


Université de Québec en Abitibi-Témiscamingue

**Radiolocalisation en milieu interne dynamique
avec la technique d’empreinte digitale et les réseaux ANN**

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN INGÉNIERIE

Par
Bilal Wehbé

Novembre 2012



BIBLIOTHÈQUE

Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue

Mise en garde

La bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue a obtenu l'autorisation de l'auteur de ce document afin de diffuser, dans un but non lucratif, une copie de son œuvre dans Depositum, site d'archives numériques, gratuit et accessible à tous.

L'auteur conserve néanmoins ses droits de propriété intellectuelle, dont son droit d'auteur, sur cette œuvre. Il est donc interdit de reproduire ou de publier en totalité ou en partie ce document sans l'autorisation de l'auteur.

Warning

The library of the Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue and the Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue obtained the permission of the author to use a copy of this document for non-profit purposes in order to put it in the open archives Depositum, which is free and accessible to all.

The author retains ownership of the copyright on this document. Neither the whole document, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

Ce travail de recherche présente une nouvelle approche qui vise à faire de la radiolocalisation dans un environnement interne variable dans le temps ou dynamique, en utilisant une technique basée sur l'extraction des signatures de la réponse impulsionnelle du canal (CIR). Cette dernière est générée par une simulation de l'environnement, en utilisant un logiciel prédéfini, en fonction de la position de l'utilisateur. Un réseau de neurones artificiels (ANN) est utilisé comme algorithme de jumelage.

La technique basée sur les signatures utilisée donne de meilleurs résultats dans un canal de propagation statique. Mais en réalité, le canal de propagation est dynamique, et par conséquent, cette technique souffre d'une dégradation de la précision et affecte la performance du système de localisation.

Dans ce projet, on a essayé de limiter cette dégradation et se rapprocher davantage de la localisation réelle, en prenant en considération l'effet du dynamisme du canal sur les paramètres de localisation. On a défini, à cette fin, un logiciel qui sera capable de simuler un environnement interne et donner la réponse impulsionnelle du canal sans fil. On a identifié, aussi, l'état dynamique comme une représentation de N états statiques. Le logiciel prédéfini générera la réponse impulsionnelle du canal en fonction de l'emplacement de l'utilisateur dans ces N états statiques, représentant les différentes situations du canal de propagation.

Par la suite, des paramètres pertinents sont extraits de l'ensemble des CIRs obtenus, afin de construire la base des signatures, qui sera utilisée avec des algorithmes existants pour localiser un usager dans un canal variable dans le temps.

Les résultats obtenus montrent une efficacité remarquable et permet d'avoir une précision de localisation presque identique à celle obtenue dans un canal statique.

ABSTRACT

This study introduces a new approach to the radiolocation in an internal time-varying or dynamic environment, using a technique based on the extraction of signatures from the channel impulse response (CIR). This latter is generated by a simulation of the environment, using a pre-defined software, depending on the position of the user. An artificial neural network (ANN) is used as a matching algorithm.

The technique based on the signatures used gives the best results in a static propagation channel, but in fact, the propagation channel is dynamic. Therefore, this technique suffers from accuracy degradation and affects the localization system performance.

In this project, we try to limit this degradation and get closer to actual localizing, by taking into account the effect of dynamic channel on the location parameters. We define, for this purpose, a program that will be capable of simulating the internal environment and give the impulse response of wireless channel. We identify here the dynamic state as a representation of N static states. The software will generate the predefined channel impulse response as a function of the location of the user in these N static states, representing different situations of the propagation channel.

Then, the relevant parameters are extracted from all CIRs obtained in order to build the signature database, which in turns will be used with existing algorithms to localize a user in a time-varying channel.

Results show remarkable effectiveness and provide location accuracy almost identical to that obtained in a static channel.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à témoigner ma sincère gratitude à mon directeur de projet M. Chahé Nerguizian, et mes co-directeurs M. Nahi Kandil et M. Charles Despins pour leurs conseils précieux et leurs commentaires productifs sans lesquels ce projet n'aurait pas été accompli.

M. Nerguizian, malgré son programme perpétuellement chargé, a toujours été disponible et présent pour discuter, diriger et proposer des solutions, ce qui m'a enrichi ma vision sur la matière de recherche. Il m'a offert aussi des occasions à participer à ses cours riches des notions utiles dans la compréhension des aspects du projet, me permettant de mener à bien ce travail.

M. Kandil, qui m'a procuré une opportunité précieuse pour faire la recherche en m'acceptant dans son équipe de recherche au Laboratoire de Recherche Télébec en Communications Souterraines de l'UQAT (LRTCS), Je n'oublierai jamais son soutien, ses encouragements, ses précieux conseils et ses discussions valeureuses que j'ai eus avec lui, qui m'ont poussé à apprécier mon séjour au laboratoire et d'en profiter pour améliorer mes compétences.

Je voudrais également remercier M. Despins pour sa coopération et aide à fournir les références importantes qui m'ont aidé à mieux comprendre le projet.

Beaucoup de personnes m'ont offert l'aide qui a accéléré l'accomplissement de mon travail, je tiens cette occasion pour remercier mes amis Shehadi Dayekh et Sarah Sallam pour leurs encouragements amicaux, leurs conseils précieux et leurs expériences qui m'ont aidé à dépasser plusieurs défis dans le projet et dans mon séjour à Montréal, ce qui a contribué dans le succès de ce travail.

Au cours de cette thèse, j'ai passé un temps merveilleux au Laboratoire LRTCS, ainsi qu'à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue. Dès mon arrivée, les personnes très

gentilles que j'ai rencontrées, amis et professeurs, qui m'ont considéré comme un membre de leur famille, ont facilité mon intégration parmi eux, et m'ont aidé à m'adapter en tant qu'étudiant international dans leur région. Merci infiniment à tous mes amis à l'UQAT et au laboratoire LRTCS avec lesquels j'ai passé un temps d'amusement inoubliable.

Je consacre mon travail à mes parents et sœurs qui m'ont soutenu dans ce voyage. À tous mes amis qui étaient toujours à mon côté pour m'aider à accomplir mes buts.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	II
ABSTRACT	III
REMERCIEMENTS	IV
TABLE DES MATIÈRES	VI
LISTE DES FIGURES	VIII
ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	X
LISTE DES SYMBOLES	XI
CHAPITRE 1- INTRODUCTION AU MÉMOIRE	1
1.1 Introduction	1
1.2 Problématique	3
1.3 Hypothèses et objectifs	3
1.4 Structure du mémoire	5
CHAPITRE 2- LES PRINCIPES DE LA RADIOLOCALISATION	7
2.1 Introduction	7
2.2 Techniques de radiolocalisation	8
2.2.1 Techniques basées sur la triangulation	9
2.2.1.1 <i>Technique basée sur la puissance des signaux reçus (RSS)</i>	11
2.2.1.2 <i>Technique basée sur l'angle d'arrivée des signaux reçus (AOA)</i>	13
2.2.1.3 <i>Technique basée sur le temps / la différence de temps d'arrivée des signaux reçus (TOA/TDOA)</i>	14
2.2.2 Technique basée sur les signatures	17
2.3 Bilan	21
CHAPITRE 3- WIRELESS INSITE	22
3.1 Introduction	22
3.2 Conception de l'environnement	23
3.2.1 La zone d'intérêt	23
3.2.2 Définition du modèle de propagation	24
3.2.2.1 <i>Réflexions</i>	25
3.2.2.2 <i>Transmissions</i>	26

3.2.2.3	<i>Somme complexe des champs électriques</i>	26
3.2.2.4	<i>Seuil de la perte du trajet</i>	26
3.2.3	Choix des antennes	27
3.2.4	Émetteurs / Récepteurs	27
3.2.5	Forme d'onde	28
3.2.6	Propriétés des matériaux	30
3.2.7	Sorties calculées	32
3.3	Avantages et inconvénients du logiciel	33
3.4	Calculs et présentation des résultats	35
CHAPITRE 4-	LOCALISATION	37
4.1	Technique de radiolocalisation	37
4.2	Signature	37
4.3	Algorithme de jumelage	39
4.4	Environnement de prise de mesures	40
4.5	Réseau de neurones artificiel (ANN)	42
4.5.1	Architecture	43
4.5.2	Fonctionnement	45
CHAPITRE 5-	RÉSULTATS ET ANALYSE	47
5.1	Résultats de la radiolocalisation dans le milieu interne dynamique	47
5.2	Interface graphique	51
5.3	Conclusion	52
CHAPITRE 6-	CONCLUSION	53
BIBLIOGRAPHIE		56

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1 STRUCTURE DE L'APPROCHE PROPOSÉE	5
FIGURE 2.1A PRINCIPE DE LOCALISATION PAR APPROCHE ASCENDANTE	8
FIGURE 2.1B PRINCIPE DE LOCALISATION PAR APPROCHE DESCENDANTE	9
FIGURE 2.2 PROCESSUS DE LOCALISATION PAR LA TECHNIQUE CLASSIQUE	10
FIGURE 2.3 ESTIMATION DE LA POSITION AVEC LA TECHNIQUE RSS	12
FIGURE 2.4 ESTIMATION DE LA POSITION AVEC LA TECHNIQUE AOA	13
FIGURE 2.5 ESTIMATION DE LA POSITION AVEC LA TECHNIQUE TOA/TDOA	15
FIGURE 2.6A PHASE DE COLLECTION DE DONNÉES PAR LA TECHNIQUE DES SIGNATURES	18
FIGURE 2.6B PHASE DE POSITIONNEMENT PAR LA TECHNIQUE DES SIGNATURES.....	19
FIGURE 3.1 FENÊTRES PRINCIPALES DU LOGICIEL: 1) FENÊTRE PRINCIPAL (MAIN WINDOW), 2) DE VUE DE PROJET (PROJECT VIEW WINDOW), 3) FENÊTRE DE CALCUL (CALCULATION LOG WINDOW), 4) EXEMPLE DE REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉSULTATS	22
FIGURE 3.2 CRÉATION D'UNE ZONE D'ÉTUDE NOUVELLE	23
FIGURE 3.3 ZONE D'ÉTUDE DU PROJET	24
FIGURE 3.4 PROPRIÉTÉS AVANCÉES DE LA ZONE D'ÉTUDE	25
FIGURE 3.5 FENÊTRE DE PROPRIÉTÉS DE TX / RX	28
FIGURE 3.6 FENÊTRE DE PROPRIÉTÉS D'ONDE POUR UNE ONDE SINUSOÏDE QUELCONQUE	29
FIGURE 3.7 ONGLET DE CRÉATION DES MATÉRIAUX ET LEURS CARACTÉRISTIQUES	30
FIGURE 3.8 FENÊTRE REPRÉSENTANT LA LISTE DE CONTROL DES SORTIES DISPONIBLES	34
FIGURE 4.1 PLAN DE L'ENVIRONNEMENT CONÇU SUR « WIRELESS INSITE » AVEC LA ZONE D'INTÉRÊT DE LOCALISATION ET LA POSITION DES POINTS DE MESURES	41
FIGURE 4.2 FONCTIONNEMENT DU RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIEL, A) PHASE D'APPRENTISSAGE, B) PHASE D'APPEL	43
FIGURE 4.3 ARCHITECTURE DU RÉSEAU DE NEURONES CONSIDÉRÉ	45
FIGURE 5.1 POSITIONS ESTIMÉES ET EXACTES (EN MÈTRES) EN TERMES DE X ET Y, AVEC DES ENTRÉES CORRESPONDANT À L'ENSEMBLE DES DONNÉES D'APPRENTISSAGE DU RÉSEAU MLP, DÉFINIES EN FONCTION DES POINTS DE MESURES DE L'USAGER	48
FIGURE 5.2 ERREURS DE LOCALISATION (EN MÈTRES) EN TERMES DE X, Y ET D (DISTANCE), AVEC DES ENTRÉES CORRESPONDANT À L'ENSEMBLE DES DONNÉES D'APPRENTISSAGE DU RÉSEAU MLP, DÉFINIES EN FONCTION DES POINTS DE MESURES DE L'USAGER	48
FIGURE 5.3 FONCTIONS DE DISTRIBUTION CUMULATIVES (CDF) DES ERREURS DE LOCALISATION EN TERMES DE X, Y ET D (DISTANCE), AVEC DES ENTRÉES CORRESPONDANT À L'ENSEMBLE DES DONNÉES D'APPRENTISSAGE DU RÉSEAU MLP	49

FIGURE 5.4 POSITIONS ESTIMÉES ET EXACTES (EN MÈTRES) EN TERMES DE X ET Y, AVEC DES ENTRÉES CORRESPONDANT À L'ENSEMBLE DES DONNÉES DE TEST DU RÉSEAU MLP, DÉFINIES EN FONCTION DES POINTS DE MESURES DE L'USAGER	50
FIGURE 5.5 ERREURS DE LOCALISATION (EN MÈTRES) EN TERMES DE X, Y ET D (DISTANCE), AVEC DES ENTRÉES CORRESPONDANT À L'ENSEMBLE DES DONNÉES DE TEST DU RÉSEAU MLP, DÉFINIES EN FONCTION DES POINTS DE MESURES DE L'USAGER	50
FIGURE 5.6 FONCTIONS DE DISTRIBUTION CUMULATIVES (CDF) DES ERREURS DE LOCALISATION EN TERMES DE X, Y ET D (DISTANCE), AVEC DES ENTRÉES CORRESPONDANT À L'ENSEMBLE DES DONNÉES DE TEST DU RÉSEAU MLP	51
FIGURE 5.7 INTERFACE GRAPHIQUE (GUI)	52

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ANN	Artificial Neural Network
AOA	Angle Of Arrival
AP	Access Point
CDF	Cumulative Density Function
CIR	Complex Impulse Response
DOA	Direction of arrival
GPS	Global positioning system
GRNN	Generalized Regression Neural Network
GUI	Graphical User Interface
ISI	Inter Symbol Interference
KNN	K-Nearest Neighbor
LOS	Line Of Sight
MLP	Multi-Layer Perceptron
MS	Mobile Station
NLOS	Non Line Of Sight
PDP	Power Delay Profil
PEC	Perfect Electrical Conductor
PL	Propagation Loss
RBF	Radial Basis Function
RMS	Root Mean Square
RSS	Received Signal Strength
RX	Receivers
SMP	Smallest M-Vertex Polygon
SVM	Support Vector Machine
TDOA	Time Difference Of Arrival
TOA	Time Of Arrival
TX	Transmitters

LISTE DES SYMBOLES

G_r	Gain de l'antenne de réception
G_t	Gain de l'antenne d'émission ou de transmission
N	Nombre de composantes multivoies
P	Puissance totale du signal reçu
P_1	Puissance de la première composante multivoie
P_r	Puissance reçue
P_t	Puissance émise ou transmise
P_L	Atténuation de parcours ('path loss')
τ_1	Temps d'arrivée du signal correspondant au premier trajet multivoie
τ_m	Le retard moyen relatif ('mean excess delay')
τ_{rms}	L'étalement efficace du retard ('Root Mean Square- RMS delay spread')
τ_{max}	L'étalement maximal du retard ('maximum excess delay')
ε	Permittivité
ε_0	Permittivité d'espace libre
σ	Conductivité

CHAPITRE 1

INTRODUCTION AU MÉMOIRE

1.1 INTRODUCTION

La localisation est l'un des sujets les plus importants dans la recherche et le développement des réseaux radio-mobile. La localisation d'une unité mobile ou d'un terminal peut être obtenue par satellites (par exemple en utilisant le GPS, Global Positioning System) ou par un système radio. Alors que dans le premier cas, un ou plusieurs dispositifs supplémentaires doivent être intégrés dans le terminal, ce qui le rend plus complexe et plus coûteux. Ce problème est surpassé depuis que le service des réseaux radios est utilisé. La radiolocalisation est la seule méthode appropriée dans les milieux internes où les signaux de satellites ne sont pas disponibles.

Dans les systèmes sans fil, la localisation est réalisée par l'estimation des paramètres de propagation radio lié à l'emplacement de l'unité mobile. Ces paramètres sont obtenus par l'échange des signaux radios avec N stations de base fixes ou points d'accès (APs), qui sont placés dans des positions connues. Les paramètres de propagation typiques sont: les puissances des signaux reçus (RSS), les angles d'arrivée (AOA) des signaux, les temps d'arrivée (TOA) des signaux et les différences de temps d'arrivée (TDOA) des signaux. La relation entre ces paramètres et la position de la station mobile (MS) peut être donnée soit par des modèles analytiques ou par des mesures réelles sur le terrain. Ces mesures sont exploitées pour évaluer les distances MS-AP, cette étape est appelée «Ranging». La localisation est alors obtenue par tri-latération (c. à d. $N = 3$) en utilisant uniquement le nombre minimum de points d'accès, ou par la multi-latération (c. à d. $N > 3$) pour augmenter la robustesse de la méthode.

La localisation interne (indoor localization) est toujours un problème ouvert dans les communications sans fil [1], en particulier dans les réseaux de capteurs sans fil [2] [3]. Les techniques de localisation dans les environnements internes confronte deux défis majeurs: (i) les trajets multiples dus à la diffusion, qui rend la voie directe difficile à identifier, limitant ainsi l'utilisation des méthodes d'estimation de la distance basée sur TDOA, (ii) la perte de propagation (PL) due à plusieurs facteurs et phénomènes aux niveaux de transmission et des caractéristiques de l'environnement interne, limitant ainsi les méthodes d'estimation de la distance basé sur RSS.

Dans les deux types d'algorithmes, TDOA et RSS, les nœuds peuvent estimer leur propre emplacement par rapport à plusieurs nœuds fixes agissant en tant que transmetteurs. Cela se fait souvent en estimant les distances vers les nœuds fixes et par la suite utiliser la triangulation pour l'estimation de la position.

L'estimation de la TDOA se fait soit par l'estimation du temps aller-retour du signal [4], par la transmission de séquences d'apprentissage spécifiques (training sequences) [5], ou tout simplement en détectant le premier pic du signal reçu [6].

Les communications à bande ultra-large (Ultra-wide band) sont spécifiquement adaptées pour l'estimation de la distance TDOA en raison de la large bande passante disponible [7]. De nombreuses publications discutent l'estimation de la distance basée sur RSS. Le travail présenté dans [8] donne un aperçu complet d'une mise en œuvre effective en utilisant les hotspots WiFi dans un réseau d'auto-configuration.

Une autre technique décrite dans [9] est l'utilisation des signatures spatiales pour la localisation. Cependant, celle-là nécessite de multiples antennes au niveau des nœuds et une base de données de l'emplacement spatial. Cette technique est liée à des exigences spécifiques d'antennes.

1.2 PROBLÉMATIQUE

Dans un environnement statique, l'utilisation d'une technique de prise d'empreintes digitales en liaison avec un réseau de neurones artificiels donne une précision de localisation satisfaisante [10].

Dans un milieu interne, et en raison de sa nature avec la présence de plusieurs obstacles, une ligne de vue (LOS) entre l'émetteur et le récepteur n'existe pas toujours, ce qui résulte de la propagation du signal par trajets multiples (ou multi-trajets).

Dans un canal à multi-trajets, les signaux transmis subissent des phénomènes de réflexion, réfraction, et de diffraction qui causent la réception de plusieurs copies différentes du signal émis atténuées, déphasées et retardés dans le temps qui peuvent s'additionner d'une manière destructive ou constructive. Dans ce cas, la technique de localisation basée sur les signatures donne de meilleurs résultats que celles basées sur la triangulation (e.g. techniques basées sur RSS, AOA et TOA/TDOA) à cause que les trajets multiples sont utilisés dans la première comme information constructive. Cela est généralement vrai dans un canal statique (c'est-à-dire pendant la prise des mesures, rien ne bouge dans le canal, et l'état du canal est presque identique pour tous les points de mesure). Tandis qu'en réalité, le canal de propagation est dynamique, et les propriétés du canal varient dans le temps. Et par conséquent, la technique des signatures souffre des dégradations de précision de localisation.

1.3 HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS

L'objectif principal de ce projet est de trouver une solution avantageuse pour contrer les dégradations de précision de localisation due à la variation temporelle du canal. Pour s'approcher de notre objectif, et pour limiter la dégradation de performance du système de localisation due à cette situation, nous avons réparti notre travail de recherche sur sept étapes:

1. Définition d'un logiciel (Ray tracing ou autre existant dans les universités ou dans les centres de recherche) capable de simuler un environnement interne et générer la réponse

impulsionnelle (CIR) du canal de propagation sans fil, en fonction de la position de l'utilisateur.

2. Conception de l'environnement désiré et prendre un état statique pour la simulation. Puis, en déplaçant le récepteur (l'utilisateur) à chaque 50 cm ou 1m par exemple, déterminer les CIRs de ses différentes positions.
3. Changer l'environnement statique en dynamique, en ajoutant plusieurs usagers et/ou des objets réflecteurs dans le canal, suivant un nouvel état et déterminer les nouvelles CIRs des différentes positions de l'utilisateur.
4. Modifier les positions des objets réflecteurs et ré-déterminer les nouvelles valeurs de CIRs.
5. Construire la base des signatures à partir des mesures de CIRs obtenues des différentes positions de l'utilisateur (récepteurs) suivant les différents états étudiés.
6. Utiliser des algorithmes de localisation existants et faire de la localisation d'un usager dans un canal dynamique variant dans le temps.
7. Création d'une interface graphique de localisation montrant le déplacement d'un usager, avec ses positions exactes et estimées, dans un plan donné.

Les différentes étapes du projet sont illustrées dans le schéma bloc ci-dessous (figure 1.1).

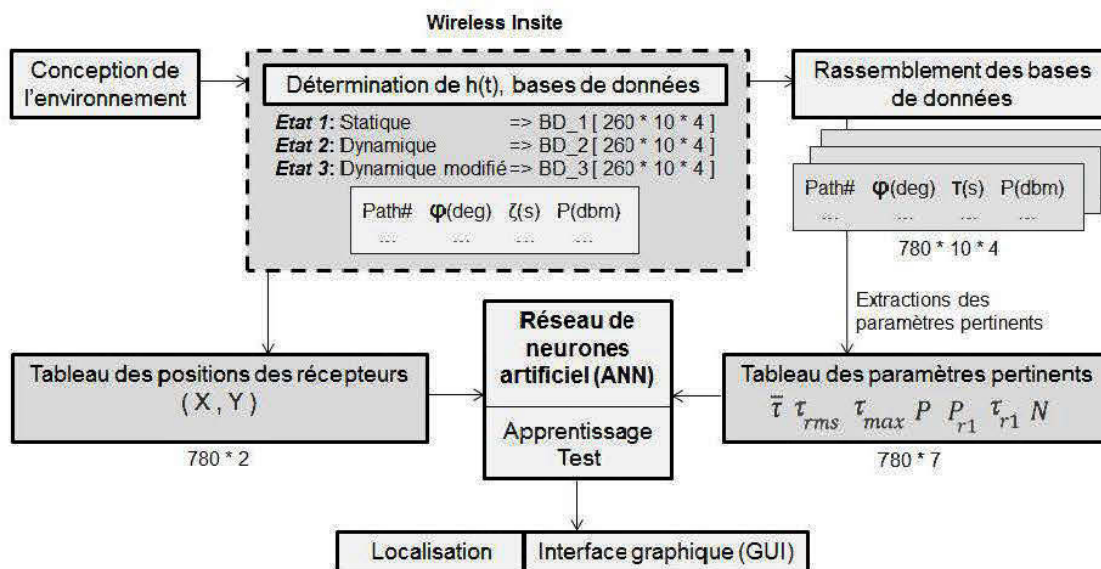


Figure 1.1 Structure de l'approche proposée.

1.4 STRUCTURE DU MÉMOIRE

Ce mémoire traite la radiolocalisation dans un environnement interne ayant un canal de propagation dynamique. Le défi principal de ce travail est de trouver une solution avantageuse pour contrer les dégradations de précision de localisation due à la variation temporelle du canal. Les techniques de radiolocalisation, le type d'empreinte et l'algorithme de jumelage utilisés, et les différents résultats sont ainsi présentés.

Le second chapitre présente le concept de la radiolocalisation et son importance. Les principales techniques de radiolocalisation et leurs performances sont ainsi discutées. Le troisième chapitre décrit l'outil de modélisation électromagnétique utilisé (*Wireless Insite*) dans notre travail et son implémentation (conception du milieu de localisation dans lequel les simulations vont être effectuées, le choix du modèle de propagation, les antennes émetteurs et récepteurs avec la forme d'onde associée, etc.). Le quatrième chapitre porte sur la partie radiolocalisation. La technique de radiolocalisation utilisée dans le présent travail est d'abord

décrite. Dans ce chapitre, l'information d'empreinte, l'algorithme de jumelage, l'architecture et le fonctionnement du réseau de neurones choisis, sont présentés. Le cinquième chapitre présente et analyse les résultats de localisation effectués. Enfin, une conclusion générale récapitule tous les résultats obtenus et présente les avantages et les limites du concept proposé, avec les différentes améliorations et prolongements possibles.

CHAPITRE 2

LES PRINCIPES DE LA RADIOLOCALISATION

2.1 INTRODUCTION

La radiolocalisation ou géolocalisation, est un concept qui vise à estimer la position d'un individu ou d'un mobile dans un environnement donné en se basant sur la transmission sans fil des signaux électromagnétiques.

Depuis plusieurs dizaines d'années, les systèmes de localisation externe (Outdoor localization) sont développés rapidement, et certains entre eux sont déjà dans les marchés et accessibles à toute personne. On parle particulièrement du GPS, qui permet de localiser son utilisateur montrant sa position instantanément avec les noms des routes et le chemin suivi dans une région déterminée.

On remarque dans les dernières années un développement croissant dans la conception des systèmes de radiolocalisation d'une manière à avoir une meilleure performance, afin de répondre autant que possible aux exigences des différents domaines d'application de ces systèmes. Cette performance dépend de plusieurs facteurs tels que la précision, la robustesse, l'évolutivité, la complexité et le coût. Les domaines d'application de systèmes de localisation varient tel que sécuritaires (Identification et localisation des personnes munies d'un téléphone portable, ou ce qui est appelé le service 911 étendu en Amérique du Nord), médicales (Suivi des personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer), militaires, commerciales, etc.

D'autre part, la localisation interne (Indoor localization) est toujours un sujet controversé en raison du fait que les signaux transmis à l'intérieur subissent des déformations causées par la nature de l'environnement avec la présence de plusieurs obstacles dans le canal de transmission.

2.2 TECHNIQUES DE RADIOLOCALISATION

Deux principales techniques sont utilisées pour faire la radiolocalisation, une basée sur la triangulation et l'autre basée sur l'analyse de scène, ou appelée aussi technique des signatures. Ces techniques peuvent être appliquées suivant deux approches: ascendante ou descendante.

Dans l'approche ascendante, le système est reconnu sous le nom « remote system », où le mobile joue le rôle de l'émetteur du signal, et sa position est déterminée au niveau d'un serveur principal fixe. Cette approche est utilisée souvent dans la technique basée sur la triangulation.

Dans l'approche descendante, le système est reconnu sous le nom « self-positioning system », où le mobile est le récepteur du signal et suivant l'information reçue, il localise sa position. Cette approche est utilisée par le GPS. La technique des signatures peut utiliser l'une de ces deux approches.

Le principe général des approches est illustré dans les figures ci-dessous (figures 2.1a et 2.1b, adaptées de [32]).

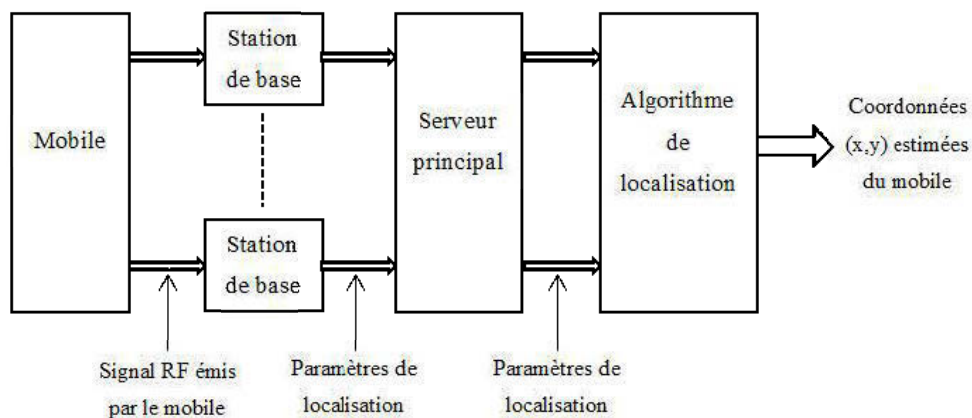


Figure 2.1a Principe de localisation par approche ascendante

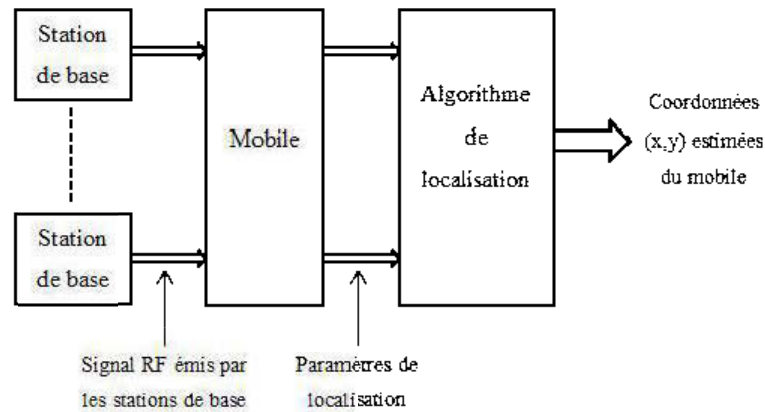


Figure 2.1b Principe de localisation par approche descendante.

Dépendant de l'approche utilisée, plusieurs paramètres sont extraits à la réception des signaux RF, qui vont construire les entrées de l'algorithme de localisation qui, à son tour, donnera la position estimée du mobile. Ces paramètres peuvent être, selon la technique de localisation appliquée: la puissance du signal, l'angle d'arrivée du signal, le temps d'arrivée du signal ou la différence du temps d'arrivée du signal.

Afin de mieux comprendre la radiolocalisation et le principe de l'estimation de la position, on présente une revue des concepts de base des différentes techniques utilisées en radiolocalisation. Ces techniques sont divisées en deux grandes catégories: les techniques basées sur la triangulation, ou dites aussi traditionnelles, et la technique des signatures.

2.2.1 TECHNIQUES BASÉES SUR LA TRIANGULATION

La technique de triangulation est la technique classique utilisée dans la plupart des algorithmes de localisation. Cette technique est basée sur la collection des paramètres de localisation, correspondant à la position de l'unité mobile tels que les distances ou les directions des trajets entre les unités mobiles et d'au moins trois références fixes. Ces paramètres sont déterminés à partir des mesures provenant des signaux reçus (RSS, AOA ou

TOA/TDOA), et par la suite, sont traités afin d'estimer la position du mobile dans une surface d'intersection.

La figure 2.2 (adaptée de [26]) représente le processus suivi par la technique classique de radiolocalisation.

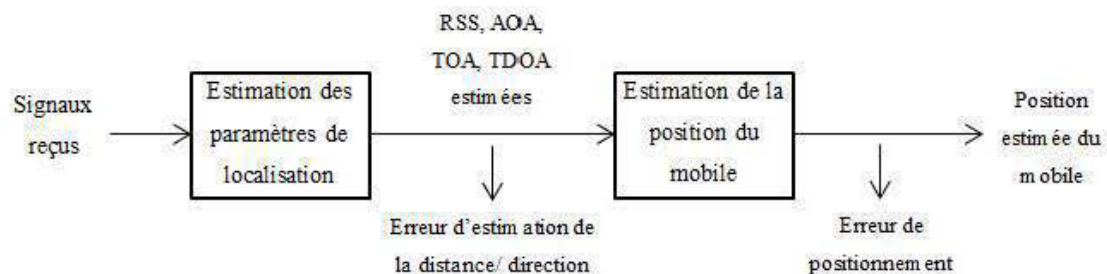


Figure 2.2 Processus de localisation par la technique classique.

Dans la technique de radiolocalisation classique, plusieurs facteurs influencent la précision de localisation et dégradent la performance du système. La précision dépend d'abord de l'environnement, le manque de visibilité directe et la présence des trajets multiples impliquent une erreur importante d'estimation des paramètres. La précision dépend aussi de l'algorithme d'estimation des paramètres, de l'algorithme de jumelage, du nombre de stations fixes, de la position géométrique de l'unité mobile par rapport aux stations fixes, du modèle de propagation (pour la technique basée sur RSS), de la résolution angulaire des réseaux d'antennes (pour la technique basée sur AOA) et de la résolution temporelle (pour la technique basée sur TOA/TDOA). Les équipements de mesure utilisés à la réception des signaux peuvent aussi introduire des erreurs obtenues durant l'estimation des paramètres de localisation tels que la distance et l'angle d'arrivée du signal.

Une discussion détaillée est présentée dans les sous-sections suivantes, décrivant le concept de base de chacune des techniques basées sur la triangulation suivant les paramètres de localisation qu'elle utilise.

2.2.1.1 Technique basée sur la puissance des signaux reçus (RSS)

L'utilisation de la technique RSS pour localiser une unité mobile exige la connaissance d'avantage de quelques spécifications du signal transmis et de l'environnement, tels que la puissance et la fréquence d'émission, les gains d'antennes, et les caractéristiques de propagation de la région intervenante.

Dans l'espace vide, La distance d entre l'unité mobile et la station fixe est inversement proportionnelle à la puissance du signal reçu, et peut être dérivé, en tenant compte des autres paramètres, à partir de l'équation suivante (2.1):

$$P_r = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 P_t G_t G_r \quad (2.1)$$

Où P_r est la puissance du signal reçu, mesurée en dB, P_t est la puissance du signal transmis, G_t et G_r sont respectivement les gains d'antennes de l'émetteur et du récepteur et λ est la longueur d'onde liée à la fréquence du signal transmis.

La technique RSS est une méthode basée sur un modèle mathématique qui calcule la distance de séparation d en analysant l'atténuation du signal P_L (Path Loss) de parcours. Dans l'espace libre, où les signaux sans fil se déplacent sans réflexion ou atténuation, la perte de trajet peut être calculée facilement. Tandis que dans la plupart des environnements réels, plusieurs facteurs peuvent survenir tels que la réflexion, réfraction, diffusion, etc. Alors, la puissance reçue à une distance donnée est calculée par la formule suivante [11] (2.2):

$$P_r(d) = P_t - P_L(d) + G_t + G_r \quad (2.2)$$

Dans un espace 2D, la distance estimée représente un rayon d'un cercle ayant la station fixe comme centre. Ainsi, L'intersection de plusieurs cercles, ou d'autre sens, l'utilisation de plusieurs stations de base fixes (au moins trois) couvrant la zone d'intérêt, donne la position estimée de l'unité mobile comme le montre la figure 2.3 (adaptée de [26]).

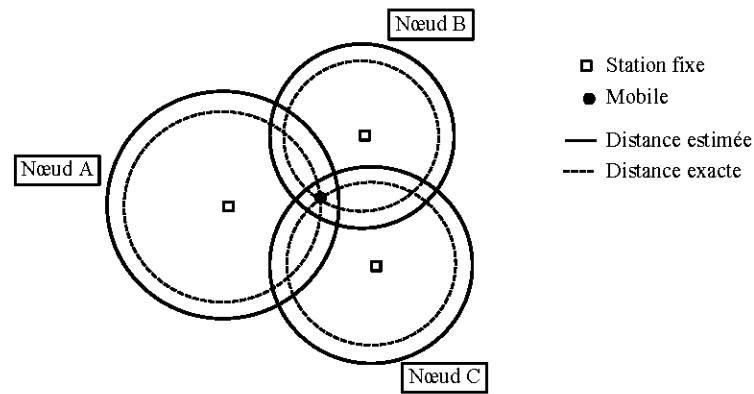


Figure 2.3 Estimation de la position avec la technique RSS.

En raison du fait que les signaux transmis sont constitués de composantes multivoies et avec l'absence de visibilité directe (LOS), la distance estimée ne représente pas la distance réelle qui sépare la station fixe de la station mobile. Alors, l'erreur produite est une zone d'intersection dans laquelle les trois cercles se coupent.

La technique RSS n'est pas toujours fiable, car l'estimation de la distance dépend de plusieurs facteurs tels que l'absence d'un trajet direct du signal (NLOS), les affaiblissements multivoie dus aux multi-trajets, les caractéristiques du canal et la distance entre les points de références [12].

Pratiquement parlant, l'utilisation de cette technique nécessite une détermination régulière des paramètres d'atténuation du milieu, pour tenir compte du changement dynamique de l'environnement. À cause de la variation aléatoire du niveau des signaux reçus, la technique RSS n'est pas adaptée aux environnements internes.

2.2.1.2 Technique basée sur l'angle d'arrivée des signaux reçus (AOA)

Pour localiser un mobile avec la technique AOA, il est nécessaire d'avoir au moins deux stations de bases séparées d'une distance connue. En utilisant un réseau d'antennes directionnelles et une simple triangulation, on est capable de mesurer les angles d'arrivée à chaque station de base.

Dans un espace simple 2D, la direction d'arrivée du signal d'intérêt, ayant le niveau de puissance le plus élevé, est représentée par une ligne droite reliant l'émetteur et le récepteur. La position du mobile est estimée sur le point d'intersection des deux lignes formées par AOA (α_1 et α_2) (figure 2.4, adaptée de [32]).

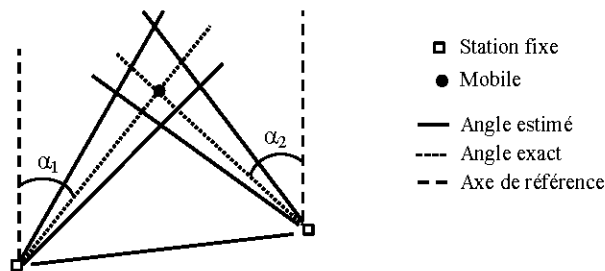


Figure 2.4 Estimation de la position avec la technique AOA.

La précision de localisation avec l'utilisation de cette technique dépend de plusieurs facteurs tels que la précision angulaire du réseau d'antennes utilisé [13] [14] [15], l'environnement, la position de la station mobile par rapport à la position des stations fixes, l'algorithme d'estimation et le modèle d'onde utilisés, la présence du chemin direct (LOS) entre l'émetteur et le récepteur [16].

Dans un milieu interne, le trajet direct entre une station fixe et un mobile n'existe pas toujours. Par conséquent, les signaux transmis sont dispersés ou réfléchés, et l'angle d'arrivée

ne représente pas l'angle réel sous lequel le signal a été transmis, impliquant une erreur d'estimation élevée.

À cause du coût élevé et la nécessité du calibrage des réseaux d'antennes et à cause des erreurs majeures d'estimations de l'angle d'arrivée du signal d'intérêt, causées par l'absence du signal direct, la technique AOA ne peut être applicable dans un milieu interne.

2.2.1.3 Technique basée sur le temps / la différence de temps d'arrivée des signaux reçus (TOA/TDOA)

La technique TOA se base sur le calcul du délai de propagation du signal électromagnétique entre l'unité mobile et au moins trois points de référence. Donc, en connaissant le délai de propagation du signal t , la distance de séparation d entre l'émetteur et le récepteur peut être facilement déterminée par l'équation physique connue:

$$d=v*t \tag{2.3}$$

Où v est la vitesse de propagation du signal transmis. Dans le cas d'un milieu externe (espace libre), cette vitesse devient constante et égale à la vitesse de la lumière $c \approx 3*10^8$ m/s.

Suivant le concept de cette technique, qui consiste à calculer le délai de propagation pris par un signal (émis par une station mobile) pour atteindre chacun des points de référence fixe, il est nécessaire que les récepteurs soient parfaitement synchronisés entre eux et avec la station mobile. Le manque de synchronisation conduit à des erreurs de localisation importantes. Plusieurs protocoles s'occupent de l'échange d'informations de synchronisations telles que «2-way Ranging Protocol» [17]. La figure 2.5 (adaptée de [26]) illustre la technique TOA.

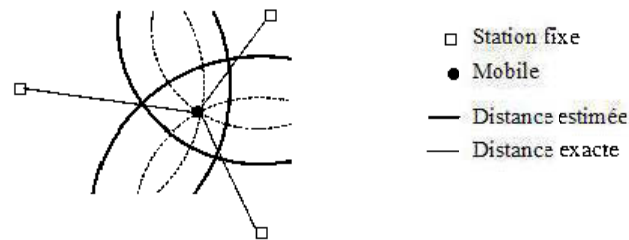


Figure 2.5 Estimation de la position avec la technique TOA/TDOA.

Pour contrer le problème de synchronisation, une autre approche alternative peut être utilisée, en prenant chacune des stations de base comme émettrice et réceptrice, c'est la technique TDOA, basée sur la différence des temps d'arrivée des signaux reçus. Le parcours de propagation du signal est alors égal à $2d$.

L'estimation de la position du mobile, par TDOA, est faite en utilisant des paires de stations de bases synchronisées entre elles. Pour estimer la position d'une unité mobile par TDOA, des techniques de corrélation sont utilisés. Supposons qu'un signal reçu par une station de base b est donné par:

$$x_b(t) = s_t(t - d_b) + n_b(t)$$

Où s_t est le signal transmis, d_b et n_b sont respectivement le retard et le bruit au niveau de la station fixe b . De même, à une station fixe b_2 , le signal reçu est:

$$x_{b_2}(t) = s_t(t - d_{b_2}) + n_{b_2}(t).$$

La fonction de corrélation croisée (Cross-Correlation) $R_{b_1, b_2}(\tau)$ des deux signaux reçus est donnée par l'équation suivante:

$$R_{b_1, b_2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_{bs1}(t) * x_{bs2}(t - \tau) dt \quad (2.4)$$

TDOA estime la position du mobile suivant la valeur de t qui maximise $R_{b_1, b_2}(\tau)$. L'ensemble des positions estimées du mobile pour une même différence de temps d'arrivée à une paire de stations de base donnée est une hyperbole dont l'équation est:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.5)$$

Où x et y sont les coordonnées représentant la position de la station mobile, et a et b sont des constantes liées aux distances séparant ce mobile des deux stations de base. Cette technique est appelée aussi technique hyperbolique de radiolocalisation.

Dans un scénario 2D, le point d'intersection de deux hyperboles, formées à partir des mesures prises de trois stations fixes localise la position de l'émetteur. Comme dans les autres techniques précédentes, les erreurs de mesures de la différence des temps d'arrivée font que l'on obtient, au lieu de la position exacte du mobile, une région d'incertitude où se trouve le mobile.

La technique TOA/TDOA soit la plus utilisable à cause de sa précision importante dans l'estimation des paramètres, perd toujours sa performance dans un milieu interne en raison de l'absence des trajets directs, où le signal reçu n'est pas nécessairement celui de la trajectoire directe. D'autres sources d'erreurs affectent aussi la performance de cette technique telle que le positionnement de la station mobile par rapport aux stations fixes [14] [15] [18]. Toutes ces sources d'erreur résultent des informations trompeuses sur la distance de séparation réelle entre l'émetteur et le récepteur, donnant une localisation non précise de l'unité mobile.

En résumé, les techniques basées sur la triangulation donnent, généralement, une précision acceptable dans l'espace libre. Tandis que dans les environnements internes, en présence des trajets multiples dans la propagation du signal, causés par l'existence de différents obstacles ou des objets réflecteurs dans le canal, et en raison de fortes atténuations

que subit le signal, ces techniques de triangulation conduisent souvent à des erreurs de localisation élevées résultantes de la mauvaise estimation des paramètres de localisation. Pour toutes ces raisons, une autre technique de radiolocalisation plus performante dans les milieux internes est utilisée, c'est la technique de radiolocalisation basée sur les signatures.

2.2.2 TECHNIQUE BASÉE SUR LES SIGNATURES

La technique des signatures est une méthode basée sur la collection d'informations sur la façon dont les signaux transmis sont reçus à des positions différentes de l'environnement de localisation [19] [20] [21]. Elle est basée aussi sur le fait que chaque point, dans un espace donné, dispose d'une ensemble de paramètres représentant l'emplacement d'un mobile dans la surface totale d'intérêt, appelés signatures. Cette méthode de radiolocalisation se fait en deux phases.

La première phase est la phase « hors-ligne », qui consiste à collecter les signatures, correspondantes aux signaux reçus en fonction de la position actuelle de l'utilisateur (unité mobile), et les enregistrer pour former une base de signatures. Plusieurs types de signatures peuvent être recueillis tels que les puissances des signaux, les angles d'arrivées des signaux, l'étalement efficace du retard ou le nombre de trajets réfléchis des signaux reçus des stations fixes, et la réponse impulsionnelle du canal (CIR) [22]. La base de données construite, est utilisée pour l'entraînement du système de localisation afin de lui servir comme une base de comparaison. Une fois cette étape est faite, le système aurait besoin d'un algorithme de jumelage, capable de trouver une relation entre l'ensemble des signatures et leurs positions actuelles correspondantes.

La deuxième phase est la phase « en ligne » ou appelée aussi la phase de localisation. Dans cette étape, l'algorithme de jumelage utilise le signal mesuré ou observé du canal et les signatures précédemment recueillies, pour déterminer la position estimée du mobile. Cela se fait par l'identification de la plus proche des signatures enregistrées dans la première phase par rapport à celle mesurée [23]. La capacité de généralisation (créer un modèle mathématique qui permet de reconnaître les différents paramètres enregistrés à différentes

positions de l'utilisateur, et l'estimation avec précision d'une position du mobile correspondant à une signature non contenue dans la base d'entraînement) est donc un facteur important dans le choix de l'algorithme de jumelage, et constitue le principal défi de cette technique.

Plusieurs algorithmes sont présents et utilisés dans le domaine de l'analyse de scènes tels que les réseaux de neurones artificiels, la méthode du voisin le plus proche (KNN), et les algorithmes basés sur les probabilités conditionnelles, machine à vecteurs de support (SVM), et sur le plus petit polygone M-Vertex (SMP) [24].

L'intérêt dans cette technique est qu'elle résout le problème des erreurs due à la présence des trajets multiples rencontré dans les techniques classiques, par l'utilisation de ces trajets comme informations utiles.

Les figures ci-dessous (figures 2.6a et 2.6b, adaptées de [26]) représentent le processus de localisation basé sur la technique des signatures.

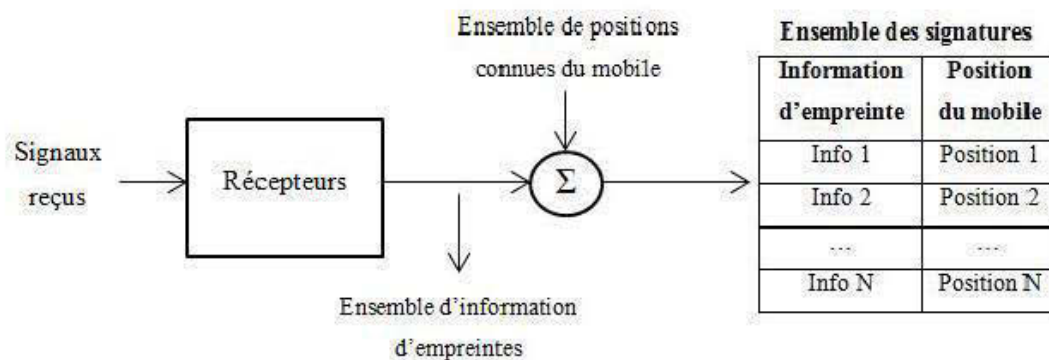


Figure 2.6a Phase de collection de données par la technique des signatures.

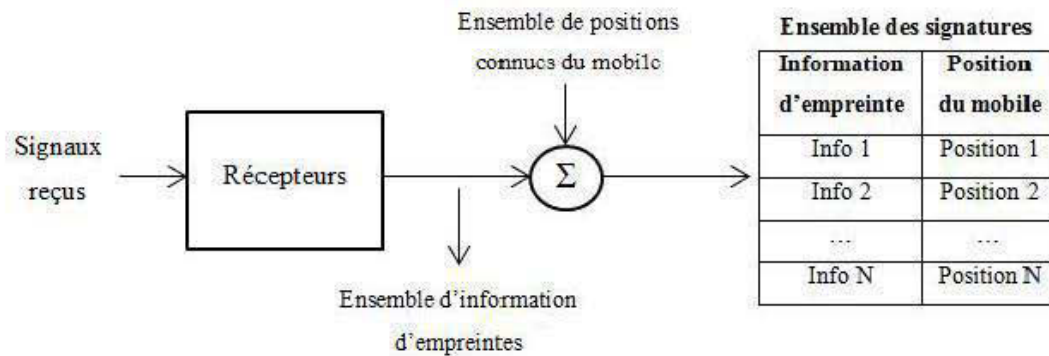


Figure 2.6b Phase de positionnement par la technique des signatures.

Dans le cas d'un milieu interne, le canal de propagation subit souvent des fluctuations, causant une dégradation de la précision de localisation, comme par exemple dans le cas d'un centre d'achat. Par conséquent, la signature d'un point donné dans le canal, varie considérablement dans le temps avec le mouvement des personnes ou des objets (Canal dynamique). Donc, avoir une bonne performance de localisation, en se basant uniquement sur une base de signatures recueillies à un moment donné, devient impossible. La méthode proposée dans cette thèse présente une manière de diminuer cette dégradation et réduire le temps de la collection des signatures.

Le choix du pas de maillage dans la première phase de la technique des signatures représente une autre difficulté de cette méthode, surtout dans le cas où les puissances sont utilisées comme information d'empreinte (signature). En effet, la possibilité d'avoir des signatures semblables, pour deux points proches l'un de l'autre, augmente en diminuant le pas de maillage, ce qui diminue la précision de localisation. Et en agrandissant ce pas, les évanouissements locaux deviennent inconsiderés (jusqu'à 30dB sur une distance inférieure à la longueur d'onde), ce qui introduit d'importantes erreurs de localisation dans la deuxième phase de la technique.

Deux points assez éloignés l'un de l'autre, peuvent parfois posséder la même signature, présentant ainsi un autre défi de cette technique, est de distinguer ces points. Pour éviter autant que possible ce genre de problème, on essaye de ne pas placer les stations fixes en ligne droite.

L'utilisation de cette technique nécessite une reprise périodique de la première phase surtout dans le cas où le canal de propagation subit des modifications physiques. Et dernièrement, étant donné que le profil de propagation est différent d'un milieu interne à l'autre, les performances de localisation obtenues dans l'un peuvent ne pas se répéter dans l'autre.

2.3 BILAN

Le tableau 2.1 résume les différentes techniques de localisation présentées ci-dessus avec leurs principaux avantages et inconvénients.

Technique de radiolocalisation	Avantages	Inconvénients
Technique RSS	<ul style="list-style-type: none"> - Algorithme simple. - Implantation facile. - Coût d'implantation peu élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir LOS. - Variation aléatoire de RSS. - Faible précision. - Mauvaise performance dans un canal à multi-trajets.
Technique AOA	<ul style="list-style-type: none"> - Algorithme simple. - Moins de stations fixes nécessaires. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir LOS. - Faible précision. - Coût d'implantation élevé. - Mauvaise performance dans un canal à multi-trajets.
Technique TOA/TDOA	<ul style="list-style-type: none"> - Algorithme simple. - Grande précision dans l'estimation des paramètres. - Précision plus élevée dans un milieu interne. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir LOS. - Synchronisation nécessaire entre les stations fixes et mobiles (TOA). - Synchronisation nécessaire entre les stations fixes (TDOA). - Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur. - Coût d'implantation élevé.
Technique des signatures	<ul style="list-style-type: none"> - Précision élevée en milieu interne. - Prise en compte de l'effet multi-trajets. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisable seulement dans des espaces limités géographiquement. - Unicité et répétitivité des signatures n'existent pas toujours. - Dégradation de précision dans un milieu variable dans le temps.

Tableau 2.1 Résumé des différentes techniques de localisation.

CHAPITRE 3

LOGICIEL DE SIMULATION

3.1 INTRODUCTION

« *Wireless Insite* » est un outil de modélisation d'un signal électromagnétique et un moteur de calcul qui prévoit les effets d'un plan d'étude sur la propagation des ondes électromagnétiques, et l'effet des positions des émetteurs et récepteurs dans ce plan sur la puissance du signal. La figure suivante (figure 3.1) illustre l'interface du logiciel avec ses principales fenêtres.

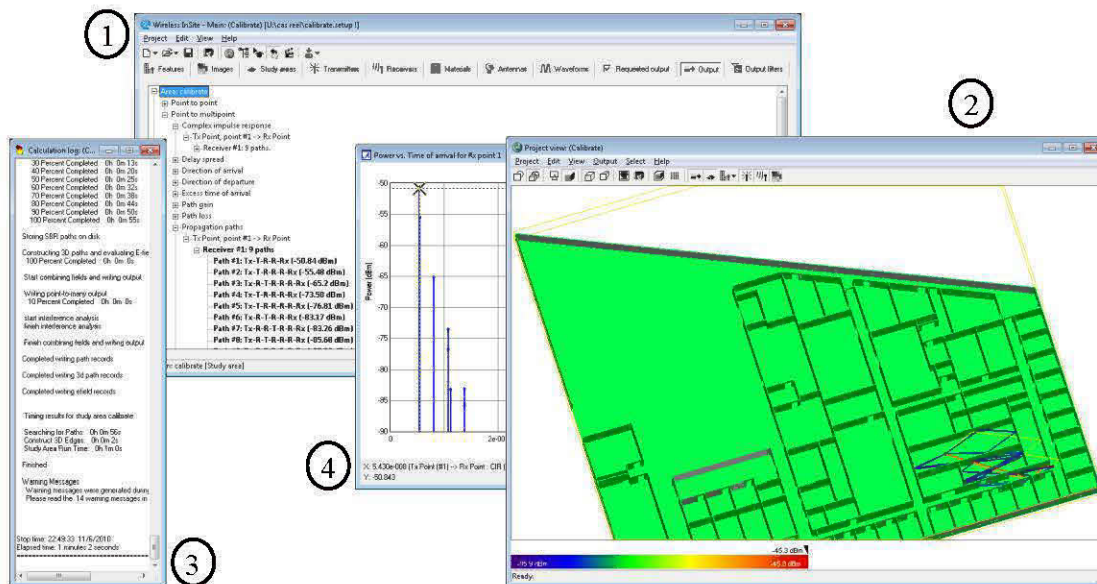


Figure 3.1 fenêtres principales du logiciel: 1) fenêtre principal (main window), 2) fenêtre de vue de projet (Project view window), 3) fenêtre de calcul (Calculation log window), 4) exemple de représentation graphique des résultats.

Les calculs dans *Wireless Insite* sont effectués par la propagation des rayons électromagnétiques des émetteurs à travers l'environnement défini. Ces rayons interagissent avec les caractéristiques de cet environnement et font leur chemin vers les récepteurs. Les interactions incluent la réflexion sur le sol ou la surface d'une face du bâtiment, la diffraction sur un bord d'un bâtiment, ou la transmission à travers un mur.

3.2 CONCEPTION DE L'ENVIRONNEMENT

3.2.1 LA ZONE D'INTÉRÊT

Pour créer une zone d'intérêt ou une surface d'étude, on choisit *New* → *Study Area* du menu contextuel. La fenêtre ci-dessous apparaît (figure 3.2).

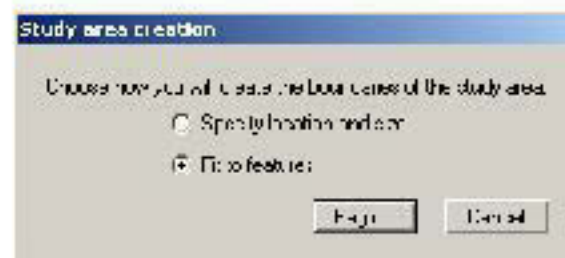


Figure 3.2 Création d'une zone d'étude nouvelle.

Cette zone définit la région de localisation de notre projet dans laquelle les simulations vont être effectuées. Un modèle de propagation particulier est utilisé pour résoudre la puissance transférée à partir des émetteurs actifs à tous les récepteurs actifs au sein de la zone d'étude limitée. Plusieurs zones d'étude peuvent être définies dans un même projet, chacune possède un modèle de propagation et des paramètres indépendants. Grâce à ce mécanisme, les résultats obtenus peuvent être comparés. Les émetteurs, récepteurs, et les objets situés en dehors de la limite de la zone d'étude ne sont pas considérés.

La figure suivante (figure 3.3) représente la zone de localisation choisie de notre travail et la surface d'étude à simuler par le logiciel.

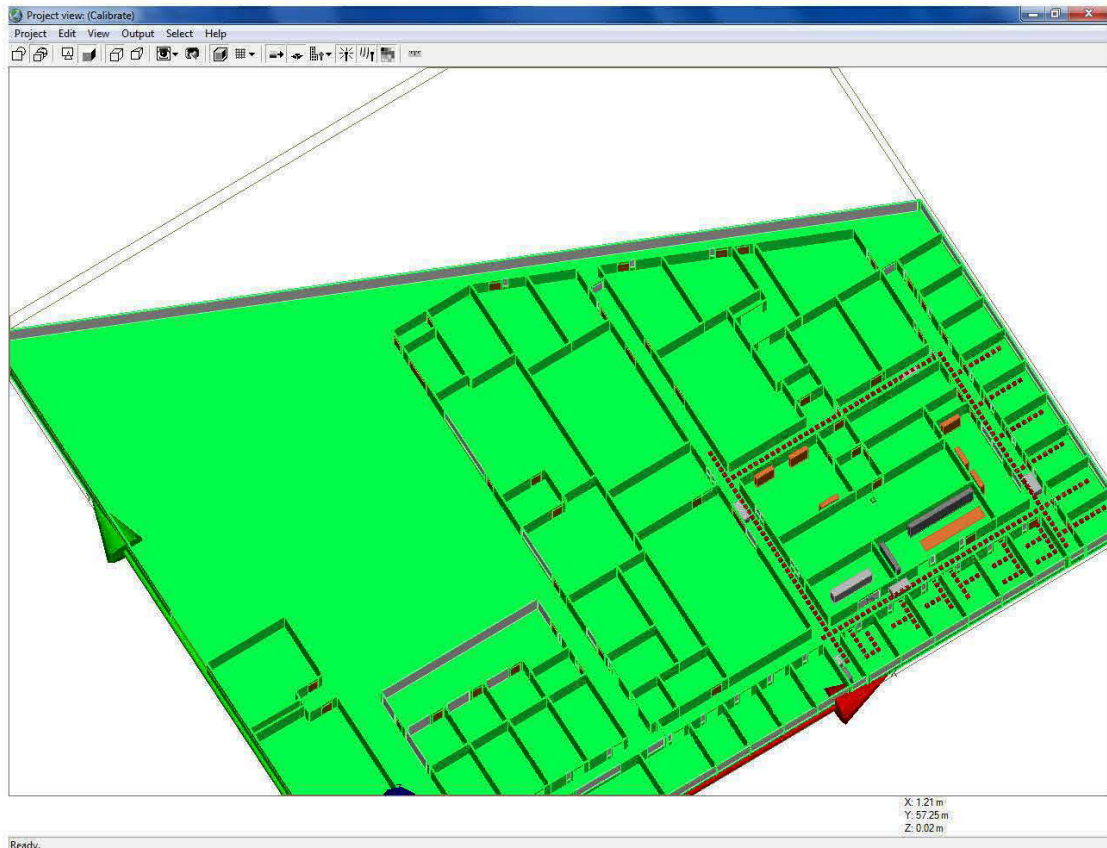


Figure 3.3 Zone d'étude du projet.

3.2.2 DÉFINITION DU MODÈLE DE PROPAGATION

Le modèle de propagation appliqué à chaque zone d'étude est situé sur la partie supérieure droite de la fenêtre «*Study Area properties*». Les modèles de propagation disponibles dans le logiciel sont limités, on note: Urban Canyon, Fast 3-D Urban, Full 3-D, Vertical Plane, Hata, COST-Hata, Free Space, Moving-window Finite difference time domain (MW-FDTD), Urban-canyon Finite difference time domain (UC-FDTD).

Les quatre premiers (Urban Canyon, Fast 3-D Urban, Full 3-D, Vertical Plane) sont des modèles basés sur la théorie uniforme de la diffraction. Ces modèles permettent à l'utilisateur de définir l'espacement des rayons, le nombre maximum de réflexions, diffractions et

transmissions. Le nombre de réflexions et de transmissions spécifie le nombre maximal de chaque interaction qu'un trajet de rayon de signal peut subir. Il n'y a pas de limite pour la spécification du nombre maximal de réflexions et de transmissions, mais l'utilisateur doit faire attention à ce que le temps d'exécution augmente avec l'augmentation des chiffres spécifiés. Et dans certains cas, ce temps augmente de façon dramatique et peut prendre des semaines et même des mois d'exécution. Les paramètres d'un modèle de propagation choisi peuvent être spécifiés à partir de la fenêtre montrée dans la figure 3.4.

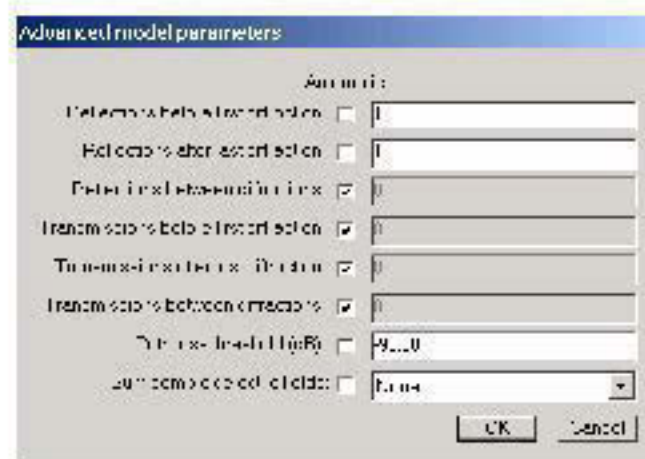


Figure 3.4 Propriétés avancées de la zone d'étude

3.2.2.1 Réflexions

Les trois premiers champs de la fenêtre ci-dessus permettent à fixer manuellement le nombre maximal de réflexions avant, après et entre les diffractions. Si la case *Automatic* est cochée, le nombre maximum avant et après diffractions sera la moitié du nombre maximal des chemins non-diffractés définis dans la fenêtre des propriétés de la zone d'étude (« *Study area properties* »), avec des fractions arrondies à l'entier le plus proche.

3.2.2.2 Transmissions

Les chemins de propagation avec des transmissions à travers les murs ne sont généralement trouvés que dans des modèles 3-D. Le nombre maximum de transmissions sont fixés dans le fond de la même manière que le nombre de réflexions. Si la boîte *Automatic* est cochée, le nombre maximum avant et après diffractions sera la moitié du nombre maximal des chemins non-diffractés définis dans la fenêtre des propriétés de la zone d'étude, et avec des fractions arrondies à l'entier le plus proche.

3.2.2.3 Somme complexe des champs électriques

Ce paramètre «*Sum Complex Electric Fields*» détermine si la phase du champ électrique de chaque trajectoire des rayons est conservée lors de la combinaison des champs afin de déterminer la puissance reçue et la perte du trajet. Les options sont *None*, *All*, et *Correlated*. En sélectionnant l'option «*None*», la puissance reçue est obtenue par l'addition de la puissance de chaque voie, et la différence de phase entre les rayons est ignorée. Avec l'option «*All*», tous les champs sont d'abord additionnés avec la phase, et ensuite la puissance totale est déterminée par l'amplitude du champ total. Enfin, avec l'option de corrélation «*Correlated*», les trajectoires des rayons qui suivent à peu près le même chemin à travers l'environnement (les trajets corrélés) sont combinées avec la phase, et ensuite les puissances de tous les groupes corrélés sont additionnées.

3.2.2.4 Seuil de la perte du trajet

Ce paramètre «*Excess Path Loss Threshold*» est utilisé pour instruire le moteur de calcul d'ignorer les chemins pour lesquels la perte de trajet est supérieure à la perte en espace libre par la valeur spécifiée. Ce seuil est appliqué sur le champ électrique en assumant une source isotrope, de sorte que tout effet du modèle d'antenne à l'émetteur ou le récepteur n'est pas pris en compte. La boîte *Automatic* doit être cochée car elle sera fixée à une valeur très

élevée. Toutefois, si l'utilisateur est concerné que les chemins extrêmement faibles peuvent être oubliés, cette valeur peut être ajustée.

Dans certaines situations, l'utilisateur peut fixer le seuil encore plus bas comme un moyen de filtrer tous les chemins faibles. Un autre moyen de le faire est d'utiliser le réglage de la puissance reçue minimale (« Minimum received power ») de la fenêtre des propriétés d'antenne (« Antenna properties »). Dans ce dernier cas, tous les effets du modèle d'antenne ainsi que la puissance rayonnée de l'émetteur seront considérés.

3.2.3 CHOIX DES ANTENNES

Pour effectuer les calculs de propagation en utilisant Wireless InSite, il faut des émetteurs et des récepteurs, chacun avec une antenne et forme d'onde associées. Lorsqu'une antenne est ajoutée à un projet et ses paramètres sont définis en utilisant la boîte de dialogue des propriétés d'antennes, elle peut être utilisée dans plusieurs instances en l'associant à un certain nombre d'émetteurs et de récepteurs. L'emplacement, l'orientation, et la polarisation de l'antenne seront fixés par l'emplacement de l'émetteur ou le récepteur associé.

Wireless InSite a plusieurs choix pour les antennes utilisées dans une telle simulation. Les diagrammes d'antenne peuvent être générés à partir des modèles Intégrés ('Built-In models'- dipôles, monopôles, hélicoïdaux, cornet ou réflecteur parabolique) et des formes synthétisés (omni-directionnel, directionnelle ou isotrope).

3.2.4 ÉMETTEURS / RÉCEPTEURS

Wireless InSite permet le placement d'un grand nombre de points d'émission (émetteurs- TX) et de réception (récepteurs- RX) à n'importe quel emplacement dans l'espace de simulation. Ces points peuvent être regroupés dans des ensembles de points configurés et prédéfinis dans une seule disposition. Les propriétés des émetteurs et des récepteurs peuvent être spécifiées par la fenêtre des propriétés de TX et RX (figure 3.5), tel que les coordonnées

de positionnement, l'altitude relative, l'antenne, la forme d'onde, la rotation d'antenne et la puissance de rayonnement.

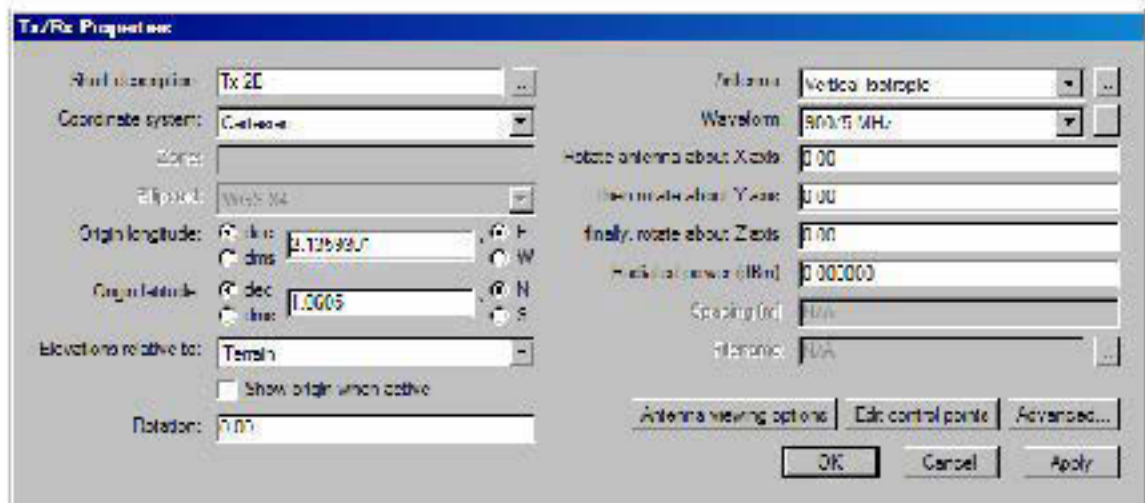


Figure 3.5 Fenêtre de Propriétés de TX/ RX.

3.2.5 FORME D'ONDE

Wireless InSite permet à l'utilisateur d'entrer les paramètres qui décrivent le signal rayonné à partir de l'antenne émetteur, et qui agit comme un type de filtre passe-bande au niveau du récepteur. Le choix de la forme d'onde et ses paramètres doivent être prises dépendamment du modèle de propagation utilisé.

À l'exception de la dérivée gaussienne et la forme d'onde définie par l'utilisateur, toutes les formes d'onde sont modulées sur une fréquence porteuse spécifiée dans les propriétés de forme d'onde. Une fois la forme d'onde est définie, elle peut être attribuée à n'importe quelle antenne ou ensemble d'antennes. Une forme d'onde créée par l'utilisateur peut être enregistrée dans la base de données pour la réutiliser dans d'autres projets. Une forme d'onde peut être créée en sélectionnant *Project* → *New* → *Waveform*. Le type d'onde peut être choisi aussi parmi les signaux prédéfinis disponibles suivants: Blackman, gaussienne, dérivée

gaussienne, Hamming, Hanning, cosinus surélevé, Racine de cosinus surélevé, Sinusoïde, Tukey.

La figure ci-dessous (figure 3.6) montre la fenêtre utilisée pour la spécification des propriétés de la forme d'onde, tels que la fréquence porteuse, la largeur de bande effective et la phase.



Figure 3.6 Fenêtre de propriétés d'onde pour une onde sinusoïde quelconque.

La fréquence porteuse choisie dans notre simulation est de 2.4 GHz, avec une résolution temporelle 50 nanosecondes, où la largeur de bande effective est égale à 20 MHz (inversement proportionnelle à la résolution temporelle).

La cause d'utilisation d'une fréquence centrale de 2.4 GHz, est que dans un système WLAN, le choix de 2.4 GHz sert à diminuer l'effet de rugosité des parois.

La résolution temporelle est inversement proportionnelle à la bande fréquentielle de mesures. Donc, pour pouvoir différencier plus de composantes multivoies consécutives, il faut avoir une haute résolution temporelle. Une largeur de bande effective de 20 MHz donne une résolution temporelle de 50 nanosecondes pour un fenêtrage sinusoïdal.

3.2.6 PROPRIÉTÉS DES MATÉRIEAUX

Dans *Wireless InSite*, les propriétés des matériaux comprennent à la fois les propriétés électromagnétiques de la surface ainsi que les propriétés d'affichage. Les coefficients de réflexion et de transmission sont déterminés directement à partir des propriétés des matériaux, au contraire des coefficients de diffraction qui sont déterminés indirectement à partir de leur dépendance des coefficients de réflexion et de transmission. Les propriétés d'affichages tels que la couleur et la brillance sont également partie de la définition du matériel. L'épaisseur est également une des propriétés du matériel qui, pour certains types de matériaux, est utilisée dans la détermination des coefficients de réflexion et de transmission. Pour accéder aux matériaux dans un projet, on clique l'onglet *Material* dans la fenêtre principale. Un matériau peut être créé en sélectionnant *Project* → *New* → *Material* et en choisissant dans la liste des types de matériaux disponibles (figure 3.7).

Les types disponibles de matériaux sont les suivants (comme indiqués dans le logiciel): Dielectric half-space, Layered dielectric, PEC backed layer, Constant coefficient, Perfect Electrical Conductor (PEC), Free space, User-defined file.

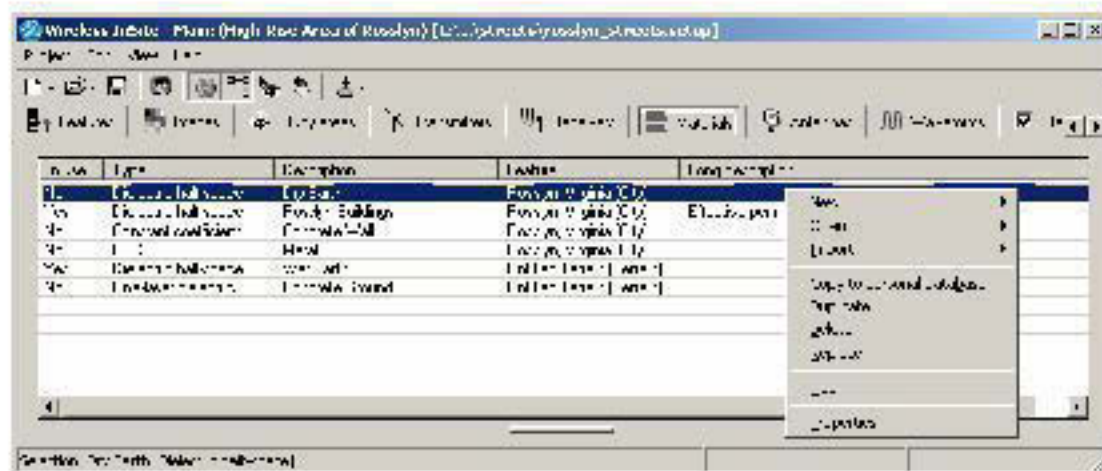


Figure 3.7 Onglet de création des matériaux et leurs caractéristiques.

Le menu contextuel pour chaque matériau (figure 3.7) comprend plusieurs options. Les principales options sont:

- *Copy to personal database*: une option qui aide à placer une copie du matériau sélectionné dans la base de données des matériaux pour pouvoir l'utiliser dans d'autres projets.
- *Plot*: pour afficher un tracé en 2D des coefficients de réflexion ou de transmission d'un matériau en fonction de l'angle d'incidence ou la fréquence.
- *Properties*: permet d'accéder aux propriétés du matériau sélectionné.

La fenêtre résultante par le choix de cette dernière option, contient tous les paramètres qui définissent le matériel.

Plusieurs termes peuvent être spécifiés dans cette fenêtre, et qui affectent directement ou indirectement la simulation de l'environnement d'étude, telles que l'épaisseur, la rugosité, la permittivité, la conductivité et le coefficient de réflexion du matériau:

- *Roughness* (la rugosité): elle est définie par l'écart-type de la hauteur de la surface par rapport à la hauteur moyenne. La rugosité est spécifiée en mètres.
- *Thickness* (l'épaisseur, en mètres): Plusieurs types de matériaux utilisent l'épaisseur afin de déterminer les coefficients de réflexion et de transmission, mais pour d'autres types de matériaux, l'épaisseur est seulement utilisée à des fins d'affichage. Par exemple, une épaisseur doit être saisie pour un demi-espace diélectrique (« Dielectric Half-Space »), même si les coefficients de réflexion et de transmission ne dépendent pas de l'épaisseur. Il est préférable dans ce cas d'entrer une valeur raisonnable, qui peut être nulle, de sorte que le mur soit affiché d'une manière appropriée. Les types de matériaux

avec plus d'une couche ont une épaisseur pour chaque couche, et dans ces cas, l'épaisseur totale est utilisée en affichage.

- *Permittivity* (Permittivité, ϵ): Elle est spécifiée par rapport à la permittivité d'espace libre, qui est égale à $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$. Plusieurs types de matériaux permettent à l'utilisateur d'entrer un ou plusieurs valeurs de permittivité. Dans la plupart des cas, seule la partie réelle de la permittivité est entrée.
- *Conductivity* (Conductivité, σ en S/m): Plusieurs types de matériaux permettent à l'utilisateur d'entrer un ou plusieurs valeurs de conductivité.
- *Reflection / Transmission coefficient* (coefficient de réflexion / Transmission): Lorsque le type de matériau est de coefficient constant (« constant coefficient »), les valeurs des coefficients de réflexion et de transmission sont déjà saisis pour le champ électrique polarisé parallèle et perpendiculaire au plan d'incidence.

Le type de matériau le plus utilisé dans la conception de notre plan d'étude est constitué de plaques de plâtre en trois couches (« Layered Drywall »). La première et la troisième couches sont du plâtre (« Drywall ») $\epsilon = 2.8$ et $\sigma = 0.001$ S/m. La deuxième contient de l'air (« Air ») $\epsilon = 1$ et $\sigma = 0$ S/m.

3.2.7 SORTIES CALCULÉES

Toutes les prédictions de propagation sont générées par le moteur de calcul de *Wireless Insite*, et pas par l'interface graphique. Le moteur sauvegarde toutes les sorties dans des fichiers à partir de laquelle l'interface graphique charge les données lorsque l'utilisateur choisit d'afficher ou de tracer les résultats. Chaque fois qu'une exécution est faite, les fichiers de sortie pour tous les émetteurs et les récepteurs actifs sont mis à jour.

Les unités physiques ci-dessous sont celles utilisées pour les données numériques dans tous les fichiers de sortie. Dans certains cas, d'autres unités sont disponibles lors de la visualisation graphique de la sortie, mais cette option ne modifie pas les données numériques dans les fichiers:

- Puissance reçue: dBm
- Temps: seconds
- Fréquence: Hertz
- Longueur: mètres
- Phase: degrés (-180 à 180)
- Direction: degrés (0 à 360)
- Champ électrique: V/m
- Perte de trajet (Path Loss, PL): dB

Afin de minimiser les temps de calcul et l'utilisation de la mémoire, les termes de sortie sont choisis en sélectionnant, de la liste des sorties disponibles, celles qu'on a besoin. La réponse impulsionnelle du canal sans fil est la sortie qui nous intéresse le plus. La figure 3.8 montre l'onglet de sortie principal requis. Les types de sortie seulement sélectionnées sont calculés.

3.3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU LOGICIEL

Le logiciel considère les réflexions, les transmissions, et les diffractions avec les objets dans l'espace simulé. Les propriétés matérielles de chaque face sont considérées pour chacune de ces interactions, et affecte les calculs résultants.

A chaque position d'un récepteur donné dans la surface étudiée, les rayons sont combinés et évalués afin de déterminer les caractéristiques du signal tel que la perte du trajet (path loss), le retard, la propagation du retard (delay spread), la direction d'arrivée (DOA), et la réponse impulsionnelle.

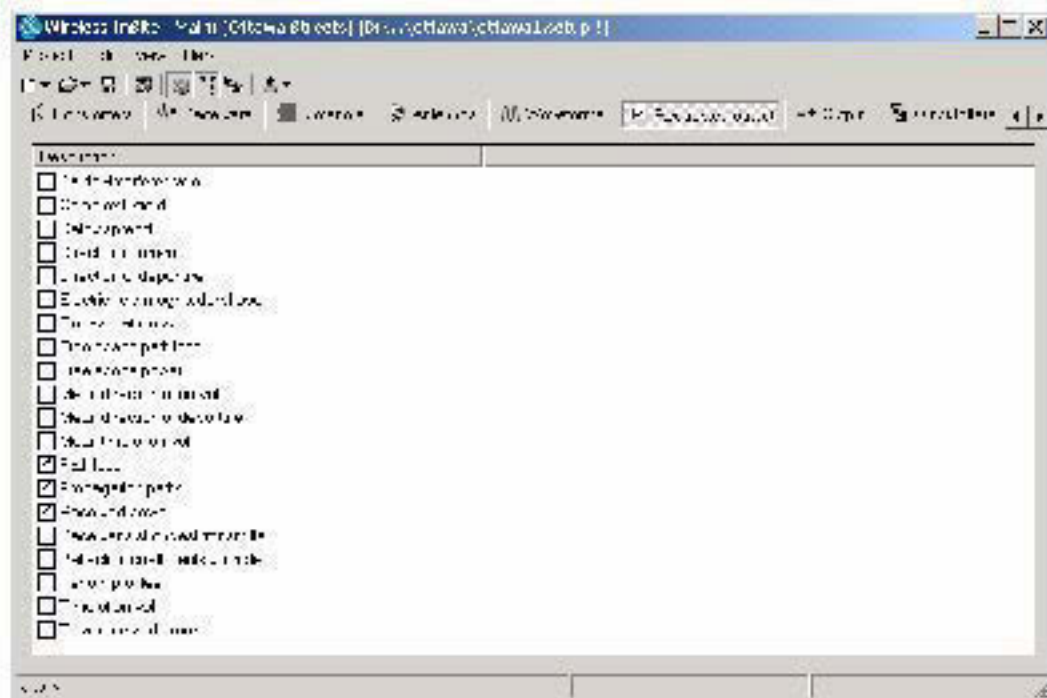


Figure 3.8 Fenêtre représentant la liste de control des sorties disponibles.

Le logiciel considère seulement les réflexions spéculaires, ainsi la fréquence maximum dépend de la rugosité de la matière utilisée à la fréquence qui nous intéresse. Ce logiciel utilise des méthodes avancées de haute fréquence pour fournir des résultats précis sur une bande de fréquence d'environ 50 MHz à 40 GHz.

Chaque matériel donné possède un paramètre de rugosité, mais il est juste un facteur d'atténuation pour la réflexion spéculaire, et ne considère pas l'énergie diffusée. Ainsi, on peut passer à une fréquence plus élevée en employant un matériel plus lisse que si on utilise un matériel dont la rugosité commence à avoir la diffusion comme propriété dominante dans le calcul.

3.4 CALCULS ET PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Wireless InSite présente les résultats dans un certain nombre de façons:

- *Représentation visuelle dans l'environnement modélisé*, tels que les zones de couverture du transmetteur et les distributions de puissance.
- *Représentation vidéo*, avec laquelle Wireless InSite est capable de jouer des films sur l'évolution du champ E dans le domaine temporel.
- *Représentation graphique*, où le logiciel offre également un système avancé de traçage. Les superpositions de données permettent de comparer rapidement avec les mesures importées, ou même avec les calculs précédents.

Toutes les prédictions de propagation sont générées par le moteur de calcul de *Wireless InSite* et non pas par l'interface graphique (GUI). Le moteur et l'interface graphique sont exécutés séparément. Le moteur écrit tous les calculs dans des fichiers de sortie en format texte lisible ASCII, à partir de laquelle la GUI charge les données lorsque l'utilisateur choisit l'affichage ou le traçage des résultats.

Les types de sortie, les conditions des données d'entrée prises en considération et les formules suivies dans le calcul sont décrites dans le manuel du logiciel [27] dans le 17^e chapitre (Output).

Les fichiers des résultats sont utilisés plus tard, par une simulation Matlab, pour lire les l'ensemble des réponses impulsionnelles (CIRs) calculé du canal sans fil étudié.

À partir de CIR, on peut extraire plusieurs paramètres pour former une signature spécifique. Sept paramètres pour chaque CIR garantissent l'unicité dans la position de l'émetteur: Le délai moyen relatif, l'étalement efficace du retard, l'étalement maximal du

retard, la puissance relative totale des multi-trajets, la puissance du premier trajet réfléchi, le temps d'arrivée, le nombre total de réflexions.

CHAPITRE 4

LOCALISATION

4.1 CHOIX DE LA TECHNIQUE DE RADIOLOCALISATION

La performance d'un système de radiolocalisation est définie par la précision de positionnement de l'utilisateur, ou dans d'autres sens ses coordonnées. Et par conséquent, les erreurs dans l'estimation des paramètres de localisation causent une dégradation de la précision d'un système, et diminuent sa performance.

Dans un milieu interne, où le canal de propagation est caractérisé par l'effet sévère du phénomène multivoie et par la faible probabilité d'avoir une visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur à cause de la spécificité du milieu [28], la technique de radiolocalisation classique ou paramétrique, impliquent des erreurs importantes dans l'estimation des paramètres de localisation (RSS, AOA, TOA et TDOA) et ne réussira pas à donner la précision souhaitée.

Pour cette raison, la technique alternative basée sur l'approche des signatures est utilisée pour atteindre cet objectif. En plus, la limitation géographique de la zone de couverture facilite la collection de ces signatures.

4.2 SIGNATURE

La signature est l'empreinte associée à chaque position (ensemble des paramètres représentant un emplacement). Lors de l'application de la technique de radiolocalisation basée sur l'approche des signatures, cette signature doit être unique pour alléger la tâche de

l'algorithme de jumelage utilisé, et répétitive afin de pouvoir former, avec les coordonnées exactes (réelles) de la position de l'utilisateur, la signature demandée.

Pour le milieu interne, l'information d'empreinte basée sur la réponse impulsionnelle (CIR) du canal correspond à la meilleure empreinte choisie lors de l'application de la technique de radiolocalisation [11]. En pratique, l'utilisation de cette empreinte nécessite un récepteur à bande large avec une haute résolution temporelle, puisque la différence de délais de propagation entre deux composantes multivoies consécutives peut être aussi faible que quelques dizaines de nanosecondes.

Avec l'utilisation de la réponse impulsionnelle comme information d'empreinte, on peut extraire plusieurs paramètres pour former une signature spécifique. Sept paramètres pour chaque CIR garantissent l'unicité de la position de l'émetteur [25]. Les paramètres extraits sont les suivants:

- Le retard moyen relatif τ_m ('mean excess delay'), qui est le premier moment central du profil multivoie (PDP), liée à l'amplitude des composantes de trajets multiples, et il est donné par:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^L [\tau_i - \tau_1]^2 * \rho_i^2}{\sum_{i=1}^L \rho_i^2} \quad (4.1)$$

- L'étalement efficace du retard τ_{rms} ('Root Mean Square- RMS delay spread'), qui est le second moment central du profil multivoie. Il donne un estimé de l'interférence entre les symboles (ISI) due à l'étalement temporel du signal émis dans le canal. Il est donné par:

$$\tau_{rms} = \sqrt{\tau^2 - \bar{\tau}^2} \quad (4.2)$$

- L'étalement maximal du retard τ_{max} ('maximum excess delay'), qui correspond au retard relatif du dernier trajet d'amplitude supérieur au seuil prédéfini (non négligeable) par rapport au premier. La valeur de ce seuil est importante lors de l'extraction des paramètres de propagation, puisqu'elle caractérise la suppression du bruit et des erreurs de calibrage (différentiation entre les trajets multiples reçus et le bruit thermique) [26].
- La puissance totale du signal reçu P , en dBm.
- La puissance de la première composante multivoie P_1 .
- Le temps d'arrivée du signal correspondant au premier trajet multivoie τ_1 .
- Le nombre de composantes multivoies N qui forment l'ensemble des signaux reçus.

La réponse impulsionnelle du canal n'a pas été utilisée directement comme information d'empreinte. Le nombre total des neurones, représentant la grosseur du réseau de neurones, devient important quand les échantillons, constituant la réponse impulsionnelle du canal, sont utilisés comme les entrées du réseau de neurones. Dans ce cas, il devient nécessaire d'augmenter le nombre de données d'entraînement du réseau pour respecter sa propriété de généralisation (ajustement des poids et des biais).

4.3 ALGORITHME DE JUMELAGE

Une fois la base des signatures est prête, le système aura besoin d'un algorithme de jumelage, ou de correspondance (matching algorithm) capable d'identifier la plus proche des empreintes enregistrées dans cette base par rapport à celle mesurée pour le positionnement du mobile (usager). Plusieurs types d'algorithmes peuvent être utilisés pour ce but [29] [30], le plus simple consiste à calculer la distance euclidienne minimale entre les empreintes enregistrées et celles mesurées (Nearest-Neighbor).

En raison de la nature physique du milieu interne, la base des signatures peut ne pas couvrir toute la zone d'intérêt. Pour cela, un algorithme intelligent basé sur un réseau de neurones artificiels est utilisé pour assurer la généralisation et la robustesse du système grâce à sa capacité d'apprentissage, son adaptation et sa rapidité d'exécution.

4.4 ENVIRONNEMENT DE PRISE DE MESURES

Notre approche proposée, pour contrer la dégradation de précision du système de radiolocalisation dans un canal dynamique, est censé fonctionner dans tout environnement interne.

Comme étant considéré que l'environnement dynamique est une représentation de N états statiques différents, alors trois séries de mesures de la réponse impulsionnelle ont été déterminées dans le milieu d'étude, suivant trois différents états du canal ($N=3$), afin de former la base des signatures. On signifie par état statique du canal de propagation, un état du canal caractérisé par un immobilisme de tout ce qui contient. Par contre, l'unité mobile est la seule unité qui doit changer sa position, à chaque fois, pour déterminer une nouvelle signature.

Donc, la première série de mesures est prise dans un état considéré statique pour la propagation du signal, pour chaque point de réception défini dans le canal représentant les différentes positions de l'utilisateur. La deuxième est obtenue dans un nouvel état considéré variable, par l'ajout de plusieurs objets représentant des obstacles réfléchissants ou atténuants du signal transmis, et sont disposés un peu partout dans la zone d'intérêt, causant une variation du canal de propagation. La troisième série est déterminée dans un nouvel état aussi considéré variable, avec une modification de l'emplacement des objets réflecteurs déjà ajoutés, ce qui fait entrer des différentes situations de visibilité entre les deux extrémités de la communication (TX et RX).

L'ensemble de toutes les mesures déterminées dans les trois différents états du canal est utilisée pour la construction de la base des signatures, représentant les paramètres de localisation de toute position de l'utilisateur dans les trois états.

Dans cette configuration, trois bases de signatures ont été formées, dont chacune comprend 260 signatures correspondant à celles recueillies aux 260 points de mesures (qui font un total de 780 valeurs de mesure, CIR), couvrant la zone d'intérêt de localisation. Toutes les signatures, constituant une base, ont été prises dans un même état statique du canal de propagation, différent de celui des autres bases de signatures. Les points de mesures placés dans le plan sont séparés d'une distance de 0.5 m.

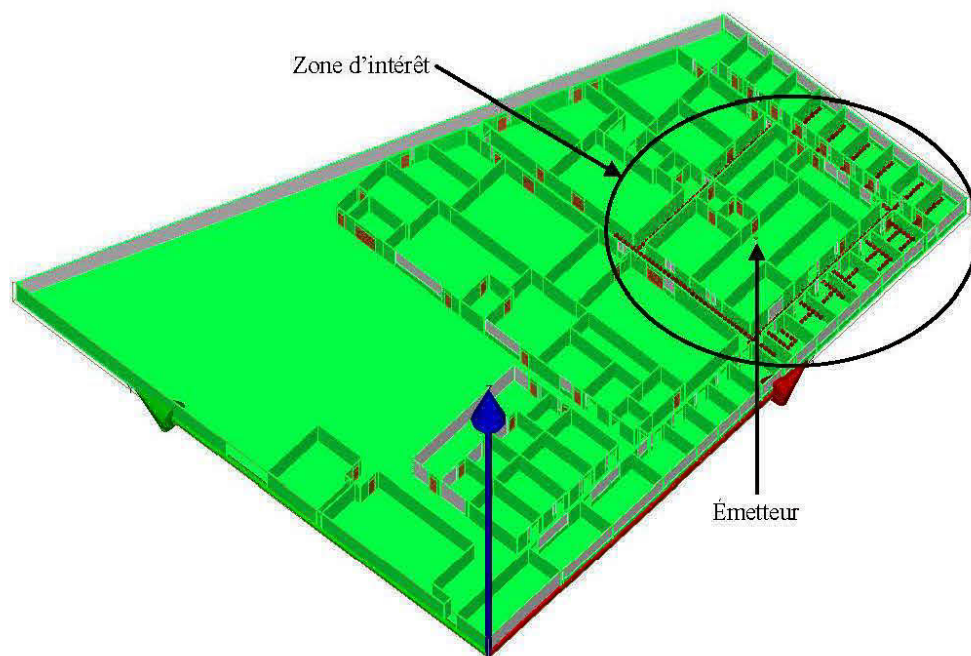


Figure 4.1 Plan de l'environnement conçu sur « Wireless Insite » avec la zone d'intérêt de localisation et la position des points de mesures.

La figure 4.1 montre le plan (avec la zone d'intérêt) conçue par l'utilisation des outils disponibles dans le logiciel Wireless Insite) et l'emplacement du point transmetteur et des différents points récepteurs (points de mesures).

4.5 RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIEL (ANN)

Un réseau de neurones artificiels est conçu pour faire des tâches complexes, comme la classification, l'optimisation, la commande et l'approximation des fonctions [26].

Le réseau ANN fonctionne suivant deux phases: *phase d'apprentissage* (training phase) et *phase d'appel* ou de test (recall phase).

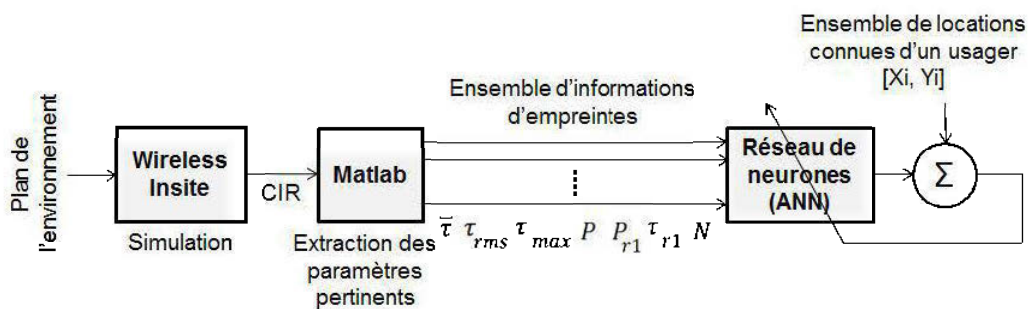
La *phase d'apprentissage* (figure 4.1a) est la phase où le réseau est entraîné pour former un ensemble d'empreintes en fonction de la position réelle de l'utilisateur. Dans cette phase, l'ensemble des paramètres pertinents du canal provenant de CIR est appliqué à l'entrée du réseau de neurones, et est comparée avec l'ensemble de sortie correspondant aux positions réelles de l'utilisateur. Ensuite, la différence entre la sortie du réseau (positions estimées de l'utilisateur) et la sortie désirée (position réel), correspondant à l'erreur de localisation, est utilisée pour fin d'ajustement itératif des poids du réseau. Cette étape est équivalente à la formation de la base de données des signatures.

Dans la *phase d'appel* (figure 4.1b), le réseau de neurones agit comme un algorithme de jumelage. Les paramètres pertinents, provenant des mesures obtenues à une position spécifique de l'unité mobile, sont appliqués à l'entrée du réseau pour obtenir la position estimée de l'utilisateur.

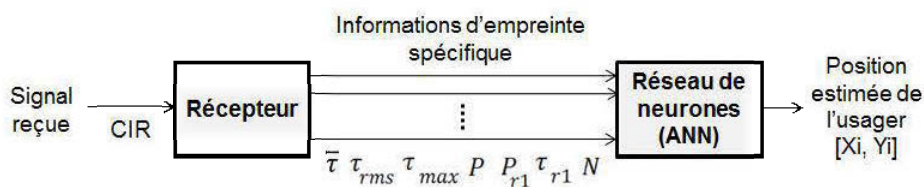
4.5.1 ARCHITECTURE

Deux architectures de réseau de neurones peuvent être utilisées pour la régression non linéaire:

- Les réseaux perceptrons multicouche (MLP), dont le fonctionnement se base sur les fonctions du type sigmoïde tangente hyperbolique, qui permettent le rapprochement global de la fonction continue.
- les réseaux à base de fonctions radiales (RBF), dont le fonctionnement se base sur les fonctions Gaussiennes, qui ne peuvent rapprocher que localement cette fonction.



(a)



(b)

Figure 4.2 Fonctionnement du réseau de neurones artificiel, a) phase d'apprentissage, b) phase d'appel.

Le choix des paramètres internes (nombre de couches cachées, nombre de neurones et algorithme d'apprentissage) dans chacun des deux réseaux, est fixé suite à un compromis entre la mémorisation des signatures et la généralisation des réseaux face aux données manquantes.

Le réseau RBF est meilleur que MLP en termes de simplicité de conception, de rapidité d'apprentissage, de mémorisation et de robustesse face aux perturbations des données d'entrée [26] [31]. Par contre, le réseau MLP est mieux que RBF en termes de généralisation. Comme la reconnaissance des données non-apprises est un objectif essentiel dans la localisation, alors le réseau MLP est le meilleur dans ce cas et est choisi pour la fin de localisation.

Le nombre total de mesures obtenues par simulation de l'environnement est 780, définies par les sept paramètres pertinents extraits de la réponse impulsionnelle du canal et leurs emplacements réels correspondants. 75% de ces mesures (585) ont servi pour l'entraînement et la généralisation du réseau MLP et le reste (195) est utilisé pour le test ou la vérification de la généralisation. L'entrée du réseau est constituée de l'ensemble des 7 paramètres pertinents, et la sortie est constituée de 2 neurones, correspondant à la position à deux dimensions de l'unité mobile. Le nombre des neurones dans la couche cachée du réseau MLP est de 15, choisi comme compromis entre mémorisation et généralisation du réseau et afin d'avoir une meilleure performance du système.

La figure 3.2 représente l'architecture du réseau considéré, constituée de trois couches:

- La couche d'entrée, représentant les valeurs des sept paramètres constituant une signature donnée.
- La couche cachée, représentant les poids et les biais ajustables.
- La couche de sortie, représentant les valeurs à deux dimensions de différentes positions obtenues de l'utilisateur.

4.5.2 FONCTIONNEMENT

Les réseaux de neurones artificiels, et en particulier le réseau MLP, fonctionnent en deux étapes [32].

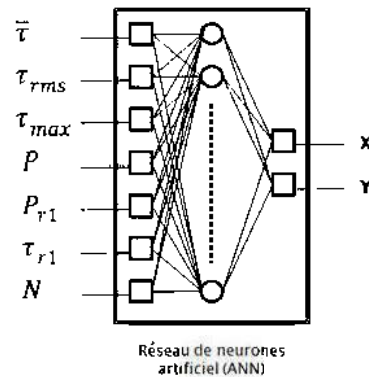


Figure 4.3 Architecture du réseau de neurones considéré.

La première étape est « la mémorisation », qui consiste à choisir les fonctions de transfert des neurones de chaque couche du réseau et à entraîner ce dernier avec une méthode d'apprentissage dictée par le type de réseau de neurones choisi.

Le réseau MLP utilise la méthode de rétro-propagation des erreurs (Back-propagation) de la couche de sortie vers la couche d'entrée, comme algorithme d'apprentissage [33] [34]. Connaissant les positions réelles (x , y) du mobile, correspondant aux signatures construites dans la phase d'apprentissage, le réseau MLP calcule les erreurs de position et ajuste itérativement les biais et les poids des neurones, en fonction de ces erreurs. Le nombre d'itérations est choisi à une valeur assez élevée de manière à obtenir une bonne précision, mais en même temps éviter le phénomène de sur-apprentissage [33] des données par le réseau, dû à cette augmentation. L'erreur de localisation diminue à chaque itération durant le processus. Le nombre d'itérations dans notre travail a été fixé à 1000.

Le temps d'apprentissage dépend effectivement du nombre de données d'apprentissage. La précision fournie par le réseau de neurones après ce processus dépend souvent des valeurs des poids et des biais initialisées au début d'apprentissage. Ces valeurs étant fixées aléatoirement, la certitude d'obtenir le réseau le plus performant est impossible. Pour cette raison, plusieurs réseaux MLP, avec des valeurs de poids et de biais différentes, ont été employés, et le réseau donnant la meilleure précision sur les données d'apprentissage est alors retenu.

Une fois l'apprentissage est terminé, les poids et biais des neurones du réseau MLP sont ajustés pour mémoriser les signatures de la base construite et les positions du mobile correspondantes.

La deuxième étape de fonctionnement du réseau MLP est « la généralisation ». Dans cette étape, le réseau doit être capable d'estimer une position inconnue d'un mobile à partir des signatures apprises ou non par le réseau.

CHAPITRE 5

RÉSULTATS ET ANALYSE

5.1 RÉSULTATS DE LA LOCALISATION DANS UN MILIEU INTERNE DYNAMIQUE

L'architecture du réseau MLP utilisé, a été constituée de sept neurones d'entrées correspondant aux 7 paramètres pertinents extraits de la réponse impulsionnelle du canal, d'une couche cachée représentant les poids et les biais, et une couche de sortie.

Pour un nombre de neurones de la couche cachée égal à 15, et pour un réseau constitué de 7 entrées et 2 sorties, le nombre total des paramètres internes (poids et biais) du réseau est donné par:

$$(7*15) + (15*2) \text{ poids} + (15+2) \text{ biais} = 152$$

Conséquemment, le nombre de données d'entrée d'apprentissage (585), est assez pour pouvoir faire la généralisation requise.

Après plusieurs simulations, utilisant un programme *Matlab*, le nombre de neurones de la couche cachée, a été fixé à 15 pour l'obtention d'un compromis entre les propriétés de mémorisation et de généralisation du réseau.

Les positions réelles de l'utilisateur et celles estimées provenant des mêmes entrées utilisées lors de l'entraînement du réseau MLP, les erreurs de localisation et leurs fonctions de distribution cumulatives (CDF) sont représentées dans les figures 5.1, 5.2 et 5.3.

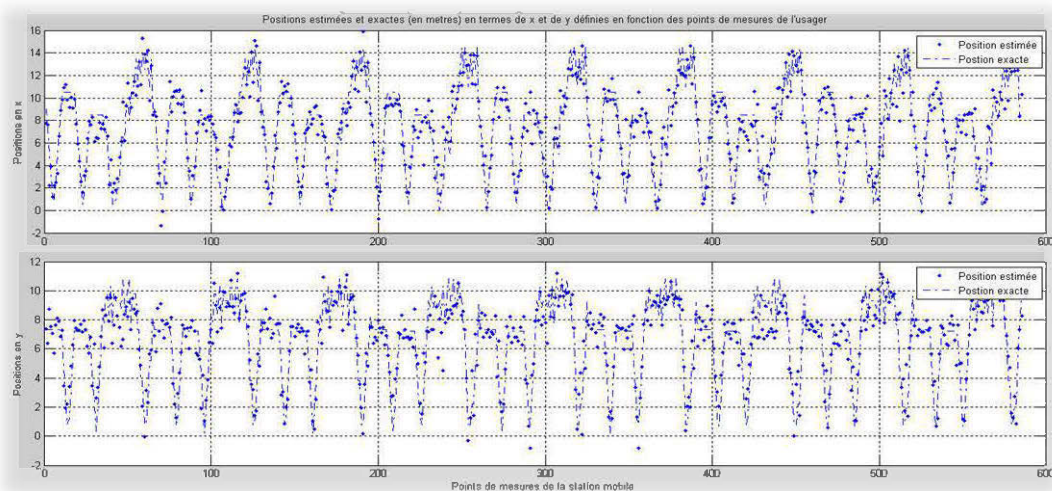


Figure 5.1 Positions estimées et exactes (en mètres) en termes de x et y , avec des entrées correspondant à l'ensemble des données d'apprentissage du réseau MLP, définies en fonction des points de mesures de l'utilisateur.

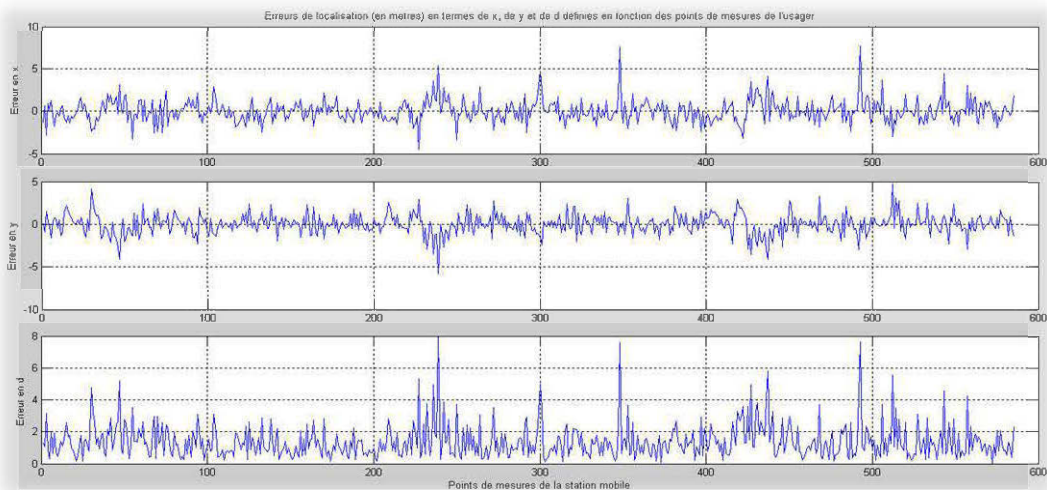


Figure 5.2 Erreurs de localisation (en mètres) en termes de x , y et d (distance), avec des entrées correspondant à l'ensemble des données d'apprentissage du réseau MLP, définies en fonction des points de mesures de l'utilisateur.

Dans la première étape de localisation, l'ensemble des données d'apprentissage est utilisé pour fin de radiolocalisation, l'erreur de position en termes de x et de y , varie respectivement entre -4.43 et 8.64 mètres et -5.87 et 4.39 mètres. En plus, la valeur moyenne de l'erreur de position en termes de distance est égale à 1.35 mètres (figure 5.2).

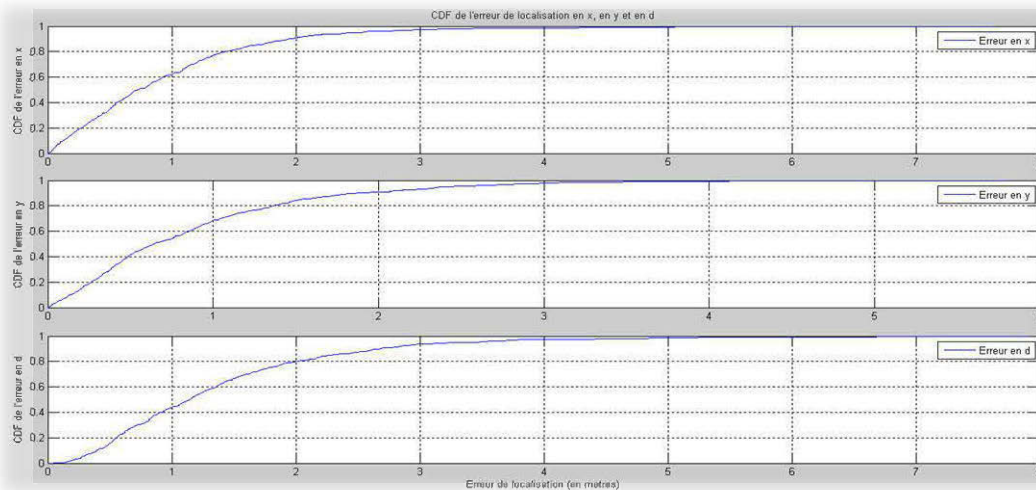


Figure 5.3 Fonctions de distribution cumulatives (CDF) des erreurs de localisation en termes de x , y et d (distance), avec des entrées correspondant à l'ensemble des données d'apprentissage du réseau MLP.

D'autre part, une précision de localisation en termes de distance de 2 mètres, est obtenue pour 80% des données d'apprentissage. Une amélioration de cette précision est possible, dépendamment de la propriété de généralisation du réseau, par augmentation du nombre de neurones de la couche cachée (figure 5.3).

Dans la deuxième étape, les 195 données restantes non-apprises par le réseau, ont été appliquées à l'entrée du MLP pour vérifier sa propriété de généralisation. Les positions estimées et réelles de l'utilisateur, les erreurs de localisation et leurs CDF sont représentées dans les figures 5.4, 5.5 et 5.6.

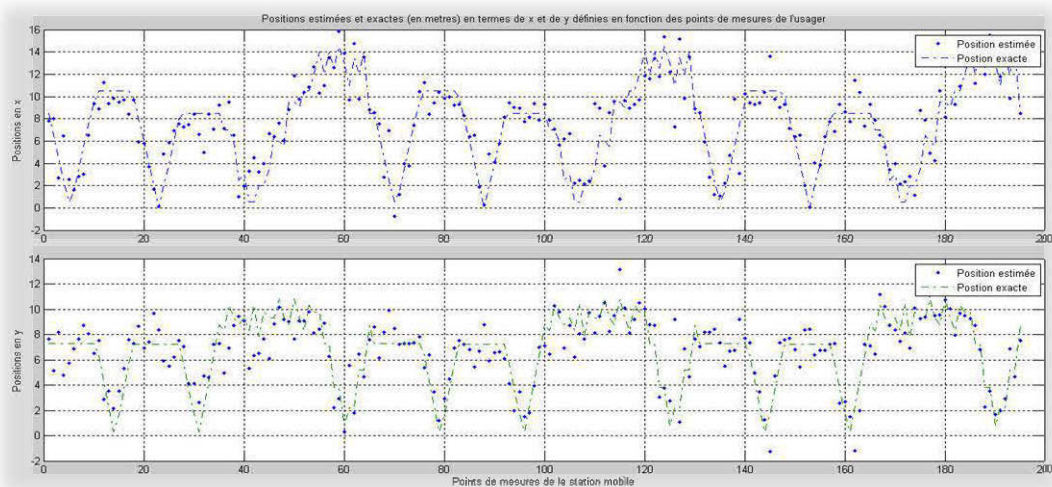


Figure 5.4 Positions estimées et exactes (en mètres) en termes de x et y , avec des entrées correspondant à l'ensemble des données de test du réseau MLP, définies en fonction des points de mesures de l'utilisateur.

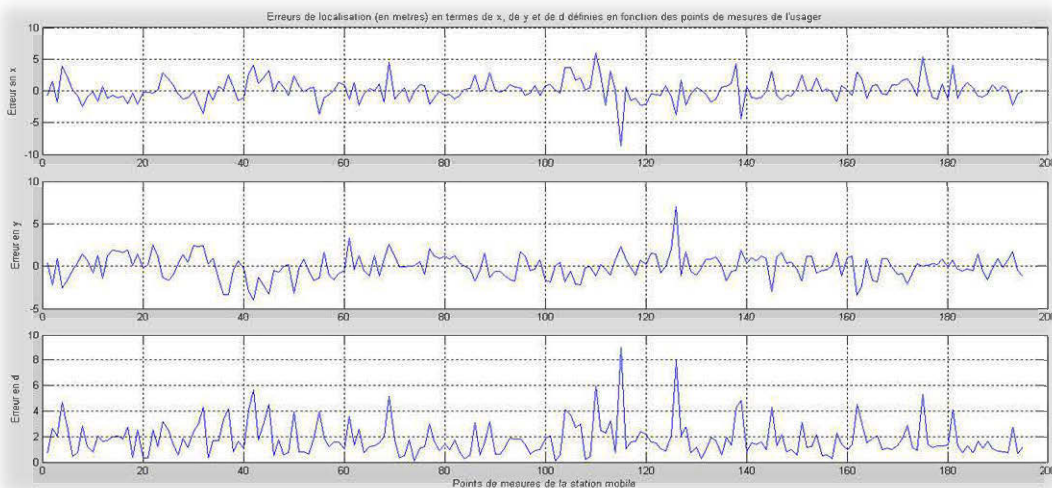


Figure 5.5 Erreurs de localisation (en mètres) en termes de x , y et d (distance), avec des entrées correspondant à l'ensemble des données de test du réseau MLP, définies en fonction des points de mesures de l'utilisateur.

Pour l'ensemble des données non entraînées, l'erreur de position en termes de x et de y , varie respectivement entre -5.37 et 9.08 mètres et -7.86 et 4.53 mètres. En plus, la valeur moyenne de l'erreur de position en termes de distance est égale à 0.06 mètres (figure 5.5).

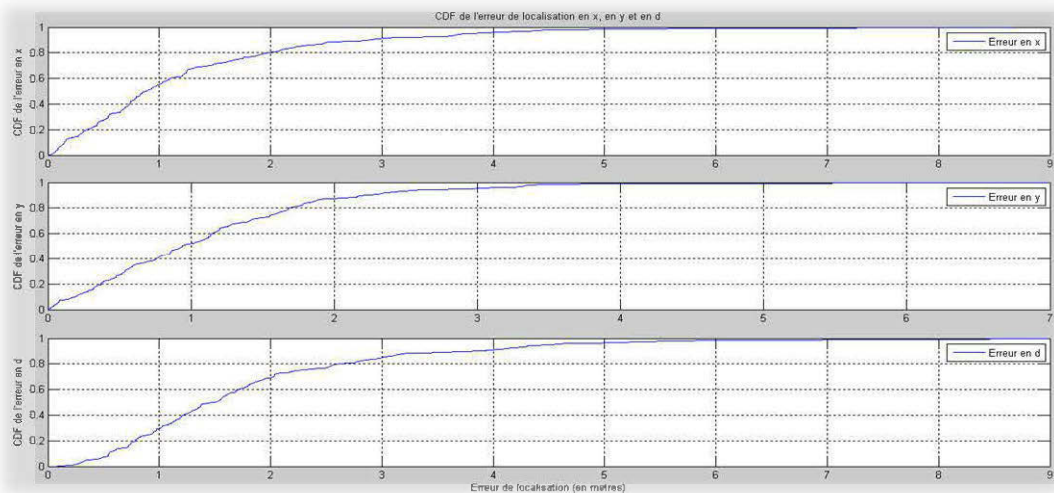


Figure 5.6 Fonctions de distribution cumulatives (CDF) des erreurs de localisation en termes de x , y et d (distance), avec des entrées correspondant à l'ensemble des données de test du réseau MLP.

D'autre part, une précision de localisation en termes de distance de 2 mètres, est obtenue pour 70% des données de test. Ces résultats montrent que le concept proposée fonctionne et permet d'avoir une précision de localisation pratiquement identique à celle obtenue dans un canal statique.

5.2 INTERFACE GRAPHIQUE

Une interface graphique simple est faite sur Matlab dans le but de montrer le déplacement d'une unité mobile dans un environnement donné. Cette unité mobile est le centre d'un cercle qui se déplace dans le plan donné, et de rayon représentant la distance entre la position exacte et la position estimée du mobile (erreur de localisation).

La figure ci-dessous illustre l'interface graphique réalisée (figure 5.7).

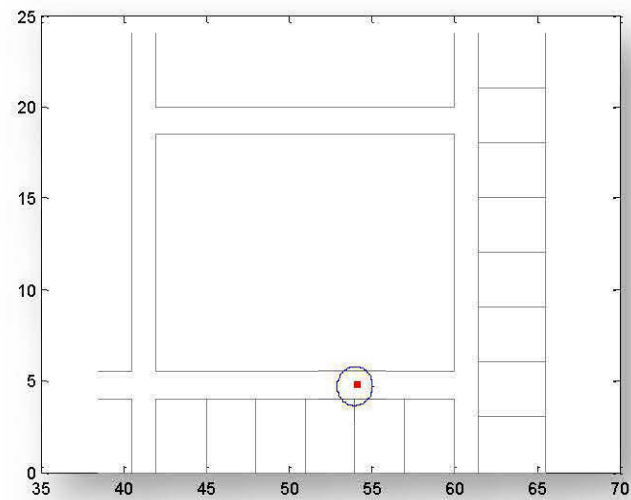


Figure 5.7 Interface graphique (GUI)

5.3 CONCLUSION

Dans un environnement interne à parois lisses (bâtiments, centres d'achat, etc.), des logiciels, basés sur le traçage de rayons (*ray tracing*), peuvent être utilisés pour la génération de la réponse impulsionnelle du canal en fonction de la position de l'utilisateur, réduisant le temps mis pour la collecte de la base de données, et facilitant l'implantation du système de localisation. Les résultats obtenus dans cette étude montrent une précision de localisation acceptable et presque identique à celle obtenue dans un canal statique.

CHAPITRE 6

CONCLUSION

Ce travail de recherche traite la localisation dans un environnement interne ayant un canal de propagation dynamique. La motivation de ce travail a été d'atteindre une précision de localisation acceptable dans un environnement interne variable dans le temps.

Les résultats de localisation obtenus dans l'environnement considéré, en utilisant un réseau MLP, donnent une précision de 2 mètres pour 80% des données d'apprentissage et pour 70% des données de test. Une amélioration de cette précision est possible, dépendamment de la propriété de généralisation du réseau, par l'augmentation du nombre de neurones de la couche cachée du réseau de neurones.

Le défi principal de ce projet a été de trouver une solution avantageuse pour contrer les dégradations de précision de localisation due à la variation temporelle du canal. Pour s'approcher de notre objectif, un logiciel existant basé sur le traçage de rayons « ray tracing » (Wireless Insite) a été utilisé pour la génération de la réponse impulsionnelle du canal en fonction de la position de l'utilisateur suivant N états statiques, représentant des situations ou des scénarios différents du canal spécifiée. En plus, ceci a pour effet de réduire le temps de la collection de la base de données, et de faciliter l'implantation du système de localisation.

Plusieurs facteurs influencent la performance de localisation et affecte la précision de localisation, en mieux ou en pire, que donne notre concept:

- Le choix des états statiques:

Les états statiques choisis doivent refléter des situations et des scénarios de propagation réels. Donc une observation, à long terme, des variations réelles qu'un canal de propagation spécifié peut subir, doit être faite afin de déterminer une meilleure représentation des différents états du canal en simulation. On note ainsi que, plus des scénarios différents sont réalisés, plus il y a d'états statiques reflétant autant de conditions différentes, et meilleure sera la précision de localisation. Le temps de formation des bases de signatures représentant les différents états statiques choisis est résolu dans notre concept basé sur la simulation de l'environnement par un logiciel prédéfini.

- Nombre et positions des références fixes:

Le nombre et la position des références fixes, dans l'environnement étudié, peut affecter positivement ou négativement, la performance du système et la précision de localisation. En effet, l'utilisation d'un plus grand nombre de références fixes augmente la probabilité d'avoir une référence plus proche de la cible (mobile) subissant les mêmes variations temporelles que ce dernier. Cela ne signifie pas certainement que cette référence joue fortement sur le choix de la meilleure estimation de la position du mobile.

- Nombre et position des points d'accès (AP) utilisés:

L'augmentation du nombre de points d'accès et le choix de leur positions, augmente la probabilité d'avoir des signatures possédant la propriété d'unicité est plus grande [25], une propriété importante pour avoir une bonne précision de localisation avec la technique des signatures.

Dans ce travail, nous avons prouvé que le concept proposé fonctionne et permet de donner une précision proche de celle obtenu dans un canal statique. Plusieurs prolongements à ce travail peuvent être faits pour améliorer la précision de localisation, en prenant

d'avantage plus d'états statiques et plus de points d'accès et en étudiant l'influence du nombre de références fixes sur l'environnement de localisation choisi. En plus, dans le cas où les dimensions de l'espace de localisation deviennent supérieures à la portée du signal émis, la création de plusieurs cellules de localisation est une solution, en étudiant la continuité de la localisation d'un mobile passant d'une cellule à l'autre et la gestion de tous les points d'accès en présence.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Chen, K. Yao, and R. Hudson, « Source localization and beamforming », *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 19, no. 2, pp. 30–39, Mar 2002.
- [2] N. Patwari, J. Ash, S. Kyperountas, I. Hero, A.O., R. Moses, and N. Correal, « Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks », *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 22, no. 4, pp. 54–69, July 2005.
- [3] J. A. Costa, N. Patwari, and A. O. H. III, « Distributed weighted multidimensional scaling for node localization in sensor networks », *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 2, no. 1, pp. 39–64, February 2006.
- [4] C. Hoene and J. Willmann, « Four-way TOA and software-based trilateration of IEEE 802.11 devices », *IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2008*, Sept. 2008, pp. 1–6.
- [5] D. Humphrey and M. Hedley, « Super-resolution time of arrival for indoor localization », in *IEEE International Conference on Communications, 2008. ICC '08*, May 2008, pp. 3286–3290.
- [6] Z. Low, J. Cheong, C. Law, W. Ng, and Y. Lee, « Pulse detection algorithm for line-of-sight (LOS) UWB ranging applications », *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 4, pp. 63–67, 2005.
- [7] S. Galler, W. Gerok, J. Schroeder, K. Kyamakya, and T. Kaiser, « Combined AOA/TOA UWB localization », in *Communications and Information Technologies, 2007. ISCIT '07. International Symposium on*, Oct. 2007, pp. 1049–1053.

- [8] H. Lim, L.-C. Kung, J. C. Hou, and H. Luo, « Zero-configuration, robust indoor localization: Theory and experimentation », in INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings, April 2006, pp. 1–12.
- [9] M. Nezafat, M. Kaveh, and H. Tsuji, « Indoor localization using a spatial channel signature database », *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 5, no. 1, pp. 406–409, Dec. 2006.
- [10] C. Nerguizian, L. Hamza, V. Nerguizian, M. Saad, « 3D Indoor Geolocation With Received Signal Strength Fingerprinting Technique and Neural Networks », 4th WSEAS International Conference on Electronics, Signal Processing and Control (ESPOCO 2005), Rio de Janeiro, Brazil, April 2005.
- [11] T. S. Rappaport, « *Wireless Communications: Principles and Practice* », Second Edition 2002, Prentice Hall PTR.
- [12] S. Gezici, « *A Survey on Wireless Position Estimation* », Springer Science & Business Media, LLC. 2007.
- [13] K. Pahlavan, X. Li, et al., « An Overview of Wireless Indoor Geolocation Techniques and Systems », *Proceeding of MWCN 2000*, Paris, France, May 2000.
- [14] J.J. Caffrey Jr., « *Wireless Location CDMA Cellular Radio Systems* », Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [15] H. Laitinen, « *Cellular Location Techniques* », *Mobile Location Workshop 2001*, Espoo, Finland, June 2001.

- [16] S. Sakagami, S. Aoyama, K. Kuboi, S. Shiota and A. Akeyama, « Vehicle Position Estimates by Multibeam Antennas in Multipath Environments », IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 1, February 1992.
- [17] W. C Lindsey, M. K. Simon, « Phase and Doppler measurements in two-way phase-coherent tracking systems », New York: Dover, 1991.
- [18] J.C. Liberti Jr. And T.S. Rappaport, « Smart Antennas for Wireless Communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications », Prentice Hall PTR, 1999.
- [19] C. Nerguizian, C. Despins and S. Affès, « Geolocation in Mines with an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks », IEEE Vehicular Technology Conference VTC 2004 fall, Los Angeles, USA, September 2004.
- [20] Mauro Brunato and Csaba Kiss Kallo, « Transparent Location Fingerprinting for Wireless Services », Proceedings of Med-Hoc-Net, Baia Chia, September 2002.
- [21] P. Bahl, V. N. Padmanabhan, « RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System », In IEEE INFOCOM 2000, pages 775-784, March 2000.
- [22] C. Nerguizian, C. Despins and S. Affès, « A Framework for Indoor Geolocation using an Intelligent System », 3rd IEEE Workshop on WLANs, Boston, USA, September 2001.
- [23] K. Pahlavan, X. Li and J.P. Mäkelä, « Indoor Geolocation Science and Technology », IEEE Communications magazine, February 2002.
- [24] S. Dayekh, « Cooperative Localization in Mines Using Fingerprinting and Neural Networks », Master's thesis, pp. 17–21, May 2010.

- [25] S. Dayekh, S. Affès, N. Kandil and C. Nerguizian, « Cooperative Localization in Mines Using Fingerprinting and Neural Networks », UQAT, May 2010.
- [26] C. Nerguizian, « Radiolocalisation en milieu minier souterrain », Ph.D. Thesis, INRS-EMT, August 2003.
- [27] « Wireless Insite, user's manual version 2.3 », Remcom inc. 2006.
- [28] K. Pahlavan and A.H. Levesque, « Wireless Information Networks », Wiley Inter-Science Publication, 1995.
- [29] R. Battiti, M. Brunato and A. Villani, « Statistical Learning Theory for Location Fingerprinting in Wireless LANs », Technical Report DIT-02-0086, University of Trento, Trento, Italy, October 2002.
- [30] R. Battiti, A. Villani and T.L. Nhat, « Neural Network Models for Intelligent Networks: Deriving the Location from Signal Patterns », Autonomous Intelligent Networks and Systems, UCLA, Los Angeles, USA, May 2002.
- [31] H.B. Demuth, M. Beale, « Neural Network Toolbox for use with MATLAB », MathWorks Inc., 1998.
- [32] G. Wassi, « Radiolocalisation en milieu confiné non stationnaire », Master's thesis, pp. 29–33, May 2005.
- [33] Simon Haykin, « Neural Networks: A comprehensive Foundation », Pearson Education Inc, 1999.
- [34] H. B. Demuth, M. Beale, « Neural Network Toolbox: for use with MATLAB », Version 4.04, MathWorks Inc., 2004