

Remerciements

Avant tout, nous remercions le dieu tout puissant de nous donner la force afin de mener à bien ce travail.

Il nous est offert ici, par ces quelques lignes, la possibilité de remercier les personnes qui ont contribué à faire ce mémoire.

Nous tenons tout particulièrement à remercier notre encadreur Mr. Salim CHELBI pour le savoir qu'il nous a inculqué, pour ses précieux conseils et orientations, et surtout pour le soutien qu'il nous a témoigné.

Nous tenons également à remercier qui ont accepté d'évaluer ce travail et de contribuer à l'améliorer par leurs commentaires constructifs.

Et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail

Nous vous exprimons notre gratitude et notre profond respect, pour tous ce la nous vous disons « Merci ».

Nous remercions aussi nos familles et amis (e), qui nous ont aidé, soutenue et qui nous ont offerts, pour établir ce travail.

Sommaire

Sommaire	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	ix
Liste des Abréviations	x
Introduction Générale	1

Chapitre I : Systèmes de Géolocalisation.

I.1. Introduction.....	2
I.2. Historique	2
I.3. Définition	3
I.4. Classification des systèmes de géolocalisation.....	5
I.5. Les moyens de localisation actuels à grande échelle	6
I.5.1. La géolocalisation par géocodeur.....	6
I.5.2. Les systèmes de localisation par réseaux terrestres	6
I.5.3. La géolocalisation par RFID	8
I.5.4. La géolocalisation via IP	9
I.5.5. Localisation via wifi.....	9
I.5.6. Le système satellitaire	10
I.5.6.1. Le système GPS.....	10
I.6. Caractéristiques des systèmes de géolocalisation.....	15
I.7. Performances des systèmes de géolocalisation.....	16
I.8. Les applications pratiques de la géolocalisation	16
I.9. Conclusion	17

Chapitre II : Techniques et Méthodes de géolocalisation.

II.1. Introduction	18
II.2. Le processus de la géolocalisation.....	18
II.2.1. Les métriques	19
II.2.1.1. Indicateur de puissance du signal reçu	19

Sommaire

II.2.1.2. Le temps d'arrivée TOA.....	20
II.2.1.3. La différence du temps d'arrivée TDOA	21
II.2.1.4. L'angle d'arrivée AOA	23
II.2.1.5. Synthèse des métriques de radiolocalisation	23
II.2.2. Les méthodes géométriques de localisation.....	25
II.2.2.1. Triangulation	25
II.2.2.2. Latération	27
II.2.2.3. Trilatération	28
II.2.3. Méthodes de proximité	29
II.2.3.1. Localisation via Cell-ID	30
II.2.3.2. Localisation via point d'accès wifi.....	31
II.2.4. La localisation hybride.....	31
II.3. Conclusion.....	31

Chapitre III : Simulations et Résultats.

III.1. Introduction	32
III.2. Représentation du logiciel de simulation	32
III.3. La trilatération	32
III.3.1. Description du scénario principal	33
III.4.1. Résultats des TOA simulée sous ADS	35
III.5. Estimation de la position avec la méthode de moindres carrées	37
III.5.1. Teste de l'algorithme de positionnement.....	37
III.5.2. Estimation de la position avec les TOA's obtenues sous l'ADS	38
III.5.3. Le critère d'erreur moyenne d'estimation de la position.....	39
III.6. Conclusion.....	41
Conclusion Générale	42
Bibliographie	43

Liste des figures

I.1	Le principe des systèmes de géolocalisation sans fil .	3
I.2	Structure du réseau GSM pour les applications de localisation	7
I.3	Schéma représentatif d'un système RFID	8
I.4	La constellation GPS	11
I.5	Formation des signaux GPS	13
I.6	Le principe du positionnement autonome	14
I.7	Le principe du positionnement relatif	15
II.1	Le processus de localisation .	18
II.2	Trilatération à partir de trois mesures RSS	19
II.3	Schéma d'un système TOA	20
II.4	La métrique d'E-OTD	21
II.5	Localisation avec TDOA	22
II.6	Le principe de la technique AOA	23
II.7	La technique de triangulation	26
II.8	La trilateration	28
II.9	Localisation par cell-ID	30
III.1	Scénario principal de la simulation	33
III.2	Paramètres du canal utilisé dans la transmission des signaux	34
III.1	Chaîne de transmission (émetteurs/récepteur) sous ADS	35
III.4	Résultats des temps d'arrivés	36
III.2	Estimation de la position avec la méthode des moindres carrées	38
III.3	L'erreur de positionnement en fonction de l'erreur de mesure	40

Liste des tableaux

I.1	Classification des Systèmes de localisation.	5
I.2	Les porteuses des signaux GPS.	12
I.3	Performances des Systèmes de localisation.	16
II.1	Récapitulatif des techniques de radiolocalisation.	24
III.1	Les positions de station de références (émetteurs) utilisés.....	34
III.2	TOA de chaque satellite.	36
III.3	Resultas des testes de l'algorithme de positionnement.	37
III.1	Résultats d'estimation d'autres positions.....	39
III.5	Comparatif entre les valeurs obnenues et les valeurs réelles.	39

Liste des abréviations

ADS	Advanced Design system.
AGPS	Assisted GPS.
AOA	Angle of Arrival.
ARCEP	Autorité de Régulation des Communications et des Postes.
BSC	Base Station Controller.
BTS	Base Transceiver Station.
CDMA	Code Division Multiple Access
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System.
GSM	Global System for Mobile.
ICANN:	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers.
IP	Internet Protocol.
LORAN	Long Range Navigation.
PDA	Personal Digital Assistant.
PRN	Pseudo Random noise.
RFID	Radio-Frequency Identification.
RMSE	Root-Mean Square Error.
RSS	Received Signal Strength.
SB	Station de Base.
TDOA	Time Difference Of Arrival.

Liste des abréviations

TOA	Time Of Arrival.
UWB	Ultra Wide Bande.

Le secteur des télécommunications connaît une évolution exponentielle avec l'avènement des systèmes numériques. Cette évolution se traduit par le développement de différents systèmes offrant de plus en plus de services à l'utilisateur et une meilleure qualité de fonctionnement et de gestion.

En outre, cette évolution du monde des télécommunications mobiles s'est accompagnée par un développement rapide des techniques et technologies de localisation, qui est devenue un outil indispensable dans nombreux domaines.

Aujourd'hui, nous avons différents types de technologies de positionnement, qui peuvent être utilisées pour déterminer la position des utilisateurs, comme les réseaux cellulaires (GSM), les réseaux WLAN (Wifi), ainsi que les réseaux WPAN, le système GPS,...etc. Ces systèmes de géolocalisations utilisant les ondes radio, sont basés sur des métriques et des méthodes de localisation, les métriques visent les techniques de mesure (TOA, TDOA, RSS, AOA...). Et les méthodes de localisation (trilatération, triangulation, latération) qui représente les algorithmes de positionnement utilisés par les systèmes de géolocalisations. Autrement, il existe d'autres techniques (IP, Cell-ID, ...), qu'elles n'exigent pas une infrastructure précise au un algorithme, seulement une base de données suffise. [1]

Le présent mémoire comporte trois chapitres, le premier chapitre aborde des généralités sur les moyens de géolocalisation, ainsi que leurs performances et caractéristiques. Le deuxième traite les différentes techniques et méthodes utilisé par les systèmes de géolocalisation, finalement le dernier chapitre présente les résultats de simulation du positionnement par trilatération à base de temps d'arrivés et la discussion des résultats et nous terminons par une conclusion générale suivi par des perspectives envisagées.

I.1. Introduction

Connaître sa position a toujours été une préoccupation de l'homme qui a développé, au fil du temps, les moyens nécessaires pour s'orienter et se déplacer à sa destination. Durant ces dernières années, les méthodes de localisation ont connu un développement inouï, révolutionnant ainsi de nombreux domaines (navigation, agricole, défense ...etc.).

L'alliance des nouvelles technologies telles que les Smartphones, les tablettes numériques et les GPS a su optimiser l'usage de la géolocalisation. C'est à présent un outil majeur de communication personnelle et professionnelle qui est très en vogue actuellement.

Dans ce chapitre on va présenter la définition de la géolocalisation ainsi les différentes techniques de géolocalisation existantes.

I.2. Historique [1]

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les technologies de géolocalisation ne sont pas récentes. En effet, depuis la préhistoire, savoir prendre des repères pour se localiser été indispensable.

En effet, une nouvelle technologie, la radiogoniométrie, venait d'être découverte et permet de mesurer la direction d'arrivée d'une onde électromagnétique, qui permet aux navigateurs de calculer une position probable de leur bateau.

A partir de la Seconde Guerre Mondiale, de grands systèmes terrestres de radionavigation furent mis en place, comme le DECCA, le LORAN ou l'Oméga, suivi de l'étude de l'usage des satellites comme base d'un système de navigation dans les trois dimensions.

Dans les années 90, l'avènement des réseaux de téléphonie mobile permit de mettre au point une nouvelle technologie de géolocalisation, dite par GSM. Une personne munie d'un téléphone portable allumé pouvait désormais être située dans toutes les zones couvertes par le réseau GSM. Enfin, Après les années 2000 les techniques, et les systèmes de localisation viennent d'apparaître, et devenu possible de localiser une personne sur Internet grâce à son adresse IP, un terminal connecté sur une liaison wifi, avec une puce RFID...etc.

I.3. Définition

La géolocalisation est un procédé permettant de positionner un objet (une personne, terminal mobile) sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques. Elle repose sur l'utilisation d'un récepteur, qui peut être un récepteur GPS, une carte SIM, un tag RFID, capable d'identifier la position (c'est-à-dire les coordonnées de longitude et de latitude) et de restituer l'information de manière à faire apparaître une position sur une carte, directement sur l'écran d'un terminal (de type GPS de navigation, PDA ou Smartphone...) ou sur un ordinateur. Ce récepteur est généralement intégré à un boîtier ou à un terminal mobile, capable d'enregistrer les positions recueillies à intervalles réguliers mais aussi d'envoyer ces données.

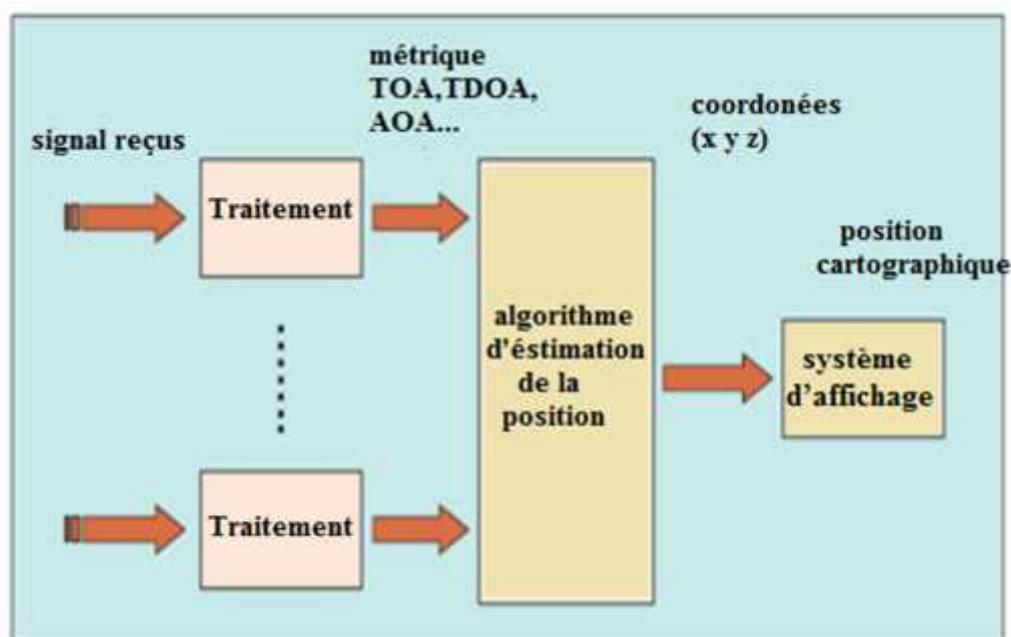


Figure I.1: Le principe des systèmes de géolocalisation sans fil. [2]

Un système de localisation peut être décomposé en trois parties distinctes, chaque partie à son propre objectif et méthode de résolution. [2]

- a. Estimation de distance ou d'angle : Cette partie consiste à déterminer la distance et/ou l'angle entre deux points (antenne relais et un mobile, satellite et un récepteur GPS) ces données sont utilisées en suite pour déterminer la position.

- b. Algorithme de positionnement : c'est la plus importante de système géolocalisation qui est responsable de définir la manière de traitement des informations disponible et d'effectuer les calculs à fin de déterminer la position.
- c. Le système d'affichage : c'est la partie de transformation de coordonnées en longitude, latitude, altitude, ou en position géographique sur un système cartographique.

I.4. Classification des systèmes de géolocalisation

Il existe divers classification de systèmes de géolocalisation selon les critères de l'environnement d'utilisation, l'infrastructure, l'information fournie, les techniques et les algorithmes utilisé, ... etc. Le tableau qui suit illustre une classification selon quatre critères de classification :

La classification	Types	Les systèmes concernés
Selon le type d'information fournie	<ul style="list-style-type: none"> - Méthodes de positionnement relatif : Calcul de position à partir d'une position initiale connue. Les systèmes de navigation utilisés dans les avions commerciaux 	<ul style="list-style-type: none"> - AGPS - Loran-c
	<ul style="list-style-type: none"> - Méthodes de positionnement absolu : Calcul de position de l'utilisateur sans aucune information sur sa position initiale, en utilisant généralement un récepteur et une infrastructure terrestre ou spatiale. 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS
Selon l'infrastructure utilisée	<ul style="list-style-type: none"> - Satellite : concerne les méthodes de positionnement qui sont basées sur l'utilisation de l'orbite satellitaire. 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS - Glonass - Galileo.
	<ul style="list-style-type: none"> - PLMN (Public Land Mobile Network) 	<ul style="list-style-type: none"> - GSM - loran-c
	<ul style="list-style-type: none"> - Autres : correspond aux technologies qui n'ont pas été développées spécifiquement pour des fins de positionnement 	<ul style="list-style-type: none"> - Bluetooth - RFID - UWB - IP - WIFI
l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Intérieur (Indoor) ou les systèmes OutDoor ne peut pas accéder à cause des caractéristiques de ces milieux là (infrastructures ou bâtiments). 	<ul style="list-style-type: none"> - Bluetooth - UWB - RFID - GSM
	<ul style="list-style-type: none"> - OutDoor (extérieur) concerne les systèmes de géolocalisation dans les espaces libres (hors des bâtiments, mer et montagne). 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS - GSM
niveau du calcul de la position	<ul style="list-style-type: none"> - Réseau 	<ul style="list-style-type: none"> - GSM - IP
	<ul style="list-style-type: none"> - Mobile ou Terminal 	<ul style="list-style-type: none"> - GPS - GSM

Tableau I.1: Classification des Systèmes de localisation.

I.5. Les moyens de localisation actuels à grande échelle

I.5.1. La géolocalisation par géocodeur

Le géocodage consiste à affecter des coordonnées géographiques (la longitude et la latitude) à une adresse. Ces données permettent de situer chaque adresse (personnes, entreprises, points d'intérêts) sur une carte numérique via un Système d'Informations Géographiques (SIG).

Un géocodeur qui peut être sous forme de logiciel ou de service en ligne, qui permet la visualisation de ces données numériques.

L'intérêt du géocodage est de pouvoir traiter géographiquement l'ensemble des informations d'une base de données. Ainsi qu'on peut regrouper plus facilement l'entièreté de ses informations clients, prospects et concurrents sur une même carte. Certains logiciels peuvent même décoder l'ensemble de vos données et les restituer sur une carte en appliquant des marqueurs visuels, comme une couleur par exemple, pour différencier chaque catégorie (clients, partenaires,...etc.). Cependant, la technique de géocodage a comme inconvénient son manque de précision, plusieurs adresses peuvent être couvertes par le même code postal. Le géocodage est une des techniques de géolocalisation dont La précision est de quelques dizaines de mètres en moyenne.

I.5.2. Les systèmes de localisation par réseaux terrestres

Aujourd'hui, de nombreux réseaux cellulaires ou sans fil existent, ces réseaux communiquent avec les équipements mobiles par radio.

a. LORAN C

Ce système est formé de réseaux de stations couvrant chacune un ou deux mille kilomètres. Toutes les stations sont sur la même fréquence. Elles émettent des impulsions dont la structure permet de reconnaître l'émetteur. A partir de mesures sur trois stations, un mobiles au sol calcule sa latitude et sa longitude à quelques centaines de mètres près (une précision < 450 m) et recale son horloge à mieux qu'une microseconde. [4]

b. Localisation via le réseau GSM

Un réseau GSM est composé de plusieurs cellules et que chacune d'elle contient une BTS (Base Transceiver Station) qui prend en charge les communications radio des téléphones mobiles. Chaque BTS est relié ensuite à un BSC (Base Station Contrôler) qui pilote l'ensemble des BTS et gère le basculement d'un portable d'une cellule à une autre selon le principe de handover (choisit quelle est la cellule qui prendra en charge le mobile).

Toutes les informations sont contenues dans la carte SIM. Lorsqu'un utilisateur s'identifie à un réseau mobile, son numéro IMEI est transmis au système de gestion de l'opérateur afin de pouvoir l'autoriser à utiliser les différentes options disponibles, à savoir que chaque BTS connaît parfaitement les terminaux connectés.

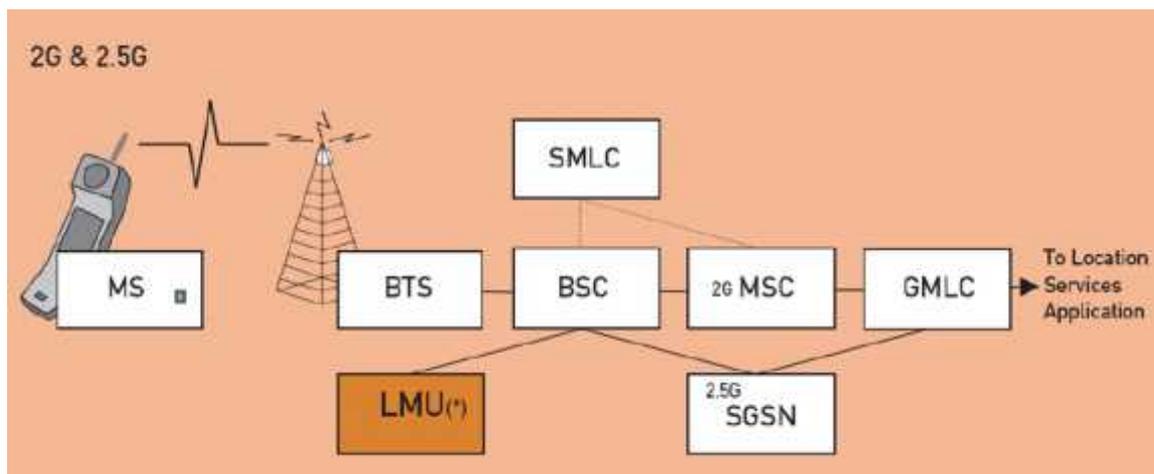


Figure I.2: Structure du réseau GSM pour les applications de localisation.

Contrairement aux autres systèmes de géolocalisation via téléphone portable comporte plusieurs méthodes de localisation.

I.5.3. La géolocalisation par RFID [1]

Au cours des dernières années, de nombreux chercheurs ont proposé des solutions pour la mise en œuvre de systèmes de positionnement basés sur différentes technologies. Ces différentes approches et technologies proposent différentes façons de répondre au problème de la localisation et de suivi des principaux objets mobiles de l'habitat en temps réel. Toutefois, dans le contexte des habitats intelligents.

La technologie RFID permet l'identification des objets, d'en suivre le cheminement et d'en connaître les caractéristiques à distance grâce à une étiquette émettant des ondes radio, attachée ou incorporée à l'objet. A l'aide de cette technologie, on peut réaliser la lecture des étiquettes même sans ligne de vue directe et le passage par de fines couches de matériaux (peinture, neige, etc.). Ainsi, grâce aux « lecteurs RFID », on peut accéder aux données mémorisées sur des marqueurs appelés «étiquettes radiofréquences » ou « *RFID transpondeur* ».

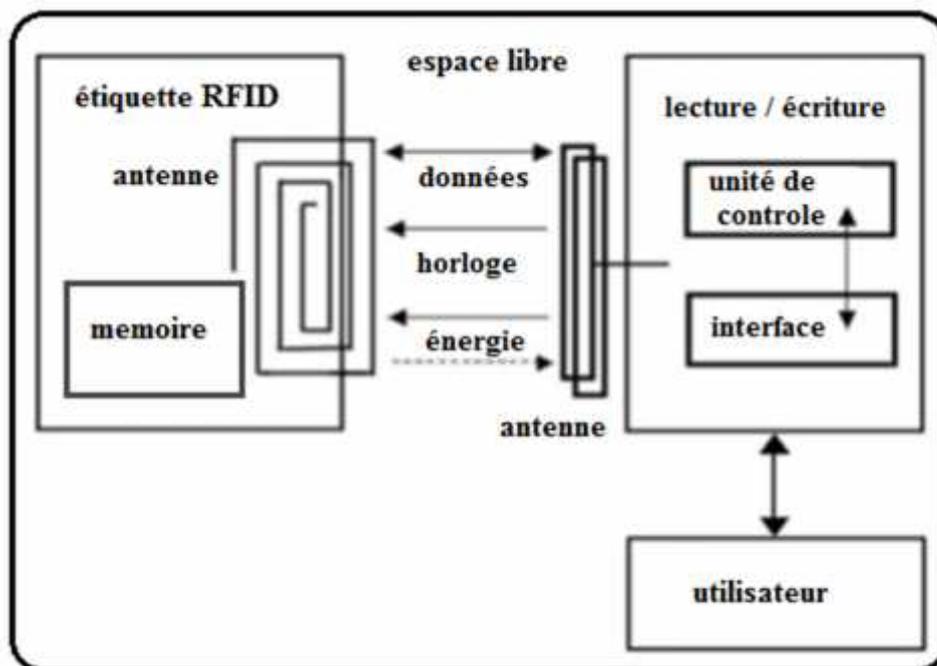


Figure I.3: Schéma représentatif d'un système RFID. [1]

I.5.4. La géolocalisation via IP [1]

A l'heure actuelle la plupart des systèmes de télécommunication (ordinateur, téléphone mobile, télévision numérique et même les montres...) sont relié au réseau internet soit avec une liaison filaire ou liaison sans fils (wifi), mais tout ça repose sur le principe de procuration d'une adresse IP.

Au niveau global, la répartition des adresses IP est gérée par l'ICANN, Chaque pays se voit attribué une certaine tranche des adresses IP, pouvant être ensuite utilisé par les fournisseurs d'accès à l'Internet du pays respectif. Ensuite, à l'aide d'une base des données, on peut savoir la « nationalité » d'une adresse IP. En principe pour localiser au moins le pays d'origine d'un ordinateur possédant telle ou telle adresse IP. Actuellement, chaque pays procède une agence chargée de réguler l'accès à l'Internet. En France par exemple on retrouve l'ARCEP « L'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes ».

En ce qui concerne l'adressage IP, l'ARCEP alloue à chaque fournisseur d'accès à l'Internet un tronçon des adresses utilisable, qui devrait avoir une répartition relativement uniforme des adresses du point de vue géographique, chaque operateur se chargeant de cataloguer les locations des IP. Et souvent c'est le cas. Mais parfois, par exemple, on se voit attribué un IP d'une ville quand on se trouve à une autre.

I.5.5. Localisation via wifi [1] [3]

La plupart des ordinateurs portable et smartphones sont équipés du standard wifi, aujourd'hui il est possible de détecter la présence de points d'accès en milieu extérieur qu'intérieur. La localisation est basée sur l'identification des bornes Wifi (adresses MAC) détectée. Et de rechercher leur position géographique dans des bases de données qui contiennent les positions des bornes wifi privées ou publiques. Ces bases de données sont construites en utilisant la méthode appelée War Driving, qui consiste à parcourir les rues des villes en voiture avec un ordinateur portable équipé du Wifi et relié à un récepteur GPS, afin de recenser un maximum de points d'accès Wifi.

I.5.6. Le système satellitaire [3]

La géolocalisation par satellite permet de situer sur la face terrestre, un terminal équipé d'un terminal personnalisé. Ce terminal doit être compatible avec les signaux émis par une constellation de satellites prévue à cet effet. La position détectée et traduite en termes de latitude, longitude et parfois altitude peut alors être représentée physiquement sur une carte.

Le positionnement satellites a commencé à partir des années 1970. Avant la mise en place du système GPS trois systèmes satellitaires ont été explorés :

- système Transit (U.S. Navy Navigation Satellite).
- le système U.S. Navy's TIMATION (TIME navigATION - 1964).
- le projet U.S. Air Force 621B.

Le programme TRANSIT a été le premier à utiliser les émissions continues d'ondes à partir de satellites, actuellement, on peut citer 4 systèmes de positionnement par satellites, à savoir, le système américain **GPS** (Global Positioning System) crée en 1994, le système soviétique **GLONASS** opérationnel 1980 et restauré durant les années 2010, le système européen **GALILEO** qui va s'achever vers 2020, et le système chinois **Beidou** également nommé **COMPASS** qui est en cours de déploiement qui devrait devenir complètement opérationnel en 2020.

I.5.6.1. Le système GPS

Le système GPS est l'un des systèmes de positionnement qui couvre la planète entière composé de trois parties distinctes, les satellites en orbites autour de la Terre (segment spatial) à une distance de 20184 Km, Figure (I.4), les stations de contrôle (segment de contrôle) et les récepteurs à la disposition des utilisateurs (segment utilisateur).[4]

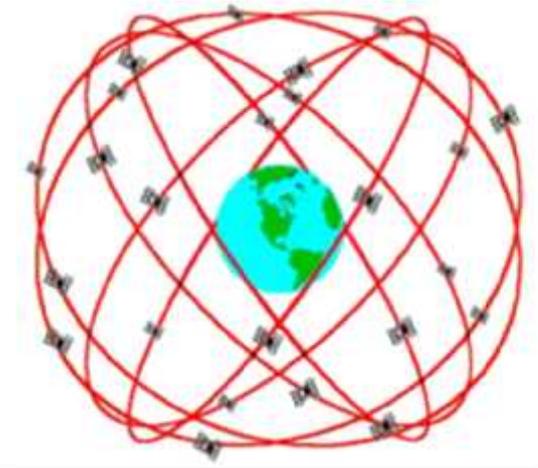


Figure I.4: La constellation GPS. [5]

Le segment de contrôle :

Des stations terrestres reçoivent des informations fournies par les satellites et assure ainsi le contrôle et la mise à jour des paramètres du système (données orbitales, performances des horloges embarquées...), suivent en tout instant le mouvement des satellites, dont l'orbite est périodiquement corrigée.

Le segment utilisateurs :

Constitué par l'ensemble des récepteurs susceptibles de décoder les signaux de navigation transmis par les satellites, les récepteurs ne font que capter les signaux. Ils n'émettent pas. C'est le récepteur qui calcule la position à partir des données que fournissent les satellites.

Signaux GPS :

L'émission des signaux par satellites se fait sur deux fréquences porteuses différentes nommées L1 et L2, ces porteuses sont générées à partir de la fréquence d'horloge fondamentale des satellites, $f_0=10.23\text{MHz}$.

Bande	Fréquence (MHz)	Longueur d'onde
L1	1575.42	19 cm
L2	1227.60	24cm

Tableau II.1: les porteuses des signaux GPS. [5]

Les porteuses des signaux **GPS** sont modulées par deux fréquences binaires différentes, des codes C/A et P (PRN), eux même sont modulés par le message de navigation qui contient l'information nécessaire au calcul de la position, en résulte le signal émis est la modulation du message de navigation, les codes C/A et P.

Les messages de navigation :

Représente la base du fonctionnement du récepteur car il contient toutes informations nécessaires liées à la synchronisation de l'horloge interne du récepteur et le calcul de la position soit la correction du temps, éphémérides du satellite (position, données, orbite ...) et modèle de correction ionosphérique.

- Le code C/A :

Coarse Acquisition est un code binaire pseudo aléatoire (RNP code) constitue de 1023 éléments 'chips' périodique de période de 1 ms .le terme « pseudo-aléatoire» est utilisé car le code en a l'apparence bien que périodique et généré par un algorithme parfaitement connu.

Du fait de la périodicité du code C/A, il en résulte une ambiguïté au niveau du récepteur. La transmission de ces données se fait selon le principe CDMA, chaque satellite de la constellation émet sur une seule et même porteuse mais avec un code C/A propre pour chaque un, les codes C/A sont parfaitement connus ainsi que le récepteur peut identifier les unités qu'il capte. [5]

- **Le code P :**

C'est une séquence binaire non périodique d'une durée vaut une semaine, l'exploitation de cette séquence nécessite des informations particulière et du matériel adapté, elle est réservé à certain utilisateur, la version cryptée du code P est le code Y(P).

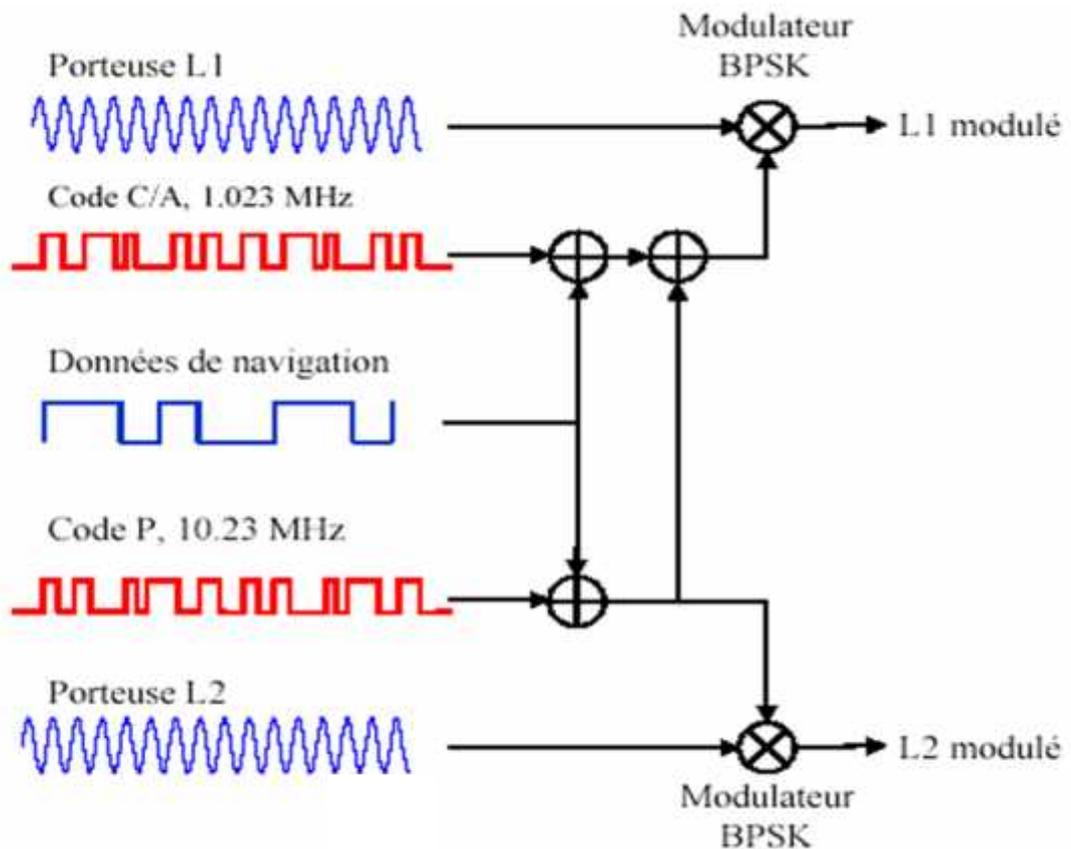


Figure I.5: Formation des signaux GPS.

➤ **Le principe de fonctionnement du GPS [6]**

Le système GPS utilise 4 satellites, pour la longitude, la latitude, l'altitude et enfin le dernier pour la synchronisation temporelle, le positionnement est basé sur la métrique TOA et les algorithmes de positionnement circulaire (trilatération).

Les mesures des TOA de chaque satellite définissent les distances qui séparent entre l'utilisateur et les satellites. Toute distance représente une sphère, ainsi que le satellite est son centre.

L'équation qui définit chaque sphères produite par la mesure de la distance cible/satellite est présenté par :

$$D = \sqrt{(x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + (z - z_s)^2} + c \cdot \Delta t \quad (\text{I.1})$$

Cette équation contient quatre inconnues : les trois coordonnées X , Y et Z de la position de l'observateur, ainsi que l'erreur de synchronisation globale $U t$.

La position finale est déterminée par la résolution des quatre équations :

$$\begin{cases} D_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} + c \cdot \Delta t \\ D_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} + c \cdot \Delta t \\ D_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} + c \cdot \Delta t \\ D_4 = \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} + c \cdot \Delta t \end{cases} \quad (\text{I.2})$$

Avec x , y , et z représentent les coordonnées inconnues du récepteur, tandis que x_i , y_i , et z_i sont les coordonnées connues des satellites.

➤ Types de positionnement GPS

Positionnement autonome :

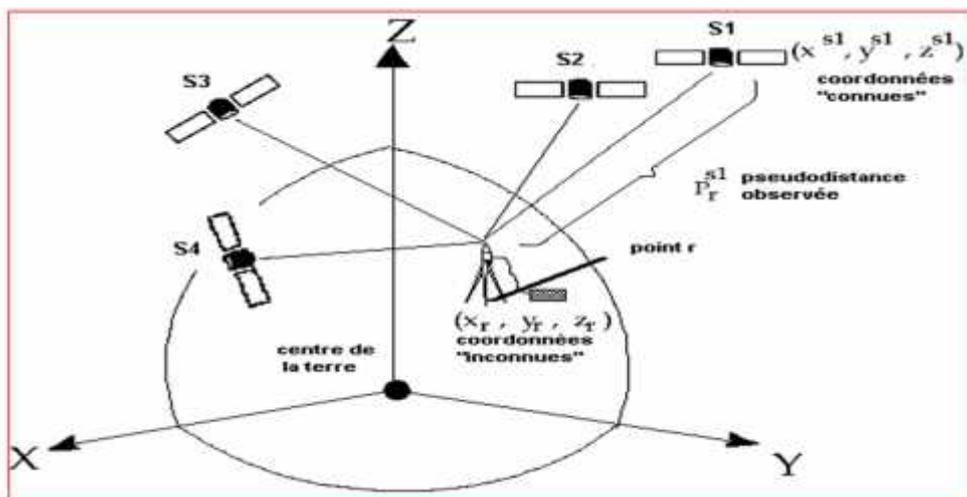


Figure I.6: Le principe du positionnement autonome.

Positionnement relatif :

Au systèmes GPS, ce types de positionnement est appellé le DGPS, part du principe que l'erreur de positionnement instantanée dans une zone delimitée est identique pour chaque point de la zone, en mesurant la position fournie par le GPS a un endroit fixe (station de reference) dont la position est connue, on peut calculer l'erreur et trensmetre les parametre de correction a d'autre station situées dans la meme zone, cette technique permet un gain dans la precision instantanée du positionnement.

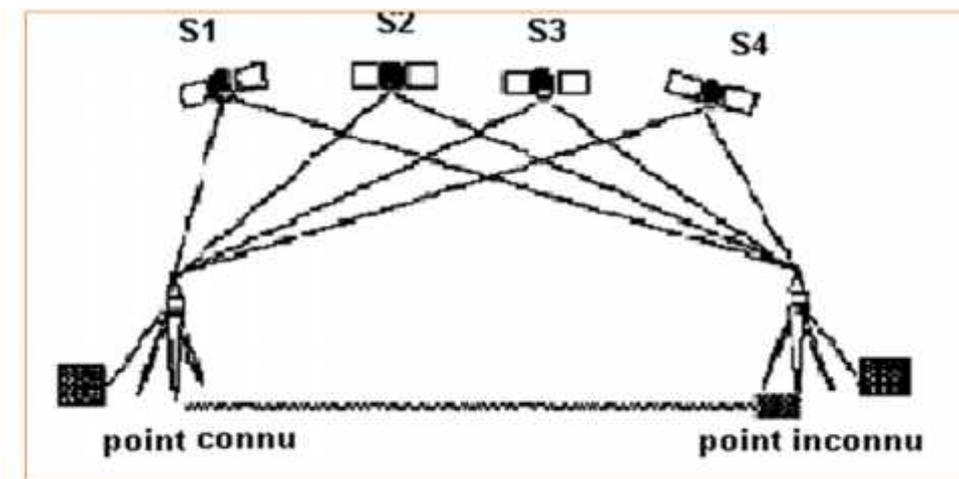


Figure I.7: Le principe du positionnement relatif.

I.6. Caractéristiques des systèmes de géolocalisation

Principalement les systèmes de géolocalisation se caractérisent par :

- Environnement d'utilisation (extérieur, intérieure).
- Précision et fiabilité.
- Les techniques et les méthodes (algorithmes) utilisées pour la localisation.
- La consommation d'énergie du système.
- Délai d'actualisation.

I.7. Performances des systèmes de géolocalisation

Système	Enveniment	Précision	Avantages/inconvénients
IP	OutDoor	Pays, ville, quelques mètres jusqu'à des dizaines de kilomètres	-manque de précision -données payantes (les données géographiques et les adresses IP)
GPS	OutDoor	Quelques mètres	- manque de précision dans l'espace Indoor - bonne précision dans les espaces OutDoor - Difficulté en milieu urbain
GSM	Indoor OutDoor	Centaines de mètres jusqu'à quelques mètres	- Tout le monde à un téléphone - la précision dépend de la densité des relais GSM - la localisation dépend de l'opérateur
WIFI	Indoor OutDoor	Quelques mètres jusqu'au plusieurs mètres	- Utilisent des réseaux existents - terminaux compatibles - calibrage - logiciel client à développer
RFID	Indoor	Précision jusqu'à 150 m, entre le capteur et l'étiquette	-peut être coûteuse -Portée limitée et déploiement matériels limités - position disponible ou check point

Tableau I.3: Performances des Systèmes de localisation.**I.8. Les applications pratiques de la géolocalisation**

Les premières applications des technologies de géolocalisation avaient pour but la navigation soit aérienne, maritime, ou routière. Aujourd'hui la géolocalisation s'impose de plus en plus comme un outil incontournable dans nombreux domaines, soit sur le plan privé ou sur le plan professionnel.

Actuellement les applications de géolocalisation sont en plein de développement, et avec l'apparition des smart phones, tablette et les applications web poussent à la naissance de nouvelles applications pratiques de la géolocalisation dans divers secteurs :

- Gestion de transport de la marchandise et les flottes de voitures, camions...
- La géolocalisation mise à la disposition des entreprises dans divers domaines
- La possibilité de suivi en temps réel, historique et calcul des temps de conduites des véhicules (surveillance totale d'itinéraire de la marchandise) et des personnes.
- Propreté urbain assainissement (collection intelligente des déchets).
- Géologie et la cartographie
- Météo sur la zone de localisation précisément.
- Agriculture : agriculture de précision.
- La défense et la sécurité.

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les systèmes et méthodes de géolocalisation, tout en distinguant leurs niveaux des performances qui seront un facteur déterminant pour leurs utilisations dans un environnement précis et dans de diverses applications.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter les différentes méthodes de géolocalisation à savoir, la méthode géométrique basée sur les paramètres de propagation des ondes électromagnétiques pour calculer la distance entre émetteur et récepteur et la deuxième méthode est la méthode de proximité qui est une méthode rapide de localisation moins coûteuse et n'exige pas de précision de calcul.

II.1. Introduction

La géolocalisation fait usage des plusieurs technologies différentes, touchant aux domaines d'activités complémentaires. Dans la partie qui suit, on va regarder chacune des techniques de géolocalisation les plus importantes.

II.2. Le processus de la géolocalisation

Le positionnement est un procédé qui permet à une cible d'obtenir sa position. Il existe différentes méthodes de positionnement, qui diffèrent les unes des autres par un certain nombre de paramètres. [8]

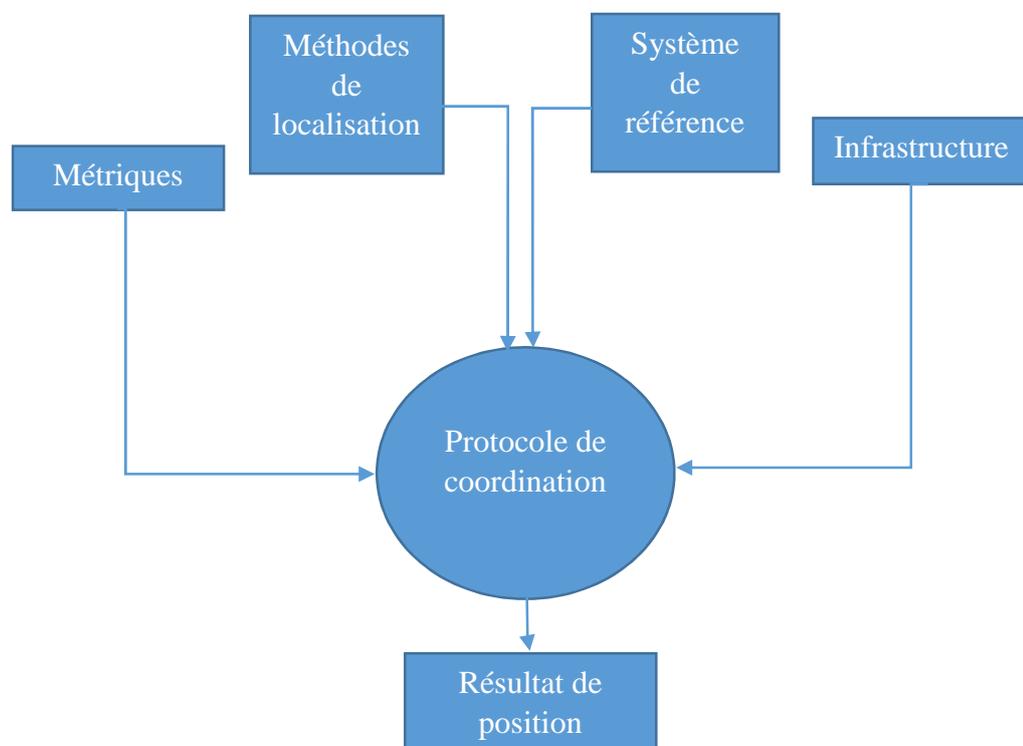


Figure II.1: Le processus de localisation.

Généralement, quel que soit le type de localisation souhaité, la position est déterminée à partir d'une ou plusieurs observables, une méthode de positionnement, un système de référence (descriptive, en réseau ou spatiale), une infrastructure et des protocoles pour la coordination du processus de positionnement.

II.2.1. Les métriques

II.2.1.1. Indicateur de puissance du signal reçu

La technique de localisation basée sur le RSS utilise la puissance du signal reçu pour estimer la distance entre l'émetteur et le récepteur. La distance est estimée en utilisant un modèle de propagation des ondes radio. Plusieurs modèles existent, le plus simple a utilisé est la formule (II.1) :

$$P_{reçus} = c \frac{P_{tr}}{d^r} \longrightarrow d = \sqrt[r]{\frac{c * P_{tr}}{P_{reçus}}} \quad (II.1)$$

d : la distance entre les deux points.

P_{tr} : La puissance du signal transmis.

$P_{reçus}$: Puissance reçu.

r : Le coefficient d'affaiblissement du signal radio.

C : Le rapport entre la puissance du signal reçu à une distance d'un mètre de l'émetteur et la puissance du signal émis.

La méthode de RSS est très utilisée dans les systèmes de localisation urbain, rural, d'autres modèles plus complexes existent. En général, chaque modèle est conçu pour un environnement et un système de géolocalisation bien définie. Et aussi à l'intérieur (point d'accès wifi, UWB...).

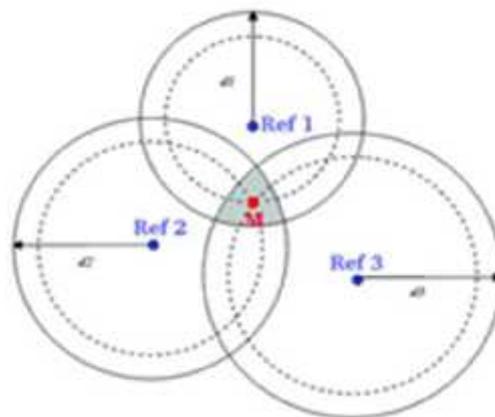


Figure II.2: Trilatération à partir de trois mesures RSS. [10]

Le principal désavantage de l'utilisation du RSS est l'imprécision de la localisation en présence de multi-trajets dans l'environnement. Par exemple, pour la géolocalisation indoor, il faut estimer les perturbations liées aux obstacles comme les murs, cloisons, vitres, équipements électromagnétiques, etc. Quand l'application est à l'extérieur les perturbations sont moindres et le calcul de l'atténuation est simplifié. Par conséquent, les algorithmes de positionnement basés sur le RSS sont sensibles à l'estimation des paramètres de l'environnement.

II.2.1.2. Le temps d'arrivée TOA

La technique TOA (Time of Arrival) utilise la relation entre la distance parcourue par un signal et le temps de parcours. [9]

$$\text{Distance} = V * \text{temps} \quad (V=C= (3*10^8 \text{ m/s}) \quad (\text{II.2})$$

Il existe deux classes de techniques : « l'aller simple » et l'aller-retour (E-OTD). La première nécessite la synchronisation parfaite entre l'émetteur et le récepteur. Si le récepteur connaît l'heure d'émission du signal, il peut alors calculer la distance le séparant de l'émetteur. Elle consiste à envoyer dans le signal transmis l'instant de l'émission et la position du point de référence de l'émetteur. Tandis que la seconde ne nécessite pas de synchronisation, et le signal envoyé par le point de référence est renvoyé par l'objet désirant se localiser avec le temps qui a été utilisé pour traiter et retransmettre l'information. [10]

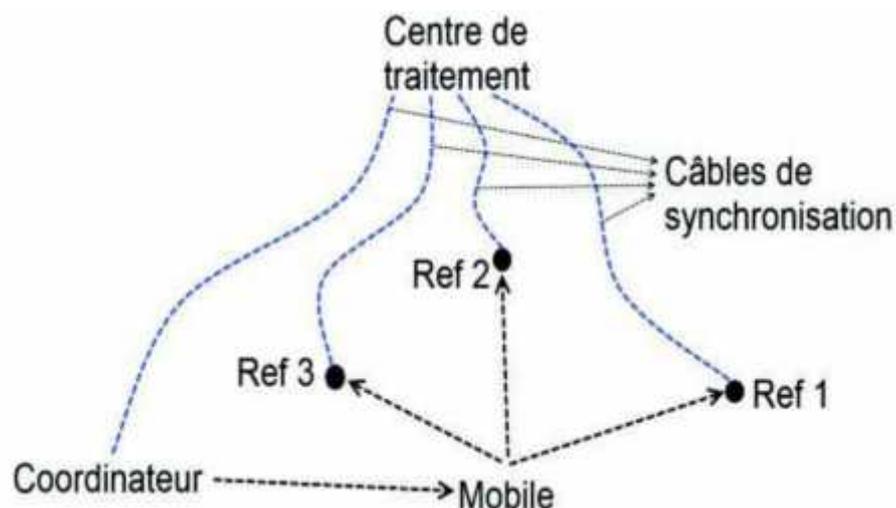


Figure II.3: Schéma d'un système TOA.

➤ **le temps E-OTD**

La méthode E-OTD (Enhanced - Observed Time Différence) exige que le mobile soit équipé pour pouvoir être localisé. La SB envoie des signaux régulièrement, dès que le mobile reçoit un de ces signaux, il réémet. La SB peut donc calculer la distance en mesurant le temps d'aller-retour.



Figure II.4: La métrique d'E-OTD.

Pour avoir un temps plus précis, on utilise plusieurs SB pour repérer un mobile, l'idéal serait d'avoir trois repaires dans la portée du mobile pour avoir une localisation optimale.

II.2.1.3. La différence du temps d'arrivée TDOA

Contrairement à la technique ToA, la technique TDOA (Time Différence Of Arrival) n'exige pas une synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, uniquement une synchronisation entre les récepteurs. Ces systèmes sont basés sur l'exploitation de la différence du temps d'arrivée entre deux ou plusieurs paires de récepteurs. [11]

La TDOA entre les éléments d'un couple de récepteurs $r1$ et $r2$ est exprimé sous la forme (II.3) :

$$TDOA_{r1,r2} = \dagger_{r1} - \dagger_{r2} = \frac{d_1 - d_2}{c} \quad (\text{II.3})$$

Pour chaque mesure TDOA, l'émetteur doit se trouver sur une hyperbole avec une différence de distance constante entre les deux unités de mesure. Une localisation 2-D peut être estimée à partir des deux intersections de deux ou plusieurs mesures TDOA, comme indiqué dans la Figure (2.5), trois hyperboles sont formées à partir de mesures de temps d'arrivée à partir des récepteurs A, B et C afin d'avoir le point d'intersection I. [12]

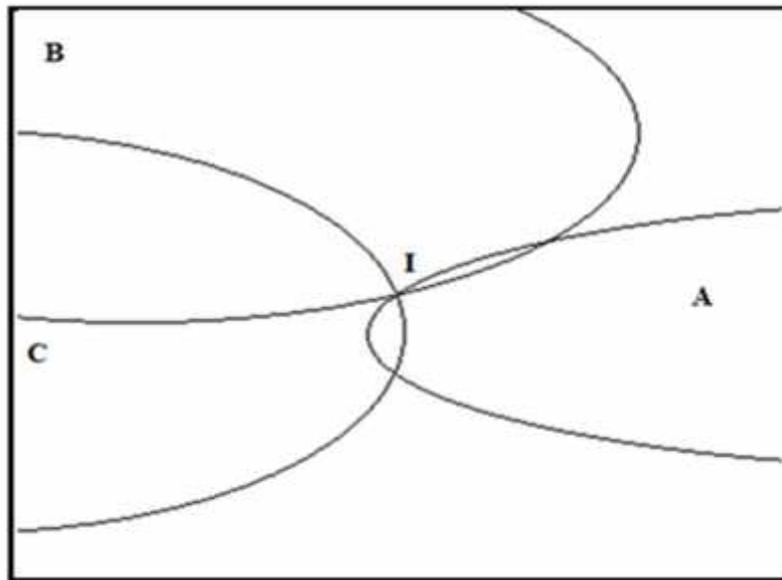


Figure II.5: Localisation avec TDOA.

Dans le cas des systèmes utilisant cette technique, les Récepteurs ne sont pas synchronisés avec l'émetteur (comme la technique TOA) mais uniquement entre eux, la TDOA mesurée ainsi va inclure un offset qui sera en revanche identique à cause de la synchronisation entre les récepteurs.

Une autre méthode d'estimation de la TDOA est la corrélation entre les signaux reçus aux différents récepteurs, cette méthode est aussi appelée de Cross-Corrélation Généralisée (CCG). [13]

II.2.1.4. L'angle d'arrivée AOA

La technique du calcul AoA est basée sur l'exploitation des angles des signaux émis par un terminal à au moins deux tags de référence. La position du mobile est donnée par l'intersection des droites passant par chaque référence, les AOA sont calculés par rapport à une référence arbitraire, le calcul de la position se fait généralement par la méthode de triangulation. [1]

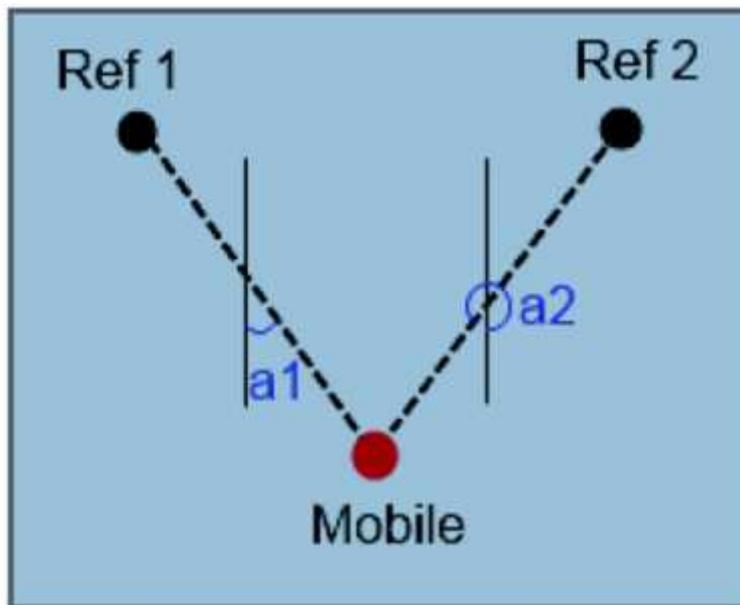


Figure II.6: Le principe de la technique AOA.

Le principal inconvénient de la technique AOA est la nécessité de disposer de réseaux d'antennes qui augmentent la taille et les coûts des équipements. L'autre point négatif est la forte influence des trajets multiples sur la précision de l'estimation.

II.2.1.5. Synthèse des métriques de radiolocalisation

Un résumé des principales techniques de radiolocalisation et leurs principaux avantages et inconvénients sont illustrés dans le Tableau II.1 extrait de [15] :

Technique de localisation	Avantages	Inconvénients
RSSI : Puissance du signal reçu	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'implantation peu élevé - Disponibilité des modèles mathématiques d'atténuation - Algorithme de positionnement simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir le trajet direct - Précision faible - Performance mauvaise dans un canal ayant un profil de propagation par trajets multiples sévère
AoA : Angle d'arrivée	<ul style="list-style-type: none"> - Moins de stations de base fixes nécessaires - Algorithme de positionnement simple 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'avoir le trajet direct - Coût d'implantation élevé - Précision faible
TOA : Temps D'arrivée	<ul style="list-style-type: none"> - Paramètres généralement bien estimés - Algorithme de positionnement simple - - Précision plus élevée en milieu confiné 	<ul style="list-style-type: none"> - Synchronisation d'horloge nécessaire entre le mobile et les stations de base - Nécessité d'avoir un trajet direct - Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur
TDOA : Différence des temps d'arrivée	<ul style="list-style-type: none"> - Paramètres généralement bien estimés - Algorithme de positionnement simple - N'exige pas la synchronisation entre le mobile et les stations de base 	<ul style="list-style-type: none"> - - Nécessité d'avoir un trajet direct - Synchronisation d'horloge nécessaire entre les paires de stations de base - Nécessité d'une résolution temporelle élevée au récepteur

Tableau II.1: Récapitulatif des techniques de radiolocalisation.

II.2.2. Les méthodes géométriques de localisation

Il existe trois méthodes de localisation sont utilisées dans la catégorie des méthodes géométriques. Le choix d'une technique dépend principalement des équipements disponibles, de la technologie sans-fil utilisée, du niveau de précision requis ainsi que du coût alloué pour l'application. Le principe de ce type de méthodes consiste à déterminer un point ou une zone qui correspond aux distances qui séparent une cible d'un nombre minimum de stations de bases. Des SBs additionnelles sont souvent utilisées pour améliorer la précision ou bien pour corriger les erreurs. Les SBs ont des positions connues et dépendent de la technologie sans-fil utilisée pour la géolocalisation. Par exemple, une SB est soit un satellite dans l'orbite avec les réseaux satellitaires tel que GPS, une antenne relaie avec les réseaux de téléphonie mobiles tel que GSM, un point d'accès avec un WLAN tel que Wi-Fi, ou un lecteur RFID avec la technologie RFID.

II.2.2.1. triangulation [14]

Le principe de cette technique est basé sur le théorème de Thalès employé en géométrie et en trigonométrie, pour mesurer la distance d'une cible en mesurant les angles qu'elle forme avec deux points de référence avec des positions connues. Cette technique se base sur les relations entre les angles et les côtés du triangle ayant comme sommets les deux points de référence et la cible. La triangulation permet alors de calculer la position d'une cible qui représente le troisième sommet d'un triangle, sachant les valeurs d'au moins un côté et deux angles.

À partir de ces données, la règle des sinus (2.4) permet de déterminer les autres inconnus du triangle.

$$\frac{\sin A}{|BC|} = \frac{\sin B}{|AC|} = \frac{\sin C}{|AB|} \quad (\text{II.4})$$

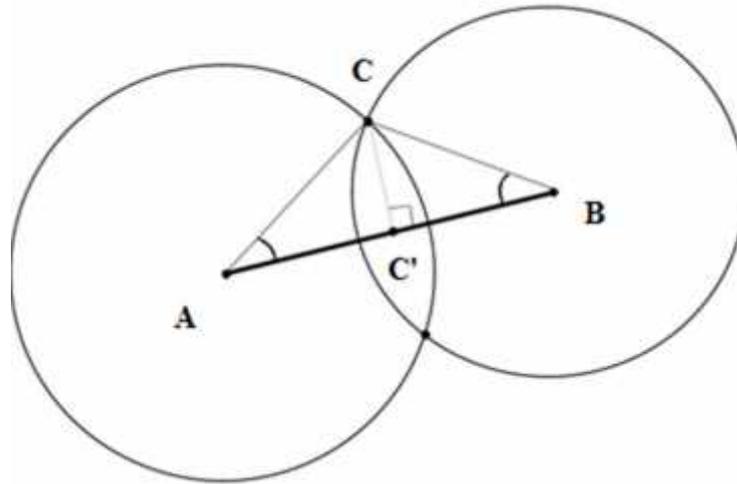


Figure II.7: La technique de triangulation

Sachant les trois angles et les trois côtés du triangle, le calcul des coordonnées peut s'effectuer par le calcul d'intersection des deux cercles, tel qu'illustré dans la Figure (II.7), admettant que C' , est la projection orthogonale du sommet C sur la ligne passant par A et B , alors

$$|AC'| = \frac{|AC|^2 - |BC|^2 + |AB|^2}{2|AB|} \quad (\text{II.5})$$

$$|CC'| = \sqrt{|AC|^2 - |AC'|^2} \quad (\text{II.6})$$

Les coordonnées de $C' = A + |AC'| \frac{(B - A)}{|AB|}$. Ayant les coordonnées des points $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$ Et $C(x_{C'}, y_{C'})$ connues, les coordonnées de $C(x_C, y_C)$ sont égales à :

$$x_C = x_{C'} \pm |CC'| \frac{(y_B - y_A)}{|AB|} \quad (\text{II.7})$$

$$y_C = y_{C'} \pm |CC'| \frac{(x_B - x_A)}{|AB|} \quad (\text{II.8})$$

Lorsque les deux cercles se croisent en deux points, l'estimation de la position de la cible nécessite alors le croisement de deux procédures de triangulation, d'où la condition de trois points de référence au minimum.

Un deuxième exemple de calcul de la position de la cible consiste à déterminer le point d'intersection des droites qui relient un émetteur à plusieurs récepteurs. Admettons que

$p_e(x, y)$ est la position de l'émetteur à localiser $p_r(x_i, y_i)$ est la position connue du récepteur avec $i = 1, \dots, n$ ou n est le nombre des récepteurs, et $\alpha_i(e) = [\alpha_1, \dots, \alpha_n(e)]$ sont les relèvements de l'émetteur par rapport à chacun des récepteurs. La relation entre la position de l'émetteur, la position du récepteur et le relèvement $\alpha_i(e)$ est la suivante :

$$\tan \alpha_i = \frac{x - x_i}{y - y_i} \quad (\text{II.9})$$

Une fois les vecteurs directeurs de chacune des lignes de relèvement calculés, la position de la cible est déterminée par le point d'intersection de ces lignes.

II.2.2.2 latération [14]

Cette technique est basée sur l'intersection soit d'hyperboles en 2-D, soit d'hyperboloïdes cas 3D obtenues à partir de TDOA, calculés sur la base de décalage de temps d'arrivée.

Une hyperbole définit la position relative de la cible par rapport à une paire de SB's de références et, en se basant sur un rang de différence constant. L'équation d'une hyperbole est comme suit :

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j = (\|P_i - P_T\| - \|P_j - P_T\|) = \frac{1}{C} (\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + (z_j - z)^2}), (i \neq j) \quad (\text{II.10})$$

Avec t_i et t_j le temps d'arrivée au niveau de la SB_i et SB_j, C la célérité de propagation du signal et $\|\cdot\|$ la norme euclidienne. Avec un nombre N de SB de référence, l'estimation de la position revient à résoudre un système d'équations avec les positions P_i connues et la position P_T est l'inconnu :

$$\begin{pmatrix} \|P_i - P_T\| - \|P_N - P_T\| - C\Delta t_{iN} \\ \|P_{N-1} - P_T\| - \|P_N - P_T\| - C\Delta t_{N-1,N} \end{pmatrix} \quad (\text{II.11})$$

II.2.2.3. Trilatération [15]

Le processus de trilatération (multilatération) utilise la géométrie du cercle ou de sphère pour calculer la position d'un terminal. Lorsque la notion de direction des signaux est omise, l'ensemble des positions possibles de la cible par rapport à un repère forme un cercle, ou une sphère dans un repère 2D ou 3D respectivement. Le centre du cercle ou de la sphère est la position du repère soit une SB, satellite ou une antenne spécifique, et le rayon est égal à la distance qui la sépare de la cible. La dimension du rayon est calculée à partir du délai

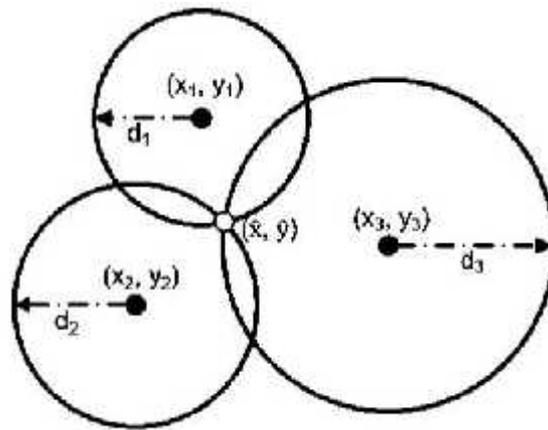


Figure II.8 : La trilatération 2D.

d'arrivée ou la perte d'énergie des signaux échangés avec la cible (X, Y, Z).

Dans le cas d'un repère 3D l'équation de la sphère dont D est la distance obtenue de TOA ou du RSS, (X_s, Y_s, Z_s) les coordonnées de la station de base ou du satellite est donnée par

l'équation : $T_{TOA} * C = D_i = \sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2}$ (II.12)

$$\left[\begin{array}{l} D_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2} \\ D_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2} \\ D_3 = \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2} \\ D_4 = \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2} \\ \dots\dots\dots \\ D_n = \sqrt{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2 + (z-z_n)^2} \end{array} \right] \quad (II.13)$$

Dans des conditions idéales, les trois cercles correspondants aux équations (II.13) se croisent en un seul point indiquant la position estimée de la cible dans un repère 3D, ce point est calculé par la résolution du système d'équation (II.13).

La résolution du système d'équations peut être résolu par plusieurs méthodes, dont la méthode des moindres carrés que nous allons développer.

Méthode des Moindres Carrés [16]

A partir de (II.13), la soustraction de la première équation ($i=1$) à partir des autres se traduit en un ensemble d'équations dont l'équation matricielle est donnée par :

$$2 \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ \dots\dots\dots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1^2 - m_2^2 + k_2 - k_1 \\ m_1^2 - m_3^2 + k_3 - k_1 \\ \dots\dots\dots \\ m_1^2 - m_n^2 + k_n - k_1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

Où $k_i = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2, (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = m_i^2, et (i = 1, 2, \dots, n)$, donc on peut écrire (II.14) sous la forme :

$$2At = b \quad (\text{II.15})$$

Où

$$t = [x \quad y \quad z]^T, A = \begin{bmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ \dots\dots\dots \\ x_n - x_1 & y_n - y_1 & z_n - z_1 \end{bmatrix}, et \quad b = \begin{bmatrix} m_1^2 - m_2^2 + k_2 - k_1 \\ m_1^2 - m_3^2 + k_3 - k_1 \\ \dots\dots\dots \\ m_1^2 - m_n^2 + k_n - k_1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

Selon la méthode des moindres carrés la solution du système d'équations (II.15) est sous la forme (II.17) :

$$t = \frac{1}{2} (A^T A)^{-1} A^T b \quad (\text{II.17})$$

II.2.3. Méthodes de proximité

Cette catégorie de méthodes est utilisée par les applications qui ne n'exigent pas une grande précision. Une telle méthode permet une localisation rapide et représente une alternative à faible coût pour délimiter la zone de recherche pour localiser une cible. Le principe consiste à localiser une cible par rapport à un seul point de référence avec une position connue, le plus proche. La position de la cible est représentée par un cercle centré sur le point de référence avec un rayon égal à sa portée de transmission. La méthode a été utilisée dans les applications basées sur les réseaux cellulaires pour localiser ou surveiller la présence d'une cible dans une zone géographique.

II.2.3.1. Localisation via Cell-ID [2]

Cette méthode s'effectue à partir de l'adresse de la BTS à laquelle le mobile est connecté. La BTS repère le mobile pour pouvoir prendre la communication, il y a identification de la carte SIM avant de démarrer la communication. Chaque cellule BTS sait donc quels terminal est dans son champ de fonctionnement, ces données sont automatiquement transmises à la BSC puisque que c'est le BSC qui décide quelle BTS est affecté à chaque mobile. Ces données sont ensuite transmises à une base de données, qui sait donc quelles cartes SIM sont dans le champ de chaque cellule. Cette base de données sait aussi l'adresse exacte de chaque antenne. L'on peut donc connaître la localisation approximative d'une carte SIM.

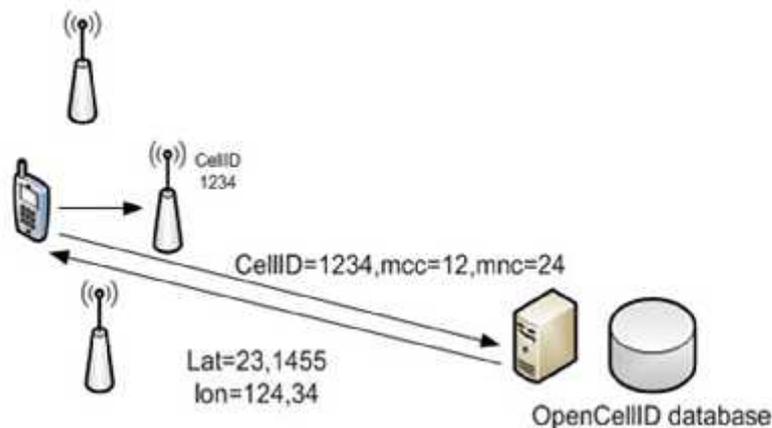


Figure II.7: localisation par cell-ID.

II.2.3.2. Localisation via point d'accès wifi

Le même principe que Cell-ID basée sur l'identification du point d'accès Wifi (adresses MAC du modem) qu'il détecte. Et de rechercher leur correspondance géographique dans des bases de données qui contiennent les positions des points d'accès wifi.

II.2.4. La localisation hybride

Les systèmes récents de localisation, combinent entre les méthodes de mesures du signal et/ou entre les technologies de localisation afin de bénéficier des avantages des unes et de minimiser les inconvénients des autres, et d'aboutir à des précisions élevées dans le calcul de la position. [8]

La localisation hybride consiste alors à combiner deux ou plusieurs techniques et / ou technologies pour concevoir un système de localisation plus fiable, comme l'hybridation entre le TOA et RSS cas de la technologie GPS et le GSM.

II.3. Conclusion

Dans cette partie, nous avons présenté une synthèse sur les différentes métriques utilisées par les méthodes de positionnement, à savoir : les méthodes géométriques, les méthodes de proximité et les méthodes hybrides. Nous nous sommes intéressés aux méthodes géométriques de positionnement circulaire dite trilatération, qui se base sur les temps d'arrivées (émetteurs, récepteur mobile) donnant naissance à un système d'équations qui sera résolu par la méthode des moindres carrés, qui sera l'objet du prochain chapitre.

III.1. Introduction

La technologie radio-fréquentielle est la technologie la plus répandue aussi bien dans le domaine de la communication et dans le domaine de la géolocalisation. L'une des raisons principales de cette expansion est la facilité qui caractérise les ondes radio pour traverser certains matériaux comme les murs, ainsi que leur très large zone de couverture.

D'autre part les mesures des temps d'arrivés des signaux a été la solution pour certain systèmes de géolocalisation (GPS), car les erreurs sont moindres et nécessite seulement une synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.

Ce chapitre sera consacré à la simulation du positionnement par trilatération utilisé par le système GPS, et d'autre systèmes à l'aide de logiciel ADS (Advanced Design System) et Matlab.

III.2. Représentation du logiciel de simulation ADS

Advanced Design System est un logiciel d'automatisation de la conception électronique (RF, high speed digital applications), il fournit un environnement de conception, simulation et vérification aux concepteurs avant la fabrication, à base de bibliothèques ,composants, systèmes électroniques, et une interface de simulation avec tous les paramètres nécessaire pour la simulation.

III.3. La trilatération

La méthode de positionnement par trilatération que nous allons simuler est basée essentiellement sur les mesures des temps d'arrivés des signaux prévenants d'émetteurs vers un récepteur compatible, (satellites/ récepteurs GPS, BTS/mobile, ...).

Dans cette partie nous réaliserons la simulation du positionnement par trilatération utilisé par le système GPS, alors que cette méthode de positionnement exige au minimum quatre stations de références et un terminal récepteur compatible. Dans ce travail la simulation est divisée en deux parties distinctes :

➤ **Simulation des TOA**

Simulation de la chaîne de transmission émetteurs /récepteur sous L'ADS, puis nous allons extraire les temps TOA correspondants à chaque satellite qui sera par la suite utilisé dans le calcul de la position.

➤ **Simulation des algorithmes de positionnement**

Concernant la simulation des algorithmes de positionnement par trilateration avec la méthode des moindres carrés implémentées sur Matlab et l'extraction de la position simulée.

III.3.1. Description du scénario principal

La structure principale des simulations du positionnement que nous allons réaliser, sont résumées sous le schéma suivant :

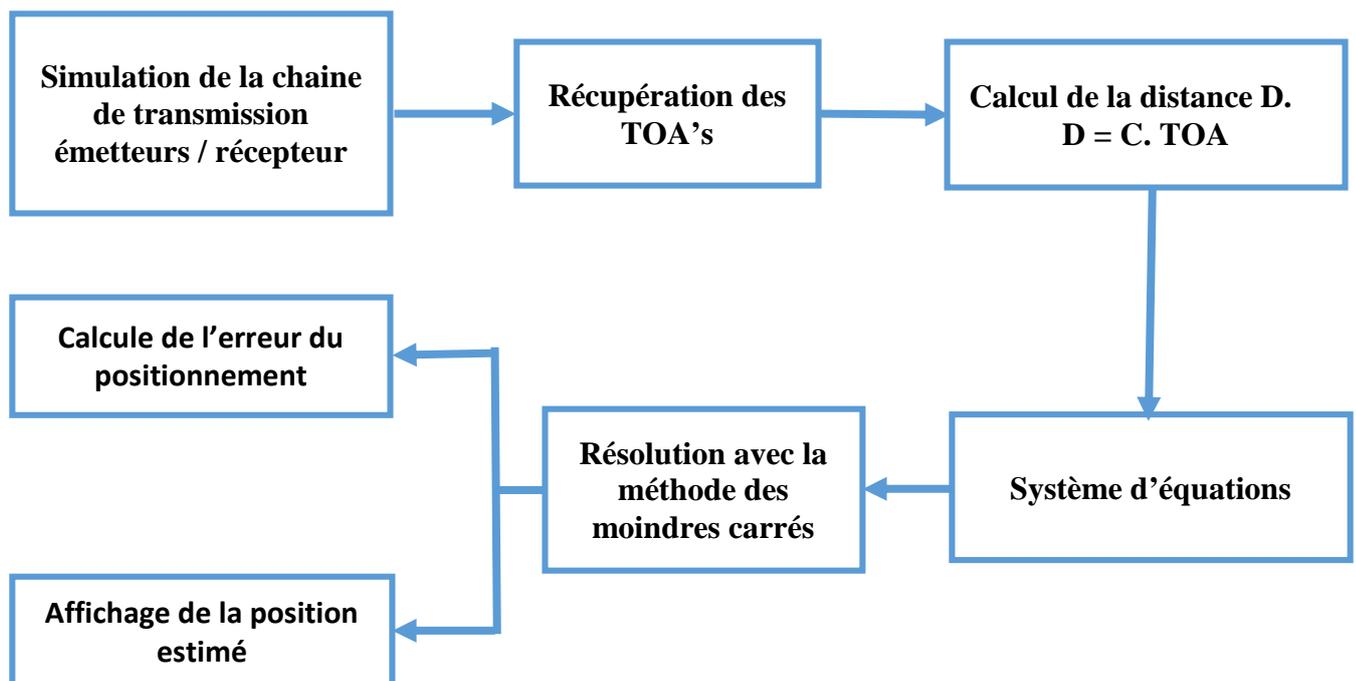


Figure III.1: Organigramme des simulations.

III.4. Simulation des TOA's

Nous avons choisi de simuler avec plusieurs mobiles et quatre stations de références (satellites), les positions des satellites sont illustrées sous le tableau qui suit :

Satellites	Coordonnées (Km)
Sat1	[00,15 ,100]
Sat2	[85,-35,150]
Sat3	[25, -40 ,40]
Sat4	[100,-25,88]

Tableau III.1: Les positions de station de références (émetteurs) utilisés.

➤ paramètres du canal et des signaux utilisés

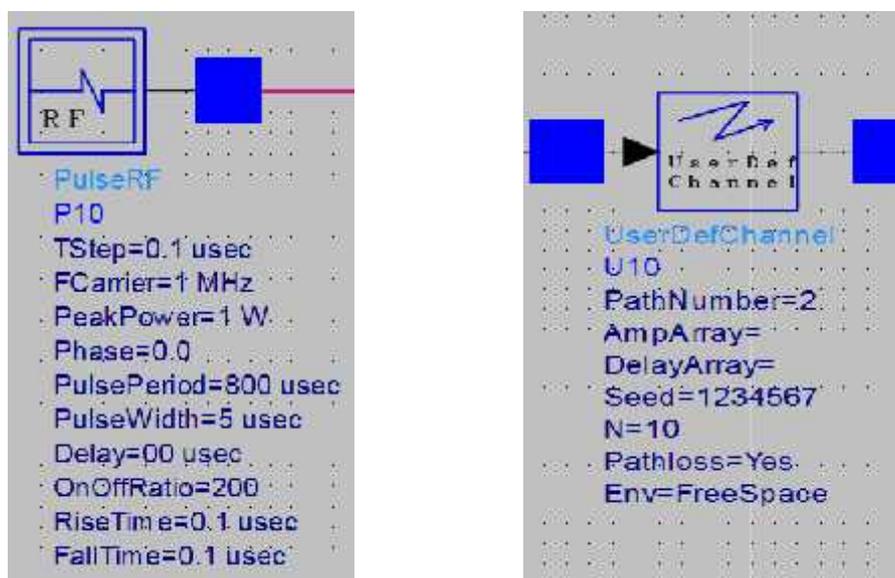


Figure III.2: Paramètres du canal et du signal utilisés dans les transmissions.

Nous définissons les paramètres qui correspondent aux paramètres réels d'un canal de transmission en espace libre avec : un bruit, une atténuation et un effet multi-trajet, concernant le signal transmis, sa fréquence est à 1MHz et sa puissance d'un watt.

- Les chaines de transmission satellites /récepteur et les dispositifs de de mesures des temps d'arrivé sont représenter sous le schéma de la figure (III.3) :

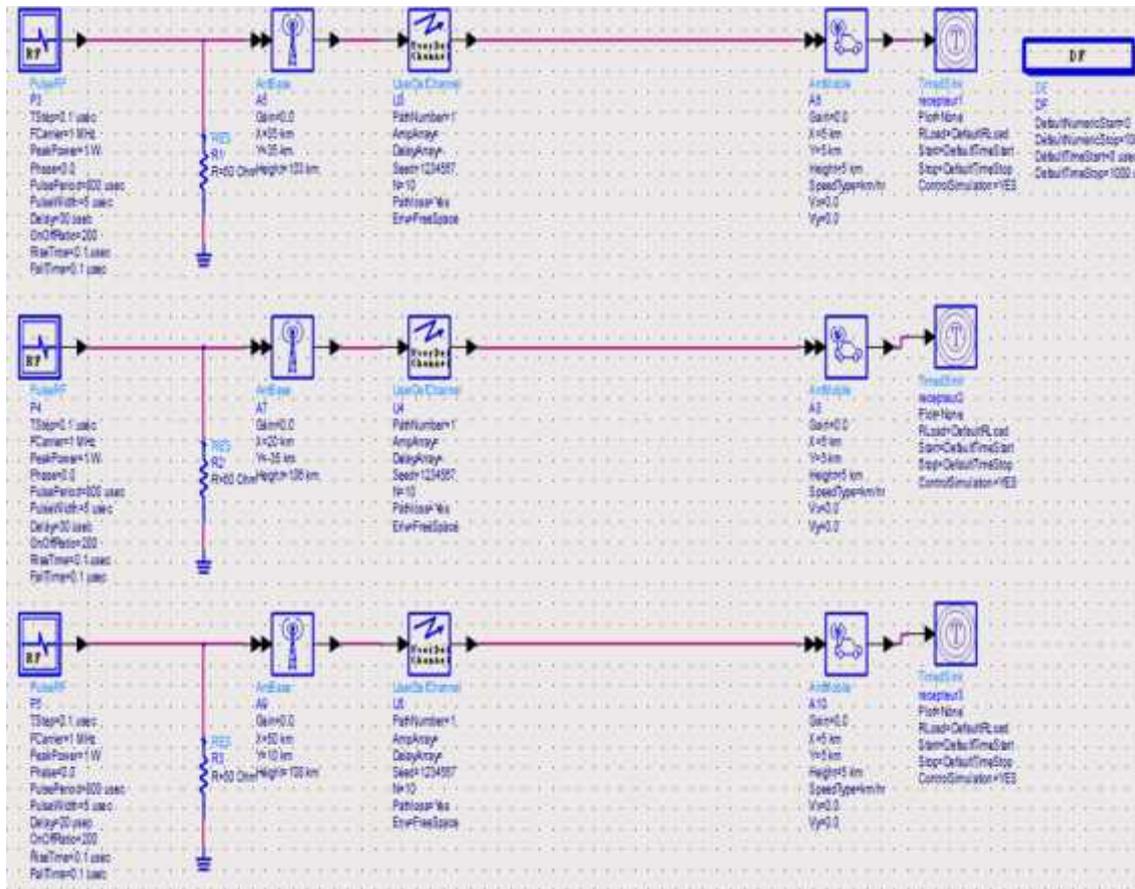


Figure III.3: Chaîne de transmission (éméteurs/récepteur) sous ADS.

La figure précédente représente les chaines de transmission entre les émetteurs GPS et le terminal mobile, le temps de la simulation est 1 ms fixé au niveau de DF (Data Flow Controller).

III.4.1. Résultats des TOA simulée sous ADS

Les mesures des temps d'arrivés obtenue sous ADS, de quatre stations est illustré sur la figure III.4 :

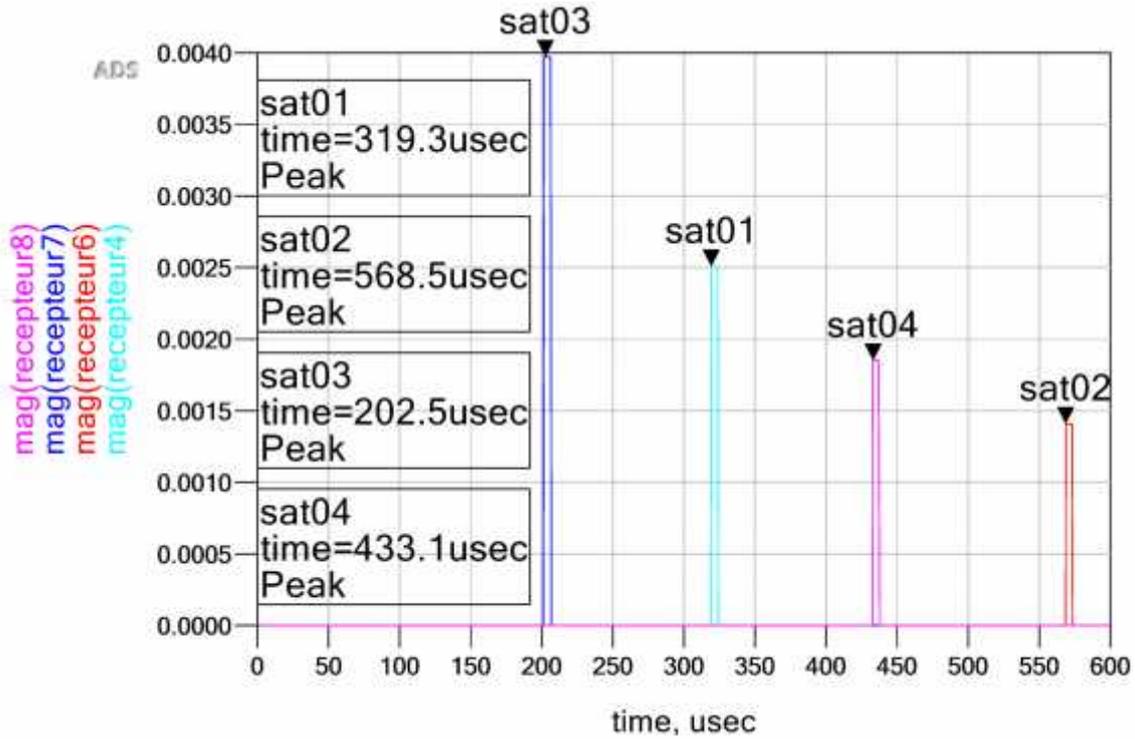


Figure III.4: Résultats des temps d'arrivés.

D'après la figure III.4, nous obtenons quatre temps d'arrivés correspondants à chaque satellite qui sont représentés sous le tableau suivant :

TOA	Temps mesurés (us)	Les distances estimées (km)
TOA01	319,3	95,790
TOA02	568.5	170.550
TOA03	202.5	60.810
TOA04	433.1	129.930

Tableau III.2: TOA de chaque satellite.

Les distances obtenues après la simulation représentent les distances qui séparent les satellites et le terminal mobile mais avec des erreurs qui sont dues aux différentes perturbations qui affectent le signal pendant la transmission (multi-trajets, effet Doppler, bruit thermique ...), et par la suite va influencer sur l'estimation de la position.

III.5. Estimation de la position avec la méthode de moindres carrées

III.5.1. Teste de l'algorithme de positionnement

Pour tester notre algorithme de positionnement, nous avons utilisé des distances réelles qui séparent les stations de références et le terminal mobile, autrement ces distances représentent les TOA's obtenus dans le cas où les perturbations sont nulles.

Position initiale	Les distances				La position estimée
	Sat1	Sat2	Sat3	Sat4	
[5, 5 ,5]	95,66	170,37	60,42	129,67	[5, 5 ,5]
[0, 0, 0.005]	101,11	175,92	61,84	135,53	[0, 0, 0.005]
[-17, -5, 3.5]	100,01	181,01	65,74	1,457	[-17, -5, 3.5]
[19, 10,20]	82,38	152,58	54,18	111,4	[19, 10,20]
[-40, 3,0. 15]	108,23	198,81	87,53	167,64	[-40, 3,0. 15]
[-70,12, 12]	112,49	212,79	111,86	189,86	[-70,12, 12]
[5, 13, 12]	88,16	166,58	63,19	127,46	[5, 13, 12]
[-10, 10, 10]	90,69	175,07	68,01	139,32	[-10, 10, 10]
[-14, 77, 50]	80,87	179,85	123,73	157,62	[-14, 77, 50]

Tableau III.3: Résultats des testes de l'algorithme de positionnement.

Le tableau III.3 illustre les différents résultats d'estimation de la position pour divers position, et toutes les positions obtenues correspondent parfaitement aux positions données initialement, ces résultats affirment que l'algorithme de positionnement est fiable.

Dans la partie qui suit, les temps d'arrivés utilisé sont des temps récupérés précédemment sous ADS afin de reproduire les perturbations du canal qui touchent les mesures des temps d'arrivés, et leurs conséquences sur les résultats.

III.5.2. Estimation de la position avec les TOA's obtenues sous l'ADS

En intégrant les temps d'arrivés issus de la simulation sous ADS et les positions des repères dans l'algorithme des moindres carrés, afin d'en calculer la position, bien que la première simulation nous a fourni la figure III.4 :

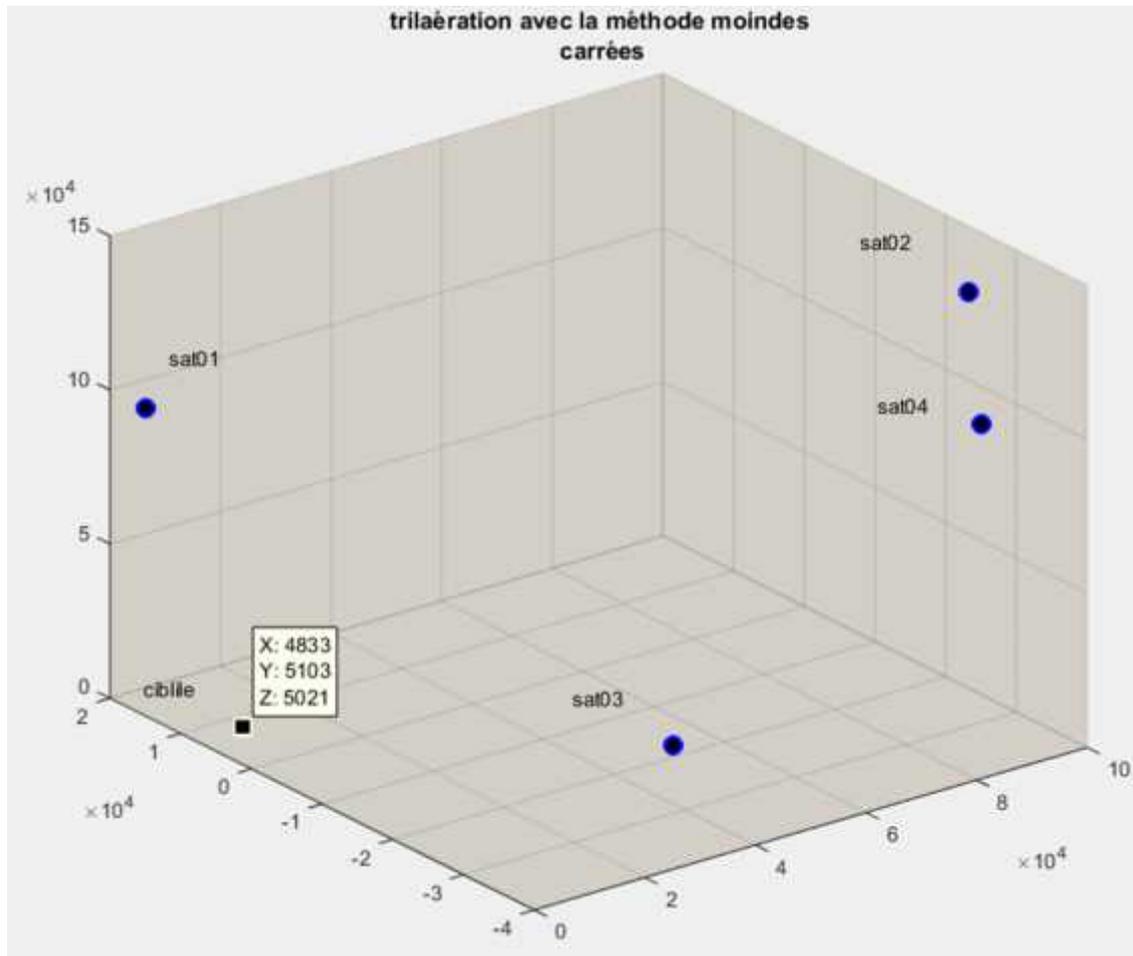


Figure III.5: Estimation de la position avec la méthode des moindres carrés.

Le résultat de positionnement d'un mobile (5 ; 5 ; 5) avec la méthode des moindres-carrés nous fournit les coordonnées (4833 ; 5103 ; 5021), avec un vecteur d'erreur (167, 103, 21), le précédent résultat est obtenu à partir d'une seule simulation, le tableau suivant illustre les résultats du positionnement des différentes positions du mobile avec les mêmes positions des repères.

Le mobile	La position réelle	La position estimée
M2	[0, 0, 0.005]	[0.064, 0.311,-0.082]
M3	[-17, -5, 3.5]	[-16.65,-6.65, 3.147]
M4	[19, 10,20]	[18.4, 10.27, 18.75]
M5	[-40, 3,0. 15]	[-40.018, 30.1, 0.186]
M6	[-70,12, 12]	[-70.021,12.08, 11.83]
M7	[5, 13, 12]	[5. 571, 13.095,11.566]
M8	[-10, 10, 10]	[-9.571, 8.094, 9.609]
M9	[-14, 77, 50]	[-1.366, 7.536, 4.975]

Tableau III.4: Résultats d'estimation d'autres positions.

Les résultats illustrés dans le tableau III.4, donnent la localisation de chaque mobile par trilatération, les erreurs présentes au niveau des résultats est due aux erreurs de mesure créés sous ADS, afin d'élucider les effets du canal de propagation sur les résultats de positionnement.

➤ **Comparatif entre les valeurs obtenues et les valeurs réelles :**

Le mobile	La position réelle	La position estimée	Comparaison (KM)
M2	[0, 0, 0.005]	[0.064, 0.311,-0.082]	[0.064, 0.311, 0.032]
M3	[-17, -5, 3.5]	[-16.65,-6.65, 3.147]	[0.350, 1,650, 0.353]
M4	[19, 10,20]	[18.4, 10.27, 18.75]	[0.600, 0.270, 1.250]
M5	[-40, 3,0. 15]	[-40.018, 30.1, 0.186]	[0.018, 0.100, 0.036]
M6	[-70,12, 12]	[-70.021,12.08, 11.83]	[0.021, 0.080, 0.170]
M7	[5, 13, 12]	[5. 571, 13.095,11.566]	[0.571, 0.95, 0.034]
M8	[-10, 10, 10]	[-9.571, 8.094, 9.609]	[0.429, 1.906, 0.391]
M9	[-14, 77, 50]	[-1.366, 77.536, 4.975]	[0.034, 536, 0.025]

Tableau III.5 : Comparatif entre les valeurs obtenues et les valeurs réelles.

III.5.3. Le critère d'erreur moyenne d'estimation de la position

Dans le but de déterminer l'effet de l'erreur de mesure sur l'erreur de positionnement, nous avons calculé les valeurs de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) du positionnement de chaque position et les valeurs RMSE des mesures de distance correspondant à chaque mesure de distance, en utilisant la formule de calcul qui suit :

$$\text{RMSE} = \frac{1}{M} \sqrt{(D_{\text{estimé}})^2 - (D_{\text{réelle}})^2}$$

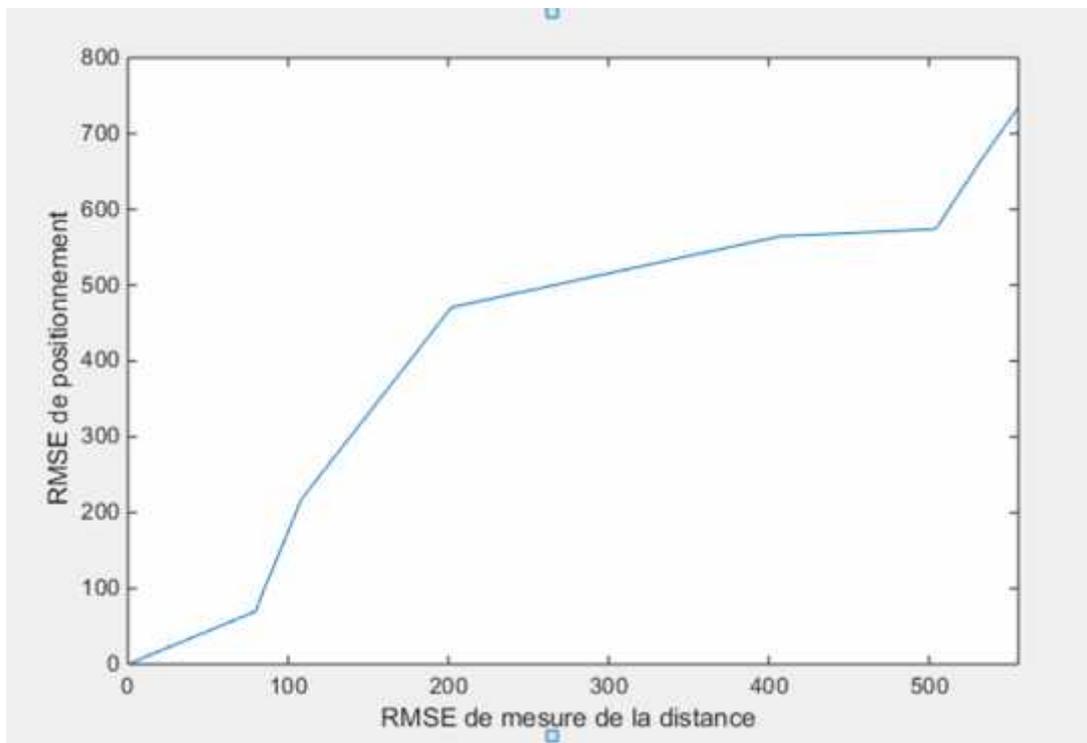


Figure III.6: l'erreur de positionnement en fonction de l'erreur de mesure.

La figure III.6 illustre bien la variation de l'erreur (RMSE) d'estimation de la position en fonction de l'erreur (RMSE) d'estimation de la distance. En effet, l'erreur de mesure de la distance est proportionnelle avec l'erreur d'estimation de la position.

III.6. Conclusion

La trilatération à base de temps d'arrivée et l'une des méthodes de la géolocalisation utilisée principalement par le système GPS, notamment dans cette partie, l'estimation de la position est bien calculée par la méthode des moindres carrées c'est l'un des algorithmes utilisé pour l'estimation de la position et qui fournit l'estimation la plus proche de la position réel. Le résultat est satisfaisant, bien que nous remarquons des erreurs de calcul est cela est dû principalement aux différents bruits affectant la propagation le signal de l'émetteur vers le récepteur, issus de différents origine à savoir, thermique du au matériel, la diffraction et la réfraction dû aux trajets multiples, l'affaiblissement du aux couches de l'atmosphère.

De nos jours la géolocalisation est une nécessité qui a attiré beaucoup d'intérêt, que plusieurs techniques viennent d'apparaître soit des techniques de positionnement indoor ou OutDoor, qui visent divers secteurs et domaines

Dans ce travail de Master, nous avons présenté dans un premier lieu les systèmes de géolocalisation les plus fiables et les plus utilisés, chaque système est destiné à un environnement de positionnement précis, mais au niveau global c'est les GNSS qui assurent une couverture mondiale. Nous avons présenté les techniques (AOA, TOA, TDOA, et RSS), et les méthodes de positionnement, en tenant compte des systèmes utilisant les techniques TOA et TDOA, qui se révèlent avoir une très bonne précision.

Afin d'élucidé les effets du canal de transmission sur les TOA's obtenues et les résultats de la localisation, nous avons simulé sous ADS les différentes chaînes de transmission (émetteurs/récepteur), ensuite nous avons validé la méthode de trilatération en trois dimensions par une implémentation sous environnement Matlab. L'algorithme de résolution est basé sur la méthode des moindres carrées, qui s'avère être une solution fiable d'estimation de la position. Pour valider les résultats, une représentation du critère d'erreur moyenne qui affirme que l'erreur des résultats de positionnement est due aux erreurs de mesure des temps d'arrivés soit les erreurs relatives au canal, ou les erreurs thermiques. Les résultats de simulation obtenus, basés sur l'algorithme d'estimation de la localisation cité précédemment, ont démontré la possibilité et la capacité du positionnement par trilatération.

Il existe beaucoup de méthodes pour améliorer la précision de la géolocalisation que nous proposons dans le futur et fera nos perspectives à savoir, la simulation des temps de la différence d'arrivée TDOA, et la simulation de l'angle d'arrivée AOA, et utiliser d'autres méthodes de résolution des systèmes d'équations.

Bibliographies

- [1] Claude GUEDAT et Olivier BRETTE, « Systèmes de Géolocalisation, Culture Générale des Télécommunications », Cours tc3, INSA Lyon Département TELECOM SERVICES & USAGES, Janvier 2010.
- [2] Ana Roxin, Jaafar Gaber, Maxime Wack, « Ahmed Nait Sidi Moh.Survey of Wireless Geolocation Techniques » article, 50th IEEE Globecom07, Washington DC, United States. , Nov 2007.
- [3] Frédéric Evennou, «Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor. Traitement du signal et de l'image », thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier, Grenoble I, 2007.
- [4] Donnay Fleury Nahimana, « Impact des multitrajets sur les performances des systèmes de navigation par satellite : contribution à l'amélioration de la précision de localisation par modélisation bayésienne », Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2009.
- [5] Jean-Luc Consandier, « Global Positioning system-principe généraux de la localisation par satellites » avril 2003, en ligne « »consulté le16 mai 2018.
- [6] Thierry Dudok de Wit, « GPS et localisation par satellites », cours Licence de Chimie-Physique 1ère année, 2010.
- [7] E.Kaplan, « Understanding GPS, principles and aplications », éd. Artech House, 2010.
- [8] Kobenan Ignace Kossonou. « Étude d'un système de localisation 3-D haute précision basé sur les techniques de transmission Ultra Large Bande à basse consommation d'énergie pour les objets mobiles communicants », thèse de doctorat, Electronique, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2014.
- [9] Taponecco, L. D'Amico, A.A. Mengali, U, «Joint TOA and AOA Estimation for UWBLocalization Applications », IEEE Transactions on Wireless Communications, Volume : 10, Issue : 7, 2011.

Bibliographies

- [10] Evanaska Maria Barbosa Nogueira, « Conception d'un système d'antennes pour la localisation en temps réel avec réseau de capteurs sans fils », thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2013.
- [11] Sinan Gezici, « A Survey on Wireless Position Estimation”, *Wireless Personal Communications* », Volume 44, pp. 263 - 282, No. 3, October 2007.
- [12] C. Drane, M. Macnaughtan, and C. Scott, “Positioning GSM telephones,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, no. 4, pp. 46–54, 59, Apr. 1998.
- [13] Hui Liu, H. Darabi, P. Banerjee, Jing Liu - “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, Vol. 37, No. 6 , pp. 1067 - 1080, November 2007.
- [14] M. A. Abid, «Systèmes de localisation en temps réel basés sur les réseaux de communication sans fil», thèse doctorat, université de Sherbrooke, 2016.
- [15] Azzedine Boukerche, « Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks », Wiley, November 2008.
- [16] K.W. Cheung, H.C. So, W.K. Ma, and Y.T. Chan, «Least squares algorithms for time-of-arrival-based mobile location » *IEEE Trans. Signal Process.*, vol.52, April 2004.

Résumé -----

Les systèmes et les techniques de géolocalisation s'avèrent indispensables au développement d'un grand nombre de nouveaux systèmes pertinents, et dans l'amélioration de plusieurs domaines (personnels, défense, logistiques...etc.).

Ce présent mémoire aborde les différents moyens de géolocalisation ainsi que leurs caractéristiques et performances, car toutes système est besoin de certain paramètres, les systèmes de géolocalisation sont basés essentiellement sur deux critères distinctes, (les métriques et les méthodes de localisation ou algorithmes), en tenant compte que chaque métrique est dédié au moins à une méthode de localisation. Les algorithmes de localisation fournissent une estimation de la position qui dépendent de plusieurs facteurs (position et nombre de repères, l'algorithme de positionnement, les erreurs de mesures), qui sont abordés dans le présent travail, ainsi que une discussion sur les résultats de simulation obtenus.

Mots clé : géolocalisation, TOA, TDOA, AOA, méthodes de positionnement, trilatération, erreurs de positionnement.

Abstract -----

The systems and techniques of geo-location turn out essential to the development of a large number of new relevant systems, in the improvement of several domains (personnel, defense, logistics...etc.).

This present report approaches the various ways of geo-location as well as their characteristics and performances, because any system is need for certain parameters, the systems of geo-location are essentially based on two different criteria: the metrics and the methods of location (algorithms), allowing that every metrics is dedicated at least to a method of localization. The algorithms of location supply an estimation of the position which depend of several factors (position and number of marks, the algorithm of positioning, the errors of measures), which are approached on the present work, as well as a discussion about the obtained results of simulation.

Keywords: geo-localization, TOA, TDOA, AOA, methods of positioning, trilateration, errors of positioning.

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



بويـة

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ — BOUIRA
UAMOB (ALGERIE)



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées.
Département de Génie Electrique.

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master.

Option : Systèmes des Télécommunications

Thème

Techniques de géolocalisation, Etude et simulation

Réalisé par :

- Dahi Mazigh
- Safia Hamza

Encadré par :

- Mr. CHELBI SALIM

Devant le jury :

Président : Ayad Mouloud

Examineur 1 : Nourine

Examineur 2 : Medjdoub Smaile

Rapporteur : Chelbi Salim

Soutenu le : 30 /10 /2018

Promotion 2017/2018

Résumé

Les systèmes et les techniques de géolocalisation s'avèrent indispensables au développement d'un grand nombre de nouveaux systèmes pertinents, et dans l'amélioration de plusieurs domaines (personnels, défense, logistiques...etc.).

Ce présent mémoire aborde les différents moyens de géolocalisation ainsi que leurs caractéristiques et performances, car toutes système est besoin de certain paramètres, les systèmes de géolocalisation sont basés essentiellement sur deux critères distinctes, (les métriques et les méthodes de localisation ou algorithmes), en tenant compte que chaque métrique est dédié au moins à une méthode de localisation. Les algorithmes de localisation fournissent une estimation de la position qui dépendent de plusieurs facteurs (position et nombre de repères, l'algorithme de positionnement, les erreurs de mesures), qui sont abordés dans le présent travail, ainsi que une discussion sur les résultats de simulation obtenus.

Mots clé : géolocalisation, TOA, TDOA, AOA, méthodes de positionnement, trilatération, erreurs de positionnement.

Abstract

The systems and techniques of geo-location turn out essential to the development of a large number of new relevant systems, in the improvement of several domains (personnel, defense, logistics...etc.).

This present report approaches the various ways of geo-location as well as their characteristics and performances, because any system is need for certain parameters, the systems of geo-location are essentially based on two different criteria: the metrics and the methods of location (algorithms), allowing that every metrics is dedicated at least to a method of localization. The algorithms of location supply an estimation of the position which depend of several factors (position and number of marks, the algorithm of positioning, the errors of measures), which are approached on the present work, as well as a discussion about the obtained results of simulation.

Keywords: geo-localization, TOA, TDOA, AOA, methods of positioning, trilateration, errors of positioning.

Dédicace

A mes chers parents pour leur indéfectible soutien, leurs encouragements durant toutes ces années : nous leur témoignons notre respect et notre affection.

A tous ceux qui me sont chers, Mon petit frère, toujours présents et disponibles à nos côtés, que dieu vous protège.

A toutes les personnes : qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

A Tous mes amis (es), avec lesquels, j'ai eu mes moments de joie et de bonheur, sans oublier tous mes camarades.

Mazigh

Dédicace

C'est avec toute l'ardeur de mes sentiments que je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, pour leur patience, leur soutien et leurs encouragements, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices qu'ils n'ont cessé de me prodiguer depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Que Dieu me les gardes, j'espère qu'ils seront fiers de moi.

A mes chers frères, sœurs et belles-sœurs.

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de réussites

A mon binôme Mazighi.

A tous mes amis (e)

A tous mes enseignants

A tous mes camarades.

Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

HAMZA