



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغزور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Télécommunications Avancées

THEME

**Modélisation des pertes des réseaux
mobiles par les techniques
d'intelligence artificielle**

Réalisé par : - Moamen ALNATOOR
- Salaheddine GHEZALI

Dirigé par : Dr. Sami BEDRA

Promotion 2016/2017

Remerciements

Avant tout. Je tiens à remercier le ALLAH, qui m'a donné le courage et la patience pour arriver au bout de mes études.

A travers ce modeste travail, je remercie mon encadreur Dr : Sami BEDRA, pour leur encadrement pendant celui-ci.

Pour l'intéressante documentation qu'ils ont mise à ma disposition, pour leurs conseils précieux durant cette étude et réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi à monsieur le président et les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

J'exprime également ma gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation.

Sans omettre bien sûr de remercier profondément à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

Dédicaces

A mes parents.

A tout ma famille.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis.

Je dédie ce
mémoire.

Moamen

Dédicaces

A mes parents.

A tout ma famille.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis.

Je dédie ce
mémoire.

Salaheddine

Table des matières

Table des matières

Introduction Générale	2
------------------------------------	----------

Chapitre I Généralités sur les réseaux mobiles

I.1. Introduction	8
I.2. Les types de réseaux mobile	8
I.3. Le réseau GSM.....	9
I.3.1. Définition.....	9
I.3.2. Présentation de l'infrastructure d'un réseau GSM.....	9
I.3.3. Architecture matérielle du sous-système BSS.....	10
I.3.4. Fonctions du BSC.....	12
I.3.5. Architecture matérielle du sous-système NSS	12
I.3.6. Architecture matérielle du sous-système OSS	15
I.3.7. Les avantages et les inconvénients d'un réseau GSM	15
I.4. Le réseau GPRS (General Packet Radio Service).....	16
I.4.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau.....	16
I.4.2. Les avantages et les inconvénients d'un réseau GPRS	16
I.5. La 3G.....	18
I.6. Le réseau UMTS (Universal Mobile Telecommunications VI.System).....	18

I.6.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau.....	18
I.6.2. Les équipements d'un réseau UMTS.....	19
I.7. Système cellulaire	21
I.8. Conclusion.....	24
I.9. Références bibliographiques	25

Chapitre II

Les modèles de propagation des ondes radio

II.1. Introduction.....	27
II.2. Classification des modèles de prédiction.....	27
II.3. Modèles de prédiction.....	28
II.3.1. Modèles empiriques	28
II.3.1.1. <i>Modèle d'Okumara-hata</i>	28
II.3.1.2. <i>Modèle d'Elgi</i>	31
II.3.1.3. <i>Modèle COST 231-Hata</i>	31
II.3.1.4. <i>Modèle d'affaiblissement Long distance</i>	33
II.3.1.5. <i>Modèle de SEIDEL</i>	34
II.3.2. Les modèles semi-empiriques	34
II.3.2.1. <i>Modèle de Walfisch-Ikegami</i>	36
II.3.2.2. <i>Problèmes avec les modèles empiriques et semi empiriques</i>	39

II.3.3. Modèles déterministes.....	39
II.4. Conclusion	40
II.5. Références bibliographiques.....	40

Chapitre III

Réseaux de neurones artificiels

III.1. Introduction	43
III.2. Historique	43
III.3. Neurone biologique et Neurone formel.....	44
III.4. Fonction d'activation.....	46
III.5. Architecture des réseaux de neurones	46
III.5.1. Les réseaux de neurones non bouclés (Statistique)	48
<i>III.5.1.a. Réseau monocouche</i>	48
<i>III.5.1.b. Réseaux multicouche</i>	49
III.5.2. Les réseaux de neurones bouclés (Dynamiques).....	49
<i>III.5.2.a. Réseaux à connexion récurrents</i>	50
<i>III.5.2.b. Réseau à connexion complète</i>	50
III.6. L'apprentissage des réseaux de neurones.....	51
III.6.1. Apprentissage non supervisée.....	51
III.6.2. Apprentissage supervisée.....	51
III.7. Les réseaux MLP et RBF	52
III.7.1. Le perceptron multi couche MLP	52

<i>III.7.1.a. Architecture du MLP</i>	52
<i>III.7.1.b. Apprentissage du MLP</i>	53
III.7.2. Le réseau à fonction de base radiale RBF.....	54
<i>III.7.2.a. Architecture du RBF</i>	55
<i>III.7.2.b. Apprentissage du RBF</i>	56
III.8. Conclusion.....	56
III.9. Références bibliographiques	56

Chapitre IV

Résultats numériques et discussions

IV.1. Introduction	59
VI.2. Description générale du système conçu	59
IV.3. Mise en forme de la base de données (Apprentissage et Validation).....	60
IV.4. Procédure de collecte des données et l'analyse d'affaiblissement.....	61
IV.5. Apprentissage du réseau MLP.....	61
IV.6. Optimisation de l'architecture.....	63
IV.6.1. Architecture N°1 (Milieu Suburbain)	64
IV.6.2 Architecture N°2 (Milieu Rural).....	67
IV.7. Application des modèles optimisés (Milieu Suburbain-Rural)	70

IV.8. Comparaison des résultats obtenus par notre modèle avec ceux obtenus par deux modèles empiriques	73
IV.9. Conclusion.....	76
Conclusion Générale	78

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans nos jours, le besoin à plus de mobilité et à pouvoir partager ou échanger de l'information à tout moment, en utilisant des dispositifs mobiles (téléphones portables, PC portables) ; Par nature, l'être humain est social, il ne peut pas vivre seul, il cherche toujours à entretenir des relations avec autrui, à communiquer. Un utilisateur mobile est défini théoriquement comme un utilisateur capable de communiquer à l'extérieur de son réseau d'abonnement tout en conservant une même adresse.

La communication est l'action de communiquer, d'établir une relation avec autrui, de transmettre quelque chose à quelqu'un. Un réseau de communication peut être défini comme l'ensemble des ressources matériels (modem, routeur, commutateur, câblage, cartes, ...) et logiciels (fonctions, procédures, protocoles, systèmes d'exploitation, ...) associés à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités (ordinateurs, individus, périphériques, processus, ...).

Un réseau mobile est un système de réseau téléphonique qui fonctionne grâce à des fréquences formant un spectre hertzien. Ce réseau permet à des millions d'utilisateurs de téléphoner en même temps tout en étant en mouvement, sans aucune contrainte d'immobilité.

Les réseaux mobiles permettent aux téléphones mobiles, Smartphones, tablettes, ordinateurs portables et autres objets connectés d'établir différents types de communication pour : Téléphoner ; Envoyer des SMS, des MMS ; Traiter des mails et leurs pièces jointes ; Naviguer sur Internet...

Un Système de communication ou réseau, désigne tout ensemble d'éléments capables de véhiculer de l'information d'une source vers une destination. Le téléphone terrestre est la meilleure illustration. L'année 1992 était l'année de la commercialisation des premiers systèmes GSM (Global System For Mobile communication). Cette norme est en concurrence avec d'autres normes de radiotéléphonie numérique, en général, originaire des Etats Unis (IS-95 : Intérim Standard-95) ou de Japon (PDC: Personale Digital Cellular).

Le GSM ne permet que les communications radios. Le domaine de la communication est un domaine qui n'a jamais cessé d'évoluer.

A l'arrivée du GPRS (General Packet Radio Service) nommé la génération 2.5 du mobile, un énorme développement de la communication est apporté grâce à l'intégration de l'internet sur les mobiles.

A son implantation, l'UMTS (Universal Mobile Terrestrial System) appelé, la 3ème génération du mobile, permet la communication entre réseaux de technologies différentes, ouvrant ainsi la porte à la 4ème génération du mobile (4G) pour la souveraineté des réseaux de communication avec un débit sans précédent allant de 1Mbps jusqu'à les 2Gbps.

Durant l'évolution des réseaux cellulaires, plusieurs systèmes ont été développés sans être standardisés, ce qui cause beaucoup de problèmes liés surtout à la compatibilité électromagnétique (répartitions des fréquences). En tant que solution, le GSM (Global System for Mobile communication) est la première norme de téléphonie cellulaire de seconde génération avoir été standardisé et elle constitue désormais la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles.

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.

L'étude des bilans de telles liaisons nécessite de prendre en compte les différents affaiblissements (affaiblissement en espace libre, affaiblissement dus aux différents effets de l'environnement: hydrométéores, bâtiments, végétation, etc.) et les différents renforcements du signal entre l'émetteur et le récepteur (gains d'antennes), où différents mécanismes de propagation entrent en jeu tels que la réflexion, la réfraction, la transmission, la diffusion, etc.

Avec la croissance rapide et la nécessité de la qualité de débit et de la haute capacité des réseaux cellulaires, la modélisation de plus en plus précise du canal de propagation dans des

conditions d'environnement, de gammes de fréquence, de largeurs de bande..., toujours très variés, est devenue extrêmement importante.

Cette modélisation permet d'améliorer au mieux les interfaces radio en termes de performance, et d'optimiser les réseaux lors de leur déploiement (détermination des zones de couverture (choix des sites, allocation des fréquences, définition des puissances, gains d'antenne, etc.) et de déterminer les perturbations inévitables).

Les modèles sont de différents types : on distingue les modèles déterministes, empiriques et semi-empiriques. Les modèles déterministes s'appuient sur les lois fondamentales de la physique. Ils servent de modèles de référence. Le temps de calcul est par contre relativement élevé [1]. Les modèles empiriques sont basés sur l'analyse d'un grand nombre de mesures expérimentales en fonction de différents paramètres tels que la fréquence, la distance et la hauteur des antennes. Ils sont robustes, rapides et ne nécessitent pas de bases de données géographiques [1]. Mais une autre approche de modéliser un système s'avère très intéressante : les réseaux de neurones artificiels. Ces derniers tirent leur puissance de modélisation de leur capacité à capter les dépendances de haut niveau, c.à.d. qui impliquent plusieurs variables à la fois [2].

Au cours de la dernière décennie, les algorithmes d'apprentissage statistique ont suscité beaucoup d'intérêt dans le milieu académique et au sein d'entreprises de diverses industries. Ils ont été implantés avec succès pour l'accomplissement de tâches prédictives reliées à des processus statistiques [3].

Aujourd'hui, on retrouve les réseaux de neurones fortement ancrés dans plusieurs industries: dans les milieux financiers pour la prédiction des fluctuations de marché, en pharmaceutique (analyser molécules organiques), dans le domaine bancaire pour la détection de fraudes sur les cartes de crédit et le calcul de cotes de crédit, en aéronautique pour la programmation de pilotes automatiques... etc. [3].

Les applications sont nombreuses et partagent toutes un point commun essentiel à l'utilité des réseaux de neurones: les processus pour lesquels on désire émettre des prédictions comportent de nombreuses variables explicatives et surtout, il existe possiblement des dépendances non-linéaires entre ces variables qui, si elles sont découvertes et exploitées, peuvent servir à l'amélioration de la prédiction du processus. L'avantage fondamental des

réseaux de neurones par rapport aux modèles statistiques traditionnels réside dans le fait qu'ils permettent d'automatiser la découverte des dépendances les plus importantes du point de vue de la prédiction du processus. L'intérêt de ces réseaux est surtout leur capacité à réagir automatiquement à un environnement complexe tel les systèmes de télécommunication. Nous allons prendre comme exemple d'illustration, dans notre travail, l'estimation des pertes du signal dans un canal physique.

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 (Le manque de possibilités pour l'étude du reste des systèmes de communication). On procédera ensuite à la simulation de notre modèle de prédiction pour calculer l'affaiblissement. Enfin une étude comparative entre le modèle proposé et un autre modèle empirique sera effectuée, afin de valider l'applicabilité de notre modèle.

Ce travail est scindé en quatre chapitres, conclusion générale et références bibliographiques :

Le premier chapitre se focalise sur un rappel des réseaux de télécommunication GSM, l'architecture de ce type de réseau, la planification, et la prédiction de la couverture.

Le deuxième chapitre porte sur la présentation de quelques modèles de prédiction pour les utiliser plus tard dans la simulation.

Une introduction générale des réseaux de neurones, leur définition, la théorie et les différents types de réseaux, les techniques d'apprentissage, sont représentés dans le chapitre trois.

Dans le dernier chapitre, une interprétation des résultats trouvés et comparaison avec les modèles empiriques.

Une conclusion générale permet de situer les points forts de notre étude.

Références bibliographiques

- [1] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique/th13/electromagnetisme-propagation-42277210/propagation-des-ondes-radioelectriques-des-reseaux-terrestres-e1162/>.
- [2] G. Dreyfus, J-M. Martinez, M. Samuelides, M. B. Gordon, F. Badran, S. Thiria and L. Hérault, “Réseaux de neurones: Méthodologie et applications”, Deuxième tirage 2002.
- [3] www.apstat.com/documents/nnet.pdf.

Chapitre I

Généralités sur les réseaux mobiles

I.1. Introduction	8
I.2. Les types de réseaux mobile	8
I.3. Le réseau GSM.....	9
I.3.1. Définition.....	9
I.3.2. Présentation de l'infrastructure d'un réseau GSM.....	9
I.3.3. Architecture matérielle du sous-système BSS.....	10
I.3.4. Fonctions du BSC.....	12
I.3.5. Architecture matérielle du sous-système NSS	12
I.3.6. Architecture matérielle du sous-système OSS	15
I.3.7. Les avantages et les inconvénients d'un réseau GSM	15
I.4. Le réseau GPRS (General Packet Radio Service).....	16
I.4.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau.....	16
I.4.2. Les avantages et les inconvénients d'un réseau GPRS	16
I.5. La 3G.....	18
I.6. Le réseau UMTS (Universal Mobile Telecommunications VI.System).....	18
I.6.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau.....	18
I.6.2. Les équipements d'un réseau UMTS.....	19
I.7. Système cellulaire	21
I.8. Conclusion.....	24
I.9. Références bibliographiques	25

I.1. Introduction

Toute entreprise possède aujourd'hui un ou plusieurs systèmes de télécommunication qui véhiculent les différentes informations nécessaires à sa vie et à son développement. Ces systèmes sont organisés en réseaux, qu'on peut définir comme des ensembles d'équipements et de supports de transmission dont une des fonctions est de permettre le transfert d'informations. Nous sommes entrés dans l'ère de la communication où le volume et la diversité de ces informations se font de plus en plus grands.

Dans les années 80, cette diversité conduisait à l'adoption de solutions de communication distinctes et différentes suivant la nature des informations à transmettre : réseau téléphonique pour la transmission de la voix, réseau spécialisé dans la transmission de données sur longue distance comme Transpac en France ou sur courte distance comme les réseaux locaux d'entreprise, réseau hertzien ou câblé pour la télévision [1].

Aujourd'hui les progrès de l'informatique rendent possible le traitement d'informations de natures différentes sur le même ordinateur : séquences vidéos et sonores, présentation de documents. C'est le domaine du multimédia.

De plus, les progrès des techniques de transmission permettent de transférer sur un même support (une fibre optique par exemple) ces informations variées. Les frontières entre les différents réseaux tendent à s'estomper. Par exemple, le réseau mondial Internet, initialement destiné exclusivement à la transmission de données, transmet des communications téléphoniques sur. Les solutions à un besoin de communication sont multiples et les progrès techniques rendent foisonnant le domaine des réseaux [2].

Dans ce chapitre le concept cellulaire, l'architecture générale et toutes c'est qu'englobe les notions importantes d'un réseau GSM ainsi que les problèmes qui confronte ce dernier au niveau du déploiement et planification des infrastructures assurent un bon rapport coût/qualité ont été explorés.

I.2. Les types de réseaux mobile

Un réseau de communication peut être défini comme l'ensemble des ressources matériels et logiciels liées à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités. Suivant leur organisation, ou architecture, les distances, les vitesses de transmission et la

nature des informations transmises, les réseaux font l'objet d'un certain nombre de spécifications et de normes [2].

I.3. Le réseau GSM

I.3.1. Définition

Egalement appelée GSM pour les communications vocales et GPRS ou EDGE pour le transport de données, le réseau 2G (pour 2ème génération de réseau mobile) est à l'origine du lancement de l'internet mobile en permettant le transfert de données par paquets. La 2G permet un débit maximum théorique de 384 Kbit/s [3].

I.3.2. Présentation de l'infrastructure d'un réseau GSM

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC – réseau fixe).

Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.

Le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

Le sous-système radio – BSS Base Station Sub-system assure et gère les transmissions radios. Le sous-système d'acheminement – NSS Network Sub System (on parle aussi de SMSS Switching and Management Sub-System pour parler du sous-système d'acheminement). Le NSS comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour appels et gestion de la mobilité. Le sous-système d'exploitation et de maintenance – OSS Operation Sub-System) qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. La mise en place d'un réseau GSM (en mode circuit) va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant l'accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le réseau fixe RTC existant [1].

I.3.3. Architecture matérielle du sous-système BSS

Le BSS comprend les BTS qui sont des émetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence et les BSC qui contrôlent un ensemble de BTS et permettent une première concentration des circuits.

I.3.3.1. La station de base BTS

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX. La BTS a pour fonction la gestion des transmissions radios (modulation, démodulation, égalisation codage et correcteur d'erreurs). L'exploitation des données recueillies par la BTS est réalisée par le BSC. La BTS gère la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure réseau de l'opérateur.

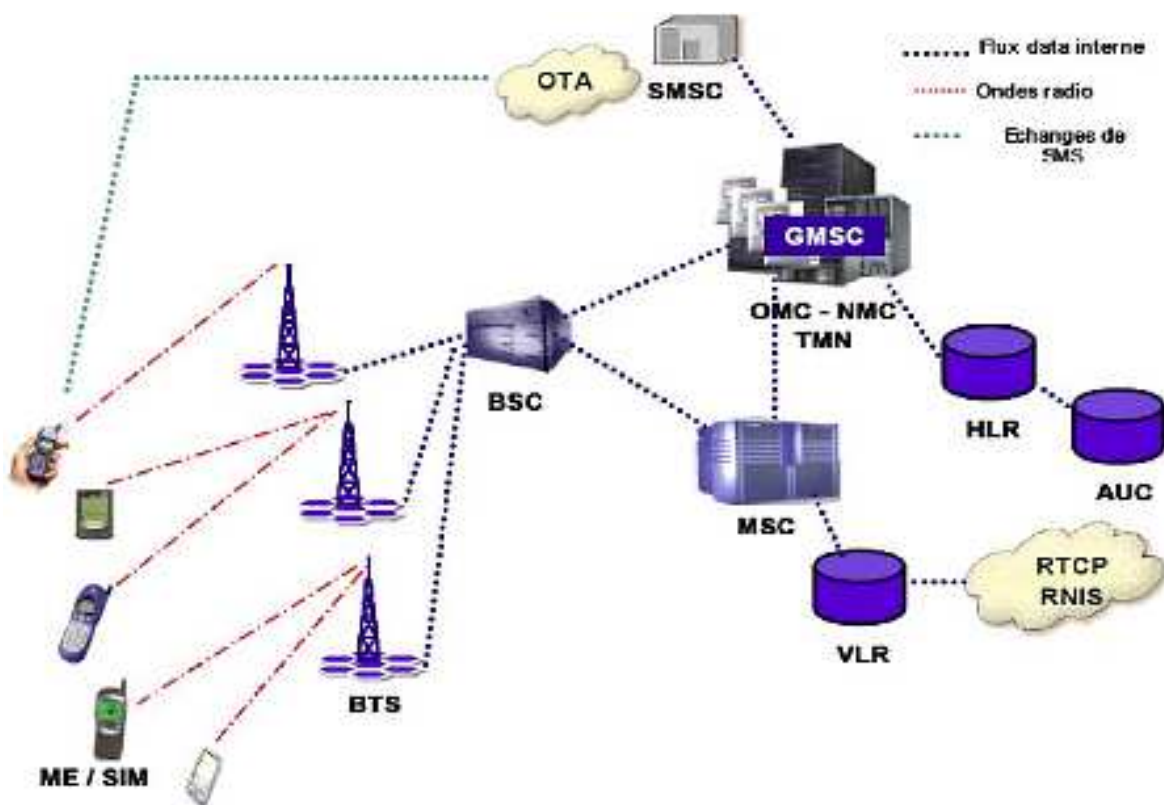


Figure I.1. Architecture d'un réseau GSM.

La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses (limite technique rarement atteinte pour des raisons de fiabilité). Ainsi une BTS peut gérer au maximum une centaine de communications simultanées.

Il existe différents types de BTS proposés pour répondre aux différents besoins. Ces stations sont conçues par différents constructeurs qui respectent strictement la norme GSM de manière à ce que le matériel de différents constructeurs puisse être compatible. Les BTS sont de puissance variable de manière à éviter les interférences entre deux cellules, il est important de réguler la puissance du portable de manière à éviter ces mêmes interférences [2].

1.3.3.2. Les BTS rayonnantes

Elles sont idéales pour couvrir les sites où la densité d'abonnés est faible. Elles sont situées sur des points stratégiques (sommets, pylônes...). Ces stations émettent dans toutes les directions: ce sont les stations les plus visibles. Elles couvrent des macros cellules. On en trouve en abondance au bord des autoroutes. Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones de forte densité car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sur une grande distance (jusqu'à 20 Kms) [3].

1.3.3.3. Les BTS ciblés

Elles sont le plus souvent placées dans des zones à plus forte densité d'abonnés que les BTS rayonnantes. On les retrouve en ville par exemple. Elles sont de forme relativement allongée et permettent d'émettre suivant un angle très précis: on peut grâce à cela réutiliser facilement le même canal dans une autre cellule à proximité [3].

1.3.3.4. Les micros BTS

Les micros BTS sont des stations de base qui présentent une puissance de transmission et une sensibilité faible par rapport aux BTS conventionnelles, ceci permet de mettre en place des micros cellules qui s'intègrent dans le réseau existant. Ces micros cellules ont comme caractéristique fondamentale une taille très réduite (un rayon de l'ordre de 400 m) et un faible coût d'installation (les antennes peuvent être installées en dessous du niveau de bâtiment). La multiplication de ces cellules permet une répartition plus efficace des

fréquences disponibles sur des zones très densément peuplées. Les micros BTS offrent aussi la possibilité d'utilisation à l'intérieur d'un bâtiment, par exemple dans des usines ou dans des aéroports [3].

I.3.4. Fonctions du BSC

Le BSC est l'organe intelligent du sous-système radio. Le contrôleur de stations de base gère une ou plusieurs stations et remplit différentes fonctions de communication et d'exploitation. Le BSC est une banque de données pour les versions logicielles et les données de configuration téléchargées par l'opérateur sur les BTS. Le BSC pilote enfin les transferts entre deux cellules ; il avise d'une part la nouvelle BTS qui va prendre en charge l'abonné « mobile » tout en informant le back end system, ici le HLR de la nouvelle localisation de l'abonné. Les BTS sont « contactés » par le centre de maintenance et d'exploitation par le biais des BSC qui joue ce rôle de relais. Les BTS sont connectés à leur contrôleur BSC (Figure I. 1) :

- soit en étoile (1 MIC par BTS).
- soit en chaîne (1 MIC est partagé par plusieurs BTS).
- soit en boucle (liaison en chaîne fermée permettant la redondance : une liaison MIC coupée n'isole pas de BTS).

I.3.5. Architecture matérielle du sous-système NSS

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes: chiffrement authentification ou roaming.

Le rôle principal de ce sous-système est de gérer les communications entre les abonnés et les autres usagers qui peuvent être d'autres abonnés, des usagers sur le réseau RNIS ou des usagers de réseaux téléphoniques fixes [4].

Le NSS est constitué de:

- Mobile Switching Center (MSC)
- Home Location Register (HLR) / Authentication Center (AuC)
- Visitor Location Register (VLR)
- Equipment Identity Register (EIR) [4].

1.3.5.1. Fonctions du HLR

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d'exploitation. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs.

1.5.3.2. onctions du VLR

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques et est liée à un MSC. Il y en a donc plusieurs dans un réseau GSM. Elle contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle rentre en communication lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR et suivent l'abonné [5].

1.5.3.3. la différence entre HLR et VLR

HLR et VLR possèdent leur propre fonctionnalité dans l'architecture GSM. Il existe également une interface de communication entre HLR et VLR selon l'architecture GSM. Le nombre de communications se fait au sein des nœuds HLR et VLR pour partager leurs informations. Pour un exemple lorsqu'un abonné se déplace d'une zone VLR à une autre zone, ses emplacements sont mis à jour dans le VLR et les nouvelles informations VLR sont mises à jour dans le HLR. Mais si un abonné se déplace dans la même zone VLR, aucune interaction avec le HLR n'est nécessaire. HLR et VLR stockent les informations d'abonné selon l'architecture GSM pour fournir des services de communication mobile aux abonnés enregistrés dans le réseau. En général, HLR contient des informations sur tous les abonnés au sein d'un réseau alors que VLR contient des informations plus dynamiques pertinentes pour les abonnés en itinérance dans la zone VLR. Cela peut varier en fonction de la conception de l'architecture du réseau, car dans la plupart des cas, les HLR 'agissent

comme des nœuds centralisés alors que les VLR sont principalement des nœuds géographiquement diversifiés. HLR agit comme un point de référence fixe à une station mobile donnée (abonné) alors que son VLR peut varier en fonction de la mobilité et de la conception du réseau [5].

1.5.3.4. Fonctions du MSC

Les MSC sont des commutateurs mobiles généralement associés aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau fixe public. Le MSC gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts. Le MSC peut également posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile. Un couple MSC / VLR gère généralement une centaine de milliers d'abonnés [6].

1.5.3.5. Fonctions du OMC et du NMC

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC (Operations and Maintenance Centre) et le NMC (Network and Management Centre). Cette organisation a été définie afin de permettre aux opérateurs télécoms de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs ...) et des fournisseurs.

Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un control centralisé. Les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC /MSC / VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau. Les différents OMC assurent une fonction de médiation [6].

1.5.3.6. Fonctions de l'AuC :

Est une base de données associée au HLR. L'abonné est identifié grâce à sa carte Sim qui transmet deux informations importantes. L'IMSI (International Mobile Subscriber Identity) qui est géré par le HLR (l'IMSI donne des informations sur le réseau d'origine et le pays entre autre) et le KI (clé de cryptage) qui est géré par la base de données AuC [7].

1.5.3.7. Fonctions de l'EIR :

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré.

Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile station Equipment Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Tous les opérateurs n'implémentent pas une telle base de données [6-7].

1.3.6. Architecture matérielle du sous-système OSS

1.3.6.1. Administration de réseau

L'administration du réseau comprend toutes les activités qui permettent de mémoriser et de contrôler les performances d'utilisation ressource de manière à offrir un niveau correcte de qualité aux usagers.

1.3.6.2. Le contrôle de configuration du système

Les mises à niveau de logiciels, les introductions de nouveaux équipements ou de nouvelles fonctionnalités ... Le système d'administration du réseau GSM est proche du concept TMN qui a pour objet de rationaliser l'organisation des opérations de communication et de maintenance et de définir les conditions techniques d'une supervision économique et efficace de la qualité de service [6].

1.3.7. Les avantages et les inconvénients d'un réseau GSM

On conclure que la mise en place d'un réseau GSM représente un investissement considérable. A l'heure actuelle les réseaux GSM ne cessent d'évoluer afin d'assurer une qualité de couverture toujours plus importante. La couverture du réseau est assurée par la multiplication des ensembles BTS – BSC. Nous verrons par la suite que le réseau GSM est une base pour la mise en place des réseaux GPRS et UMTS, même si pour le réseau UMTS

au-delà du coût élevé d'achat des licences, nous verrons que l'ensemble BTS – BSC – MSC devra être changé ou modifié à la base. Rappelons ici rapidement qu'une BTS couvre environ 500m de zone en ville et 10 km de zone en campagne.

I.4. Le réseau GPRS (General Packet Radio Service)

I.4.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Le réseau est donc constitué de routeurs IP. L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le nœud de service – le SGSN.
- Le nœud de passerelle – le GGSN.
- Une troisième entité – le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité.

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type « Data » à ses clients. Le GPRS est en mode paquets [8].

I.4.2. Les avantages et les inconvénients d'un réseau GPRS

Débit. Accès WAP (internet allégé). Facturation à la donnée. Connexion permanente possible. Support de plusieurs niveaux de qualité de service. Pas d'accès à l'internet global. Réseau GSM déjà saturé. Aucune application décisive pour le grand public.

On conclure que le service GPRS permet de considérer le réseau GSM comme un réseau à transmission de données par paquets avec un accès radio et des terminaux mobiles. Le réseau GPRS est compatible avec des protocoles IP et X.25. Des routeurs spécialisés SGSN et GGSN sont introduits sur le réseau.

La transmission par paquet sur la voie radio permet d'économiser la ressource radio : un terminal est susceptible de recevoir ou d'émettre des données à tout moment sans qu'un canal radio soit monopolisé en permanence comme c'est le cas en réseau GSM.

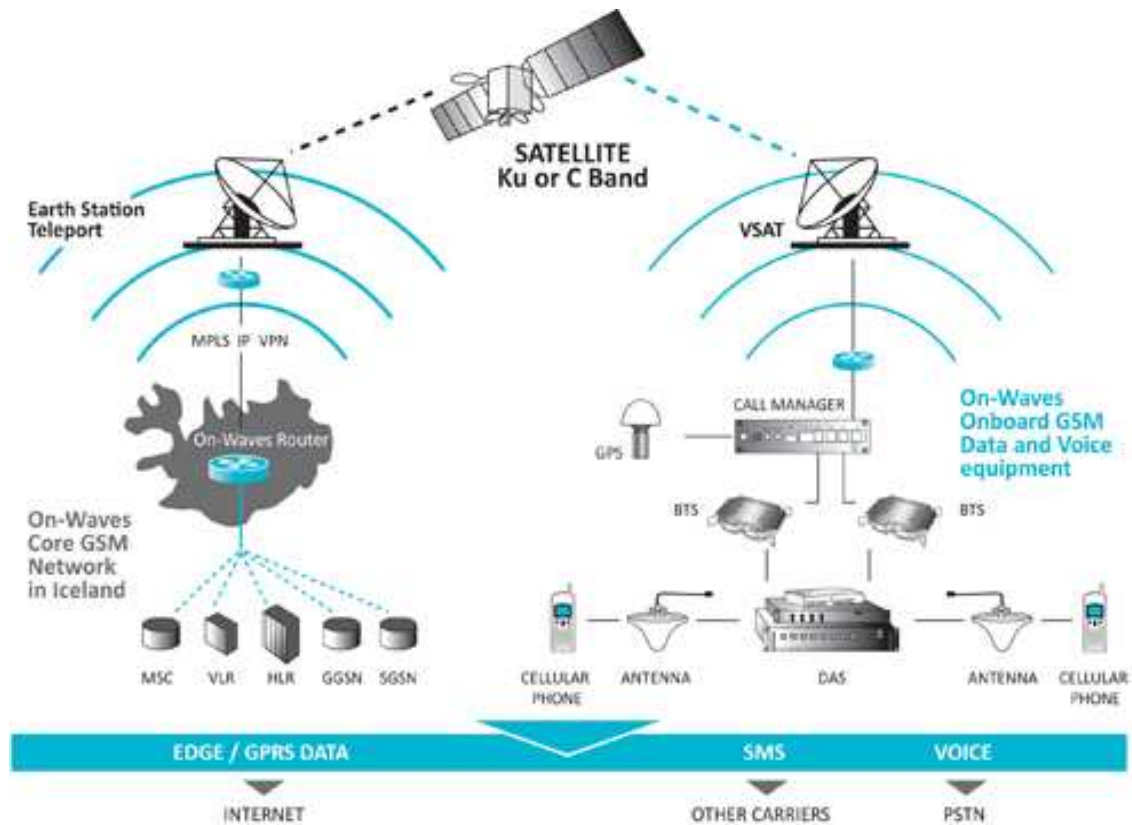


Figure I.2. Architecture d'un réseau GPRS.

Le débit maximal instantané annoncé pour le GPRS est de 171.2 Kbit/s même s'il est limité à 48 Kbit/s en mode descendant. (Limite actuelle des terminaux GPRS). La mise en place d'un réseau GPRS permet à un opérateur de proposer de nouveaux services de type Data avec un débit de données 5 à 10 fois supérieur au débit maximum théorique d'un réseau GSM. (Rappel débit max. en GSM : 9.6 Kbit/s). Le réseau GPRS constitue finalement une étape vers le réseau UMTS.

I.5. La 3G

Le réseau 3G (pour 3ème génération de réseau mobile) et ses évolutions (3G+, H+) offre un débit bien supérieur au réseau 2G. Le téléchargement des données est plus performant, la navigation sur internet plus confortable. Vous pouvez utiliser en toute fluidité vos applications, envoyer et recevoir des mails avec des pièces jointes ou encore visionner des vidéos en définition standard. La 3G et ses évolutions permettent un débit maximum théorique de 42 Mbit/s.

I.6. Le réseau UMTS (Universal Mobile Telecommunications VI.System)

I.6.1. Présentation de l'infrastructure d'un réseau

Le réseau UMTS vient se combiner aux réseaux déjà existants.

Les réseaux existant GSM et GPRS apportent des fonctionnalités respectives de Voix et de Data ; le réseau UMTS apporte ensuite les fonctionnalités Multimédia. Il est important de noter deux éléments:

- Le coût élevé de la mise en place d'un système UMTS (achat licence + modification majeures si non totales des éléments de base du réseau (station / antenne) répartis de manière massive sur un territoire national).
- La difficulté à définir avec précision l'architecture d'un futur réseau UMTS dans la mesure où le 3GPP et l'UMTS travaillent encore aujourd'hui à la définition des normes et des spécifications techniques.

La mise en place d'un réseau UMTS va permettre à un opérateur de compléter son offre existante par l'apport de nouveaux services en mode paquet complétant ainsi les réseaux GSM et GPRS [8].

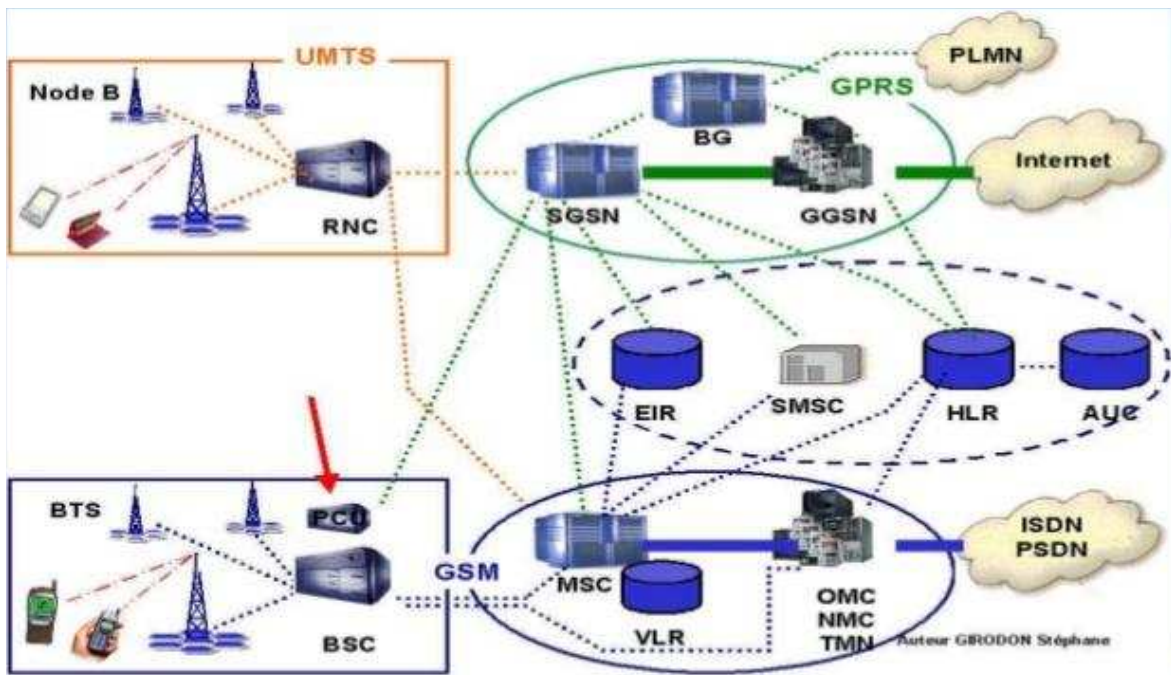


Figure I.3. Architecture d'un réseau UMTS.

I.6.2. Les équipements d'un réseau UMTS

La mise en place du réseau UMTS implique la mise en place de nouveaux éléments sur le réseau.

I.6.2.1. Le Node B

Le Node B est une antenne. Réparties géographiquement sur l'ensemble du territoire, les Nodes B sont au réseau UMTS ce que les BTS sont au réseau GSM. Les Node B gèrent la couche physique de l'interface radio. Le Node B régit le codage du canal, l'entrelacement, l'adaptation du débit et l'étalement. Les Node B communiquent directement avec le mobile.

I.6.2.2. Le RNC

Le RNC est un contrôleur de Node B. Le RNC est encore ici l'équivalent du BSC dans le réseau GSM. Il contrôle et gère les ressources radio en utilisant le protocole RRC (Radio Resource Control) pour définir procédures et communication entre mobiles (par l'intermédiaire des Node B) et le réseau. Le RNC s'interface avec le réseau pour les

transmissions en mode paquet et en mode circuit. Le RNC est directement relié à un Node B, il gère alors :

- Le contrôle de charge et de congestion des différents Node B.
- Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio (entrée d'un mobile dans la zone de cellules gérées ...).

Il existe deux types de RNC :

- Le Serving RNC qui sert de passerelle vers le réseau.
- Le Drift RNC qui a pour fonction principale le routage des données.

NB : L'ensemble des Node B et des RNC constitue l'équivalent de la sous architecture BSS vue précédemment en réseau GSM. En réseau UMTS, on parlera de sous architecture UTRAN.

I.6.3. Les avantages et les inconvénients d'un réseau UMTS

Accès internet haut- débit depuis un équipement mobile ou un ordinateur. Visiophonie. Télévision. Cout. Changement des équipements usagers. Arrivé du HSDPA.

On conclure que le réseau UMTS est complémentaire aux réseaux GSM et GPRS. Le réseau GSM couvre les fonctionnalités nécessaires aux services de type Voix en un mode circuit, le réseau GFPRS apporte les premières fonctionnalités à la mise en place de services de type Data en mode paquets, et l'UMTS vient compléter ces deux réseaux par une offre de services Voix et Data complémentaires sur un mode paquet.

L'UMTS est ainsi une extension du GPRS et fonctionne également en mode paquet. La vitesse de transmission offerte par les réseaux UMTS atteint 2 Mb/s. L'infrastructure UMTS permet l'élargissement des fréquences ainsi que la modification du codage des données. Mais les investissements en architecture réseau sont conséquentes puisque le mode de communication entre les terminaux 3G et les BTS (appelé Node B) est différent. Les modifications matérielles sont très importantes.

I.6.4. Comparaison entre les trois technologies

Tableau I.1. Comparaison entre les trois technologies.

Technologie Caractéristiques	GSM	GPRS	UMTS/WCDMA
Débit de données	9.6kbps	171.2kbps	2Mbps
Modulation	GMSK	GMSK	QPSK
Méthode d'accès multiple	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	Direct Séquencé CDMA
Bandes de fréquence (MHz)	Up Link 890-915 Down link 935-960	Up link 890-915 Down link 935-960	Up link 1920-1980 Down link 2110-2170
Espace porteuses RF	200KHz	200KHz	5000KHz
Intervalle entre trames	4.615ms (8TimeSlots)	4.615ms (8TimeSlots)	10ms (16TimeSlots)

I.7. Système cellulaire

Dans un système cellulaire, la région couverte est divisée en cellule, comme illustré dans la figure I.4. Une cellule est de forme circulaire mais dépend en réalité de la topographie de la région qui est servie par l'antenne de la cellule. Pour plus de clarté, on peut les illustrer par des hexagones. Au centre d'une cellule on retrouve un ou un ensemble d'émetteurs récepteurs correspondant à une bande de fréquences [9].

Théoriquement, les cellules peuvent prendre différentes formes sans obligatoirement être distribuées uniformément. Cependant, un motif régulier peut maintenir la consistance avec le développement rapide du système de point de vue couverture et de point de vue capacité. La forme circulaire peut représenter idéalement une zone couverte, mais des problèmes de recouvrement intercellulaire sont envisageables [10].

Mais, la forme hexagonale, par contre, permet de dépasser ces problèmes tout en simplifiant le processus de planification du réseau cellulaire. De même cette forme est imaginaire, dans la pratique on ne peut pas réaliser ce type de motif vu les conditions de propagation des ondes radios dans l'espace [10].

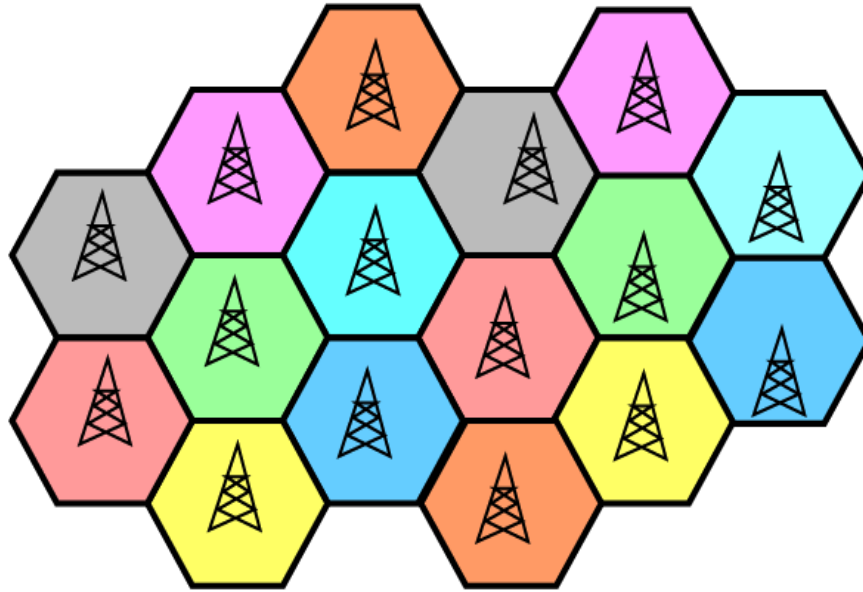


Figure I.4. Système cellulaire [10].

La taille d'une cellule varie en fonction d'un ensemble de contraintes parmi lesquelles nous trouvons : le relief de territoire (plaine, montagne), la localisation (urbaine, rurale, banlieue), la densité d'abonnés, la nature des constructions (maisons, pavillons, tours), etc.

Nous pouvons ainsi distinguer plusieurs types de cellules :

- Les macros cellules : Ce sont des cellules de taille importantes allant jusqu'à 35Km, adaptées aux zones rurales faiblement peuplées. Vu leur taille les émetteurs doivent fournir de puissances très grandes ;
- Les micros cellules : adaptées aux zones urbaines denses, ce sont des cellules d'êtres petites tailles de quelques centaines de mètres de rayon. Elles permettent d'écouler un trafic important par unité de surface ;
- Les pico cellules : de rayon de quelques dizaines de mètre et adaptées à la propagation à l'intérieur des bâtiments.

Dans la conception d'un réseau cellulaire, il faut considérer les aspects suivants:

- La topographie (bâtiments, collines, montagnes, etc.)
- La densité de la population (ou de communications) pour établir la dimension de cellule.
- Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même bande de fréquence afin d'éviter les interférences (figure I.2). La distance entre deux cellules ayant la même bande doit être de 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule. La taille des cellules peut varier entre 0.5 et 35 km et dépend de la densité d'utilisateur et de la topographie. Les cellules sont regroupées en bloc (appelé motif ou cluster). Le nombre de cellules dans un bloc doit être déterminé de manière à ce que le bloc puisse être reproduit continuellement sur le territoire à couvrir. Typiquement, le nombre de cellules par bloc est de 4, 7, 12 ou 21. La forme et la dimension des blocs et le nombre de cellules varient en fonction du nombre de fréquences (canaux) disponibles [11].

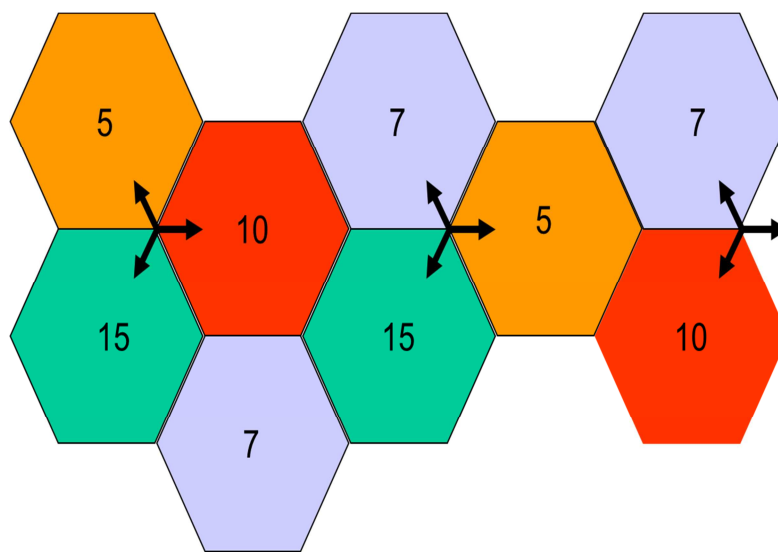


Figure I.5. Réutilisation des fréquences.

La division cellulaire a pour but :

- Garantir l'itinérance : le réseau GSM doit reconnaître à tout instant la localisation de l'abonné .C'est ce qu'on appelle : gestion d'itinérance ou roaming. Le numéro du terminal devient du point de vue réseau fixe et il correspond à une adresse physique qui, elle, varie.

- Garantir la mobilité : par des procédures automatiques dites de transfert ou de hand over, la communication doit être maintenue en cours de déplacement du mobile.

I.8. Conclusion

Après le GSM le réseau GPRS constituait finalement une étape vers le réseau UMTS. Sur le plan technique, les architectures des trois réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et interconnectées afin d'optimiser la qualité de service rendue à l'abonné. Cette partie présente les différents éléments des trois réseaux et montre comment les architectures télécoms des réseaux GSM, GRPRS et UMTS sont complémentaires. Cette partie aussi montre enfin que la mise en place des réseaux GPRS et UMTS est une opération coûteuse au-delà des investissements liés à l'achat des licences. L'objectif de cette partie donc, est de démontrer au lecteur que la mise en service des réseaux GPRS et UMTS doit s'accompagner par la commercialisation de nouveaux services afin de rentabiliser les investissements. Il apparaît clairement que les réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et qu'ils constituent une évolution des offres de services de l'opérateur télécoms, des services simples de type « Voix » vers les services évolués de type « Data ».

I.9. Références bibliographiques

- [1] http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications.
- [2] “Propagation models”, Race II internal report, R2084/ESG/CC3/DS5/P/012/B1, pp 17-43, 14 Avril 1993.
- [3] <http://www.memoireonline.com/>
- [4] <http://www.telecom.ulg.ac.be/>
- [5] X.Lagrange, P.Godlewski, S.Tabbanne « Réseaux GSM-DCS des principes à la norme », 5eme édition. Edition Hermes science.
- [6] T. S. Rappaport, “Wireless communications: Principle and practice”, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [7] Claude Touzet, “les réseaux de neurones artificiels : introduction au connexionnisme», juillet 1992.
- [8] Stéphane GIRODON «Réseaux GSM, UMTS, GPRS», architecture évolutive pour une stratégie services juin 2002, Rapport de stage -DESS MTI-IAE AIX en Provence, année 2001-2002, disponible sur: www.girodon.com (présentation .pdf).
- [9] J.J. Hopfield, “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities”, in Roc. Nat’l Academy of Sciences, USA 79, 1982, pp. 2,554-2,558.
- [10] W.S. McCulloch and W. Pitts, “A logical calculus of ideas immanent in nervous activity”, Bull. Mathematical Bio-physics, Vol. 5, 1943, pp. 115-133.
- [11] http://www.wigm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2002/Neurones/index.php?rubrique=Neurone_biologique.

Chapitre II

Les modèles de propagation des ondes radio

II.1. Introduction.....	27
II.2. Classification des modèles de prédiction.....	27
II.3. Modèles de prédiction.....	28
II.3.1. Modèles empiriques	28
II.3.1.1. <i>Modèle d'Okumara-hata</i>	28
II.3.1.2. <i>Modèle d'Elgi</i>	31
II.3.1.3. <i>Modèle COST 231-Hata</i>	31
II.3.1.4. <i>Modèle d'affaiblissement Long distance</i>	33
II.3.1.5. <i>Modèle de SEIDEL</i>	34
II.3.2. Les modèles semi-empiriques	34
II.3.2.1. <i>Modèle de Walfisch-Ikegami</i>	36
II.3.2.2. <i>Problèmes avec les modèles empiriques et semi empiriques</i>	39
II.3.3. Modèles déterministes.....	39
II.4. Conclusion	40
II.5. Références bibliographiques.....	40

II.1. Introduction

Les modèles de propagation sont utilisés lors de la conception d'une interface radio pour en optimiser les performances et également lors du déploiement des systèmes 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 systèmes 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. Les modèles sont très dépendants des bases de données géographiques comportant des éléments relatifs à la topographie et aux types d'occupation du sol. Ceci est dû au fait que la manière dont les ondes radio UHF vont se propager dans un espace donné est intimement liée aux obstacles (*bâtiments, troncs d'arbres, flancs de montagnes, etc.*) rencontrés le long du canal de propagation. De ce fait, la modélisation des objets géographiques est essentielle dans tout modèle de propagation des ondes UHF [1].

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.

II.2. Classification des modèles de prédiction

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.

II.3. Modèles de prédiction

II.3.1. Modèles empiriques

Ce type de modèle n'a d'autres justifications que de décrire mathématiquement (le plus souvent grâce aux statistiques) un ensemble de mesures collectées sur le terrain ou de données expérimentales ; il s'agit de modèles de représentation de la réalité. La majorité des modèles de propagation appartiennent à ce type de modèle [6]-[8].

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 et facile 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.

II.3.1.1. Modèle d'Okumara-hata

C'est le modèle le plus couramment utilisé, il est apparu en 1980 et repose sur les mesures d'Okumara. Il 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.

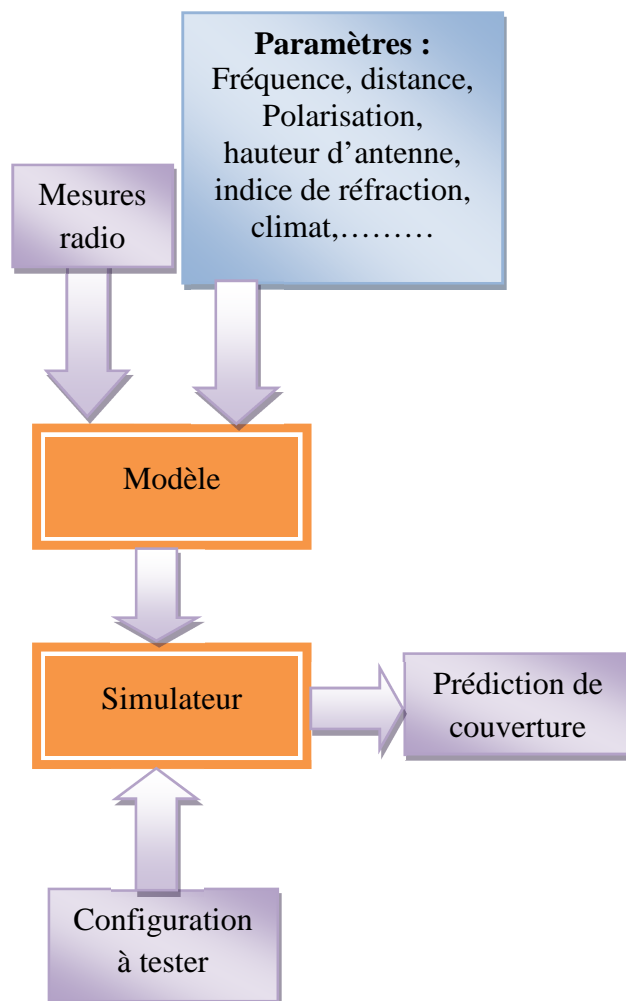


Figure II.1. Plan de travail des modèles empiriques.

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 :

Tableau II.1. Condition de validité du modèle d'Okumura-Hata.

Fréquences	$150 \text{ Mhz} < f < 1.5 \text{ Ghz}$
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

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

$$L_0 = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_b) + (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log d \quad (\text{II.1})$$

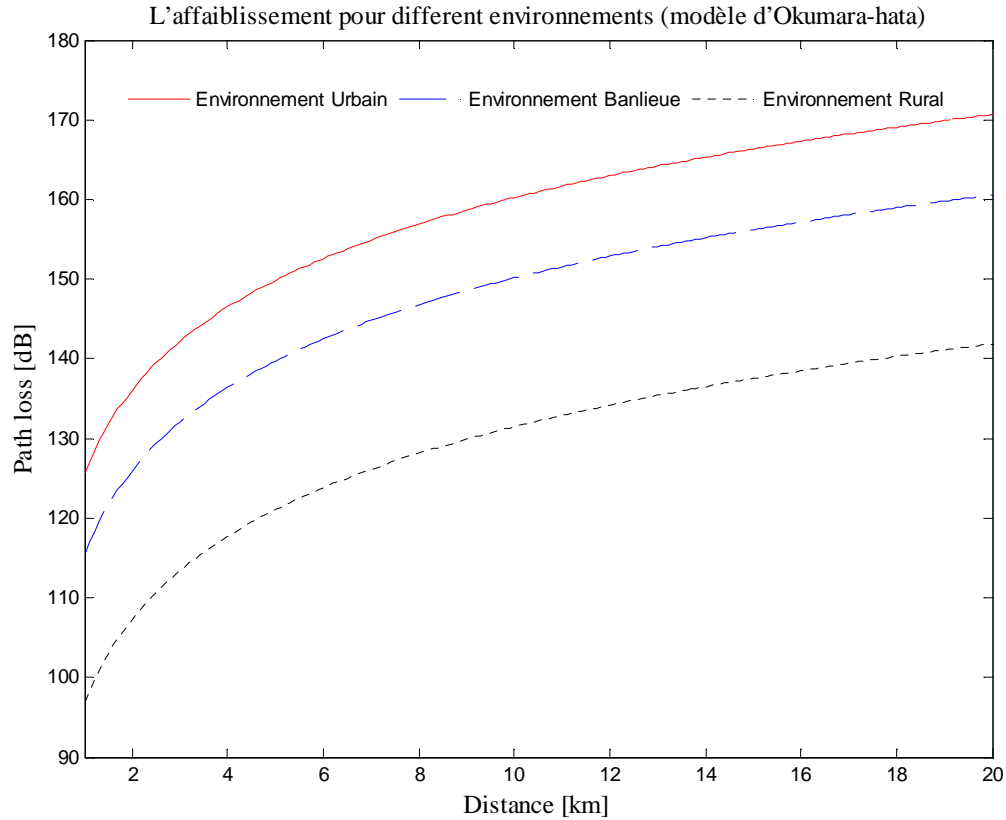


Figure II.2. l'affaiblissement Pour diffèrent environnements (Modèle d'Okumara-hata),

$$f_r = 957.4 \text{ MHz}, h_m = 1.5 \text{ m}, h_b = 38 \text{ m}.$$

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

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad (\text{II.2})$$

$$\text{Avec : } a(h_m) = (1.1 \log(f) - 0.7)h_m - 1.56 \log(f) + 0.8$$

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

$$L_{\text{urbain}} = L_0 - a(h_m) \quad (\text{II.3})$$

Avec :

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

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

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

$$L_{\text{Banlieue}} = L_0 - \left[\log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \quad (\text{II.4})$$

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

$$L_{\text{rural}} = L_0 - 4.78([\log(f)]^2 + 1.833 \log(f) - 40.49) \quad (\text{II.5})$$

II.3.1.2. 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 [2]. Comme dans le cas d'Okumura-Hata, il n'inclut pas les pertes de diffraction provoquée par propagation sur un terrain irrégulier ; Toutefois, Okumura prend implicitement en compte l'effet des bâtiments, ce qui n'est pas le cas pour Egli. Une première comparaison entre les deux modèles peut alors être faite pour les espaces ouverts (rurales) où les deux modèles négligent la diffraction.

Selon Egli, les pertes de propagation sont exprimés en tant que:

$$L = 139.1 - 20 \log(h_b) + \log(d) \quad (\text{II.6})$$

- 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.

II.3.1.3. Modèle COST 231-Hata

Les membres du projet européen COST 231 ont proposé d'étendre le modèle de Hata à des fréquences supérieures [3], notamment à cause du déploiement des

réseaux GSM 1800 (Europe) et GSM 1900 (USA). La formule suivante a été proposée :

$$L_u = 46.33 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55(\log(h_b))] \log(d) + C_m \quad (\text{II.7})$$

Avec :

- $a(h_m) = [1.1 \log(f) - 0.7] h_m - [1.56 \log(f) - 0.8]$ pour une ville de taille moyenne.
- $C_m = 0$ dB pour les villes de taille moyenne et les banlieues.
- $C_m = 3$ dB pour les grands centres métropolitains.

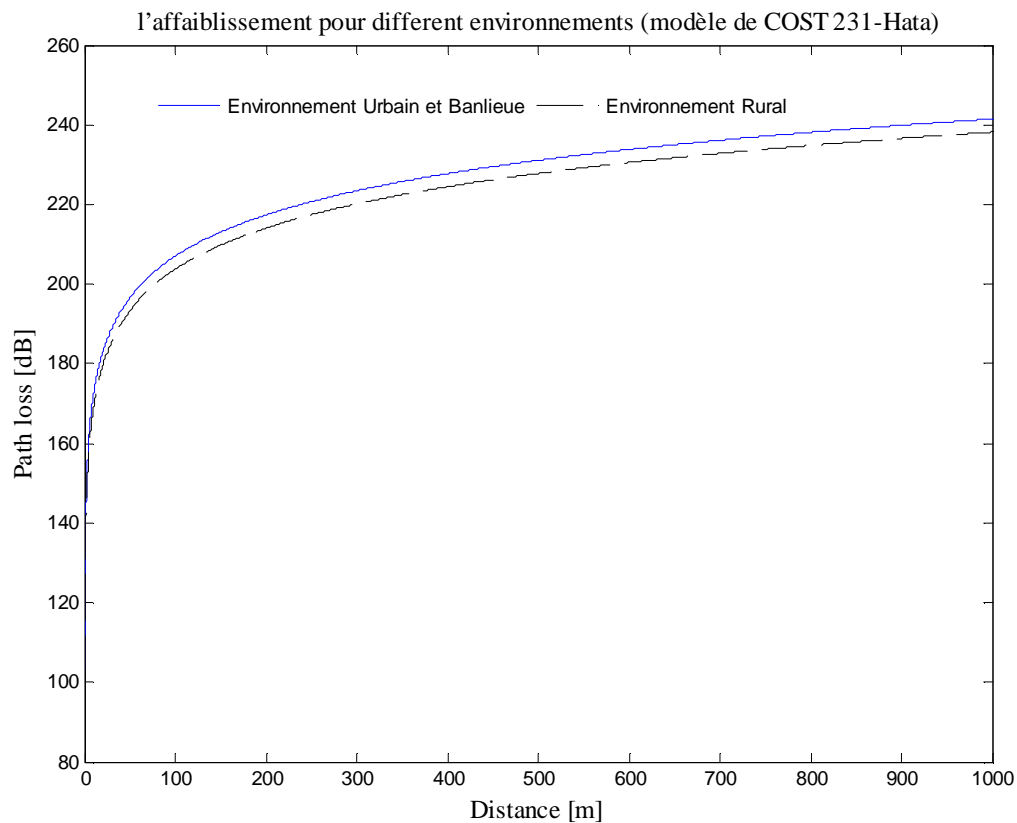


Figure II.3. L'affaiblissement Pour les villes de taille moyenne et les grands centres métropolitains (Modèle COST 231-Hata), $f_r = 1800\text{MHz}$, $h_m = 1.5\text{m}$, $h_b = 38\text{m}$.

II.3.1.4. Modèle d'affaiblissement Long distance

Plusieurs recherches ont montré que l'affaiblissement dans un environnement indoor augmente en fonction de la distance qui sépare l'émetteur du récepteur [4] :

$$L(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (\text{II.8})$$

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 [4] :

Tableau II.2. Les valeurs de n pour différents environnements.

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

L'affaiblissement en dB est défini par [4] :

$$L(d) = L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (\text{II.9})$$

- $L(d_0)$ 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.9 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 [4] :

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

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.3.1.5. Modèle de SEIDEL

Dans un environnement à plusieurs étages, l'affaiblissement peut aussi être décrit par le modèle de Seidel [4]:

$$L(d) = L(d_0) + 10n_{SF} \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + FAF \quad (\text{II.11})$$

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.

II.3.2. Les modèles semi-empiriques

Ces modèles sont une combinaison des deux approches. Il s'agit de modèles dont les variables d'entrée et de sortie sont choisies en fonction d'une analyse physique du

phénomène. Si cette analyse est poussée suffisamment loin, il se peut qu'on puisse déterminer la forme a priori des relations entre les variables.

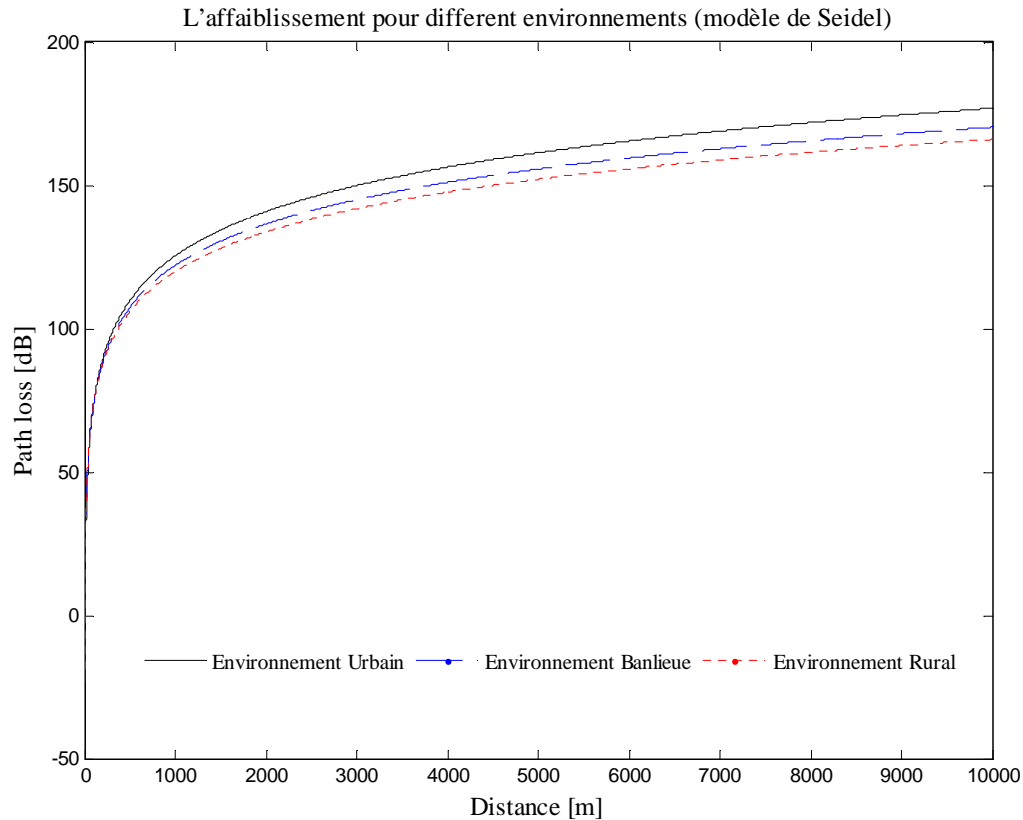


Figure II.4. L'affaiblissement pour différent environnements (Modèle de Seidel).

La partie empirique réside alors dans l'estimation des valeurs numériques des coefficients du modèle à partir des résultats expérimentaux.

Il est clair que cette approche est meilleure que la précédente car on évite ainsi les erreurs de modélisation dues aux variables liées. C'est pourquoi, on attachera toujours plus de confiance aux généralisations de ce type de modèle qu'à celles provenant de modèles purement empiriques.

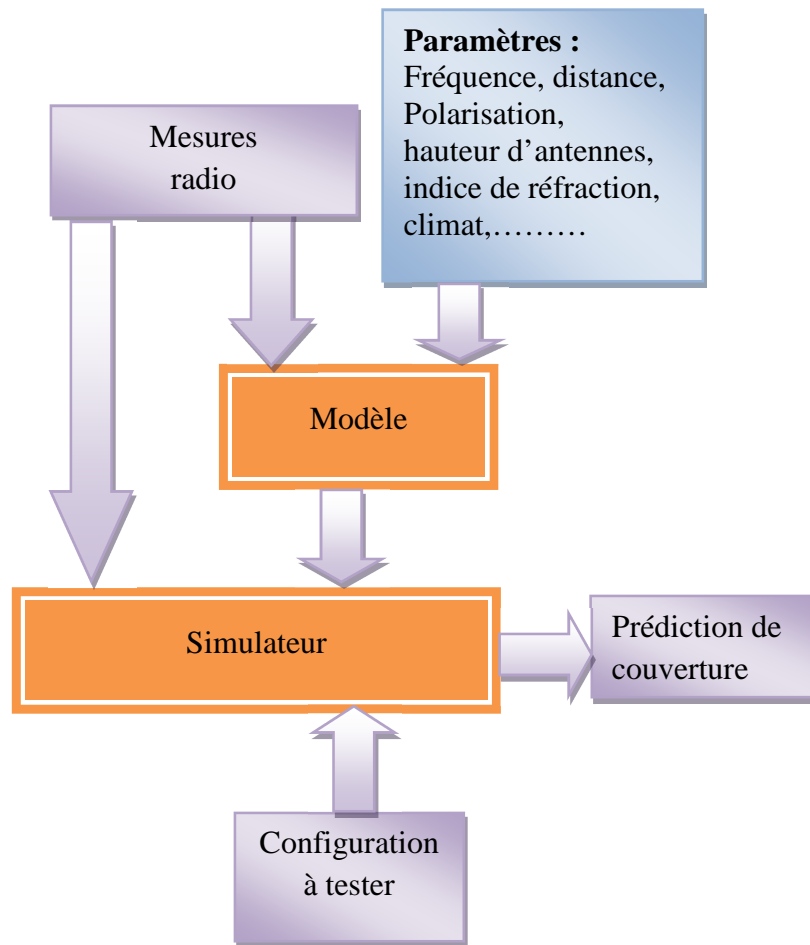


Figure II.5. Plan de travail des modèles semi-empiriques.

II.3.2.1. Modèle de Walfisch-Ikegami

Pour des cellules plus petites que 1 km c'est ce modèle qui est appliqué (distances supérieures à 20 m.), lorsque l'antenne est placée sur un toit mais entourée par des bâtiments plus élevés. Ce modèle permet d'estimer l'affaiblissement en fonction d'un grand nombre de paramètres (notamment la topologie de la ville). COST 231 [3] a proposé une combinaison des modèles Walfisch [5] et Ikegami [6]. Le modèle permet d'améliorer l'estimation de perte de trajet par l'examen de plus de données pour décrire le caractère de l'environnement urbain, à savoir:

- 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) :

$$L_p = 42.64 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.12})$$

- L'atténuation en espace libre est donnée par :

$$L_{fs} = 32.45 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (\text{II.13})$$

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

$$L_p = L_{fs} + 10.19 + 6 \log(d) = L_{fs} + 6 \log(50d) \quad (\text{II.14})$$

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

$$L_p = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{msd}L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{fs}L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

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

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

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_{RX}) + L_{ori} \quad (\text{II.16})$$

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

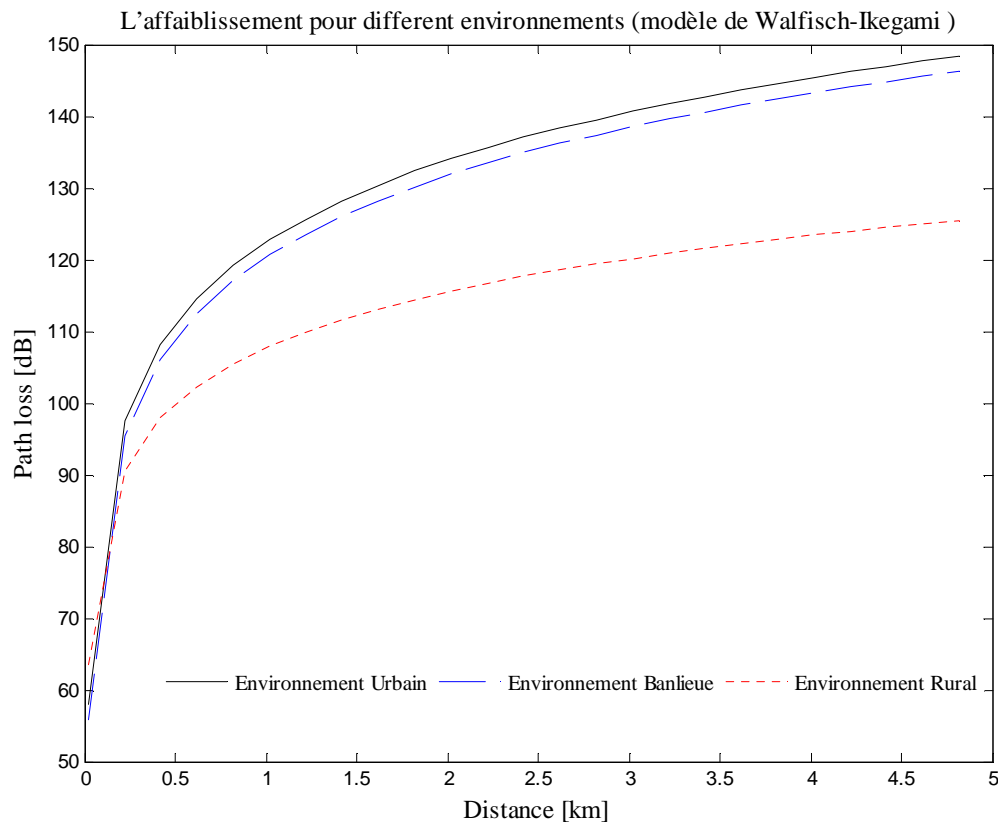


Figure II.6. L'affaiblissement pour cas de visibilité (Modèle de Walfisch-Ikegami).

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \alpha & 0 < \alpha < 35 \\ 2.5 + 0.075(\alpha - 35) & 35 < \alpha < 55 \\ 4.0 + 0.114(\alpha - 55) & 55 < \alpha < 90 \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

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.

II.3.2.2. 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.

II.3.3. Modèles déterministes

Ce type de modèle n'a d'autres justifications que de décrire mathématiquement (le plus souvent grâce aux statistiques) un ensemble de mesures collectées sur le terrain ou de données expérimentales ; il s'agit de modèles de représentation de la réalité. La majorité des modèles de propagation appartiennent à ce type de modèle.

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 facile 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.

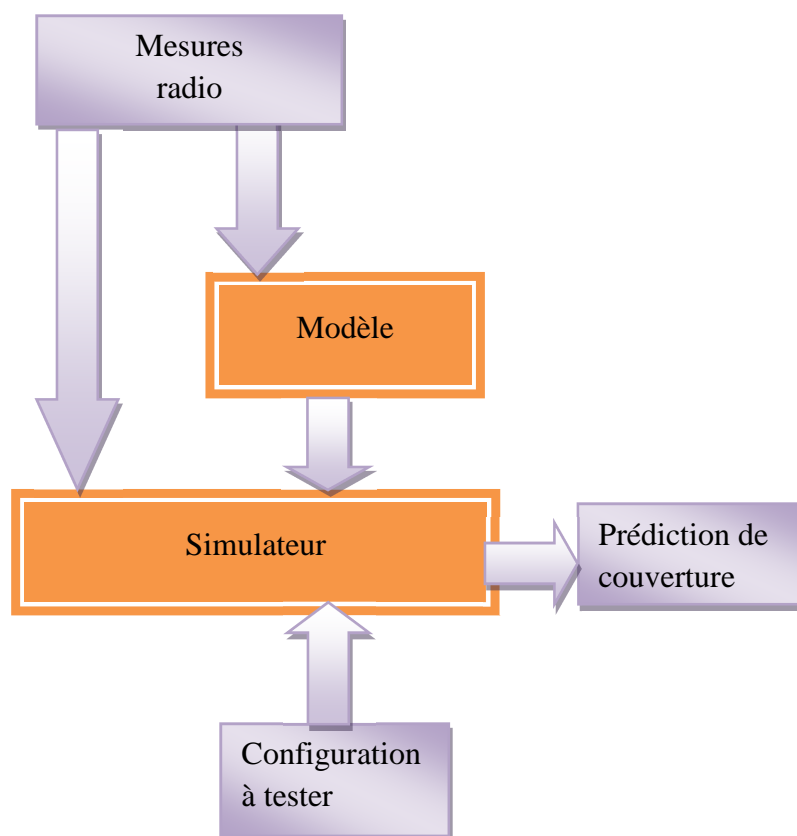


Figure II.7. Plan de travail des modèles déterministes.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux modèles de prédiction de propagation déterministes, empiriques et semi empiriques. Nous avons montré que ces modèles de propagation ne sont que des formules mathématiques obtenues à partir de statistiques sur un très grand nombre de mesures. Ces modèles permettent des calculs rapides et ne tiennent pas 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 des réseaux de neurones artificiels.

II.5. Références bibliographiques

- [1] 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 quatrièmes journées d'études sur la Propagation électromagnétique dans l'atmosphère du décimétrique à l'angström », Rennes, France, 13-15 mars 2002, pp.159-166.
- [2] J. J. Egli, «*Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain*», Proc. IRE, 45, No. 10, 1957, pp. 1383–1391.
- [3] COST 231, «*Evolution of land mobile radio (including personal) communications*», Final report «Information, Technologies and Sciences», European Commission.1999.
- [4] G. Stéphane, «*Réseaux GSM, GPRS et UMTS* », Rapport de stage, 2001.
- [5] J. Walfisch, H.L. Bertoni, «*A theoretical model of UHF propagation in urban environments*», IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 36, no. 12, Dec. 1988, pp. 1788-1796.
- [6] F. Ikegami, S. Yoshida, M. Umehira, «*Propagation factors controlling mean field strength on urban streets*» IEEE Trans. On Antennas and Propagation, vol. 32, no. 8, August 1984, pp. 822-829.

Chapitre III

Réseaux de neurones artificiels

III.1. Introduction	43
III.2. Historique	43
III.3. Neurone biologique et Neurone formel	44
III.4. Fonction d'activation	46
III.5. Architecture des réseaux de neurones	46
III.5.1. Les réseaux de neurones non bouclés (Statistique)	48
<i>III.5.1.a. Réseau monocouche</i>	48
<i>III.5.1.b. Réseaux multicouche</i>	49
III.5.2. Les réseaux de neurones bouclés (Dynamiques)	49
<i>III.5.2.a. Réseaux à connexion récurrents</i>	50
<i>III.5.2.b. Réseau à connexion complète</i>	50
III.6. L'apprentissage des réseaux de neurones	51
III.6.1. Apprentissage non supervisée	51
III.6.2. Apprentissage supervisée	51
III.7. Les réseaux MLP et RBF	52
III.7.1. Le perceptron multi couche MLP	52
<i>III.7.1.a. Architecture du MLP</i>	52
<i>III.7.1.b. Apprentissage du MLP</i>	53
III.7.2. Le réseau à fonction de base radiale RBF	54
<i>III.7.2.a. Architecture du RBF</i>	55
<i>III.7.2.b. Apprentissage du RBF</i>	56
III.8. Conclusion	56
III.9. Références bibliographiques	56

III.1. Introduction

Lorsqu'apparaît une nouvelle technique, l'ingénieur se demande naturellement en quoi cette nouveauté peut lui être utile ; si elle est dotée d'un nom plus métaphorique que technique ce qui est évidemment le cas pour les réseaux de neurones [1].

La réponse de McCULLOCH et W. PITTS, a été oui, cela peut nous être utile dans de nombreux domaines, parmi ces domaines on trouve l'électromagnétisme, plus précisément on s'intéresse à l'application de cette technique pour modéliser et optimiser des antennes microruban de toute formes, tailles et types d'excitation.

Un réseau de neurone peut être considéré dans sa plus simple forme comme une boîte noire, équivalente à une fonction à plusieurs accès et sorties. Cette boîte noire a une caractéristique importante, appelée 'L'apprentissage'. Cet apprentissage se réalise à l'aide d'un algorithme et une base de données.

Les sorties de la fonction sont adaptées à l'entrée. Cette fonction s'ajuste à chaque fois en fonction du nombre des exemples d'apprentissage constituant la base de données, et la vitesse de convergence vers une solution optimale. Cette fonction s'ajuste pour chaque exemple, ce qui implique que la base de données doit être la plus riche que possible.

À la fin de cette présentation, cette boîte peut donner des sorties pour toutes les entrées, même si elle est en dehors de la base de données, avec une précision optimale [2].

III.2. Historique

Le concept de neurone formel, a vu le jour en 1943, en résultat des travaux de McCULLOCH et PITTS, suivi par la publication de ROSENBLATT en 1958, qui a proposé le premier algorithme d'apprentissage, qui permet au neurone d'ajuster ces paramètres [2]. Ce concept a vite tombé dans l'oubli. En 1969, MINSKY et PAPERT publient le livre *Perceptrons* dans lequel ils démontrent les limitations des réseaux de neurones ; car il ne peut approcher que des simples problèmes mathématiques. Ce problème embarrassant a failli tuer cette nouvelle technique ; pratiquement tous les chercheurs ont abandonné ce domaine de recherche, heureusement HOPFIELD n'a pas

lâcher ; et il propose en 1982, des réseaux de neurones associatifs, et l'intérêt pour les réseaux de neurones renaît chez les scientifiques [3].

En 1986, RUMELHART, HINTON et WILLIAMS publient leur algorithme appelé de rétro propagation de l'erreur qui permet d'optimiser les paramètres d'un réseau de neurones à plusieurs couches. A partir de là, la porte a été grande ouverte sur ce domaine afin de l'explorer des nouvelles applications.

III.3. Neurone biologique et Neurone formel

Les réseaux de neurones formels sont, à l'origine, une tentative de modélisation mathématique du cerveau humain [2]. Alors que pour modéliser cet ordinateur biologique on doit passer par le remplacement de ces composantes élémentaires qui sont les cellules neuronales biologique (Figure III.1), par des neurones artificiels ce qui est réalisé par McCULLOCH et PITTS qu'ils sont proposés un modèle qui est capable de réaliser quelques calculs élémentaires. Ce qui est clair, en connectant plusieurs neurones pour voir un réseau, la complexité des calculs que ce réseau peut effectuer augmente d'une façon exponentielle.

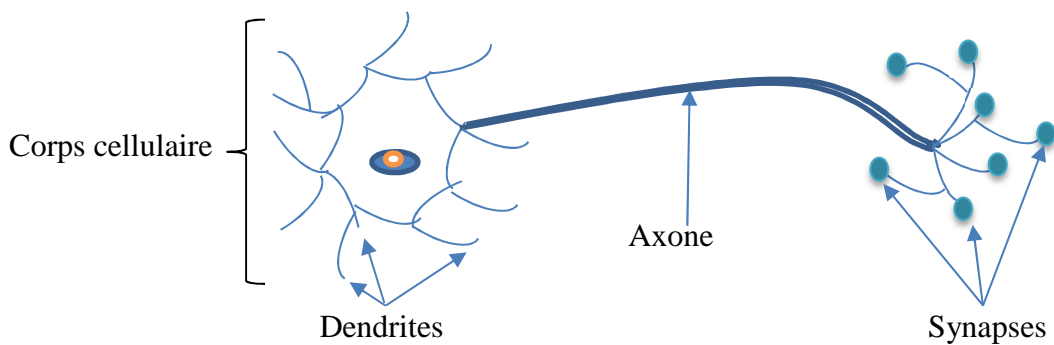


Figure III.1. Le neurone biologique.

Les neurones communiquent entre eux par l'intermédiaire des Dendrites qui sont des entrées et des Synapses qui sont des sorties, l'information reçue par les Dendrites sera traitée dans le noyau du corps cellulaire, l'information à transmettre sera véhiculée le long de la distance qui se sépare deux corps cellulaires par un Axone, qui se termine par des Synapses

connectés aux Dendrites de la cellule réceptrice du message, cela permet à l'information de forme électrique d'attendre sa destination sans déformation et sans erreur d'itinéraire.

Le signal de sortie de neurone dépend des signaux d'entrées proviennent des autres cellules, ce signal de sortie ne risque pas de ce produise si la somme des signaux d'entrées ne dépasse pas le seuil d'activation. Le signale de sortie sera soit un signal d'excitation ou un signal inhibitrice. Cependant, un neurone formel et un processus simple, il se peut qu'il soit simulé ou réalisé comme un circuit intégré. Où les composantes du neurone artificiel équivalent sont les suivent :

Tableau III.1. Neurone biologique Vs Neurone formel.

Neurone Biologique	Neurone Formel
Synapses	Poids de connexion
Dendrite	Signal d'entrée
Axone	Signal de sortie
Sommation	Fonction d'activation

A partir du tableau d'analogie entre neurone biologique et neurone formel ci-dessus, on peut donner le schéma simple d'un neurone artificiel montré sur (Figure III.2). Ou les X_i sont les signaux d'entrées, les W_i sont le poids de connexion, W_0 est le seuil, on passe par la fonction d'activation on obtient le Y qui est le signal de sortie.

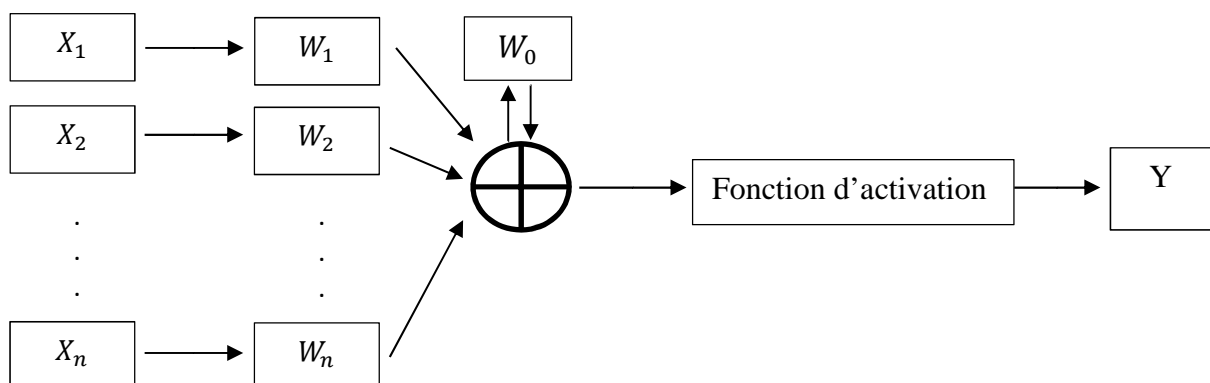


Figure III.2. Le neurone artificiel.

A son tour le signal de sortie peut être à nouveau un signal d'entrée d'un ou plusieurs neurones amont dans le même réseau que le neurone origine de l'information.

On peut voir clairement que ce neurone est composé de deux parties essentielles, une première partie de l'entrées de neurone jusqu'à la sortie de la fonction de sommation, cette partie a le rôle de calcul de la somme pondérée des entrées X_i si la somme attend un certain seuil la deuxième partie intervenir pour calculer la valeur de l'état du neurone Y , par application de la fonction de transfert.

$$Y = f(W_0 + \sum_{i=1}^n W_i X_i) \quad (\text{III.1})$$

III.4. Fonction d'activation

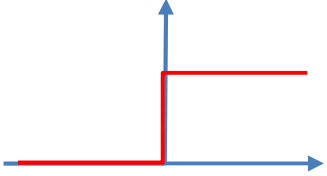
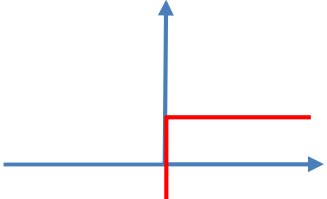
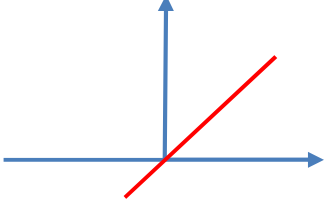
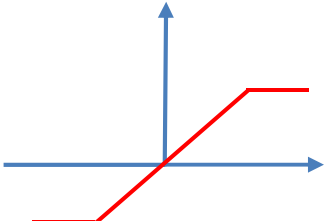
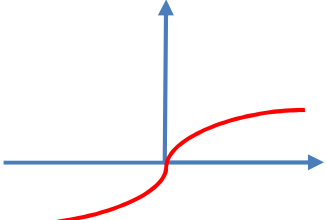
Toute fonction dérivable peut être utilisée comme une fonction d'activation [4] ; La fonction d'activation est une fonction non linéaire de saturation qui sert à limiter l'amplitude du signal de sortie du neurone [5]. Dont les formes fréquemment utilisées comme fonction d'activation, sont, la fonction droite, seuil ou sigmoïde (Tableau III.2).

Un perceptron multicouche ou MLP pour (multi layer perceptron), d'une seule couche cachée ayant la fonction sigmoïde comme fonction d'activation des neurones de la couche cachée et la fonction linéaire pour l'activation des neurones de la couche de sortie peut approximer n'importe quelle fonction aussi complexe soit elle à condition que le nombre de neurones et le nombre d'exemples d'apprentissage soit suffisants [2].

III.5. Architecture des réseaux de neurones

Un RNA ou ANN pour (Artificiel Neural Network), est une association de plusieurs neurones formels pour créer une structure capable de résoudre des problèmes mathématiques de complexité supérieure à celle qu'un seul neurone peut traiter. Les réseaux de neurones peuvent être subdivisés en deux grandes familles, les réseaux non bouclés (statique), et les réseaux bouclés (dynamique).

Tableau III.2. Quelques fonctions d'activation.

Fonction	Formule	Forme
Fonction de seuil ou de Heaviside	$f(x) = 0 \text{ si } x < 0$ $f(x) = 1 \text{ si } x \geq 0$	
Fonction de seuil symétrique	$f(x) = -1 \text{ si } x < 0$ $f(x) = +1 \text{ si } x \geq 0$	
Droite	$f(x) = \alpha x + \beta$	
Linéaire saturée 'Symétrique'	$f(x) = -1 \text{ si } x < -1$ $f(x) = \alpha x + \beta \text{ si } -1 \leq x \leq 1$ $f(x) = 1 \text{ si } x > 1$	
Sigmoïde	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	

Un réseau de neurone est conçu d'une couche d'entre, une ou plusieurs couches cachées est une couche de sortie. Chaque couche est un groupement de plusieurs neurones réalisent des fonctions d'activation linéaire pour les neurones de la couche de sortie est non linéaire pour les autres neurones [6].

III.5.1. Les réseaux de neurones non bouclés (Statistique)

Un réseau de neurones non bouclé réalise une ou plusieurs fonctions algébriques de ses entrées par composition des fonctions réalisées par chacun de ces neurones. Ce réseau est représenté graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux. Dans un tel réseau le flux de l'information circule des entrées vers les sorties sans retour vers arrière [6]-[10].

Les réseaux de neurones non bouclés sont des objets statiques : si les entrées sont indépendantes du temps, les sorties le seront également. Ils sont utilisés principalement pour effectuer des tâches d'approximation de fonction non linéaire, de classification ou de modélisation de processus statiques non linéaires [8].

III.5.1.a. Réseau monocouche

Un réseau de neurone monocouche est une structure formé d'une couche de neurones d'entrée, connectés complètement aux neurones de la couche de sortie passant par une couche cachée d'un poids W , (Figure III.3).

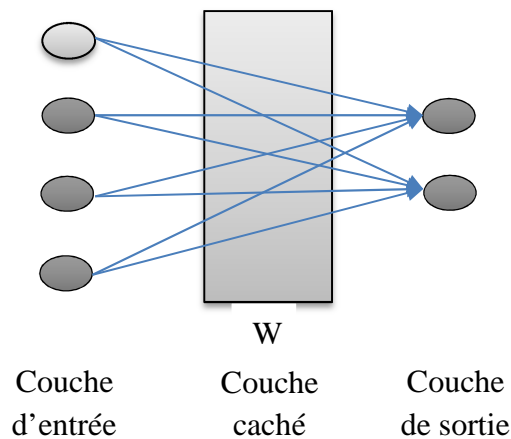


Figure III.3. Réseau monocouche.

III.5.1.b. Réseaux multicouche

Les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche, et les connexions ne se font qu'avec les neurones de couches avales (Figure III.4). Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information de l'activation, au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie. [2]-[10].

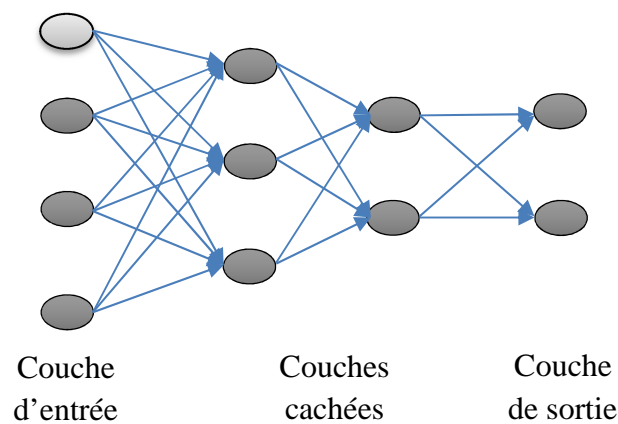


Figure III.4. Réseau multicouche.

III.5.2. Les réseaux de neurones bouclés (Dynamiques)

Contrairement aux réseaux de neurones non bouclés dont le graphe de connexions est cyclique, les réseaux de neurones bouclés peuvent avoir une topologie de connexions quelconque, comprenant notamment des boucles qui ramènent aux entrées la valeur d'une ou plusieurs sorties. Un réseau de neurones bouclé à temps discret est donc régi par une (ou plusieurs) équations aux différences non linéaires, résultant de la composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions [2].

III.5.2.a. Réseaux à connexion récurrents

Les connexions récurrentes ramènent l'information en arrière par rapport au sens de propagation de l'information défini dans un réseau multicouche. Ces connexions sont le plus souvent locales (Figure III.5) [2]-[10].

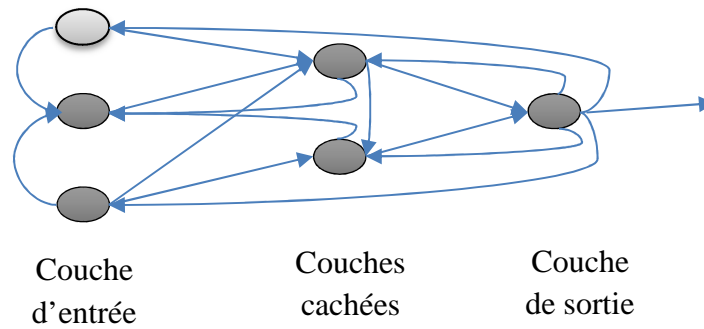


Figure III.5. Réseau multicouche à connexion récurrente.

III.5.2.b. Réseau à connexion complète

Dans un réseau à connexion complète ; chaque neurone du réseau est connecté avec tous les autres neurones dans le même réseau, y compris dans la direction opposée de celle de propagation de l'information (Figure III.6).

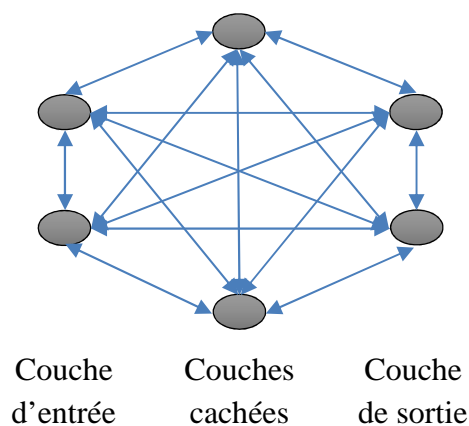


Figure II.6. Réseau multicouche à connexion complète.

III.6. L'apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est la propriété la plus intéressante des réseaux de neurones. L'apprentissage d'un réseau neuronal se réalise le long d'une phase, dite d'apprentissage ; durant laquelle le comportement de la structure neuronal s'ajuste jusqu'à l'obtention du comportement désirable. Cela est accompli à l'aide d'un algorithme d'apprentissage et une base de données dite aussi d'apprentissage. Les réseaux de neurone servent généralement des résultats des méthodes d'analyse ou des mesures comme une base de données pour l'apprentissage.

Il en existe deux catégories d'apprentissage, l'un supervisé et l'autre non supervisé :

III.6.1. Apprentissage non supervisée

L'apprentissage est qualifié de non supervisé lorsque seules les valeurs d'entrée sont disponibles. Dans ce cas, les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto adaptation du réseau afin de produire des valeurs de sortie qui soient proches en réponse à des valeurs d'entrée similaires [2].

Les réseaux doivent détecter des points communs aux exemples présentés, par la modification des poids, afin de fournir la même sortie pour des entrées aux caractéristiques proches. L'apprentissage non supervisé est bien adapté à la modélisation des données complexes, dont les règles qui gouvernent le comportement du système à modéliser par les réseaux de neurones sont moins précises [10].

III.6.2. Apprentissage supervisée

Pour ce type d'apprentissage nous présentant aux réseaux neuronal les valeurs des entrés et aussi celle des sorties que l'on désire pour ces entrées. Le réseau se reconfigurer à la fonction des entrée-sortie. C'est à dire calculer ses poids afin que la sortie qu'il donne corresponde bien à la sortie désirée [2].

III.7. Les réseaux MLP et RBF

III.7.1. Le perceptron multi couche MLP

Un perceptron multicouche (Multi Layer Perceptron) est un réseau de neurone non bouclé, de plusieurs couches neuronales cachées entre ces deux couches d'entrées et de sortie. Pour doter le perceptron multicouche de la propriété de non linéarité, il faut qu'il comporte, au moins, une couche cachée, et que les fonctions d'activation des neurones, qui la compose soient non linéaire [2].

Un réseau à une seule couche avec des poids convenablement choisis, pourrait exactement reproduire les calculs exécutés par n'importe quel réseau multicouche [2]-[10].

Autrement dit, un perceptron a une couche cachée composé de neurones de fonctions d'activations non linéaire généralement sigmoïdes, peut approcher n'importe qu'elles résultats d'une fonction mathématique calculées par n'importe quel réseau multicouches.

III.7.1.a. Architecture du MLP

Dans le cas général, un MLP peut posséder un nombre de couches quelconque, mais en vue de perfectionner le fonctionnement du MLP d'un côté et minimiser le temps de calcul d'un autre côté, on doit chercher une architecture optimale du point de vue nombre de couches et nombre de neurones par couche [10].

Un réseau de rétro-propagation est un réseau MLP à plusieurs couches constituées au minimum d'une couche d'entrée, une couche cachée et une de sortie (Figure III.7). Chaque couche contient un ou plusieurs neurones cela dépend de du nombre de de données qu'on désire faire apprendre au réseau, et de nombre de sortie qu'on désirer. Il n'existe pas une méthode bien précise pour déterminer le nombre des couches et de neurones, cela dépend de la complexité du problème à résoudre.

Un réseau MLP de N_0 entrée, $L - 1$ couches cachées de N_i neurones ou $i \in [1, L - 1]$, et une couche de sortie contenant N_L neurones, i est l'indice de la couche, X_{ik} est la sortie du

neurone k de la couche i , W_{ik} est le poids reliant la sortie x_{i-1} au neurone k de la couche i , la sortie X_{ik} de neurone (i, k) est :

$$X_{ik} = f(Y_{ik}) \quad (\text{III.2})$$

$$Y_{ik} = \sum_{j=1}^{N(i-1)} W_{ijk} x_{i-1 j} + b_{ik} \quad (\text{III.3})$$

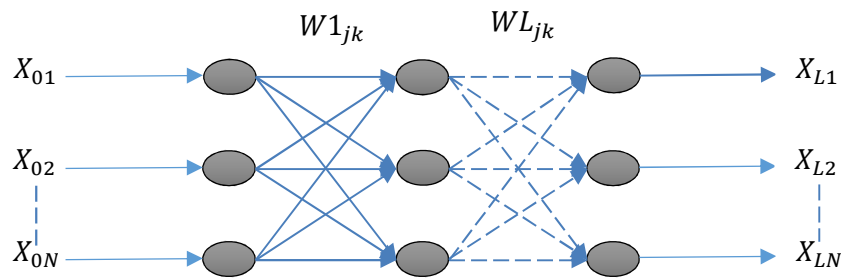


Figure III.7. Architecture d'un réseau MLP.

III.7.1.b. Apprentissage du MLP

L'apprentissage du MLP se réalise par façon supervisée à l'aide d'un algorithme dite de rétro-propagation (back-propagation), dont l'objectif de cette phase est d'ajuster les poids et de minimiser la valeur de l'erreur quadratique entre la sortie du réseau et la sortie désirée, ou l'erreur quadratique est :

$$E(x) = \left| d(n) - Y_L(n) \right|^2 \quad (\text{III.4})$$

où $d(n)$ est la valeur désirée et $Y_L(n)$ est la valeur de la sortie du réseau.

La descente du gradient de l'erreur pour atteindre un minimum est assurée par l'algorithme de rétro-propagation, le gradient d'erreur $E(x)$ est calculé pour chaque poids de la manière suivante :

$$\frac{\partial E(n)}{\partial W_{ijk}(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial Y_{ik}} \frac{\partial Y_{ik}}{\partial W_{ijk}} = \frac{\partial E(n)}{\partial Y_{ik}} x_{i-1 j} \quad (\text{III.5})$$

Pour la couche de sortie $i = L$, l'erreur de la sortie est notée δ_{Lk} et elle calculé comme suite :

$$\delta_{Lk} = \frac{\partial E(n)}{\partial Y_{ik}} = 2f'(Y_{Lk})(d_k - x_{Lk}) \quad (\text{III.6})$$

Où $f(x)$ est la fonction d'activation.

Pour les couche cachées l'erreur δ_{Lk} est donnée par :

$$\delta_{ik} = f'(Y_{ik}) \sum_{j=1}^{N(j+1)} \delta_{i+1 j} W_{i+1 k j} \quad (\text{III.7})$$

La modification des poids $W(n)$, est des biais $b(n)$ est obtenu par les deux équations suivantes :

$$W_{ijk}(n+1) = W_{ijk}(n) + \eta \delta_{ik} x_{i-1 j} + \Omega(W_{ijk}(n) - W_{ijk}(n-1)) \quad (\text{III.8})$$

$$b_{ik}(n+1) = b_{ik}(n) + \eta \delta_{ik} \quad (\text{III.9})$$

Où η est le pas d'apprentissage qui détermine la vitesse de convergence, et Ω est le momentum ou le terme d'inertie qui empêche l'algorithme de rester bloqué sur un minimum local typiquement $\Omega=0.9$.

III.7.2. Le réseau à fonction de base radiale RBF

Un réseau à fonction de base radiale (Radial basis Function), est basé sur une architecture qui s'organise en deux couches seulement ; une couche cachée et une couche de sortie.

La couche caché, constitué des neurones ou noyaux à une fonction de base radiale qui effectue une transformation non linéaire de l'espace d'entrée. La couche de sortie calcule une combinaison linéaire des sorties de la couche cachée, mais il est possible de d'utiliser une fonction non linéaire comme fonction de sortie.

Chaque noyau calcule la distance entre l'entrée et son centre qu'il passe en suite dans un non linéarité accomplie par une fonction d'activation gaussienne. La valeur de la sortie du noyau plus proche de son centre. Un RBF peut approximer n'importe quelle fonction continue, s'il possède un nombre suffisent de neurones [8].

III.7.2.a. Architecture du RBF

Par contre au MLP, le RBF ne contient pas une couche d'entrée et le nombre de couche ne dépend pas de la complexité du calculs à effectuer, la fonction d'activation est toujours une gaussienne (Figure III.8). L'écarte type de la gaussienne représente la distance entre l'entrée et le centre de noyau. Lorsque cette distance devient impotente la sortie du réseau est donnée par la formule suivante :

$$Y_i = \sum_{k=1}^{N_1} W_{kj} \varphi_k(\|x - c_k\|) \quad (\text{III.10})$$

$$\varphi(\xi) = e^{-\left(\frac{\xi^2}{2\eta^2}\right)} \quad (\text{III.11})$$

Où x , est le vecteur d'entrée, c_k le centre de noyau k , N_1 le nombre de noyaux de la couche caché, et les W_{ik} sont les poids de la couche de sortie, η est un paramètre qui permet de contrôler la vitesse de décroissement de la fonction φ .

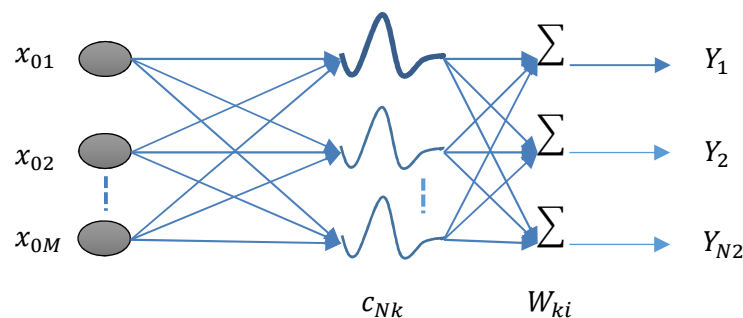


Figure III.8. Architecture d'un réseau RBF.

III.7.2.b. Apprentissage du RBF

L'apprentissage du RBF est composé d'une règle non supervisée pour l'adaptation des centres et une règle supervisée pour l'adaptation des poids [8].

III.8. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, on a débuté par l'historique des réseaux neuronaux en suite nous avons donné une analogie entre le neurone formel et le neurone biologique. Les différentes fonctions d'activation et les architectures des réseaux de neurones ont été données, ainsi que les deux types d'apprentissage, supervisé et non supervisé ont été évoqués. Et on a fini par une étude comparative entre le réseau MLP et le réseau RBF leurs principes, leurs architectures et leurs procédures d'apprentissage.

III.9. Références bibliographiques

- [1] A. BOUHOUS, *Utilisation de la méthode de la phase stationnaire et des réseaux de neurones artificiels pour la modélisation d'un résonateur micro-ruban à structure ouverte*, Thèse Magister en Electronique Option Traitement du signal, Université de Batna, 2012.
- [2] K. CHEMACHEMA, *Etude des structures microbandes par la technique des réseaux de neurones application à différentes excitations*, DOCTORAT en SCIENCES en Électronique OPTION Micro-ondes, Université de Constantine 1, 2013.
- [3] Y. TIGHILT, *Identification des antennes micro-ruban multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones*, DOCTORAT en SCIENCES, Université de Sétif, 2011.
- [4] S. BEDRA, *Etude des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes*, DOCTORAT en SCIENCES en Électronique OPTION Micro-ondes, Université de Batna, 2015.
- [5] G. DREYFUS, *Les réseaux de neurones*, Article, École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris (ESPCI), Laboratoire d'Électronique, septembre 1998.

-
- [6] R. ADDACI, *Evaluation De La Fréquence De Résonance Complexe Et De La Bande Passante D'une Antenne Microbande Rectangulaire Par La Méthode Neurospectrale*, Magister En Electronique, Université de Constantine, 2006.
- [7] A. AOUICHE, *Contribution à l'Etude des Structures Microruban Cylindriques par la Méthode Neurospectrale*, DOCTORAT en SCIENCES en Électronique OPTION Contrôle, Université de Batna 2, 2016.
- [8] N. HAMDIKEN, *analyse d'une antenne microbande circulaire par la méthode Neurospectrale*, Thèse de Magister en Electronique Option Communication, Université de Batna, 2009.
- [9] W.S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of ideas immanent in nervous activity", Bull. Mathematical Bio-physics, Vol. 5, 1943, pp. 115-133.
- [10] [http://www.wigm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2002/Neurones/index.php?rubrique=Neurone biologique](http://www.wigm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2002/Neurones/index.php?rubrique=Neurone%20biologique).

Chapitre IV

Résultats numériques et discussions

IV.1. Introduction	59
VI.2. Description générale du système conçu	59
IV.3. Mise en forme de la base de données (Apprentissage et Validation).....	60
IV.4. Procédure de collecte des données et l'analyse d'affaiblissement.....	61
IV.5. Apprentissage du réseau MLP.....	61
IV.6. Optimisation de l'architecture	63
IV.6.1. Architecture N°1 (Milieu Suburbain)	64
IV.6.2 Architecture N°2 (Milieu Rural).....	67
IV.7. Application des modèles optimisés (Milieu Suburbain-Rural)	70
IV.8. Comparaison des résultats obtenus par notre modèle avec ceux obtenus par deux modèles empiriques	73
IV.9. Conclusion.....	76

IV.1. Introduction

La modélisation basée sur les techniques l'intelligence artificielle qui constitue l'essentiel de ce chapitre, n'utilise en principe aucune hypothèse simplificatrice. Donc cette modélisation permet de fournir des solutions pratiques (précision et temps du calcul moins élevé).

Dans ce chapitre, nous présentons l'applicabilité des réseaux de neurones artificiels (RNA) pour la modélisation des pertes de trajectoire du réseau GSM.

On peut justifier ce choix par les caractéristiques intéressantes de MLP :

- MLP est de type FeedForward, dans notre cadre d'étude, le type FeedForward semble le meilleur choix puisque une couche ne peut utiliser que les sorties des couches précédentes.
- Un apprentissage supervisé : l'association d'une configuration d'entrée à une configuration de sortie, une exigence sur laquelle est basé notre projet.

VI.2. Description générale du système conçu

Notre objectif c'est la conception d'un modèle neuronal de type MLP pour lequel on peut faire la planification et la densification d'un réseau GSM lors de leur déploiement.

L'importance majeur de cette étude permet d'améliorer au mieux les interfaces radio en termes de performance, et d'optimiser les réseaux GSM (détermination des zones de couverture (choix des sites, allocation des fréquences, définition des puissances, gains d'antenne, etc.) et de déterminer les perturbations inévitables).

L'étape principale de cette modélisation c'est la collection d'une base de données d'apprentissage expérimentale qui contient les paramètres suivants : Hauteur station de base (**H_b**), Hauteur antenne mobile (**H_s**), fréquence, Distance et l'affaiblissement enregistré à chaque point de mesure.

A partir de cette base de données le modèle sera capable de faire l'estimation de perte.



Figure IV.1. Synoptique du modèle neuronale.

IV.3. Mise en forme de la base de données (Apprentissage et Validation)

L'apprentissage de réseau se fera par un modèle d'apprentissage parallèle. Afin de pouvoir générer l'apprentissage du réseau, il est nécessaire de créer une base d'apprentissage.

Comme l'apprentissage est supervisé, cette base doit contenir à la fois l'entrée du réseau et la sortie souhaitée. D'une manière générale, les bases de données doivent subir une phase de prétraitement (Preprocessing) (Figure IV.2) afin d'être adaptées aux entrées de neurones et de rendre la formation de réseau neurologique plus efficace. Un prétraitement courant consiste à éliminer les discontinuités artificielles dans l'espace de fonction d'entrée et de ramener les entrées de problème à un ensemble d'informations appropriées. Ensuite il faut faire une normalisation appropriée, qui tienne compte de l'amplitude des valeurs acceptées par le réseau.

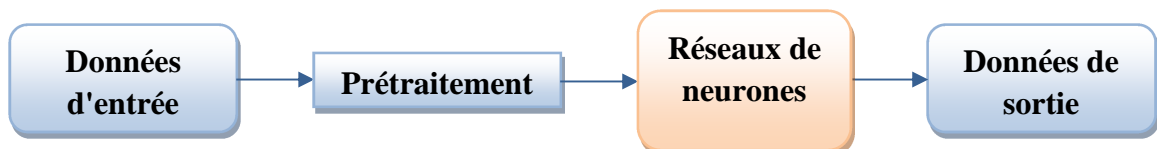


Figure IV.2. Phase de prétraitement de la base de données.

IV.4. Procédure de collecte des données et l'analyse d'affaiblissement

L'expérimental de Drive-Test a été faite (par un ingénieur BSS chez l'opérateur mobile National « MOBILIS Batna ») sur un rayon de 2.5 km pour BTS1 et BTS2 couvrant la zone de « El Madher », le milieu de propagation autour de cette région est classée comme une zone suburbain, et sur un rayon de 1 km pour BTS3 couvrant une petite zone rurale traversée d'une route dans le village de "Bouhilef" 6 km du centre-ville de Batna, et un rayon de 1 kilomètres pour La BTS4 à "Bouzina" couvrant une zone rurale plus grande que la dernière, Il est supposé que "Handover" automatique se produit à des stations de base adjacentes, lorsque l'intensité du signal est faible.

Les données ont été collectées lors de la conduite d'une voiture, ayant la configuration expérimentale. Il se compose d'un téléphone Mobile Spécial (Huawei U6100) un récepteur GPS (NMEA), une antenne de réception, et un ordinateur portable avec une clé et un logiciel de Drive-Test (Huawei GENEX Probe). Le véhicule a été conduit à l'intérieur de la zone de couverture des stations de base, tout en enregistrant en continu la puissance du signal reçu. À tous les instants des mesures collectées, les données GPS est également enregistré en simultané.

Les informations de la station de base telle que la fréquence de transmission ou réception, puissance transmise, et les hauteurs d'antennes sont obtenus à partir de l'opérateur « Mobilis » de la ville de Batna aux fins d'analyses. Avec l'aide de données GPS, et de connaître l'emplacement des stations de base, les distances radiales de la station de base à un point quelconque de la route peuvent être calculés. Les positions des stations de base sont présentées dans la Figure IV.3.

IV.5. Apprentissage du réseau MLP

Deux bases de données utilisées pour l'optimisation des structures neuronales qui sont composées de 196 et 186 échantillons (ce nombre d'échantillons est suffisant pour notre modélisation). Ces bases de données sont subdivisées par la suite entre un ensemble d'apprentissage et un autre de test. Les bases d'apprentissage sont composée de (45%), les bases de test quant à eux sont

formées de (33%) éléments qui sont réservés à la mesure finale de la performance, et des bases de validation de (22%) exemples. Les échantillons de test, de validation et d'apprentissage doivent être différents et sont choisis aléatoirement à partir de la base de données originale.

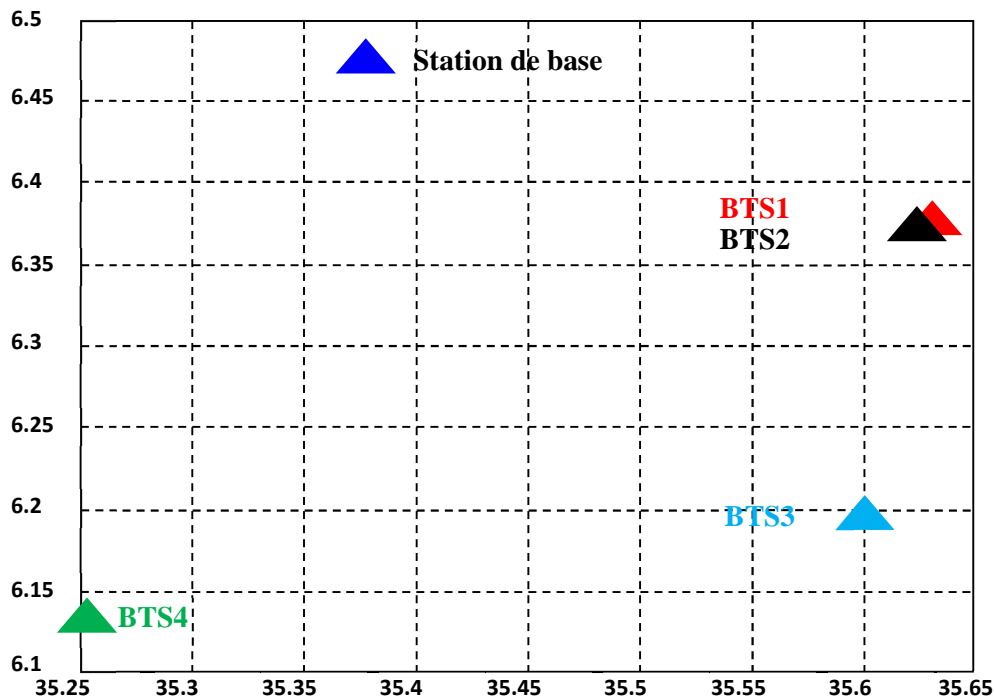


Figure IV.3. Positionnement des stations de base en fonction de Latitude et longitude.

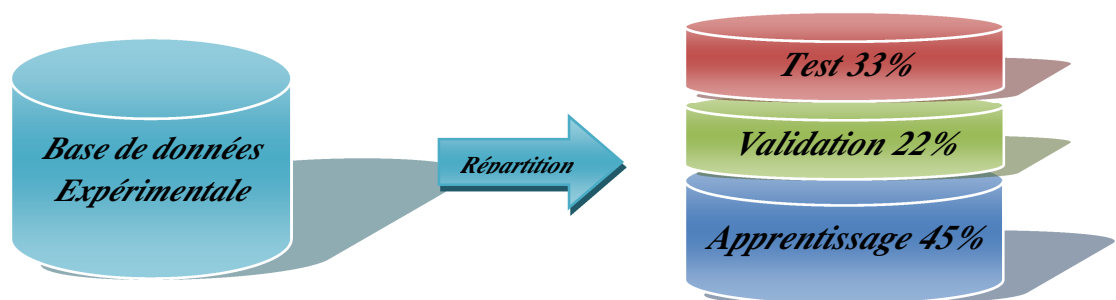


Figure IV.4. Répartition des bases de données en 3 sous-ensembles.

Le processus d'optimisation (apprentissage, validation et test) a été abouti pour N itérations pour lesquels la stabilisation de l'erreur a été obtenue. Des nombres de

neurone dans les premières et deuxièmes couches ont été changés et l'erreur associée d'optimisation a été enregistrée. Dans notre travail, on a utilisé l'algorithme de rétro propagation.

À noter que la fin du programme peut être causée par:

- MSE (Mean Squared Error) est inférieur à l'erreur minimale à atteindre (seuil S).
- Le nombre maximum d'itération N atteint.

IV.6. Optimisation de l'architecture

La méthode d'optimisation choisie pour résoudre tel ou tel problème dépend essentiellement de la nature des paramètres à optimiser mais aussi du problème donné.

Par conséquent il n'existe pas une méthode d'optimisation suffisamment générale pour résoudre tous les problèmes, mais plutôt une multitude de méthodes adaptées à chaque cas, donc le problème traité dans notre mémoire suffit à trouver le nombre optimal des couches cachées et le nombre de neurones dans chaque couche, alors on a constaté que le réseau de deux couches a réalisé la tâche avec l'exactitude la plus élevée.

A noter que plus l'architecture du réseau augmente, c'est à dire plus le nombre de couches et de neurones augmente, plus le réseau contiendra de connexions, ce qui implique un apprentissage et un traitement de plus en plus lent, ces architectures ont été choisie par un processus d'optimisation qui est illustré dans la Figure IV.5.

Une fois le réseau de neurones entraîné (après apprentissage), il est nécessaire de le tester sur une base de données différente de celle utilisée pour l'apprentissage. Ce test permet à la fois d'apprécier les performances du système neuronal et de détecter le type de données qui pose problème. Si les performances ne sont pas satisfaisantes, il faudra modifier l'architecture du réseau.

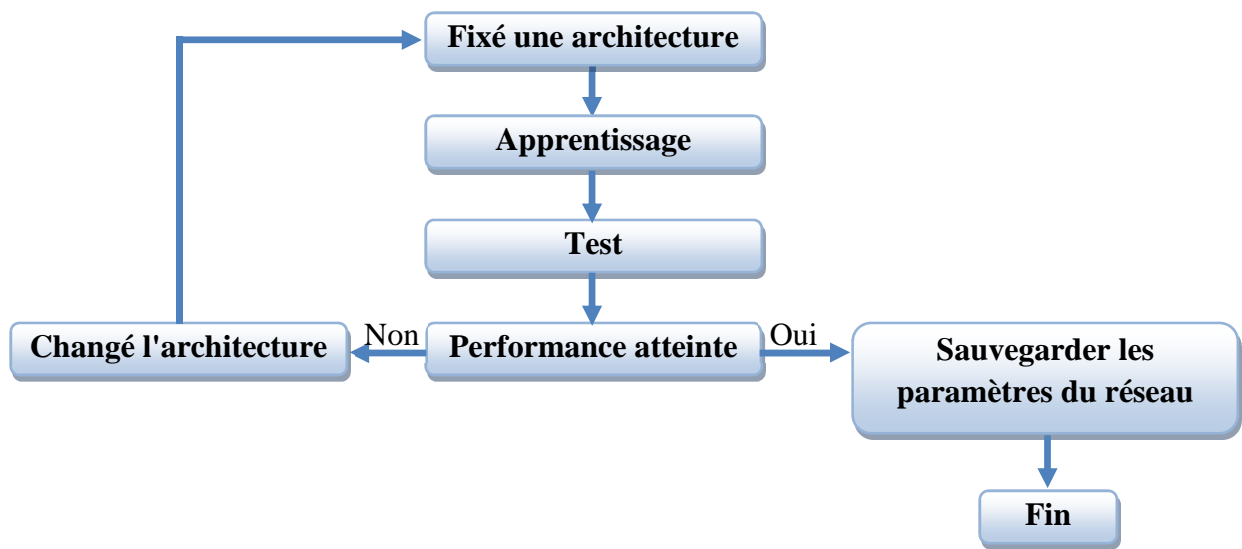


Figure IV.5. Optimisation de l'architecture.

Après avoir testé plusieurs possibilités d'apprentissage et mesurer les performances, nous avons trouvés les architectures suivantes.

IV.6.1. Architecture N°1 (Milieu Suburbain)

IV.6.1.1. Interprétation des résultats numériques

Afin de valider la propriété prédictive de la structure optimisée de réseau, les ensembles de testet d'apprentissage ont été comparés à la réponse du modèle neuronal. Les Figure IV.6. a et IV.6. b, montrent que dans les deux cas, un très bon accord entre les résultats expérimentales et les résultats prévus (RNA) a été obtenu. Par conséquent, la structure optimisée peut être utilisée pour prédire d'autres combinaisons des variables d'entrée.

Dans ce qui suit, nous allons interpreter les performances du réseau MLP optimisé en comparant nos résultats avec les mesures réelles.

La figure IV.7 montre une comparaison entre les résultats prédits par le modèle neuronal (RNA) pour différentes distances D (m) avec ceux mesurés dans le cas d'un milieu suburbain.

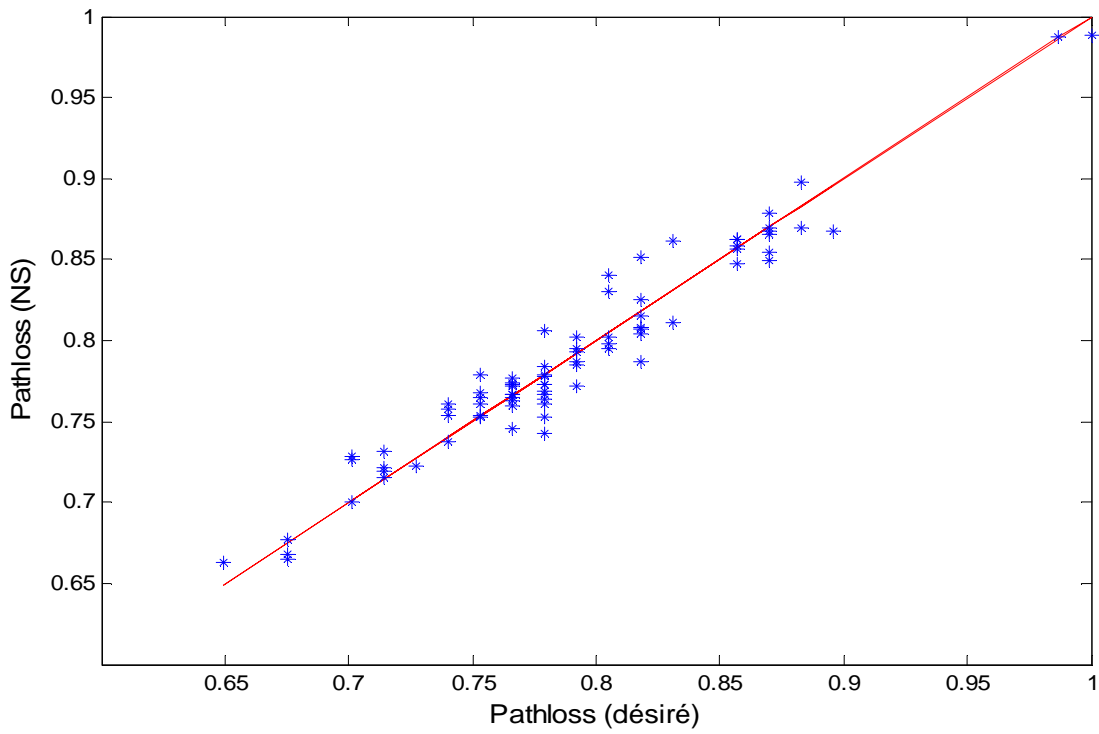


Figure IV.6. a. Validation de notre modèle neuronal pour l'ensemble d'apprentissage.

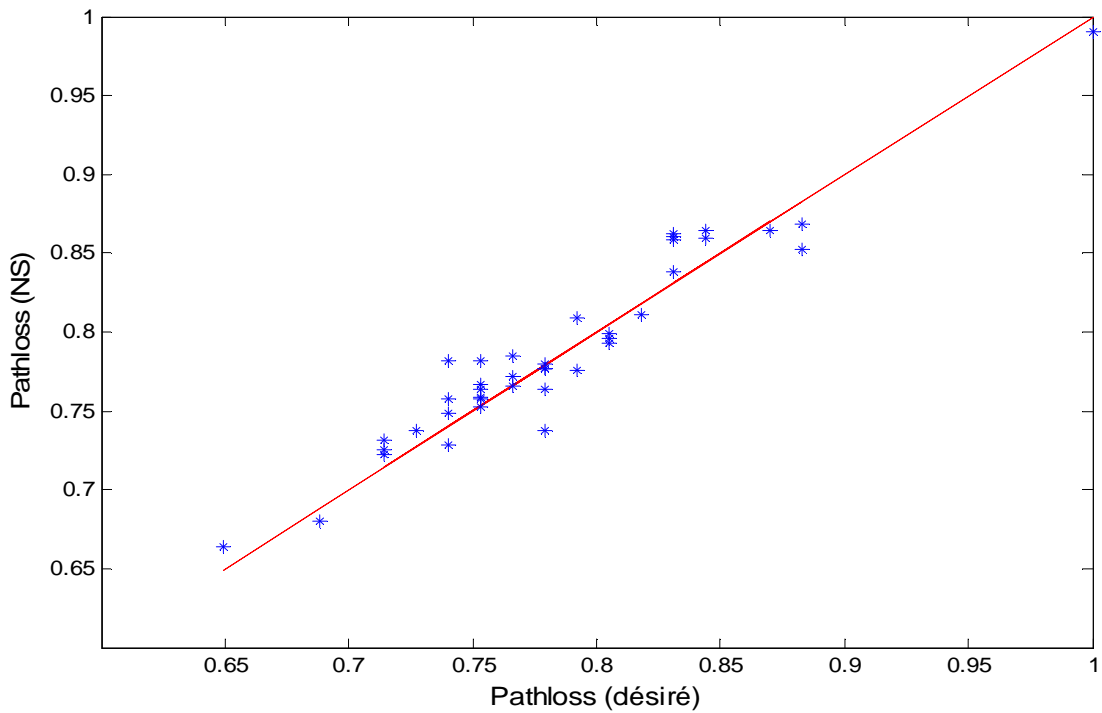


Figure IV.6. b. Validation de notre modèle neuronal pour l'ensemble de test.

Comme il est montré, un accord entre eux peut être observé pour toute la gamme de simulation. Cette dernière observation montre l'applicabilité des réseaux de neurones artificiels à l'étude des pertes dans le réseau GSM.

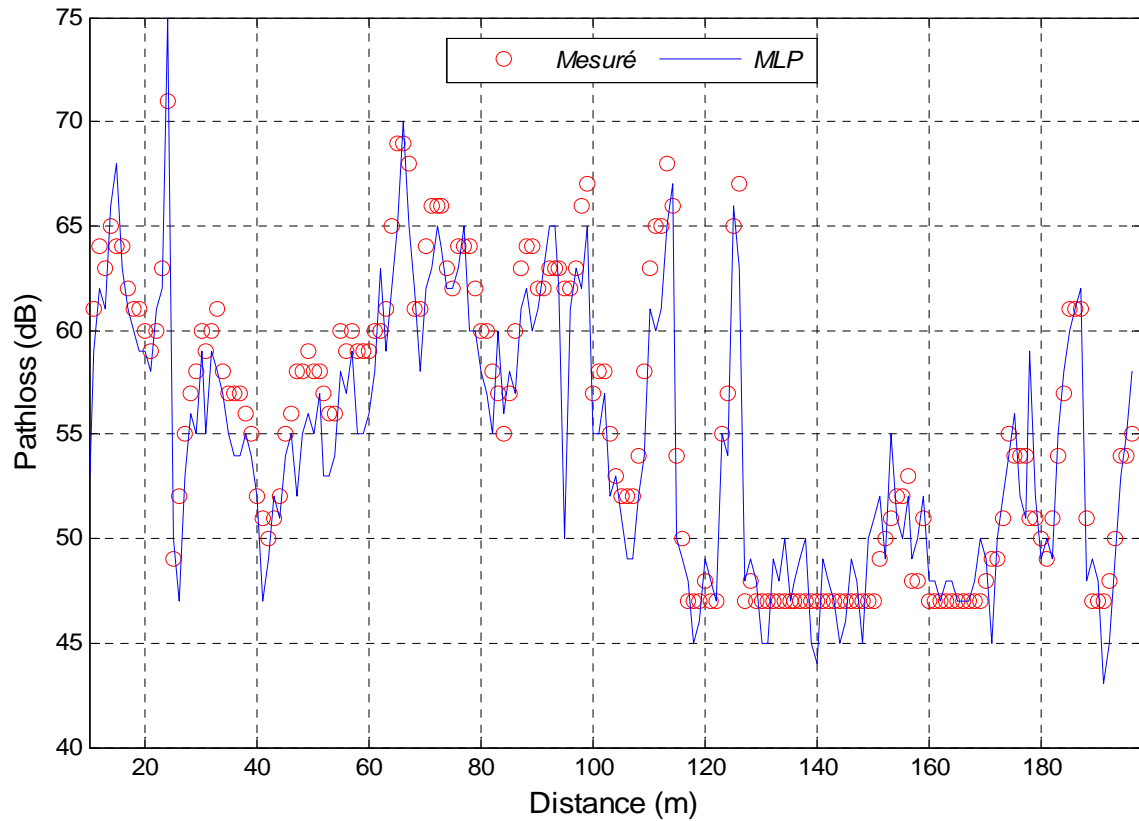


Figure IV.7. Comparaison résultats mesuré et MLP (Milieu Suburbain).

IV.6.1.2. Modèle finale N°01 (Milieu Suburbain)

Après avoir modélisé le réseau MLP et faire les optimisations nécessaires, nous avons pu choisir la meilleure structure qui est représenté dans le tableau IV.1.

Par la suite nous allons comparer les résultats trouvés par ce modèle avec d'autres modèles empiriques.

Tableau IV.1. Les paramètres optimisés pour le modèle final.

Architecture	Feed-Forward MLP				
Couche cachée	2				
Algorithme d'apprentissage	Rétro propagation des erreurs				
Nombre de neurones	Couche d'entrée	4			
	1 ^{ère} couche cachée	15			
	2 ^{ème} couche cachée	10			
	Couche de sortie	1			
La fonction de transfert	Couche d'entrée	Log-sigmoïde			
	1 ^{ère} couche cachée	Log-sigmoïde			
	2 ^{ème} couche cachée	Log-sigmoïde			
	Couche de sortie	linéaire			
Définition des entrées		<i>fr</i> (mhz)	<i>Hb</i> (m)	<i>Hs</i> (m)	<i>D</i> (km)
	Max	1800	35	2	2.3
	Min	957.4	18	1	0.01
Le seuil	$< 4 \times 10^{-4}$				
Base de données	Apprentissage	88			
	Test	64			
	Validation	44			

IV.6.2 Architecture N°2 (Milieu Rural)

IV.6.2.1. Interprétation des résultats numériques

La corrélation qui peut exister entre les deux sorties, désirées et celles obtenues par le réseau et ceci pour l'ensemble de test et l'ensemble d'apprentissage. Ce dernier sera mis en évidence à partir de la figure.VI.8.a et la figure.VI.8.b

représentent bien que les deux résultats (sorties) sont presque identiques pour l'ensemble de test et pour l'ensemble d'apprentissage.

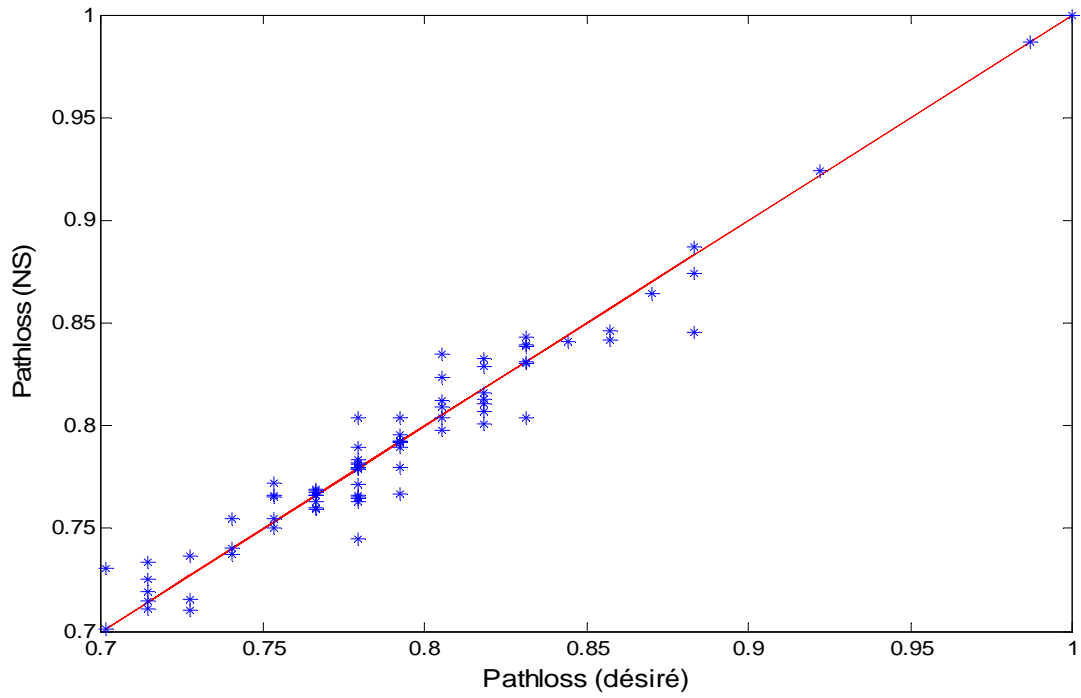


Figure IV.8.a. Validation de notre modèle neuronal pour l'ensemble d'apprentissage.

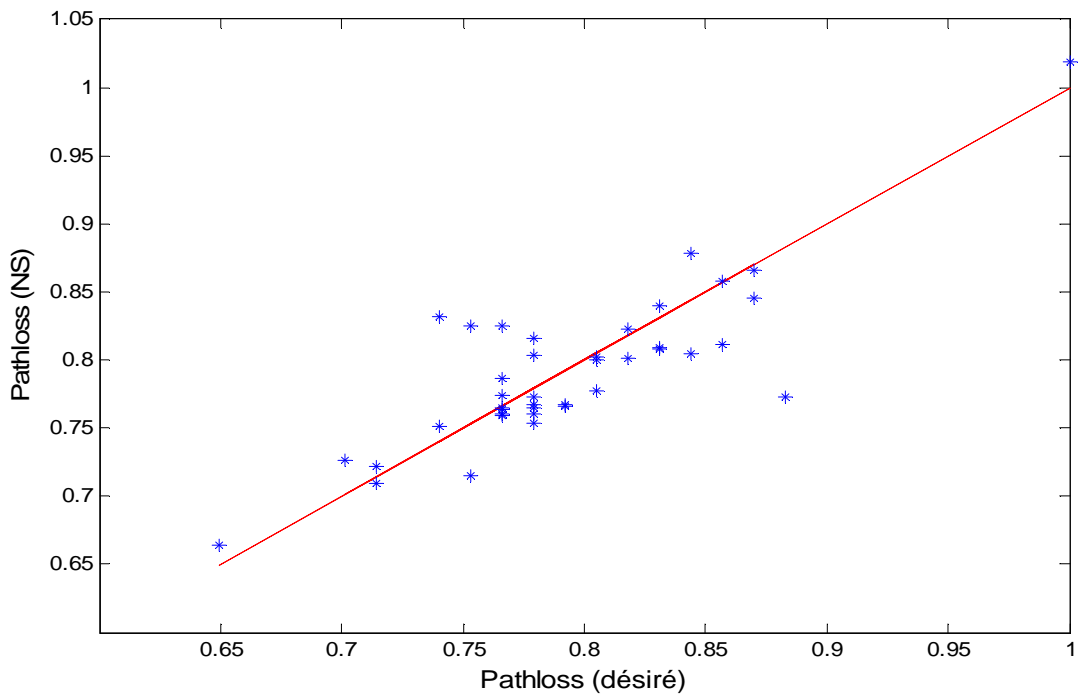


Figure IV.8.b. Validation de notre modèle neuronal pour l'ensemble de test.

Dans ce qui suit, nous allons interpréter les performances du réseau MLP optimisé en comparant nos résultats avec les mesures réelles.

La figure IV.9 présente les différents résultats de la simulation comparés avec ceux des mesures réelles en utilisant les courbes de tendance et pour mieux comparé les résultats de notre model avec la base de données.

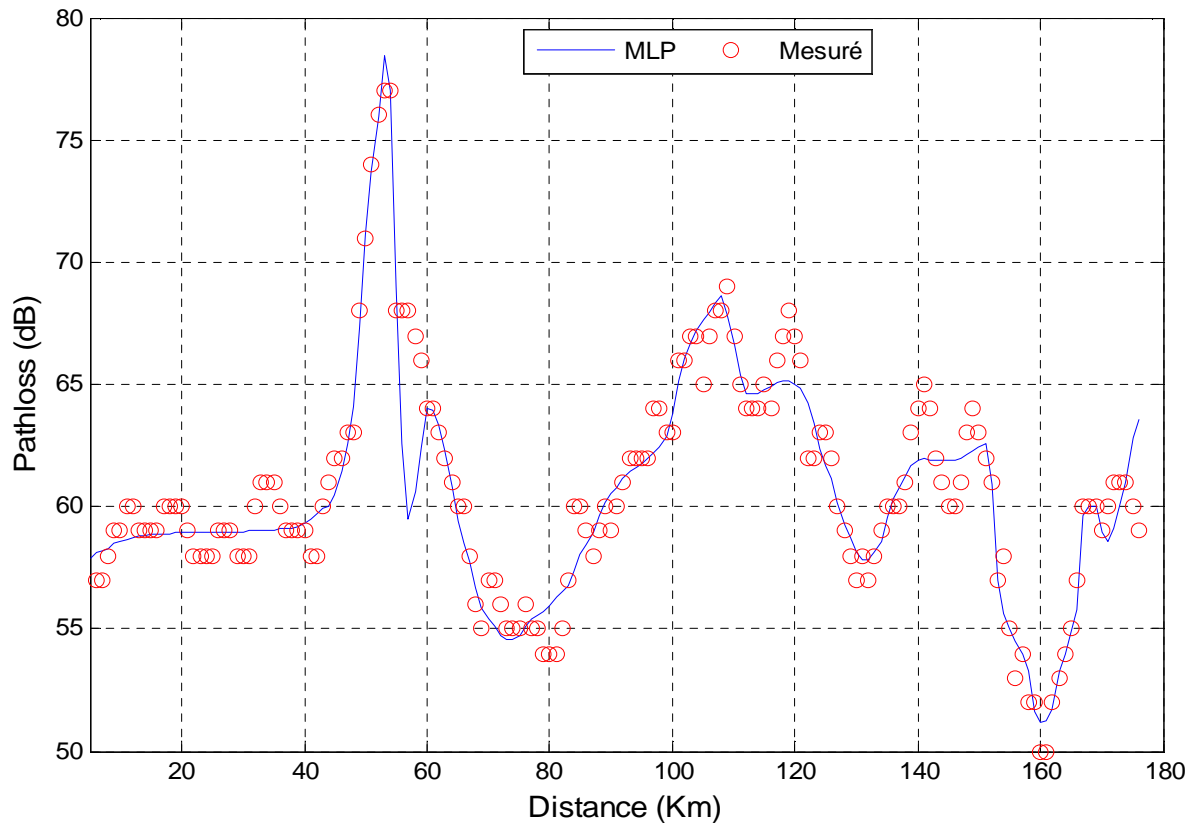


Figure IV.9. Comparaison résultats mesuré et MLP (Milieu Rural).

IV.6.2.2. Modèle finale N°02 (Milieu Rural)

Après avoir modélisé le réseau MLP et faire les optimisations nécessaires, nous avons pu choisir la meilleure structure qui est représenté dans le tableau IV.3.

Par la suite nous allons comparer les résultats trouvés par ce modèle avec d'autres modèles empiriques.

Tableau IV.3. Les paramètres optimisés pour le modèle final.

Architecture	Feed-Forward MLP				
Couche cachée	2				
Algorithme d'apprentissage	Rétro propagation des erreurs				
Nombre de neurones	Couche d'entrée	4			
	1 ^{ère} couche cachée	15			
	2 ^{ème} couche cachée	10			
	Couche de sortie	1			
La fonction de transfert	Couche d'entrée	Log-sigmoïde			
	1 ^{ère} couche cachée	Log-sigmoïde			
	2 ^{ème} couche cachée	Log-sigmoïde			
	Couche de sortie	linéaire			
Définition des entrées		<i>fr</i> (mhz)	<i>Hb</i> (m)	<i>Hs</i> (m)	<i>D</i> (km)
	Max	1800	21	2	2.3
	Min	957.4	20	1	0.01
Le seuil	$< 4 \times 10^{-4}$				
Base de données	Apprentissage	84			
	Test	61			
	Validation	41			

IV.7. Application des modèles optimisés (Milieu Suburbain-Rural)

Avec une base de données de 196 données dans un milieu Suburbain et 186 données dans un milieu Rural, les mesures réelles sont relevées avec la configuration suivante :

- 86 données avec *Hb*=18m et 110 données avec *Hb*=35m pour un milieu Suburbain.
- 33 données avec *Hb*=20m et 53 données avec *Hb*=21m pour un milieu Rural.

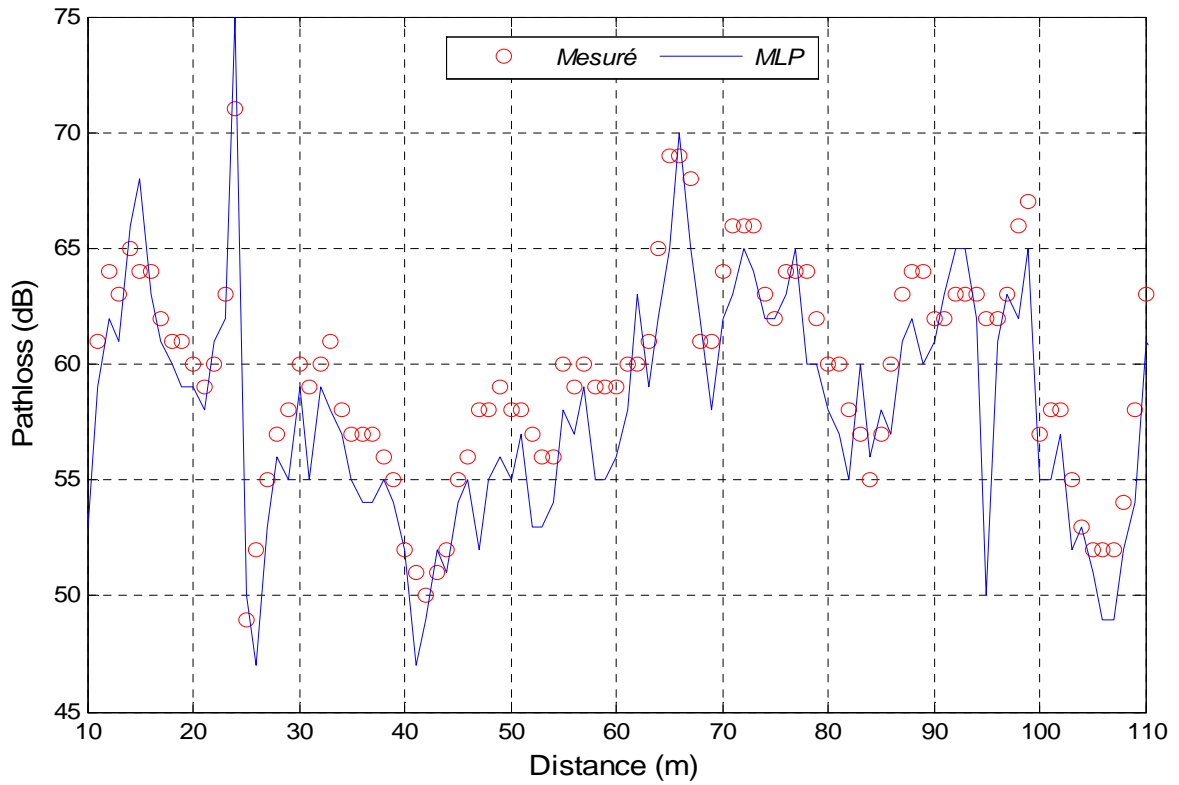


Figure IV.10a. Mesures réelles Hb=18m dans un milieu Suburbain.

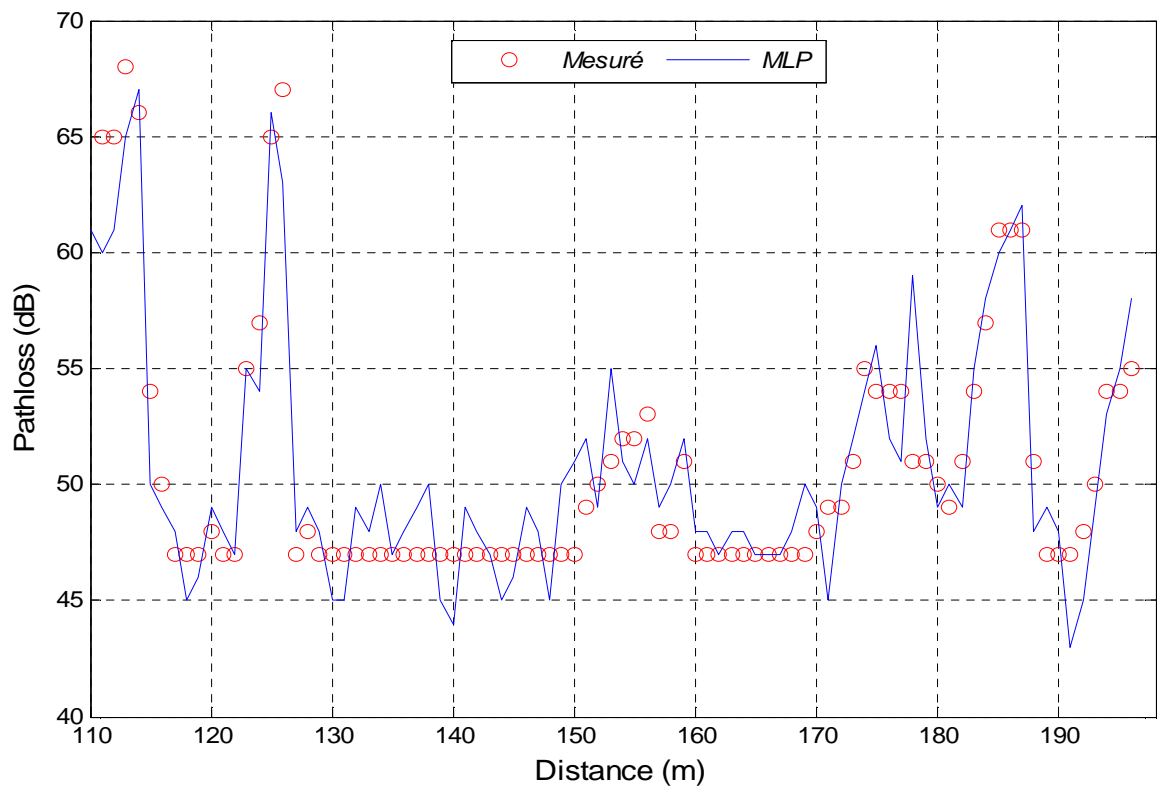


Figure IV.10b. Mesures réelles pour Hb=35m dans un milieu Suburbain.

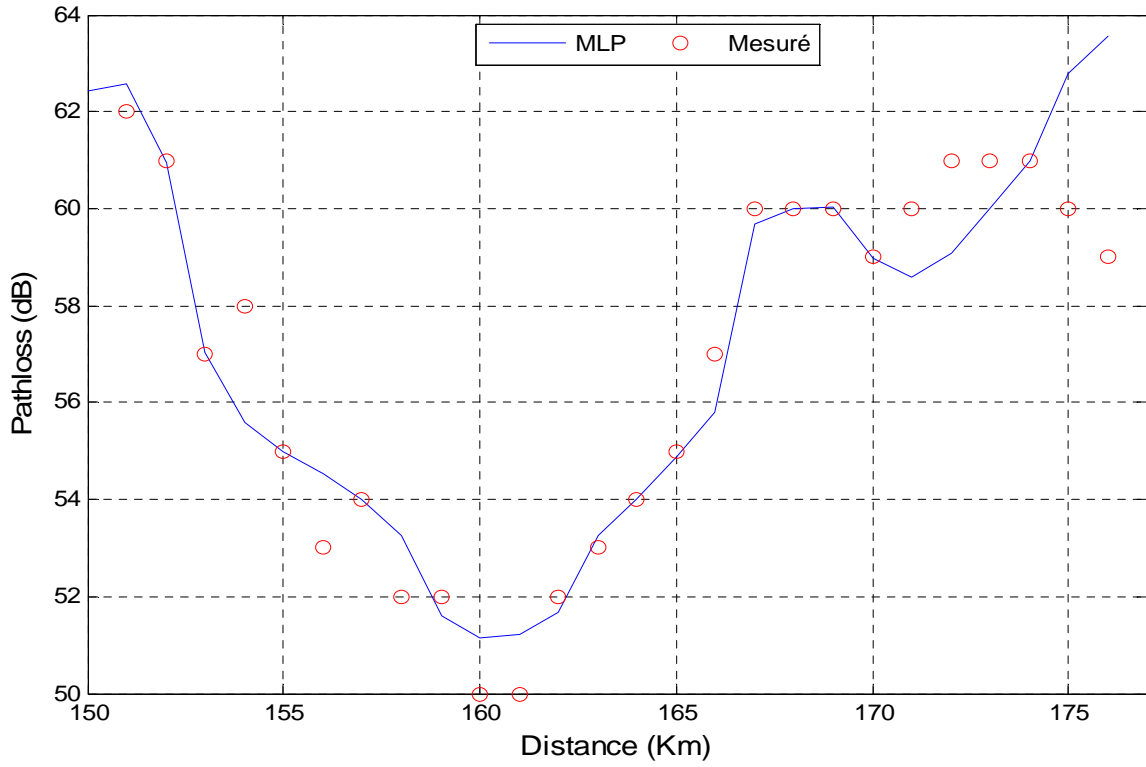


Figure IV.11a. Mesures réelles $H_b=20m$ dans un milieu Rural.

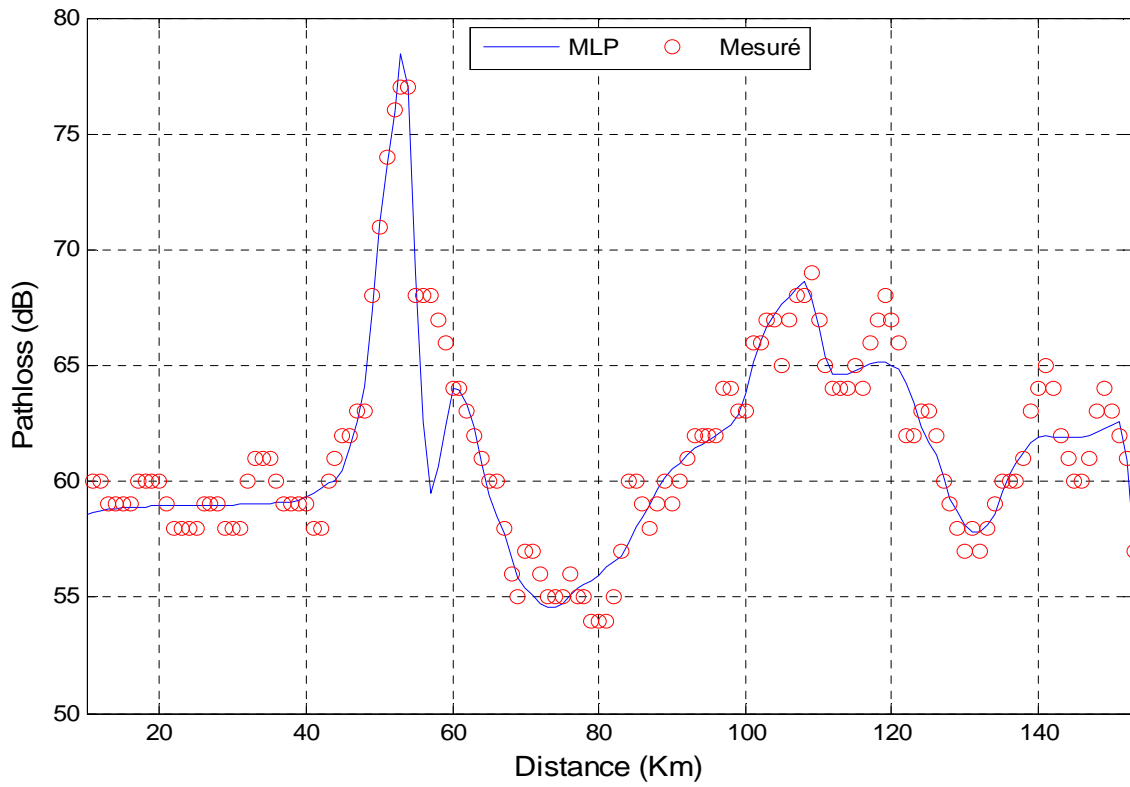


Figure IV.11.b. Mesures réelles du Pathloss pour $H_b=21m$ dans un milieu Rural.

Les Figures IV.10.a-IV.11.b représente une comparaison entre les mesures réelles et notre modèle dans un milieu Suburbain pour $H_b=18m$ et $H_b=35m$ et dans un milieu Rural pour $H_b=20m$ et $H_b=21m$. On constate alors une meilleure superposition de la courbe MLP sur les mesures réelles dans les deux milieux.

IV.8. Comparaison des résultats obtenus par notre modèle avec ceux obtenus par deux modèles empiriques

À présent, nous allons présenterons les résultats obtenus pour 2 milieux différents suburbain et rural, $2H_b$ différentes, les résultats obtenus par le modèle empirique COST-231Hata et le modèle empirique Okumura sans oublié le type d'environnement seront comparé avec ceux obtenu par le MLP.

Les résultats sont illustrés dans les figures IV.12a et IV.12b pour $H_b=18m$, $H_b=35m$ respectivement.

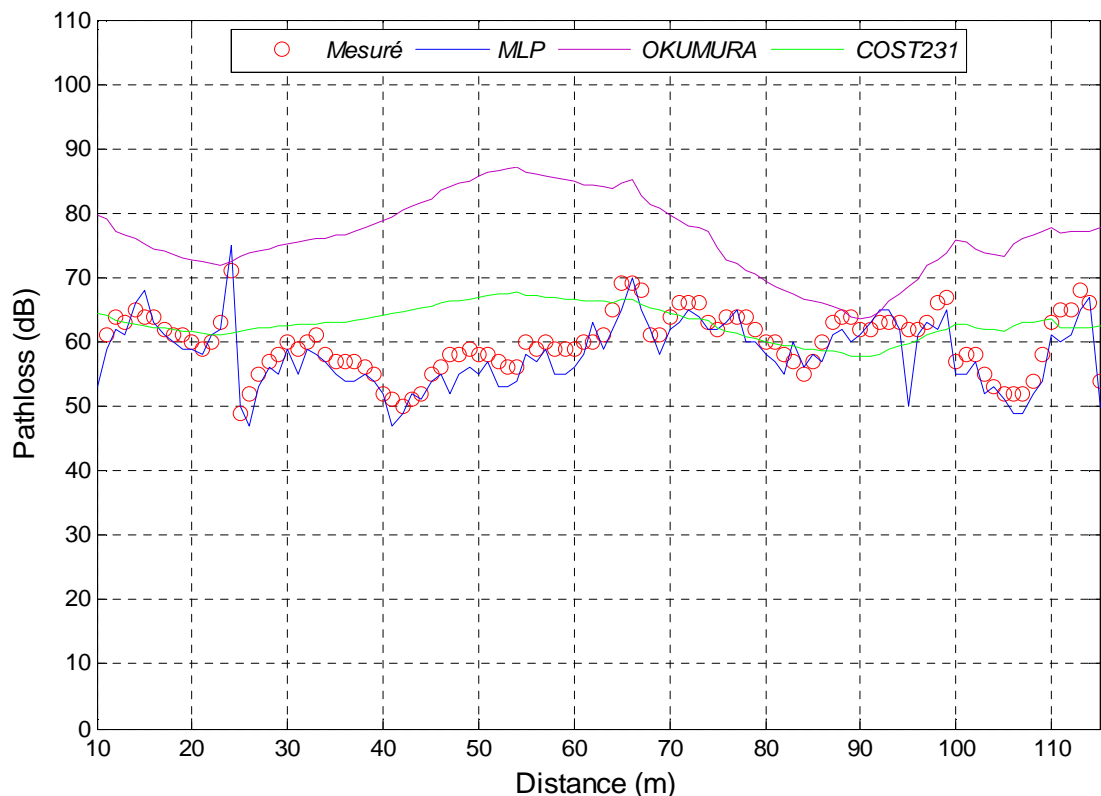


Figure IV.12.a. Evolution du Pathloss en fonction de la distance pour : $H_b=35m$.

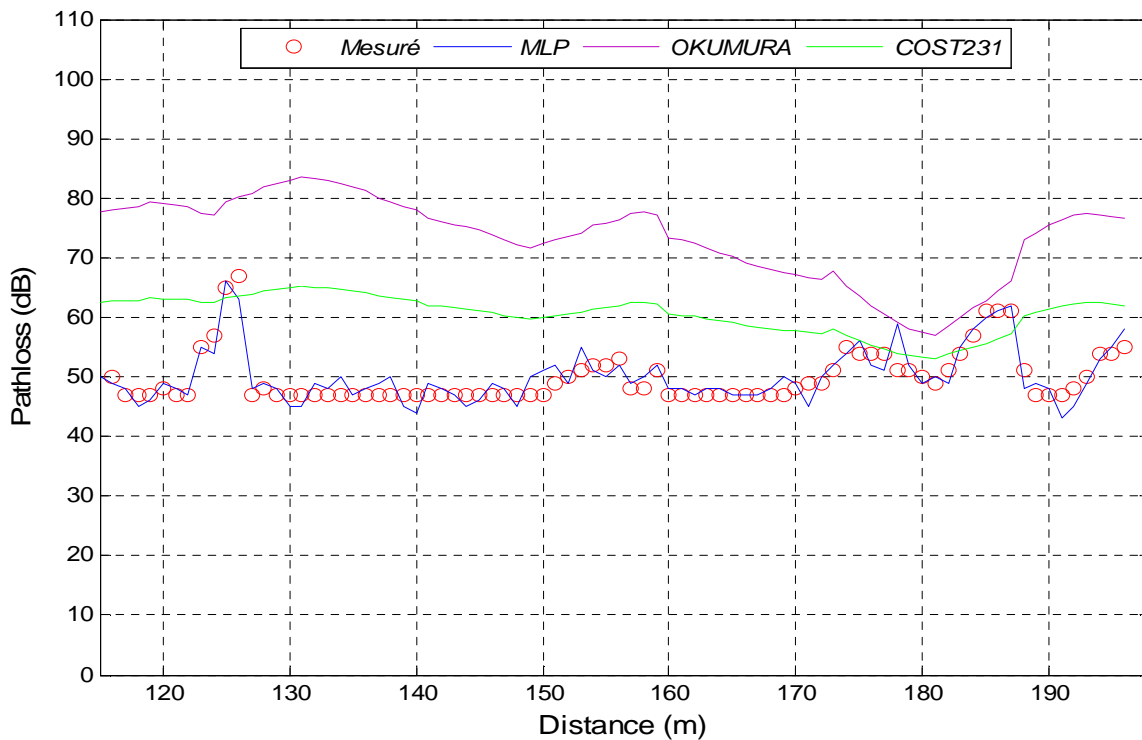


Figure IV.12.b. Evolution du Pathloss en fonction de la distance pour : $H_b=18m$.

Les résultats illustrés dans les figures IV.13a et IV.13b pour $H_b=21m$, $H_b=20m$ respectivement.

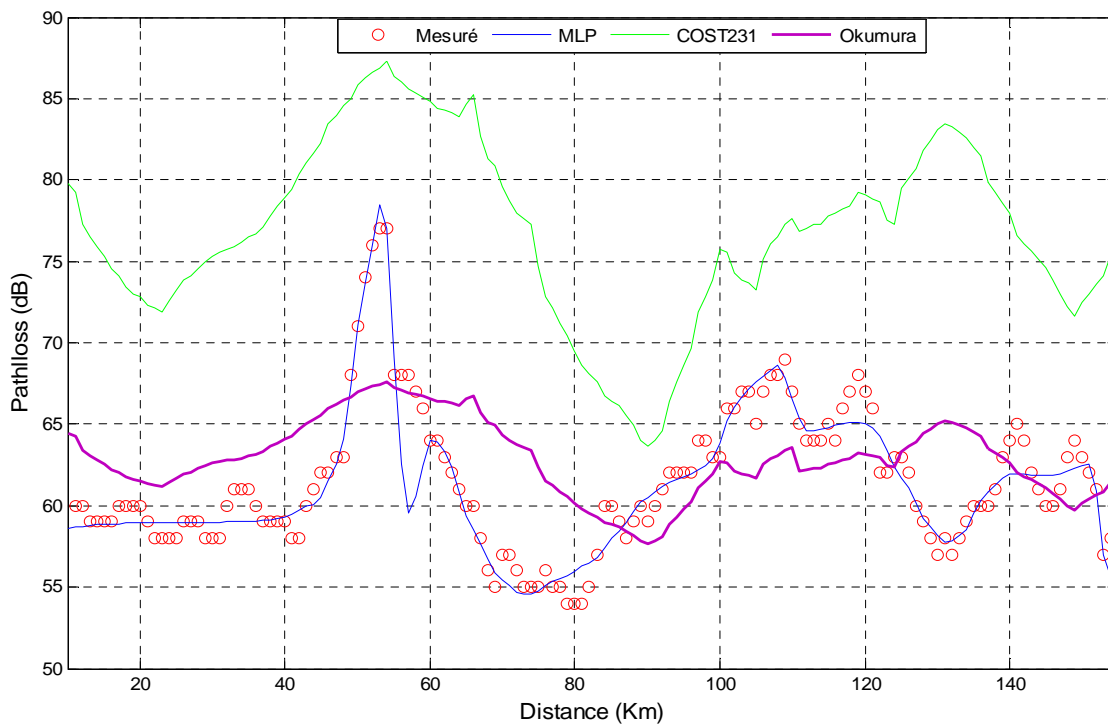


Figure IV.13.a. Evolution du Pathloss en fonction de la distance pour : $H_b=21m$.

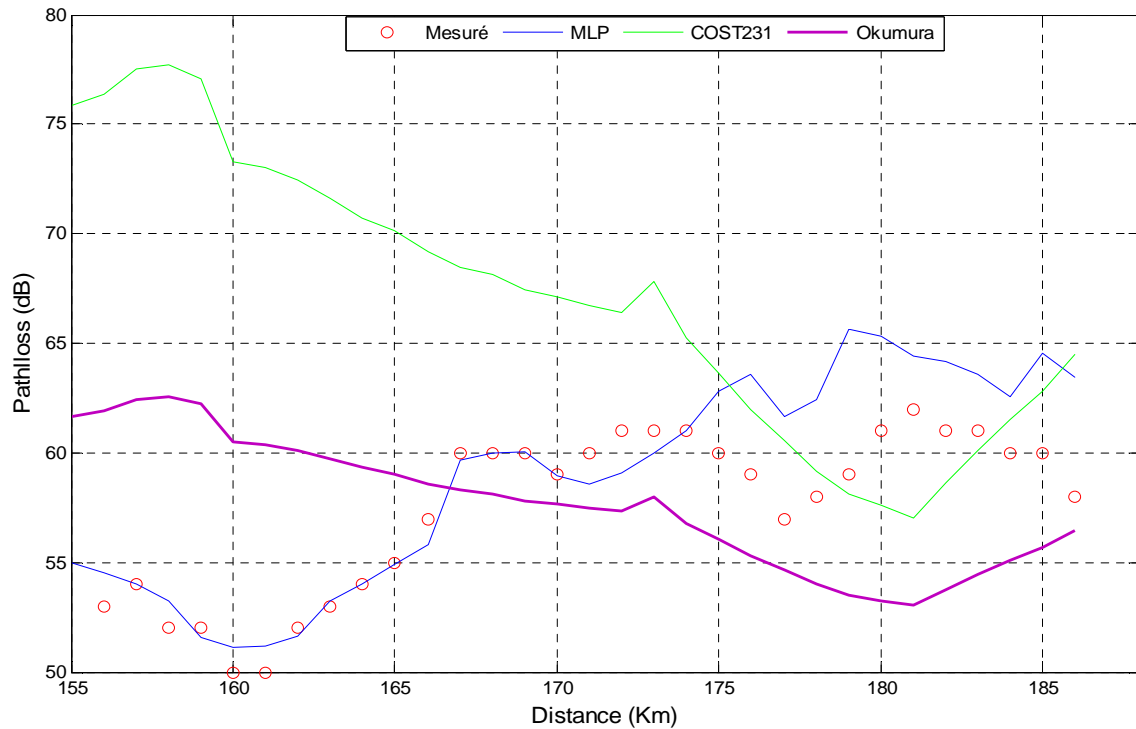


Figure IV.13.b. Evolution du Pathloss en fonction de la distance pour : $H_b=20m$.

A partir des Figure IV.12.a et IV.12.b, les résultats montrent clairement que la perte de trajet mesurée est inférieure à celle prédite par une différence variant de 4 à 20 dB. Cependant, il existe plusieurs raisons qui peuvent causer ces différences significatives. Tout d'abord, au Japon, il y a peu de domaines presque satisfaisant aux conditions de l'espace ouvert; et le cas échéant, elles sont étroites. En raison de cette raison Okumura choisi la valeur de zone urbaine (suburbaine) en tant que norme pour la zone ouverte. En outre, la situation géographique du Japon est différente de celle d'Algérie en raison des différences géographiques.

Les figures IV.13.a et IV.13.b montrent que pour un milieu rural, le modèle Okumura a une meilleure estimation de la perte que le modèle COST231.

IV.9. Conclusion

Ce chapitre visait à prédire la perte de trajet du signal réseau GSM. Il existe de nombreuses méthodes de prédictions basées sur des processus déterministes grâce à la disponibilité de valeurs de données améliorées, mais le modèle Okumura-Hata est le plus couramment utilisé. Cependant, les modèles de prédictions diffèrent quant à leur applicabilité sur les différentes conditions d'environnement et de terrain. Par conséquent, une nouvelle amélioration des modèles de propagations dans la zone ouverte a été suggérée. Cette amélioration a été obtenue en utilisant les réseaux de neurones artificiels entre les valeurs de perte mesurées et prévues afin de fournir suffisamment de MSE pour la prédiction. En effet notre modèle obtenu allées à la fois de précision et vitesse de calcul grâce à l'introduction des réseaux de neurones dans le processus de modélisation. En outre, Si plusieurs ensembles de données est utilisé pour l'entraînement, le modèle neuronal donne des résultats plus robustes, de meilleurs résultats de prédiction pourraient être atteints.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Afin d'offrir un service de téléphonie radio mobile de bonne qualité à leur abonnés, les opérateurs de téléphonie mobile effectuent des études techniques sur ces liaisons prenant en compte les différents affaiblissements. Ainsi que les différents mécanismes et phénomènes de propagation entrent en jeu : la réflexion, la réfraction, la transmission, la diffusion, fading, et les trajets multiples etc. Une estimation précise des pertes de propagation fournit une bonne base pour une conception correcte de la radio ingénierie.

Plusieurs modèles empiriques de prédiction d'affaiblissement ont été développés, la généralisation de ces modèles à n'importe quel environnement est encore discutable. Pour pallier cet inconvénient, les paramètres des modèles empiriques peuvent être ajustés ou réglés en fonction de mesures réelles dans un environnement cible. L'objectif de ce travail est alors l'optimisation de tel modèle ajustant les paramètres de ce dernier afin d'obtenir un minimum d'erreur entre la puissance du signal prédite et mesurée. Cela rendra le modèle plus précis pour la prédiction d'affaiblissement par des techniques d'optimisation globales notamment les algorithmes génétiques.

L'objectif essentiel de cette thèse était d'élaborer un réseau de neurones artificiel pour estimer les pertes d'un signal dans un milieu quelconque, et de comparer cette approche avec les différentes méthodes dans le domaine de prédiction du signal.

Au cours d'élaboration de cette approche ; nous avons réalisé une étude structurée de 4 chapitres dont le premier est dédiée au concept réseau. Nous avons présenté le système cellulaire, l'architecture réseau et les différentes parties qui le composent, les interfaces et la planification réseau, Nous nous sommes aussi intéressés brièvement à la prédiction de la couverture.

Au niveau du second chapitre : on a parlé sur les modèles de prédiction où nous avons décrit en détail les différents modèles : empiriques, semi-empiriques et déterministes. Le troisième chapitre décrit les réseaux de neurones artificiels : leurs structures, les types de RNA. Puis nous avons expliqué l'architecture et l'apprentissage de MLP et on a donné, enfin, quelques exemples sur les domaines d'applications des réseaux de neurones. Dans le quatrième chapitre, on a mis en œuvre un réseau de neurone de type MLP. Après

l'optimisation de ce dernier, nous avons appliqué la meilleure architecture trouvée pour le reste du travail :

- Pour estimer la perte du signal dans les trois milieux possible (rural, Banlieue et urbain).
- Pour comparer la performance de cette architecture avec les performances des modèles empiriques.

Pour le premier travail, les résultats de notre modèle sont clairs, la courbe de ce dernier suit l'allure des pertes mesurées, c'est-à-dire, cette courbe 'est submergé dans le nuage crée par les variations de la perte mesurée', de ce point, on peut dire que les pertes mesurées sont simulées par notre réseau MLP avec succès.

Pour le deuxième travail, en consultant, simplement, les erreurs commises par les trois modèles, on arrive à cette conclusion : le modèle neuronal est le plus précis, le plus performant et le plus apte à estimer les pertes du signal.

Notre objectif principal était d'estimer la perte d'un signal avec les réseaux de neurones, les résultats trouvés dans cette thèse prouvent que cet objectif est atteint avec succès.

Enfin, on peut dire qu'autre approche pour estimer les pertes d'un signal, totalement différente que celles utilisées dans ce domaine, prouve ses préférences au milieu de ces approches, cette approche est bien évidemment l'exploitation des réseaux de neurones artificiels.

Résumé : L'un des problèmes majeurs dans le système de communication est la perte d'information dans les liaisons entre émetteur et récepteur. Les modèles caractérisant les pertes sont des modèles semi-empiriques incapables de donner de bons résultats dans toutes les situations. Le but de ce projet est de proposer un modèle fiable basé sur les techniques d'intelligence artificielle. En effet notre modèle obtenu allées à la fois de précision et vitesse de calcul.

Mots clés : Réseaux mobiles (GSM), Modèles de prédiction, Milieu urbain, suburbain, et rural, réseaux de neurones artificiels

Abstract : One of the major problems in the communication system is the loss of information in the links between transmitter and receiver. The models characterizing the losses are semi-empirical models incapable of performing well in all situations. The aim of this project is to propose a reliable model based on artificial intelligence techniques. Indeed, our model got allied both of precision and speed of calculation.

Keywords: Mobile networks (GSM), Prediction models, Urban, suburban and rural environments, artificial neural networks

ملخص : واحدة من المشاكل الرئيسية في نظام الاتصالات هو فقدان المعلومات في الاتصالات بين المرسل والمتلقي. النماذج التي تميز الخسائر نماذج شبه تجريبية غير قادرة على إعطاء نتائج جيدة في جميع الحالات. والغرض من هذا المشروع هو تقديم نموذج موثوق استنادا إلى تقنيات الذكاء الاصطناعي. النموذج المحصل عليه يجمع بين من الدقة والسرعة المحسوبة معا. **كلمات مفتاحية :** الشبكات المتنقلة (GSM)، ونماذج التنبؤ، في المناطق الحضرية والضواحي، والريفية، والشبكات العصبية الاصطناعية.