

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA-Bejaïa
Faculté de technologie

Département de Génie électrique



Mémoire de fin cycle

En Vue d'obtention du Diplôme Master Recherche

Filière : Electronique

Spécialité : Télécommunication

Thème

*Localisation des terminaux mobiles GSM dans les
environnements urbains*

Présenté par :

M^f DAHMOUNE Abdelghaour

Encadré par :

M^{elle} N. Bouzera

P^r A.Khireddine

Promotion 2012-2013



Remerciements

Avant tout, je tiens à remercier dieu le tout puissant pour m'avoir donné la force et la patience pour mener a terminé ce travail.

J'adresse ma reconnaissance et mes remerciements à mes encadreur M^{me} N. BOUZERA et M^r A.KHIRDDINE d'avoir proposé et accepter de me guider dans ce travail et encore M^r TOUNSI qui ma aider à faire le stage dans Mobilis

Je remercie les membres de jury M^r BERRAH et M^r ALLICHE qui me feront l'honneur de juger ce travail

Je ne manquerai pas de remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou du loin à la réalisation de ce travail et en particulier AMINE et TARIK

Enfin, j'exprime ma profonde reconnaissance envers ma famille et tous mes amis

Dahmoune AbdelGhafour

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes merveilleux parents

A mes trois sœurs : kafia, fairouz, marria dacine

Ainsi qu'à tous mes amis sans exception

Et à tous ceux qui me sont chers

Dahmoune AbdelGhafour

Liste des figures

Figure1.1: Architecture du réseau GSM	4
Figure1.2: Terminale mobile et la carte SIM	5
Figure1.3: Illustration des interfaces dans le réseau GSM.....	8
Figure1.4: Zone de service du MSC	10
Figure1.5: Zone de service du GSM	11
Figure1.6: Liaison entre mobile et station de base.	11
Figure1.7: Mode FDMA	13
Figure1.8: Mode TDMA	13
Figure1.9: Exemple de motif à 3 cellules	14
Figure 2.1: Les segments du système GPS	19
Figure 2.2: Une amélioration du système GPS, le D-GP.....	22
Figure 2.3: (a) : LMU de type A. (b) : LMU de type B.....	24
Figure 2.4: Méthode de géolocalisation Cell-ID.....	26
Figure 2.5: Cell-ID avec Timing Advance.....	27
Figure 2.6: La puissance du signal	28
Figure 2.7: Méthode de géolocalisation basée sur l'angle d'arrivée	29
Figure 2.8: Méthode de géolocalisation basée sur le temps d'arrivé	30
Figure 2.9: Méthode de géolocalisation basée sur la différence du temps d'arrivée.	32
Figure 3.1: Les différents mécanismes de propagation.....	36
Figure 3.2: Ellipsoïde de Fresnel	38
Figure 3. 3: Propagation en non-visibilité (NLOS).....	39
Figure 4.1: Schéma de la méthodologie générale	57
Figure 4.2: Présentation de lieu de l'expérience par google earth.....	60
Figure 4.3: Expérience de drive test.....	62

Figure 4.4: <i>Comparaison entre les différents modèles de propagations en termes de précision</i>	65
Figure 4.5: <i>Interface d'accueil</i>	66
Figure 4.6: <i>Les fonctions utilisées pour la localisation</i>	67
Figure 4.7: <i>Les modèles de propagation utilisés pour le calcul de la distance BTS-MS</i>	68
Figure 4.8: <i>Calcul de la distance MS-BTS avec le modèle de walfish Ikegami</i>	69
Figure 4.9: <i>Estimation de la position de MS et calcul de la précision</i>	70

Liste des tableaux

Tableau 1.1: <i>Les interfaces radio dans le réseau GSM.</i>	9
Tableau 1.2: <i>Les caractéristiques de réseau GSM.</i>	12
Tableau 1.3: <i>Les canaux logiques.</i>	16
Tableau 4.1: <i>Les paramètres utilisés</i>	63
Tableau 4.2: <i>Distance calculés par les modèles de propagation.</i>	63
Tableau 4.3: <i>Les positions estimées du mobile par le filtre de Kalman</i>	64
Tableau 4.4: <i>Calcul de la précision</i>	64

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

Chapitre 1: Présentation générale du réseau GSM

1.1. Introduction	3
1.2. Architecture du réseau GSM	3
1.2.1. La station mobile (MS)	4
1.2.2. Le sous système radio (BSS).....	5
1.2.2.1. La station de base (BTS).....	5
1.2.2.2. Le contrôleur de station de base (BSC).....	6
1.2.3. Le sous-système réseau (NSS).....	6
1.2.3.1. Le centre de commutation mobile (MSC)	6
1.2.3.2. Le commutateur d'entrée de service mobile (GMSC)	6
1.2.3.3. Le registre des abonnés locaux (HLR)	7
1.2.3.4. Le registre des abonnés visiteurs (VLR)	7
1.2.3.5. Le centre d'authentification (AuC)	7
1.2.3.6. Le registre d'identification d'équipement (EIR).....	8
1.2.4. Le sous système d'exploitation et de maintenance (OSS).....	8
1.3. Les interfaces du réseau GSM.....	8
1.4. La structure géographique du réseau GSM	9
1.4.1. La cellule (cell).....	10
1.4.2. La zone de localisation (LA).....	10
1.4.3. La zone de service du MSC	10
1.4.4. La zone de service de PLMN.....	10
1.4.5. La zone de service du GSM.....	11
1.5. Les bandes de fréquences allouées.....	11
1.6. Les caractéristiques de l'interface Air.....	12

1.6.1.	Partage des ressources radio	12
1.6.1.1.	Le partage en fréquence FDMA	13
1.6.1.2.	Le partage en temps TDMA	13
1.6.2.	Gestion des fréquences	14
1.6.2.1.	Principe de réutilisation des ressources	14
1.6.2.2.	Le saut de fréquence (Frequency Hopping).....	14
1.6.3.	Les canaux logiques	15
1.6.4.	Performance de l'interface Air	17
1.6.4.1.	Niveau du signal reçu RxLev.....	17
1.6.4.2.	Qualité du signal RxQual	17
1.7.	Conclusion.....	17

Chapitre 2:État de l'art des techniques de localisation

2.1.	Introduction	18
2.2.	Définition et intérêt de la géolocalisation	18
2.3.	Les techniques de la géolocalisation	18
2.3.1.	La géolocalisation par satellite.....	18
2.3.1.1.	Le GPS.....	19
2.3.1.1.1.	Les différents segments du système GPS	19
2.3.1.1.2.	Le fonctionnement du système GPS	20
2.3.1.1.3.	Les avantages et les inconvénients du GPS.....	21
2.3.1.1.4.	Les améliorations du système GPS.....	21
2.3.1.1.4.1.	Assisted GPS (A-GPS)	22
2.3.1.1.4.2.	Le D-GPS (Differential-GPS).....	22
2.3.2.	La géolocalisation par GSM.....	23
2.3.2.1.	Les équipements du service de localisation.....	23
2.3.2.1.1.	Unité de mesure de localisation (LMU).....	23
2.3.2.2.	Les différentes techniques de géolocalisation par GSM.....	25
2.3.2.2.1.	L'identification de cellule (Cell-ID).....	26
2.3.2.2.1.1.	Cell-ID combiné avec Timing Advance.....	27

2.3.2.2.2. La puissance du Signal.....	28
2.3.2.2.3. L'angle d'arrivée (AOA)	29
2.3.2.2.4. Le temps d'arrivée du signal (TOA).....	30
2.3.2.2.5. La différence de temps d'arrivée (TDOA).....	31
2.3.3. La géolocalisation par WiFi	32
2.3.3.1. La géolocalisation par adresse IP (sur internet).....	33
2.3.4. Localisation du mobile GSM basée sur le filtre de Kalman.....	33
2.4. Les applications de la localisation.....	33

Chapitre 3: Modèles de propagation et principe du filtre de Kalman

3.1. Introduction	35
3.2. Propagation en environnement radiomobile	35
3.2.1. Les mécanismes de propagation	35
3.2.1.1. La réflexion	36
3.2.1.2. La diffraction	36
3.2.1.3. La diffusion	36
3.2.1.4. La transmission	37
3.2.2. Les perturbations du signal pendant la propagation.....	37
3.2.2.1. Perte de propagation ou pathloss.....	37
3.2.2.2. Fading de masquage.....	38
3.2.2.2.1. Propagation en visibilité	38
3.2.2.2.2. Propagation en non-visibilité	39
3.2.2.3. Fading de rayleigh.....	39
3.2.3. Les Perturbations par brouillages.....	39
3.2.3.1. Les Bruits	40
3.2.3.2. Les interférences.....	40
3.2.4. Modélisation du canal radiomobile	41
3.2.4.1. Modèle d'Okumara-Hata	41
3.2.4.2. Modèle COST 231-Hata.....	42
3.2.4.3. Modèle de Walfisch-Ikegami.....	43

3.3. Le filtre de Kalman	46
3.3.1. Principe et points forts du filtre de kalman.....	46
3.3.2. Les limites du filtre de kalman.....	47
3.3.3. De l'estimateur optimal au filtre de Kalamn.....	47
3.3.3.1. L'estimation	47
3.3.3.2. Les estimateurs déterministes	48
3.3.3.3. L'estimateur optimal.....	48
3.3.3.4. La méthode des moindres carrés	49
3.3.3.5. La méthode des moindres carrés récursive.....	50
3.3.3.6. Évolution des paramètres dans le temps	51
3.3.3.7. Évolution aléatoire dans le temps	51
3.3.4. Le filtre de kalman étendu.....	52
3.3.4.1. Principe du filtre de kalman étendu	53
3.4. Conclusion.....	54

Chapitre 4:Localisation du mobile basée sur le filtre de Kalman

4.1. Introduction	55
4.2. Méthodologie.....	55
4.3. Le model du filtre de kalman étendu.....	58
4.3.1. Principe	58
4.3.2. Les étapes à suivre pour l'algorithme du filtre de kalman	59
4.4. La partie pratique	59
4.4.1. Expérience	60
4.4.1.1. Le drive test.....	60
4.4.1.2. Drive test effectué	61
4.4.1.3. Paramètres utilisés dans l'expérience.....	62
4.4.1.4. Calcul de la distance MS-BTS.....	63
4.4.1.5. Estimation de la position du mobile par le filtre de kalman	63

4.4.1.6. Calcul de la précision	64
4.4.1.7. Discussion des résultats.....	65
4.4.2. Interface graphique	66
4.5. Conclusion.....	70
CONCLUSION GENERALE	72

Bibliographie

Abréviation



Introduction générale

Introduction générale

Depuis l'Antiquité, l'homme a adopté diverses méthodes pour déterminer sa position géographique à l'aide : des étoiles, des points de repère, la boussole et des cartes. Ces dernières années, l'émergence de la technologie de la communication sans fil a donné naissance à des techniques de positionnement plus avancées et aux services basés sur la localisation.

Les applications de localisation à l'aide du réseau GSM sont apparues au début des années 2000 en raison de l'augmentation exponentielle des utilisateurs du téléphone mobile, c'est d'abord au Japon et aux États-Unis avec la création d'un service d'urgence sans fil E911. Des opérateurs de téléphonie mobile se sont intéressés à l'exploitation du réseau GSM à des fins de localisation pour ses prestations commerciales et sociales, pour cela, un service de localisation est apparu et utilisé pour la sécurité des usagers, dans un premiers temps, ensuite il a servit à une utilisation optimale dans un second temps. La qualité de ce service est étroitement liée à la précision du positionnement.

Plusieurs méthodes et technologies de localisation en utilisant les paramètres du réseau ont été développées pour répondre à la nécessité d'avoir un positionnement précis, parmi elles, il existe des méthodes d'identification de la cellule dans laquelle se trouve le mobile (Cell ID), puis des méthodes plus complexes basées sur des mesures temporelles comme celle de la mesure du temps d'arrivée (TOA) ou de la mesure de la différence du temps d'arrivée (TDOA). Enfin, l'utilisation des directions d'arrivée avec la méthode de l'angle d'arrivée du signal (AOA) conduit aussi à l'identification de la position occupée par le mobile.

L'objectif principal de notre travail est de proposer une technique de localisation du mobile GSM dans les environnements urbains basée sur le filtre de Kalman pour une meilleure estimation de sa position.

Notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre décrit les notions de bases liées au réseau GSM, le fonctionnement des différents équipements, ainsi leurs emplacements dans le réseau,

les bandes de fréquence allouées au système et les méthodes d'accès multiples utilisées.

- Le second chapitre est consacré aux principales techniques de localisation, comme le système GPS, la localisation par GSM, la localisation par wifi et adresse IP et nous avons décrit brièvement la méthode de localisation basée sur le filtre de kalman.
- Le troisième chapitre comporte deux parties ; la première partie traite le principe de propagation en environnement radiomobile, les différents modèles de propagation utilisés dans l'environnement urbain pour calculer la distance entre la station de base et la station mobile. La deuxième partie est dédiée à la présentation de principe et l'évolution du filtre de kalman.
- Le dernier chapitre est consacré à la description de la méthode de localisation basée sur le filtre kalman et l'expérience effectuée à Alger centre pour tester les performances de cette méthode. Pour terminer nous avons réalisé une interface graphique à l'aide du logiciel MATLAB.

Enfin, nous terminerons ce mémoire avec une conclusion générale et des perspectives à ce travail.

CHAPITRE 1

Présentation générale du réseau GSM

1.1. Introduction

GSM (Global System for Mobile communications) très largement utilisé est la première norme de téléphonie cellulaire qui soit pleinement numérique. C'est la référence mondiale pour les systèmes radio mobiles. Avec plus de 400 millions d'utilisateurs à la fin de l'année 2000 dans le monde. Le réseau GSM offre à ses abonnés des services qui permettent la communication de stations mobiles de bout en bout à travers le réseau. La téléphonie est la plus importante des services offerts. Ce réseau permet la communication entre deux postes mobiles où entre un poste mobile et un poste fixe. Les autres services Proposés sont la transmission de données à faibles débits et la transmission de messages alphanumériques courts.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'architecture et les caractéristiques principales du réseau GSM.

1.2. Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC - réseau fixe). Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Et il se distingue par un accès spécifique: la liaison radio.

Le réseau GSM est composé de quatre sous ensembles :

- **La station mobile (MS)** : c'est le téléphone portable qui est transporté par l'utilisateur.
- **Le sous système radio (BSS)** : assure et gère la transmission radio.
- **Le sous système d'acheminement (NSS)** : comprend l'ensemble des fonctions nécessaire pour les appels et la gestion de la mobilité.
- **Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS)** : permet à l'opérateur d'exploiter son réseau.

Les éléments de l'architecture d'un réseau GSM sont repris sur le schéma de la Figure 1.1

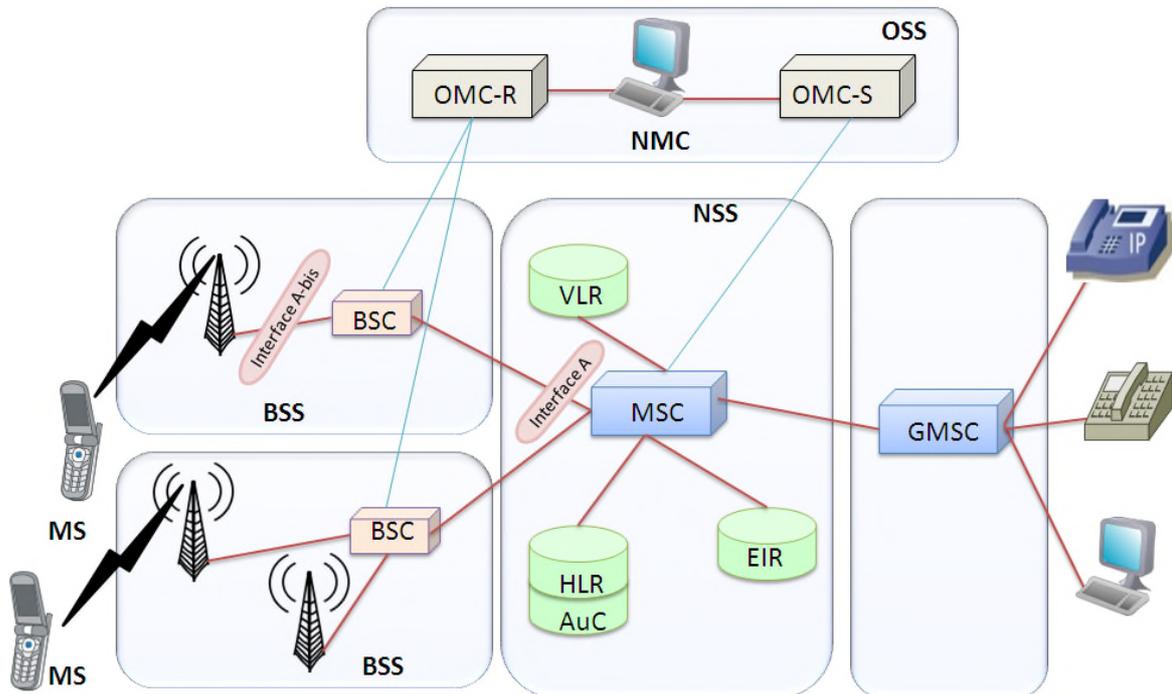


Figure 1.1: Architecture du réseau GSM

1.2.1. La station mobile (MS)

La station mobile est constituée du téléphone portable à proprement parler mais aussi d'une carte appelée carte SIM (Subscriber Identity Module), qui est indispensable pour accéder au réseau. Cette carte contient, sur un microprocesseur, les informations personnelles de l'abonné.

Le téléphone portable est identifié par le numéro d'équipement IMEI (International Mobile Equipment Identity). Ce numéro renseigne sur le type d'équipement, l'identité du constructeur et le numéro de série.

La carte SIM, elle contient le numéro d'abonné IMSI (International Mobile Subscriber Identity), mais aussi une clé secrète pour la sécurité, ainsi que d'autres informations.

On distingue trois types de stations mobiles :

- Les stations mobiles embarquées (classe 1) de puissance 20 W
- Les mobiles portables (classe 2) de 8 W.
- Les mobiles portatifs de (classe 3) 5 W, (classe 4) 2 W et (classe 5) 0.8 W.

Les mobiles portatifs 2 W sont actuellement les plus répandus dans les réseaux GSM [1].



Figure1.2: *Terminale mobile et la carte SIM*

1.2.2. Le sous système radio (BSS)

Le sous système radio BSS est un ensemble regroupant le contrôleur de station de base BSC et les stations de base BTS qui lui sont associés. C'est le BSS qui assure la gestion du canal radio, c'est à dire la configuration des canaux, l'affectation de ces canaux, la supervision de la communication, le timing des messages, le contrôle de la puissance, les sauts de fréquence, le codage du canal, le transcodage de la parole, le handover entre BTS et le processus d'émissions discontinues.

1.2.2.1. La station de base (BTS)

La station de base (BTS) est un ensemble d'émetteur récepteur qui assure le contrôle du dialogue radioélectrique entre le mobile et le réseau, elle gère les problèmes liés à la transmission radioélectrique (modulation, démodulation, égalisation, codage et correction d'erreurs, ...) d'un réseau. Elle fournit un point d'entrée dans le réseau aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. Il existe plusieurs types de BTS conçues de manière à fonctionner tout en respectant les conditions de la norme GSM ; parmi lesquels nous citons :

- **Les stations de base rayonnantes (omnidirectionnelle)** : Elles sont idéales pour couvrir les sites où la densité d'abonnés est faible.
- **Les stations de base ciblées** : Elles sont placées dans des zones à plus forte densité que les BTS rayonnantes.

- **Les micros stations de base :** Elles couvrent des zones très restreintes et sont très utilisées dans les sites où la densité d'abonnés est importante.

1.2.2.2. Le contrôleur de station de base (BSC)

Il assure le contrôle d'une ou de plusieurs stations de base (BTS). La plupart des fonctions intelligentes de BSS sont implantées à son niveau, notamment les fonctions de gestion des ressources radioélectriques [2]:

- L'allocation des canaux,
- La gestion de la configuration des canaux,
- Le traitement des mesures et la décision de handovers intra BSC.

1.2.3. Le sous-système réseau (NSS)

Le sous-système réseau NSS comprend les fonctions de commutation, de routage et d'acheminement d'appel à travers le réseau.

1.2.3.1. Le centre de commutation mobile (MSC)

Le centre de commutation mobile (MSC) est un commutateur qui réalise les fonctions de connexion et de signalisation pour les mobiles localisés dans une zone géographique appelée zone de localisation du MSC. La différence principale entre un MSC et un commutateur d'un réseau fixe est qu'un MSC doit prendre en compte l'impact de l'allocation des ressources radio aux mobiles et la mobilité des mobiles. Il doit posséder des ressources suffisantes pour réaliser au moins les procédures suivantes :

- Procédures pour l'enregistrement des localisations.
- Procédures requises pour les handovers.

1.2.3.2. Le commutateur d'entrée de service mobile (GMSC)

Si le Réseau Téléphonique Commuté (RTC) doit router un appel vers un abonné mobile, l'appel est routé vers un MSC. Ce MSC interroge le registre des abonnés locaux HLR concerné, puis route l'appel vers le MSC sous lequel le mobile est localisé (il peut s'agir du même MSC). Un MSC qui reçoit un appel d'un autre réseau et qui assure le routage de cet appel vers la position de localisation d'un mobile est appelé Gateway MSC (GMSC).

1.2.3.3. Le registre des abonnés locaux (HLR)

Le registre des abonnés locaux (HLR) est la base de données centrale contenant toutes les informations administratives relatives aux abonnés d'un réseau donné utilisant deux clés d'entrée :

- le numéro d'abonné (IMSI)

C'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.

- Le numéro d'appel de l'abonné (MSISDN)

C'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans le HLR; les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

1.2.3.4. Le registre des abonnés visiteurs (VLR)

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

1.2.3.5. Le centre d'authentification (AuC)

Le centre d'authentification (AUC) est associé à un HLR et sauvegarde une clé d'identification pour chaque abonné mobile enregistré dans ce HLR. Cette clé est utilisée pour fabriquer :

- ✓ Les données nécessaires pour authentifier l'abonné dans le réseau GSM.
- ✓ Une clé de chiffrement de la parole (Kc) sur le canal radio entre le mobile et la partie fixe du réseau GSM.

Ces deux fonctions de sécurité sont activées au début de l'établissement d'appel avec l'abonné. En cas d'échec de l'une ou l'autre des procédures, l'appel est rejeté.

1.2.3.6. Le registre d'identification d'équipement (EIR)

L'EIR est une base de données annexe contenant les identités des terminaux (IMEI). Elle peut être consultée lors des demandes de service d'un abonné pour vérifier si un mobile (ME) a ou il n'a pas le droit d'accès au système.

1.2.4. Le sous système d'exploitation et de maintenance (OSS)

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

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

1.3. Les interfaces du réseau GSM

Les interfaces normalisées sont utilisées entre les entités du réseau pour la transmission du trafic (paroles ou données) et pour les informations de signalisation. Dans le réseau GSM, les données de signalisation sont séparées des données de trafic. Toutes les liaisons entre les équipements GSM sauf avec la station mobile sont des liaisons numériques. La liaison entre BTS et MS est une liaison radio numérique [1].

La disposition des interfaces dans le réseau GSM est présentée dans la figure 1.3

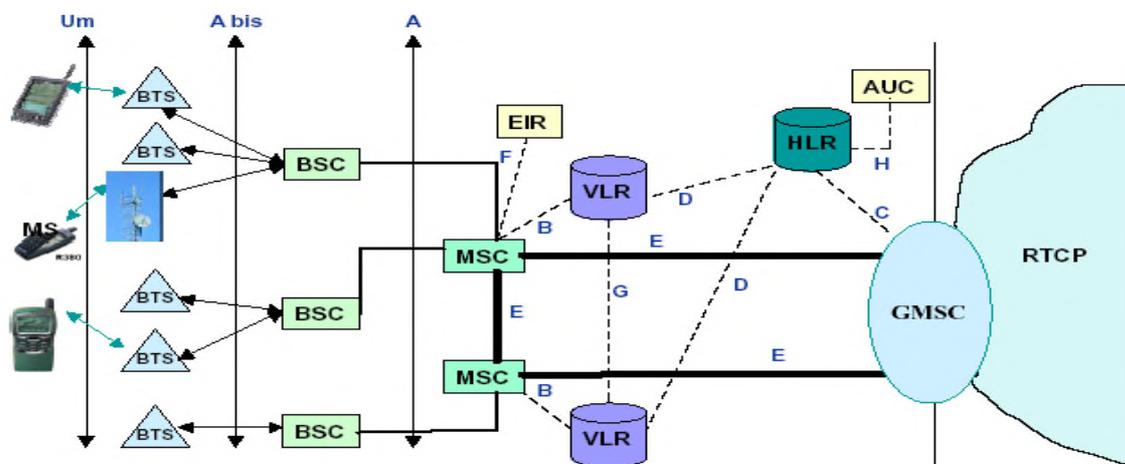


Figure 1.3: Illustration des interfaces dans le réseau GSM

Les fonctions de ces interfaces sont présentées dans le tableau 1.1 [3] :

Nom de l'interface	localisation	Aspects physiques	emploi
Um	MS – BTS	Liaison radioélectrique à 270 Kbits/s	Transport du trafic et de signalisation
Abis	BTS - BSC	Liaison numérique à 2 Mbits/s	Transport du trafic et de signalisation
A	BSC - MSC	Liaison numérique à 2 Mbits/s	Transport du trafic et de signalisation
B	MSC - VLR	Liaison numérique	Transport de signalisation et de données relatives à l'application mobile
C	GMSC - HLR	Liaison numérique	Interrogation HLR pour appel entrant
D(1)	VLR - HLR	Liaison numérique	Gestion des informations d'abonnés et localisation
D(2)	VLR - HLR	Liaison numérique à 2 Mbits/s	Transport des messages courts
E	MSC - MSC	Liaison numérique	Exécution de handover
F	MSC - EIR	Liaison numérique	Vérification de l'identité du terminal
G	VLR-VLR	Liaison numérique	Gestion des informations d'abonnés
H	HLR - AUC	Liaison numérique	Echange de données d'authentification

Tableau 1. 1: *Les interfaces radio dans le réseau GSM.*

1.4. La structure géographique du réseau GSM

Chaque réseau téléphonique nécessite une certaine structure pour pouvoir acheminer les appels entrants au central adéquat puis à l'abonné appelé. Cette structure est

particulièrement importante dans le cas d'un réseau mobile en raison de la mobilité de tous les abonnés [4].

1.4.1. La cellule (cell)

Une zone de localisation est subdivisée en un certain nombre de cellules. Une cellule est une zone de couverture radio, identifiée par le réseau au moyen de l'identification globale de cellule (CGI : Cell Global Identity). La station mobile distingue entre des cellules utilisant les mêmes fréquences porteuses en utilisant le code d'identification de station de base (BSIC : Base station Identity Code).

1.4.2. La zone de localisation (LA)

Une zone de localisation est la zone où un message de recherche est diffusé pour rechercher un abonné mobile appelé. Une zone de localisation peut comporter plusieurs cellules et dépendre d'un ou plusieurs BSC mais appartient toujours à un seul MSC/ VLR. La zone de localisation est identifiée dans le système au moyen de l'identification de zone de localisation (LAI : Location Area Identity). Le système utilise la zone de localisation pour rechercher un abonné actif.

1.4.3. La zone de service du MSC

Une zone de service du MSC représente la partie du réseau couverte par un MSC. Pour acheminer un appel vers un abonné mobile ; il est transmis au travers du réseau au MSC dans la zone duquel l'abonné se trouve au moment de l'établissement de l'appel.

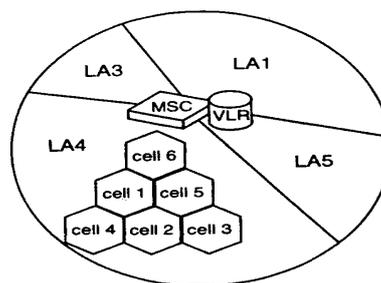


Figure1.4: Zone de service du MSC

1.4.4. La zone de service de PLMN

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

1.4.5. La zone de service du GSM

La zone de service du GSM est le secteur géographique entier dans lequel un abonné peut accéder à un réseau de GSM.

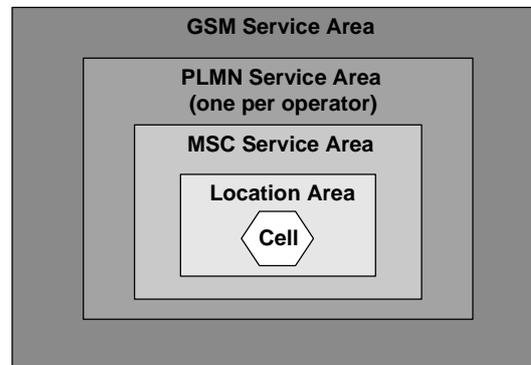


Figure1.5: Zone de service du GSM

1.5. Les bandes de fréquences allouées

Dans le système GSM/DCS, deux bandes de fréquences sont utilisées, l'une autour des 900 MHz et l'autre autour de 1800 MHz. Chaque bande est divisée en deux sous-bandes, servant l'une pour le transfert d'informations entre le mobile et la station de base (voie montante), et l'autre pour la liaison entre la station de base et le mobile (voie descendante) [5,6].

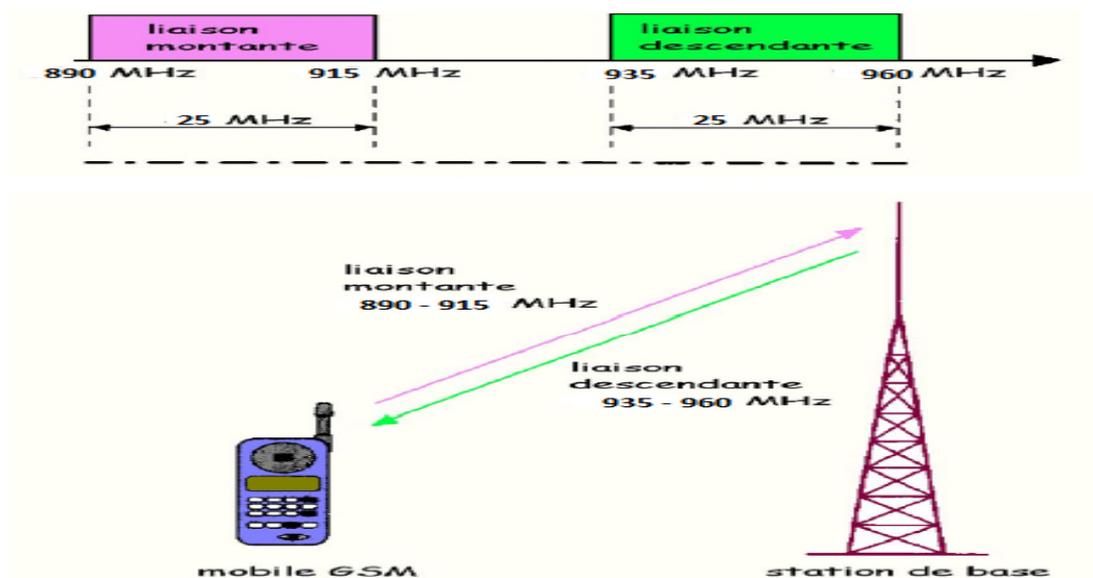


Figure1.6: Liaison entre mobile et station de base.

Chaque porteuse GSM est identifiée de manière unique par un numéro n , désigné par ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number), où la fréquence de la voie descendante est exprimée en MHz:

- pour $1 < n < 124$, $f = 890 + (0,2 \times n)$. (GSM)
- pour $512 < n < 885$, $f = 1805,2 + (0,2 \times (n-512))$. (DCS 1800)

On peut résumer les caractéristiques du réseau GSM dans le tableau suivant :

Caractéristiques	GSM 900	GSM 1800
Fréquences d'émission du terminal vers la station de base	890-915 MHz	1710-1785 MHz
Fréquences d'émission de la station de base vers le terminal	935-960 MHz	1805-1880 MHz
Bande de fréquence disponible	25+25MHz	75+75MHz
Mode d'accès	TDMA / FDMA	TDMA / FDMA
Espacement des canaux radio	200 KHz	200 KHz
Espacement du duplex	45 MHz	95 MHz
Nombre de canaux radio par sens	124	375
Nombre de canaux de parole	8	8
Type de transmission	Numérique	Numérique
Débit brut d'un canal radio	270 Kbit/s	270 Kbit/s
Type de modulation	GMSK	GMSK

Tableau 1.2: Les caractéristiques de réseau GSM

1.6. Les caractéristiques de l'interface Air

Cette interface est celle entre la station mobile et l'infrastructure fixe. Elle est appelée Um. C'est l'une des interfaces les plus importantes d'un système GSM.

1.6.1. Partage des ressources radio

La bande radio représente la ressource rare et le premier choix architectural fût le découpage du spectre alloué dans un plan temps / fréquence pour obtenir des canaux physiques pouvant supporter une communication téléphonique. La norme GSM exploite à la fois les techniques FDMA et TDMA [7,6].

1.6.1.1. Le partage en fréquence FDMA

Ce partage consiste en la division des bandes de fréquence dédiées aux systèmes GSM et DCS en canaux fréquentiels de largeur 200 kHz. Chaque canal possède sa fréquence porteuse. Si on n'utilisait que le FDMA, il ne pourrait y avoir qu'un seul utilisateur par canal, ce qui est insuffisant vu le nombre d'abonnés.

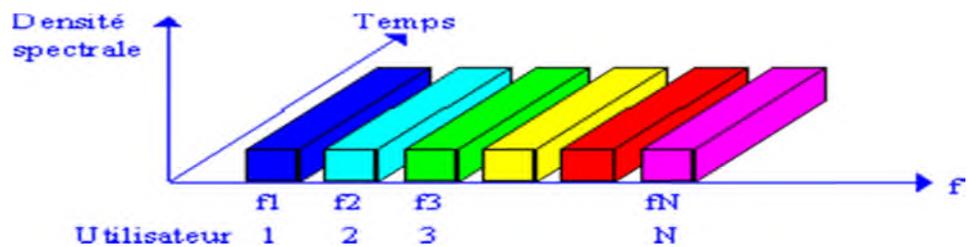


Figure1.7: Mode FDMA

1.6.1.2. Le partage en temps TDMA

Pour le GSM, chaque porteuse est divisée en intervalles de temps (IT) appelés slots. la durée d'un slot a été fixé à $T_{slot} = (75/130) \text{ ms} = 0.5769$. Un slot accueille un élément de signal radioélectrique appelé burst. les slots sont regroupés par paquet de 8 formant une trame, chaque utilisateur utilise alors un slot de la trame TDMA.

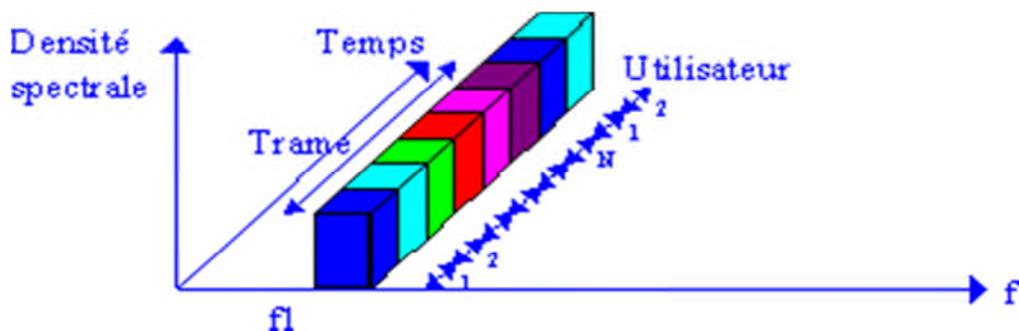


Figure1.8: Mode TDMA

1.6.2. Gestion des Fréquences

1.6.2.1. Principe de réutilisation des ressources

Un motif cellulaire ou motif de réutilisation est le plus petit groupe de cellules contenant l'ensemble des canaux une seule fois. Ce motif est répété sur la totalité de la surface à couvrir. La distance minimale entre deux émetteur utilisant la même fréquence est dite distance de réutilisation. Plus le motif est grand, plus la distance de réutilisation est grande. Cette technique consiste en l'allocation de canaux physiques de même fréquence a des cellules qui sont suffisamment éloignées pour ne pas générer d'interférence Co-canal [7,8].

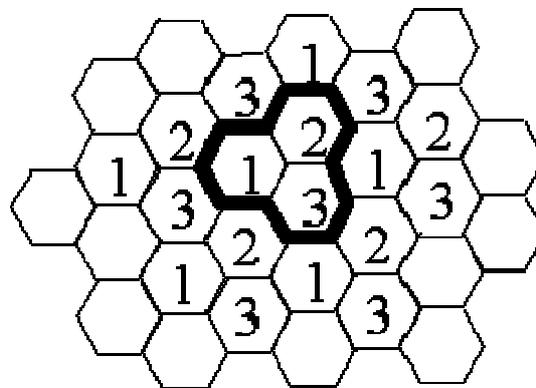


Figure1.9: Exemple de motif à 3 cellules

1.6.2.2. Le saut de fréquence (Frequency Hopping)

Le saut de fréquence consiste pour un mobile à changer de fréquence pour chaque time slot qu'il utilise. On utilise cette technique par ce que les interférences ne sont pas réparties équitablement entre les fréquences et que de cette façon, les erreurs sont réparties entre un maximum de flux d'utilisateurs [7].

On distingue deux types de saut de fréquence :

➤ **le saut de fréquence en bande de base :**

À chaque TRX (Transmission/Réception) installé sur la cellule, on fait correspondre une fréquence particulière. C'est le Time Slot considéré qui « saute » sur tous les TRX toutes les trames TDMA. Le Time Slot 0 qui correspond au BCCH, ne saute pas.

➤ **le saut de fréquence synthétisé:**

Le nombre de fréquences sur lesquelles on « saute » est supérieur au nombre de TRX installés sur la cellule. On peut « sauter » sur toute la bande GSM allouée s'il on veut. C'est le TRX qui change de fréquence toutes les trames TDMA.

1.6.3. Les canaux logiques

On distingue 2 sortes de canaux dans le système GSM, le canal physique et le canal logique. Le premier peut être une porteuse modulée sur une fréquence ou l'association de 2 canaux logiques TCH + SACCH duplex, Qui peut être vue comme un circuit téléphonique classique. Le second est une suite de slots de différentes trames TDMA (modulé sur un ou des canaux GSM) Qui mis bout à bout, forme un canal logique .On distingue deux types de canaux logiques : les dédiés, qui allouent une ressource réservée à un mobile afin qu'il puisse communiquer avec le réseau, et ceux, dans les deux sens (duplex). Et les non-dédiés qui sont des canaux partagés par plusieurs mobiles, ils sont diffusés à l'ensemble des mobiles en veille dans la cellule. Ces canaux sont unidirectionnels (simplex) et sont tous dirigé dans le sens BTS - Mobile exception fait du canal RACH, qui lui, est dans l'autre sens. Le canal physique supporte plusieurs canaux logiques [9].

On a résumé ces canaux dans le tableau 1.3 :

Type de canal	Canal logique	Slot possible	Multi trame	Fonction
Broadcast Channel Simplex Non-dédiés	FCCH Fréquency Correction CHannel	0	51	Calage fin du mobile sur la fréquence porteuse
	SCH Synchronization CHannel	0	51	Synchronisation du mobile avec la cellule
	BCCH Broadcast Control CHannel	0 2, 4,6	51	Diffusion au mobile des informations de la cellule
Common Control	PCH Paging CHannel	0 2, 4,6	51	Canal par lequel le mobile reçoit les appels en provenance du réseau

Channel Simplex Non-dédiés	RACH Random Access CHannel	0 2, 4,6	51	Canal par lequel le mobile accède au réseau de façon aléatoire pour répondre ou lancer un appel.
	AGCH Access Grant CHannel	0 2, 4,6	51	Le réseau communique par ce canal pour informer le mobile par où, quand et comment il doit établir une communication
	CBCH Cell Broadcast CHannel	0 1, 2,3	51	Diffusion sur ce canal des messages courts de type info routière, météo etc..
Dedicated Control Channel Duplex Dédiés	SDCCH Stand-Alone Dedicated Control CHannel	0 1 à 7	51	Canal de signalisation, mise à jour de localisation etc...
	SACCH Slow Associated Control CHannel	0 0 à 7	51 26	Canal de supervision d'une liaison, control de la puissance, de la qualité, remonté de mesure. Il peut être associé soit à un canal SDCCH (multi-trame 51), soit à un canal TCH (multi-trame 26).
	FACCH Fast Associated Control CHannel	0 à 7	26	Canal de supervision d'une liaison, lors d'une communication, il sert à exécuter le Hand-Over, ce canal n'existe que par le vol de slots du canal TCH
Traffic Channel Duplex Dédiés	TCH Traffic CHannel	0 à 7	26	Canal supportant le trafic voix ou data

Tableau 1.3: Les canaux logiques.

1.6.4. Performance de l'interface Air

Pour juger la qualité de la liaison radio nous avons deux paramètres à notre disposition: le niveau du signal reçu Rxlev et la qualité du signal reçu Rxqual. Ces derniers sont mesurés au niveau de la BTS pour juger la qualité de la liaison montante et au niveau du mobile pour juger la qualité de la liaison descendante [7].

1.6.4.1. Niveau du signal reçu RxLev

Le niveau de champ provenant de la BTS mesuré au niveau du mobile s'appelle le Rxlev. Il est mesuré sur 64 niveaux, de 0 à 63 représentant respectivement les puissances de -110 à -48 dBm par pas de 1 dB. On distingue alors le Rxlev Full qui est une mesure sur tous les bursts de la trame sans exception, du Rxlev Sub qui est une mesure sur les bursts effectivement utilisés. Ce dernier cas se présente lorsqu'on économise la puissance du mobile en mettant à profit la possibilité DTX (Discontinuous Transmission). La transmission discontinue consiste à interrompre l'émission pendant les silences de parole pour diminuer l'énergie émise sur la voie radio d'où une réduction de la consommation des batteries des mobiles et une diminution du niveau moyen d'interférences. Il en est de même au niveau de la BTS.

1.6.4.2. Qualité du signal RxQual

La qualité du signal est mesurée via le paramètre Rxqual. Il est obtenu en effectuant une quantification du taux d'erreurs binaires BER (Bit Error Ratio)

1.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le système GSM de part son architecture, son fonctionnement et ses différentes caractéristiques.

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

Dans le chapitre suivant, nous allons décrire les différentes techniques de localisation mobile

CHAPITRE 2

*Etat de l'art des techniques de
localisation*

2.1. Introduction

A l'origine, la géolocalisation a été conçue pour des besoins de l'armée américaine. En 1993, Bill Clinton décide d'ouvrir cette technique au grand public. Des services sont alors apparus permettant de localiser des objets, des personnes et de gérer des flottes de véhicules sur un plan ou une carte à l'aide de coordonnées géographiques. Depuis quelques années, la géolocalisation s'est démocratisée, elle est très utilisée notamment pour la navigation routière. Ces positions sont obtenues à l'aide des systèmes de radionavigation par satellites (le terminal le plus connu du grand public est le GPS) ou d'autres techniques [10].

IL existe de nombreuses technologies de localisation, dans ce chapitre, nous allons définir le problème de localisation du mobile, par la suite nous allons passer à la description des méthodes actuelles de localisation du mobile : leurs principes, avantages et inconvénients

2.2. Définition et intérêt de la géolocalisation

La géolocalisation ou géo-référencement est un procédé permettant de positionner de façon plus ou moins précise un objet mobile ou une personne sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques.

Cette opération est réalisée à l'aide d'un dispositif physique capable d'être localisé (grâce à un récepteur GPS ou à d'autres techniques) et de publier (en temps réel ou de façon différée) ses coordonnées géographiques (latitude/longitude)

Le but essentiel de la géolocalisation est de connaître la position d'un objet mobile à n'importe quel moment ainsi que toutes informations concernant son mouvement. Ce suivi peut être bénéfique dans plusieurs domaines tels que l'économie et la sécurité par exemple. [11]

2.3. Les techniques de la géolocalisation

Les techniques de la géolocalisation sont :

2.3.1. La géolocalisation par satellite

La géolocalisation par satellite consiste à calculer, grâce aux signaux émis par un groupe de satellites prévu à cet effet, la position d'un dispositif équipé d'une puce compatible sur le globe terrestre. Cette position est alors traduite en termes de latitude, longitude et parfois altitude et peut alors être représentée physiquement sur une carte.

Le réseau de satellites de positionnement le plus connu est le GPS (Global Positioning System), bien que l'alternative européenne nommée Galileo soit en cours de déploiement. Le GPS offre une précision allant de 15 à 100 mètres pour les applications civiles.

L'avantage principal de cette méthode est la largeur de sa couverture qui enveloppe tout le globe terrestre. Cependant cette méthode ne fonctionne qu'à l'extérieur [11].

2.3.1.1. Le GPS

GPS est l'abréviation de « Global Positioning System ». Il a été créé dans les années 70. C'est un système de positionnement et de navigation par satellites à l'échelle mondiale. Il est mis en place par le département de la défense des États Unis, qui est le seul responsable de sa précision et de sa maintenance. Il est composé de trois segments essentiels (figure 2.1) [12].

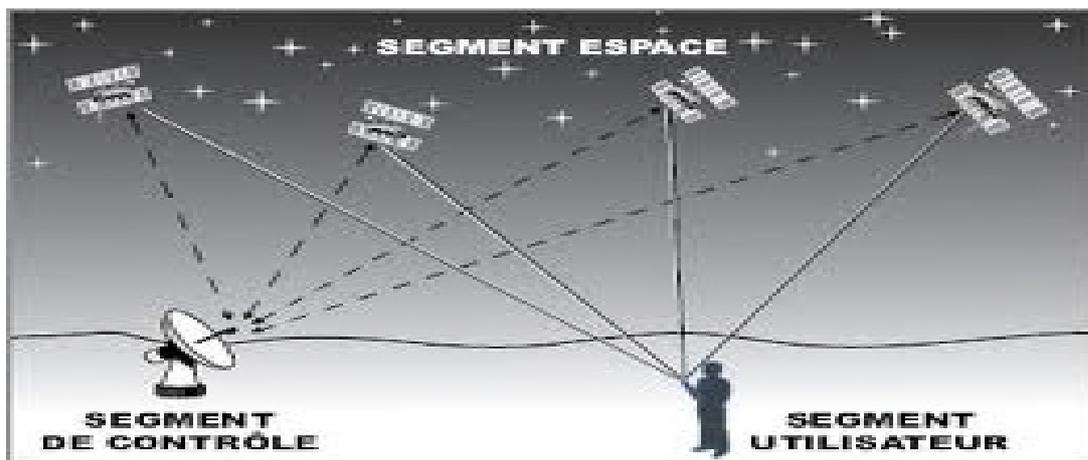


Figure 2.1: Les segments du système GPS

2.3.1.1.1. Les différents segments du système GPS

Lorsque nous parlons du GPS, nous avons tendance à penser systématiquement et exclusivement à l'appareil qui sert à donner une position. Cependant, le système GPS ne se limite pas à cet instrument, puisqu'il se compose de trois éléments distincts, appelés segments ou secteurs. Le premier segment, composé de satellites, est appelé « segment spatial ». Le deuxième segment, qui comprend des stations de contrôle, s'appelle « segment de contrôle ». Le dernier, correspondant aux récepteurs GPS, est dit « segment utilisateur » [12].

➤ **Le segment spatial**

Le système spatial est composé de 24 satellites dont 3 de secours, placés sur 6 orbites différents autour de la terre. Chaque satellite tourne à une altitude de 20 000 kilomètres et fait une révolution complète en 12h. Ces satellites émettent des signaux radio sur 2 fréquences, L1 (1575.42 MHz) modulée par les codes C/A (Coarse/Acquisition) à utilisation libre et civil et L2 (1227.6 MHz) modulé par le code P (Précise) à utilisation militaire. Les informations qu'un satellite transmet contiennent son orbite, l'heure et autres messages. L'heure de la transmission est utile pour calculer le temps que celle-ci met à parvenir à un récepteur sur terre, qui pourra ainsi déterminer la distance du satellite en multipliant ce temps par la vitesse de la lumière. Les récepteurs GPS actuels peuvent recevoir simultanément les signaux de 12 satellites maximum et choisir les meilleurs pour faire le point.

➤ **Le segment de contrôle**

Il s'agit de stations de contrôle qui suivent chaque seconde la trajectoire de chaque satellite. Elles sont réparties sur différents pays pour que l'ensemble des satellites puisse être contrôlé. La station principale se trouve au Colorado Springs aux USA.

➤ **Le segment utilisateur**

Il regroupe les utilisateurs civils et militaires ayant un boîtier GPS qui permet de calculer sa position. Ce système de GPS a pour but de permettre à un nombre important d'utilisateurs de déterminer leur position en tout point du globe, à tout instant et indépendamment des conditions climatiques en se basant sur une référence géographique et temporelle universelle.

2.3.1.1.2. Le fonctionnement du système GPS

Le principe de base de la détermination GPS d'un point est similaire au principe de triangulation, si ce n'est que l'on utilise non pas des angles mais des distances.

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant la vitesse de propagation de la lumière (qui est de 300 000km/s), on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur en connaissant le temps que l'onde a mis pour parvenir du satellite au récepteur grâce à la formule suivante :

$d = c \cdot t$ où d : distance, c : vitesse de la lumière ou célérité, t : temps mis par l'onde pour arriver du satellite au récepteur.

Pour mesurer le temps mis par l'onde pour lui parvenir, le récepteur GPS compare l'heure d'émission (inclus dans le signal) et de réception de l'onde émise par le satellite. Cette distance est appelée pseudo distance. Avec trois satellites, on obtient trois pseudos distances qui permettent de déterminer la position.

2.3.1.1.3. Les avantages et les inconvénients du GPS

➤ Les avantages

- Le GPS permet de déterminer la position d'une cible n'importe où dans le globe et cela d'une manière très précise
- L'utilisation du système est gratuite : seul l'achat du récepteur GPS.
- Conditions opérationnelles : le système marche jour et nuit et n'a pas besoin de conditions spéciales telles que support, orientation ou Température.

➤ Les inconvénients

- l'incapacité de déterminer la position d'une cible situé en intérieur (dans un immeuble par exemple) car la localisation par satellite ne fonctionne que lorsqu'un contact direct peut être établi entre le satellite et le récepteur.
- Le segment de contrôle qui analyse l'ensemble des signaux destinés aux utilisateurs détecte un dysfonctionnement avec un délai de 15 à 20 minutes. Cet inconvénient limite l'utilisation du GPS dans certain secteur [13].

2.3.1.1.4. Les améliorations du système GPS

Plusieurs éléments contribuent à détériorer les performances du système GPS, comme la traversée de l'atmosphère par les ondes, ou la traversée de certains matériaux entourant le récepteur GPS (comme des bâtiments par exemple). Certaines applications nécessitent que ces dégradations soient minimisées, comme dans l'aviation où la position exacte d'un avion par rapport à la piste est nécessaire, ou en agriculture lors de l'épandage de pesticides par les airs. Différentes approches sont proposées afin de minimiser l'effet des dégradations naturelles ou imputables à l'homme [14].

2.3.1.1.4.1. Assisted GPS (A-GPS)

Un système A-GPS utilise les récepteurs GPS de l'opérateur pour aider le terminal mobile à connaître quels signaux GPS il doit suivre. Grâce à cette assistance, la recherche de signal effectuée par le terminal est grandement réduite. La durée nécessaire pour la première connexion ou TTFF (Time To First Fix) passe de plusieurs minutes à seulement quelques secondes. De plus, contrairement aux récepteurs GPS traditionnels, le récepteur A-GPS intégré dans le terminal est en mesure de détecter et démoduler des signaux satellitaires de très faible magnitude. La précision de cette technologie est de l'ordre de 10 mètres [15].

2.3.1.1.4.2. Le D-GPS (Differential-GPS)

Le D-GPS est une technique d'optimisation du système GPS qui vise à réduire l'erreur due aux conditions atmosphériques. Le principe est d'utiliser deux récepteurs GPS ou plus, dont la position de l'un au moins est exacte.

Pour fonctionner correctement, il faut également que les récepteurs ne soient pas trop éloignés géographiquement et qu'ils puissent communiquer entre eux. Dès lors, celui dont la position est connue sera en mesure de calculer les erreurs d'orbites ainsi que les erreurs issues des conditions atmosphériques et des horloges des satellites. Les corrections sont ensuite envoyées aux autres récepteurs GPS de manière à augmenter la précision de ces derniers (voir figure 2.2). Le système D-GPS est précis à 1 mètre près [16].

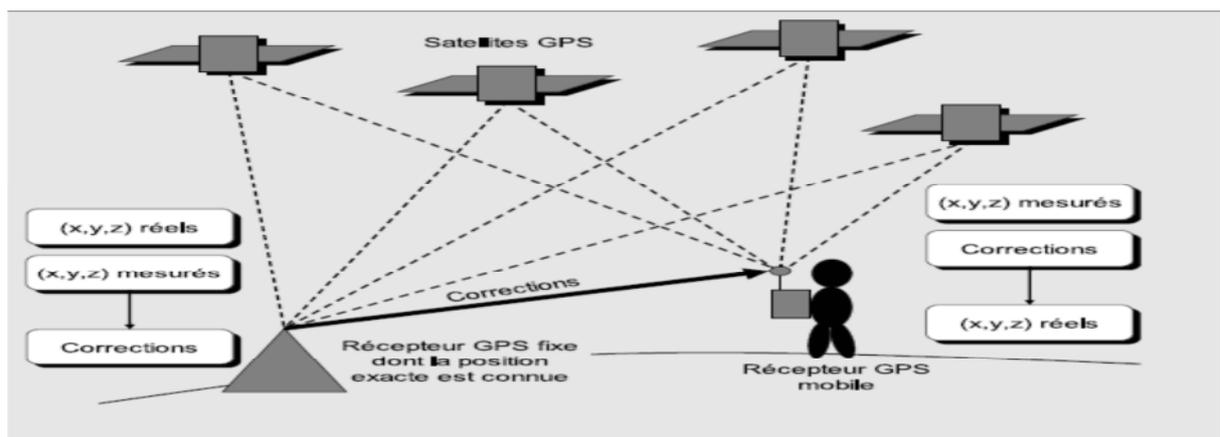


Figure 2.2: Une amélioration du système GPS, le D-GP

2.3.2. La géolocalisation par GSM

Le GPS n'est pas la seule manière de résoudre les problèmes de géolocalisation mobile, il est possible d'utiliser des technologies habituellement utilisées pour le transfert de données comme le GSM. Cette technique permet le positionnement d'un terminal GSM en se basant sur certaines informations relatives aux antennes GSM auxquelles le terminal est connecté.

La précision du positionnement par GSM peut aller de 200 mètres à plusieurs kilomètres, selon la densité d'antennes. L'inconvénient majeur de cette méthode est sa dépendance avec la densité des antennes mais elle marche bien à l'intérieur des immeubles qu'à l'extérieur [11].

2.3.2.1. Les équipements du service de localisation

Pour assurer la fonction de localisation des terminaux mobiles, des éléments sont ajoutés à l'infrastructure GSM, les principaux éléments sont les suivants :

2.3.2.1.1. Unité de mesure de localisation (LMU)

Dans le réseau GSM l'unité de mesure de localisation effectue des mesures radio pour permettre la localisation des terminaux mobiles. Deux catégories de mesures sont identifiées :

- la première identifie les mesures spécifiques à une station mobile (MS) utilisé pour calculer son emplacement,
- la deuxième méthode fournit les mesures d'assistants qui sont spécifiques à toutes les stations mobiles dans une zone géographique définies.

Il existe deux types de LMU, LMU de type A n'étant pas connectée à la BTS et de type B connecté à la BTS.

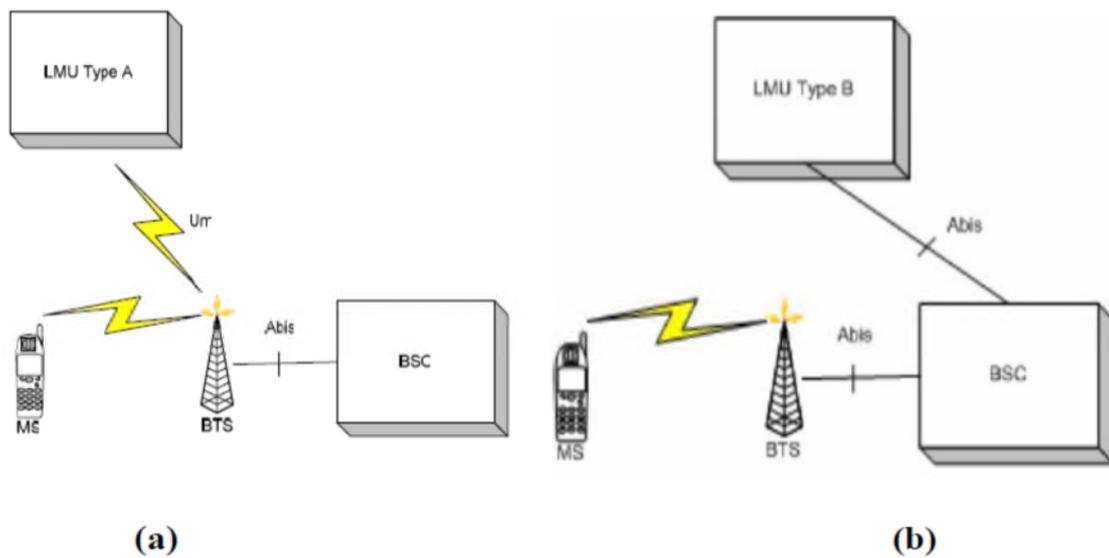


Figure 2.3: (a) : LMU de type A. (b) : LMU de type B

2.3.2.1.2. Centre de localisation de mobile (MLC)

On introduit dans le standard GSM un nouveau élément pour le but de traiter les services de localisation, cet élément s'appelle le centre de localisation mobile et il est responsable d'une série de services comme :

- l'autorisation et l'authentification,
- délivrer les informations de localisation aux applications autorisée,
- accéder aux coordonnées de BTS et d'autres paramètres physiques exigés pour la localisation
- estimer la localisation finale en se basant sur les mesures du signal reçues du MS et la BTS.

Un MLC peut être un serveur MLC (SMLC) ou une passerelle MLC (GMLC).

➤ Centre de localisation de mobile serveur (SMLC)

Le SMLC est soit un élément séparé du réseau ou une fonctionnalité intégrée dans le BSC, il contient les fonctionnalités requises pour supporter les services de localisation LCS, cet élément gère :

- la coordination complète et la planification des ressources requises pour la localisation de la station mobile (MS).
- Il calcule aussi l'estimation de la position finale et estime la précision exacte.

Le SMLC peut contrôler un nombre de LMU afin d'obtenir de mesures d'interface radio pour localiser ou aider à localiser le MS se trouvant dans la zone qui le serve.

➤ **Centre de localisation de mobile passerelle (GMLC)**

Le GMLC Vérifie si l'application demandeuse est autorisée à accéder aux informations concernant la localisation, il doit aussi rechercher le VMSC capable de fournir cette information.

➤ **Centre de commutation du mobile visité VMSC**

Vérifie les caractéristiques de la souscription du mobile pour lequel nous recherchons la position, il envoie la requête directement au SMLC, ou passe par la BTS selon l'interface SMLC/VMSC.

2.3.2.2. Les différentes techniques de géolocalisation par GSM

Le calcul d'une position repose principalement sur trois métriques différentes :

- la première technique consiste à mesurer la puissance du signal reçu, en effet dans un environnement dégagé la puissance d'un signal est directement proportionnelle à la distance qu'il a parcourue,
- si l'on dispose de plusieurs antennes une autre technique est d'analyser l'angle d'arrivée du signal,
- une dernière technique c'est qu'on peut mesurer le temps d'arrivée du signal lorsqu'on connaît sa vitesse de propagation et qu'on est capable de déterminer de manière précise à quel instant il a été émis,

En se basant sur ces techniques les systèmes de positionnement utilisent principalement cinq méthodes pour déterminer la position d'un équipement [16] :

- ✓ L'identification de cellule (Cell-ID)
- ✓ La puissance du Signal
- ✓ L'angle d'arrivée du signal (AOA),
- ✓ Le temps d'arrivée du signal (TOA),
- ✓ La différence de temps d'arrivée (TDOA).

2.3.2.2.1. L'identification de cellule (Cell-ID)

Cette technique est la plus simple et la moins coûteuse. Les réseaux sans fil se composent d'un ensemble de stations de base (points d'accès) qui échangent des signaux avec les terminaux mobiles situés dans leurs zones de couverture encore appelées cellules. Il est donc aisé de déterminer de quelle station de base dépend un terminal. A l'aide de cette information recoupée avec les caractéristiques géographiques de la cellule, il est possible de déterminer approximativement la position d'un terminal mobile (quelques centaines de mètres en milieu urbain et jusqu'à plusieurs kilomètres en milieu rural lors de son application au sein d'un réseau cellulaire). Une représentation de cette méthode est donnée dans la figure 2.4.

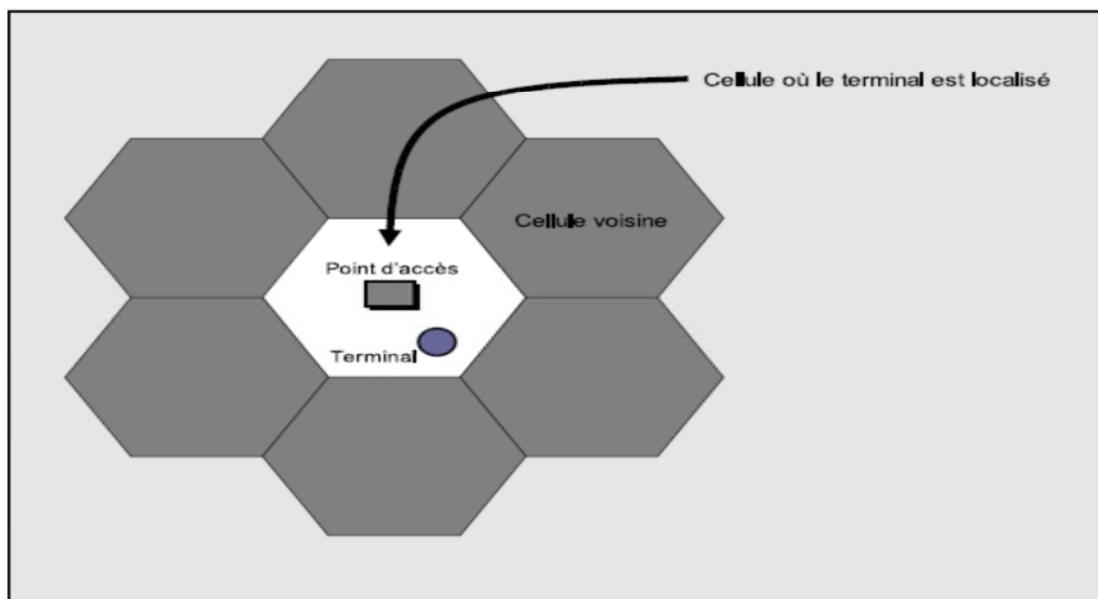


Figure 2.4: Méthode de géolocalisation Cell-ID

➤ **Les avantages**

- L'avantage de cette méthode est qu'elle est compatible avec tous les terminaux mobiles existants, et que pour fonctionner elle nécessite seulement un aller-retour de signalisation avec le terminal.
- cette méthode est la plus simple et la moins coûteuse des méthodes de géo-localisation car il n'y a pas de matériel à mettre en place
- Un autre avantage aussi de cette méthode est représenté par le fait qu'aucun calcul n'est utilisé pour déterminer la position
- la méthode est ainsi très rapide (moins de 5 secondes).

➤ **Les inconvénients**

- La localisation de l'équipement n'est vraiment pas précise
- L'inconvénient majeur est lié au fait que la précision de cette technique est directement proportionnelle à la dimension de chaque cellule qui peut varier entre 2 et 20 km, en fonction de la densité des obstacles présents dans l'environnement et le nombre d'utilisateurs desservis [16].

2.3.2.2.1.1. Cell-ID combiné avec Timing Advance

Pour remédier au manque de précision de la méthode Cell-ID, la valeur d'avance de synchronisation (Timing Advance) peut être utilisée. Celle-ci permet d'identifier un cercle de positions potentielles du téléphone mobile avec la station de base qui le dessert au centre de manière à réduire un peu le rayon de la cellule. La figure donne une bonne représentation du fonctionnement de cette méthode dans le cas d'antennes segmentées (c'est-à-dire que des informations sur les secteurs de cellule sont également utilisées) [13].

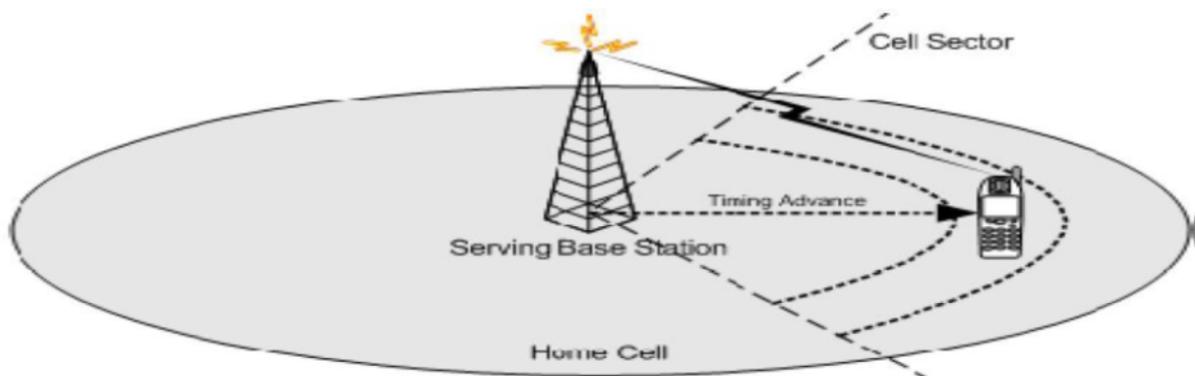


Figure 2.5: Cell-ID avec Timing Advance

2.3.2.2.2. La puissance du Signal

Pour le lien à courte portée entre MS, la technique qui peut être employée pour estimer la position est basée sur la puissance reçue à une MS.

Cette méthode utilise la force du signal pour déterminer la position de la station mobile, si la puissance de transmission de la BTS et que la puissance de réception de la station mobile sont connus, il est possible d'estimer la distance qui sépare ces deux équipements encore une fois la station mobile se situera sur un cercle qui aura pour rayon la distance entre la BTS et la station mobile, et pour centre la BTS .Si la puissance du signal est estimée entre trois BTS la station mobile se situera à l'intersection des trois cercles.

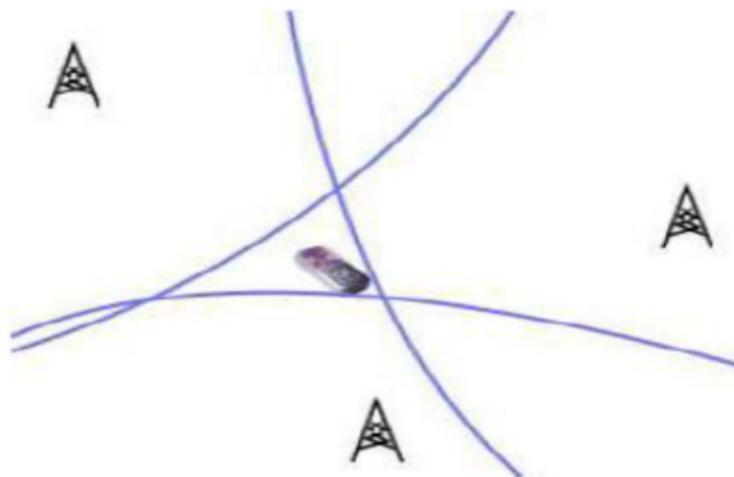


Figure 2.6: *La puissance du signal*

➤ **Les avantages**

- Coût d'implantation peu élevé
- Disponibilité des modèles mathématiques d'atténuation
- Algorithme de positionnement simple

➤ **Les inconvénients**

- Nécessité d'avoir le trajet direct
- Précision faible
- Performance mauvaise dans un canal ayant un profil de propagation par trajets multiples sévère.

2.3.2.2.3. L'angle d'arrivée (AOA)

La technique AOA (Angle Of Arrival) se base sur un principe de triangulation (voir la figure 2.7). Dans cette méthode, les signaux émis par un terminal sont interceptés par deux points d'accès (BTS) qui sont séparés par une distance R connue à l'avance. Chaque point d'accès mesure l'angle d'arrivée du signal émis par le terminal. En se basant sur les identités trigonométriques, il est alors possible de déterminer la longueur de la hauteur issue du terminal et par conséquent la position géographique de ce terminal. En pratique, on peut utiliser plus de 2 points d'accès de manière à augmenter la précision. Cette méthode nécessite l'utilisation d'antennes directionnelles ou de rangées d'antennes sur les points d'accès afin de mesurer les angles des signaux. Le temps de localisation de cette méthode est d'environ 5 secondes et la précision est de 125 mètres en milieu urbain à 4 kilomètres en milieu rural [16].

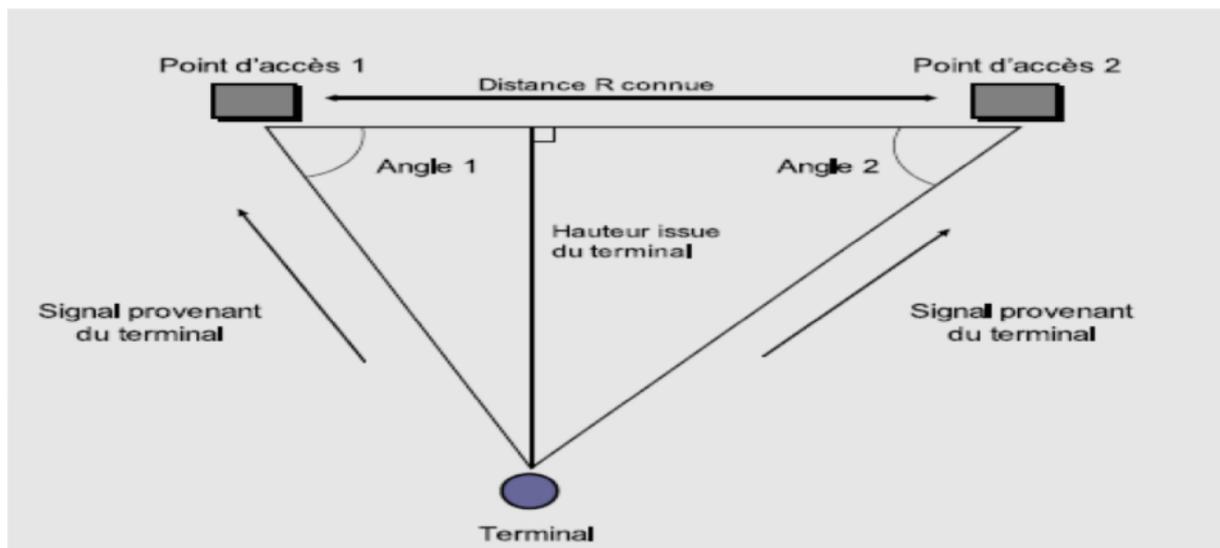


Figure 2.7: Méthode de géolocalisation basée sur l'angle d'arrivée

➤ Les avantages

- la nécessité de seulement deux stations de base pour localiser un mobile et aucune modification ne doit être apportée au terminal.
- Cette technique est souvent utilisée dans la navigation aérienne pour permettre aux avions de déterminer leur direction ainsi que dans les systèmes de radar.

➤ **Les inconvénients**

- La majeure contrainte de cette méthode est que celle-ci requière un environnement libre d'obstacle pour une meilleure exactitude, cette méthode est donc peu efficace en zone urbain
- Autre inconvénient majeur de cette technique est lié à la nécessité de disposer de réseaux d'antennes qui augmentent la taille des équipements utilisés et qui impliquent des coûts supplémentaires.
- Précision faible

2.3.2.2.4. Le temps d'arrivée du signal (TOA)

La méthode TOA consiste à mesurer le temps que met un signal pour aller d'un terminal à une station de base ou vice versa. Pour cela le temps de début de la transmission doit être précisément connu et toutes les stations de base doivent être synchronisées à l'aide d'une horloge [13].

Cette méthode repose sur une technique de trilatération qui utilise l'intersection de cercles de distance pour déterminer la position d'un terminal, le temps de propagation d'un signal étant directement proportionnel à la distance traversée, il est possible d'obtenir un cercle centré sur l'émetteur dont le rayon constitue la distance qui sépare le terminal de cet émetteur, lorsqu'on utilise au moins 3 points de référence l'intersection des 3 cercles ainsi obtenus, permet de déterminer la position exacte du terminal cette méthode est illustrée sur la figure suivante [16] :

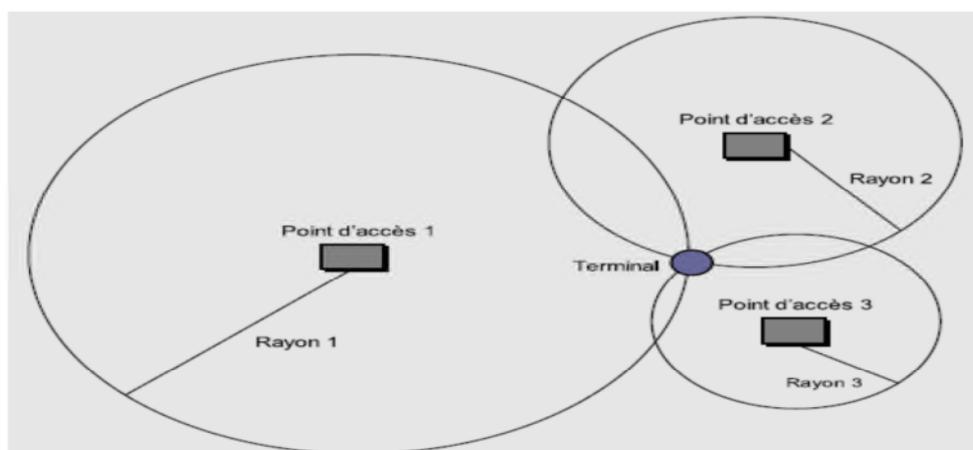


Figure 2.8: Méthode de géolocalisation basée sur le temps d'arrivé

➤ **Les avantages**

- Paramètres généralement bien estimés
- Algorithme de positionnement simple
- Précision plus élevée en milieu confiné

➤ **Les inconvénients**

- Synchronisation d'horloge nécessaire entre le mobile et les stations de base
- Nécessité d'avoir le trajet direct
- Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur
- Les stations de base doivent également être équipées d'Unité de mesure de localisation (LMU) qui leurs permettent de calculer la distance qui les sépare du terminal. De ce fait, le coût de cette méthode est relativement élevé par rapport à la performance qu'elle offre en matière de précision [13].

2.3.2.2.5. La différence de temps d'arrivée (TDOA)

La méthode TDOA, aussi connue sous le nom de positionnement hyperbolique, détermine la position d'un terminal en se basant sur une multilatération (voir la figure 2.9). Cette technique utilise la différence de temps mesurée plutôt que le temps absolu utilisé dans la méthode TOA. On calcule la différence de temps d'arrivée entre deux signaux provenant de deux points d'accès différents. Cette différence est ensuite convertie en une distance constante afin d'obtenir une hyperbole qui correspond à la position possible du terminal. L'équation de l'hyperbole caractérise cette distance constante. Pour déterminer une position, il faut donc deux paires d'émetteurs (au moins trois points références) en vue d'obtenir deux hyperboles dont l'intersection donne la position du terminal. La précision d'un tel système dépend de la localisation des émetteurs et d'une synchronisation précise des horloges [16].

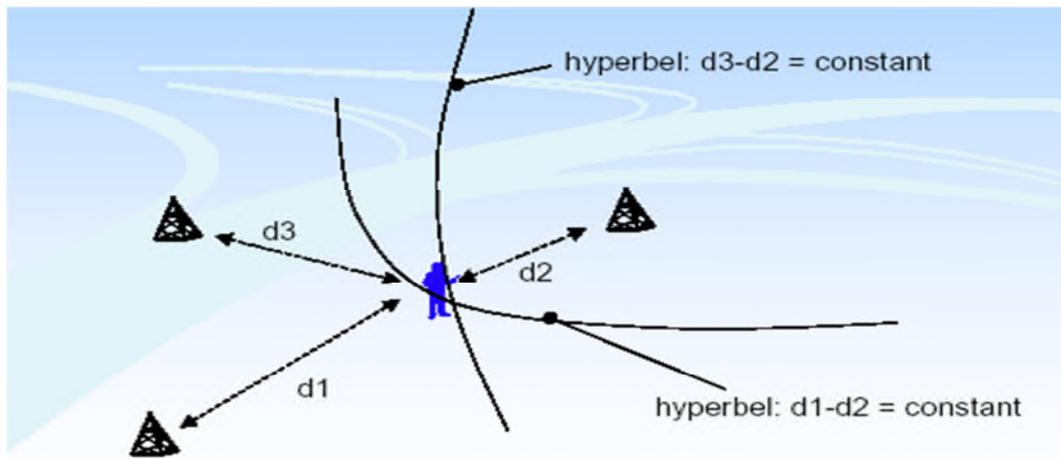


Figure 2.9: Méthode de géolocalisation basée sur la différence du temps d'arrivée.

➤ **Les avantages**

- Paramètres généralement bien estimés
- Algorithme de positionnement simple
- Précision plus élevée en milieu confiné
- aucune modification au terminal n'est nécessaire.

➤ **Les inconvénients**

- Nécessité d'avoir le trajet direct
- Synchronisation d'horloge nécessaire entre les paires de stations de base
- Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur
- inefficace dans certain environnement comme les zones urbaines où les immeubles peuvent interférer avec les signaux et donc rendre la localisation imprécise [13].

2.3.3. La géolocalisation par WiFi

De la même façon qu'un terminal GSM peut se localiser par la méthode du Cell ID sur un réseau GSM, un terminal Wifi peut utiliser la même méthode en se basant sur les identifiants des bornes Wifi (Adresses MAC) qu'il détecte [11].

2.3.3.1. La géolocalisation par adresse IP (sur internet)

Cette méthode permet de déterminer la position géographique d'un ordinateur ou de n'importe quel terminal connecté à internet en se basant sur son adresse IP. Les adresses IP sont gérées par l'IANA, une organisation qui s'occupe de découper les blocs d'adresses IP disponibles et de les distribuer de façon très contrôlée aux pays qui en demandent. Toutes ces attributions étant très bien documentées, il est possible de savoir dans quel pays se trouve un terminal connecté à internet grâce à son adresse IP. On peut même obtenir un niveau de précision de l'ordre de la ville en se basant sur la distribution des adresses IP faite par les fournisseurs d'accès à internet [11].

2.3.4. Localisation du mobile GSM basée sur le filtre de Kalman

Une nouvelle approche d'un coût faible est utilisée pour le positionnement du mobile. Cette technique repose sur l'identification de la station de base à l'aide d'un logiciel installé dans un téléphone mobile (Netmonitor, Tems,...etc), qui utilise les modèles de propagation en collaboration avec le filtre de Kalman étendu, qui va nous permettre de déterminer d'une manière précise les coordonnées de la station mobile (MS) en termes de latitude et de longitude. Vu les performances de cette technique, nous l'avons choisie comme méthode de positionnement du mobile sur laquelle se basera notre travail de localisation [24].

2.4. Les applications de la localisation

La possibilité de connaître la position de l'utilisateur permet de développer différentes applications. Parmi les applications liées à la localisation, nous sommes inspirés de l'ensemble des services suivants :

- **Le service itinéraire**

L'itinéraire aide les abonnés à planifier leurs voyages, à gérer leur temps et à atteindre leur destination, ils peuvent demander les directions rue par rue (en texte) pour leurs déplacements à pied, en voiture, en bus, ou en train.

- **Le service de proximité**

Les services de proximité permettent aux abonnés de rechercher et/ou de repérer dans leur voisinage des points d'intérêt public tels que les parkings, arrêts de bus, musées, monuments, services publics,... etc

- **Le service de trafic**

La carte de trafic routier aide les abonnés à éviter l'encombrement en affichant l'information à jour du trafic routier sur des cartes prédéfinis.

- **Le service de secours**

Ce service permet à un abonné en difficulté de faire appel en cas d'urgence à un service capable de le localiser et de lui apporter l'aide nécessaire. Cette aide peut couvrir les besoins suivants : dépannage auto ; urgence médicale ; police secours.

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons introduit les principales méthodes de géolocalisation, qui permettent de déterminer la position d'un mobile, parmi ces méthodes la localisation par GPS qui est très répandue actuellement vu ces avantages, la localisation par GSM (cell-ID, AOA, TOA et TDOA), la localisation par adresse IP et la localisation par wifi et nous avons décrit brièvement la méthode de localisation basée sur le filtre de kalman. Cette méthode utilise les modèles de propagation avec le filtre de kalman pour estimer la position du mobile.

Dans le chapitre suivant nous allons décrire les différents modèles de propagations utilisés dans l'environnement urbain, le principe et l'évolution du filtre de kalman.

CHAPITRE 3

*Modèles de propagation et principe du
filtre de Kalman*

3.1. Introduction

L'information de localisation est souvent bruitée (bruit ambiant, sensibilité des équipements, interférences....etc). Pour améliorer l'estimation de la position, il est proposé d'utiliser des filtres tenant compte de la mesure, de l'historique, de la trajectoire et des caractéristiques du mouvement de l'utilisateur. De nombreuses applications requièrent un traitement des données issues des capteurs. Le filtrage de Kalman introduit en 1960 par Rudolf E. Kalman propose une solution à ces problèmes d'estimation des paramètres [17].

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques éléments de propagation radioélectrique, les modèles de propagation permettant la prédiction de la distance entre le mobile et la station de base en environnement urbain ainsi qu'un outil pour la localisation de mobile qui est le filtre de kalman. Nous décrirons le principe et l'évolution de ce filtre.

3.2. Propagation en environnement radiomobile

Le canal radiomobile est l'un des plus complexes pour la transmission des signaux. Ce canal occupe un espace (appelé parfois éther) dont les caractéristiques sont en constant changement (position et nature des obstacles, température, humidité....) .Il subit donc des phénomènes dont les effets varient constamment. La caractérisation de ce medium de transmission est par conséquent complexe. D'autre part, le signal radiomobile subit de nombreuse dégradation lors de son trajet entre l'émetteur et le récepteur. De ce fait, la chaine de transmission élaborée pour les systèmes radiomobile doit intégrer des processus et mécanismes permettant la protection et la correction des erreurs introduites dans l'information transmise à travers un canal radiomobile [18].

3.2.1. Les mécanismes de propagation

La propagation du signal dans l'environnement (ou l'éther), se fait selon quatre modes de propagation de base : la réflexion, la diffraction, la diffusion et la transmission [18].

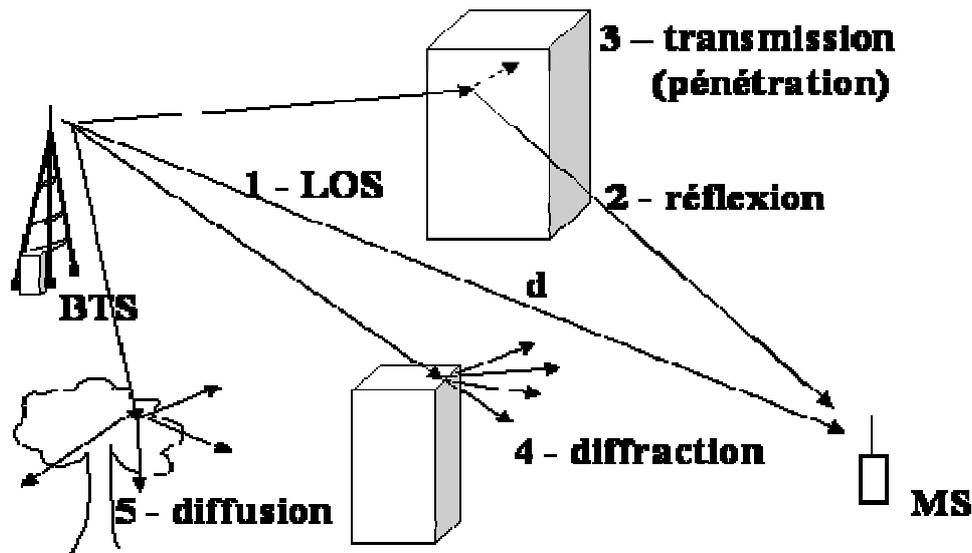


Figure 3.1: Les différents mécanismes de propagation

3.2.1.1. La réflexion

Lorsqu'une onde se propage sur l'interface air, elle rencontre des obstacles sur son trajet. Si les obstacles rencontrés sont de grande taille et que leur surface est lisse, l'onde va alors subir une réflexion.

3.2.1.2. La diffraction

Dans le cas où l'onde rencontre un obstacle dont les dimensions ne sont pas importantes par rapport à la longueur d'onde ou si cet obstacle présente des arêtes vives et d'autres irrégularités, des ondes secondaires apparaissent et se propagent dans tout l'espace et en particulier dans la région située derrière l'obstacle. L'onde résultante est appelée onde diffractée. Ce phénomène est très courant en environnement urbain.

3.2.1.3. La diffusion

Dans certains cas, l'onde rencontre des obstacles dont les dimensions sont du même ordre de grandeur ou plus petites que la longueur d'onde, l'énergie est diffusée dans le milieu dans plusieurs directions. En environnement urbain, les obstacles courants faisant apparaître ce phénomène sont typiquement les lampes d'éclairage public, les panneaux de signalisation ou le feuillage de la végétation.

3.2.1.4. La transmission

Lorsque l'onde traverse un milieu (air, mur...), une partie de l'onde sera réfléchiée alors que l'autre partie sera absorbée par l'obstacle et transmise. Elle subit une atténuation qui dépend de ce milieu de transmission. En espace libre (lorsque l'onde radio se propage dans un environnement sans obstacle), l'atténuation de la puissance du signal en fonction de la distance suit une relation très simple :

$$P_R = \frac{P_E G_E G_R}{[4\pi d / \lambda]^2} \quad (3.1)$$

P_E : Puissance de l'émetteur. d : La distance émetteur- récepteur

G_E : Gain de l'antenne de l'émetteur. λ : La longueur d'onde du signal

Plus le milieu de propagation comprend d'obstacles, plus l'exposant d'atténuation va être élevé et l'atténuation de l'onde en fonction de la distance sera d'autant plus importante [18].

3.2.2. Les perturbations du signal pendant la propagation

Sur son trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal radio mobile est l'objet de plusieurs phénomènes. L'impact de ces phénomènes au niveau de la qualité du signal reçu varie en fonction de plusieurs paramètres que nous introduisons ci-après [18].

3.2.2.1. Perte de propagation ou pathloss

En se propageant dans l'atmosphère, le signal subit une atténuation inversement proportionnelle à la distance parcourue. Ce phénomène peut être facilement mis en évidence dans le cas de la propagation en espace libre. Soit un émetteur de puissance P utilisant une antenne isotrope, l'énergie diffusée par l'antenne isotrope se répartit dans toutes les directions et toute la surface de la sphère centrée sur l'antenne. A une distance R , la puissance reçue par unité de surface de la sphère (de surface πR^2) égale à :

$$\frac{p}{\pi R^2} \quad (3.2)$$

Cette formule montre donc que lorsque la distance R augmente, la densité de puissance par unité de surface diminue. La perte de propagation subie par le signal sera donc d'autant plus faible que la distance entre l'émetteur et le récepteur est grande [18].

3.2.2.2. Fading de masquage

En se propageant, le signal rencontre des obstacles de caractéristiques (tailles, composition....) variables. Dans ce cas, il subit, en plus de l'atténuation de parcours, une atténuation due au masque rencontré. Nous précisons dans les paragraphes suivants les différents cas qui se présentent [18].

3.2.2.2.1. Propagation en visibilité

La propagation en espace libre est un cas théorique qui, dans la pratique, n'est que rarement vérifié (cas des communications inter satellites par exemple). Dans certain cas, il est toutefois possible de considérer que l'impact des obstacles environnants est négligeable et que par conséquent, l'affaiblissement du signal est très proche de celui de l'espace libre. Le terme employé dans ce cas est celui de la visibilité direct (line-of-sight (LOS)).

Pour déterminer si la propagation se fait dans des conditions de LOS ou non, il convient de considérer les ellipsoïdes de Fresnel. Le premier ellipsoïdes délimite la région de l'espace ou est véhiculée la plus grande partie de l'énergie du signal. Se situer dans cet ellipsoïde revient à se trouver dans des conditions de LOS.

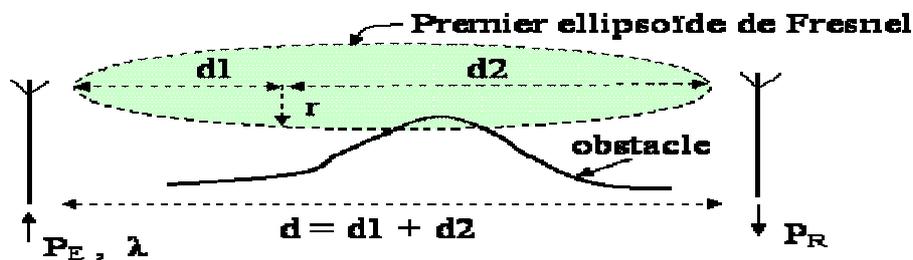


Figure 3.2: Ellipsoïde de Fresnel

En posant d : distance émetteur-récepteur et $d_1+d_2=d$ (voir figure 3.2), le rayon r de cet ellipsoïde est donné par la formule suivante :

$$r = \sqrt{\frac{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (3.3)$$

Où λ : La longueur d'onde du signal

La propagation se fait en espace libre (LOS) si aucun obstacle n'obstrue le premier ellipsoïde de Fresnel de manière trop importante [18].

3.2.2.2. Propagation en non-visibilité

La propagation en non- visibilité (Non-Line-Sight (NLoS)) se produit donc quand les conditions de visibilité définies dans le paragraphe précédent ne sont plus remplies. Dans ce cas, le signal va subir les phénomènes de réflexion, de réfraction, d'absorption et de réfraction sur l'obstacle. Plusieurs modèles exacts permettent de calculer la perte de propagation subie par un signal ayant rencontré plusieurs obstacles sur son trajet entre l'émetteur et le récepteur [18].

L'atténuation porte le nom de fading de masquage (shadow fading). L'ordre de grandeur des évanouissements dus au masques est celui des masques eux-mêmes qui sont de grande taille (bâtiments, collines) d'où l'appellation de fading lent, par opposition au fading rapide. Un évanouissement lent se produit typiquement sur des distances de plusieurs dizaines de mètres et pendant plusieurs secondes ou dizaine de secondes.

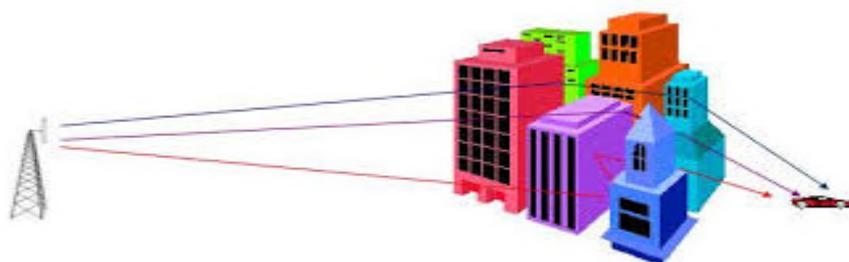


Figure 3.3: *Propagation en non-visibilité (NLOS)*

3.2.2.3. Fading de rayleigh

Au niveau de l'antenne de réception une combinaison constructive ou destructive arrive selon les modifications subites par les signaux (fluctuation en amplitude ou en phase). Le signal résultant comprend des trous ou des évanouissements (de 2 à 30 db) appelé fadings.

Le modèle subit par ces fadings est connu par le modèle de rayleigh .Ils se produisent à la longueur d'onde se qui fait qu'on les appelle fading court rapide.

3.2.3. Les Perturbations par brouillages

Outre les perturbations subies par le signal du fait de l'environnement de propagation, le signal à la réception peut être brouillé par des signaux parasites qui peuvent être différenciés entre les bruits et les interférences [18,19].

3.2.3.1. Les bruits

Les bruits (noise) sont des perturbations de deux types : interne ou externe.

➤ **Les bruits internes**

Ils sont essentiellement dus aux phénomènes électromagnétiques qui font qu'un signal est traité et transmis à l'intérieur des équipements d'émission / réception (actif ou inactifs). Leur impact est relativement bien maîtrisé.

➤ **Les bruits externes**

Ils sont par contre, introduit par tous les équipements électromagnétiques qui émettent des ondes parasites dans la même bande de fréquence que celle du système. Ces ondes sont particulièrement importantes en zone urbaine (véhicules, générateurs électriques, panneau lumineux,...etc). Ces bruits sont présents en grand nombre.

Les bruits ont un impact négligeable comparé aux perturbations créées par les interférences.

3.2.3.2. Les interférences

Les interférences sont des brouillages ayant pour origine les émissions de signaux dans la même bande ou dans des bandes proches de la bande du système. Ces interférences sont très importantes dans les systèmes cellulaires du fait du mécanisme de réutilisation des fréquences (voir chapitre 1). C'est là leur principale limitation en termes de capacité et de qualité de service. Deux types d'interférences sont identifiés : les interférences Co-canal et les interférences sur canal adjacent.

➤ **Les interférences Co-canal :**

Il s'agit de brouillages de signaux se superposant au signal utile du fait de leur émission sur la bande de fréquence de ce signal.

➤ **Les interférences sur canal adjacent**

Il s'agit de brouillages des signaux se superposant au signal utile du fait de l'émission des signaux sur des bandes de fréquences adjacentes à la bande de fréquence du signal utile.

3.2.4. Modélisation du canal radiomobile

L'ingénierie radio constitue l'un des aspects les plus importants du déploiement d'un réseau cellulaire en matière de qualité de service offert aux abonnés. En environnement urbain, le signal subit différents affaiblissements. En effet, la propagation dans ce milieu dépend de plusieurs caractéristiques : la hauteur des BTS (base transmitter station), leurs emplacements, la hauteur des bâtiments, la largeur des rues...etc. L'onde radioélectrique subit de ce fait de multiples déformations causées par les obstacles physiques (immeuble, véhicule, arbre) [18,19].

La conception et l'installation d'un réseau mobile tel que le réseau GSM nécessitent une caractérisation précise du canal radio-mobile. En effet, la modélisation du canal radio peut être assurée par des modèles mathématiques qui permettent de prédire la variation du niveau de signal reçu.

Ainsi, nous pouvons distinguer trois grandes familles :

- Les modèles empiriques (appelés encore modèles statistiques) qui sont basés sur l'analyse statistique d'un grand nombre de mesures expérimentales et qui tiennent compte des différents paramètres tels que la hauteur des bâtiments, les stations de bases, le terminal...etc. Tout en prenant en considération les diverses influences de l'environnement.
- Les modèles déterministes qui sont basés sur les lois fondamentales de la physique, et font appel à des relations mathématiques complexes qui sont difficiles à utiliser.
- Les modèles semi déterministes qui combinent les deux approches.

Dans cette partie nous allons présenter quelques modèles de propagation empiriques les plus utilisés dans l'environnement urbain.

3.2.4.1. Modèle d'Okumara-Hata

La formule d'Okumura-hata est la formule de prédiction de propagation la plus utilisée à l'heure actuelle au niveau des outils de planification cellulaire. Cette formule empirique a été définie par Hata en fonction des mesures réalisées par Okumura dans les environnements de Tokyo [19].

La formule d'Okumura-Hata prend en compte les paramètres suivants :

- f : fréquence (en MHz) comprise entre 150 MHz et 1500MHz,
- h_b : hauteur (en mètres) de la station de base, comprise entre 30 m et 300 m,
- h_m : hauteur (en mètres) de la station mobile, comprise entre 1m et 20m,
- d : distance (en kilomètre) station de base-mobile, comprise entre 1Km et 20 Km

En milieu urbain, l'affaiblissement en dB appelé ici L_u est donné par :

$$L_u = 69,55 + 26,16\text{Log}(f) - 13,82\text{Log}(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55\text{Log}(h_b)] \text{Log}(d) \quad (3.4)$$

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

$$a(h_m) = [1,1 \text{Log}(f) - 0,7]h_m - [1,56 \text{Log}(f) - 0,8] \quad \text{pour une ville de taille moyenne.}$$

$$a(h_m) = 3,2[\text{Log}(11,75h_m)]^2 - 4,97 \quad \text{pour une grande ville (} f > 400 \text{ MHz).}$$

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

$$L_{su} = L_u - 2[\text{Log}(f/28)]^2 - 5,4 \quad (3.5)$$

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

$$L_{ro} = L_u - 4,78[\text{Log}(f)]^2 + 18,33\text{Log}(f) - 40,94 \quad (3.6)$$

$$L_{rqo} = L_u - 4,78[\text{Log}(f)]^2 + 18,33\text{Log}(f) - 35,94 \quad (3.7)$$

3.2.4.2. Modèle COST 231-Hata

Le modèle de Hata a été étendu à 2GHz pour permettre la planification radio des réseaux DCS 1800. Les paramètres intervenant dans l'expression du modèle sont les suivants [20] :

- f : fréquence (en MHz) comprise entre 1500 MHz et 2000 MHz,
- h_b : hauteur (en mètres) de la station de base, comprise entre 30 m et 200 m,
- h_m : hauteur (en mètres) de la station mobile, comprise entre 1m et 10m,
- d : distance (en kilomètre) station de base-mobile, comprise entre 1Km et 20 Km.

En milieu urbain, l'affaiblissement en dB appelé ici L_u est donné par :

$$L_u = 46.3 + 33.9 \text{ Log}(f) - 13.82 \text{ Log}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \text{ Log}(h_b) \text{ Log}(d) + C_m) \quad (3.8)$$

Un facteur de correction est utilisé pour prendre en compte la hauteur de l'antenne de réception mobile et l'environnement dans lequel se trouve :

$$a(h_m) = (1.1 \text{ Log}(f) - 0.7) h_m - (1.56 \text{ Log}(f) - 0.8) \quad \text{pour une ville de taille moyenne}$$

$$a(h_m) = 3.2 (\log 11.75 h_m)^2 - 4.97 \quad \text{pour une grande ville (} f > 400 \text{ MHz)}$$

$$C_m = \begin{cases} 0 \text{ dB pour les villes de taille moyenne} \\ 3 \text{ dB pour les grandes villes} \end{cases}$$

3.2.4.3. Modèle de Walfisch-Ikegami

Le groupe de recherche européenne COST 231 utilise un modèle combinant les approches empiriques et déterministes pour calculer les pertes de propagation en milieu urbain dans les bandes 900 et 1800 MHz. Ce modèle prend en compte aussi la perte de propagation en espace libre, la perte par diffraction et la perte entre les toits des bâtiments voisins. Les paramètres intervenant dans l'expression du modèle sont les suivants [19,20] :

- f : Fréquence porteuse (MHz) : $800 \leq f \leq 2000$.
- h_b : Hauteur d'antenne (m) de la station de base par rapport au sol : $4 \leq h_b \leq 50$.
- h_m : Hauteur d'antenne (m) de la station mobile par rapport au sol : $1 \leq h_m \leq 3$.
- h_{Roof} : Hauteur moyenne (m) des bâtiments : $h_{Roof} \geq h_{hm}$.
- W : Largeur de la route (m) où le mobile est situé
- b : Distance (m) entre les centres de bâtiments
- d : Distance (Km) entre le BS et le mobile : $0.2 \leq d \leq 5$.
- α : Angle (en degrés) qui fait le trajet avec l'axe de la route

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

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

➤ **Cas de visibilité directe LOS (Line Of Sight) :**

$$L_p = 42.64 + 26\log(d) + 20\log(f) \quad (3.9)$$

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

$$L_p = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{msd} & \text{pour urbain et suburbain} \\ L_{fs} & L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

Avec:

L_{fs} : l'atténuation en espace libre

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

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

- L'atténuation en espace libre :

$$L_{fs} = 32.44 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (3.11)$$

- L'atténuation due à la diffraction sur les toits des bâtiments :

$$L_{rts} = -16.9 - 10\log(w) + 10\log(f) + 20\log(\Delta h_{RX}) + L_{ori} \quad (3.12)$$

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

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.3574\alpha & 0 < \alpha < 35 \\ 2.5 + 0.075(\alpha - 35) & 35 < \alpha < 55 \\ 4 - 0.1004(\alpha - 55) & 55 < \alpha < 90 \end{cases} \quad (3.13)$$

- L'atténuation due aux diffractions multiples :

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f) - 9\log(b) \quad (3.14)$$

K_a et K_d : sont deux facteurs de correction empirique de la hauteur de l'antenne.

K_f : est un facteur d'adaptation des différentes densités des bâtiments.

Avec :

$$L_{\text{bsh}} = \begin{cases} -18(1 + \Delta h_{\text{TX}}), & \Delta h_{\text{TX}} > 0 \\ 0 & \Delta h_{\text{TX}} \leq 0 \end{cases} \quad (3.15)$$

$$K_a = \begin{cases} 54 & \Delta h_{\text{TX}} > 0 \\ 54 - 0.8\Delta h_{\text{TX}}, & d \geq 0.5 \text{ et } \Delta h_{\text{TX}} \leq 0 \\ 54 - 0.8\Delta h_{\text{TX}}(d/0.5) & d \leq 0.5 \text{ km et } \Delta h_{\text{TX}} \leq 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

$$K_d = \begin{cases} 18 & \Delta h_{\text{TX}} > 0 \\ 18 - 15 \frac{\Delta H_{\text{TX}}}{\Delta h_{\text{RX}}} & \Delta h_{\text{TX}} \geq 0 \end{cases} \quad (3.17)$$

$$K_f = \begin{cases} 0.7 (f/925-1), & \text{moyenne ville.} \\ 1.5 (f/925-1), & \text{grande ville.} \end{cases} \quad (3.18)$$

En l'absence de données détaillées sur la structure des bâtiments, Walfish- Ikegami recommande les valeurs suivantes : $20 \leq b \leq 50 \text{ m}$, $w=b/2$, $0 < \alpha < 90$ [19].

Dans notre simulation (chapitre 4), nous utilisons les données suivantes :

Distance (m) entre les centres de bâtiments $b=50$ m, Largeur de la route $w=25$ m, l'angle (en degrés) qui fait le trajet avec l'axe de la route $\alpha=30^\circ$, La hauteur moyenne (m) des bâtiments $h_{\text{Roof}}=15$ m [20].

3.3. Le filtre de Kalman

3.3.1. Principe et points forts du filtre de kalman

Le filtre de Kalman est une méthode visant à estimer les paramètres d'un système évoluant dans le temps à partir de mesures bruitées. On retrouve ce filtre dans nombreux domaines relatifs au traitement du signal, radar, traitement d'images... etc.

La force de ce filtre est sa capacité de prédiction des paramètres et de rectification des erreurs. En effet, pour appliquer un filtre de Kalman, il faut avant tout modéliser le système pour lequel on veut estimer les paramètres de manière linéaire. (Des variantes du filtre de Kalman existent pour la prise en compte de modèles non linéaires).

Dans la méthode d'estimation classique (par exemple, la méthode des moindres carrés), une simple erreur dans la modélisation du système entraîne inévitablement une erreur au niveau de l'estimation. La force du filtre de Kalman est d'intégrer un terme d'imprécision sur le modèle lui-même, ce qui lui permet de donner des estimations correctes malgré les erreurs de modélisation (pour que les erreurs restent raisonnables).

Un autre point fort du filtre de Kalman est sa capacité à déterminer l'erreur moyenne de son estimation. En effet, l'outil Kalman fournit un vecteur contenant les paramètres estimés, mais aussi une matrice de covariance de l'erreur. Cette matrice nous renseigne donc sur la précision de l'estimation, ce qui peut être utile dans de nombreuses applications. Un autre atout du filtre de Kalman est que la convergence de cette erreur est garantie [21].

Le fonctionnement du filtre de Kalman peut se diviser en deux étapes :

- Une première étape de prédiction de l'estimation selon le modèle du système. Pour ce faire, le filtre de Kalman reprend l'estimation précédente des paramètres et de l'erreur et prédit les nouveaux paramètres et la nouvelle erreur en fonction de la modélisation du système.
- La seconde étape réalise la mise à jour de cette prédiction grâce aux nouvelles mesures. Ces mesures (par définition bruitées) vont permettre d'obtenir une estimation des paramètres et de l'erreur à partir de la prédiction faite. Si jamais le modèle comporte des erreurs, cette étape de mise à jour permettra de les rectifier.

3.3.2. Les limites du filtre de kalman

Le filtre de Kalman est une méthode d'estimation et de prédiction puissante prenant en compte les modélisations du système. Néanmoins, ce filtre n'est pas forcément l'outil à appliquer dans tous les cas. En effet, comme nous l'avons vu, le développeur a besoin de modéliser le système assez précisément afin de designer un filtre efficace. Le problème est que certains systèmes sont difficilement modélisables et encore moins linéaires. Dans le cas où la modélisation est trop approximative, le filtre n'est pas assez performant et l'erreur des estimations ne convergera pas assez rapidement, elle restera grande. Pour palier à ce problème de modélisation linéaire du système, un filtre de Kalman étendu a été développé et permet de prendre en compte une modélisation non linéaire. Néanmoins, cette technique a quelques défauts. En premier lieu, la covariance de l'erreur (la précision des estimations) ne converge pas obligatoirement (comme c'était le cas avec une modélisation linéaire). Le second défaut est son coût calculatoire plus important. En effet, de nouvelles matrices coûteuses rentrent en jeu (les matrices des dérivés partielles des équations d'états et de mesures modélisant le système), ce qui est une limite à son utilisation, surtout dans des systèmes embarqués très restreints au niveau de la puissance de calcul.

Une autre limite importante d'une telle méthode est que le filtre de Kalman permet de prendre en compte uniquement un modèle de bruit Gaussien. Le bruit peut en général être modélisé de façon Gaussienne, mais dans certains cas, un autre type de bruit est requis (notamment en traitement d'images où l'on utilise fréquemment des bruits de Poisson). Cette restriction limite donc l'utilisation du filtre de Kalman [21].

Pour savoir plus sur le filtre de Kalman, nous expliquerons le côté mathématique de ce filtre.

3.3.3. De l'estimateur optimal au filtre de Kalman

3.3.3.1. L'estimation

L'estimation est une branche des mathématiques statistiques qui permet, à partir de mesures effectuées sur un système, d'estimer la valeur de différents paramètres de ce système. Il est possible d'estimer un ou plusieurs paramètres en même temps. Dans le cas de plusieurs paramètres, on parle de vecteur à estimer, ou vecteur d'état [21,22].

3.3.3.2. Les estimateurs déterministes

Tout d'abord, un point important dans les estimateurs déterministes est que le vecteur à estimer est justement déterministe. C'est-à-dire que l'on suppose que ce vecteur possède des valeurs non aléatoires, même si celles-ci sont inaccessibles. Ce que l'on cherche à trouver, c'est un estimateur qui estime au mieux ce vecteur. Pour cela, il faut que l'estimateur soit sans biais et de variance minimale (pour minimiser l'erreur d'estimation) [21,22].

➤ Le biais

Un estimateur sans biais signifie que l'espérance de l'estimation doit être égale au vecteur à estimer. Donc l'estimateur en moyenne ne commet pas d'erreur. Autrement, si l'on fait la moyenne des estimations, on trouve la valeur réelle du paramètre. Bien sûr, le biais n'est pas calculable en réalité, car on ignore la valeur réelle du paramètre ou du vecteur à estimer. Par contre, il est très utile pour caractériser nos estimateurs.

➤ La variance

La variance peut être assimilée à l'erreur. Un estimateur est dit à variance minimal lorsque l'on a réussi à minimiser les variations entre le vecteur d'état et l'estimation. On a donc minimisé l'erreur.

Ces deux notions sont bien distinctes. Un estimateur peut très bien avoir un biais nul, mais si sa variance est forte, cet estimateur ne sera pas performant.

3.3.3.3. L'estimateur optimal

Un estimateur dont le biais est nul aura une variance toujours supérieure ou égale à ce que l'on appelle la "borne de Cramer-Rao". Finalement, c'est assez logique. On ne peut pas obtenir une variance nulle et donc, on ne peut pas connaître exactement la valeur du vecteur d'état. On aura toujours une incertitude égale à la borne de Cramer-Rao pour l'estimateur optimal. Si la variance est nulle, alors ce n'est plus un problème d'estimation, car ça voudrait dire que l'on connaît la valeur à estimer dès le départ [21,22].

Il se trouve que dans certains cas particuliers, il existe un estimateur sans biais à variance minimale calculable. Pour cela, il faut que le système respecte quelques contraintes :

- Le bruit doit être Gaussien
- Le système doit être linéaire

Cet estimateur est appelé "Estimateur sans biais à variance minimale linéaire gaussien", ou encore "Estimateur optimal linéaire gaussien" ou tout simplement "Méthode des moindres carrés".

3.3.3.4. La méthode des moindres carrés

La première chose pour trouver cet estimateur est de modéliser le système de façon linéaire grâce à une équation d'état de ce type [22] :

$$Y=H.X+B \quad (3.19)$$

Avec :

- Y, le vecteur de mesure (obtenue grâce aux capteurs) ;
- X, le vecteur des paramètres à estimer ;
- B, le vecteur du bruit de mesure (bruit gaussien engendré par les capteurs) ;
- H, la matrice reliant l'état à la mesure (appelé matrice d'observation).

Y et B ce sont les informations obtenues grâce aux capteurs ainsi que les bruits des différents capteurs. Le vecteur X est le vecteur des paramètres que nous voulons estimer. Enfin, la matrice H est à déterminer pour pouvoir respecter l'égalité.

Une fois le modèle posé, on peut donc calculer l'estimateur optimal.

$$\hat{X} = (H^T \cdot \Gamma^{-1} \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot \Gamma^{-1} \cdot Y \quad (3.20)$$

Γ : est la matrice de covariance du bruit de mesure. Pour un bruit gaussien centré avec des capteurs décorrélés entre eux, cette matrice est diagonale et ses termes sont les écart-types des différents bruits Gaussiens des capteurs. \hat{X} est l'estimation de X

La variance de cet estimateur est la borne de Cramer-Rao :

$$P= (H^T \cdot \Gamma^{-1} \cdot H)^{-1} \quad (3.21)$$

Une fois que nous avons notre estimateur optimal linéaire Gaussien, on suppose que l'on a k mesures indépendantes. Nous pouvons donc faire une estimation de notre vecteur d'état grâce à cet estimateur. Mais une fois notre estimation calculée, si une autre mesure nous arrive, il

faudra redéfinir toutes les matrices et recommencer les calculs pour obtenir une nouvelle estimation.

Notamment lorsque l'on doit traiter un problème en temps réel (en effet, les matrices seront de plus en plus grandes et il y a des inversions matricielles à faire, ce qui prend énormément de temps). Heureusement, il existe une expression récursive de cet estimateur.

3.3.3.5. La méthode des moindres carrés récursive

Avec k mesures, notre estimateur optimal s'écrit donc comme suit [21,22] :

$$P_k = (H_k^T \cdot \Gamma_k^{-1} \cdot H_k)^{-1} \quad (3.22)$$

$$\hat{x}_k = P_k H_k^T \Gamma_k^{-1} \cdot Y_k \quad (3.23)$$

Pour $k+1$ mesures, l'estimateur devient

$$P_{k+1} = (H_{k+1}^T \cdot \Gamma_{k+1}^{-1} \cdot H_{k+1})^{-1} \quad (3.24)$$

$$\hat{x}_{k+1} = P_{k+1} H_{k+1}^T \Gamma_{k+1}^{-1} \cdot Y_{k+1} \quad (3.25)$$

Ce que l'on cherche à faire, c'est d'écrire \hat{x}_k en fonction de \hat{x}_{k+1}

On arrive donc à l'expression récursive :

$$K_{k+1} = P_k \cdot h_{k+1}^T \cdot (R_{k+1} + h_{k+1} \cdot P_k \cdot h_{k+1}^T)^{-1} \quad (3.26)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} \cdot h_{k+1}) \cdot P_k \quad (3.27)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + K_{k+1} (y_{k+1} - h_{k+1} \cdot \hat{x}_k) \quad (3.28)$$

Ici, les notations ont un peu changé :

- \hat{x}_{k+1} : la prédiction à l'état $k+1$ (ça n'a pas changé)
- P_{k+1} : la covariance de l'erreur à l'instant $k+1$ (ça n'a pas changé)
- h_{k+1} : la matrice d'état non pas pour les $k+1$ mesures (matrice H), mais uniquement pour la mesure courante. (Dans le cas des moindres carrés ou de Kalman, $h_k = h_{k+1}$)
- R_{k+1} : la matrice de covariance du bruit de mesure, non plus pour $k+1$ mesures (matrice Γ), mais pour une seule mesure uniquement. (Pour le filtre de Kalman, on a aussi $R_{k+1} = R_k$)
- I : la matrice identité

- y_{k+1} : la mesure à l'instant $k+1$

Pour alléger l'écriture, l'équation a été décomposée en trois parties, faisant apparaître K_k , le gain de Kalman. Ces équations ont déjà une structure très proche d'un Kalman classique.

3.3.3.6. Évolution des paramètres dans le temps

Dans cette partie, on suppose que ce vecteur évolue selon un processus linéaire déterministe supposé connu. On est donc obligé de faire une prédiction de l'estimation courante (\hat{x}_k^+) à partir de l'estimation précédente (\hat{x}_k) suivant le processus linéaire avant d'appliquer les formules de la méthode des moindres carrés récursives, vue précédemment pour calculer l'estimation suivante (\hat{x}_{k+1}) [22] .

$$\text{On a donc : } \hat{x}_k^+ = A \cdot \hat{x}_k \quad (3.29)$$

La matrice A relie l'état précédent à l'état suivant. Pour déterminer cette matrice, on pose les équations reliant les deux états, puis on détermine la forme matricielle.

De même, il faut prédire la matrice de covariance de l'erreur (P_k^+) :

$$P_k^+ = A \cdot P_k \cdot A^T \quad (3.30)$$

Une fois les prédictions obtenues, il faut les mettre à jour afin de prendre en compte la nouvelle mesure effectuée. On peut donc appliquer notre méthode des moindres carrés récursive et ainsi prendre en compte la nouvelle mesure :

$$K_{k+1} = P_k^+ \cdot h_{k+1}^T \cdot (R_{k+1} + h_{k+1} P_k^+ \cdot h_{k+1}^T)^{-1} \quad (3.31)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} \cdot h_{k+1}) \cdot P_k^+ \quad (3.32)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k^+ + K_{k+1} (y_{k+1} - h_{k+1} \cdot \hat{x}_k^+) \quad (3.33)$$

Ceci est presque la forme finale du filtre de Kalman. Nous avons bien la phase de prédiction [(3.29), (3.30)] et la phase de mise à jour [(3.31), (3.32), (3.33)].

3.3.3.7. Évolution aléatoire dans le temps

Pour finir, le vecteur à estimer évolue selon un processus linéaire, mais cette fois-ci il est aléatoire. Il suffit donc de rajouter un bruit d'état lors de la prédiction de la covariance de

l'erreur. Ce qui signifie que l'on connaît la forme de l'évolution, mais que l'on autorise au système de se tromper [22].

$$P_k^+ = A.P_k.A^T + Q \quad (3.34)$$

Q : est la matrice de covariance du bruit d'état.

Nous avons fini par retomber sur la forme finale du filtre de Kalman.

❖ La phase de prédiction

$$\hat{x}_k^+ = A \cdot \hat{x}_k \quad (3.35)$$

$$P_k^+ = A.P_k.A^T + Q \quad (3.36)$$

❖ La phase de mise à jour

$$K_{k+1} = P_k^+ \cdot h_{k+1}^T \cdot (R_{k+1} + h_{k+1} \cdot P_k^+ \cdot h_{k+1}^T)^{-1} \quad (3.37)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} \cdot h_{k+1}) \cdot P_k^+ \quad (3.38)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k^+ + K_{k+1} \cdot (y_{k+1} - h_{k+1} \cdot \hat{x}_k^+) \quad (3.39)$$

A partir de l'estimateur optimal linéaire Gaussien, qui est l'estimateur sans biais atteignant la borne de Cramer-Rao, nous avons trouvé sa forme récursive et nous l'avons adapté afin qu'il puisse estimer un vecteur d'état variant dans le temps. Nous sommes donc arrivés à écrire un filtre de Kalman. Ce filtre nous assure donc que l'estimateur converge vers l'estimateur optimal.

Il est intéressant de préciser que ce filtre nécessite une étape d'initialisation afin de déterminer la première estimation du vecteur d'état ainsi que la matrice de covariance de l'erreur.

3.3.4. Le filtre de kalman étendu

Lorsque nous souhaitons appliquer un filtre de Kalman pour estimer des paramètres d'un système, la première chose à faire est de modéliser le problème. Il se trouve que dans certain cas, les équations qui permettent de modéliser le problème ne sont pas linéaires. De ce fait, le filtre de Kalman n'est plus applicable. Heureusement, il est possible d'estimer les paramètres du système à l'aide d'un filtre de Kalman étendu. Ce filtre permet en effet de linéariser localement le problème et donc d'appliquer les équations du filtre de Kalman classique [23].

3.3.4.1. Principe du filtre de kalman étendu

Le principe d'un filtre de Kalman étendu est que les équations d'état et les équations liant l'état précédent à l'instant suivant qui étaient linéaires dans le cas du filtre de Kalman classique sont maintenant non linéaires. Il est donc impossible de l'écrire sous forme matricielle [23].

$$\text{Nous remplaçons donc les équations : } \begin{cases} Y = H \cdot X + B \\ \hat{x}_k^+ = A \cdot \hat{x}_k \end{cases} \text{ par } \begin{cases} Y = h(X, B) \\ \hat{x}_k^+ = f(\hat{x}_k) \end{cases} \quad (3.40)$$

Nous sommes donc obligés d'appliquer ces équations non linéaires pour le calcul de la prédiction et la mise à jour du vecteur d'état. Les équations de Kalman deviennent donc :

❖ La phase de prédiction

$$\hat{x}_k^+ = f(\hat{x}_k) \quad (3.41)$$

$$P_k^+ = A \cdot P_k \cdot A^T + Q \quad (3.42)$$

❖ La phase de mise à jour

$$K_{k+1} = P_k^+ \cdot H_{k+1}^T \cdot (R_{k+1} + H_{k+1} \cdot P_k^+ \cdot H_{k+1}^T)^{-1} \quad (3.43)$$

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} \cdot H_{k+1}) \cdot P_k^+ \quad (3.44)$$

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k^+ + K_{k+1} \cdot (y_{k+1} - h(\hat{x}_k^+, 0)) \quad (3.45)$$

Nous remarquerons que pour mettre à jour le vecteur d'état, nous utilisons l'équation d'état non linéaire avec un bruit nul (second paramètre de la fonction h à 0).

Il reste le problème pour le calcul de la covariance de l'erreur et le gain de Kalman. En effet, nous utilisons toujours les matrices d'observation et de transition H et A . Pour pouvoir utiliser ces formules, il faut donc linéariser localement les fonctions h et f . Nous obtiendrons les matrices d'observation et de transition en prenant les matrices des dérivés partielles des équations non linéaires (aussi appelé Jacobiennes).

$$H_k = \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{\hat{x}_k^+} \quad (3.46)$$

$$A_k = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{\hat{x}_{k-1}^+} \quad (3.47)$$

Avec ces équations, il est donc possible d'appliquer le filtre de Kalman tel que défini ci-dessus. Il suffit de recalculer les matrices aux dérivées partielles à chaque nouvel échantillon traité et d'utiliser ces matrices dans les équations. Par contre, on se rend bien compte que l'on linéarise localement les équations afin d'appliquer le filtre de Kalman. Cette linéarisation est locale, ce qui entraîne donc une convergence locale du filtre de Kalman étendu. Ce filtre ne garantit donc pas une convergence globale (à l'inverse du filtre de Kalman classique). La stabilité d'un filtre de Kalman étendu est donc plus difficile à garantir et dépend souvent de sa bonne initialisation.

3.4. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu général sur la propagation en environnement radiomobile, les modèles de propagation permettant la prédiction de la distance entre le mobile et la station de base en environnement urbain a savoir le modèle Okumura -Hata , Walfish Ikegami et Cost 231.

En outre, nous avons présenté le principe et l'évolution du filtre de kalman qui est une méthode d'estimation très puissante. Mais elle possède quelque problème, le modèle doit être linéaire. Heureusement, il existe une variante de ce filtre, appelé le filtre de Kalman étendu qui permet de résoudre des problèmes non linéaire.

Dans le dernier chapitre nous allons détailler la méthode de localisation basée sur le filtre du kalman, l'expérience réalisée à Alger centre ainsi que l'interface graphique réalisée à l'aide du MATLAB qui applique cette méthode.

CHAPITRE 4

*Localisation du mobile GSM basée
sur le filtre de Kalman*

4.1.Introduction

Différentes méthodes et technologies en utilisant les paramètres du réseau ont été développées pour répondre à la nécessité d'avoir un positionnement précis, principalement à travers une véritable combinaison d'informations issues de diverses stations de base (BTS). Une méthode de positionnement à faible coût est conçue et mis en avant avec des fonctionnalités avancées qui est la méthode de positionnement basée sur le filtre de kalman. Son principe est l'utilisation d'un logiciel de surveillance du réseau (dans notre cas c'est TEMS Investigation 11.0.4 collection) installé dans un téléphone mobile et sur un PC portable. Ce logiciel nous fournit les informations relatives à la connexion de station de base ainsi que des BTS voisines. Ensuite, un modèle de propagation, ainsi qu'un filtre de Kalman sont utilisées pour déterminer avec précision les coordonnées du positionnement de la station mobile en termes de latitude et de longitude.

4.2. Méthodologie

Le processus de trouver l'emplacement de la station mobile (MS) en utilisant le réseau cellulaire comporte plusieurs étapes comme illustré dans le schéma de la figure (4.1) qui résume les tâches qui constituent la méthodologie de positionnement entière [24].

a. Tout d'abord en utilisant le logiciel TEMS Investigation 11.0.4 collection qui nous permet de déterminer les paramètres suivants :

- Le code de l'identité de cellule (Cell Id) de chaque BTS communiquant avec la station mobile.
- La puissance du signal reçu par la station mobile (RxLev).
- Le numéro de canal porteur (ARFCN) qui est utilisé pour déterminer la fréquence porteuse (f) en Mhz donné par l'expression suivante :

$$f = 1805 + 0,2 (\text{ARFCN}-511) \quad (\text{DCS } 1800)$$

- L'information associée aux cellules voisines en termes de numéro des canaux ARFCN et d'intensité du signal reçue RxLev.

b. Pour déterminer la position et la hauteur de la BTS, on utilise la base de données des sites. Les sites peuvent être visualisés sur une carte géographique en utilisant le logiciel MCOM et MapInfo. On obtient ainsi le positionnement en latitude et en longitude de chaque BTS impliqué dans l'expérience.

c. Pour déterminer la puissance du signal transmis par chaque BTS (Tx), on utilise la base de données du sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS).

d. Calcul de la distance MS-BTS [24,25] :

La distance entre les BTS et le combiné peut être déterminée en utilisant l'un des modèles de propagation empiriques, qui sont les modèles : Okumura - Hata, COST 231 et Walfish Ikegami. Les paramètres suivants apparaissent sur l'équation de perte de trajet de chaque modèle :

- Tx : puissance du signal transmis par la station de base (db).
- Rxlev : puissance du signal reçue par la station mobile (db).
- d : la distance entre MS et BTS (Km).
- f : la fréquence porteuse (Mhz).
- hb : la hauteur de la station de base (m).
- hm : la hauteur de la station mobile (m).

Par conséquent, la perte du trajet étant déterminé par Tx-Rx, la distance MS-BTS (d) est calculée en résolvant l'équation de perte de trajet ayant d comme la seule inconnue, cependant, certaines des équations de perte de trajet nécessitent des paramètres supplémentaires liés à l'environnement. La valeur de chacun de ces paramètres peut simplement être estimée en fonction de la zone d'expérimentation ou d'un ensemble de valeur pris par défaut déterminée par le modèle de propagation lui-même.

e. Une fois que la distance entre MS-BTS est obtenue et chacune des BTS voisines, un modèle statique de filtre de Kalman étendu est utilisé pour déterminer les coordonnées du positionnement de MS en termes de latitude et de longitude.

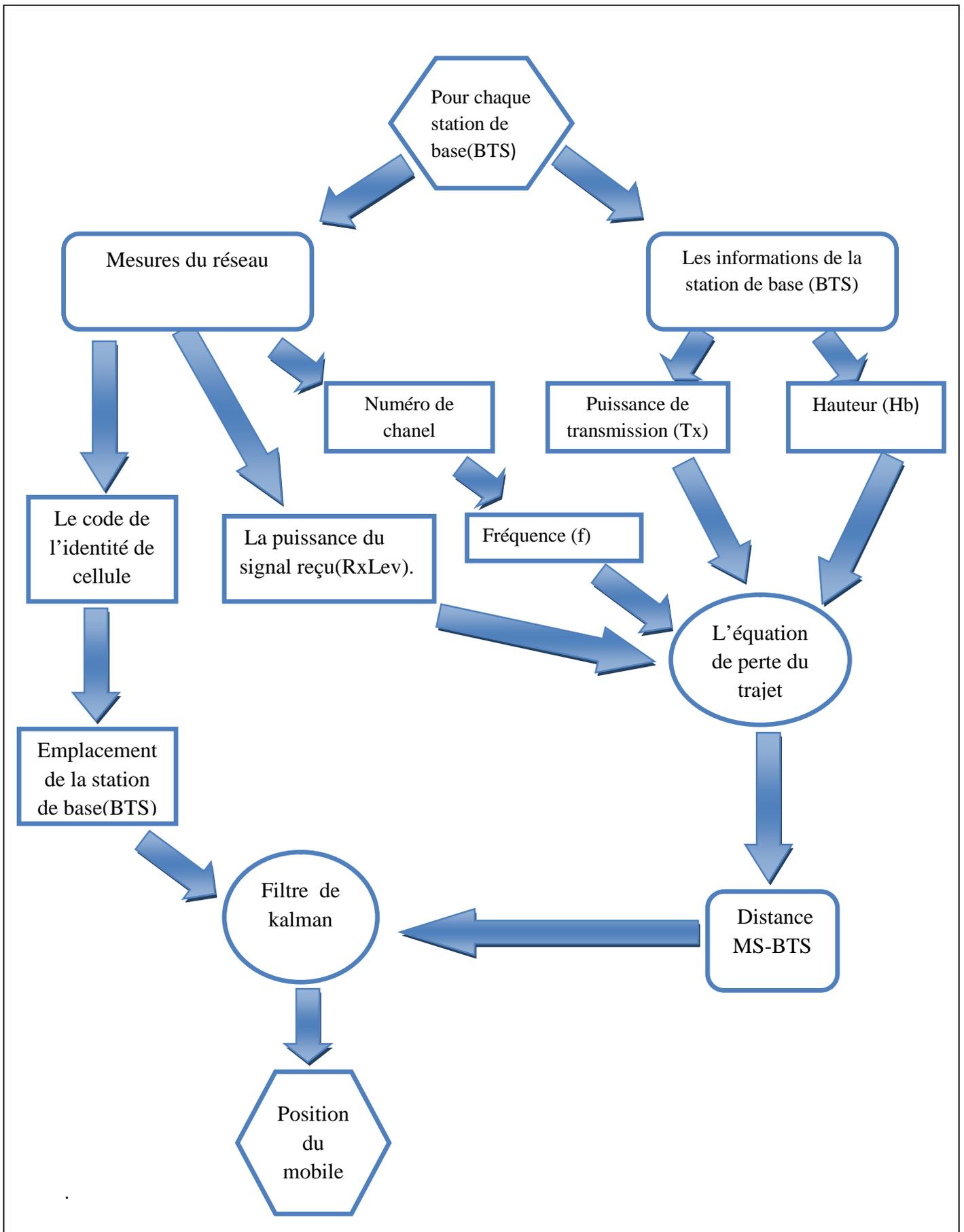


Figure 4.1: Schéma de la méthodologie générale

4.3. Le model du filtre de kalman étendu

Une fois que les mesures de la distance sont obtenues à partir d'au moins trois stations de base, le modèle statique de l'algorithme du filtre de Kalman étendu est utilisé pour calculer la position du téléphone mobile (MS) en terme latitude et de longitude. La précision du résultat dépend de la distance de l'endroit ou l'intensité du signal mesuré est prise. Ceci est déterminé à l'aide de notre GPS à l'emplacement exacte de l'expérience [24].

4.3.1. Principe

Soit $X_k \begin{bmatrix} L_k \\ l_k \end{bmatrix}$ le vecteur représentant la position de la station mobile (MS) à l'instant k , L étant la latitude et l la longitude.

Sachant que la dynamique de la MS n'est pas prise en compte, on suppose que la MS soit connectée au différentes BTS, l'emplacement de MS est constant. En d'autres termes, le modèle d'état de la cible est donné par :

$$X_{k+1} = X_k \quad (4.1)$$

Soit $B_i \begin{bmatrix} L_i \\ l_i \end{bmatrix}$ le vecteur représentant la latitude et la longitude de la $i^{\text{ème}}$ station de base.

Soit $D_i(k)$ la distance (bruitée) entre la $i^{\text{ème}}$ BTS et la Position de MS à l'instant k , R est le rayon de la Terre (6378.135 km). $D_i(k)$ peut être définie en utilisant la loi des cosinus sphérique comme suit:

$$D_i(k) = R \cdot \text{acos}[\sin(L_k) \sin(L_i) + \cos(L_k) \cos(L_i) \cos(l_i - l_k)] + \varepsilon(k) \quad (4.2)$$

Tel que $\varepsilon(k)$ est un bruit gaussien de moyenne nul et de matrice de covariance R .

(4.2) correspond au modèle de mesure du filtre.

La résolution des équations de kalman [4.1-4.2] conduit à l'algorithme itératif, qui se répète à chaque BTS, étant donné la matrice initiale de covariance de l'erreur P_k et aussi la variance de bruit mesuré R ($R=0.25$ a été adopté) :

- Gain du filtre : $K_k = P_k \cdot H_i^T \cdot (H_i P_k H_i^T + R)^{-1}$ (4.3)

- Mise à jour du vecteur d'état : $\hat{X}_{k+1} = \hat{X}_k + K_k \cdot (d_i - \hat{D}_i)$ (4.4)

Où d_i est la distance entre la station de base et la station mobile déterminée en utilisant l'équation de perte de trajet.

- Mise à jour de l'état de matrice de covariance de l'erreur:

$$P_{k+1} = (I - K_k H_i) \cdot P_k \quad (4.5)$$

Où $H_i(k)$ désigne la matrice jacobienne de \hat{D}_i ($D_i(k)$ sans bruit (k))

$$H_i(k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \hat{D}_i(k)}{\partial L_k} & \frac{\partial \hat{D}_i(k)}{\partial l_k} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial \hat{D}_i}{\partial L_k} = R \left[\frac{\sin(L_k) \cos(L_i) \cos(l_i - l_k) - \cos(L_k) \sin(L_i)}{\sqrt{1 - [\sin(L_k) \sin(L_i) + \cos(L_k) \cos(L_i) \cos(l_i - l_k)]^2}} \right] \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial \hat{D}_i}{\partial l_k} = R \left[\frac{\cos(L_k) \cos(L_i) \sin(l_i - l_k)}{\sqrt{1 - [\sin(L_k) \sin(L_i) + \cos(L_k) \cos(L_i) \cos(l_i - l_k)]^2}} \right] \quad (4.8)$$

4.3.2. Les étapes à suivre pour l'algorithme du filtre de kalman

- Initialiser X_k comme le centre de gravité de B_i ($i=1$ a le nombre de la station BTS).
- Initialiser P_k ($P = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix}$)

Pour chaque BTS:

- Calculer la valeur de \hat{D}_i en utilisant la latitude et la longitude de la station de base actuelle (B_i) et la position de MS (X_k)
- Construire la matrice jacobienne H_i
- Calculer le gain de Kalman K en utilisant le P existant et les matrices H
- Mettre à jour la position de MS X en utilisant le K et D existant et la distance entre la MS et la $i^{\text{ème}}$ BTS
- Mettre à jour la matrice de covariance d'erreur P en utilisant K_k existant et les matrices H_i .
- Fin de la boucle

4.4. La partie pratique

Afin de réaliser une expérience pour appliquer cette méthode de localisation, nous avons été accueillis par un opérateur de téléphonie mobile qui est ATM / MOBILIS.

Les fréquences allouées à cet opérateur sont au nombre de quarante (40) pour GSM 900 et trente (30) pour DCS 1800. Certaines fréquences sont réservées pour le canal logique de diffusion « BCCH » et le reste des fréquences est destiné pour les canaux de trafic « TCH ».

4.4.1. Expérience

Cette partie présente le test effectué à ALGER CENTRE, le test est réalisé dans un environnement urbain à proximité du centre-ville comme le montre la figure 4.2, ou on a réalisé une expérience pour localiser une station mobile dans le cas statique à l'aide de trois stations de base (BTS).

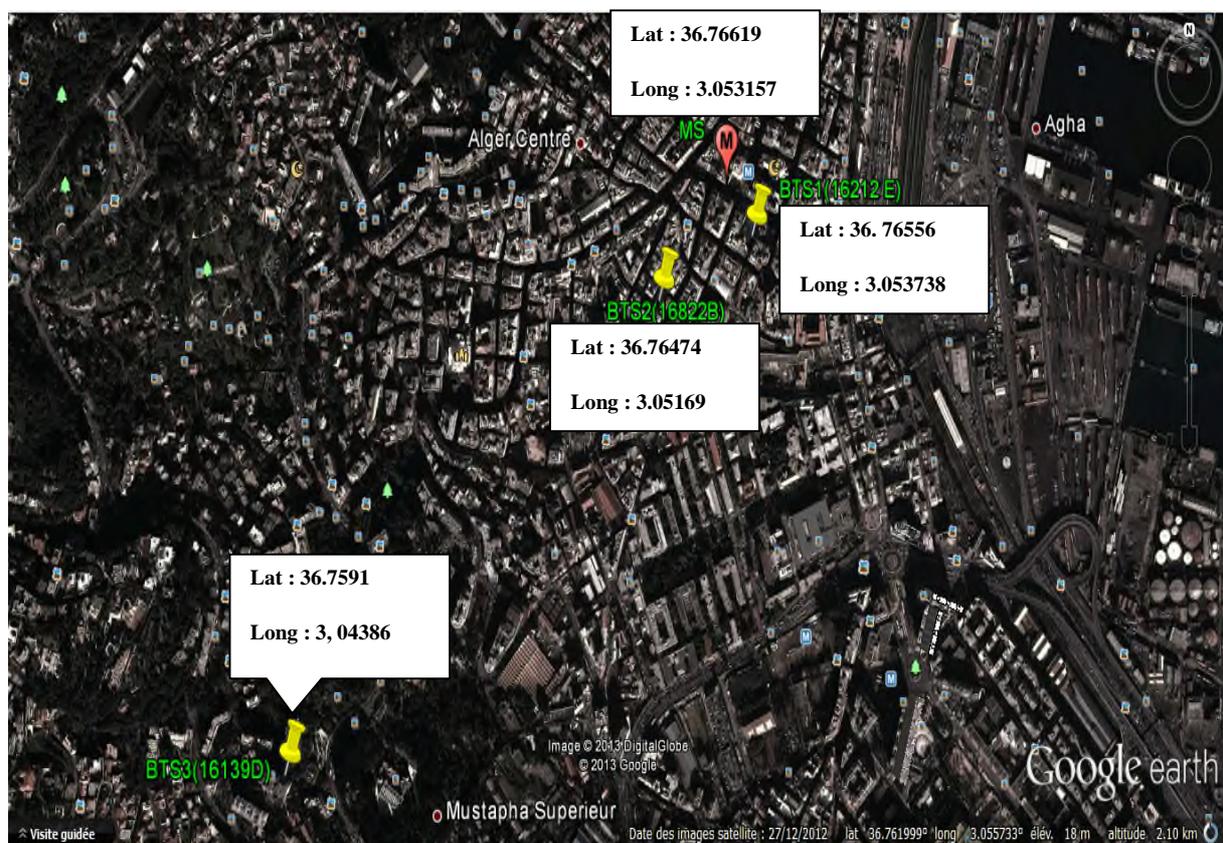


Figure 4.2: *Présentation de lieu de l'expérience par google earth*

Pour réaliser cette expérience, nous avons réalisé un drive test.

4.4.1.1. Le drive test

Afin de gérer la qualité du signal sur l'interface radio, les ingénieurs radio effectuent des sorties d'investigations, sur toutes les zones de couvertures, c'est ce qu'on appelle le drive test. Pendant ces sorties, ils font des diagnostics sur le réseau ainsi qu'une collecte

d'informations concernant les différents paramètres du signal sur le canal radio. Ces paramètres sont, par la suite traités et analysés une fois l'équipe de retours à son siège.

➤ **Outils utilisés**

Les outils utilisés pour la réalisation du drive test sont :

- ✓ Un logiciel spécifique installé sur un PC portable, utilisé pour l'investigation du lien radio.
- ✓ Deux terminaux mobiles spécifiques munis de deux antennes externes, l'un est utilisé pour effectuer un appel d'essai (tout au long du drive test), l'autre est utilisé pour scanner les fréquences de la zone de couverture.
- ✓ Un module GPS (Global Position System) qui nous permet de connaître les coordonnées du véhicule (longitude, latitude et altitude) à tout moment et par conséquent les points où sont relevées les données.
- ✓ Les antennes externes sont placées sur le toit de la voiture utilisée pour parcourir la zone qui est l'objet du drive test.
- ✓ Le PC portable et la valise à outils (les deux mobiles et le module GPS) sont alimentés depuis la voiture (+12v).

4.4.1.2. Drive test effectué

Pour réaliser l'expérience, nous allons à titre d'exemple présenter le drive test effectué dans la région de DIDOUCHE Mourad (ALGER CENTRE) afin d'avoir toutes les informations nécessaire pour appliquer la méthode de positionnement basée sur le filtre de kalman.

Pendant ce drive test, muni du matériel cité ci-dessus et avec un logiciel d'investigation appelé TEMS Investigation 11.0.4 collection qui va nous indiquer les coordonnées de la station mobile pris comme référence, nous avons scanné toutes les fréquences de cette région et nous avons prélevé toutes les mesures relatives au signal radio. Ces mesures ont été sauvegardées dans des fichiers dits « Log files ». Au retour au siège de Mobilis et au moyen d'outil de cartographie, nous avons exploité les mesures nécessaire et choisis le point sur lequel nous avons effectué notre expérience comme illustre la figure 4.3.

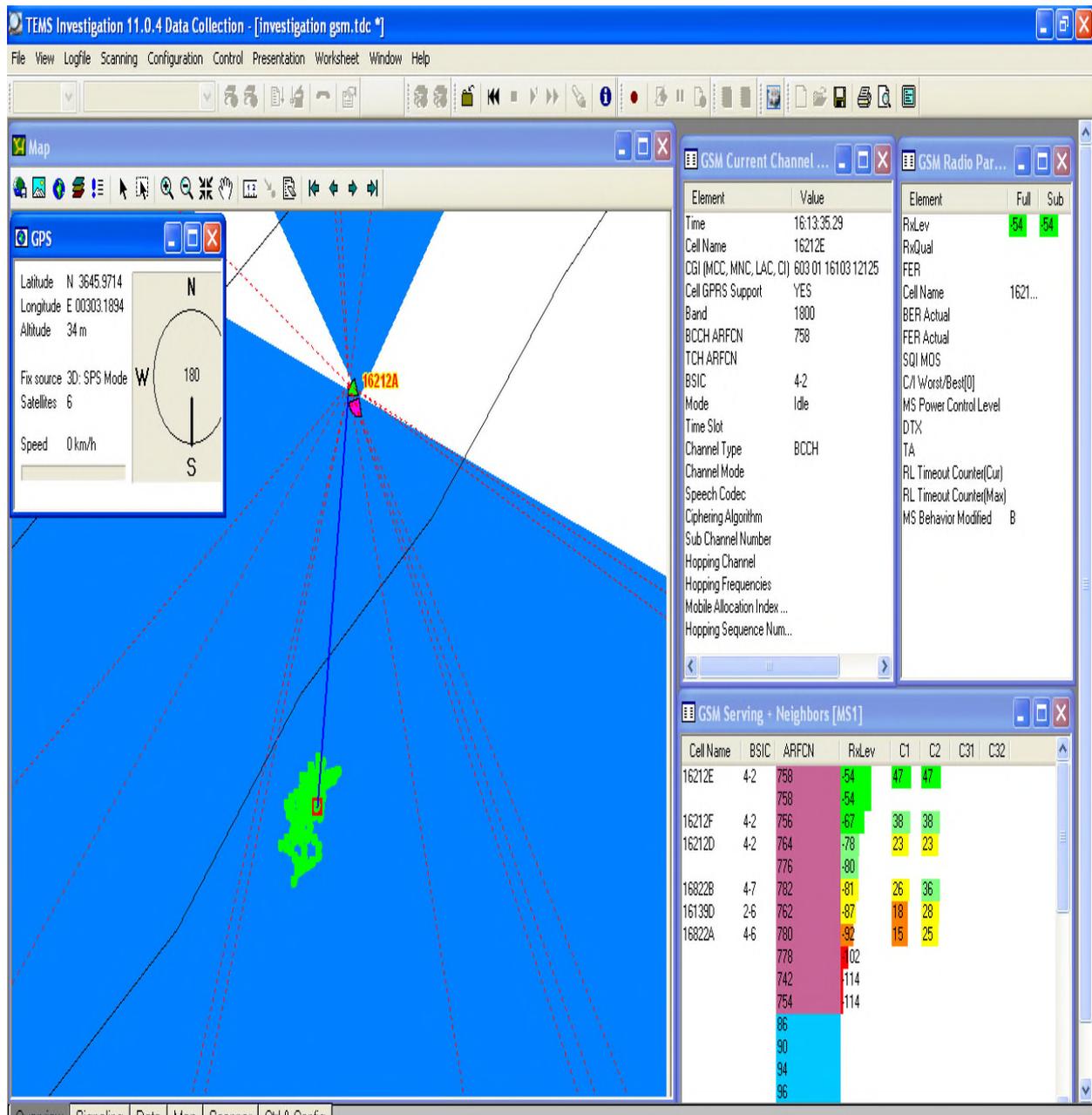


Figure 4.3: Expérience de drive test

4.4.1.3. Paramètres utilisés dans l'expérience

Dans le cadre de notre expérience nous avons réalisé une étude sur trois BTS qui sont (16212E, 16822B et 16139D). Le niveau de puissance (Rxlev) et le numéro de canal porteur (ARFCN) de chaque signal, se rapportant à chaque BTS, ont été mesurés à l'aide de TEMS Investigation 11.0.4 collection. La hauteur (Hb), le positionnement en latitude et en longitude de chaque BTS impliqué dans l'expérience sont obtenus à l'aide de la base de données des sites (les coordonnées sont données en degré décimal). La puissance du signal transmis par

chaque BTS (Tx) est obtenue à l'aide de la base de données du sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS). La hauteur de la station mobile est prise par défaut qui est égal à 1.5 mètre. Tous ces paramètres sont illustrés dans le tableau 4.1.

Cell ID	lat	long	Hb	Tx	Rxlev	ARFCN
16212E	36.76556	3.053738	38	47	-54	758
16822B	36.76474	3.05169	16	33	-81	782
16139D	36.7591	3.04386	52	43	-87	762

Tableau 4.1: *Les paramètres utilisés*

4.4.1.4. Calcul de la distance MS-BTS

A partir des données du tableau 4.1 et à l'aide des trois modèles de propagation (Okumura-Hata, Cost 231, Walfish Ikegami) nous allons calculer la distance entre les différentes stations de bases et la station mobile (BTS-MS) comme illustré dans le tableau 4.2

Les stations de base (BTS)	Modèle okumura hata	Modèle Cost 231	Modèle Walfish Ikegami
	Distance MS-BTS (km)	Distance MS-BTS (km)	Distance MS-BTS(Km)
16212E	0.116859	0.084496	0.188232
16822B	0.218681	0.161478	0.127094
16139D	0.912607	0.654156	1.35562

Tableau 4.2: *Distance calculés par les modèles de propagation*

4.4.1.5. Estimation de la position du mobile par le filtre de kalman

Après avoir obtenu les distance entre la station mobile et les trois stations de base pour chaque modèle de propagation et à l'aide des coordonnées en terme de latitude et de longitude formant une matrice de positionnement des trois BTS, nous allons les introduire dans le filtre de kalman afin d'estimer la position de notre station mobile. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau 4.3.

Matrice de positionnement des trois BTS	La distance (km) obtenue à partir des modèles de propagations	La position estimée par le filtre de kalman	
		latitude	longitude
$\begin{bmatrix} 36.76556 & 3.053738 \\ 36.76474 & 3.05169 \\ 36.7591 & 3.04386 \end{bmatrix}$	do= [0.116859 0.218681 0.912607]	36.766	3.05174
	dc= [0.084496 0.161478 0.654156]	36.7645	3.05203
	dw= [0.188232 0.127094 1.35562]	36.7665	3.05275

Tableau 4.3: Les positions estimées du mobile par le filtre de Kalman

Sachant que do, dc, dw sont les distances obtenues à partir des modèles de propagations Okumura Hata, Cost231 et Walfish ikegami, respectivement.

4.4.1.6. Calcul de la précision

Le calcul de la précision est fait par une comparaison entre la position réelle pris comme référence qui est de [36.76619 3.053157] et les positions obtenues par le filtre du kalman à partir des trois modèles de propagation. Les précisions obtenues sont illustrées dans le tableau 4.4

Les coordonnées de la position réelle donnée par le GPS	Les coordonnées des positions estimées par les trois modèles de propagations	La précision (km)
[36.76619 3.053157]	Xo = [36.766 3.05174]	0.12815
	Xc= [36.7645 3.05203]	0.214885
	Xw= [36.7665 3.05275]	0.0483408

Tableau 4.4: Calcul de la précision

Sachant que X_o , X_c , X_w sont les coordonnées des positions estimées par les trois modèles de propagations Okumura Hata, Cost231 et Walfish ikegami, respectivement.

Une comparaison de l'application des différents modèles de propagation en termes de précision de la localisation est illustrée dans la figure 4.4

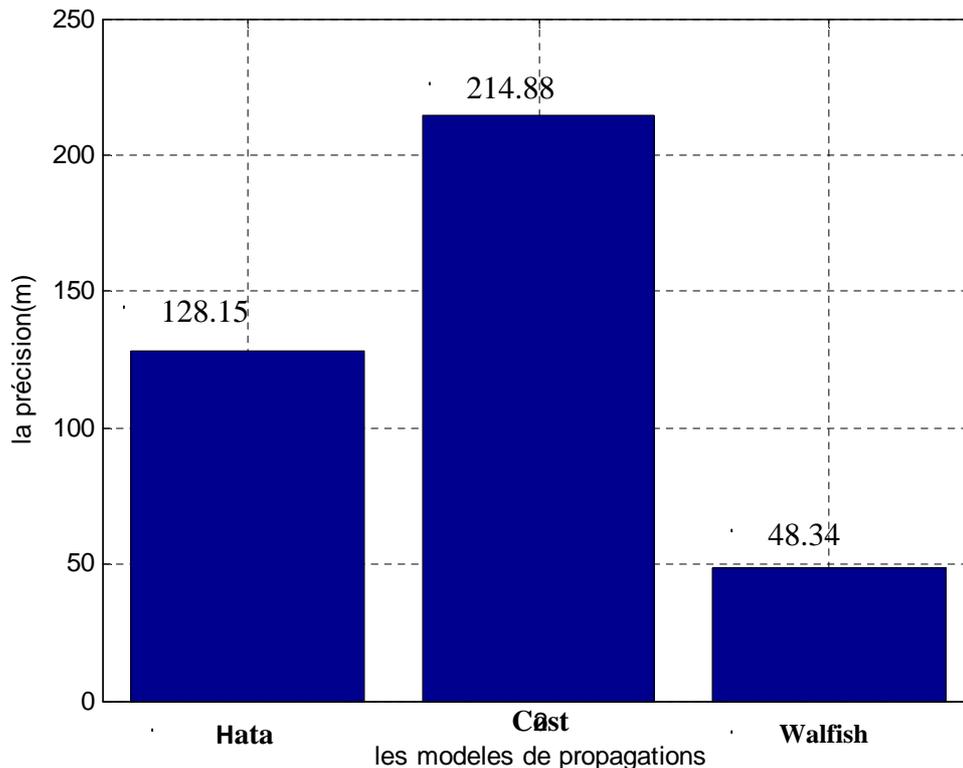


Figure 4.4: Comparaison entre les différents modèles de propagations en termes de précision

4.4.1.7. Discussion des résultats

D'après l'expérience effectuée, il s'est avérée que le meilleur modèle de propagation en terme de précision est celui de Walfish avec 48.34m suivie de celui d'Okumura-Hata avec 128,15m et enfin le modèle de Cost 231 vient en dernier lieu avec 214.88 m. Sachant que la distance entre la position réelle de la station mobile et la valeur initiale qui est le centre de gravité des trois BTS prise par le filtre de Kalman est de 455 m, nous avons réussi à minimiser cet écart jusqu'à 48.34 m.

Les résultats obtenus sont différents en termes de distance, de ceux rapportés par [24] dans leur expérience réalisée à Birmingham, qui sont de 28, 47, 51m pour les modèles de

Walfish, Okumura-hata et de Cost 231, respectivement. Les deux expériences ont montrés que le meilleur model de propagation est celui de Walfish.

Les différences obtenues sont peut être dues :

- Au logiciel utilisé TEMS dans le cas de notre expérience et Netmonitor dans le cas de [24]
- Les informations relatives à la station de base et à la station mobile
- Les caractéristiques de l'environnement dont laquelle l'expérience s'est réalisés (la hauteur des bâtiments, la largeur de la route, les obstacles...).
- La valeur initiale prise par le filtre de Kalman (455m).

4.4.2. Interface graphique

Nous avons élaboré grâce à l'éditeur d'interface GUIDE de MATLAB 7.5, une interface graphique qui comporte les fonctions utilisées pour la localisation d'une station mobile. Elle débute par une interface d'accueil qui s'active en tapant Accueil dans l'espace WORK de MATLAB. la page d'accueil apparaîtra sur l'écran comme suit :

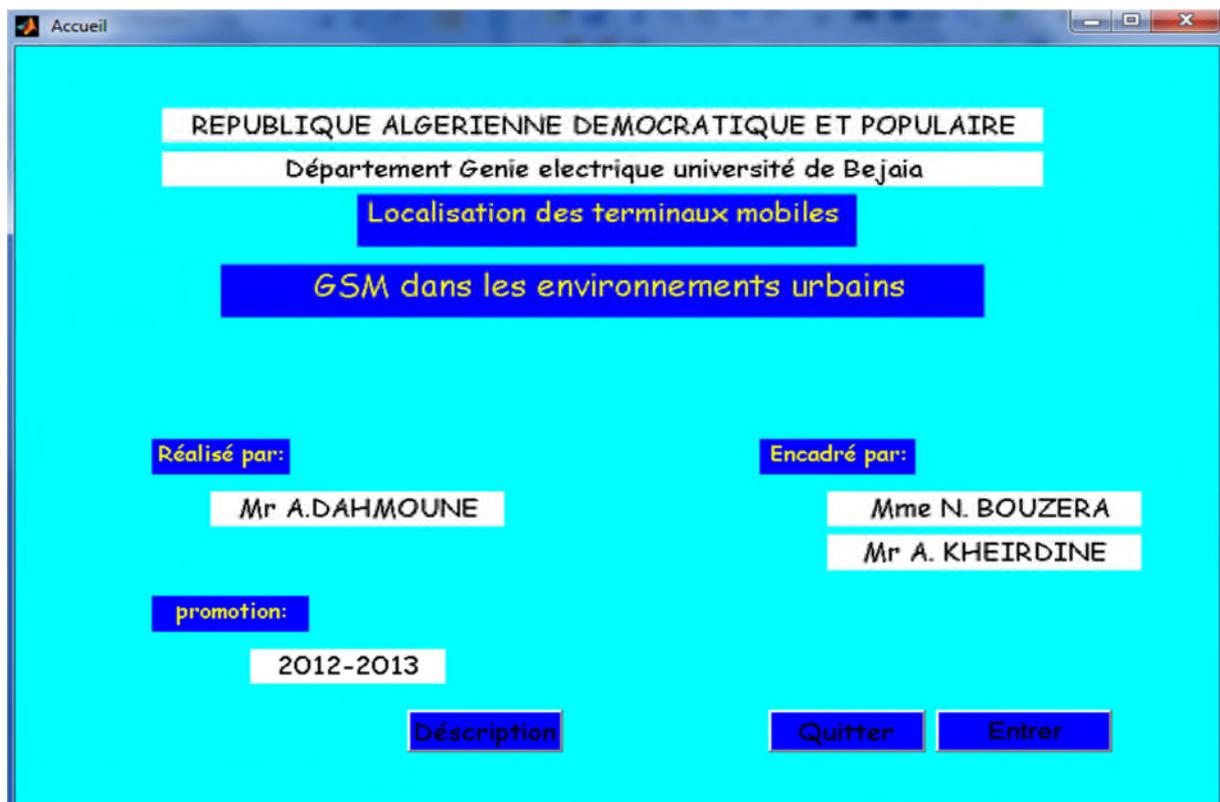


Figure 4.5: Interface d'accueil

Pour accéder à l'interface suivante qui présente les fonctions utilisées pour la localisation, il suffit d'enfoncer le bouton « Entrer » de la page d'accueil. Apparaîtra ensuite la figure ci-dessous:

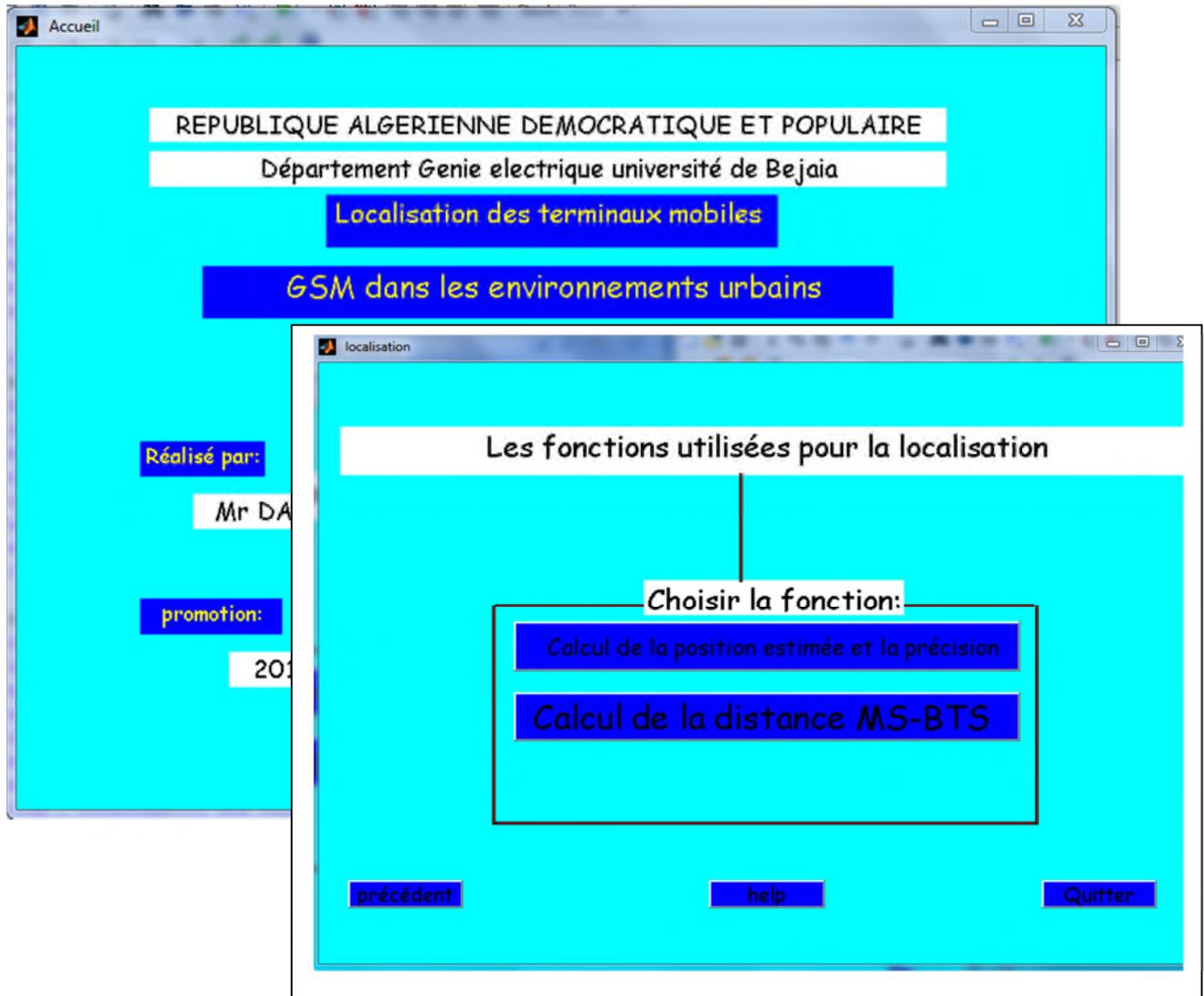


Figure 4.6: *Les fonctions utilisées pour la localisation*

Il suffit alors de choisir une fonction et de cliquer sur le bouton qui correspond à son nom. D'une part, en choisissant le calcul de la distance MS-BTS on aura la figure ci-dessous

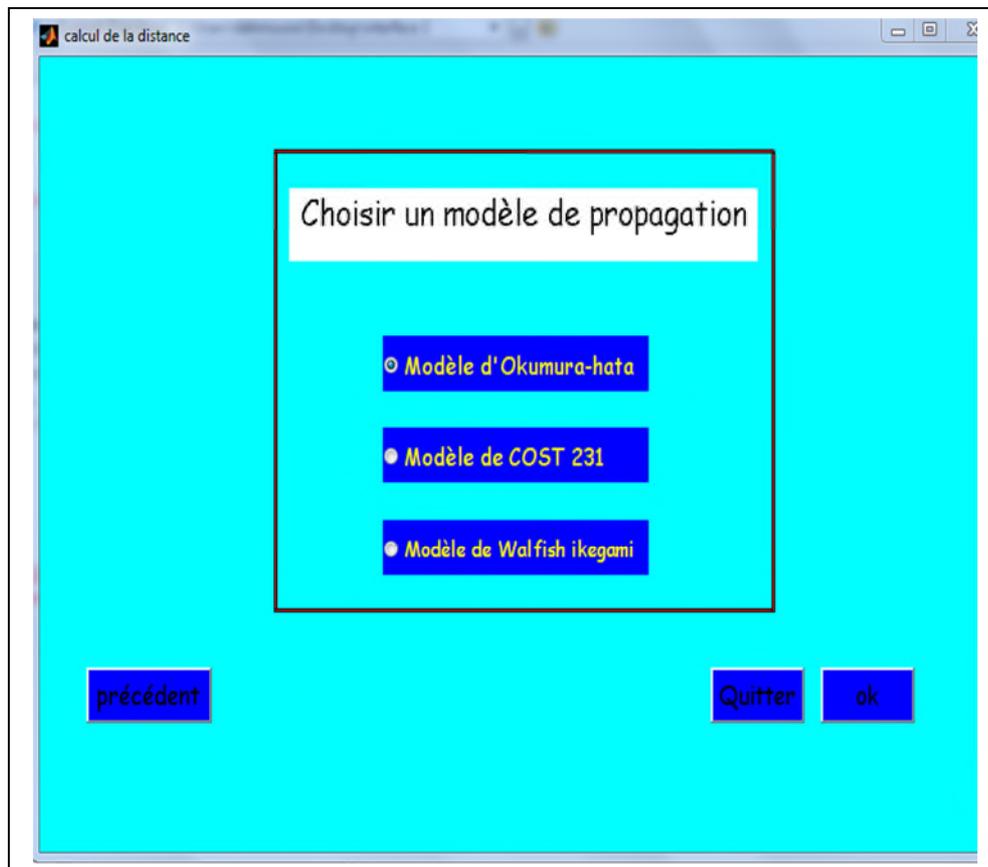


Figure 4.7: Les modèles de propagation utilisés pour le calcul de la distance BTS-MS

Il suffit de choisir un model et de cliquer sur « ok » pour voir une seconde fenêtre s'ouvrir. Elle comporte les paramètres nécessaires pour le calcul de la distance dans chaque model de propagation. Il faut donc charger leurs valeurs sur l'espace qui leurs est dédié et d'appuyer sur le bouton « zone urbain ». En appuyant sur le bouton Modèle de Walfish Ikegami et en chargera ces valeurs on obtiendra la distance illustré dans la figure 4.8

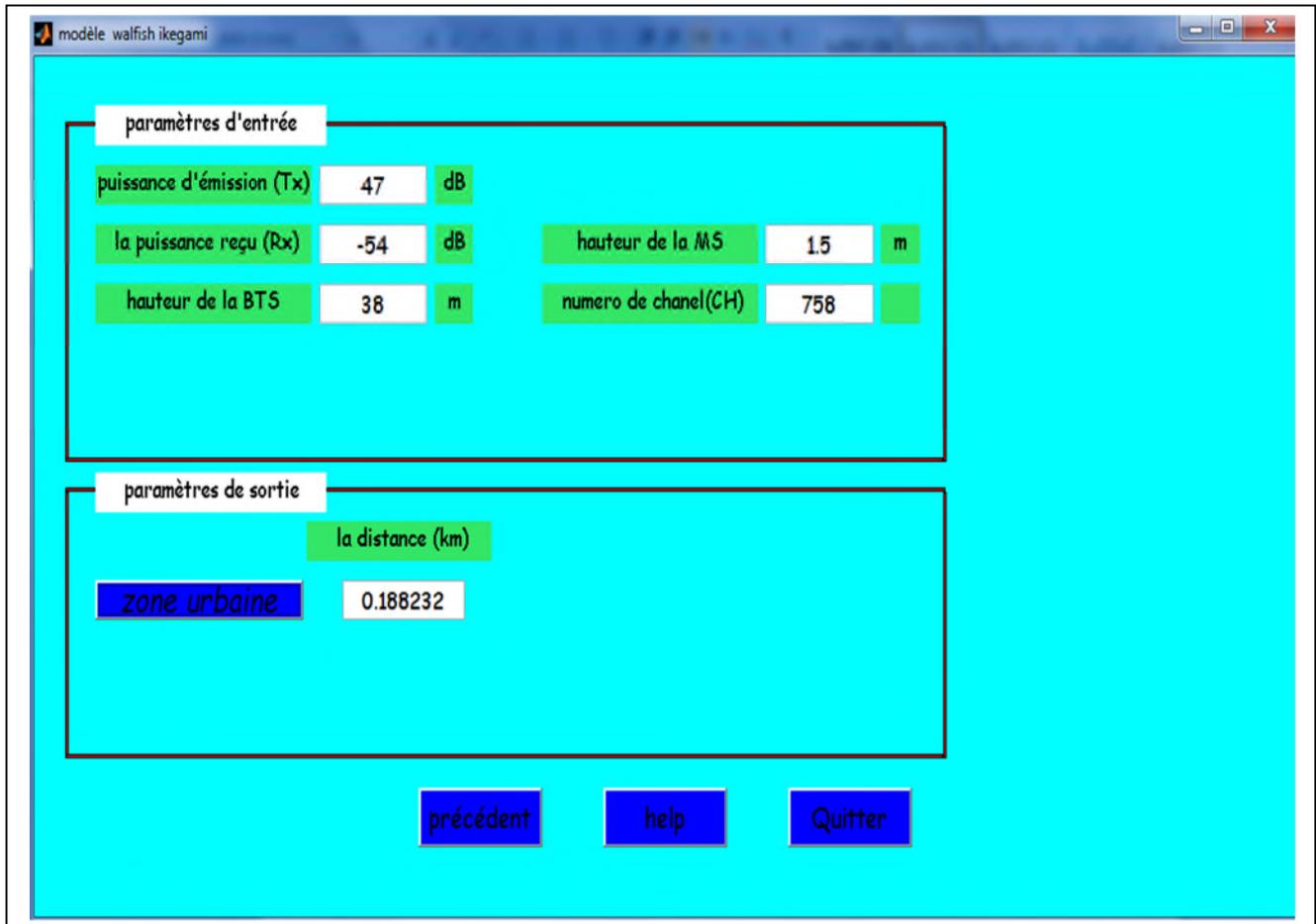


Figure 4.8: Calcul de la distance MS-BTS avec le modèle de walfish Ikegami

Les autres modèles de propagations sont aussi utilisés pour calculer la distance entre MS-BTS en introduisant les mêmes paramètres.

D'autre part en choisissant le calcul de la position estimée et la précision on aura la figure ci-dessous. Cette dernière comporte les paramètres nécessaires pour le calcul de la position estimée du mobile et la précision. Il faut donc charger leurs valeurs sur l'espace qui leurs est dédié et d'appuyer sur le bouton «latitude».

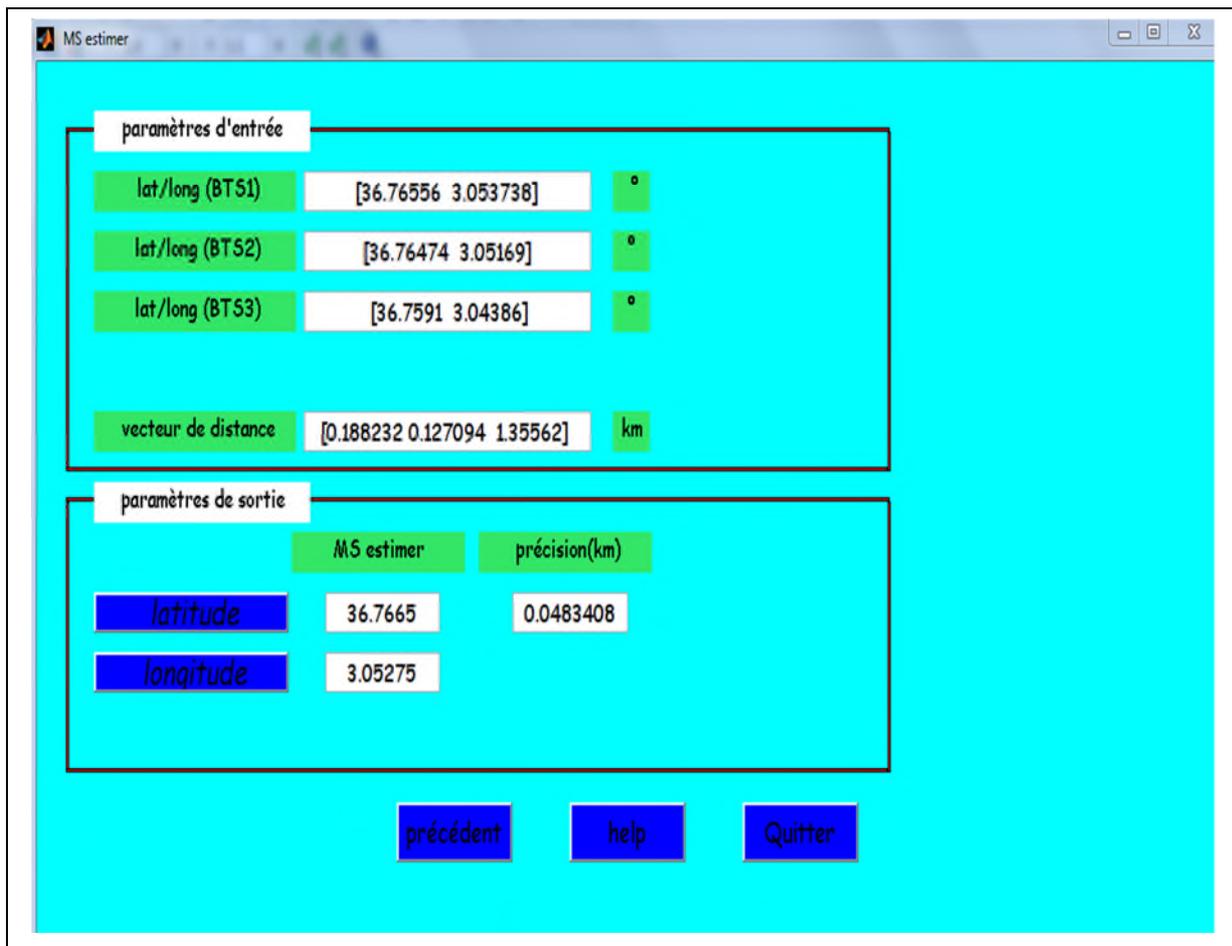


Figure 4.9: Estimation de la position de MS et calcul de la précision

Pour revenir au menu principal, il suffit de cliquer sur le bouton « précédent ».

Pour quitter l'interface, il faut cliquer sur le bouton « Quitter ».

4.5. Conclusion

Dans ce chapitre, une nouvelle méthodologie à faible coût pour le positionnement mobile utilisant la norme GSM avec des services améliorés ont été mis en avant.

La proposition utilise un logiciel de surveillance du réseau (TEMS) pour identifier le numéro du canal (ARFNC), l'identité cellulaire (Cell-ID) et l'intensité du signal reçu (Rx) pour chaque BTS connectée avec la MS. Un appariement avec la base de données des sites va nous permettre d'identifier la position et la hauteur de chaque BTS sous-jacentes.

L'approche utilise un modèle de propagation des ondes pour calculer la distance à partir de MS à chaque BTS. Ensuite, un modèle du filtre de Kalman étendu a été développé pour

combiner les différentes distances afin de déterminer le positionnement précis de la MS en termes de coordonnées de latitude et de longitude. Un dispositif expérimental a été réalisé en centre ville d'Alger dans un environnement urbain tout en comparant les performances des différents modèles de propagation (Okumura Hata, Cost231 et Walfish-Ikegami).

Walfish-Ikegami a réalisé la meilleure précision de 48 mètres, ce qui semble un très bon résultat.



Conclusion générale

Conclusion générale

Depuis les années 2000, les techniques de localisation se sont introduites petit à petit dans nos vies quotidiennes. Elles sont extrêmement variées (GPS, localisation par GSM,...etc).Elles ont apporté énormément aux entreprises, notamment dans l'agriculture, la sécurité et l'aide humanitaire. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet dans lequel nous avons utilisé le filtre de Kalman pour estimer la position du mobile GSM.

Notre rapport de projet de fin d'étude a été très bénéfique tant sur le plan personnel que sur le plan professionnel. Nous avons saisi cette opportunité pour acquérir de nouvelles connaissances théoriques et pratiques sur la localisation des terminaux mobiles pour les environnements urbains.

Pour ce faire, nous avons d'abord étudié l'architecture du réseau cellulaire, les méthodes existantes pour la localisation pour ensuite choisir la méthode qui répond le mieux aux contraintes de robustesse. Ensuite, nous avons procédé à l'implémentation du filtre de Kalman pour estimer la position du mobile en zone urbain. Un système de localisation de mobile GSM a été développé. Ce système est basé sur le filtre de Kalman étendu ainsi la distance entre le mobile (MS) et la station de base (BTS) est déterminée à partir des modèles de propagation.

En pratique cette étude nous a permis de résoudre des problèmes réels liés à la localisation. Une expérience a été portée dans la ville d'Alger à travers un stage pratique au sein de l'opérateur public ATM Mobilis, L'approche utilise le logiciel TEMS pour identifier le numéro du canal, l'identité cellulaire (Cell-ID) et l'intensité du signal reçu (Rx) pour chaque BTS connectée avec la station mobile (MS).Un appariement avec la base de données des sites va nous permettre d'identifier la position et la hauteur de chaque BTS sous-jacentes, ensuite un modèle de propagation des ondes utiliser pour calculer la distance entre MS et chaque BTS. Enfin, un modèle du filtre de Kalman étendu a été développé pour combiner les différentes distances afin de déterminer le positionnement précis de la station mobile en termes de coordonnées de latitude et de longitude.

En comparant les performances des différents modèles de propagation (OkumoraHata, Cost 231 Hata et Walfish-Ikegami). Le modèle Walfish-Ikegami a accompli la meilleure exactitude avec 48 mètres qui est un très bon résultat.

Comme perspectives de ce travail nous proposons :

- La localisation du mobile à l'état statique dans différents environnements.
- La localisation du mobile à l'état dynamique dans différents environnements.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail servira nos étudiants, et sera amélioré et enrichi dans le future.



Bibliographie

Bibliographie

[1] : POLY JL, « Langlois sur GSM »

[2] : Xavier Lagrange, Philippe Goldlewski, Sami Tabbane, « Réseau GSM-DCS», Edition Hermés, Paris, 1996

[3]: site internet, http://www.efort.com/r_tutoriels/GSM1_EFORT.pdf

[4]: «STUDENT TEXT GSM SYSYEM SURVEY», Ericsson Radio Systems AB, Sweden, 1998.

[5] :Jean-Philippe Muller, « Le réseau GSM et le mobile », version 2007/2008.

[6] : Pierre Brisson, Peter Kropf , « Global System for Mobile Communication(GSM)», Université de Montréal.

[7] : site internet,http://www.elkhazen.org/internet_mobile_3.html

[8]: C.DEMOULIN, M.Van DROOGENBROECK «Principe de base du fonctionnement du réseau GSM », Revu de l' AIM ,2004

[9] site internet, <http://huralu.pagesperso-orange.fr/monitoring/technique.htm>

[10] : site internet <http://www.orange-business.com/fr/blogs/relation-client/contact-multicanal/la-geolocalisation-definition-usages-et-limites>

[11] : site internet, <http://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9olocalisation>

[12] Jean-Luc Cosandier, « Principes généraux de la localisation par satellites», cour avril 2003.

[13] : Hamed. Sekandary, « La Localisation Mobile et ses Applications », Université de Fribourg - Suisse Juillet 2008.

[14] : Ferderic Evennou, « techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor», thèse de doctorat, Université Joseph Fourier ,2007.

[15] : site internet, <http://www.clubic.com/actualite-62097-dossier-a-gps-le-principe-de-fonctionnement-les-enjeux-les-terminaux-le-retard-des-operateurs-m.html>.

[16] : Montavont. Julien, « Gestion des déplacements de terminaux IPv6 mobiles assistée par géolocalisation », Docteur de l'Université Louis Pasteur, 2006.

[17] Hamed. Sekandary, « La Localisation Mobile et ses Applications », Université de Fribourg - Suisse Juillet 2008. .

[18] S.Tabbane, « ingénierie des réseaux cellulaires », Ed Hermès Paris, 2002.

[19] S.Tabbane, «réseau mobile, Ed Hermès », Paris, 1997.

[20] Mohammad Shahajahan and A. Q. M. Abdulla Hes-Shafi , «Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3.5 GHz », Blekinge Institute of Technology, 2009.

[21] site internet, <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/04/le-filtre-de-kalman-interets-et-limites/>.

[22]: site internet, <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/04/le-filtre-de-kalman-de-lestimateur-optimal-au-filtre-de-kalman/>

[23] : site internet, <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/05/le-filtre-de-kalman-etendu-principe-et-exemple/>.

[24]: S. Hemani, M. Oussalah, « Mobile Location System Using Netmonitor and MapPoint server », University of Birmingham, Electronics, Electrical and Computer Engineering Edgbaston, Birmingham B15 2TT, 2006.

[25]: S. Hamani, M. Oussalah, P. Hall, « Combination of GSM and GPS signals for Mobile Positioning and Location Service Using Kalman Filter», University of Birmingham, Electronics, Electrical and Computer Engineering Edgbaston, Birmingham B15 2TT, 2007



Abréviation

Abréviations

GSM: Global System for Mobile communications

RTC: Réseau téléphonique commuté

RTCP: Réseau Téléphonique Commuté Public

MS: Mobile Station

BSS: Base Station System

NSS: Network switching sub-system

OSS: Operation Support Subsystem

SIM: Subscriber Identity Module

IMEI: International Mobile Equipment Identity

IMSI: International Mobile Subscriber Identity

BTS: Base Transceiver Station

BSC: Base Station Controller

MSC: Mobile services Switching Center

GMSC: Gateway Mobile Switching Centre

HLR: Home Location Register

MSISDN: Mobile Station Integrated Services Digital Network

VLR: Visitor Location Register

AuC : Authentication Center

Kc: ciphering key

EIR: Equipment Identification Register

OMC: Operation and Maintenance Center

CGI: Cell Global Identity

BSIC: Base station Identity Code.

LA: Location Area

LAI: Location Area Identity

PLMN: Public Land Mobile Network

MNC: Mobile Network Code

NDC : Network Destination Code

DCS: Digital communication system

ARFCN: Absolute Radio Frequency Channel Number

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying

FDMA: Frequency Division Multiple Access

TDMA: Time division multiple access

TA: Timing Advance

DTX: Discontinuous Transmission

BER: Bit Error Ratio

GPS: Global Positioning System

USA: United States of America

A-GPS: Assisted- Positioning System

TTFB: Time To First Fix

D-GPS: Differential Global Positioning System

GMLC: Gateway Mobile Location Center

VMSC: Visited Mobile Switching Centre

SMLC: Serving Mobile Location Centre

LMU: Location Measurement Unit

AOA: Angle Of Arrival

TOA: Time of Arrival

TDOA: Time Difference of Arrival

MAC: Media Access Control

IP: Internet Protocol

NLoS: Non-line-of-sight

PC: Personal Computer