

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيك

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : Systèmes de Télécommunications Numérique

THEME

Estimation du perte dans un réseau **GSM**
avec la méthode **SVM**

Proposé et dirigé par :

Dr. DJOUANE Lotfi

Réalisé par :

Mint Mohamed Lamine Khawla

N° D'ordre: 2016/STN_10/89/385

PROMOTION: JUIN 2016

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I :Principe de fonctionnement du réseau GSM	
I. INTRODUCTION.....	5
II. But du système	5
III. La technologie de GSM.....	5
III.1. Le concept cellulaire	5
III.1.1. La définition d'une cellule.....	6
III.1.2. Division de cellule	7
III.1.3. Intérêt de la division cellulaire	8
III.1.4. Réutilisation des fréquences	9
III.2. Régions géographiques d'un réseau GSM	10
III.2.1. Une région de repérage(LA-location Area).....	10
III.2.2. La zone de service PLMN	10
III.3. Architecture d'un réseau GSM.....	10
III.3.1. Le sous système radio(BSS	12
III.3.2. Le sous système réseau NSS	16
III.2.3. Le sous système opérationnel OSS.....	19
III.1.3. Présentation des interfaces.....	20
III.4. Handover	21
III.5. Partage des ressources radio.....	22
III.5.1. FDMA.....	22
III.5.2. TDMA	23
III.6. Organisation des canaux radio	24
III.6.1. Les canaux physiques	24
III.6.2. Les canaux logiques.....	24
IV. CRITÈRES DE PERFORMANCES D'UN RÉSEAU GSM.....	27
V.1. Critères de Coût.....	27
V.2. Coûts de Fonctionnement.....	28
V. Les problèmes et solutions de transmission	28
. problèmes	28
V.1.1. Fading.....	28

V.1.2. Alignement De Temps	29
V.2. solutions	29
VI.2.1. Saut de frequence ou frequency Hopping	30
VI.2.2. Codage de canal	30
VI. La modulation GSMK	30
VII. CONCLUSION	31

CHAPITRE II : Les modèles de propagation dans un réseau GSM

I. INTRODUCTION.....	33
II. Notion de modèle	33
III. Les modeles de propagation pour ingénierie radio.....	33
III.1. Les Differents Types des modèles	34
III.1.2. Modèle Macro cellule.....	36
III.1.2. Modèle Micro cellule.....	36
III.2.. Types de modèles de propagation	37
III.2.1. Les modèles empiriques	38
III.2.1.1.Modèle de Hata.....	40
III.2.1.2.Modèle d'okumura-Hata.....	40
III.2.1.3.Modèle de Cost 231-Hata	41
III.2.2 Les modèles pour Semi empiriques	45
III.2.2.1.Modèle de Walfisch Ikegami.....	46
III.2.3.Les modèles déterministes.....	47
III.2.4. Problèmes avec les modèles empiriques et semi empiriques	48
III.3.. Les CritèresD'evaluation D'un Modèle	37
III.4.. Les modèles de pénétration	49
IV. CONCLUSION	55

CHAPITRE III : Resultats et Intrepretation

I. INTRODUCTION.....	57
II. La machine à vecteur support dans un MATHLAB.....	57
II.1. Séparation de données	57
II.2. L'apprentissage	57
II.3. Prédiction	58

III.3. Comparasion entre les résultats obtenus par notre mdéle et ceux obtenus par deux modèles empiriques	62
IV. Conclusion.....	63
CONCLUSION GÉNÉRALE	65
BIBLIOGRAPHIE	67

Liste des figures

Chapitre I :Généralités Sur Le réseau GSM

Figure I.1: La structure cellulaire du réseau GSM.....	6
Figure I.2: Structure d'une cellule.....	7
Figure I.3: Le type de cellule	8
Figure I.4: LA(location Area)	10
Figure I.5: Exemple sur PLMN.....	10
Figure I.6: Architecture du réseau GSM.	11
Figure I.7: Le contrôleur de station de base.	13
Figure I.8: Schéma fonctionnel global d'une BTS.	15
Figure I.9: Architecture d'une RBS.....	15
Figure I.10: Processus du handover.	21
Figure I.11: Déferentes types de Handover[12].	22
Figure I.12: Principe du FDMA.	23
Figure I.13: présente le format des bits transmis pendant un « time slot ».	24
Figure I.14:Les canaux logiques	25
Figure I.15: Phénomène de Fading.	29
Figure I.16: Alignement de Temps.	29
Figure I.17: Saut de Fréquence.	30
Figure I.18 : Schéma Bloc de modulation GMSK.	31

Chapitre II :Les modèles de propagation dans un réseau GSM

Figure II.1: Détermination des différentes hauteurs équivalentes de l'antenne d'émission.....	37
Figure II.2: Plan de travail des modèles empiriques.	38
Figure II.3: Plan de travail des modèles semi-empiriques	45
Figure II.4: Visualisation des différents trajets de propagation pris en compte dans le calcul de l'affaiblissement radio pour un modèle de pénétration dans un bâtiment	53
Figure II.5: Coupe de verticale de profil et coupe horizontale, entre l'émetteur et le récepteur les variables influentes pour un modèle de pénétration.....	53
Figure II.6: Exemple d'autres contributions radioélectriques reçues par le mobile.....	54

Chapitre III :Resultats er Intreprétation

Figure III.1: Organigramme.	58
Figure III.2: Mesures réelles Hb=25m dans un milieu rural.	59
Figure III.3: Mesures réelles Hb=35m dans un milieu banlieue.	59
Figure III.4: évolution d'affaiblissement en fonction de la distance pour Hb=25m.	60
Figure III.5: évolution d'affaiblissement en fonction de la distance pour Hb=35m.	61
Figure III.6: Comparaison entre notre modèle et deux les modèles empiriques dans un milieu rural.	62

Figure III.6: Comparaison entre notre modèle et deux les modèles empiriques dans un milieu
banlieue. 63

Liste des tableaux

Chapitre I Principe de fonctionnement du réseau GSM

Tableau I-1: Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800	12
Tableau I-2: les différents des interfaces dans un réseau GSM.	21
Tableau I-3: FDMA.....	23
Tableau I-4: Les canaux logiques.....	25

Chapitre II :Les modèles de propagation dans un réseau GSM

Tableau II-1: Paramètres du modèle de Lee.	36
Tableau II-2: Condition de validité du modèle d'Okumura-Hata	41
Tableau II-3: Les paramètres du modèle SUI dans différents terrains [26].....	42
Tableau II-4: Les valeurs de n pour différents environnements.....	44
Tableau II-5: Pertes moyennes mesurées au niveau du signal radioélectrique par transmission pour différents matériaux de construction dans la bande des 1-2 GHz [22].....	52

Chapitre III :Resultats et Intrepretation

Tableau III-1:Les caractéristiques des stations de base.....	58
Tableau III-2: Comparaison entre les fonctions kernel.	61
Tableau III-3: Comparaison entre les fonctions kernel.	62
Tableau III-4: RMSE du chaque modèle dans les deux milieux (rural, banlieue).	63

INTRODUCTION GENERALE

Durant les dernières années, le domaine des télécommunications et des réseaux a connu une évolution rapide ainsi que de profonds changements. Avec l'application des nouvelles technologies en télécommunication, les normes modernes sont devenues plus strictes en termes de qualité de service rendu aux clients. De plus l'intégration des services et la diversité des données échangées, telles que la voix ,la vidéo haute définition, la consultation interactive de base de données ainsi que l'internet haut débit exigent le déploiement de systèmes ,non seulement de plus en plus rapides ,mais surtout plus performants, pour la prise en charge et la gestion d'un trafic en perpétuelle croissance[1].Après l'installation du système analogique radiocom 2000 en France, pour les applications civiles en 1985, le groupe spécial mobile (ancien sigle de GSM) a travaillé dès 1983 sur l'élaboration d'une norme européenne de téléphonie mobile après que l'union internationale des télécommunications ait alloué les premières bandes GSM. Autour de 900 MHz, les premiers réseaux commerciaux ont été construits en 1991, par les opérateurs France Télécom et SFR.

Le GSM utilise la méthode d'accès F-TDMA (Frequency Time Division Multiple Access).Chaque mobile doit réserver un slot dans une première phase de contrôle avant de pouvoir commencer la communication. Le GSM utilise deux plages de fréquences différentes, la première est réservée pour les communications des mobiles vers les stations de base (890-915 MHz et 1710-1785 MHz pour le GSM 1800) et la deuxième dans le sens des stations de base vers les mobiles(935-960 MHz et 1805-1880 MHz pour le GSM 1800)[2].

Dans l'étude du canal mobile et vu son importance évidente, la maîtrise des méthodes de planification et de densification d'un réseau cellulaire GSM est crucial. L'étude du comportement physique des signaux dans le canal mobile et les mesures des pertes engendrées s'avère nécessaire. Le système GSM est basé sur des liaisons radioélectriques situées soit à l'intérieur de la troposphère, siège de nombreux phénomènes météorologiques et climatiques (pluie, neige, brouillard, etc.), soit au-dessus du sol avec son lot d'obstacles (bâtiments, végétation...), soit encore à l'intérieur des bâtiments.

Afin d'offrir un service de téléphonie radio-mobile de bonne qualité a leur abonnées, les operateurs de téléphone mobile effectuent des études techniques, pour optimiser le système (les relais de base, les antennes, etc) et le réseau (la couverture du territoire, l'implantation des antennes sur le terrain).Pour ce faire, les operateurs disposent de services

techniques qui effectuent des mesures du signal radio sur le terrain et mettent au point les outils d'ingénierie.

L'informatique permet de visualiser et de prévoir la couverture radioélectrique pour une zone géographique donnée. Pour cela ils utilisent et mettent au point des modèles de propagation des ondes radioélectriques utilisées par le réseau de télécommunication radio-mobiles, afin de les aider pour améliorer la qualité (couverture, transmission) du réseau de télécommunication. Les modèles de propagation sont utilisés lors de la conception d'une interface radio pour en optimiser les performances et également lors du déploiement du système sur le terrain pour déterminer la couverture radioélectrique. Les modèles seront implantés dans des outils d'ingénierie pour prédire différentes quantités utiles pour le déploiement de système de télécommunication radio ainsi que pour l'étude de la couverture radio (choix des sites, allocation de fréquences, définition des puissances) et la définition des brouillages.

Historiquement plusieurs types de modèles de prédiction ont été proposés. Ces modèles peuvent être classés en trois catégories: on distingue les modèles empiriques, semi empiriques et déterministes.

Les empiriques sont basés sur l'analyse d'un grand nombre de mesures expérimentales en fonction de différents paramètres tels que la fréquence, la distance, la hauteur de station de base. Ils sont robustes, rapides et ne nécessitent pas bases de données géographiques. Ils sont adaptés au dimensionnement des systèmes mais peu précis plus particulièrement à courtes distances [3].

Les modèles semi empiriques sont une combinaison de deux approches décrites précédemment. Il s'agit de modèles dont les variations d'entrée et de sortie sont choisies en fonction d'une analyse physique du phénomène. Ils se basent sur une partie théorique assez simplifiée pour tenir en compte des phénomènes de propagation influents (calcul de diffraction multiple, réflexion..).

Les modèles déterministes s'appuient sur les lois fondamentales de physiques. Ils servent de modèles de référence. Le temps de calcul est par contre relativement élevé [4].

Il existe plusieurs méthodes pour estimer l'affaiblissement dans une interface UM (user mobile) comme: le réseau neurone, modèle de prédiction, et machine à vecteur support. Dans ce travail, on choisit l'algorithme SVM pour apprécier les pertes dans un réseau GSM. Sachant

que la méthode est une technique inventée par Vladimir Vapnik. Le principe théorique de SVM comporte deux fondamentaux: les transformations non linéaires des données de l'espace d'entrée vers un espace dit de redescription de grande dimension et la détermination d'un hyperplan permettent une séparation linéaire optimale dans cet espace.

L'algorithme des machines à vecteurs de support a été développé dans les années 90 par le russe Vladimir Vapnik. Initialement, les SVM ont été développés comme un algorithme de classification binaire supervisée. Il s'avère particulièrement efficace de par le fait qu'il peut traiter des problèmes mettant en jeu de grands nombres de descripteurs, qu'il assure une solution unique (pas de problèmes de minimum local comme pour les réseaux de neurones) et il a fourni de bons résultats sur des problèmes réels [5].

L'algorithme sous sa forme initiale revient à chercher une frontière de décision linéaire entre deux classes, mais ce modèle peut considérablement être enrichi en se projetant dans un autre espace permet d'augmenter la séparabilité des données. On peut alors appliquer le même algorithme dans ce nouvel espace, ce qui se traduit par une frontière de décision non linéaire dans l'espace initial [5].

Dans ce cadre, notre mémoire consiste à décrire le système GSM et à faire l'étude du comportement physique des signaux dans le canal mobile. On procédera ensuite à la simulation de notre modèle de prédiction pour calculer l'affaiblissement.

Ce mémoire constitue trois chapitres suivi par une conclusion générale.

Le premier chapitre des préambules importants sur le GSM, tel que le système cellulaire, l'architecture du réseau GSM, la planification du réseau.

Le deuxième chapitre porte sur l'analyse des différents modèles actuellement utilisés en ingénierie radiomobile, pour la prédiction des affaiblissements dans le réseau GSM et la mise en évidence leur limite (pas de généralisation).

Le troisième chapitre: on a gère notre modèle .Nous avons choisi les deux modèles empiriques pour comparer avec notre modèle,après on va montrer que notre modèle est plus performant et meilleure par rapport les autres . Les modèles empiriques sont le modèle Cost231-hata et modèle Hata.

Une conclusion synthétise les résultats obtenus et donne un aperçu de perspectives qui peuvent être développées pour mieux comprendre cette mémoire.

I. Introduction

Dans les années 1980, coexistaient de nombreuses normes incompatibles entre elles et qui utilisaient des bandes de fréquences différentes. Il fut alors décidé d'établir une norme commune en Europe qui permettrait d'harmoniser la situation et d'offrir aux opérateurs et constructeurs un véritable marché des télécommunications mobiles [6].

Ainsi, en 1987, le groupe GSM fixe les choix technologiques relatifs à l'usage des télécommunications mobiles : transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radio, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Mais la norme GSM ne cesse d'évoluer. Après la phase 1 qui en 1992 n'offrait que la téléphonie, la phase 2 a apporté les messages courts (SMS Short Message Service) et le transfert de données. À l'heure actuelle, la phase 2 introduit entre autres des terminaux bi-bandes: bandes de 900MHz utilisent la bande 880-915 MHz pour l'envoi de la voix ou des données depuis le mobile et la bande 925-960 MHz pour la réception des informations venant du réseau. Et de 1800MHz utilise la bande 1710 MHz-1785 MHz pour l'émission des données depuis le terminal mobile (uplink) et la bande 1805MHz-1880 MHz pour l'accueil des informations (downlink), et le routage optimal.

Dans ce chapitre, nous allons explorer le concept cellulaire, architecture de réseau GSM, canaux de transmission et les problèmes et solutions de transmission.

II. .But du système

Le but des spécifications GSM est de décrire la fonctionnalité et l'interface pour chaque composant du système, et de fournir le guide sur l'objectif du système. Les spécifications vont normaliser le système dans le but de garantir une bonne interconnexion entre les différents éléments du système GSM.

III. La technologie de GSM

III.1.Le concept cellulaire:

Les réseaux cellulaires modernes se sont organisés autour du principe de cellule. Chaque cellule est desservie par une station de base qui assure le rôle d'un intermédiaire entre

l'infrastructure fixe du réseau et les utilisateurs situés à l'intérieur de la cellule. Ainsi, une cellule peut être définie comme étant l'étendu géographique couvert par une station de base et où le signal transmis est d'une qualité acceptable à tout point de la cellule [7].

La réutilisation des ressources radio (fréquences) dans les réseaux GSM constitue le deuxième intérêt du concept cellulaire. En effet l'opérateur téléphonique est restreint à un nombre limité de fréquences pour couvrir l'ensemble du réseau, ce qui rend nécessaire la réutilisation du spectre radio mainte fois de façon à prévenir les situations d'interférences entre les ondes radio. En conséquence de la réutilisation des fréquences, le réseau est capable d'écouler un nombre de communications beaucoup plus grand que le nombre de fréquences disponibles [8].

La forme hexagonale est préférée par ce que, il ne dépasse pas ces problèmes tout en simplifiant le processus de planification du réseau cellulaire. De même cette forme est idéale, dans la pratique on ne peut pas réaliser ce type de motif vu les conditions de propagation des ondes radio dans l'espace. Le rayon d'une cellule varie entre 0.5 et 35km, dépendent également des nombres de communications simultanées à écouler. La groupe d'une cellule s'appelle cluster (ou motif), ce motif est répété sur tout l'espace à couvrir. Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur, c'est à dire, on pose l'un ou autres cellule entre le deux. Ses distances doivent être augmentées par rapport au diamètre de la cellule (2-3fois). La figure suivante montre un tel motif:

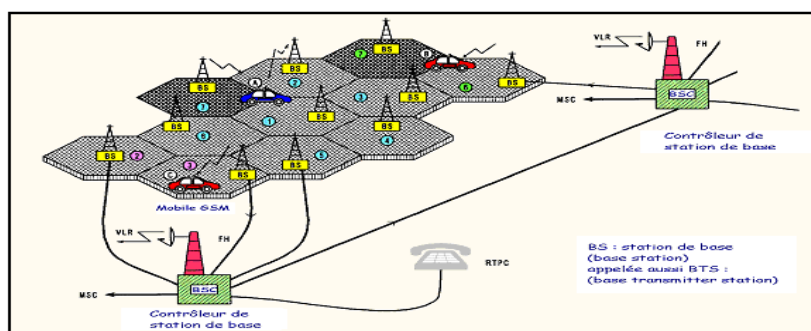
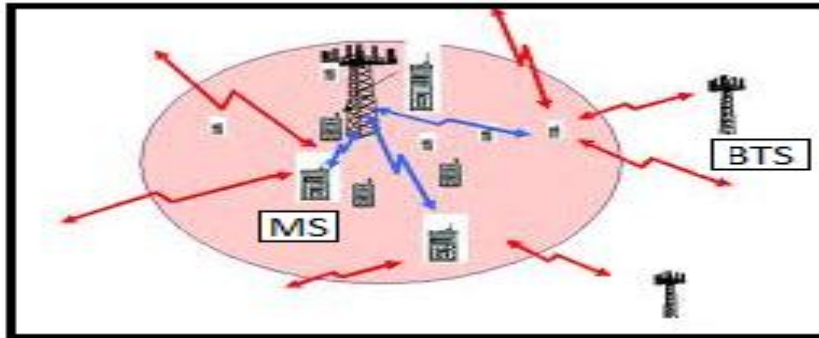


Fig I.1: La structure cellulaire du réseau GSM.

III .1.1. La définition d'une cellule:

La cellule est l'unité géographique d'un réseau. L'unité d'utilisation des fréquences radio définissant les canaux de communication, est un motif de sept cellules, le cluster. Le planificateur réseau doit tenir compte de la contrainte qu'est le nombre limité de canaux radio disponibles, il doit savoir quand il peut réutiliser un canal.



. Fig I.2: Structure d'une cellule.

III .1.2. Division de cellule

On peut déterminer la zone géographique par émission de BTS. La cellule peut prendre plusieurs les catégories comme:

- i) Les macros cellules: cellules dont le diamètre peut aller de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres pour couvrir des zones rurales. Elles sont aussi adaptées aux véhicules à grande vitesse pour un déplacement de l'ordre de 500 km/h avec un débit de 144 kbit/sec.
- ii) Les pico cellules: Elle est utilisée sur quelques dizaines de mètres, la pico-cellule fournit des débits de l'ordre de 2 Mbits/sec lors d'un déplacement de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur, etc)
- iii) Les micros cellules: Elle représente des cellules sur quelques centaines de mètres et quelques kilomètres pour couvrir des bâtiments, des quartiers entre autres. La microcellule fournit des débits de 384 kbit/sec lors d'un déplacement de 120 km/h (véhicule, transport en commun, etc)
- iv) La petite cellule : de quelques kilomètres de rayon, est réservée pour la couverture d'un environnement urbain. Les antennes sont localisées sur les toits d'immeubles ou mats (3,6, 9,12m).

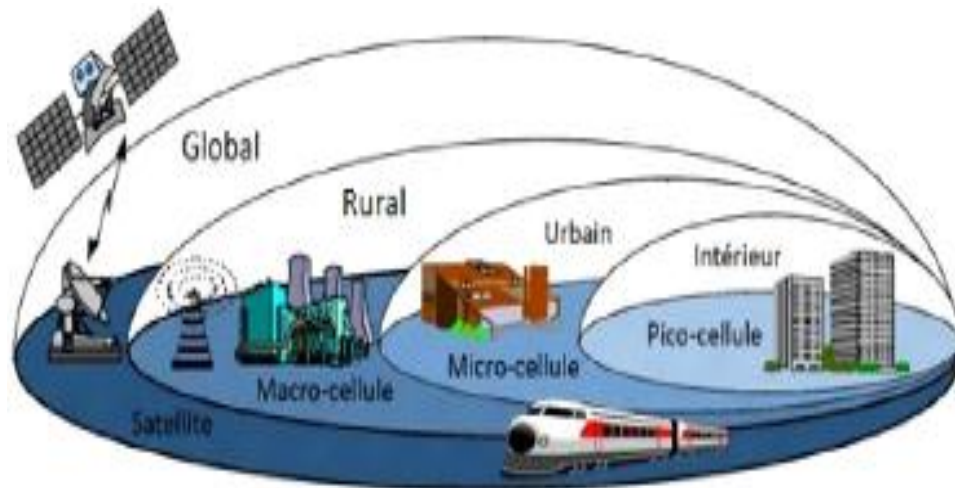


Fig I.3: le type de cellule

III .1.3. Intérêt de la division cellulaire

La division cellulaire a pour but de :

- ❑ Garantir l'itinérance : le réseau GSM doit reconnaître à tout instant la localisation de l'abonné .C'est ce qu'on appelle : gestion d'itinérance ou Roaming. Le numéro du terminal devient du point de vue réseau fixe et il correspond à une adresse physique variable.
- ❑ Garantir la mobilité : par des procédures automatiques dites de transfert ou de handover, la communication doit être maintenue en cours de déplacement du mobile [7].

Une cellule se caractérise par :

- Sa puissance d'émission : ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.
- La fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radioélectrique.
- Le réseau auquel elle est interconnectée.

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

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

constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau. On distingue pour cela trois services principaux :

- ✚ Le service **Outdoor** qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur.
- ✚ Le service **Incar** qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 décibels Watt, notée 6 [dB], dans le bilan de puissance pour en tenir compte.
- ✚ Le service **Indoor** qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux :
 - A. le **Soft Indoor**. Lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment
 - B. le **Deep Indoor**. Lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

Typiquement, on considère que, lors de l'établissement du bilan de puissance, c'est-à-dire de l'analyse du rapport de la puissance émise à la puissance reçue au droit du récepteur, il faut tenir compte de 10 [dB] d'atténuation supplémentaire pour le Soft Indoor et de 20 [dB] pour Deep Indoor à 900 [MHz]. Quand on sait que 10 [dB] représente un facteur de 10 en puissance, on comprend qu'il est crucial pour un opérateur de dimensionner au mieux son réseau, quitte à effectuer des mesures sur le terrain.

III .1.4. Réutilisation des fréquences:

Elle permet d'utiliser une fréquence plusieurs fois à l'intérieur d'une même ville dans les cellules non adjacentes, c'est-à-dire qui ne se touchent pas. Ce principe permet d'éviter la saturation dans les cellules quand le nombre d'abonné augmente pour éviter les effets d'interférence entre les canaux. Il est recommandé de réutiliser les fréquences dans des cellules distantes d'au moins 6 fois leurs rayons.

III .2.Régions géographiques d'un réseau GSM

III.2.1. Une région de repérage (LA-location Area)

Il est un ensemble de cellules. La localisation d'un abonné est connue par la LA dans laquelle il se trouve. La région contient une BTS. Chaque LA est servi par un ou plusieurs contrôles de station de base, et un seul MSC (Fig. I.4)

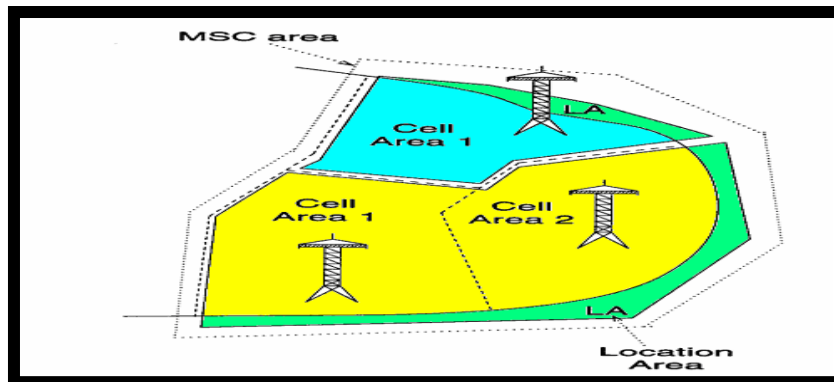


Fig I.4: LA (location Area)

III.2.2.La zone de service PLMN

Elle est un ensemble de cellules, qui est définie par la zone de couverture radio et offre la possibilité d'accéder au réseau offert par l'opérateur. Dans un pays peut trouver plusieurs de PLMN.

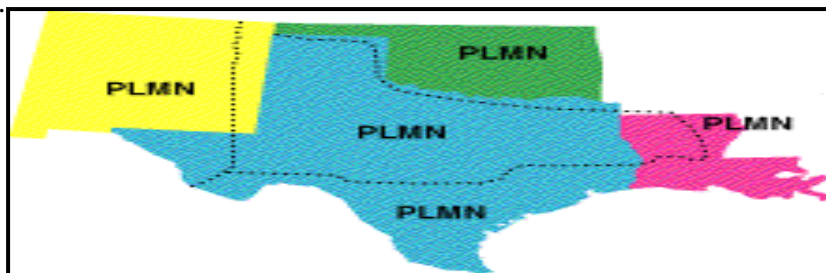


Fig I.5: Exemple sur PLMN [10]

III .3. Architecture d'un réseau GSM

Un réseau de radiotéléphonie a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du réseau téléphonique commuté public (RTCP). Il

s'interface avec le RTCP et comprend des commutateurs. Il est caractérisé par un accès très spécifique: la liaison radio. Enfin, comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance. Donc le réseau est composé de trois sous-ensembles, représentés dans la figure I.6.

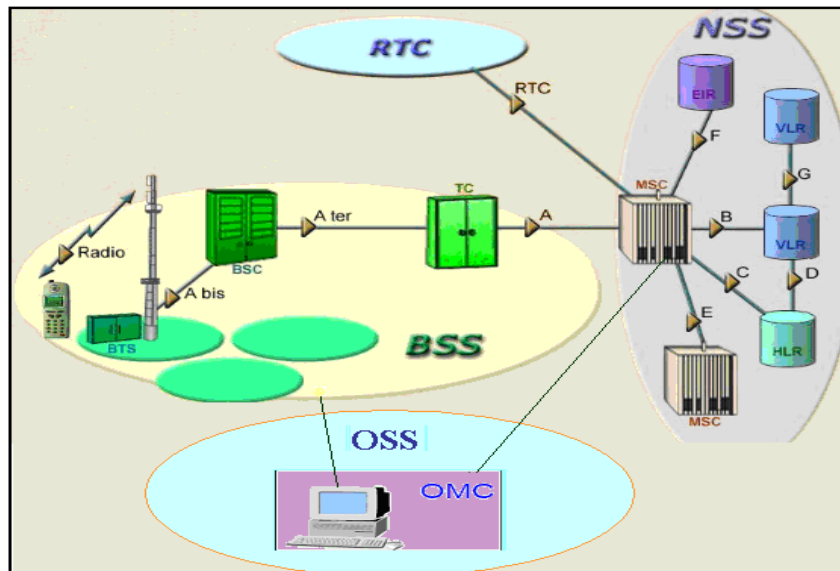


Fig I.6: Architecture du réseau GSM.

	GSM	DCS-1800
Bande de fréquence	890.2- 915(MHz) 935.2- 960(MHz)	1710-1785(MHz) 1805-1880 (MHz)
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Débit total par canal	271 (kb/s)	271 (kb/s)
Débit de parole	13 (kb/s)	13 (kb/s)
Débit maximal de données	12 (kb/s)	12 (kb/s)
Technique de multiplexage	Multiplexage fréquentiel et temporel	Multiplexage fréquentiel et temporel
Rayon de cellules	0.3 à 30 (Km)	0.1 à 4 (Km)
Puissance des terminaux	2 à 8 (w)	0.25 et 1 (w)

sensibilité des terminaux	-102 (dB)	
sensibilité de la station de base	-104 (dB)	

Tableau I.1: Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800

III 3.1. Le sous-système radio BSS

Le sous-système radio qui assure les transmissions radioélectriques et gère la ressource radio. il constitue le BTS (Base transceiver station), BSC (Base station controller) et MS.

III .3.1.1. La Mobile Station (MS) : est un équipement portable, elle contient deux parties:

III.3.1.1.1. Le terminal mobile

Le terminal mobile est l'appareil utilisé par l'abonné. Il est identifié par un code IMEI (international Mobile Equipment Identity).

Dans un réseau GSM, le terminal mobile se trouve sur trois catégories:

- Le portable ;
- Le téléphone de voiture ;
- Le portatif (terminal de poche),

III.3.1. 1.2. La carte SIM (subscriber identity mobile)

C'est elle qui personnalise le mobile en fixant son numéro d'annuaire (MSISDN) et son identifiant (IMSI). Elle contient aussi des tas d'autres choses comme le code PIN de verrouillage du mobile et un espace de stockage pour l'annuaire, les messages, etc. Une fonction moins connue de la carte SIM est la sécurité. Il est évident qu'on ne communique pas « en clair » sur un réseau GSM et que les communications sont cryptées entre les mobiles et les relais. Les éléments cryptographiques (clés, algorithmes) sont stockés sur la carte SIM.

Outre les fonctionnalités traditionnellement implémentées dans le mobile, la MS assure les fonctions suivantes:

- protection des abonnements par réponse à la procédure d'authentification.
- mesure des signaux émis par les cellules environnantes.
- conversion analogique/numérique de la parole.
- protection et qualité de la transmission radio.

III.3.1.2. Le contrôleur de station de base (BSC)

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles. 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 inter-cellulaires 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.



Fig I.7: Le contrôleur de station de base.

III.3.1.3. La station de base (BTS)

Les bases de données sont les éléments qui gèrent les données propres aux abonnés (caractéristiques, facturation des appels, messagerie, sécurité...). Ce sont des ensembles d'émetteurs/récepteurs TRX. Elle gère les problèmes liés à la transmission radio (modulation, démodulation, codage correcteur d'erreur,...). Le placement et le type des BTS déterminent la forme des cellules. Elle réalise également des mesures radio pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement. La répartition géographique et le type de BTS utilisées jouent un rôle primordial pour évaluer la qualité du réseau.

III .3.1.3.1. L'antenne

La station de base est équipée d'antennes qui reçoivent les signaux, elles peuvent être des antennes omnidirectionnelle ou des antennes sectorielles, chaque antenne est composée de deux parties A et B.

III .3.1.3.2. Carte de contrôle équipée d'un microprocesseur

C'est la partie intelligente de la BTS, elle travaille comme un duplexeur, c'est un équipement radio qui assure la combinaison de deux antennes (A, B) pour quatre modules émetteur/récepteur, dans une BTS il peut y avoir jusqu'à trois « combiner ». (Fig. I.4). Les fonctions de la carte de contrôle sont:

Contrôle de la fonction AC/DC lorsque celle-ci est intégrée dans la BTS.

- ✚ Contrôle du bon fonctionnement des équipements.
- ✚ Modification des distributions MIC internes.

III .3.1.3.3. l'équipement TRX (Tx/Rx)

C'est un équipement radio émetteur/récepteur, c'est dans les TRX où se passe le multiplexage de Temps en TDMA (Time Division Multiple Access), un TRX peut supporter jusqu'à 8 appels au même temps dans la bande GSM 900Mhz, et 16 appels dans la bande DCS 1800Mhz.

III.3.1.3.4. Partie connexion et alimentation

C'est la partie énergie dans la BTS. On trouve des batteries qui assurent le fonctionnement en cas de coupure d'électricité, pour que la BTS reste allumé.

III .3.1.3.5. Les ventilateurs

On utilise les ventilateurs pour le refroidissement des équipements.

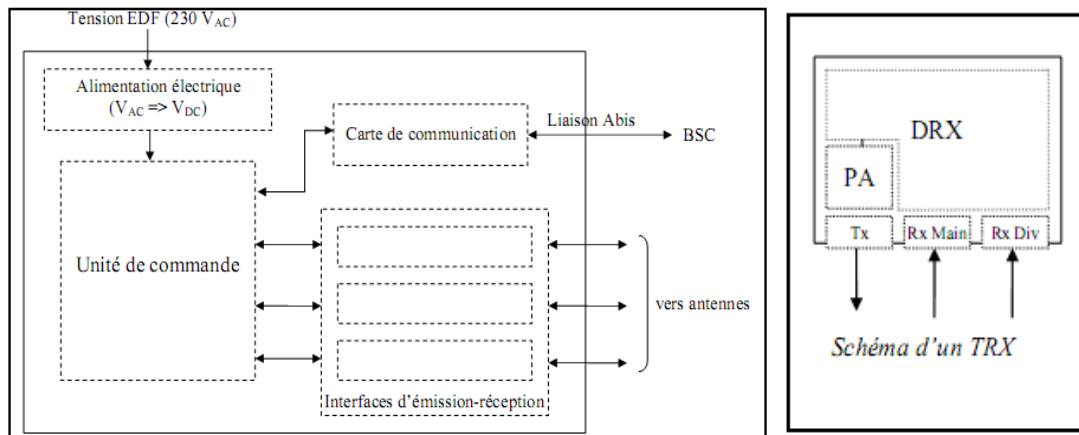


Fig I.8: Schéma fonctionnel global d'une BTS.

III .3.1.3.6.le système RBS

Les RBS sont des éléments importants dans la transmission radio (Fig I.9). La famille RBS 2000 est la seconde génération d'Ericsson conçue pour le GSM900, GSM 1800, GSM 1900, son rôle est :

- Une source radio.
- Traitement des signaux.
- Synchronisation et supervision.

La figure suivante représente l'architecture d'une RBS :

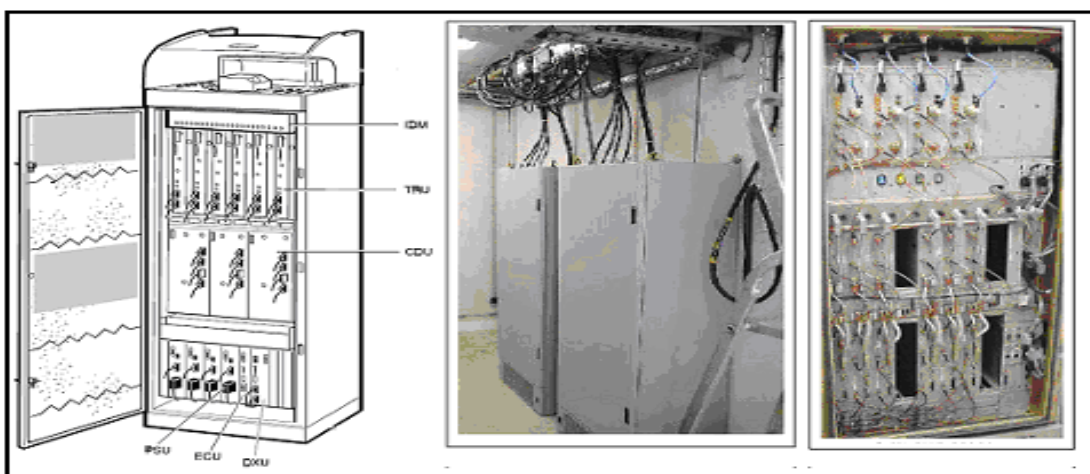


Fig I.9: Architecture d'une RBS.

On distingue deux types de BTS :

- Les BTS normales, dont les stations de base classiques utilisées dans les systèmes cellulaires avec des équipements complémentaires installés dans des locaux techniques et des antennes sur les toits.
- Les micro-BTS sont utilisés pour couvrir les zones urbaines denses avec des micro-cellules. Il s'agit d'équipements de faible taille et de faible coût, qui permettent de mieux couvrir un réseau dense comme le quartier d'une ville à forte affluence.

III 3.2. Le sous-système réseau (NSS)

Il assure principalement les fonctions de commutation et de routage. C'est donc lui qui permet l'accès au réseau public RTCP ou RNIS. Il prend en charge les tâches d'établissement des communications et de gestion de la mobilité (localisation).

Le sous-système *NSS* contient de :

- ✓ Mobile Switching Center (**MSC**)
- ✓ Home Location Register (**HLR**)
- ✓ Visitor Location Register (**VLR**)
- ✓ Authentication Center (**AUC**)
- ✓ Equipment Identity Register (**EIR**)

III .3.2.1.Le centre de commutation mobile (MSC)

Le MSC intègre une fonction de passerelle (Gateway) qui assure le passage du monde GSM à un monde externe. Chaque MSC est également raccordée à un autre au moins, réalisant ainsi un maillage des MSC dans le réseau GSM. Ceci permet tout d'abord de gérer les communications entre des mobiles gérés par des BTS raccordées à des MSC différents, mais aussi, dans le cas des communications vers d'autres réseaux, pour une MSC non équipée d'un Gateway de pouvoir transiter vers une MSC qui en dispose. Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations via l'interface E. Il gère la gestion de la mobilité (handover, localisation, taxation des appels et des services de données.....etc.).

On distingue deux types d'appels au niveau d'un MSC:

- Mobile - mobile: dans ce cas, la MSC établit une liaison avec une autre MSC.
- Mobile - réseau fixe RTC: Il doit alors posséder une fonction passerelle, GMSC (Gateway MSC), qui est activée au début de chaque appel d'un abonné mobile vers un abonné fixe. Cette fonction est différente de la fonction MSC pure, elle pourrait être implantée dans les commutateurs du RTC (réseau classique filiaire, en France, celui de France Télécom). En réalité, elle est réalisée par les MSC pour minimiser l'impact sur le RTC. En effet lorsqu'un mobile se déplace et change de MSC, la communication doit elle aussi changer de MSC. Le réseau fixe n'a pas été conçu pour ce genre de tâche: dans ce cas l'interconnexion continue avec l'ancien MSC qui établit lui même une communication vers la nouvelle MSC dont dépend le mobile.

Le MSC est en général couplé avec le VLR (Visitor Location Register), ou enregistreur de localisation visiteur C'est une base de données qui mémorise les informations aux abonnés présents dans la zone géographique du MSC. Plusieurs MSC peuvent être reliés au même VLR, mais en général, il y en a un seul par VLR. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR, mais concernent seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée. Vient se rajouter l'identité temporaire TMSI .Le VLR a une information de localisation plus précise que le HLR. La séparation matérielle entre VLR et MSC proposée par la norme n'est que rarement respectée. Certains constructeurs intègrent le VLR dans le MSC. Les dialogues nécessaires pour l'établissement d'appel sont alors simplifiés. D'autres établissent un découpage différent entre MSC et VLR en utilisant l'approche " réseau intelligent " (cf. glossaire). Le MSC est alors un commutateur pur sans fonction de traitement d'appel. Un équipement, le RCP (Radio Control Point), assure les fonctions de commande du MSC et du VLR sans posséder de fonction de commutation. Un ensemble MSC/VLR peut gérer plusieurs dizaines de milliers d'abonnés pour un trafic moyen par abonné de 0,025 Erlang. Les MSC sont en général des commutateurs de transit du réseau téléphonique sur lesquels ont été implantées des fonctions spécifiques au réseau GSM. La capacité en est fortement réduite, puisqu'un central téléphonique peut gérer plusieurs centaines de milliers d'abonnés. En effet à l'établissement des communications s'ajoutent les fonctions de répondeur, de connexion à des réseaux numériques (Internet, messagerie électronique),

III .3.2.2.Enregistreur de localisation HLR (Home Location Register)

Cet 'équipement est une base de données de PLMN. Il contient les informations relatives des abonnés (numéro de l'utilisateur, profil l'abonnement, localisation, état du terminal, et la clé d'authentification...). Cette dernière est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM. Le HLR est théoriquement unique, mais sur de gros réseaux il peut être fractionné sur plusieurs unités.

Il est constitué de trois champs :

- ❖ MCC : code pays sur 3 chiffres
- ❖ MNC : code réseau qui identifie l'opérateur dans le pays sur 2 ou 3 chiffres selon les pays
- ❖ MSIN : numéro de l'utilisateur dans le réseau sur 10 chiffres ou moins

III .3.2.3.Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

C'est une base de données associée au commutateur (MSC) et il a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau. Cette gestion est importante car on doit connaître dans quelle cellule se trouve un abonné pour l'acheminement d'appel. La spécificité des abonnés GSM étant la mobilité, il faut en permanence localiser tous les abonnés présents dans le réseau et suivre leurs déplacements.

A chaque changement de cellule d'un abonné, le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné, d'où un dialogue permanent entre les bases de données du réseau.

VLR contient :

- La zone de localisation du mobile
- les informations relatives des abonnés qui sont présents dans la zone géographique contrôlée par le MSC

III.3.2.4.Enregistreur d'identification d'équipement (EIR)

C'est une base de données qui contient des informations relatives aux équipements (terminaux) et a pour but d'empêcher l'utilisation frauduleuse d'appareils mobiles non reconnus par le réseau. Chaque mobile possède son propre numéro d'identification que l'on désigne par l'identité internationale des équipements de stations mobiles (IMEI) et dont la validité peut

être vérifiée dans la liste des stations mobiles autorisées par le réseau. C'est équipement contient la liste de tous les terminaux valides comme :

- Liste blanche : le terminal est connecté au réseau.
- Liste grise : le terminal est sous observation pour des problèmes potentiels.
- Liste noire : le terminal peut être vole ou perdu.

III.3.2.5. Centre d'authenticité (AUC)

Le centre d'authentification AUC mémorise, pour chaque abonné, une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer la communication. Un AUC est en général associé à chaque HLR. L'ensemble peut être intégré dans un même sous système [11]. Cet 'équipement' contient plusieurs clés secrètes.

III .3.3.Le sous-système opérationnel OSS (*Operating Sub-System*)

Il assure la gestion et la supervision du réseau. C'est la fonction dont l'implémentation est laissée avec le plus de liberté dans la norme GSM. La supervision du réseau intervient à de nombreux niveaux :

- Détection de pannes
- Mise en service de sites
- Modification de paramétrage
- Réalisation de statistiques

III .3.3.1.Le OMC (*Operation and Maintenance Center*)

C'est élément de base qui occupe et contrôle les différents éléments de réseau, contient la qualité de service présente par le réseau comme dans la figure précédente, chaque élément de peut le diriger de loin par le centre d'activation et de maintenance qui se devise en deux parties :

- ◆ Centre de maintenance et activation section transformation : il gère le fonctionnement de transformation ou changement du réseau.
- ◆ Centre maintenance et activation section radio : il contrôle le fonctionnement du système station de base du réseau.

III .3.3.2.Le centre d'exploitation et de maintenance

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique. Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau. Il gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité...etc. Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication GSM.

III 3.4. Présentation des interfaces

Les interfaces sont des composantes importantes du réseau car elles assurent le dialogue entre les équipements et permettent leur interfonctionnement. La normalisation des interfaces garantit l'interopérabilité d'équipements hétérogènes produits par des constructeurs différents. Le tableau (I.2) résume les interfaces existantes.

Nom de l'interface	Localisation	Utilisation
Um	MS-BTS	Interface radio
Abis	BTS-BSC	Divers
A	BSC-MSC	Divers
C	GMSC-HLR	Interrogation du HLR pour appel entrant
	SM-GMSC-HLR	Interrogation du HLR pour message court entrant
D	VLR-HLR	Gestion des informations d'abonnés de localisation
	VLR-HLR	Services supplémentaires
E	MSC-SM-GMSC	Transport de messages courts
	MSC-MSC	Exécution des handover

G	VLR-VLR	Gestion des informations des abonnés
F	MSC-EIR	Vérification de l'identité du terminal
B	MSC-VLR	Divers
H	HLR-AUC	Echange des données d'authentification

Tableau I.2 : les différents des interfaces dans un réseau GSM

III .4.Handover

Le handover est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire. Globalement, c'est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant qu'une station mobile puisse changer de cellule sans interruption de service [12].

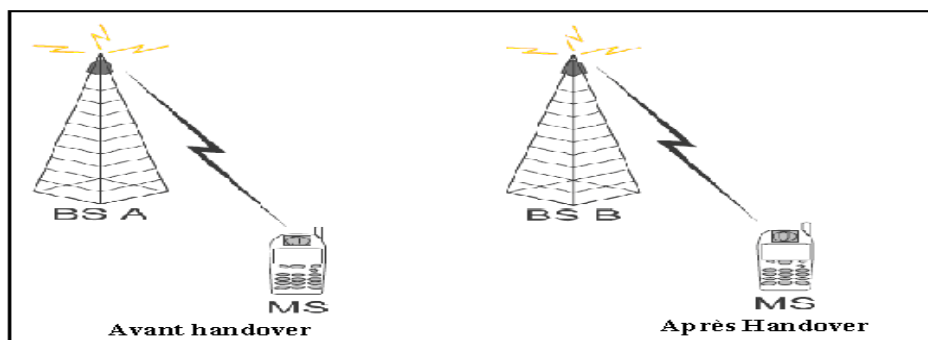


Fig I.10: Processus du handover.

Le principe de handover implique donc l'existence de zones de recouvrement, où plusieurs signaux de bonne qualité et provenant de BTS différentes coexistent. Dans les réseaux GSM, la procédure de handover nécessite généralement le changement des fréquences porteuses utilisées par le terminal mobile pour l'émission et la réception. On parle alors de hard-handover, car le terminal doit momentanément interrompre sa liaison avec la station courante pour basculer vers la nouvelle fréquence qui lui est allouée. On distingue trois types du handover:

- ✓ Handover intercellulaire: il a gère par BSC,

- ♣ Transfert inter-BTS: il effectue dans une couverture d'un seul BTS.
 - ♣ Transfert de cellules: un nouveau canal est attribué dans un autre réseau mobile que celui qui est en charge de la MS (exemple entre GSM et UMTS)
- ✓ Handover intracellulaire : il gère par MSC
- ♣ Transfert de cellules gérées par contrôle par le même BSC, lui-même étant géré par la même MSC.
 - ♣ transfert de cellules pilote par un autre MSC différents.

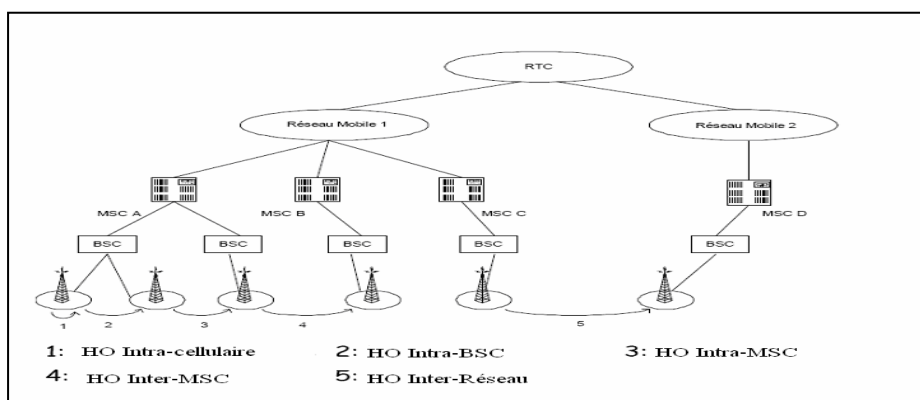


Fig I.11: Différents types de Handover [12]

Fonction du handover:

- Optimiser l'utilisation des ressources radio et équilibrer la charge de trafic entre les cellules.
- Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel et éviter la rupture du lien.
- Minimiser les interférences (global et par rapport à un lien) et baisser la consommation d'énergie des mobiles.

III.5. partage des ressources radio

Dans le GSM, deux techniques de multiplexage sont mises en œuvre : le multiplexage fréquentiel (FDMA) et le multiplexage temporel (TDMA).

III .5.1. Access multiple par répartition de fréquence (FDMA)

FDMA est une technique de multiplexage largement utilisée dans le système de communication radioélectrique. Cette division de fréquence est utilisée dans le système

analogique. Elle permet transmettre les signaux de N utilisateurs différents sur des bandes de fréquences distinctes. Cette division de fréquence utilisée dans le système analogique.

Le tableau suivant explique la division de fréquence dans une norme GSM.

	GSM – 900	GSM – 1800
Bande spectrale - canaux descendant	935 à 960 MHz	1805 à 1880 MHz
Bande spectrale - canaux montant	890 à 915 MHz	1710 à 1785 MHz
Espacement entre les canaux d'un couple	45 MHz	95 MHz
Nombre de canaux	124	374
Largeur des canaux	200 KHz	200 KHz

Tableau I.3: FDMA

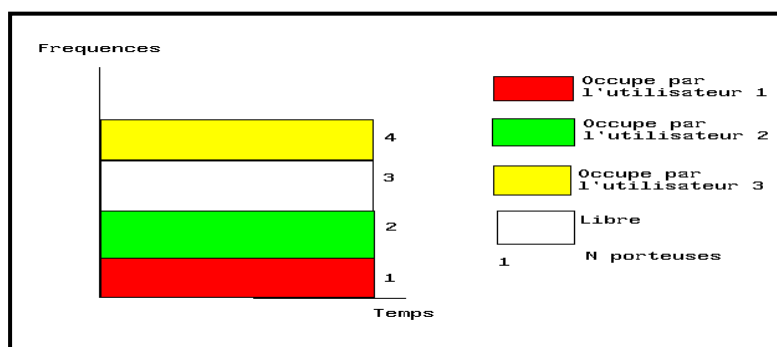


Fig. I.12: Principe du FDMA.

III .5.2.Access multiple par répartition de Temps (TDMA)

Le multiplexage temporel (en anglais Temporal-Division Multiple Access ou TDMA) a été le plus utilisé ces vingt dernières années. Elle est basée sur la répartition des ressources en temps, les utilisateurs partagent la même bande passante, et émettent les données à transmettre dans les différents intervalles de temps (time slot). Le trame constitue 8 time slot d'une durée 4.615 ms, chaque communication occupe un intervalle temporel d'une durée 577 ms. qui leur sont alloués. Le principe de l'accès multiple par division de temps est de découper la bande fréquentielle unique en trames temporelles. Les trames sont divisées en intervalles de temps (time-slots) qui sont allouées aux différents utilisateurs. Chaque utilisateur peut alors accéder à la totalité de la bande mais seulement lorsque c'est son tour.

Un système TDMA exige une stricte synchronisation de tous les utilisateurs pour que leurs transmissions n'interfèrent pas.

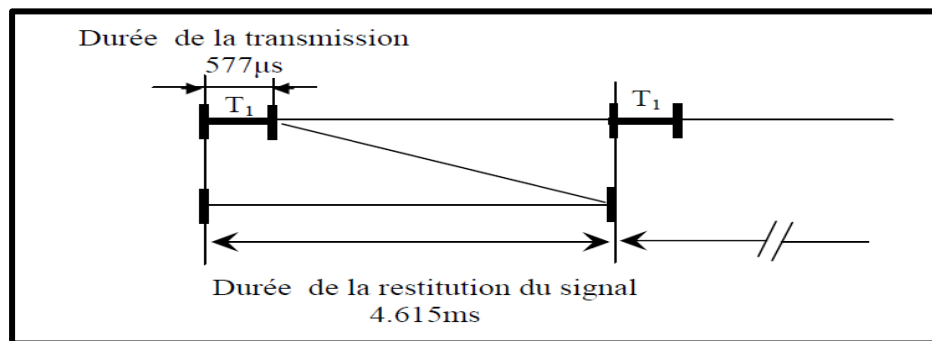


Fig I.13 : présente le format des bits transmis pendant un « time slot ».

Il comprend un train de 148 bits d'une durée de $3,7 \mu\text{s}$, ce qui correspond à $547,6 \mu\text{s}$. Ce train de 148 bits est appelé « burst » il comporte :

- 2 séries de 58 bit contenant l'information utile (voix numérisée ou données)
- 2 séries de 3 bit de synchronisation en début et en fin de « time slot »
- 1 séquence de 26 bit fixes (connus du téléphone mobile et de la BTS) sont utilisés pour corriger l'altération des signaux due aux trajets multiples.

III .6.Organisation des canaux radio

Les canaux sont définis par leur fréquence de même que par le numéro et la position de la trame correspondante à l'intérieur d'une trame TDMA [10].

Dans un réseau GSM, on distingue deux parties de canaux :

III 6.1.Les canaux physiques

Un canal physique simplexe est la répartition d'un slot dans chaque trame. Donc il ya 8 canaux physiques par porteuse. Un canal physique duplexe est formé d'une paire de canaux physiques simplexe (les deux canaux sont séparés de l'écart duplexe). La voie montante est décalée de trois slots par rapport à la voie descendante. Sur chaque canal est défini une structure de multi trame, cette structure permet d'affecter régulièrement un intervalle de temps à la transmission d'un type d'information bien défini.

III.6.2. Les canaux logiques

Sur chaque canal physique est défini une structure de multi frame, cette structure permet d'affecter régulièrement un intervalle de temps à la transmission d'un type d'information bien défini, on forme ainsi des canaux logiques multiplexés sur un canal physique.

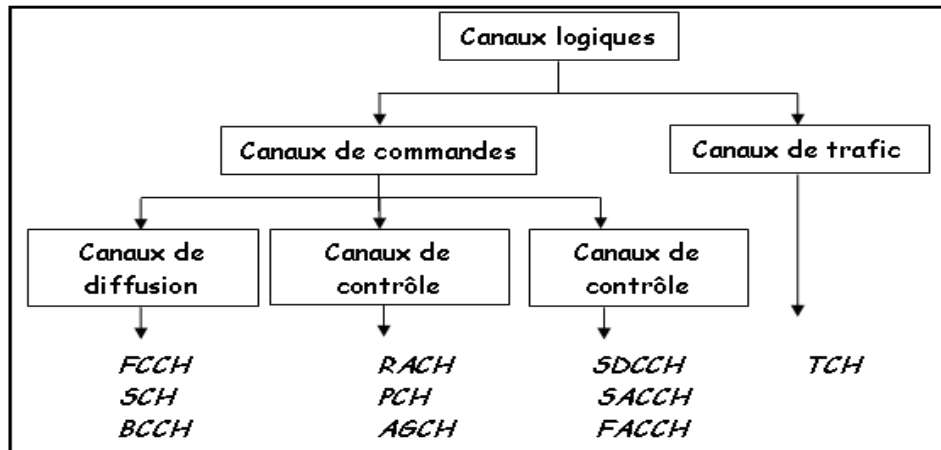


Fig I.14 : Les canaux logiques.

III.6.2.1. Les canaux de commande (control channels)

III .6.2.1.1. Canaux de diffusion (BCH : Broadcast CHannel, downlink)

Canal FCCH : Le canal FCCH (Frequency Correction CHannel) consiste en un burst particulier émis environ toutes les 50 ms. Le burst est composé de 148 bits à 0. S'il est émis sur une fréquence, il donne un signal sinusoïdal. Il correspond donc à une porteuse pure légèrement décalée en fréquence qui permet un calage fin de l'oscillateur du mobile. Il est émis dans les trames 0, 10, 20, 30 et 40 d'une multi frame à 51 trames. Il est donc émis 5 fois en 235,8 ms soit environ 20 fois par seconde.

Canal SCH : Le burst SCH (Synchronisation CHannel) n'est émis que dans le TS0 d'une trame TDMA. Il est toujours situé après le bursts FCCH, le MS reçoit des informations relatives à la structure des trames dans la cellule (le N° de TDMA) ainsi que le code d'identification de station de base (BSIC) de la station de base sélectionnée.

Canal BCCH : Canal de commande de diffusion (Broadcast Control CHannel). Les informations qui sont diffusées sur ce canal, sont des informations concernant la cellule et ce canal contient les informations suivantes :

- la puissance d'émission (Max et Min) pour le MS
- minimum de puissance reçue
- les fréquences (porteuses) des cellules adjacentes
- numéro de la zone de localisation (LAI)

III.6.2.1.2. Canaux communs de commande (CCCH : Common Control CHannel)

downlink et uplink

PCH: (Paging Channel) canal de recherche : PCH est transmis sur la liaison downlink en mode point à point. Le MS se met à l'écoute du canal de recherche à intervalles réguliers pour voir si un réseau désire le contacter suite à l'arrivée d'un appel, d'un message court ou une authentification. Ce message de recherche comprend le numéro de signalisation du MS (IMSI) ou un numéro provisoire (TMSI).

RACH : (Random Access Channel) canal à accès aléatoire : Le canal RACH peut également être utilisé lorsque le MS désire entrer en contact avec le réseau. Le RACH est transmis sur la liaison montante (uplink) en mode point à point.

Canal AGCH : (Access Grant CHannel) canal de concession d'accès : Lorsque l'infrastructure reçoit une requête de la part d'un mobile, il faut allouer un canal de signalisation dédié pour identifier le mobile, l'authentifier et déterminer précisément sa demande. L'allocation d'un canal dédié se fait sur des slots définis qui forment le canal AGCH. Le message d'allocation contient la description complète du canal de signalisation utilisé : numéro de porteuse et numéro de slot.

III .6.2.1.3.Canaux de commande dédiés (DCCH : Dedicated Control CHannel)

SDCCH: Canal de commande dédié autonome (Stand alone Dedicated Control CHannel) Downlink et uplink. Le MS et le RBS continuent la signalisation sur le canal de commande dédié autonome SDCCH. La procédure d'établissement de l'appel et la transmission de messages en texte (messages courts et diffusion cellulaire) est effectuée sur le canal SDCCH, le MS reçoit une commande de passage à un canal de trafic TCH défini par la porteuse et l'intervalle de temps.

SACCH : Canal de commande lent associé (Slow Associated Control CHannel) Les canaux TCH et SDCCH possèdent chacun un canal de contrôle associé à faible débit appelés SACCH. Cas uplink : Le MS envoie des mesures moyennes sur sa propre station de base (intensité et qualité du signal) et sur les stations de base adjacentes. Cas downlink : Le MS reçoit des informations concernant la puissance d'émission à utiliser ainsi que des instructions sur l'avance de synchronisation.

FACCH : Canal de commande rapide (Fast Associated Control CHannel) : FACCH est utilisé lorsqu'un handover doit être effectué soudainement pendant une conversa

FACCH fonctionne en mode 'vol' signifiant qu'un segment de parole de 20 ms est remplacé par les informations de signalisation nécessaire au handover

III .6.2.1.4.Canaux de trafic TCH (Traffic CHannel)

Il existe deux canaux de trafic, plein débit et demi débit qui sont utilisés actuellement. Il sera possible d'utiliser les TCH à demi-débit seulement lorsque des codeurs vocaux à demi-débit offrant une qualité acceptable deviendront disponibles. Un TCH à plein débit occupe un canal physique alors que 2 TCH à demi-débit peuvent se partager un canal physique.

IV.CRITÈRES DE PERFORMANCES D'UN RÉSEAU GSM

Les critères qui rentrent dans l'estimation de la qualité d'un réseau sont nombreux. Néanmoins, ces critères peuvent globalement être classés en deux grandes catégories selon le point de vue adopté opérateur ou utilisateur [13].

La première classe fait référence au coût consenti par l'opérateur pour déployer le réseau, pour assurer son évolution et finalement pour maintenir son fonctionnement. Deuxièmement, les critères de qualité de service qui mesurent la performance du réseau telle qu'elle est perçue par les utilisateurs (disponibilité, qualité vocale...). Le design d'un réseau radiomobile revient alors à gérer le compromis posé par ces deux tendances [8].

IV .1.Critères de coût

Il s'agit des coûts nécessaires au déploiement, au fonctionnement ou à l'évolution du réseau.

➤ Coût de déploiement :

Ce coût représente les frais d'installation initiale du réseau. Il fait, principalement, intervenir les droits d'utilisation des sites retenus pour la construction du réseau plus le coût d'installation des équipements. L'opérateur est amené à engager des négociations avec les propriétaires des terrains pour s'enquérir des droits d'exploitation.

➤ Coût d'évolution :

L'objectif initial d'un opérateur est de couvrir une certaine zone géographique avec une certaine estimation du nombre d'abonnés. Au fur et à mesure de l'évolution du trafic, l'opérateur aspire à étendre sa zone de couverture et à améliorer les capacités de son système.

Pour répondre à ces besoins, l'opérateur est amené à accroître son patrimoine de sites, à installer de nouvelles antennes, à changer le paramétrage des équipements...etc [8].

IV.2.Coûts de fonctionnement

Ceux sont des coûts induits par les techniques et algorithmes adoptés par le système tels que les procédures de localisation et de handover. Ces algorithmes engendrent un trafic de signalisation supplémentaire non facturé.

➤ Critères de qualité de service :

Ces critères sont directement à mettre en rapport avec les attentes des abonnés. Ces attentes sont liées à la :

- Disponibilité du réseau (probabilité d'obtention d'un nouvel appel).
- Maintien des communications (la probabilité de coupure d'une communication).
- Qualité auditive de la communication (puissance du signal, brouillage...).

Ces aspects sont étroitement dépendants des mécanismes de fonctionnement du réseau tels que la couverture, la capacité du réseau face à la demande, les interférences, les taux d'erreurs, le design des cellules, la fréquence des handovers...etc [8].

V. Les problèmes et solutions de transmission

V .1.Les problèmes

V .1.1.Fading

Après réflexion sur un obstacle, l'onde radio peut être altérée en phase et en amplitude. Le phénomène d'évanouissement ou de fading résulte des variations temporelles des phases qui varient aléatoirement dans le temps. Celles-ci peuvent résulter en des signaux multiples s'ajoutant de façon destructive au niveau du récepteur [14]. Dans ce cas, le signal reçu résultant sera très faible ou pratiquement nul. Les signaux multiples reçus peuvent également s'additionner de façon constructive et le signal reçu résultant est alors plus constructif et le signal reçu est alors plus puissant que le signal du seul trajet direct.

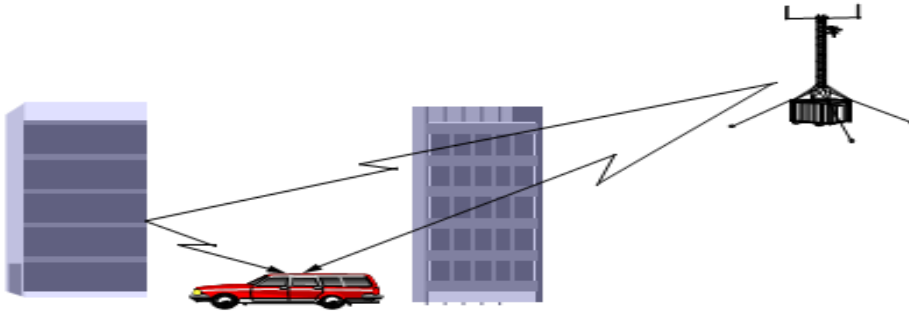


Fig I.15: Phénomène de Fading [14]

V .1.2. Alignement De Temps

A chaque appel du MS on alloue un time slot dans une trame de TDMA, qui est une durée de temps par laquelle le MS transmet les informations à la BTS, ces informations doivent aussi arriver à la BTS durant le time slot réservé, si elles arrivent en retard donc dans un autre time slot il va y avoir une interférence avec les informations provenant d'un autre MS qui est en train d'utiliser le second time slot. L'alignement de temps est causé par une grande distance entre la BTS et le MS [14].

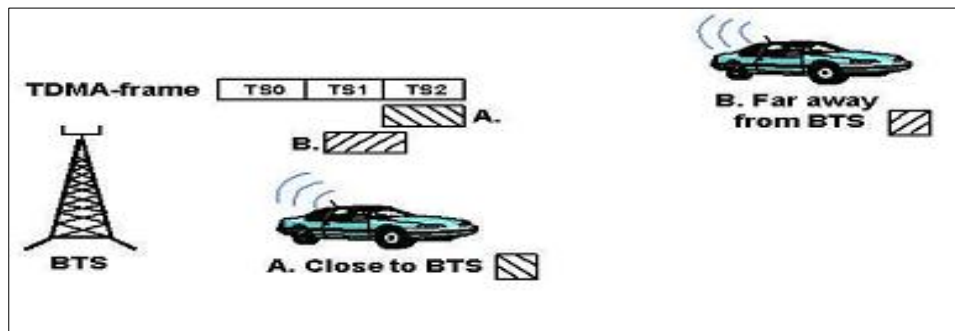


Fig I.16: Alignement de Temps [14].

V.2. Solution

Lorsque les problèmes de signal sans fil causés par des phénomènes naturels ne peuvent pas être supprimés, ce qui est nécessaire est d'adapter et de développer des solutions aidant à éliminer ou minimiser les erreurs résultant de l'impact de ces problèmes sur le contact. Il a été posé des solutions qui ont beaucoup aidé à surmonter les erreurs et la plupart de ces solutions nécessitent une action spéciale sur les deux côtés de l'émetteur et le récepteur pour assurer le temps et l'introduction de certaines des méthodes pour protéger les informations et de prendre des précautions temporaires pour éviter les chevauchements et les adapter à la situation et de

la parole cryptées et chaînes cryptées et le changement constant des fréquences utilisées et distribuées aux cellules de manière à assurer de ne pas répéter la même fréquence dans les cellules proches , comme ce qui est l'arrangement antennes conditions particulières et distribué de manière à minimiser les effets de la décoloration et interférences.

V.2.1. Le saut de fréquences ou Frequency Hopping

Pour protéger les canaux d'une source radio parasite, la fréquence porteuse utilisée pour transmettre une salve de données fluctue au cours du temps. C'est le principe du saut de fréquence ou du Frequency Hopping (FH) [principe].comme dans une figure suivant :

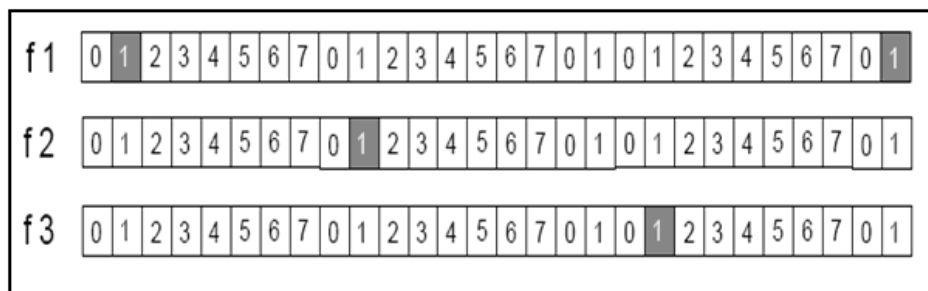


Fig I.17: Saut de fréquence.

V.2.2. Cadage de canal

Pour corriger les erreurs provoquées par le canal, nous avons implanté un codage de canal. Le principe de base du codage de canal consiste à remplacer le message à transmettre par un message plus long qui contient de la redondance. Sans redondance, chaque donnée du message est indispensable à la compréhension du message entier. Toute erreur dans une partie du message est donc susceptible de changer la signification du message. L'objectif de la redondance est de faire en sorte que les erreurs ne compromettent pas la compréhension globale du message.

VI. La modulation GSMK

Dans le domaine des télécommunications, on cherche le plus à concentrer la maximum de puissance autour de la porteuse et donc de minimiser l'encombrement spectral.

La modulation spécifiée pour la norme GSM est la modulation GMSK (Gaussian Minimum Shift keying ou modulation à déplacement minimum gaussien), qui est une modulation de fréquence à enveloppe constante, ce qui est plutôt intéressant lorsqu'on travaille sur un canal qui affecte l'amplitude du message. La modulation GMSK est le résultat du filtrage par un

filtre gaussien d'une modulation MSK. Les données binaires (0 ou 1) à transmettre modulent la phase de la fréquence porteuse.

Dans la modulation MSK, un '0' fait varier linéairement et continûment la phase de -90 degrés et un '1' fait varier linéairement et continûment la phase de +90 degrés. La trajectoire de la phase est donc représentée par une courbe en dents de scie. Dans la modulation GMSK les transitions de phases sont plus progressives car les données binaires sont filtrées par un filtre gaussien avant de moduler la porteuse.

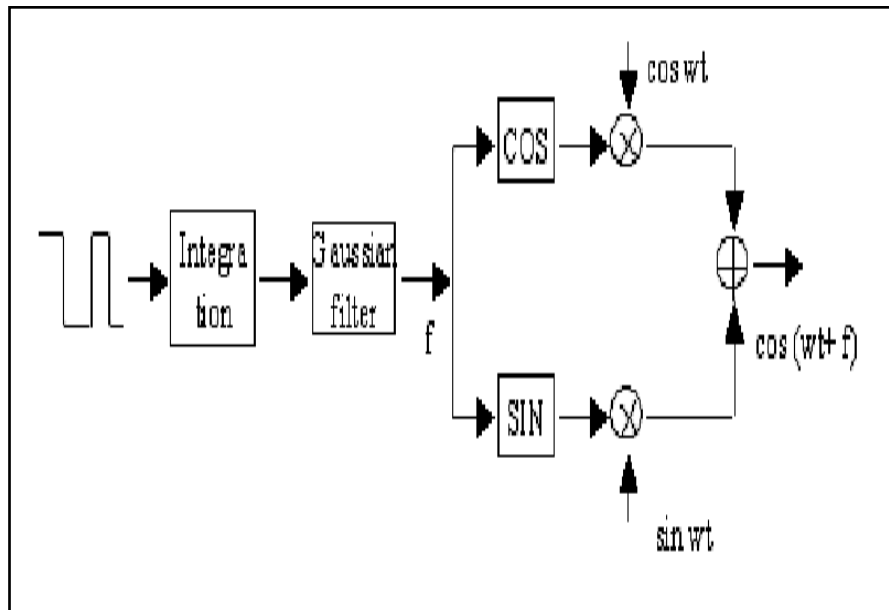


Fig I.18: schéma Bloc de modulation GMSK.

VII .Conclusion

Dans ce chapitre, on a présente le principe de réseau GSM comme : la conception de cellule, l'architecture, les canaux de transmission et problèmes et solutions de transmission dans un réseau GSM.

Le GSM est donc un système de deuxième génération entièrement numérique et il est considéré actuellement comme étant standard mondial des systèmes de télécommunication mobiles dans le monde des réseaux cellulaires.

Le prochain chapitre fera l'objet d'une présentation sur des modèles de prédiction d'affaiblissements communes dans un réseau GSM, classification des modèles, et les modèles de propagation.

I. Introduction

Les zones de couverture peuvent être obtenues, soit par mesures, soit par calcul à partir d'un modèle de propagation des ondes pour élaborer des études d'ingénierie et pour résoudre des questions de planification. L'un des besoins fondamentaux dans la conception, l'implantation et l'exploitation d'un système radio mobile terrestre est la connaissance de la valeur de la puissance du signal reçu et de ses variations en chaque point de la couverture du système. Cette connaissance permet d'établir la zone de couverture et les problèmes d'interférences qui peuvent être associés à chaque site. L'information de la puissance du signal peut être obtenue par des campagnes de mesures radio mais celles-ci coûtent cher, en particulier si elles doivent être réalisées au niveau de chaque émetteur possible du système. Il est donc intéressant de disposer d'un système de traitement informatique pour prédire à la fois les zones de couverture et les problèmes d'interférences. Un tel système est basé essentiellement sur un ou plusieurs modèles ou méthodes de calcul de propagation.

Les modèles de propagation servent alors à la prédiction mathématique de la propagation des ondes radioélectriques entre la source et la zone de service cible, ils donnent ainsi une idée proche de la réalité pour permettre à un récepteur de systèmes d'établir à l'avance si le système de radiocommunications projeté desservira bien la zone de service visée.

On peut distinguer donc trois grandes catégories de modèles des prédictions de propagation des ondes radioélectriques :

- Les modèles empiriques
- Les modèles semi-empiriques
- Les modèles déterministes ou exacts.

II. Notion de modèle

Le modèle est une procédure essentielle au début de déploiement du réseau car il permet des prédictions précises sur la couverture.

III. Les modèles de propagation pour ingénierie radio

Un modèle de propagation des ondes radio est un modèle mathématique, qui permet de simuler le canal de propagation entre un émetteur et un récepteur. Le modèle mathématique est ensuite mis en œuvre dans un algorithme, puis dans un programme informatique. Il permet

de prédire le niveau moyen du signal radio que l'on reçoit en n'importe quel point à partir d'un certain nombre de paramètres (caractéristiques techniques, type d'environnement géographique traversé le long de la liaison...). Il modélise donc les variations dues aux obstacles rencontrés par les ondes le long du canal radiomobile (effet de masques) auxquelles il faudra rajouter ensuite un algorithme pour tenir compte des variations rapides (fading). Le développement d'un modèle de propagation est stratégique pour un opérateur de télécommunications mobiles, puisqu'il est à la base de tous les calculs qui peuvent être fait par un logiciel d'ingénierie radio (niveau de champ radio reçu, affaiblissement du signal, calcul des interférences, analyse du Handover...) [15,3]. Cet outil lui apporte une aide précieuse pour le dimensionnement correct du réseau (implantation des relais sur le terrain). Ceci permet à l'opérateur de télécommunication d'optimiser l'implantation de ses relais, ce qui induit un gain important en termes de coûts tout en ayant la meilleure couverture possible du territoire.

L'élaboration d'un modèle de propagation nécessite des études poussées pour obtenir un modèle optimal du point de vue des performances de prédiction (résultats radio calculés proches des mesures radio collectées sur le terrain), mais aussi qui réponde aux exigences d'exploitation quotidienne du réseau par l'opérateur comme par exemple le temps de calcul des couvertures de champs radio en temps réel.

Ainsi, de nouveaux modèles de propagation voient le jour, afin d'analyser plus finement les différents milieux géographiques et phénomènes physiques de propagation à prendre en compte, concevoir de nouveaux algorithmes de simulation après définition des nouveaux paramètres d'entrée, ainsi que de définir et réaliser des campagnes de mesures spécifiques pour l'optimisation et la validation du nouveau modèle.

III.1. Les Différents Types Des Modèles

En basant sur l'environnement radio, les modèles de prédiction peuvent être classés en deux principes catégories :

- modèle macro-cellule
- modèle micro-cellule

III .1.1. Modèle Macro-Cellule

Dans les réseaux de télécommunications radiomobiles la cellule la plus grande est la macro cellule. Le milieu géographique environnant est en général rural ou montagneux et

l'antenne de station de base est positionnée sur un point très élevé. La distance entre la station de base et le mobile peut être supérieure à une dizaine de kilomètres.

Les modèles Macro-cellules sont des modèles généralement fondés sur l'analyse des obstacles qui s'y trouvent (colline, forêt, etc.). Ils s'appuient généralement sur des données géographiques de type maillé de sol et de sursol. Une mise au point par ajustement de variables est opérée à l'aide de mesures expérimentales du fait de la pauvreté des informations géographiques fournies et de la simplicité des algorithmes de calcul.

Ces modèles sont essentiellement destinés aux installateurs de réseaux mobiles en environnement rural. On distingue deux types de modèle :

- ✓ les modèles ruraux : le modèle rural prend uniquement en compte la coupe de terrain verticale entre l'émetteur et le récepteur pour déterminer les affaiblissements et notamment ceux dus à la diffraction par les obstacles (sol et sursol).
- ✓ Le modèle montagneux : le modèle montagneux prend en compte, outre le trajet direct, les trajets réfléchis sur le flanc des montagnes.

III.1. 1.1. Le Modèle ECC-33

Le modèle de prédiction d'affaiblissement ECC-33 [16], qui est développé par le Comité de communication électronique (ECC), est extrapolé à partir des mesures originales par Okumura [17] et modifié ses hypothèses afin qu'il représente de plus près un système d'accès sans fil fixe (Fixed Wireless Access, FWA) [18]. Le modèle est défini comme :

$$PL(\text{db}) = A_{\text{FS}} + A_{\text{bm}} - G_{\text{t}} - G_{\text{r}} \quad (\text{II.1})$$

Où A_{FS} est l'atténuation d'espace libre, A_{bm} est la perte de chemin moyen, G_{t} et G_{r} sont les facteurs de gain de la hauteur d'antenne BTS et Station mobile respectivement.

Ceux-ci sont définis comme :

$$A_{\text{FS}} = 92.4 + 20\log(d) + 20\log(f_c)$$

$$A_{\text{bm}} = 20.41 + 9.83\log(d) + 7.894\log(f_c) + 9.56[\log(f_c)]^2$$

$$G_{\text{t}} = \log\left(\frac{h_{\text{te}}}{200}\right)[13.98 + 5.8(\log(d))^2]$$

$$G_r = [42.57 + 13.7\log(f_c)][\log(h_{re}) - 0.585]$$

f_c est la fréquence de fonctionnement en GHz. d est la distance entre AP (Access Point) et CPE en Km. h_{te} et h_{re} respectivement sont les hauteurs d'antennes d'émission (BTS) et réception CPE.

III .1. 2. Modèle Micro-Cellule

Une micro cellule est une zone relativement petite de plein air comme une rue à l'antenne de station de base ci-dessous les toits des bâtiments environnants. La zone de couverture est plus petite par rapport aux macros cellules, et elle est formée par des immeubles environnants [19].

Une micro cellule permet une utilisation efficace du spectre de fréquences limitée et elle fournit une infrastructure moins chère. Les principales hypothèses sont les chemins relativement courts de radio (de l'ordre de 200 m à 1000 m), les antennes de station de base basse (de l'ordre de 3 m à 10 m) et puissances d'émission faibles (de l'ordre de 10 mW à 1 W).

III .1.2.1. Modèle de LEE

Le modèle de Lee [20] est basé sur des mesures réalisées dans différents environnements (espace libre, espace ouvert, périurbain, urbain) ainsi que sur le calcul de la hauteur effective de l'antenne d'émission. L'affaiblissement total est donné par la relation suivante :

$$PL = 10n\log(d) - 20 \log h_{te}(\text{eff}) - P_0 - 10 \log(h_{re}) + 29 \quad (\text{II.2})$$

Avec :

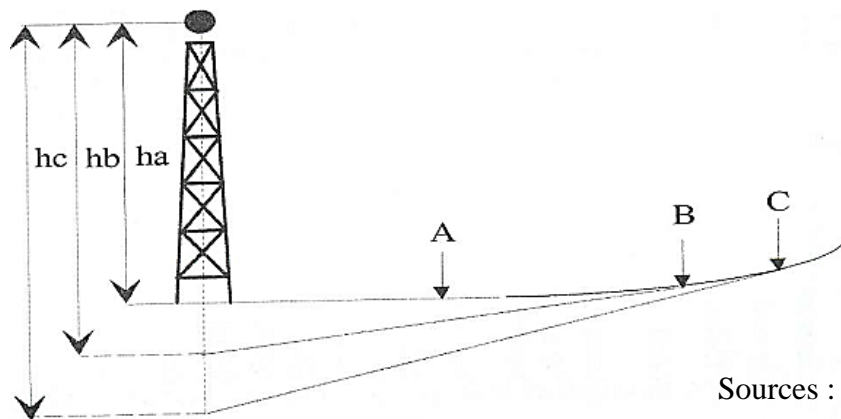
- PL : affaiblissement total
- d: longueur de la liaison (en kilomètres),
- n et P_0 : paramètres déduits à partir de mesures faites sur le terrain
Et dont la valeur est fonction du milieu géographique,
- h_{re} : hauteur du mobile,
- $h_{te}(\text{eff})$: hauteur effective (figure II.1) de l'antenne d'émission

Tableau II-1: Paramètres du modèle de Lee

Environnement	N	P_0
Espace libre	2	-45

Espace ouvert	4,35	-49
Suburbain	3,84	-61,7
Urbain	3,68	-70
Philadelphie		
Newark	4,31	-64
Tokyo	3,05	-84
New York City	4,08	-77

Sources : H. Sizun, 2003.



Sources : H. Sizun, 2003

Fig II.1: Détermination des différentes hauteurs équivalentes de l'antenne d'émission.

La hauteur effective de l'antenne d'émission est déterminée en projetant la pente du terrain au voisinage du mobile sur l'emplacement où est localisée la station de base supportant l'émetteur. La figure II.1 schématise la variation de la hauteur effective de l'antenne d'émission (h_a , h_b , h_c) pour différentes positions du mobile en fonction de la pente du terrain (avec A, B, C : pente du terrain plus 1.5 mètres, correspondant à la position du mobile).

III .2.les types de modèles de propagation

Dans le domaine des communications radio mobiles, il existe deux approches fondamentales de prédiction de comportement d'un canal de transmission. La première approche consiste à modéliser le canal de façon statistique. La seconde méthode consiste à utiliser une résolution analytique directe des équations de propagation ou à simuler les trajets du signal dans le milieu de propagation.

Le type de modèle choisi dépendra du niveau d'estimation souhaité : estimation approximative ou précise. De plus, les données sur le terrain disponibles jouent un rôle

important. Après l'estimation de prédiction, des mesures de champ doivent être réalisées de façon à valider le modèle. Cette étape nécessite généralement le réajustement des paramètres. Les deux principaux types de modèles résultants de ces approches sont les modèles théoriques, basés sur des modélisations théoriques, et les modèles empiriques. Des modèles semi empiriques utilisant les approches précédentes sont également définis. Ils prennent en compte les équations théoriques de propagation et sont paramétrés à l'aide des résultats de mesures réelles.

Les modèles déterministes donnent des résultats beaucoup plus précis mais requièrent une quantité importante d'information sur la zone où ils vont être appliqués. De plus, ils nécessitent un temps de calcul long. Ils sont généralement réservés à des lieux particuliers où les autres modèles ne peuvent pas être utilisés. Ils reposent sur des calculs d'optique géométrique (réflexion, diffraction, etc.). Cette méthode est appelée méthode de rayons.

III .2.1.Les modèles empiriques :

Les modèles empiriques ou statistiques sont base sur l'analyse statistique d'un grand nombre de mesures expérimentales et qui tiennent compte de différents paramètres tels que la hauteur des bâtiments, des BSs, du mobile...

La figure II.2 montre la topologie des modèles empiriques.

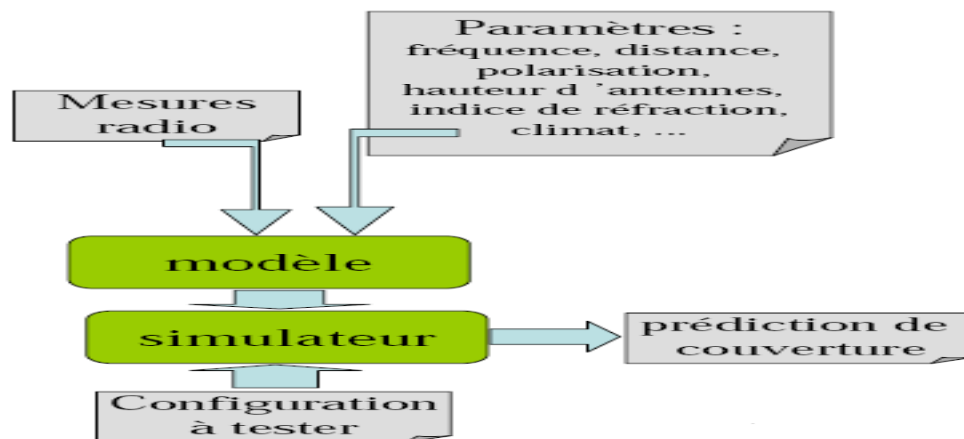


Fig II.2 : Plan de travail des modèles empiriques.

Si le modèle empirique est bien construit, avec la rigueur exigée par l'analyse statistique, il représentera correctement les données qui ont servi à l'établir. Parce qu'en général, il est relativement simple à mettre en œuvre (en terme de développement

mathématique et de programmation informatique), le concepteur de système de télécommunication aura tendance à le préférer à tout autre.

Il faut bien garder à l'esprit que dans le cas d'un modèle empirique il n'est pas prouvé que le modèle fonctionne dans d'autres conditions (fréquence différente, milieu géographique différent, etc.) que celles qui ont présidé à son établissement. Toute généralisation du modèle est donc toujours un peu hasardeuse. En particulier deux erreurs doivent être évitées : l'erreur de paramètre et la fausse dépendance entre les variables. L'erreur de paramètre consiste à prendre une grandeur liée à une variable d'entrée comme variable indépendante ou à faire intervenir des variables d'entrée liées. La fausse dépendance est plus difficile à détecter car elle provient de l'existence d'une variable cachée qui, furtivement, lie deux variables qui n'ont en fait aucun lien direct de cause à effet. Par exemple, si l'on considère la température à la surface du sol en ville et la densité de véhicules motorisés on peut trouver que l'une favorise l'autre, alors que bien évidemment, c'est la présence d'une forte densité de population humaine qui explique les deux accroissements. Les situations réelles, pour n'être pas toujours aussi simples à comprendre, n'en conduisent pas moins à des résultats parfois aberrants. Dès lors que le nombre de mesures expérimentales est limité, un échantillonnage spatial particulier pourra entraîner une corrélation entre la distance et par exemple la hauteur des antennes. Un modèle empirique où la distance euclidienne a été choisie comme variable d'entrée pourra donner de très mauvais résultats appliqués à d'autres simulations si en réalité, c'est la hauteur (de l'antenne, du sursol, du mobile, etc.) qui est déterminante.

Si nous insistons sur cet aspect des choses, c'est qu'en physique de la propagation du signal radio on travaille presque toujours avec des bases de données de petite taille (données radioélectriques : affaiblissements du signal mesurés, etc.) compte tenu de la difficulté à les obtenir, du prix très élevés des campagnes de mesure sur le terrain, et du nombre de variables dont peut prétendre le phénomène étudié.

Dans une telle approche, purement statistique, il n'y a aucune base théorique sur la propagation du signal radio, le calcul de l'affaiblissement de la liaison est déduit uniquement à partir de statistiques appliquées aux données collectées sur un ensemble de campagnes de mesures, qui doivent donc être les plus représentatives possibles des configurations rencontrées sur le terrain.

Observons plus en détail quelques exemples de modèles empiriques.

III .2.1.1.Modèle de Hata

Le modèle de Hata [21] est tiré des courbes d'Okumura et est exprimé en fonction de formules empiriques. Le domaine de validité du modèle est le même approximativement que le modèle d'Okumura (fréquences : 150 MHz-1500 MHz, hauteur de l'antenne de la station de base : 30 m-200 m, hauteur de l'antenne de la station mobile : 1 m-10 m.). Hata a présenté un modèle standard d'affaiblissement pour l'environnement urbain et a introduit des corrections pour des cas particuliers.

$$L_{50}(\text{urbain}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log(h_{te})) \log(d) \quad (\text{II.3})$$

Où

- Une petite à moyenne ville: $a(h_{re}) = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_{re} - (1.56 \log(f_c) - 0.8)$ en dB
- Grande ville ($f_c < 300$ MHz) : $a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54 \cdot h_{re})^2 - 1.1$ en dB
- Grande ville ($f_c > 300$ MHz) : $a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 \cdot h_{re})^2 - 4.97$ en dB

En milieu suburbain nous devons apporter une correction à la formule ci-dessus :

$$L_{50}(\text{suburban}) = L_{50}(\text{urbain}) - 2 \left(\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right)^2 - 5.4 \quad (\text{II.4})$$

En milieu rural :

- Environnement dégagé :

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbain}) - 4.78(\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 40.94 \quad (\text{II.5})$$

- Environnement semi-dégagé:

$$L_{50}(\text{rural}) = L_{50}(\text{urbain}) - 4.78(\log(f_c))^2 - 18.33 \log(f_c) - 35.94 \quad (\text{II.6})$$

III .2.1.2. Modèle d'Okumara-Hata

C'est le modèle le plus couramment utilisé, il est apparu en 1980 et est basé sur l'analyse statistique d'un grand nombre de mesures expérimentales effectuées à l'intérieur et à proximité de la ville de Tokyo. Okumara tient compte de la fréquence, de la radiosité, de la distance entre l'émetteur et le récepteur et de la hauteur de la station de base et du mobile. Il prend en considération également la nature de l'environnement en qualifiant son degré d'urbanisation (urbain dense, urbain faible ou rural).

Les conditions de validité de ce modèle sont récapitulées ci-dessus :

Hauteur de l'antenne d'émission	$30\text{m} < h_b < 200\text{m}$
Hauteur de l'antenne du mobile	$1\text{m} < h_m < 10\text{m}$
Distance entre le mobile et la station de base	$1\text{km} < d < 20\text{km}$
Type d'environnement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Urbain (grand ville) ▪ Urbain (ville moyenne) ▪ Banlieue • Rural

Tableau II.2 : Condition de validité du modèle d'Okumura-Hata.

Pour un environnement urbain, l'affaiblissement a pour expression :

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log d \quad (\text{II.7})$$

Pour une ville moyenne, l'expression est donnée par :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad \text{Avec : } a(h_m) = (1.1 \log(f) - 07)h_m - 1.56 \log(f) + 0.8 \quad (\text{II.8})$$

Pour une grande ville, l'expression de l'affaiblissement est donnée par :

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad \text{Avec :} \quad (\text{II.9})$$

$$a(h_m) = 8.29[\log(1.54h_m)]^2 - 1.1 : f \leq 200\text{Mhz}$$

$$a(h_m) = 8.29[\log(1.54h_m)]^2 - 4.97 : f \geq 200\text{Mhz}$$

Pour un environnement Banlieue, l'expression de l'affaiblissement est donnée par :

$$L_{\text{Banlieue}} = L_0 - \left[\log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \quad (\text{II.10})$$

Pour un environnement rural dégagé l'expression de l'affaiblissement est donnée par :

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78([\log(f)]^2 + 1.833 \log(f) - 40.49) \quad (\text{II.11})$$

III .2.1.3.Modèle de COST231-Hata

Les membres du projet européen COST 231 ont proposé d'étendre le modèle de Hata à des fréquences supérieures [22], notamment à cause du déploiement des réseaux GSM 1800 (Europe) et GSM 1900 (USA). La formule suivante a été proposée :

$$L_{50}(\text{urbain}) = 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{te}) a(h_{re}) (44.96.55 \log(h_{te})) \log(d) C_M \quad (\text{II.12})$$

Avec $C_M = 0$ dB pour des villes de taille moyenne et les banlieues et $C_M = 3$ dB pour les grands centres métropolitains.

$A(h_{re})$ est identique à celui du modèle de Hata. Le domaine de validité de ce modèle est :

$1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$, $30 \text{ m} < h_{te} < 200 \text{ m}$, $1 \text{ m} < h_{re} < 10 \text{ m}$, $1 \text{ km} < d < 20 \text{ km}$.

III .2.1.4.Modèle d'Elgi

L'un des modèles statistiques les plus connus pour prédire l'affaiblissement de propagation dans le milieu urbain ou milieu rural est dû à Egli [23]. Il tient compte des irrégularités du terrain, le facteur du terrain pour 900 MHz a une valeur moyenne de 27.5 dB. La variation du champ dépend de la hauteur de l'antenne de la station de base et de la distance D entre l'émetteur et le récepteur.

L'affaiblissement moyen pour une hauteur de l'antenne mobile de 1.5m est donné par [24]:

$$L = 139.1 - 20 \log(h_b) + \log(d) \quad (\text{II.13})$$

- h_b : Hauteur de l'antenne de la station de base,
- d : Distance entre l'antenne de la station de base et l'antenne de la station mobile.

C'est un modèle d'interprétation systématique des mesures effectuées dans la bande 90-1000MHz .L'inconvénient de ce modèle c'est qu'il tient compte de la diffraction qui est un phénomène important dans la propagation radio.

III .2.1.5.Modèle de Stanford University Interim (SUI)

Le modèle SUI a été développé pour IEEE 802.16 par l'Université de Stanford [25]. Il est utilisé pour les fréquences supérieures à 1900 MHz. Dans ce modèle de propagation, trois types de terrains ou des zones différentes sont considérées (Tableau II.3).

Ceux-ci sont appelés terrain A, B et C. Terrain A représente une zone avec la plus grande perte de chemin; il peut être une région très densément peuplée, tandis que B représente une surface avec une perte de trajet moyenne ; un environnement suburbain. Terrain C a le moins de perte de chemin qui décrit une zone rurale ou plat.

Tableau II-3: Les paramètres du modèle SUI dans différents terrains [26].

Paramètre de modèle	Terrain A	Terrain B	Terrain C
A	4.6	4.0	3.6
b (m ⁻¹)	0.0075	0.0065	0.005
c (m)	12.6	17.5	20

L'équation de perte de chemin de base avec les facteurs de correction sont présentées dans [27],

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + s; \quad \text{pour } d > d_0 \quad (\text{II.14})$$

Où d est la distance entre l'antenne de point d'accès (AP) et l'antenne CPE (Customer Premises Equipment) en mètre, $d_0 = 100$ m et s est un facteur Logarithmique distribué qui est utilisée pour comptabiliser l'effet d'évanouissement de l'ombre (shadow fading) en raison des arbres et d'autres obstacles ayant une valeur entre 8.2db à 10.6db [20]. Les autres paramètres sont définis comme :

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$$

$$\gamma = a - b \cdot h_{te} + c/h_{te}$$

Où le paramètre h_{te} est la hauteur de la station de base au-dessus du sol, en mètres et doit être comprise entre 10 m et 80 m. Les constantes utilisées pour a , b et c sont données dans le Tableau II-1. Le paramètre γ est égal à l'exposant d'affaiblissement. Pour un type de terrain donné l'exposant de perte de chemin est déterminée par h_{te} .

Les facteurs de correction pour la fréquence de fonctionnement et pour la hauteur de l'antenne CPE pour le modèle sont [25] :

$$X_f = 6.0 \log \left(\frac{f_c}{2000} \right)$$

$$X_h = -10.8 \log \left(\frac{h_{re}}{2000} \right); \quad \text{pour les terrains de types A\&B}$$

$$= -20 \log \left(\frac{h_{re}}{2000} \right); \quad \text{pour les terrains de type C}$$

Où, la fréquence (f) est en MHz et h_{re} est la hauteur de l'antenne mobile en mètres.

Il est applicable à tous les trois zones comme les zones rurales, urbaines, suburbaines.

III .2.1.6. Modèle d'affaiblissement Log distance

Plusieurs recherches ont montré que l'affaiblissement dans un environnement indoor augmente en fonction de la distance qui sépare l'émetteur du récepteur [27] :

$$L(d) \propto \left(\frac{d}{d_0} \right)^n \quad (\text{II.15})$$

Avec :

- L est l'affaiblissement moyen.
- n est le facteur d'atténuation qui indique la manière avec laquelle l'affaiblissement varie avec la distance. La valeur de n dépend de l'environnement de propagation.
- d_0 est la distance référence, elle est généralement égale à 1 m.
- d est la distance entre l'émetteur et le récepteur.

Le tableau suivant résume les valeurs de n pour différents environnements [27] :

Environnement	Facteur d'atténuation (n)
Espace libre	2
Environnement urbain	de 2.7 à 3.5
Zone urbaine masquée	de 3 à 5
Dans les bâtiments avec LOS	de 1.6 à 2.5
Dans les bâtiments (NLOS)	de 4 à 6

Tableau II.4 : Les valeurs de n pour différents environnements.

L'affaiblissement en dB est défini par [27] :

$$L(d) = L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (\text{II.16})$$

- $L(d_0)$ est typiquement calculé avec l'hypothèse de l'espace ou par mesures. Pour 1m, elle est généralement égale à l'affaiblissement dû à l'espace libre si la perte est égale au gain des antennes.

L'équation II.16 est utilisée pour prédire la puissance reçue quand l'émetteur et le récepteur sont séparés par une distance d . La pratique a montré que l'affaiblissement suit une loi normale, d'où l'expression suivante [27] :

$$L(d) = L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (\text{II.17})$$

σ et n sont calculés à partir des mesures tout en utilisant une régression linéaire en minimisant la différence entre les valeurs de l'affaiblissement mesurées et les valeurs estimées.

II .2.1.7.Modèle de SEIDEL

Dans un environnement à plusieurs étages, l'affaiblissement peut aussi être décrit par le modèle de Seidel [27]:

$$L(d) = L(d_0) + 10n_{SF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + FAF \quad (\text{II.18})$$

n_{SF} représente le facteur d'affaiblissement pour des mesures faites dans le même étage. Ainsi, si n_{SF} est bien estimé dans un étage, l'affaiblissement dans un étage différent peut être prédit tout en ajoutant une valeur appropriée du facteur d'atténuation du plancher (FAF).

Le principal avantage des modèles empiriques est que l'on n'a pas besoin d'une présentation précise de la zone à couvrir. Ils permettent également des calculs très rapides. Ils peuvent donc être utilisés à déployer des réseaux avec des coûts et des délais réduits.

Ils seront donc utilisés pour obtenir une vision d'ensemble du déploiement. Néanmoins, ils ne donnent pas des résultats précis car ils ne tiennent pas compte de la topologie réelle de la zone à couvrir.

III .2.2.Les modèles semi-empiriques

Par opposition aux modèles empiriques, les modèles semi-empiriques s'appuient sur une caractérisation plus précise de la zone à couvrir. Ils font un compromis entre la complexité et la précision. En effet, ils font intervenir à la fois les aspects théoriques et des mesures. Ce qui donne des résultats plus précis que des modèles empiriques. La figure II.3 montre la topologie des modèles semi-empiriques.

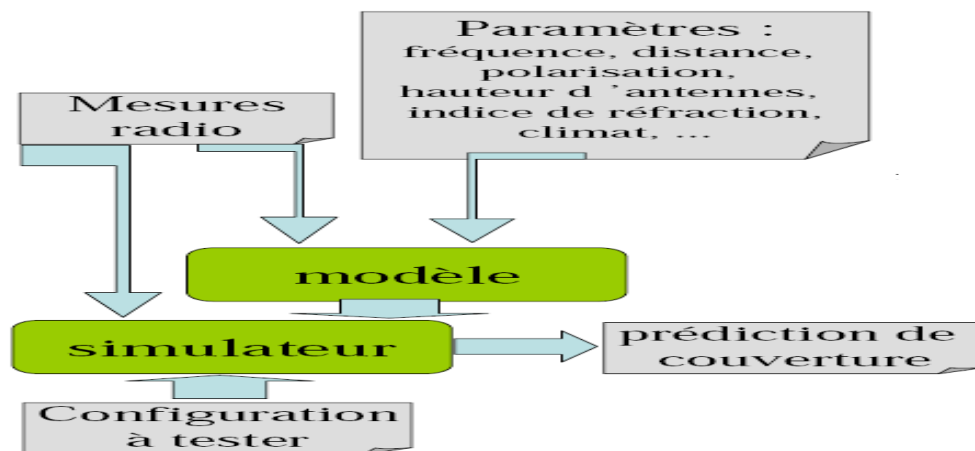


Fig II.3 : Plan de travail des modèles semi-empiriques.

Les modèles semi-empiriques se basent sur une partie théorique assez simplifiée pour tenir compte des phénomènes de propagation influents (calcul de diffraction multiple, réflexion...).

Puis à partir de cela, un certain nombre de corrections statistiques sont effectuées sur l'ensemble des variables calculées par le modèle ce qui permet de l'ajuster par rapport aux situations réelles rencontrées sur le terrain.

Pour développer ce type de modèles, il faut donc disposer de données assez précises sur l'environnement en présence (données géographiques numériques) et de données expérimentales (campagnes de mesures sur le terrain).

III .2.2.1.Modèle de Walfisch-Ikegami

Ce modèle combine les approches empiriques et déterministes pour calculer les pertes de propagation en milieu urbain. Il prend en compte aussi la perte de propagation en espace libre, la perte par diffraction, la perte entre les toits des bâtiments voisins et l'influence des routes où le mobile est situé. Les paramètres intervenant dans l'expression du modèle sont les suivants :

- **f** : Fréquence porteuse (MHz) : $800 \leq f \leq 2000$.
- **h_{TX}** : Hauteur d'antenne (m) de la station de base par rapport au sol: $4 \leq h_{TX} \leq 50$.
- **h_{RX}** : Hauteur d'antenne (m) de la station mobile par rapport au sol : $1 \leq h_{RX} \leq 3$.
- **h_{Roof}** : Hauteur moyenne (m) des bâtiments : $h_{Roof} \geq h_{RX}$.
- **W** : Largeur de la route (m) où le mobile est situé (elle est égale à $b/2$ s'il n'y a pas d'indication).
- **b** : Distance (Km) entre les centres de bâtiments (elle est comprise entre 20 et 50 s'il n'y a pas d'indication).
- **d** : Distance (Km) entre le BS et le mobile : $0.02 \leq d \leq 5$.
- **α** : Angle (en degrés) qui fait le trajet avec l'axe de la route (elle est égale à 90 s'il n'y a pas d'indication).

$\Delta h_{TX} = h_{TX} - h_{Roof}$: Hauteur de BS au-dessus des toits.

$\Delta h_{RX} = h_{Roof} - h_{RX}$: Hauteur de MS au-dessous des toits.

Cas de visibilité directe LOS (Line Of Sight) :

$$L_p = 42.64 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.19})$$

L'atténuation en espace libre est donnée par :

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.20})$$

L'atténuation en cas de visibilité s'écrit alors :

$$L_p = L_{fs} + 10.19 + 6 \log(d) = L_{fs} + 6 \log(50d) \quad (\text{II.21})$$

Cas de non visibilité directe NLOS (Non Line Of Sight):

$$L_p = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{msd}L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{fs}L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (II.22)$$

Avec :

L_{rts} : L'atténuation due à la diffraction sur les toits des bâtiments.

L_{msd} : L'atténuation due aux diffractions multiples.

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_{RX}) + L_{ori} \quad (II.123)$$

L_{ori} est un terme qui dépend de l'orientation de la route par rapport à l'émetteur.

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \alpha & 0 < \alpha < 35 \\ 2.5 + 0.075(\alpha - 35) & 35 < \alpha < 55 \\ 4.0 + 0.114(\alpha - 55) & 55 < \alpha < 90 \end{cases} \quad (II.24)$$

La perte de l'orientation est un terme empirique de correction obtenu après calibrage.

L'inconvénient de ce modèle est qu'il nécessite la connaissance de nombreux paramètres de la zone à étudier malgré qu'il puisse être utilisé pour des valeurs par défauts. De même, il néglige les effets de guide d'onde par trajets multiples.

III .2.3.Les modèles déterministes

Dans ce type de modèles, les lois de la théorie électromagnétique sont prises en compte dans un environnement pour lequel on choisit une représentation assez schématisée pour permettre effectivement un calcul numérique. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour élaborer un modèle exact, on cite à titre d'exemple, l'approche du lancer de rayons.

Ce type de modélisation est purement théorique puisqu'il est très ambitieux de prétendre modéliser l'ensemble des phénomènes qui influent sur la propagation du signal radio. De plus, il est très complexe de vouloir tenir compte également des variations temporelles (variations saisonnières, mobilité des obstacles...).

Les modèles déterministes sont très complexes, leur utilisation implique une connaissance très approfondie du sujet. Ils sont donc dédiés préférentiellement à des travaux de recherche, ce qui les rend incompatibles avec l'ingénierie des réseaux radio mobiles où l'on a besoin d'outils rapidement opérationnels. De plus, les performances de ces modèles ne sont pas toujours à la hauteur de ce que l'on pourrait espérer d'une telle approche.

III .2.3.1.modèle de lancer de rayon

C'est une technique entièrement déterministe (basée sur une approche dérivée de l'optique géométrique) dont le principe est:

- ❖ Lancement à partir de l'émetteur, de lignes directrices (rayons) dans toutes les directions.
- ❖ Rayons espacés régulièrement à partir de l'émetteur et tracés au fur et à mesure de leur propagation.
- ❖ Trajets émetteur-récepteur recherchés.

La condition d'arrêt est atteinte si:

- ❖ Puissance du rayon en dessous d'un seuil,
- ❖ Rayon qui a quitté la zone de simulation,
- ❖ Rayon qui a subi un nombre maximal de réflexions (5 à 10).

III .2.4. Problèmes avec les modèles empiriques et semi empiriques

En général, les modèles précédents que se soient empiriques ou semi empiriques sont utiles pour donner des ordres de grandeur mais leur manque de précision les rend souvent impropres à la mise en place d'une ingénierie satisfaisante. Par ailleurs, l'établissement de tels modèles se fait à partir d'une grille de paramètres, on ne pourra l'étendre que difficilement à une nouvelle plage d'utilisation, puisqu'on n'a pas le repère des lois de l'électromagnétisme pour évaluer le changement que peut apporter cela sur des résultats de précision. De plus, la comparaison des résultats fournis par ces modèles avec la réalité a permis de conclure que cette catégorie de modèles bien qu'elle subit une opération de calibrage et d'affinement présente des défauts de précision surtout aux endroits à forte densité d'immeubles. Pour remédier à cet inconvénient, et pour avoir une situation fiable, une deuxième catégorie de modèles fut son apparition dans les années 90 : ce sont les modèles exacts.

III .3.Les Critères D'évaluation D'un Modèle

Pour pouvoir évaluer les performances d'un modèle, on doit disposer de paramètres statistiques qui permettent d'estimer sa précision. On définit donc pour chaque point de mesure l'erreur de prédiction en tant que différence entre l'affaiblissement mesuré sur le terrain et l'affaiblissement prédit par le modèle de propagation :

$$E = A_{\text{mesuré}} - A_{\text{prédit}} \quad (\text{II.25})$$

Avec :

E : l'erreur de prédiction (en décibels, dB)

A: l'affaiblissement du signal radioélectrique (en décibels)

A partir de cette valeur, on détermine un certain nombre de paramètres statistiques qui résument les caractéristiques de la distribution des erreurs.

Il s'agit de :

$\langle E \rangle$: La valeur moyenne de l'erreur de prédiction (en décibels)

σ : L'écart-type de l'erreur de prédiction (en décibels)

Q_x : Les pourcentages de points pour lesquels la valeur absolue de l'erreur de prédiction est inférieure à X dB.

Avec ces différents paramètres, on peut alors juger de la précision d'un modèle. On admet en général qu'un modèle est acceptable pour l'ingénierie s'il est centré ($\langle E \rangle$ inférieur à 1 dB en valeur absolue) avec un écart-type le plus faible possible (6 à 7 dB actuellement pour les radiomobiles). Il faut de plus que ces critères soient vérifiés aussi bien d'un point de vue global (sur la totalité des sites de mesure) que pour chaque site pris séparément, pour pouvoir juger de la robustesse du modèle.

III .4. Les modèles de pénétration

L'affaiblissement de pénétration dans un bâtiment est défini comme étant la perte de puissance subie par le champ électromagnétique entre l'extérieur dans la rue et une ou plusieurs positions à l'intérieur de l'immeuble. Le champ à l'intérieur des bâtiments est influencé par différents paramètres comme la position de l'immeuble par rapport à l'émetteur et par rapport aux autres immeubles ou encore les caractéristiques architecturales de l'immeuble (matériaux de construction, agencement intérieur, taille des fenêtres, etc.). Il est clair qu'il n'est pas encore possible d'obtenir ce type de bases de données géographiques et architecturales pour tous les bâtiments d'une ville, du fait de la grande quantité d'informations à collecter sur le terrain (Outdoor et Indoor) et du coût très élevé que représenteraient de telles bases de données. Les opérateurs de télécommunication doivent donc encore se contenter

actuellement d'approches assez empiriques pour l'ingénierie radiomobile. La mise au point et l'utilisation de nouvelles données géographiques (indices de forme, fractales, rugosité, etc.) utilisables en modélisation radiomobile peut donc être proposée.

Un modèle de pénétration doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres qui peuvent être extraits des bases de données géographiques disponibles auprès des fournisseurs tels que l'IGN, ou alors fixés empiriquement par l'opérateur de télécommunication suivant le cas qu'il veut traiter. Ces paramètres sont en général les suivants :

- l'environnement géographique proche : Les images satellites et photographies aériennes en milieu urbain permettent d'extraire quelques grands ensembles morphologiques [28] comme par exemple les quartiers avec de grandes tours plus ou moins dégagées les unes des autres, ou bien les quartiers résidentiels d'immeubles anciens de taille moyenne, ou bien encore des éléments marquant du paysage urbain comme la Zone Morphologique Urbaine, ZMU, qui correspond à la limite bâtie de la ville.
- la profondeur de réception dans les bâtiments : Le champ radioélectrique reçu par le mobile diminue lorsque le mobile se déplace de la façade vers le fond d'une pièce à l'intérieur du bâtiment. Donc plus le mobile est proche des murs extérieurs, meilleure sera la qualité de la transmission du signal radio. De plus, l'effet des inhomogénéités de la façade (présence de balcons, d'ornements en pierres de taille, etc.) décroît lorsque l'on se rapproche du fond de la pièce. Au fond du bâtiment l'affaiblissement du signal est plus important mais aussi beaucoup plus homogène. Il est important de noter que les ondes pénètrent plus facilement dans un bâtiment par les parties vitrées que par les murs en brique ou en béton (Tableau II-5), et par conséquent certains trajets sont plus ou moins affaiblis, voire carrément occultés dans certains cas (murs très épais en pierres de taille par exemple). Les façades vitrées présentent en général un affaiblissement de pénétration de 6 décibels de moins qu'une façade non vitrée [29].
- la proportion de surface vitrée.
- le type de matériau traversé (Tableau II-5) : Ceci concerne les matériaux traversés par les ondes radio pour parvenir jusqu'au mobile, en l'occurrence les façades (murs extérieurs du bâtiment) ainsi que les murs intérieurs (cloisons fines, murs porteurs).

Les traversées de matériaux provoquent un affaiblissement des ondes électromagnétiques, de l'ordre de 4 décibels pour le bois jusqu'à 10 décibels pour le béton [22]. De plus l'épaisseur des matériaux a également un impact important sur l'atténuation du signal : plus le matériel est épais plus l'affaiblissement radio sera important. Par exemple pour le béton, un mur composé d'une épaisseur de 25 centimètres de béton provoquera une atténuation du signal de 13 décibels, alors qu'une dalle de béton (plafond, sol) provoquera une atténuation du signal de 23 décibels, ce qui est énorme.

- l'angle d'incidence : Il agit sur les coefficients de réflexion et de transmission à travers une surface.
- la hauteur de réception plus communément appelée « effet d'étage » : Plus le mobile est localisé en hauteur, meilleure est la réception du signal radio. Donc l'affaiblissement radioélectrique de pénétration dans le bâtiment diminue quand on monte dans les étages supérieurs. L'affaiblissement de pénétration dans un bâtiment par rapport au champ radio extérieur est donc calculé pour le rez-de-chaussée. En petite cellule, le gain de puissance observé est généralement de l'ordre de 2 à 3 dB par étage à 900 et 1800 MHz. Cependant la forte diversité des situations (agencement des pièces, type de mobilier, taille des vitres, matériaux des murs intérieurs, etc.) provoque une dispersion des gains par étages ; des valeurs de l'ordre de 4 à 7 dB ont été mesurées en pratique [30]. Les étages situés dans la partie supérieure de l'immeuble bénéficient en outre d'un éclairage (visibilité par rapport à l'émetteur) beaucoup plus important, parfois même direct. Les étages situés dans la partie inférieure des immeubles sont éclairés par des ondes radio ayant subi de nombreuses réflexions et diffractions sur les toits et dans la rue. Les paramètres géographiques et architecturaux ainsi que les phénomènes physiques à prendre en compte dans les modèles de pénétration sont donc variés [29].
- la hauteur de l'antenne d'émission,
- la fréquence,
- la distance entre l'émetteur et le récepteur, dans le cas où le bâtiment, dans lequel est localisé le mobile, est en visibilité optique de l'antenne émettrice. Dans ce cas, on applique la loi de propagation des ondes radio en espace libre pour le calcul de l'affaiblissement de pénétration.

Différentes techniques de mesures ont été utilisées afin de caractériser l'affaiblissement radioélectrique de pénétration dans les bâtiments dû aux différents composants d'un bâtiment. On peut notamment citer la méthode mise au point avec deux chambres réverbérantes. On peut retenir que l'affaiblissement de pénétration diminue quand on monte dans les étages, diminue aussi si la façade contient beaucoup de surfaces vitrées, augmente quand l'angle d'incidence du trajet par rapport à la normale à la façade augmente. Par contre contrairement à ce qui est souvent dit, il n'y a pas de règle évidente en fonction de la fréquence : dans certains cas, il y a des pertes plus importantes de pénétration à 900 MHz, dans d'autres cas c'est à 1800 MHz. Un modèle doit donc rendre compte de l'influence de tous ces paramètres.

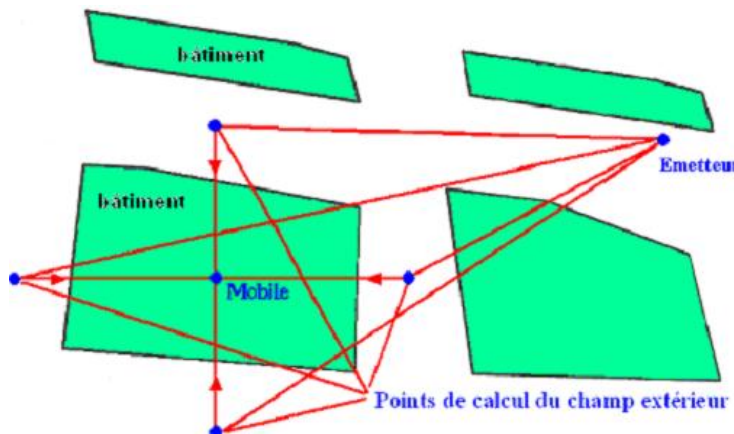
Murs intérieurs		Murs extérieurs	
Matériau	Pertes (dB)	Matériau	Pertes (dB)
plaque-plâtre	1.5	béton poreux	6.5
Bois	1.5	vitre renforcée	8.0
Vitre	2.0	béton (30 cm)	9.5
mur très peu épais (brique < 14cm)	2.5	mur composé de béton épais (25 cm) avec de grandes vitres	11.0
Brique	2.5	mur composé de béton épais (25 cm) sans vitres	13.0
mur de béton peu pais (béton < 10 cm)	6.0	Mur épais (> 20cm)	15.0
mur de béton double épaisseur (2 x 20 cm)	17.0		
Dalle	23.0		

Tableau II-5: Pertes moyennes mesurées au niveau du signal radioélectrique par transmission pour différents matériaux de construction dans la bande des 1-2 GHz [22].

L'inconvénient majeur d'un tel modèle de pénétration des ondes radio dans les bâtiments provient de l'évaluation empirique de ces paramètres. Ces derniers peuvent présenter des fluctuations importantes d'un bâtiment à l'autre (affaiblissement des murs par exemple) et dégrader la précision de la prédiction de la couverture de champ radio. De plus,

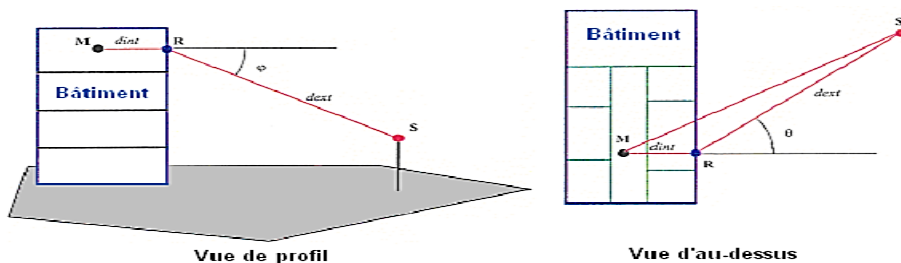
aucune base de données numérique disponible auprès des fournisseurs de données géographiques n'intègre l'architecture intérieure des bâtiments. Cela peut être envisagé pour quelques immeubles bien précis mais n'est pas possible à grande échelle.

On peut améliorer les modèles de pénétration en s'appuyant sur des coupes horizontales et des mini profils verticaux reliant le mobile à des points de référence extérieurs (figure II.4). Les informations relatives à l'environnement extérieur et à l'intérieur des bâtiments extraites des coupes horizontales et des mini profils permettent de calculer un affaiblissement total composé de deux composantes (figure II.5) : un affaiblissement de propagation du signal radio à l'extérieur du bâtiment entre l'émetteur et le bâtiment, et un affaiblissement radio de pénétration dans le bâtiment.



Sources : CNET, 1996.

Fig. II.4: Visualisation des différents trajets de propagation pris en compte dans le calcul de l'affaiblissement radio pour un modèle de pénétration dans un bâtiment.



Sources : CNET, 1996

Fig. II.5: Coupe de verticale de profil et coupe horizontale, entre l'émetteur et le récepteur les variables influentes pour un modèle de pénétration.

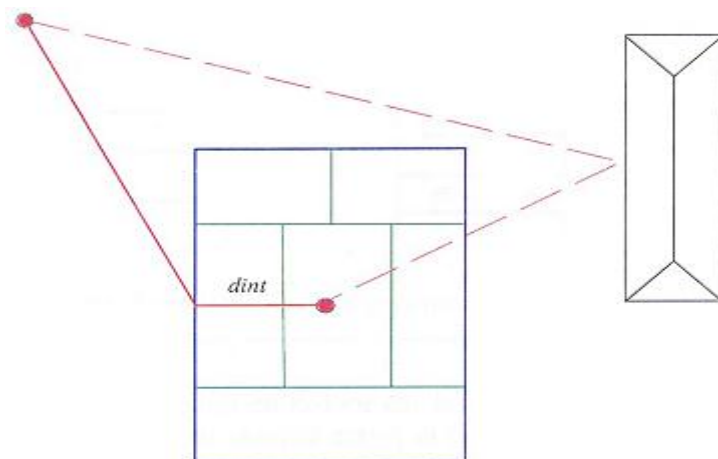
Le calcul de l'affaiblissement radioélectrique total se compose alors d'un terme pour la partie extérieure de la liaison et d'un terme pour la pénétration dans le bâtiment (figure. II.5) :

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{ext}} + A_{\text{int}}(d_{\text{int}}, d_{\text{ext}}, \varphi, \theta) \quad (\text{II.26})$$

Avec :

- A_{tot} : Affaiblissement total,
- A_{ext} : Affaiblissement à l'extérieur du bâtiment,
- A_{int} : Affaiblissement à l'intérieur du bâtiment,
- d_{ext} : Distance parcourue par l'onde à l'extérieur du bâtiment,
- d_{int} : Distance parcourue par l'onde à l'intérieur du bâtiment,
- φ : Angle formé entre le mobile et l'émetteur dans le plan horizontal,
- θ : Angle formé entre le mobile et l'émetteur dans le plan vertical (le profil),
- S : la source d'émission des ondes radioélectrique, c'est-à-dire l'émetteur,
- R : le point de réflexion des ondes radio sur la façade du bâtiment,
- M : le mobile.

Il s'agit ici d'une modélisation très simplifiée, d'autres contributions peuvent être pris en considération (figure II.6). Par exemple, les réflexions sur les bâtiments proches de celui où se trouve le récepteur (trajet en pointillés) peuvent avoir un effet non négligeable surtout si les paramètres de cette façade (voire ceux de l'intérieur du bâtiment) sont plus favorables pour la pénétration que ceux de la façade face à l'émetteur.



Sources : CNET, 1996.

Fig. II.6: Exemple d'autres contributions radioélectriques reçues par le mobile.

Vu la grande variabilité des situations rencontrées au niveau des espaces urbanisés et du nombre de paramètres influents à prendre en compte, pour l'ingénierie des réseaux mobiles on se contente de modèles simplifiés tel que celui décrit dans ce paragraphe. En effet lorsqu'on désire prendre en compte plus de paramètres et de données on doit prendre en considération des contraintes de temps de calcul informatique ainsi que le coût élevé des bases de données géographiques contenant les caractéristiques des bâtiments.

IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux modèles de prédiction de la propagation déterministes, empiriques et semi empiriques. Nous avons montré que ces modèles de propagation ne sont que des formules mathématiques obtenues à partir des statistiques sur un très grand nombre de mesures. Ces modèles permettent des calculs rapides et ne tiennent pas en compte la topologie du terrain tel que terrain plat ou rigoureux. Le manque de précision de ces modèles nous oriente vers une autre solution : l'utilisation de Support vector machine (SVM).

I. INTRODUCTION

La perte de signal est considérée comme le grand problème dans un réseau GSM. Il existe plusieurs méthodes pour estimer les pertes dans un réseau GSM, tel que les modèles de prédiction, réseaux neurones et machine à vecteur support, cette dernière est considérée plus facile à utiliser que le réseau de neurones. Son avantage principal est ces performances remarquables en généralisation avec des données de grandes dimensions. Pour l'étape de simulation, nous avons utilisés le logiciel matlab. Matlab est un environnement puissant de calcul scientifique. Il intègre le calcul matriciel et l'analyse numérique dans ses fonctions de base. De plus son architecture graphique orienté objets permet la génération de graphiques d'excellente qualité.

II. La machine à vecteur support dans un MATLAB

II.1. Séparation de données

Dans notre travail, les données sont séparant en deux groupes :

- Les données d'apprentissage sont contient les coupes (X, Y) :75%
- Les donnes du test constituent : xtest, ytest : 25%

II .2. L'apprentissage

Les données traités sont présentes au modèle d'apprentissage sous forme d'un fichier ".scale" ou ".txt" afin de construite le modèle de régression. La commande Fitrsvm permet de lancer le processus d'apprentissage. Elle génère un fichier de modèle, et à utiliser sur la forme suivante :

$$MD1 = \text{Fitrsvm}(X, Y, \text{kernel type}, \text{kernel scale})$$

Dans ce projet, on a choisi trois catégories du kernel : linéaire, gaussien, Rbf ()

Après l'apprentissage le commande " MSEtest " permet de calculer l'erreur du test à l'aide la fonction de perte (epsilon-insensitive).

$$\text{MSEtest} = \text{loss}(MD1, \text{xtst}, \text{ytest})$$

II .3. Prédiction

La commande "predict" génère les valeurs prédites. Elle consiste les valeurs du test ou valeurs réels et le modèle d'apprentissage. Predict possède la forme :

$$Y_{fit} = \text{predict}(MD1, X_{new})$$

Pour savoir l'erreur relative entre la valeur mesure de la simulation et la valeur mesure réel, on a utilisé relation d'erreur relative.

$$E = \frac{[y_{mesuré} - y_{reel}]}{y_{reel}} \quad (III.1)$$

On peut résumer les tous sur l'organigramme suivant :

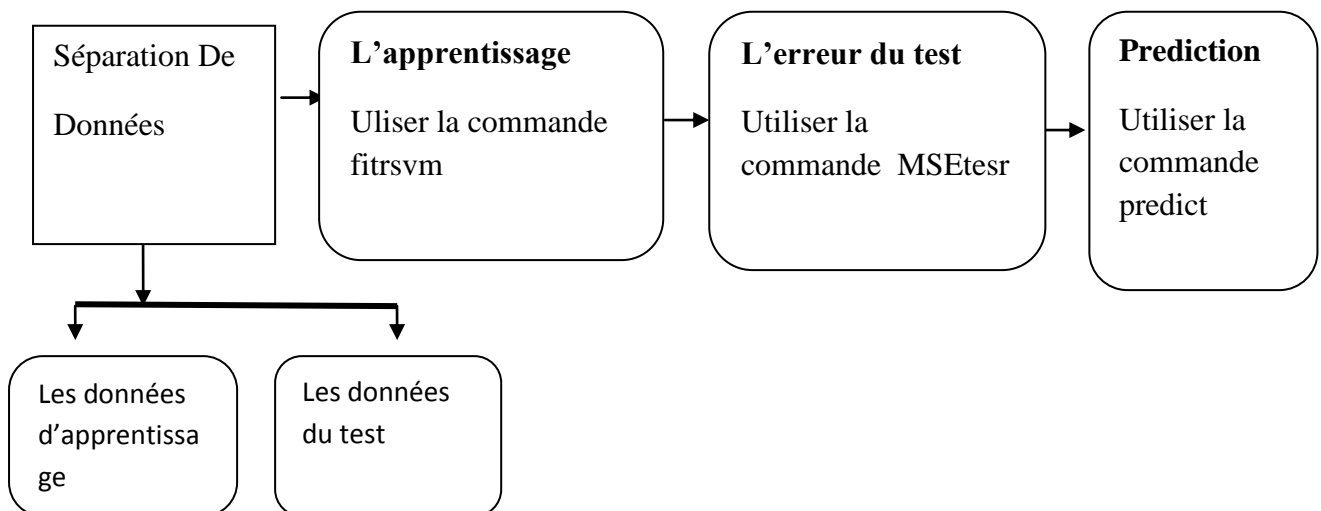


Fig III.1: Organigramme de SVM.

Avant tous excusons des commandes matlab, on a tracé les valeurs réelles de la base de données. Les figures III.7 et III.8 montrent respectivement les mesures réelles pour deux b station des bases, qui possèdent les caractéristiques suivantes :

Type de la BS	Milieu de la couverture	La fréquence (GHZ)	La hauteur du BTS(m)	La hauteur de la Ms(m)	Le nombre de lignes de données
BS1	Rural	953	25	1.5	127
BS2	banlieue	957.4	35	1.5	182

Le tableau III.1: les caractéristiques des bases stations utilisées

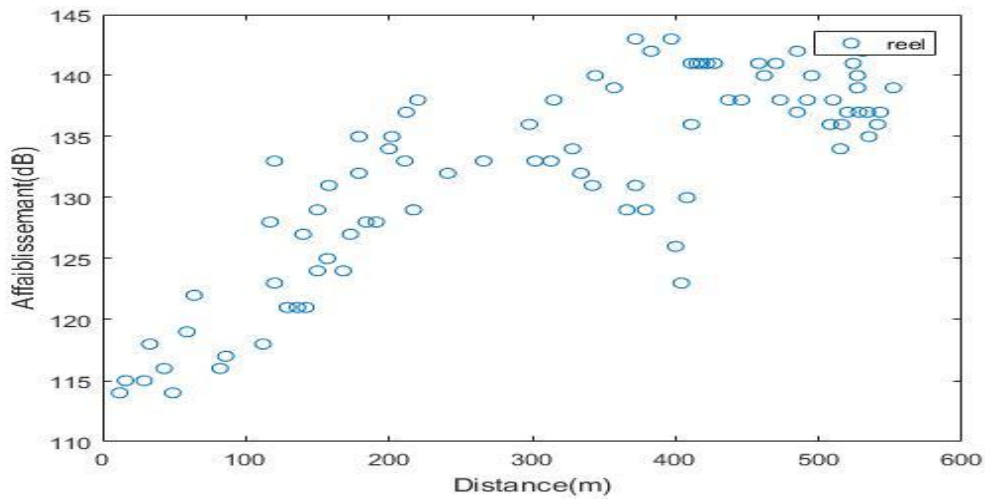


Fig III.2 : Mesures réelles Hb=25m dans un milieu rural.

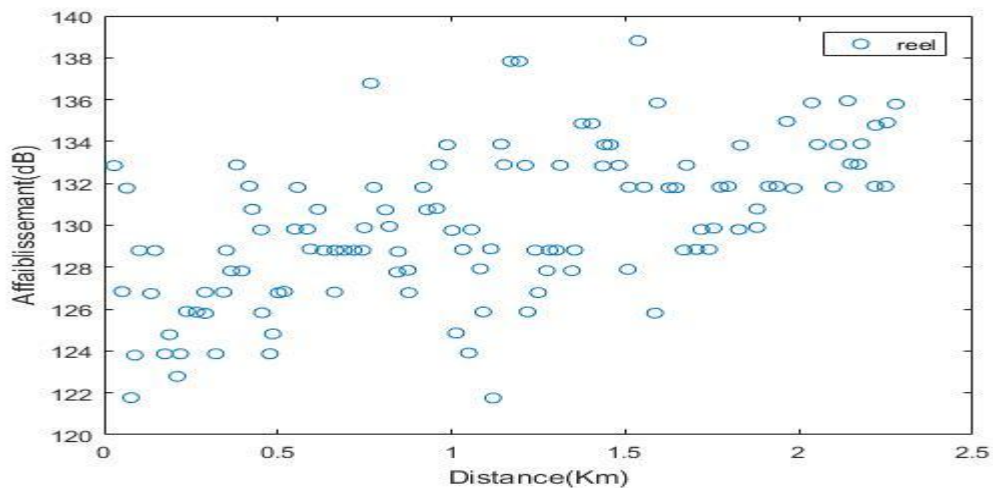


Fig III.3 : les mesures réelles Hb=35 dans un milieu banlieue

Dans ce qui suit, nous allons comparer nos résultats de la simulation avec les mesures réelles. Nous avons choisi d'expérimenter trois types de noyau pour tirer celui qui donne de meilleurs résultats.

- Noyau linéaire : $k(x_i, y_i) = x_i^T y_i$
- Noyau gaussien : $K(x, y) = \exp\left(\frac{-\|x-y\|^2}{2\sigma^2}\right)$
- Noyau RBF(radial basis function) : $K(x, y) = \exp(-\delta \|x_i - y_i\|)$, $\delta > 0$

δ et σ sont des paramètres noyau.

A fin les figures III.4 présentent la comparaison entre le résultat de la simulation (md1) de notre modèle avec les trois noyaux du kernel et mesure réel pour Hb=25

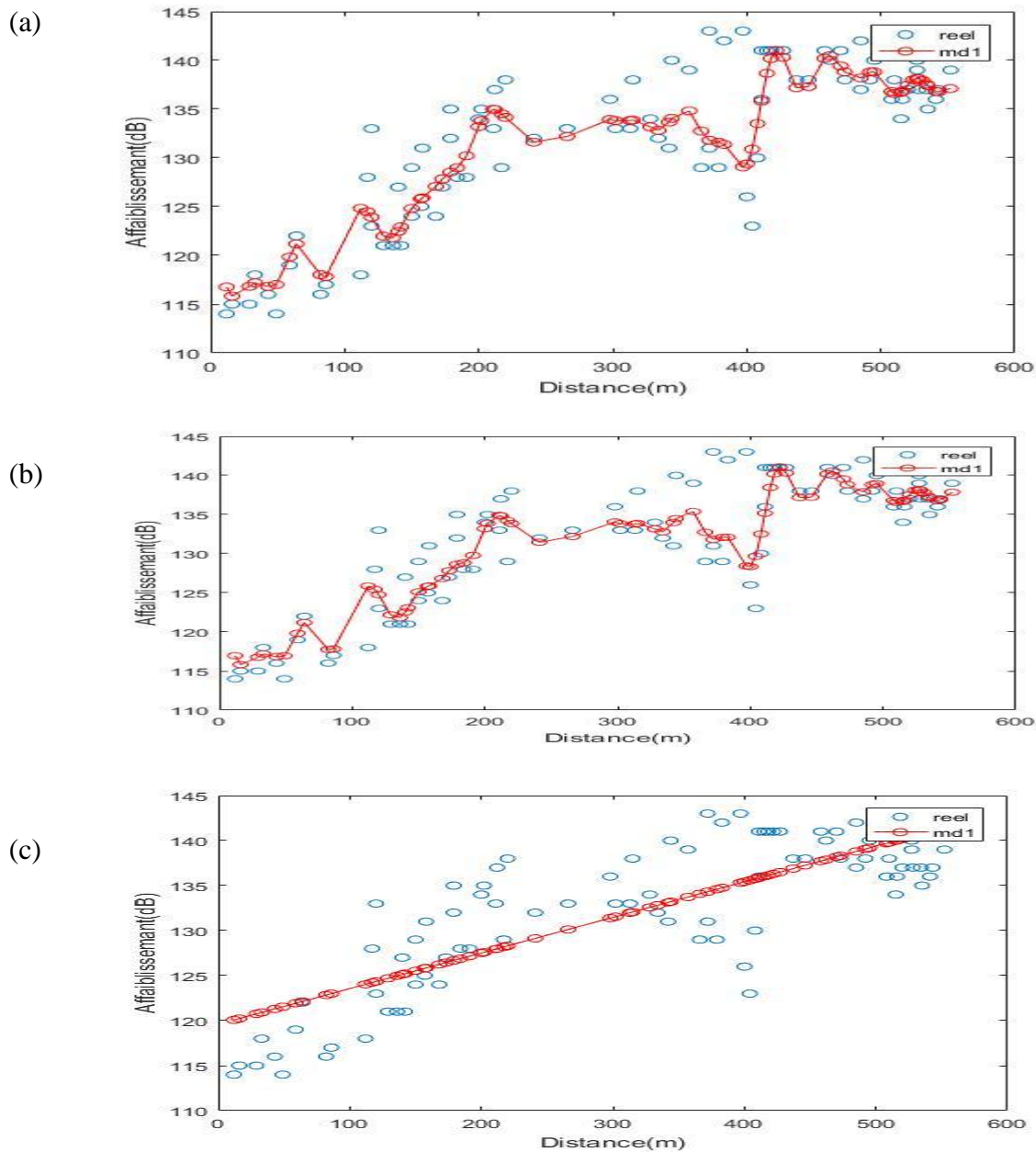


Fig III.4: Evolution d'affaiblissement en fonction de la distance pour $H_b=25m$ avec les noyaux suivantes : a) kernel Gaussien, b) kernel Rbf et c) kernel linéaire

Dans le cas $H_b=25m$, (milieu rural), nous avons remarqué que la fonction du kernel gaussien est meilleure puisque son erreur du test est faible par rapport aux autres.

Types du kernel	Erreur du test (MSEtest)	Le temps d'exécution(s)
Linéaire	8.0669	0.269579
Gaussien	5.551	0.227662

Rbf	5.6506	0.244321
------------	--------	----------

Tableau III.2: Comparaison entre les fonctions kernel

Les figures III.5 présentent les résultats trouvés de notre modèle (md1) et comparés avec les mesures réelles pour Hb=35m dans un milieu banlieue.

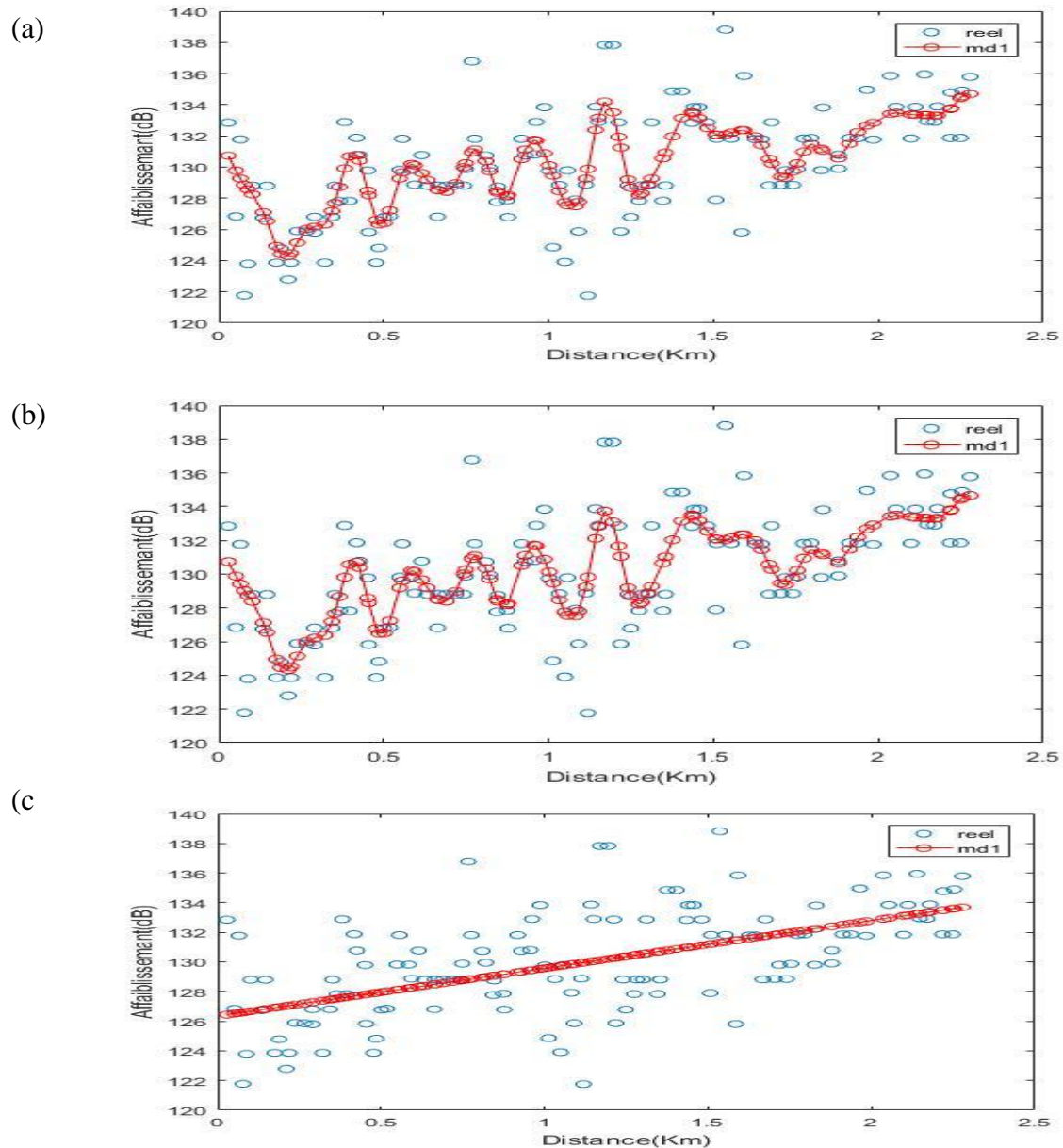


Fig III.5: Evolution d'affaiblissement en fonction de la distance pour H=35m

a) Kernel gaussien, b) rbf et c) linéaire

Le tableau suivant explique les caractéristiques des figures III.5 avec montre le meilleur noyau du kernel.

Noyau du kernel	Erreur du test (MSEtest)	Le temps d'exécution(s)
Lineaire	8.0660	0.275
Gaussien	5.630	0.248
Rbf	5.629	0.243

Le tableau III.3 : Comparaison entre les fonctions kernel

Dans toutes les étapes, on a remarqué que en augmentant notre base donnée, qui permet d'améliorer l'estimation des pertes.

Avec les resultats démontrés dans les deux figures precedentes ,on voit clairement,que le modele etudie est tres performant dans les deux milieu rural et banlieue.

Pou valider cette performances ,on va comparer, dans ce qui suit, nos résultats avec les résultats de deux modèles empirique COST231- hata et hata.

III. Comparaison entre les resultats obtenus par notre modèle et ceux obtenus par les modèles empiriques.

Nous allons comparer nos résultats obtenus pour les deux milieux différents (Hb=25 pour le milieu rural et Hb=35 pour le milieu banlieue) avec les résultats obtenus par le modèle empirique COST231-hata (équation II.12) et le modèle hata (équation II.3) sans oublier le type d'environnement, et ces modèles ont notre base de données (d, f, Hb et Hm).

Les Figure (III.6) et III.7 présentent une comparaison entre notre modèle et les modèles empiriques pour Hb=25 dans un milieu rural, pour Hb=35m dans un milieu banlieue avec pour Hm=1.5m.

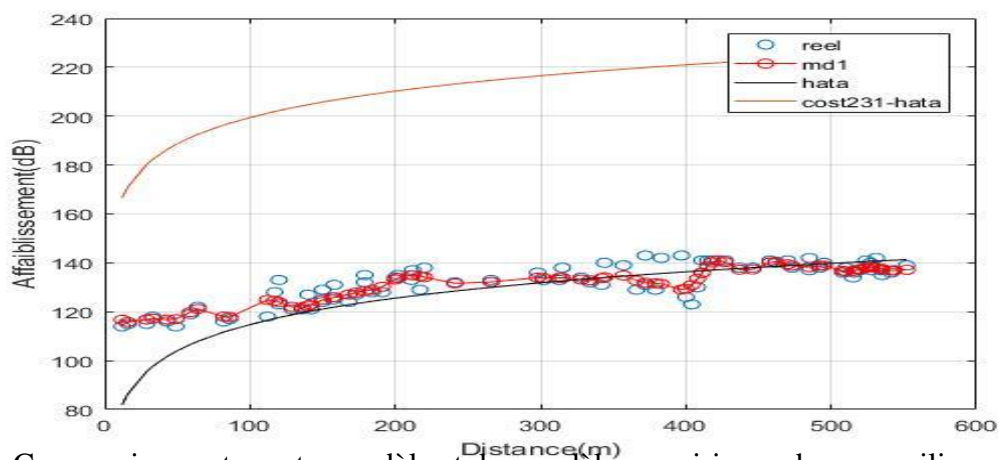


Fig III.6 : Comparaison entre notre modèle et les modèles empiriques dans un milieu rural.

La figure (III.6) montre que notre modèle a une meilleure estimation de la perte par rapport le modèle COST 231-hata et le modèle hata. Ce dernier est le plus performant que celui de COST 231-hata.

Le tableau III.3, résume l'erreur pour chaque courbe

Hm=1.5m Hb(m)	Hata	COST 231-hata	md1
	RMSE (dB)	RMSE (dB)	RMSE (dB)
24	8.144	81.664	4.785
35	18.859	13.974	2.168

Tableau III. 4 : RMSE du chaque modèle dans les deux milieux (rural, banlieue)

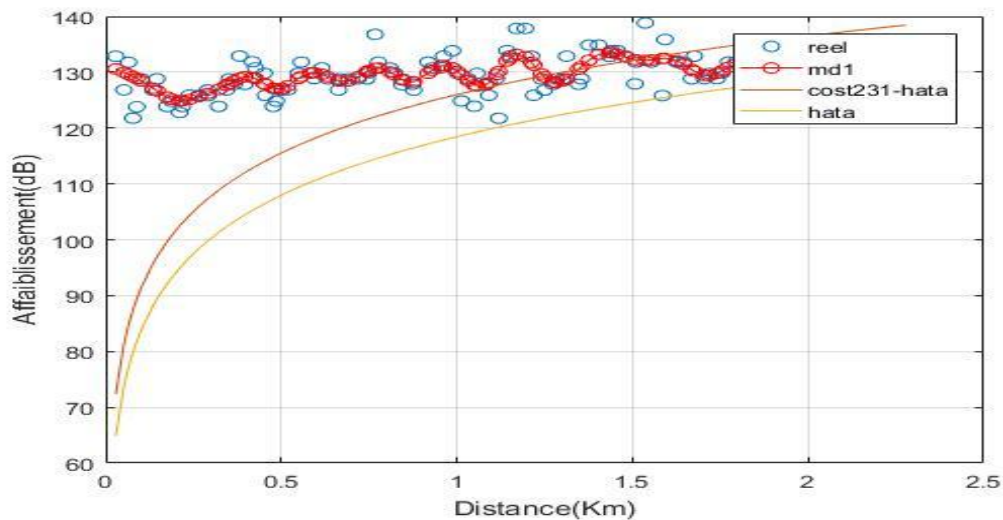


Fig III.7: Comparaison entre notre modèle et les deux modèles empiriques dans un milieu banlieue.

La figure III.7 donne la même performance que la figure III.6, mais le modèle COST 231-hata est plus performant que celui du hata.

En se basant sur les résultats présentés dans les figures III.6et III.7 et le tableau III.4, on a pu démontrer que le modèle md1 est le plus précis que les deux modèles empiriques.

I. Conclusion

On conclure que le modèle du SVR (support vector regression) donne les meilleurs résultats de la simulation par rapport les modèles empiriques, sans avoir besoin des formules mathématiques.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire présente une nouvelle méthode utilisée pour estimer la perte du signal dans un réseau GSM. L'étape de la simulation était effectuée à l'aide du matlab.

Dans l'étape de simulation, on a remarqué que notre modèle donne les meilleurs résultats par rapport aux deux modèles empiriques (cost231-hata et Hata) dans tous milieux.

Dans un milieu rural, on a trouvé que le modèle Hata est meilleur par rapport au modèle Cost231-hata.

Le même résultat pour le milieu banlieue mais le modèle Cost231-Hata montre un milieu plus performant que celui du modèle Hata.

Notre objectif principal était d'estimer les pertes d'un signal avec la méthode SVM. Les résultats obtenus prouvent que cet objectif est atteint avec succès.

Comme perspective, on peut utiliser d'autres modèles d'apprentissage. Combinés avec des méthodes d'optimisation, on peut avoir des résultats meilleurs.

Sites internet :

[4] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique-th13/ele-tromagnetisme-propagation-42277210/propagation-des-ondes-radioelectriques-des-reseaux-terrestres-e1162/>

Autres bibliographies

[1] L.Hacini, «Schémas hybrides d'acquisition adaptative de codes PN pour des communications DS-CDMA dans un canal Rayleigh », thèse de doctorat, faculté des sciences l'ingénieur, université Mentour Constantine, juin2012.

[2] C. Turck, C. Weber, D.Thôme, « *Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radiomobiles : L'apport du Système d'Information Géographique ArcInfo 8* », In Actes de la Conférence SIG2002, ESRI France, Paris,02-03 octobre 2002.

[5] M. Christophe, « SVM support vector machine : une méthode classification binaire par apprentissage », Aout 2004.

[6] M.S.laurenceau, M.armel brumo « Global system for mobile communication »rapport d'expression technique, département génie électrique et informatique industrielle, institut universitaire de tours

[7] k.AL Agha,G.pujolle,G.vivier « réseaux de mobiles et réseaux sans fils » eyrolles,2001

[8] M. Hakim, « *Modèles et techniques d'optimisation dynamique pour les réseaux radio mobiles* », Thèse de doctorat, N° d'ordre 590 Année 2003.

[9] D. Imen, « *Planification radio d'une solution de couverture indoor* », Rapport de projet de fin d'étude, Tunis, 2004/2005.

[10] P.Brisson ,P,Kropf « Global system for mobile communication » université de Montréal

[11] G. Barue « télécommunication et infrastructure » France ,2003.

[12] G.Massaoud « Minimisation de la probabilité d'échec du handover dans les réseaux cellulaires mobiles » thèse doctorat, Faculté des Sciences de l'ingénieur ,université de batna,juin2009.

- [13] P. Chambreuil, « *Evaluation multicritère des réseaux cellulaires radio-mobiles* », Rapport Interne, FTR&D, novembre 2000.
- [14] M.Chaker, « Recherche sur la résolution des problèmes complexes d'affectation de fréquences Basses bandes pour les opérateurs de la téléphonie mobile », thèse doctorat, faculté des sciences de l'ingénieur, Université Mentouri de Constantine, Mai 2011.
- [15] C. Turck, C. Weber, D.Thôme, « *Prédiction de couverture de champ radioélectrique pour les réseaux radiomobiles : L'apport de l'Analyse Spatiale et des Systèmes d'Information Géographique. Application en Milieu Urbain* », In Actes de la Conférence « Les quatrième journées d'études sur la Propagation électromagnétique dans l'atmosphère du décimétrique à l'angström », Rennes, France, 13-15 mars 2002, pp.159-166.
- [16] Electronic Communication Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administration (CEPT), « *The analysis of the coexistence of FWA cells in the 3.4 - 3.8 GHz band* », tech. rep., ECC Report 33, May 2003.
- [17] X. Lagrange « *Les Réseaux Radiomobiles* », Hermes Science publications, 2000
- [18] S. R. Saunders, « *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems* ». John Wiley & Sons Ltd, 1999.
- [19] J. Bach Andersen, « *Issues and challenges of propagation studies for mobile networks* », in Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Conference PIMRC'94, The Hague, the Netherlands, September 1994, pp.1285-1291.
- [20] W. C. Y. Lee, « *Mobile Communications Design Fundamentals* », John Wiley, 1993.
- [21] M. Hata, « Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services », IEEE Trans. Veh. Technol., vol. vt-29, no. 3, August 1980, pp. 317-325.
- [22] COST 231, « *Evolution of land mobile radio (including personal) communications* », Final report « Information, Technologies and Sciences », European Commission. 1999.
- [23] J. J. Egli, « *Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain* », Proc. IRE, 45, No. 10, 1957, pp. 1383–1391.
- [24] G.Y. Delisle, et al., « Propagation loss prediction: a comparative study to the mobile

radio channel», IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-34, no. 2, May 1985, pp. 86–96.

[25] V. Erceg, K.V.S. Hari, et al., «Channel models for fixed wireless applications», tech. rep., IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, January 2001.

[26] V. Erceg, L. J. Greenstein, et al., «An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments», IEEE Journal on Selected Areas of Communications, vol. 7, July 1999, pp. 1205–1211.

[27] T. S. Rappaport, “Wireless communications: Principle and practice”, Prentice Hall PTR, UpperSaddle River, NJ, 2002.

[28] C. Weber, «Images satellitaires et milieu urbain», Ed. Hermès, Paris, 2002.

[29] T. S. Rappaport, «*Wireless Communications. Principles and practice*», Prentice Hall PTR, 1996.

[30] R. Gahleitner, «*Radio Wave Propagation In and Into Urban Buildings*», Ph.D. Thesis, Technical University of Vienna, 1994.

Abstract: the mobile networks Planning is essential for a good yield of a BTS, taking into account the topography of the region's population density.....In general the extent of losses is after the construction of the BTS, therefore a prediction method is indispensable for estimated losses prior to completion of the antenna, to have the time of performing the desired changes.

In this work, we will estimate the losses between the BTS and mobile station using SVM method.

Keywords: GSM, SVM

Résumé La planification dans les réseaux mobile est essentielle pour avoir un bon rendement d'une BTS, en prenant compte de la topographie de la région la densité de population.... . En général les mesure des pertes se fait après la construction de la BTS, pour cette raison une méthode de prédiction est indispensable pour estimé les pertes avant la réalisation de l'antenne, pour avoir le temps d'effectué les changements voulu.

Dans ce travail, on va estimer les pertes entre la BTS et la mobile station avec la méthode SVM.

Mots clé: GSM, SVM