit/s	12 Kbit/s
Accès multiple	Multiplexage fréquentiel et temporel, duplexage fréquentiel.	Multiplexage fréquentiel et temporel , duplexage fréquentiel.
Rayon des cellules	0,3 à 30 Km	0,1 à 4 Km
Modulation	GMSK	GMSK

Tableau III.1: Propriétés de la couche radio GSM

Remarque : la bande GSM a été étendue récemment et est aujourd'hui égale : 880-915 MHz , 925-960 MHz.

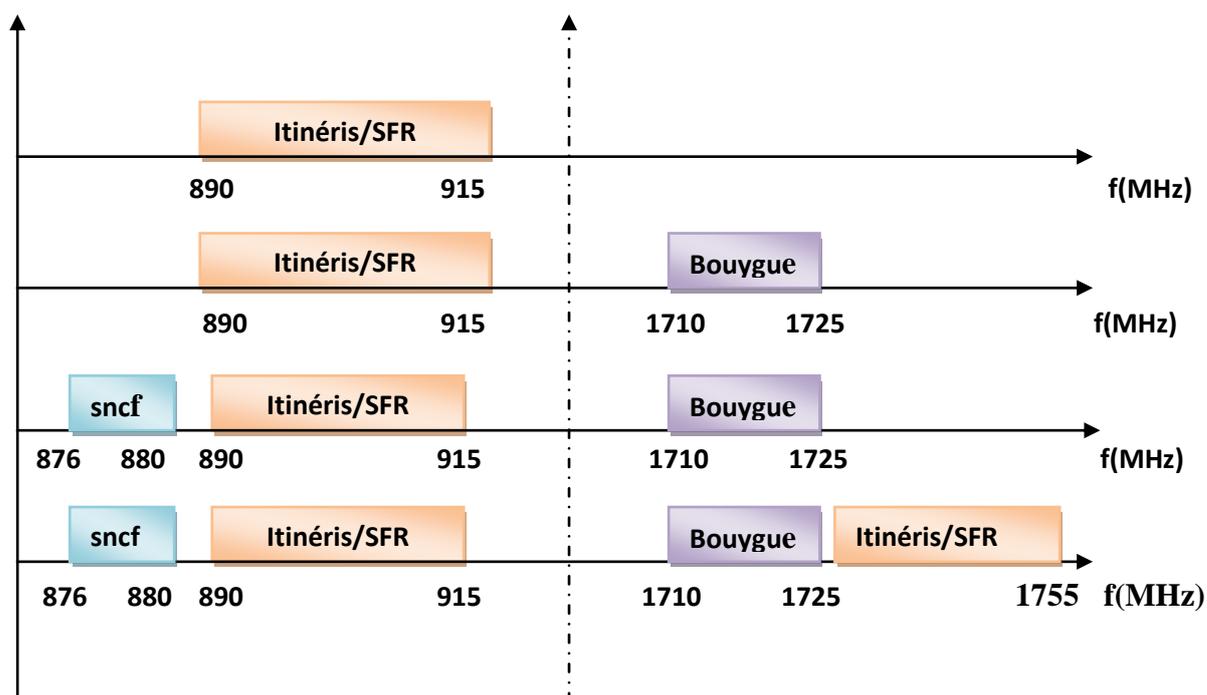


Figure III.1 : Evolution du partage des ressources spectrales sur le lien montant au cours de la dernière décennie en France

III.3. Contraintes Radio

III.3.1. Rapport signal a bruit C/N

Le premier objectif d'un déploiement cellulaire est de garantir un lien radio en tout point de la zone à couvrir. La qualité de ce lien est définie principalement par 2 paramètres : le rapport signal sur bruit C/N (canal / noise) et le rapport signal sur interférences (C/I (canal : interférences)).

Le rapport signal à bruit est donné par le rapport entre la puissance du signal et la densité de puissance du bruit en réception. Comme le montre la figure III.2, dans la gamme de fréquences utilisées en GSM, le bruit en réception est majoritairement un bruit thermique (ou bruit Johnson) lié à l'échauffement des électrons dans le système de réception. Ce bruit a des propriétés bien spécifiques : il est blanc, à moyenne nulle, gaussien, additif.

- Blanc veut dire qu'il est réparti sur l'ensemble des fréquences de façon uniforme : sa densité spectrale de puissance (DSP) est donc uniforme sur toutes les fréquences (sauf pour une fréquence nulle ou il est égale à 0).
- Moyenne nulle : il n'y a pas de composante continue. Si l'on fait la somme (ou l'intégration) du bruit au cours du temps, elle tend vers 0.
- Gaussien : Ce signal aléatoire a une distribution d'amplitude bien particulière : la probabilité d'avoir un bruit d'amplitude est régit par une loi normale (forme

gaussienne). L'écart-type de la distribution σ est le seul paramètre à connaître pour caractériser le niveau de bruit que l'on nomme N_0 est égale à la variance des échantillons :

$$\sigma^2 = N_0 \quad (\text{III.4})$$

- Additif : un bruit additif est un bruit dont le niveau ne dépend pas de l'amplitude du signal reçue. Statistiquement, le bruit est indépendant du signal reçu, et le signal observé est la somme du signal reçue et du bruit.

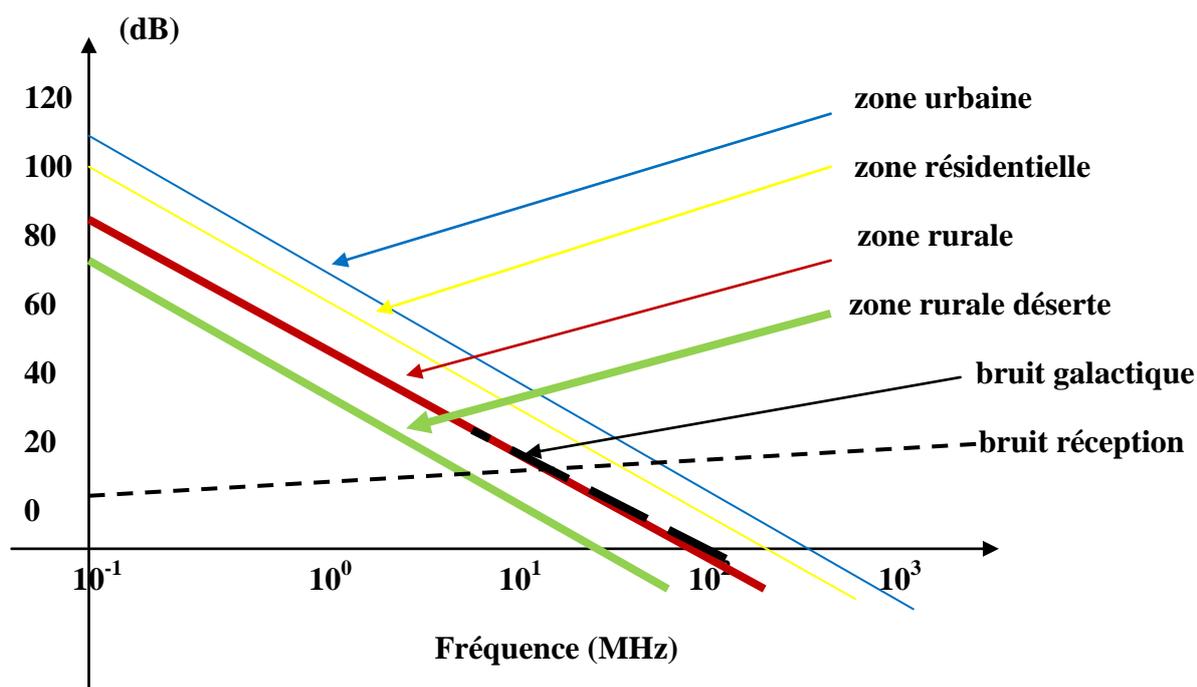


Figure III.2 : Niveau de bruit électromagnétique relatif au bruit thermique minimal des systèmes de réception

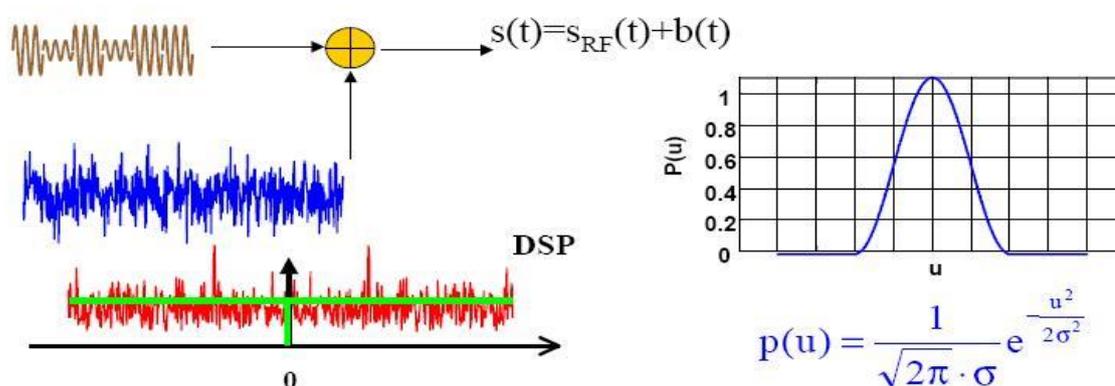


Figure III.3: Représentation du bruit AWGN (Additive White Gaussian Noise) : aléatoire, additif, blanc et gaussien)

Le niveau de bruit en réception s'estime assez facilement à partir de la formule de Johnson :

$$N_0 = K \cdot T_K \quad \text{Watt /Hertz} \quad (\text{III.5})$$

Où K est la constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K) et T_K est la température en Kelvin ($T_K=290^\circ\text{K}$, en référence). Finalement, comme le bruit est étalé sur tout le spectre, seul la partie qui est présentée sur la bande spectrale utilisée par la transmission interfère avec le signal transmis. La puissance du bruit après filtrage est égale à :

$$N = K \cdot T_K \cdot W \quad \text{Watt} \quad (\text{III.6})$$

Où W est la bande passante utilisée par le système.

On peut alors estimer le bruit minimal pour un récepteur GSM mobile à une température moyenne de 290K. la bande utile d'un canal GSM est estimée à $W=271\text{KHz}$ (c'est une approximation faite à partir de la vitesse de modulation :

$$N \approx 10^{-15} \text{ Watt} ; \quad \text{soit } N_{\text{dB}} \sim 120 \text{ dBm}$$

III.3.2. Rapport signal a bruit C/I

Les interférences sont de 3 types : les interférences inter-symboles (IIS), les interférences inter fréquences (IIF, encore appelées interférences canaux-adjacents), et les interférences co-canal (ICC).

Les interférences inter-symboles caractérisent les interférences entre les impulsions successives d'une même source : lorsqu'un bit est émis, le récepteur en reçoit plusieurs échos étalés dans le temps à cause de la différence de temps de parcours entre les différents chemins Emetteur-Récepteur. Ces interférences (IIS), sont combattues par des techniques d'égalisation (l'égaliseur de Viterbi en GSM) et de codage canal et ne sont pas prises en compte dans la phase de planification.

Les interférences co-canal (ICE) sont forcément importantes en GSM et sont directement liées à la norme elle-même. Le choix d'un partage de ressources de type FTMA (Frequency and Time Division Multiple Access) impose une répartition des ressources en temps et en fréquence. Sur un canal en fréquence, on peut avoir jusqu'à 8 voix multiplexées en temps (8 slots par trame). Pour augmenter la capacité globale d'un système, les fréquences sont réparties entre les cellules, avec un certain facteur de réutilisation. Ainsi, toutes les cellules et les stations de base associées qui utilisent un même canal en fréquence sont susceptibles d'interférer entre elles.

Le rapport C/ICC est donnée par le rapport entre la puissance utile du signal reçu par un mobile en provenance de la station de base (BTS) à laquelle il est associé, et la somme des puissances des signaux reçus par le même mobile en provenance de toutes les BTS utilisant la même fréquence (Figure III.4).

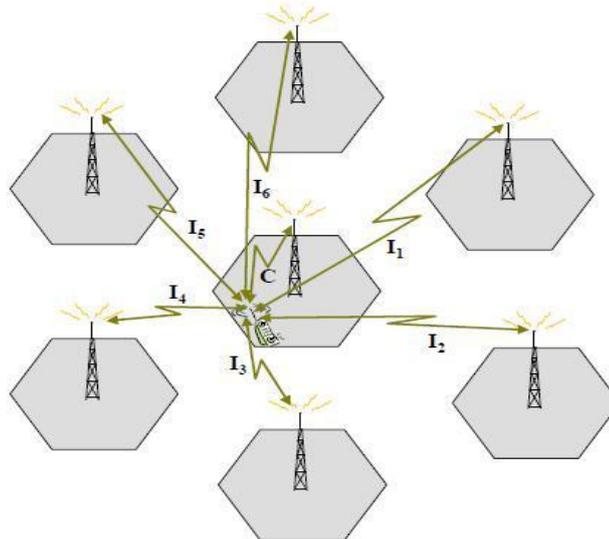


Figure III.4 : interférences entre cellules voisines réutilisant la même fréquence sur un modèle hexagonal

Les interférences canaux adjacents (IIF) sont liés à la réutilisation de canaux de fréquences adjacents. En effet la largeur réelle des canaux est supérieure aux 200KHz utilisés pour répartir les canaux en fréquence. Ainsi, à puissance identique, 2 canaux voisins (f_i et f_{i+1}) ont un rapport C/I d'environ 18 dB, 2 canaux (f_i et f_{i+2}) ont un C/I de 50 dB, et 2 canaux (f_i et f_{i+3}) ont un C/I de 58 dB.

Pour garantir un C/I total supérieur à 9 dB, la norme GSM défini un rapport de protection pour 2 canaux voisins, donné par le tableau suivant :

Interférences co-canal (f_0)	C/I_c	9 dB
Interférences 1 er canal adjacent	C/I_{a1}	-9 dB
Interférences 2ième canal adjacent	C/I_{a2}	-41 dB
Interférences 3ième canal adjacent	C/I_{a3}	-49 dB

Tableau III.2 : Rapport de protection des canaux adjacents

Finalement, le rapport C/I total est donné par :

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{cellcocal} Ii+R1 \cdot \sum_{calladjaent1} Ii+R2 \cdot \sum_{celladjaent2} Ii+R3 \cdot \sum_{celladjaent3} Ii}$$

(III.7)

Où R_i est le rapport de protection donné par :

$$R_i = \frac{C/I_{ai}}{C/I_c} \quad (\text{III.8})$$

III.4. Contraintes de trafic

Dans un réseau GSM, il ne s'agit cependant pas seulement de garantir un lien radio, mais également de garantir un certain trafic. Le trafic est estimé statistiquement à partir de la densité de population et du type d'activité associée à chaque région. Par exemple, la probabilité d'appel dans une zone à forte densité d'habitation est très différente de la probabilité d'appel dans une zone à forte densité d'activité professionnelle.

Les lois d'Erlang sont utilisées pour caractériser le taux d'appels téléphoniques. Cette loi est paramétrée par 2 paramètres: le taux d'appel μ , et la durée moyenne d'appel H . l'intensité de trafic par utilisateur s'exprime par :

$$A_u = \mu \cdot H \quad \text{Erlang} \quad (\text{III.9})$$

Connaissant la densité de population associée à une zone géographique, il est facile de déterminer la densité de trafic par le produit :

$$A = A_u \cdot d_H \quad \text{Erlang/Km}^2 \quad (\text{III.10})$$

Où d_H est la densité de population par Km^2 .

Enfin, si l'on est capable de prédire la zone couverte par une cellule, il est alors possible d'estimer le trafic que la cellule doit *absorber* :

$$A_{tot} = A \cdot S \quad \text{Erlang} \quad (\text{III.11})$$

Où S est la superficie de la cellule.

Les lois d'Erlang permettent alors de déterminer le nombre de canaux nécessaires pour absorber ce trafic statistique avec un taux d'échec donné, la loi d'Erlang B est donnée par la formule suivante :

$$P_c = \frac{A^{N_c} \frac{1}{N_c!}}{\sum_{n=0}^{N_c} A^n \frac{1}{n!}} \quad (\text{III.12})$$

Où N_c est le nombre de canaux voix.

Ainsi, à partir de la connaissance de la densité de trafic et de la surface couverte par un émetteur, il est possible de prédire le nombre de canaux à affecter à une cellule pour garantir un taux de blocage inférieur à un certain pourcentage (par exemple 1%).

On comprend bien alors que le déploiement d'un réseau GSM ne repose pas seulement sur une couverture radio mais sur une répartition intelligente des ressources radio sur un ensemble de stations de base.

III.5. Définition des zones de services

Le dimensionnement doit prendre en compte les contraintes radio et les contraintes de trafic. Il est possible, dans un premier temps, pour une zone géographique donnée, d'estimer la capacité globale d'un système GSM, en exploitant le modèle hexagonal théorique.

Soit un système avec S canaux disponibles. Le nombre de canaux voix disponibles n'est pas égal au nombre de canaux en fréquences.

Pour chaque cellule, il faut réserver une voix balise qui contient les canaux de synchronisation (FCH, SCH, BCCH) : ces canaux permettent aux mobiles de détecter la présence des stations de base. Lors de l'attribution d'un certain nombre de fréquences à une station de base, il faut donc éliminer une des fréquences pour compter les ressources radios.

D'autre part, chaque canal en fréquence est susceptible de fournir 8 canaux de données TCH (chaque trame contient 8 slots multiplexés) : le nombre total de canaux est donc égal à 8 fois le nombre de canaux en fréquence.

Cependant, certains canaux communs, et en particulier la voix balise, nécessitent des ressources. On considère en général, qu' $1/8^{\text{ième}}$ des ressources est utilisé pour les canaux communs (y compris la voix balise).

Ainsi, pour N canaux attribués à une station de base, le nombre de TCH est donné par :

$$N_{TCH} = N * 7/8 \quad \text{(III.13)}$$

Si N_f est le nombre de porteuses attribués, alors le nombre de canaux physiques TCH disponibles est le :

$$N_c = 7.N_f \quad \text{(III.14)}$$

En conséquence, le tableau ci-dessous donne le nombre de canaux voix en fonction du nombre de porteuses attribuées à une cellule, conformément à l'équation III.12.

Nb fréquences	1	2	3	4	5	6	7	8
Canaux physiques	8	16	24	32	40	48	56	64
Nb TCH	7	14	21	28	35	42	49	56

Tableau III.3 : Nombre de canaux voix en fonction de porteuses attribuées

La figure ci-dessous donne le nombre de canaux voix en fonction de la densité de trafic demandée, et pour un nombre de porteuses allant de 1 à 7.

Etude du taux d'erreur en fonction du nombre de canaux fréquences

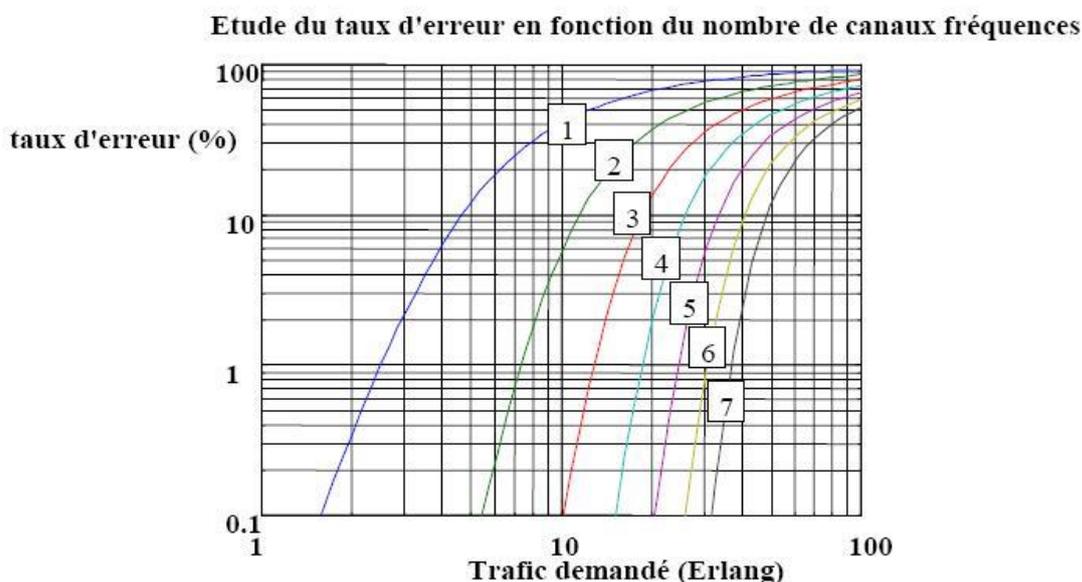


Figure III.5: Etude du taux de refus d'appel en fonction du trafic demandé, pour un nombre de porteuses attribué à la cellule variant de 1 à 8

IV. Hypothèse de la prévision et du dimensionnement [11][12]

IV.1. But

L'extension des services téléphoniques demande l'approvisionnement des appareils téléphoniques, des équipements des lignes d'abonnés, des équipements des centraux, des faisceaux de jonctions et des circuits. Cependant, il pourrait avoir une période d'attente entre l'identification des besoins-ou plutôt les besoins futurs et le moment de réalisation. La durée du temps entre l'identification et l'approvisionnement pour ce besoin est considérable. Pour éviter de longues périodes d'attente et de congestion élevée, il est indésirable de déterminer les besoins à l'avance. Cela rend l'extension du matériel au bon moment parce que l'action nécessaire peut être prise au temps approprié.

Une prévision doit, cependant, produire tout d'abord l'estimation exacte des demandes futures pour les équipements de télécommunications.

IV.2.Hypothèses et suppositions

Du fait de la structure et de la conception des systèmes de télécommunications, la provision des équipements ne peut être faite toutes les courtes périodes de variation de trafic. Les différentes parties du système doivent, cependant, être extensibles pour des grandes périodes de six mois à cinq ans. Il faut aussi garder une période limite entre les extensions afin d'éviter les perturbations dues à la congestion. Pour une telle période d'extension, une prévision du trafic et nécessaire et devrait décrire comment le trafic va évoluer.

Elle dépend des faits suivants :

- Le revenu du trafic téléphonique dépend du trafic écoulé, normalement il dépendra du nombre des communications établies,
- Les dépenses dépendent de la qualité de service désiré sous des conditions de trafic de pointe,
- La plupart du volume du trafic écoulé est mené aux moments où il n'y a pas de congestion,
- Une congestion réelle élevée est envisageable pendant quelques occasions,
- Ces occasions de forte congestion apparaissent plutôt vers la fin de la période d'extension qu'au début .

les mesures annuelles sont généralement utilisées comme une base pour les prévisions du trafic. Etant donné que ces mesures ne préconisent pas exactement le plus grand pic de l'année, la provision des ressources ne sert qu'à minimiser la congestion généralement entre 0,1 et 5 %. Ceci pourrait donc remédier aux perturbations dues aux congestions élevées (20% et plus) qui surviennent fréquemment dans les périodes d'extension, malgré l'exactitude de la prévision.

IV.3.Les paramètres

En premier lieu, la demande de téléphone dépend du domaine d'occupation de la population. Le besoin en téléphone est faible dans les villages mais croit par le fait que les gens quittent le secteur agricole pour d'autres activités (industrie, commerce, services publics, etc.). La concentration des gens dans les zones urbaines peut encore donner une demande croissante pour les téléphones résidentiels, mais cela concerne uniquement les personnes qui ont un certain niveau de vie. La demande, est bien sûr, dépendante aussi des habitudes et des préférences nationales que des tarifs téléphoniques.

Pour estimer la future demande des services de télécommunications, le développement général espéré et spécialement le développement économique doivent être pris en considération. Les données publiées dans les structures du courant économiques sont donc utiles.

Parmi ces données, on cite :

- **Taille de la population**

Plus la croissance en matière de population augmente, plus le nombre de clients et la demande des lignes d'abonnés augmentent.

- **Niveau de vie**

Une mesure de niveau de vie est le produit intérieur brut (PIB) par habitant. Quand le niveau de vie augmente, la demande en lignes téléphoniques augmente également.

- **Activités de construction**

L'activité de construction peut être utilisée pour estimer la demande future pour les lignes d'abonnés. On peut utiliser le nombre des nouvelles administrations et département comme paramètre de prévision.

- **Prix**

Un prix élevé pour l'utilisation du téléphone (coût d'abonnement, charges d'appels...) peut réduire la demande en lignes d'abonnées.

En fait, le choix des variables explicatives dépend de la fiabilité de leurs prévisions. La population et le développement économique sont les variables communes et les plus explicatives pour le nombre de lignes d'abonnées dans le pays.

IV.4.Données nécessaires pour la planification [12]

IV.4.1.Distribution des abonnés

Cette étude porte sur la localisation exacte des abonnés et leur nombre par zone de trafic. Elle détermine également le nombre d'abonnés par catégorie (professionnels, et autres..).

IV.4.2.Trafic

On étudie ici le flux de trafic entre les zones et on estime le trafic de départ et d'arrivé par abonné et ce dans chaque zone de trafic et par catégorie d'abonnés.

Etant donné que la prévision de trafic se base entre autre sur des groupes d'abonnés, il est généralement conseillé d'estimer le trafic par catégorie d'abonnés avant que le trafic total ne soit estimé. En effet, au fil du temps la proportion entre les différentes catégories peut changer et la quantité de trafic ne sera pas comme prévu.

IV.4.3. Modèle de trafic

Les modèles de trafic nous permettent d'avoir une idée générale sur le trafic demandé ainsi que sur la mobilité des abonnés. En effet, les réseaux fixes ne demandent pas trop d'estimation de trafic puisqu'il n'y a pas de contrainte de mobilité, par contre en réseau mobile, le trafic peut varier au cours du temps d'une région à une autre. Une zone qui, à un moment donné peut satisfaire les besoins des abonnés se trouve à un instant plus tard congestionnée et débordée.

Des modèles statistiques seront donc utiles pour prédire le futur et par suite d'éviter au maximum les problèmes de congestion.

Trafic par abonné à l'heure de pointe	25 mErlang
Taux de blocage	2%
Durée d'établissement d'appel et de sonnerie	18 secondes
Nombre de tentatives d'appel à l'heure de pointe	3750
Nombre de mise à jour de localisation par seconde	6
Nombre de Handover par appel	0,87

Tableau III.4: Modèle de trafic

Ce tableau représente un exemple de modèle de mobilité et de trafic dans lequel on fixe des paramètres qui servent pour des entrées lors du dimensionnement par le trafic, ils orientent le prévisionniste vers les décisions et vers les stratégies de déploiement qu'il faut suivre pour réussir son étude. Par exemple, il faut savoir que le trafic moyen par abonné à l'heure de pointe et le taux de blocage concernant le trafic, les tentatives d'appels, les mises à jour de localisation pour bien gérer la mobilité des abonnés.

V. Conclusion

Un réseau GSM est formé d'un maillage de cellules, les cellules sont organisées de façon à satisfaire les contraintes de couverture 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.

Les contraintes radio et de trafic ont un rôle majeur dans le dimensionnement d'un réseau cellulaire, car l'implantation du réseau cellulaire (architecture, nombre de ressource, rayon des cellules) dépend de ces contraintes.

Chapitre IV:

Planification d'un réseau cellulaire

I .Introduction

La planification d'un réseau a pour but d'atteindre un trafic de haute capacité, elle constitue l'une des tâches primordiales de l'opérateur du réseau.

En d'autres termes on veut qu'un grand nombre d'abonné par km² puissent utiliser le système, tout en maintenant un degré de service et une qualité acceptable.

Dans ce chapitre nous présentons les étapes fondamentales de la planification. Ainsi que l'importance et objectifs de la planification.

II. Importance et objectifs de la planification [13]

II.1. Importance

La planification d'un réseau cellulaire est un processus très délicat et le résultat conditionne le succès de l'opérateur. En effet un réseau mal planifié se traduit par une qualité d'appels médiocres, un taux de perte d'appels important et un taux de blocage élevé. La planification d'un réseau cellulaire consiste à définir sa couverture et sa capacité. Celles-ci sont vitales pour un opérateur.

II.2 Objectifs

L'objectif de la planification d'un réseau cellulaire peut être résumé de la façon suivante :

Etant donné les caractéristiques de l'environnement à couvrir (caractéristiques géographiques et de propagation) ; il faut minimiser le coût d'infrastructures radio et réseau en fonction de la couverture radio, de la taille des cellules, des plans de fréquences et de la topologie du réseau.

Par conséquent, la planification du réseau suivra des objectifs différents en fonction de la zone à planifier :

- En zone urbaine, l'objectif est d'assurer une capacité en trafic suffisant (desservir un grand nombre d'abonnés élevé).
- En zone rurale (zone à faible densité d'abonnés), l'objectif est d'assurer la couverture la plus complète possible (rayon de cellule d'une dizaine de kilomètres) sans nécessité de capacité élevée.

III. Etapes de la planification [11]

Les principales étapes caractérisant la procédure de planification d'un réseau mobile comportent :

- La détermination du modèle de trafic et la mobilité.
- La couverture de la partie radio.
- Le dimensionnement des cellules.
- La planification des fréquences.
- La définition du réseau de commutation.



Figure IV.1 : processus de planification des cellules

III.1. Données en entrée

Pour déployer un réseau cellulaire, l'opérateur doit avoir un grand nombre de données. Connaissant les paramètres caractérisant la technologie du système à déployer, les données en entrées peuvent être classées en deux principales catégories :

III.1.1. Paramètres caractérisant l'environnement

Ces paramètres permettent une représentation des situations susceptibles d'être rencontrées dans la réalité comme la densité des usagers et leur distribution, taux de pénétration et le trafic moyen par abonné, ainsi que les caractéristiques de la propagation à

savoir les obstacles naturelles ou artificiels, la morphologie du terrain et de la densité d'urbanisation.

III.1.2. Paramètre caractérisant la qualité de service

Le réseau doit offrir une qualité de service suffisante aux usagers qui dépendent considérablement de la probabilité de blocage et du temps d'attente.

Les appels bloqués sont ceux des usagers non servis du fait de l'absence de ressources disponibles et la probabilité pour un usager de voir sa demande d'appel satisfaite.

En effet ces paramètres conditionnent la qualité de service mise à la disposition des usagers de façon permanente dans le but principal d'en satisfaire le plus grand nombre en heure de pointe.

III.1.3. Calcul du trafic

Les données de base des calculs de trafic sont indiquées ci-dessus. Les résultats de ces calculs doivent permettre de déterminer le nombre de sites et des cellules nécessaires.

Pour déterminer ceci, il est nécessaire de connaître le nombre de fréquence par cellule, ainsi que la qualité de service GOS (Grade Of Service).

Le nombre de fréquences disponibles par cellule peut être défini seulement après détermination du schéma des cellules à mettre en œuvre.

En suite, le nombre total de fréquence disponibles est réparti de façon égale entre des groupes de fréquences.

Le schéma des cellules à utiliser est fonction du type du système, car basé sur la distance de réutilisation des fréquences GOS est défini comme le pourcentage autorisé de tentatives infructueuses d'établissement d'appel par suite d'encombrements. Une valeur de 2% à 5% est normalement utilisée dans les réseaux de téléphonie mobile. La table d'Erlang, permet de déterminer le troisième facteur entre : nombre de voies de trafic, trafic (en Erlang) et GOS, lorsque les deux autres sont déjà connus.

Le trafic par abonnés se calcule au moyen de la formule d'Erlang comme suit :

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

Où n : le nombre d'appels par heure.

T : la durée moyenne des conversations.

En supposant n=1 et T=90s, nous avons :

$$A = 1 * 90 / 3600 = 25 \text{ mErl.}$$

III.2. Planification Radio

L'étude des sous-systèmes radio se concrétise pour tout système de radiocommunication par la mise en œuvre en chaque point géographique du nombre de canaux de transmission estimés à l'acheminement des communications.

III.2.1. Choix des sites pratiques

La recherche des sites pratique est faite à partir d'une configuration théorique donnée, identifier les sites en fonction de la géographie de la zone, des caractéristiques de propagation et des informations spécifiques permettant l'identification des sites candidats qui consistent à les repérer en visibilité. Il y'a aussi le choix des polynômes et leurs hauteurs en fonction du site.

III.2.2. Modèle de propagation

La prédiction de la couverture radioélectrique constitue une fonction essentielle dans le processus d'ingénierie radio. En effet toutes les autres fonctions s'appuient sur la prédiction de couverture.

L'interface radio qui est le support entre les stations de base et les terminaux est caractérisée par un affaiblissement de parcours qui dépend des paramètres suivants :

1. La portée (distance),
2. Trajets multiples,
3. Effet de masque,

Le modèle de prédiction (Voir annexe) de couverture permet d'estimer l'affaiblissement de propagation subit par l'onde radio.

Il existe plusieurs modèles qui permettent de prédire les variations que subit l'onde radioélectrique dans sa propagation comme nous l'avons vu précédemment.

III. 2.3. Bilan de liaison

L'affaiblissement est le paramètre le plus important dans le bilan de liaison, en effet les fonctions de cellules sont déterminées par celui-ci :

$$\mathbf{Pr(dBm) = (Pe + Ge - Pc) - L + (Gr - Pc) \geq SSD} \quad \mathbf{(IV.2)}$$

$$\mathbf{SSD = SSS + M_{ray} + M_{shad}} \quad \mathbf{(IV.3)}$$

Où P_e : puissance émise

Pr : puissance reçue
Pc : perte de connexion
Ge : gain d'antenne d'émission
Gr : gain d'antenne de réception
L : affaiblissement de propagation
Mray : marge de fading rapide
Mshad : marge de SHADOWING
SSD : seuil de sensibilité dynamique
SSS : seuil de sensibilité statique

III.3. Le dimensionnement des cellules

Arrivé à ce stade du processus de planification des cellules, il faut à présent élaborer le plan nominal des cellules. Ceci est un premier plan théorique, réalisé sans l'aide d'outils avancés de planification ou informatiques.

Le plan nominal des cellules présente l'aspect d'un schéma de cellules superposé à une carte mais de nombreuses tâches ont dû être effectuées pour en arriver là. Un plan nominal des cellules, avec un ou deux exemples de prévisions de couverture, est souvent compris dans les propositions remises en réponse à des appels d'offres.

III.4. Allocation des fréquences

A la fin de la première étape de la planification, le nombre de cellules et leurs rayons sont connus .

L'étape suivante est appelée allocation de fréquences qui consiste à allouer les porteuses aux différents sites tout en maintenant une qualité de service supérieur à un certain seuil.

Les méthodes de résolution du problème d'allocation de fréquences dans les systèmes cellulaires reposent essentiellement sur les modèles de réseau à structure régulière hexagonale.

Dans ces modèles chaque fréquence est réutilisée par d'autres cellules à condition qu'on aura pas d'interférence entre ces cellules.

La distribution voulue du rapport C/I dans un système détermine le nombre de groupes de fréquences F pouvant être utilisés. Si le nombre total de canaux attribués N est répartie entre F groupes, chacun de ces groupes contiendra N/F canaux.

Le nombre total de canaux N étant fixe, un plus petit nombre de groupes de fréquences F se traduira par un plus grand nombre de fréquences par groupe de cellules. Par conséquent, une réduction du nombre de groupes de fréquences permet à chaque site d'écouler un trafic plus important, réduisant ainsi le nombre total de sites nécessaires pour une charge de trafic donnée.

Les modèles de réutilisation de fréquence les plus utilisées sont : 3/9, 4/12 et 7/21. Dans ces trois cas, la géométrie du site présente les caractéristiques suivantes :

- Trois cellules (secteurs) par site. Les azimuts de pointage des antennes sectorielles sont situés à 120 degré les uns des autres et constituent ainsi les cellules en forme de trèfle.
- Chaque cellule est de la forme approximative d'un hexagone.

Nous supposons que le trafic est réparti de façon régulier à l'intérieur des cellules.

La taille des cellules est normalement donnée sous la forme de la distance entre deux sites adjacents. Le rayon de la cellule R est toujours égal au tiers de la distance entre sites lorsque l'on utilise des sites tri sectoriels.

Un groupe de cellules adjacentes utilisant tous les canaux du système mais ne les réutilisant pas selon les modèles décrits plus bas est appelé **une grappe**.

Le modèle de cellule 3/9 utilise 9 groupes de fréquences selon un schéma de réutilisation réparti entre 3 sites. Le modèle de cellules 4/12 utilise 12 groupes de fréquences selon un schéma de réutilisation réparti entre 4 sites.

Exemple de subdivision des fréquences disponibles en groupes de fréquences (24 fréquences avec un modèle de cellules 3/9).

Groupes de fréquences	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3	C3
Fréquences	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24			

Tableau IV.1 : subdivision des fréquences en groupe de fréquences

Il faut noter que l'emploi du modèle 3/9 entraîne la présence de canaux adjacents dans les cellules adjacentes, se traduisant par une réduction des valeurs C/I. on voit bien ceci en comportant l'exemple ci-dessus au tableau IV.1.

Les cellules ayant les groupes de fréquences A1 et C3 sont adjacentes, comme celles ayant les groupes de fréquences A2-C1 et A3-C2.

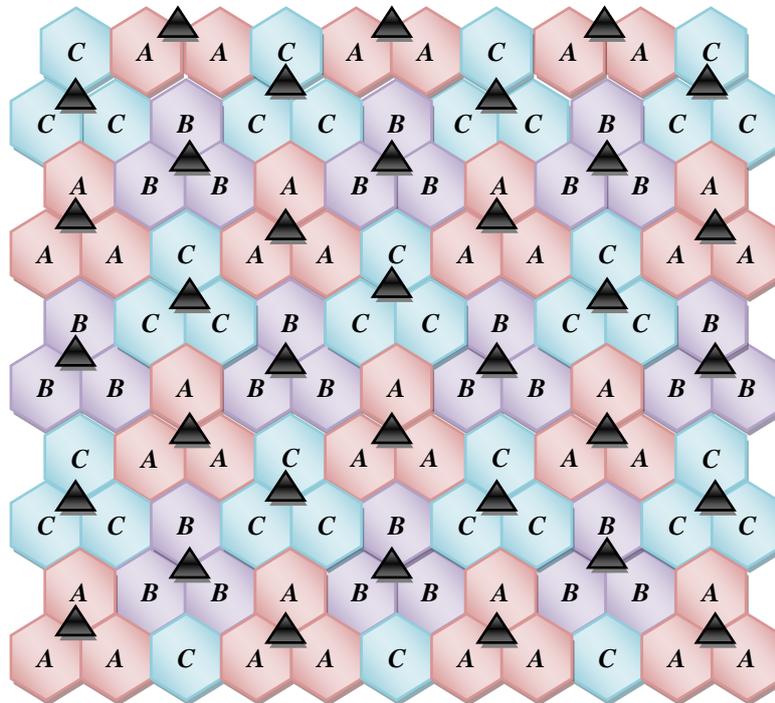


Figure IV.2 : schémas de cellules 3/9

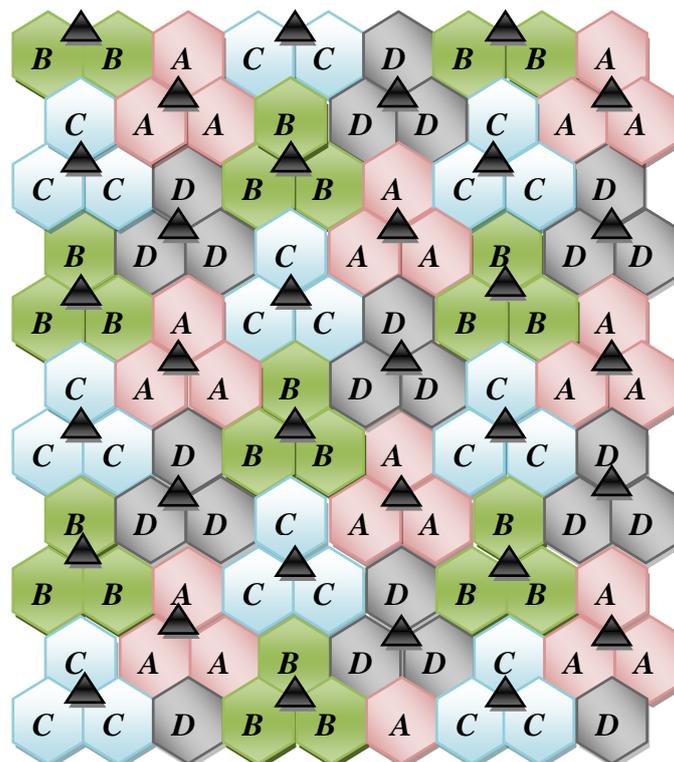


Figure IV.3 : schémas de cellules 4/12

- **Teste de mise en service**

Après ces différentes étapes de planification, on a l'implantation et la mise en service du réseau cellulaire. Des tests et des observations sont effectués pour mettre en évidence l'état de fonctionnement du système.

III. 5. Ajustement des paramètres

Les modèles de prédiction de la propagation contiennent chacune plusieurs paramètres caractérisant l'environnement sur lequel ils sont appliqués, de ce fait leurs utilisation diffère d'un milieu à un autre. Après la mise en service du réseau, des campagnes de mesure du champ et de simulation de communication sur terrain sont ainsi réalisées. Ces mesures permettent d'évaluer et d'ajouter les modèles de propagation.

IV. Planification du réseau fixe [14]

La planification du réseau fixe intervient lorsque la planification de la partie radio est achevée, elle consiste, à partir des positions et capacités des sites cellulaires, à déterminer la capacité et les moyens d'échange c'est-à-dire les liens de transmission des différents équipements du réseau fixe (contrôleur de station de base, commutateur).

IV.1. 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.1.1. Structure en étoile

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

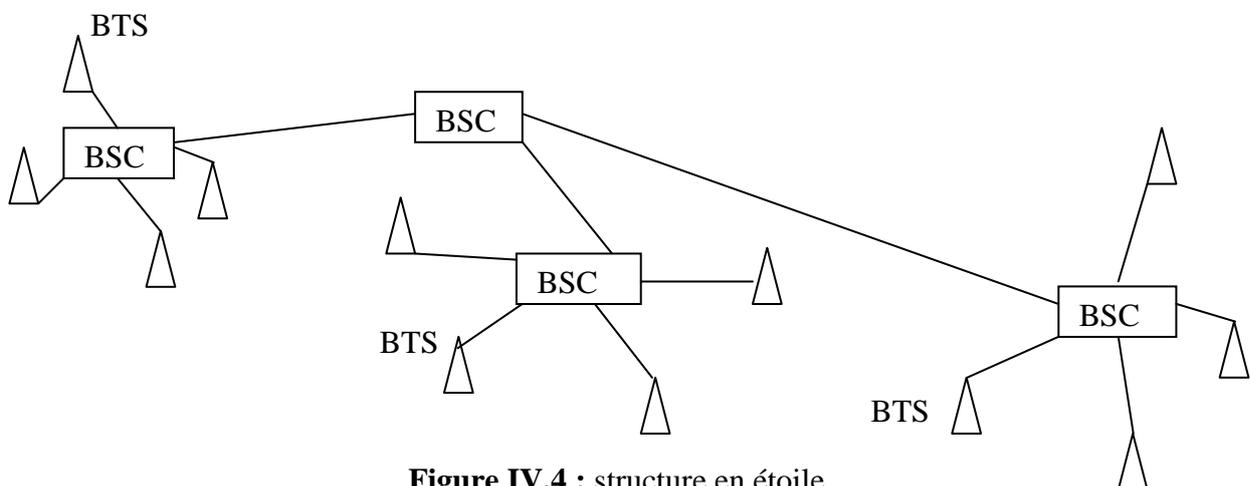


Figure IV.4 : structure en étoile

IV.1.2. Structure en anneau

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

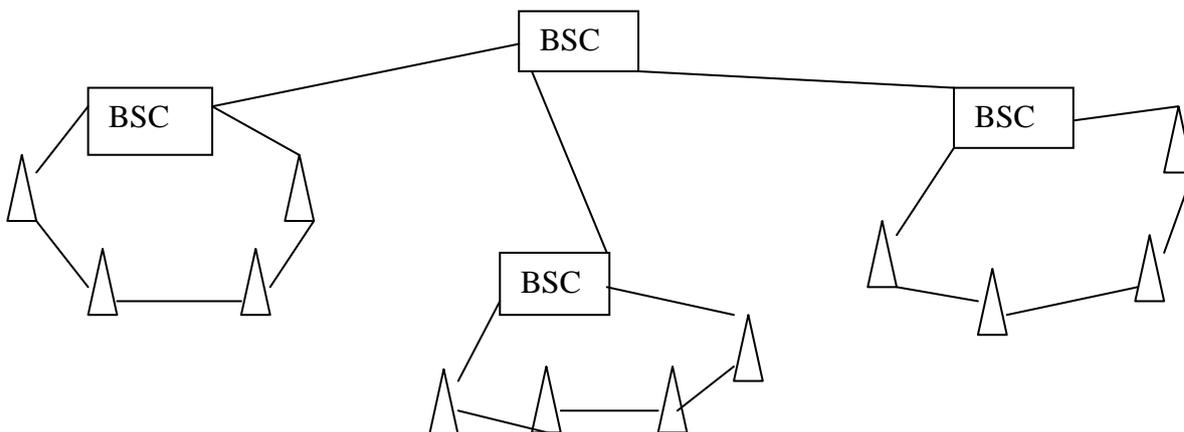


Figure IV.5 : structure en anneau

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

IV.1.3. Structure chaînée

Structure permet la transmission du 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 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.

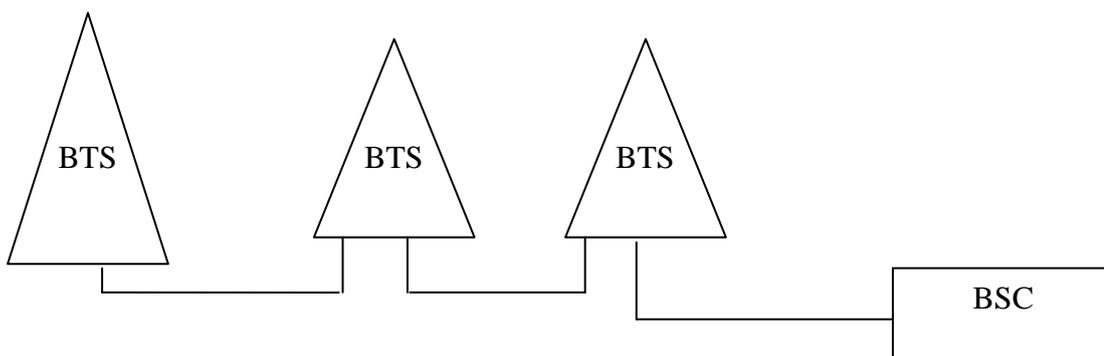


Figure IV.6: structure chaînée

Cette structure peut être interraciaire avec la structure en étoile ou en anneau dans les sites éloignés et de faible capacité.

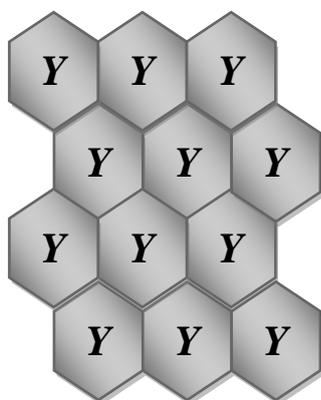
V. Densification du réseau cellulaire [15]

L'un des multiples avantages de l'architecture cellulaire est sa capacité croissante progressive (en surface et en capacité). Les techniques de planification permettent d'augmenter la capacité d'un réseau sans ajout de nouveaux sites mais avec un gain en capacité de 2 au mieux.

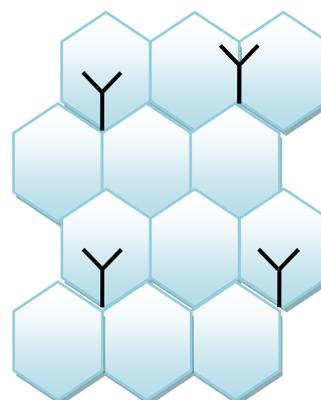
Pour faire face à l'accroissement exponentiel des abonnés, ces derniers sont suivis d'une opération de densification qui doit suivre l'évolution de la demande en trafic.

Pour cela les opérateurs doivent recourir à l'augmentation du nombre de stations de base et découper les cellules de taille plus petites. Le réseau est densifié dans les zones qui le nécessitent.

Le réseau se présente sous les deux formes suivantes : soit les stations de base sont situées au centre de la cellule, soit elles sont situées dans les coins des cellules.



BTS au centre de la cellule



BTS au coin de la cellule

Figure IV.7 : Géométrie cellulaire avec BTS aux centres et aux coins des cellules

Calcul de la capacité d'un réseau cellulaire

Pour qu'on puisse comparer entre les différentes techniques de densification, on définit la capacité du réseau cellulaire par :

$$C_o = \frac{A_o N_o}{B_o} \text{ ERL / HZ / KM} \quad (\text{IV.4})$$

avec :

A_o : Capacité maximale écoulée.

N_o : Nombre de sites par Km^2 .

B_o : Largeur de bande utilisée.

Plusieurs techniques de densification peuvent être mise en œuvre, les plus utilisées sont :

V.1. Adjonction de nouveaux canaux

Cette méthode est la plus rapide qui consiste à ajouter de nouveaux canaux aux cellules dans le cas où toute la bande de fréquence n'a pas encore été utilisée, cela revient à ajouter des émetteurs/récepteurs, TRX, au niveau des stations de base. En générale, à la mise en place initiale du 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 une autre méthode.

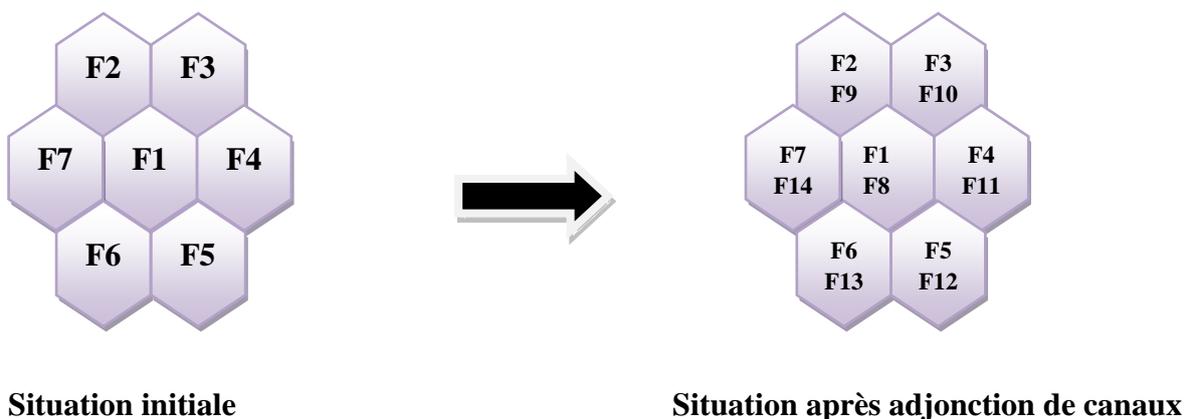


Figure IV.8 : adjonction de nouveaux canaux

L'avantage principal du recours à cette technique est qu'elle ne nécessite pas la modification du motif cellulaire.

Dans la phase de densification, les antennes omnidirectionnelles vont donc être remplacées par des antennes directionnelles, 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 tri cellulaire à chaque site. Dans les sites cellulaires à cellules tri sectorielles, chaque canal géré par un site sera émis et reçu dans l'un des trois secteurs. Comparé au cas omnidirectionnel, une antenne directionnelle peut délivrer le même niveau de signal dans la zone desservie tout en induisant moins d'interférences avec les co-cellules. Ainsi, un système à antennes directives pourra opérer avec un rapport de réutilisation co-canal plus faible.

La réduction de la taille des cellules permet de conserver le même motif de réutilisation des fréquences (rapport D/R constant). Dans la pratique, le rayon d'une cellule ne peut être réduit en deçà d'un certain seuil. Pour bien couvrir une zone, les antennes des stations de base sont placées au dessus du niveau des toits en milieu urbain. Si la densité des stations de bases est très importante, la propagation devient beaucoup plus dépendante de l'environnement proche du mobile. Il est possible, par exemple, que le mobile soit en propagation favorable par rapport à une station de base interférente.

De tels cas défavorables obligent à augmenter la taille des motifs. La réduction de la taille des cellules est donc limitée dans la pratique.

VI. Déploiement micro cellulaire [^4]

Pour disposer de cellules de très petites tailles, l'opérateur installe des stations de base dont les antennes sont au dessus du niveau des toits. La couverture obtenue est typiquement de quelques centaines de mètres et forme une micro cellule.

La présence de micro cellule se justifie seulement dans la zone à très forte densité d'utilisateurs (une gare par exemple). Il serait extrêmement coûteux pour un opérateur d'assurer une couverture continue d'une ville, seulement avec des micros cellules. Le réseau a alors une autre couche appelées macro cellules recouvrant une ou plusieurs cellules.

VII. Découpage des fréquences par opérateurs [^4]

Dans le processus d'allocation des fréquences il apparaît deux bandes de fréquences : une bande de fréquences de réception du portable (RX ou DOWNLINK de la station de base vers le téléphone) et une bande de fréquence d'émission du portable (TX ou UPLINK du téléphone vers la station de base).



Figure IV.12 : Allocation de fréquences par GSM

Chacun des blocs (bloc d'émission et bloc de réception), est ensuite divisé en canaux. En sachant que plus on rapproche ces derniers, moins ils peuvent convoyer d'informations car ils finissent par empiéter l'un sur l'autre. En GSM, l'écart de fréquences entre deux canaux adjacents a été fixé à 200 MHz, soit 0.2 MHz. De ce fait il suffit d'un simple calcul pour s'apercevoir que le groupe 900 MHz ne peut que convoyer 125 communications à la fois. Si le site comporte 35 canaux par exemple, chaque groupe sera composé de cinq canaux duplex. les verticalement modulo 4.

Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E	Groupe F	Groupe G
1	21	6	26	11	31	16
5	25	10	30	15	35	20
9	29	14	34	19	4	24
13	33	18	3	23	8	28
17	2	22	7	27	12	32

Tableau IV.2 :exemple de répartition de fréquences en groupe

Si, pour téléphoner d'un mobile, on ne disposait que d'un émetteur unique couvrant toute l'Algérie, il ne pourrait y avoir que quelques centaines de communications en même temps. Mais fort heureusement les responsables des télécommunications ont saupoudré le territoire d'émetteur à très courte portée ne couvrant qu'un domaine bien délimité : on parle de cellules, d'où le terme de téléphone cellulaire. En limitant volontairement la portée (de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres), on peut réutiliser une même fréquence dès lors que l'on se trouve assez loin des autres émetteurs qui l'exploitent déjà.

Aussi l'émetteur des téléphones mobiles peut être d'une puissance modeste, un atout pour leur autonomie et leur miniaturisation.

VIII. Conclusion

La planification d'un système cellulaire est une étape importante, souvent répéter plusieurs fois dans le cycle de vie du réseau. Les opérateurs peuvent être amenés à installer, pendant cette phase une centaine de sites.

La montée en charge, avec la croissance du nombre d'abonné, 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 le futur afin d'optimiser le réseau de façon qu'il soit complètement transparent à l'utilisateur.

Chapitre V:

Logiciel ATOLL et Simulation

I. Introduction

La planification d'un réseau GSM nécessite l'utilisation d'outils informatique ou plus précisément connue sous le nom de logiciels de planification ou planificateur.

Il existe une multitude de planificateur réseau GSM, parmi ces logiciels nous avons : ATOLL, NOKIA Planer, SIEMENS Planer, ERICSSON Planer, MAP-INFO,...etc.

Leur but primordial est de planifier et de concevoir un réseau cellulaire selon les exigences du client tous en respectant les normes internationales et la compatibilité des réseaux de télécommunications.

Chaque opérateur de téléphonie cellulaire utilise un planificateur spécifique, par exemple en Algérie il existe 3 opérateurs de téléphonie mobile : DJEZZY, NEDJMA, MOBILIS. NEDJMA et DJEZZY utilise NOKIA Planer et SIEMENS Planer, par contre MOBILIS utilise ERICSSON Planer comme planificateur.

Dans ce chapitre, nous allons présentés une simulation sous le Logiciel ATTOL d'un réseau GSM. Cette étude va nous permettre d'aborder et d'analyser la partie planification qui nous intéresse dans notre projet de planification radio.

II. Présentation du logiciel ATOLL

II.1. Description du logiciel ATOLL

ATOLL a été conçue par FORSK compagnie, c'est une solution multi-technologie évolutive et flexible dans la conception et l'optimisation des réseaux, c'est une plate forme qui prend en charge les opérateurs sans fil durant tout le cycle de vie d'un réseau depuis sa conception initiale jusqu'à l'optimisation et la densification du réseau conçu.

ATOLL est aussi un système d'informations technique ouvert qui s'intègre facilement avec d'autres applications et qui augmente la productivité.

Il dispose d'outils de développement avancés et d'interfaces ouvertes qui permettent l'intégration des mesures, ou des modules complémentaires disponibles commercialement.

ATOLL a été conçue afin de fonctionner dans un large éventail de scénarios de mise en œuvre, à partir d'autonome pour les entreprises basées sur le serveur en utilisant une configuration distribuée et un calcul parallèle.

II.2.L'environnement de travail d'ATOLL

L'environnement de travail ATOLL fournit un ensemble complet et intégré, et des fonctionnalités qui permettent de définir un projet de planification radio en une seule application, il permet d'enregistrer l'ensemble du projet en un seul fichier, ce projet peut être liée à des fichiers externes.

ATOLL utilise des éléments de l'interface Windows, avec la possibilité d'avoir plusieurs documents Windows ouverts, en même temps le support du glisser-déposer, avec un menu contextuels et avec aussi le soutien pour les raccourcis Windows standard, par exemple pour le copier coller.

ATOLL offre aussi le standard d'impression de Windows avec des fonctionnalités supplémentaires qui permettent d'imprimer soit la fenêtre de la carte complète, ou certaines parties ou seulement certains objets.

ATOLL fournit également d'autres outils, comme un outil de recherche pour trouver soit un site, un point sur la carte, ou un vecteur.

La fenêtre de l'explorateur joue un rôle central dans ATOLL. Cette fenêtre contient la plupart des objets dans un document organisés en dossiers

II.3. Description de la fenêtre de travail principal du logiciel ATOLL

La zone de travail ATOLL est montrée sur la figure suivante (Figure V.1). Elle se compose de la fenêtre principale la ou les tables de données et la fenêtre de la carte et les rapports sont affichés, et se compose aussi de la fenêtre d'explorateur.

La fenêtre de l'explorateur contient les données et les objets d'un document, organisés en dossiers.

ATOLL offre une variété d'outils pour nous aider à planifier un réseau. Les outils ouverts dans les fenêtres séparées, dont certaines peuvent être ancrées dans la zone de travail ou flotté sur cette zone.

II.4. Recommandations hard et soft du logiciel ATOLL

- Configuration minimale recommandé pour les postes de travail ou les ordinateurs portables :
 - ✓ Processeur Intel Xeon (ou équivalent) avec 2GB de RAM.
 - ✓ Microsoft Windows 2000, Xp Professionnel et Vista .
- Gestion des bases de données relationnelles :(pas nécessaire pour une seul configuration)
 - ✓ Oracle 9I et 10g.
 - ✓ Sybase adaptive serveur V12.5 .

- ✓ Serveur Microsoft SQL server 2005 .
- ✓ Microsoft Access.

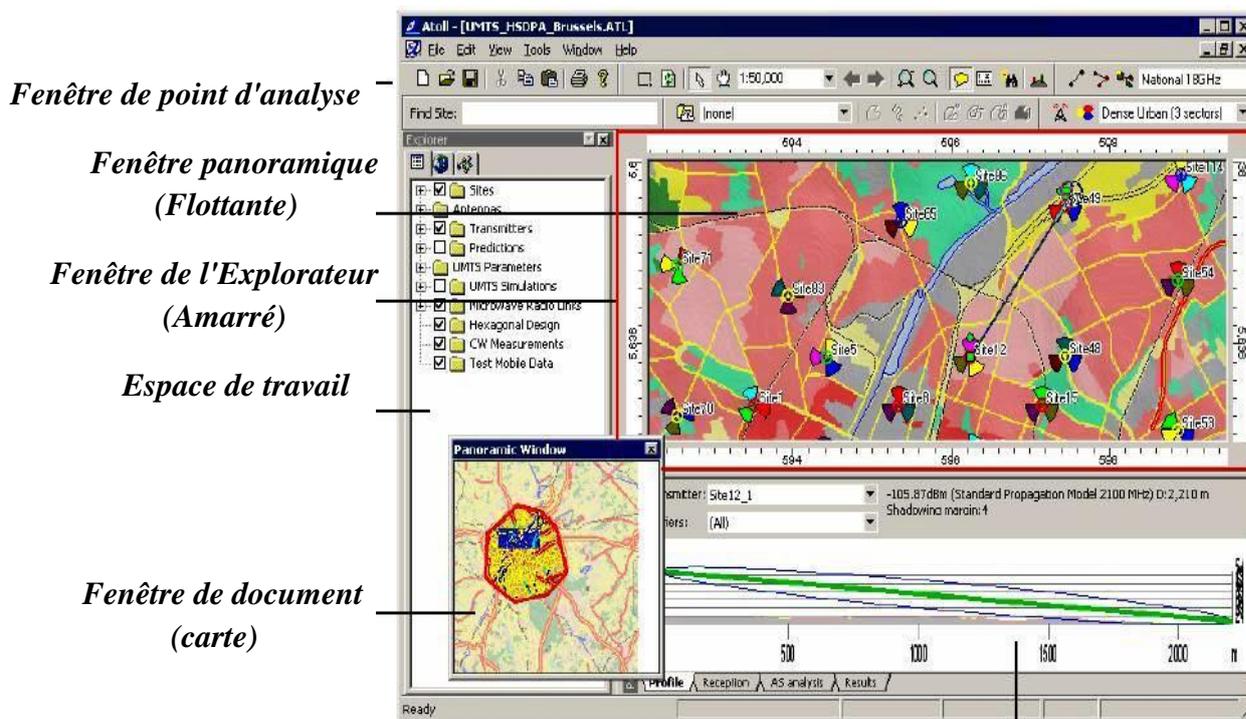


Figure V.1 : Fenêtre de travail principale d'ATOLL

III.Simulation

III.1.Objectif

L'objectif de cette étude est la prise en main du logiciel ATOLL d'aide à la planification de réseaux mobile GSM de 2^{ème} Génération. Nous avons alors choisit comme exemple d'application la région de Moscow, car sa carte géographique est prédéfinie sur le logiciel ATOLL, ainsi que toute les capitales d'Europe.

Les Problématiques abordées dans cette étude recouvrent : les antennes, la propagation, la couverture radio, et l'architecture cellulaire. Toutes les données sont entrées à partir d'un document Excel élaboré (voir annexe 2).

III.2. Etapes de la simulation

Le travail se répartit sur plusieurs étapes qui sont détaillées comme suite :

III.2.1 Début du projet : Project Template

Ouvrir l'interface principale du logiciel atoll et choisir le type d'application: exemple GSM.

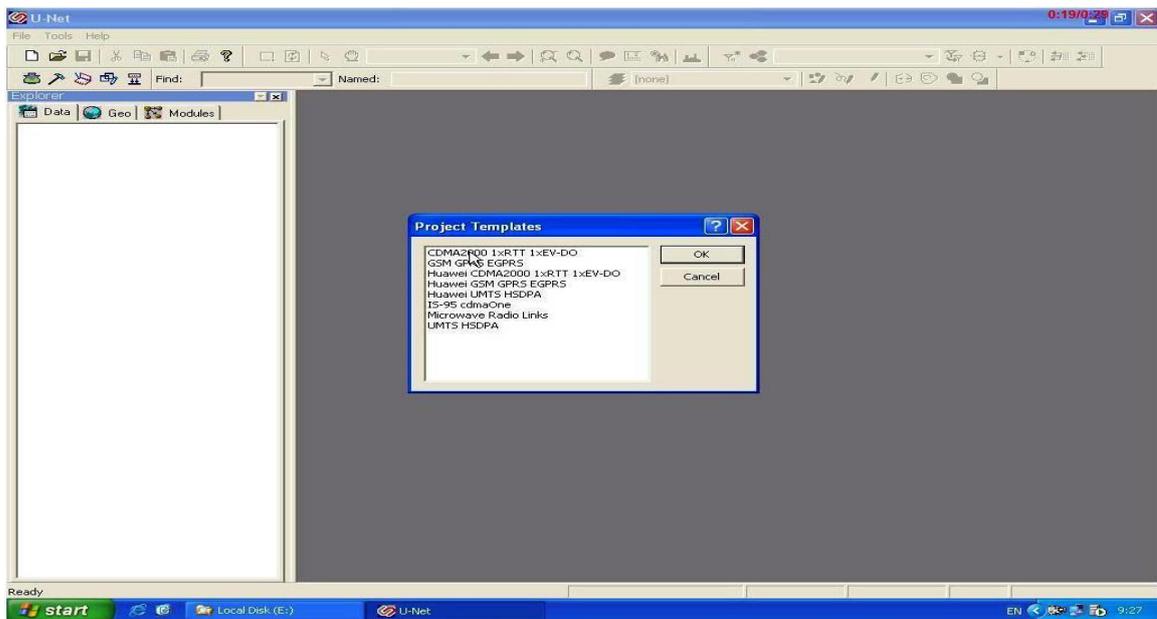


Figure V.2 : Début du projet

III.2.2 Configuration des paramètres

Click sur: Tool/ option/GSM zone coverage. Afin de régler la précision du logiciel.

III.2.3 Import digital maps

La carte de Moscow est caractériser par : clutter, height, vector :

- Clutter : est utilisée afin de représenter les détails de la carte.
- Height : afin d'entrer les différentes hauteur (bâtiments, montagne,...etc).
- Vecteur : afin de dimensionner la carte (ajouter de la précision).

Import clutter:

Click sur : File/import/ parcourir : C:\Documents and Settings\Administrateur\Bureau\Atoll\Images\Moscow\clutter\open
Puis sélectionner sur une liste : clutter classes/open. (Data type)

Ont obtient alors la représentation si dessous :

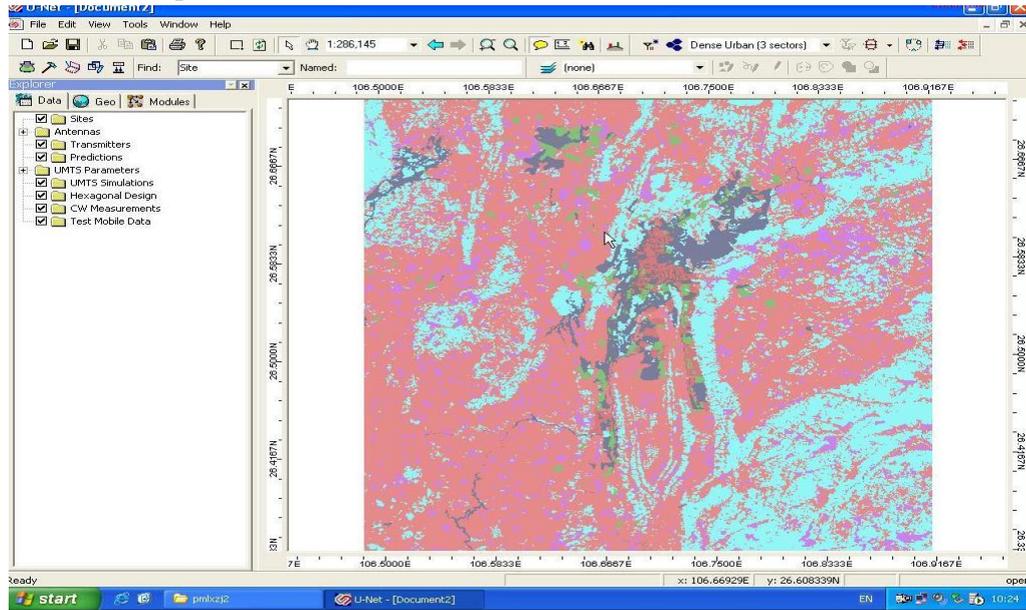


Figure V.3 : Importation de la composante clutter

Import de height :

Click sur : File/import/ parcourir : C:\Documents and Settings\Administrateur\Bureau\Atoll\Images\Moscow\height\open
Puis sélectionner sur une liste : altitudes/open (data type).

Ont obtient alors la représentation si dessous :

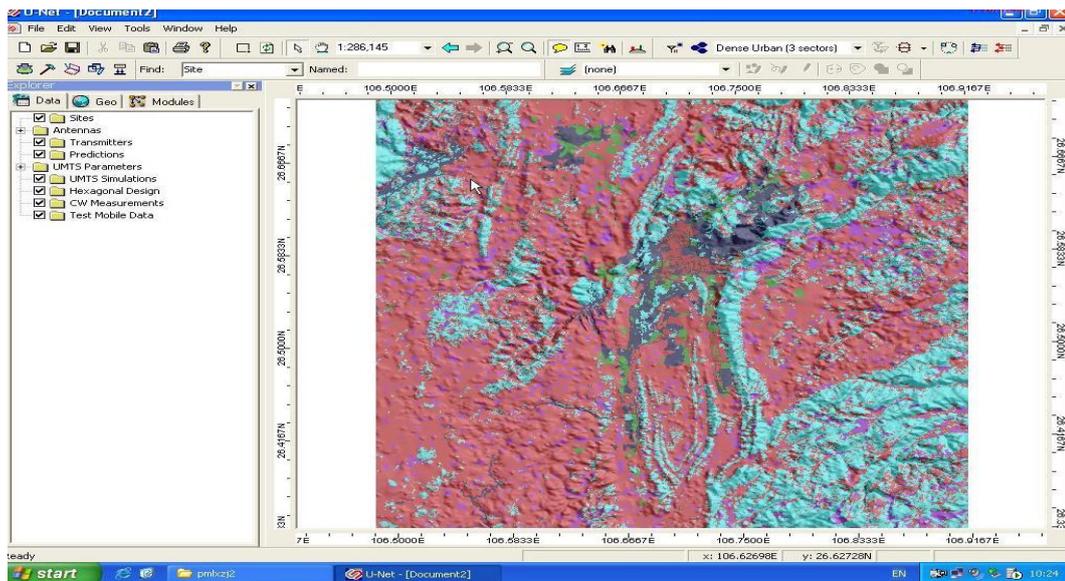


Figure V.4 : Importation de la composante height

Import vector

Click sur : File/import/ parcourir : C:\Documents and Settings\Administrateur\Bureau\Atoll\Images\Moscow\vector\open
Puis sélectionner sur une liste : altitudes/open (data type)\vectors\open\vetor import\import.

Ont obtient alors la représentation si dessous :

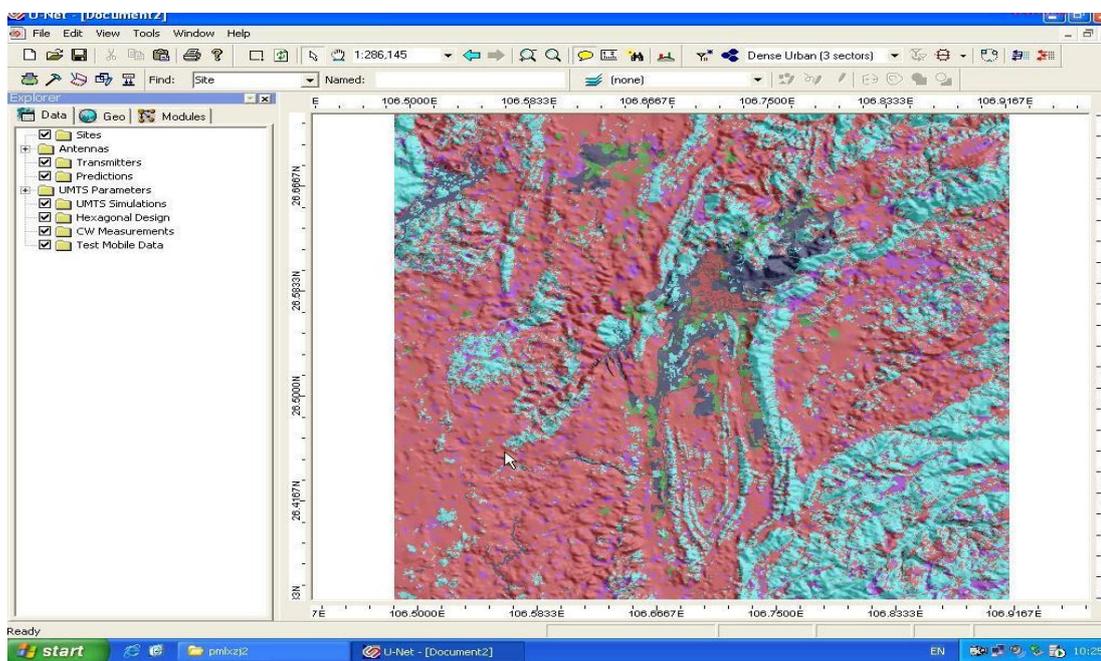


Figure V.5 : Importation de la composante vector

III.2.4. Choisir le modèle de propagation

Click sur : Modules/ Standard model propagation/Duplicate (bouton droit afin de créer un nouveau).

Puis Options: Copy of Standard model propagation il est caractériser par :

- Générale: afin de lui donner un nom dans notre exemple il est nommé SPM Moscow.
- Paramètres : à partir du classeur d'information établie les éléments de propagation ainsi que les paramètres des transmetteurs sont introduit afin de personnaliser notre modèle de propagation selon le cahier de charge ainsi que les equipments.

III.2.5. Importer les antennes

Click sur: Data\Antennas\new.

On obtient la fenêtre représentée si dessous, qui nous permet d'introduire les données des antennes (Nom, Rayonnement). Dans notre exemple nous avons choisis des antennes ayant un gain de 18dBi :

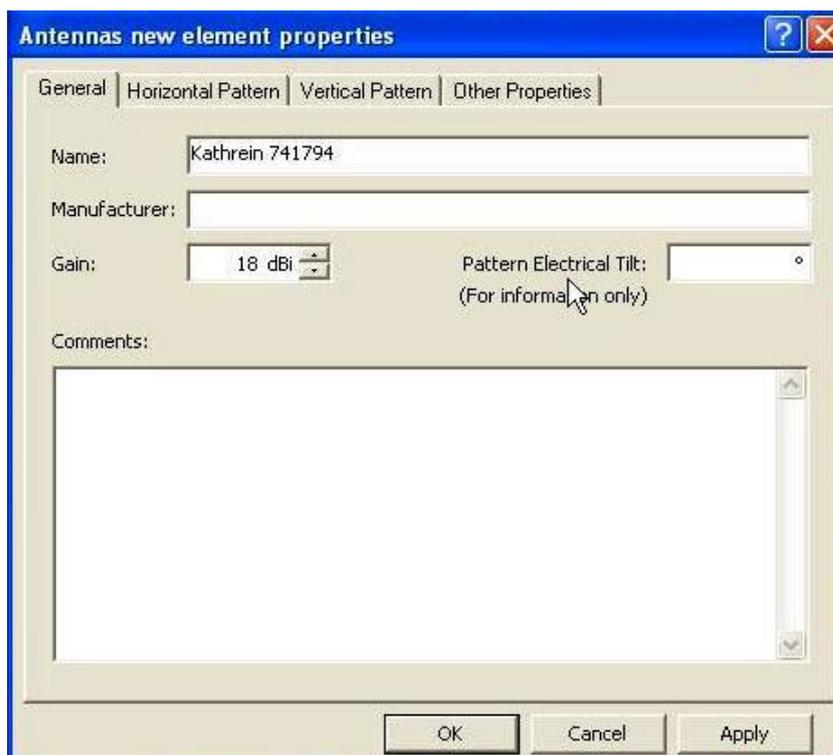


Figure V.6 : Propriétés élémentaires des antennes

Après avoir introduits les données de rayonnement des antennes à partir du classeur d'information (verticale et horizontale) ont obtient le diagramme de rayonnement suivant :

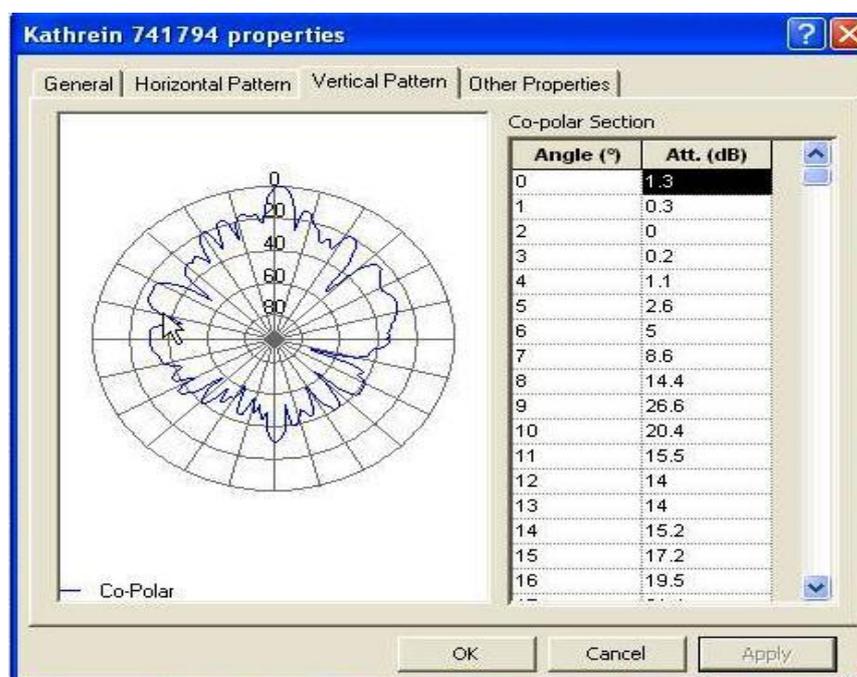
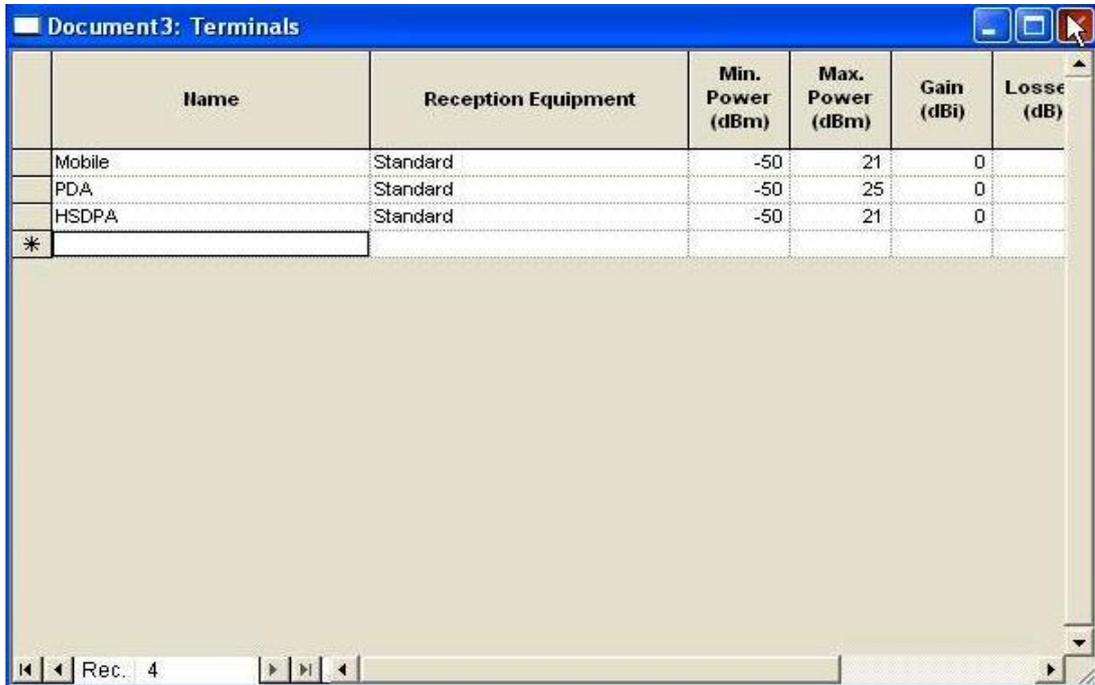


Figure V.7 : Fenêtre du Diagramme de rayonnement des antennes utilisées

III.2.6. Importer les terminaux : (Mobile, PDA)

Click sur : Terminals\open table.

Les informations sont entrées sur l'interface suivante :



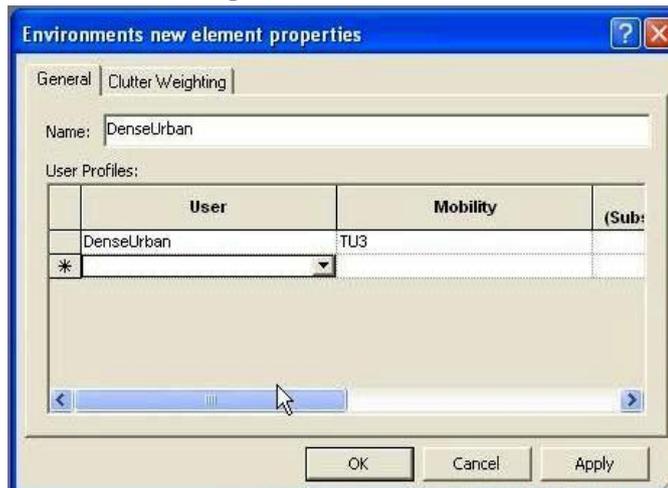
Name	Reception Equipment	Min. Power (dBm)	Max. Power (dBm)	Gain (dBi)	Loss (dB)
Mobile	Standard	-50	21	0	
PDA	Standard	-50	25	0	
HSDPA	Standard	-50	21	0	
*					

Figure V.8 : Fenêtre import (terminals)

III.2.7. Import Environments

Click sur : environments\new.

Les données de l'environnement sont représentées sur l'interface suivante :



User	Mobility	(Sub:
DenseUrban	TU3	
*		

Figure V.9 : Fenêtre des Propriétés de l'environnement

III.2.8.Import équipements

Click sur : sites\equipement\open table.

Puis entrer les données du classeur d'équipements.

III.2.9.Import Sites

Click sur : sites\open table.

Puis entrer les données.

III.2.10.Import transmitters

Click sur : transmitters\open table.

Puis entrer les données.

Remarque : les éléments qui n'ont pas été pris en compte, comme TMA Feeder & BTS Noise, Mobility Types, Each Service EbNt, ...etc sont définies par défaut par le logiciel ATOLL ;

En fin, nous obtenons la représentation suivante :

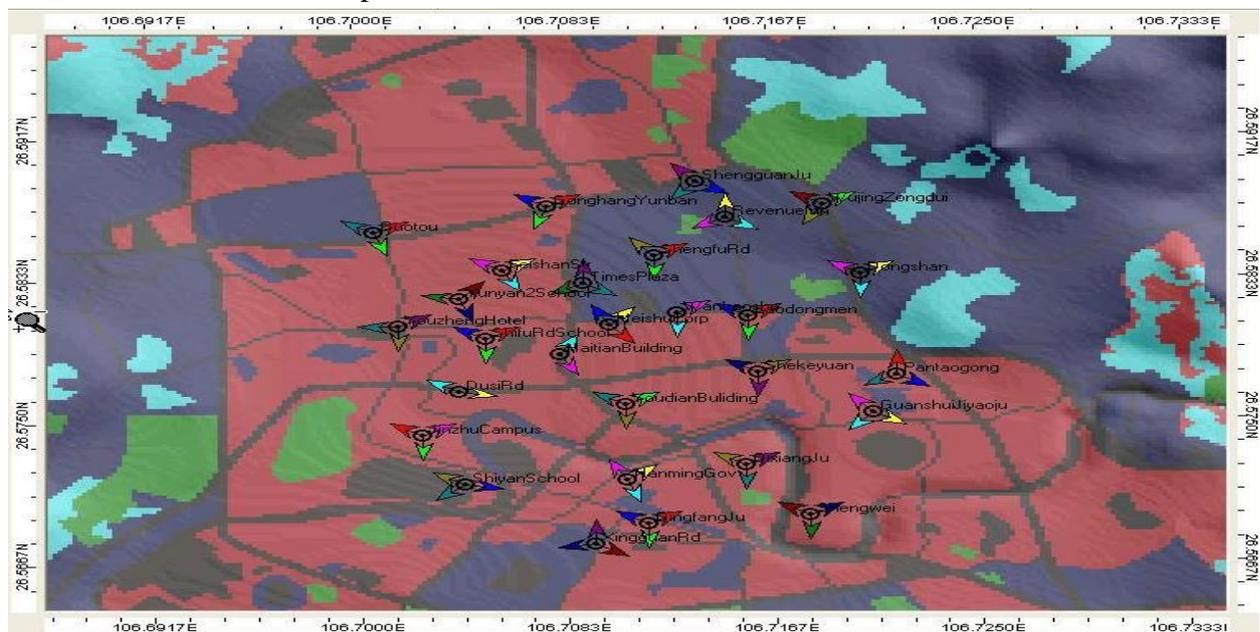


Figure V.10 : Emplacement des BTS du site planifier

Résumé

Ce travail est le résultat d'une étude théorique et approfondie sur le réseau GSM et plus précisément sur la planification du réseau GSM.

Il donne une description des caractéristiques du réseau GSM, d'un point de vue constitution, fonctionnement et propagation des ondes radio.

La notion de trafic ainsi que le concept cellulaire et dimensionnement du réseau sont des facteurs clés dans la planification d'un réseau cellulaire.

Cette étude à été faite afin de comprendre comment planifier un réseau cellulaire en prenant compte des différents paramètres qui rentrent en jeu dans la planification de ce réseau. Afin d'illustré toutes ces notions théoriques, un exemple d'application sous le logiciel ATOLL est présenté en fin de ce mémoire.

Mots clés : Réseau GSM, dimensionnement, planification, simulation, logiciel ATOLL

Abstract

This work is the result of a thorough theoretical study of the GSM network and more specifically on the planning of the GSM network.

It describes the GSM network characteristics, a point of view creation, operation and propagation of radio waves.

The concept of traffic and the cellular concept and design of the network are a key factors in the cellular network planning.

This study was conducted to understand how to plan a cellular network and take into account the different parameters that come into play in planning for this network.

To illustrate these theoretical concepts, a simple application is presented in the ATOLL software at the end of this study.

Key words: GSM network, design, planning, Simulation, ATOLL software.

ملخص

هذا العمل هو نتيجة لدراسة نظرية شاملة حول شبكة الهاتف النقال و أكثر تحديدا علي تخطيط شبكة جي إس إم.

و نجد أيضا في هذه المذكرة و صف لخصائص هذه الشبكة من حيث بنيتها و مبدأ عملها و عملية انتشار موجات الراديو.

تعد المفاهيم التالية (النقل، تصميم الشبكة، المبدأ الخلوي) من العوامل الأساسية في تصميم الشبكة.

و قد أجريت هذه الدراسة لفهم كيفية وضع خطة لشبكة الهاتف الخلوي من خلال مراعاة المعايير المختلفة التي تلعب دورا هاما في تخطيط هذه الشبكة.

لتوضيح هذه المفاهيم النظرية، يتم تقديم تطبيق نموذجي عن طريق برنامج أطول في نهاية المذكرة.

كلمات مفتاحيه : شبكة جي إس إم، التصميم، التخطيط، التمويه، برنامج أطول.

Bibliographie

- [1] : HASSANE Mohammed , PFE : Le GSM – IGE27/Institut d’Oran/ (2005,2006).
- [2]: GSM, GPRS And EDGE Performance/ Evolution Towards 3G\UMTS/
By Timo HALONEN .
- [3] : Structure et Fonctionnement d’un réseau GSM\ Jean Philippe MULLER\ Techno Assistance Formation Année 2000.
- [4] : GOURCHALA Lakhder et SAIDI Ben Ali, PFE : fonctionnement du mobile GSM\ Institut d’Oran Promotion DEUA29.
- [5] : Les Antennes \ D. Bensoussan\ Collection Modules TECCART\ 3éme édition1980.
- [6] : Wadii BELLAJ et Sami TABBANE, PFE : Outil de planification BSS pour les réseaux GSM & GPRS de TUNISIANA\ Ecole Supérieur de Tunis\ (2004,2005).
- [7] : Réseaux GSM-DSC, des principes à la norme\ X.Large, P.Godlewski. Tabbane\ Edition HERMES\ 5éme Edition ISBN 2-7462-0153-4.
- [8] : Réseaux de mobiles & réseaux sans fil\ Khaldoun Al Agha, Gue Pujolle, Guillaume Vivier\ Edition Eyrolles\ 2001\ ISBN : 2-212-11018-9.
- [9] : Système de radio Communication avec Les Mobiles\ Jean Gabriel Lemy, Jean Cneugnet, Cedric Siben.
- [10] :Scheinder, DEA : Modélisation de la propagation radioélectrique a l’intérieur des bâtiments « Etude préliminaire »\1997.
- [11] :Le GSM : planification et Dimensionnement\ Cours INSA Département des Télécommunications \ (2006-2007).
- [12] : Applications of Resources Optimization in Wireless Networks\ Patrick Bj orklund\
Institute if technology Linkopings, Sweden\ 2006.
- [13]: HALIDOU Haoua et HAMADOU Seyni Issa, PFE : Planification cellulaire Etude et Simulation\ (2004-2005)
Télécommunication d’Oran.
- [14] : ZGUIRA Mokhtar et SELMI Naceur, PFE : Planification d’un réseau GSM en Tunisie et Optimisation du Réseau Cellulaire GSM de Tunisie-Telecom SupCom\ Ecole Supérieure des Communications\2002.

[15] : GSM Network Planing – Core Network\ STUDENT BOOK\ by ERICSSON \2004.

Documents électroniques

[^1] : Transparent du cours Réseaux Publics de Télécoms.

<http://www.ulb.ac.be/students/bep/files/transparents.html>.

[^2] : images de BTS.

<http://fln.juliendelmas.com/index.html>

[^3] : Données sur les abonnés GSM à travers le monde sur le site associatif du GSM.

<http://www.gsmworld.com/>

[^4] : Principe Planing Steps 8 GSM/ UMTS Differences\ TECHCOM Consulting.

<http://www.techcom.com/>

Conclusion Générale

Ce projet de fin d'étude ma permit d'acquérir une certaine connaissance des réseaux GSM et plus précisément une maitrise des règles d'ingénierie cellulaire surtout celles qui concernent la propagation en environnement radio mobile, ainsi que les règles de la planification d'un réseau cellulaire et ses étapes. En plus de cela une prise en main d'un logiciel de planification.

La mobilité des usagers est due à l'utilisation des ondes électromagnétiques comme moyens de liaison dont la nature permet aussi la réutilisation des fréquences (l'architecture cellulaire), ce qui implique l'optimisation de la capacité des réseaux cellulaires.

Le dimensionnement des réseaux radios mobiles est un problème complexe qui met en jeux à la fois des aspects théoriques et pratiques, il s'agit de trouver la meilleur architecture cellulaire au regard de plusieurs critères.

La planification d'un réseau à pour but d'atteindre un trafic de haute capacité, elle constitue l'une des taches primordiales de l'opérateur du réseau.

Dans la planification d'un réseau cellulaire on utilise l'outil informatique vue la complexité des sites à planifier et la variance des données.

L'utilisation d'outil informatique (Planificateur) permet une réduction considérable en temps et en frais.

Liste des Figures

Figure I.1 : exemple de motif à 7 cellules.....	4
Figure I.2 : distance de réutilisation le modèle hexagonal : exemple de motifs à 3, 4,7 cellules.....	5
Figure I.3 : Architecture du réseau GSM.....	7
Figure I.4 : Exemple d'antennes GSM (BTS tri-sectorielles).....	9
Figure I.5 : Technique de down-tilting.....	10
Figure I.6 : Schéma synoptique d'un BSC.....	14
Figure I.7 : Méthodes d'accès.....	19
Figure I.8 : Bande Fréquentiel du GSM900.....	20
Figure I.9 : Structure d'un Burst.....	21
Figure I.10 : Classification des canaux logiques.....	22
Figure I.11 : Etablissement d'un appel d'un mobile vers un réseau RTCP.....	29
Figure I.12 : Appel du RTCP, en direction du mobile(MS).....	31
Figure II.1 : Schéma Dipôle et parabole.....	33
Figure II.2 : Types de Réflexion.....	34
Figure II.3 : Diffraction.....	35
Figure II.4 : Schéma bloc général d'une liaison radio mobile.....	37
Figure II.5 : Trajets multiples.....	41
Figure II.6 : Interférence Co-canal.....	42
Figure II.7 : Interférence sur canal adjacent.....	42
Figure III.1 : Evolution du partage des ressources spectrales sur le lien montant au cours la dernière décennie en France.....	49
Figure III.2 : niveau de bruit électromagnétique relativement au bruit thermique minimal des systèmes de réception.....	50
Figure III.3 : Représentation du bruit AWGN (Additive White Gaussian Noise) : aléatoire, additif, blanc et gaussien).....	50
Figure III.4 : interférences entre cellules voisines réutilisant la même fréquence sur un modèle hexagonal.....	52
Figure III.5 : Etude du taux de refus d'appel en fonction du trafic demandé, pour un nombre de porteuses attribué à la cellule variant de 1 à 8.....	55
Figure IV.1 : processus de planification des cellules.....	60
Figure IV.2 : schémas de cellules 3/9.....	65
Figure IV.3 : schémas de cellules 4/12.....	65
Figure IV.4 : structure en étoile.....	66
Figure IV.5 : structure en anneau.....	67
Figure IV.6 : structure chaînée.....	68
Figure IV.7 : Géométrie cellulaire avec BTS aux centres et aux coins des cellules.....	68
Figure IV.8 : adjonction de nouveaux canaux.....	69

Figure IV.9 : Emprunt des canaux.....	70
Figure IV.10 : Méthode de division des cellules.....	71
Figure IV.11 : Sectorisation.....	71
Figure IV.12 : Allocation de fréquences par GSM.....	73
Figure V.1 : Fenêtre de travail principale d'ATOLL.....	76
Figure V.2 : Début du projet.....	77
Figure V.3 : Importation de la composante clutter.....	78
Figure V.4 : Importation de la composante height.....	78
Figure V.5 : Importation de la composante vector.....	79
Figure V.6 : Propriétés élémentaires des antennes.....	80
Figure V.7 : Fenêtre du Diagramme de rayonnement des antennes utilisées.....	80
Figure V.8 : Fenêtre import (terminals).....	81
Figure V.9 : Fenêtre des Propriétés de l'environnement.....	81
Figure V.10 : Emplacement des BTS du site planifier.....	82

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Puissance d'émission avant couplage.....	12
Tableau I.2 : Puissance d'émission avec couplage.....	12
Tableau I.3 : Caractéristiques générales des systèmes GSM et DSC.....	17
Tableau II.1 : Formule d'affaiblissement selon le domaine de validité.....	39
Tableau III.1 : Propriétés de la couche radio GSM.....	48
Tableau III.2 : Rapport de protection des canaux adjacents.....	52
Tableau III.3 : Nombre de canaux vois en fonction de porteuses attribuées.....	54
Tableau III.4 : Modèle de trafic.....	58
Tableau IV.1 : subdivision des fréquences en groupe de fréquences.....	64
Tableau IV.2 :Exemple de répartition de fréquences en groupe.....	73

Tableau 1 : SPM (Standard Model Propagation)

	Standard Model Propagation						
Morphology	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Kclutter
Dense Urban	4.9	41.65	16.82	0.1	(-)0.27	0	0
Urban	13.46	49.19	0.15	5.83	(-)6.55	0	0
Suburb	(-)5.4	49.43	5.83	0	(-)6.55	0	0
Rural							
Highway							

Tableau 2 : Antennas

Antenna Patern			
Name: Katherein 741794			
Gain: 18dBi			

Colonne1	Colonne2	Colonne3	Colonne4
Angle	Att	Angle	Att
0	0	0	1.3
1	0	1	0.3
2	0	2	0
3	0.1	3	0.2
4	0.1	4	1.1
5	0.2	5	2.6
6	0.2	6	5
7	0.3	7	8.6
8	0.3	8	14.4
9	0.4	9	26.6
10	0.5	10	20.4
11	0.5	11	15.5
12	0.6	12	14
13	0.7	13	14
14	0.8	14	15.2
15	0.9	15	17.2
16	1.1	16	19.5
17	1.2	17	21.4
18	1.3	18	22.5
19	1.4	19	23.6
20	1.6	20	25.5
21	1.7	21	28.4
22	1.9	22	30.8

Tableau 4 : Terminals

Name	Reception Equipment	Min Power (dBm)	Max Power (dBm)	Gain (dBi)	Losses (dB)	Total Noise Figure(dB)	Active Set size
Mobile	Standard	-50	21	0	0	7	3
PDA	Standard	-50	25	0	0	7	1
HSDPA	Standard	-50	21	0	0	7	3

Tableau 5 : Environments

Dense Urban	Colonne1	Colonne2
User	Mobility	Density (Subscribers/Km)
Dense Urban	TU3	2000

Tableau 6 : Equipements

Name	Manufacturer	MUD factor	RAKE factor
BBU3806+RRU	Huawei	0	1
BTS3801C	Huawei	0	1
BTS3803C	Huawei	0	1
BTS3812A	Huawei	0	1
BTS3812E	Huawei	0	1

Tableau 7 : Sites

Site name	Longitude	latitude	Altitude(m)	Nb CEs used (UL)	Nb CEs used (DL)	Equipement
Site01	106.7203	26.58358		384	384	BTS3812E
Site02	106.70406	26.576773		384	384	BTS3812E
Site03	106.7059	26.58386		384	384	BTS3812E
Site04	106.70774	26.58759		384	384	BTS3812E
Site05	106.72068	26.57545		384	384	BTS3812E
Site06	106.70076	26.5861		384	384	BTS3812E
Site07	106.70815	26.57889		384	384	BTS3812E
Site08	106.70258	26.57424		384	384	BTS3812E
Site09	106.71577	26.58108		384	384	BTS3812E
Site10	106.71019	26.58065		384	384	BTS3812E

Tableau 8 : Transmitters

Site name	Longitude	latitude	Altitude(m)	Nb CEs used (UL)	Nb CEs used (DL)	Equipement
Site01	106.7203	26.58358		384	384	BTS3812E
Site02	106.70406	26.576773		384	384	BTS3812E
Site03	106.7059	26.58386		384	384	BTS3812E
Site04	106.70774	26.58759		384	384	BTS3812E
Site05	106.72068	26.57545		384	384	BTS3812E
Site06	106.70076	26.5861		384	384	BTS3812E
Site07	106.70815	26.57889		384	384	BTS3812E
Site08	106.70258	26.57424		384	384	BTS3812E
Site09	106.71577	26.58108		384	384	BTS3812E
Site10	106.71019	26.58065		384	384	BTS3812E