

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**Université A. MIRA Bejaïa**



Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

**Mémoire**  
**En vue de l'obtention du diplôme de Master**

Option : Télécommunication

**THEME**

*Etude de la géolocalisation dans le réseau GSM*

**Encadrées par :**

*M<sup>me</sup>*: MEZHOUD Naima

*Mr*: KHIREDDINE A.

**présentée par :**

AROUCHE Lamia

*Année universitaire 2011-2012*

# Remerciements

*Tout d'abord je remercie dieu seigneur le tout puissant de m'avoir donné de l'effort et la patience pour achever ce mémoire.*

*Bien qu'étant un effort personnel, un travail de mémoire ne peut aboutir sans l'aide d'un certain nombre de personnes.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice Mm MEZHOU D Naïma. Je la remercie pour la confiance qu'ELLE m'a accordé et l'encourageant durant toute cette période de préparation*

*Mes remerciements les plus vifs, vont tout particulièrement à mes parents.*

*Mes remerciements s'adressent également aux membre de jury pour l'honneur qu'ils nous font d'avoir évalué mon travail.*

*Merci à toutes personnes ayant collaboré à la réalisation de ce travail, de près ou de loin.*

*J'exprime toute mon gratitude aussi à tous mes amis*

## *Dédicaces*

*Tout d'abord, je remercie le bon Dieu pour sa bénédiction.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

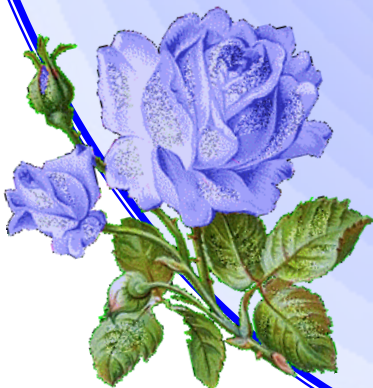
*Mes chers parents*

*A mes frères et ma sœur*

*A tous mes profs depuis le primaire jusqu'à l'université*

*A mes amies, surtout samia.*

*A tous ceux qui me sens chers*



<b>Introduction Générale</b> .....	1
<b>Chapitre I Les technique de géolocalisation</b>	
I.1.Introduction .....	3
I.2. Définition de la géolocalisation.....	3
I.3.Principe.....	4
I.4. Les composants essentiels d'une plateforme de géolocalisation.....	5
I.5. Plateformes logicielles de géolocalisation.....	6
I.6. Technniques de géolocalisation.....	6
I.6.1. Le GPS .....	6
I.6.1.1. Principe.....	6
I.6.1.2. Différents segments du système GPS.....	7
I.6.1.3. Principe de fonctionnement du GPS.....	9
I.6.1.4. La méthode est hybride du GPS.....	9
I.6.1.5. Applications de GPS.....	11
I.6.2. Géolocalisation par adresse IP .....	13
I.6.3. Géolocalisation wifi : .....	14
I.6.3.1. Principe de fonctionnement :.....	14
I.6.4 . Géolocalisation par GSM .....	14
I.7. Application de la géolocalisation.....	15
I.7.1. Les applications professionnelles.....	17
I.7.2. Les applications destinées aux particuliers.....	17
I.8. Avantages.....	17
I.9. Combinaison de différentes techniques.....	18
I.9. 1. Géolocalisation Hybrides.....	18
I.10. Téléréleve d'information.....	18
I.10.1. les étapes de la chaîne de traitement :.....	20

I.11. Types de terminaux utiliser pour la géolocalisation.....	20
I.11.1. Modes de fonctionnement.....	21
I.12. Terminaux disponibles selon le mode de transmission des données.....	21
I.12.1. Terminaux GSM/GPRS.....	22
I.12.2. Terminaux satellite.....	23
I.13. Les sources d'erreurs de localisation .....	23
I.13.1. Les perturbations lors de la transmission.....	24
I.13.2. La propagation NLOS.....	24
I.13.3. Interférences Co-canal.....	25
I.14. Conclusion.....	25
<b>Chapitre II            Méthodes de positionnement du mobile dans GSM</b>	
II.1. Introduction .....	27
II.2. Le réseau GSM.....	28
II.2.1. Définition.....	28
II.2.2. Notion de réseaux cellulaires.....	29
II.2.3. Le Transfer intercellulaire.....	29
II.2.3. Infrastructure d'un réseau GSM.....	30
II.2.4. Les équipements d'un réseau GSM.....	31
II.2.4.1. Fonctions du HLR.....	32
II.2.4.2. Fonctions du VLR.....	33
II.2.5. Le canal de transmission.....	34
II.2.6. La voix balise et la voix de trafic.....	35
II.3. Les équipements du service de localisation .....	36
II.3.1. Unité de mesure de localisation (LMU).....	37
II.3.2. Centre de localisation de mobile (MLC).....	38

II.4. Les coordonnées géographiques d'un point.....	38
II.5. Les méthodes de positionnement du mobile.....	39
II.5.1. La méthode Cell-ID.....	40
II.5.1.1. Principe :.....	40
II.5.1.2. Cell-ID combiné avec Timing Advance(avance de synchronisation).....	41
II.5.2. La puissance du Signal.....	42
II.5.3. Angle d'arrivée (AOA).....	43
II.5.3.1. Principe :.....	44
II.5.3.2. Les caractéristiques de AOA.....	44
II.5.4. Le temps d'arrivée TOA.....	45
II.5.4.1. Principe :.....	46
II.5.5. La différence de temps d'arrivée TDOA.....	47
II.5.5.1. Principe :.....	48
II.6. Comparaison de la précision des différentes méthodes.....	48
II.7. Les sources d'erreurs qui peuvent fausser les résultats d'une méthode de localisation.....	48
II.8. La trilatération et la triangulation.....	
II.9. Conclusion.....	

### **Chapitre III                    La Différence de Temps de l'arriver (TDOA)**

III.1. Introduction .....	50
III.2. Principe .....	50
III.3. La Géométrie De la technique TDOA .....	51
III.4. La position d'un mobil par TDOA.....	52
III.5. Les étapes de calcule de la position du terminal mobile par TDOA.....	54
III.5. 1. La méthode de corrélation croisée.....	54
III.5. 2. Estimation de TDOA par la corrélation croisée généralisée (GCC) avec la	55

méthode de phase (PHAS Transform (PHAT)):	57
III.6. Avantages et inconvénients de la technique TDOA.	58
III.7. Vitesse de Géolocalisation.	59
III.8. Cas pratique de TDOA.	60
III.9. Conclusion.	60

## **Chapitre IV**

## **La simulation de la technique TDOA**

IV.1. Introduction.	62
IV.2. Résultats de la Simulation	62
IV.2.1. Estimation de TDOA par la corrélation croisée (CC)	62
IV.2.1.1. Cas d'un signal périodique	62
IV.2.1.1. Cas d'un signal de parole	64
IV.2.2. Estimation de TDOA par GCC-PHAT	68
IV.2.2.1. Cas d'un signal périodique.	68
IV.2.2.2. Cas d'un signal de parole.	69
IV.3. Résolutions des équations hyperboliques.	71
IV.3.1. Modèle mathématique pour résoudre les équations hyperboliques.	71
IV.3.2. La Méthode de CHAN.	72
IV.4. Conclusion	73
<b>Conclusion générale.</b>	<b>74</b>

Références Bibliographique

Annexes

## **Introduction générale**

La téléphonie mobile a beaucoup évolué ces dernières années pour offrir toujours plus de services et de débit, à mesure que l'intérêt pour des communications sans fil a augmenté.

Régulièrement de nouveaux services sont lancés comme la géolocalisation afin de satisfaire les besoins potentiels des consommateurs.

La géolocalisation est un procédé permettant de positionner un objet sur un plan ou une carte à l'aide de ces coordonnées géographiques, cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal 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). Les positions enregistrées peuvent être stockées au sein du terminal et être extraites postérieurement, ou être transmises en temps réel vers une plateforme logicielle de géolocalisation.

La transmission en temps réel nécessite un terminal équipé d'un moyen de télécommunication de type GSM/GPRS, radio ou satellite lui permettant d'envoyer les positions à des intervalles réguliers. Ceci permet de visualiser la position du terminal au sein d'une carte à travers une plateforme de géolocalisation le plus souvent accessible depuis internet.

La géolocalisation peut avoir de nombreuses applications dans des domaines très éloignés.

Le GSM est un mouchard de première qualité où que vous soyez l'opérateur est capable, sur la base des signaux émis par votre portable de vous localiser, en effet chaque téléphone mobile a un code d'identification unique appelé IMEI (International Mobile Equipment Identity). Il s'agit d'un code numérique assez long, que l'on peut lire sur l'écran du téléphone portable. Chaque fois que nous allumons notre portable, l'appareil se relie au réseau d'un opérateur, lui transmet son code d'identification et lui demande l'accès à la ligne téléphonique identifiée par un deuxième code contenu dans la carte d'identification SIM (Subscriber Identity Module) qui est insérée dans le téléphone, la géolocalisation est en outre, un service basé sur le réseau GSM.

Les téléphones mobiles peuvent être géolocalisés par GPS ou par triangulation des antennes relais. Les opérateurs mettent à profit la géolocalisation, aujourd'hui largement intégrée à l'offre d'équipements couplée à des bases de données, « cartographies » la géolocalisation permet aux différents opérateurs de télécom d'offrir des services de guidage automatique pour piétons ou des informations locales.



Avec la géolocalisation du monde dans lequel nous vivons, nous ne pouvons plus ignorer les grands progrès technologiques et scientifiques que nous avons à notre disposition, même s'ils peuvent comporter quelques inconvénients. Mais concentrons notre attention sur les avantages que ces nouvelles technologies offrent dans le secteur de la sécurité des biens et des personnes.

Auparavant la technologie GPS servait essentiellement d'aide à la navigation pour les automobilistes, se bornant à indiquer la position et le trajet à suivre. Le GPS a ensuite été associé à la technologie GSM

La localisation par GSM a l'avantage d'être opérable dans des environnements non couverts ou mal couverts par le GPS comme les environnements indoor.

L'étude de la géolocalisation dans le réseau GSM fait l'objet principal de notre travail, et pour cela je subdivise mon projet en quatre chapitres principaux.

Le premier chapitre donnera les principales techniques de localisation, comme le système GPS, la localisation par GSM, La localisation par wifi et la localisation hybride.

Dans le deuxième chapitre, nous exposerons les méthodes de base de positionnement du mobile dans GSM en décrivant les techniques TDOA et AOA, l'estimation de la position par ces deux techniques se fait par une méthode géométrique en utilisant le principe de triangulation et par une méthode analytique en utilisant les modèles de propagation.

Le troisième chapitre, est consacré aux descriptions de la technique TDOA.

Nous finissons par le quatrième chapitre où nous effectuerons une simulation avec matlab technique TDOA en utilisant la méthode de corrélation croisée (CC) et la méthode de corrélation, croisée généralisée GCC avec la méthode de phase (Phase Transforme). Et dans l'annexe on parlera sure la méthode de trilatération, et la triangulation.

Enfin nous terminerons avec une conclusion générale sur le travail réalisé ainsi que quelques perspectives sur la géolocalisation.

# **Chapitre I : Techniques de Géolocalisation**

## **I.1. Introduction**

Les technologies de localisation ont connu un essor important avec le développement de la radio émission, plusieurs systèmes de localisation ont été développés pour des besoins militaires, la navigation maritime et aérienne. Actuellement la maîtrise des technologies de l'espace offrent à l'homme un moyen de positionnement global « GPS » extrêmement efficaces et précis, l'intégration de cette technologie avec les infrastructures fonctionnelles dans plusieurs domaines de la vie moderne, constituent une source d'information de grand intérêt pour suivre en temps réel les trajectoires d'agents mobiles. La localisation en temps réel d'agents mobiles est une activité, qui sans doute représente un bénéfice énorme pour plusieurs secteurs vitaux et commerciaux afin d'être actif dans ces changements à venir, il est important d'en maîtriser l'ensemble des principaux techniques et méthodes de géolocalisation. [1]

## **I.2. Définition de la géolocalisation**

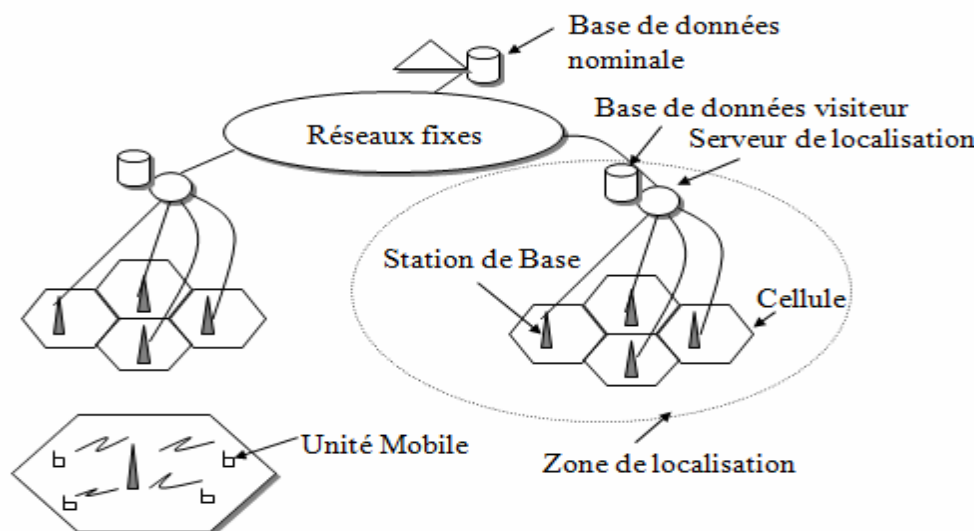
La géolocalisation est une technologie qui permet de déterminer la localisation de façon plus ou moins précise d'un objet ou d'une personne par le biais d'un système de positionnement, elle permet également de fournir des informations en fonction de la position géographique de l'utilisateur à partir d'un terminal de communication électronique par conséquent, le service de géolocalisation est réalisé par un réseau de télécommunication. Or d'une autre manière la géolocalisation ou géoréférencement est un procédé permettant de positionner un objet (une personne) sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal 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), les positions enregistrées peuvent être stockées au sein du terminal et être extraites postérieurement, ou être transmises en temps réel vers une plateforme logicielle de géolocalisation. La transmission en temps réel nécessite un terminal équipé d'un moyen de télécommunication de type GSM/GPRS, radio ou satellite lui permettant d'envoyer les positions à des intervalles réguliers. Ceci permet de visualiser la position du terminal au sein d'une carte à travers une plateforme de géolocalisation le plus souvent accessible depuis internet.

Dans ce chapitre On va voir quelque généralité et quelque principales techniques de géolocalisation.

### I.3. Principe

Le principe de la géolocalisation consiste essentiellement à diviser la zone de couverture du système en plusieurs zones géographiques (zone de localisation), Chaque zone de localisation est composée d'une ou de plusieurs cellules et desservie par un serveur de localisation.

Dans un réseau cellulaire comme le GSM, utilise généralement deux bases de données pour gérer la mobilité des utilisateurs : le HLR qui tient à jour les données de l'abonné (par exemple la position de l'abonné dans le réseau), et le VLR qui gère le client dans la cellule ou celui-ci se trouve. Chaque utilisateur est alloué d'un numéro unique d'identité internationale, l'IMSI utilisé par le réseau pour la transmission des données. Pour chaque utilisateur qu'il gère, le HLR possède son IMSI, Le VLR enregistre les informations de localisation des mobiles ainsi, la base de données VLR contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'utilisateur quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR, sa position dans le réseau est ainsi connue à chaque instant donné. [2]



*Figure I.1.* La gestion de localisation

L'information de localisation est stockée dans deux types de bases de données :

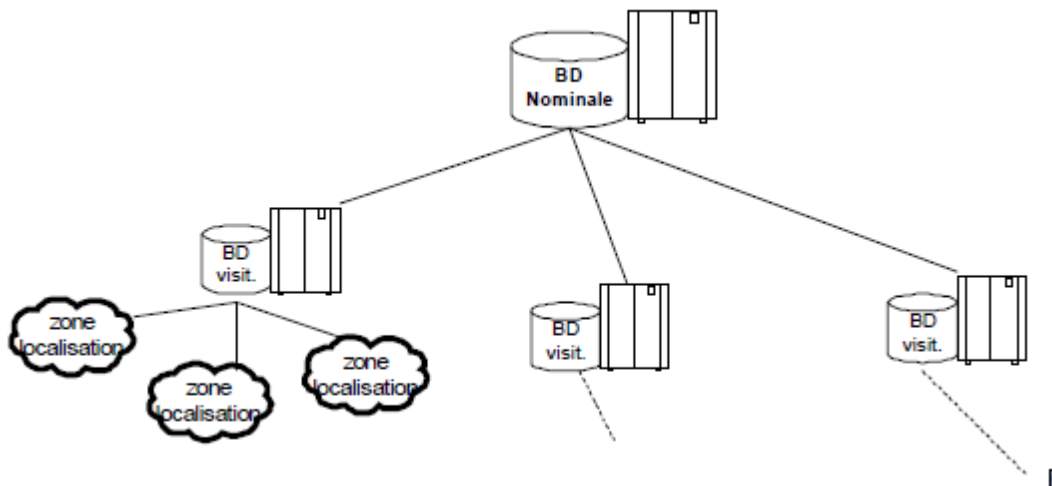


Figure I.2. Architecture de Base de données

### La Base de donnée nominale

La Base de Données nominale est constituée d'une seule entité logique dans le réseau elle stocke l'information des abonnés : nom, numéro, droits d'accès, sécurité.

La localisation courante de l'abonné dans GSM se fait à partir de HLR (Home Location Register).

### La Base de donnée visiteur

Il y a plusieurs dans le réseau, son rôle est de stocker les informations des utilisateurs enregistrés dans les zones de localisation dépendant de cette Base de Données. C'est une zone de localisation courante dans GSM à base de VLR. [2]

## I.4. Les composants essentiels d'une plateforme de géolocalisation

- **Terminal communicant :**

Reçoit ses coordonnées géographiques via le GPS ou tout autre moyen et qui les envoie via un réseau de télécommunications à la plateforme.

- **Système informatique capable de recevoir stocker et traiter les informations :**

Il s'agit des serveurs informatiques qui hébergent l'infrastructure et qui reçoivent et traitent les données envoyées par les terminaux. Ce sont les mêmes serveurs qui mettront à disposition l'information aux utilisateurs (via une interface web par exemple).

- **Module cartographique :**

C'est le module intégré au système informatique qui va permettre d'afficher la position des terminaux sur un fond cartographique adapté. Ce module prend en charge les calculs de distances, d'itinéraires, détecte l'interaction avec les zones et permet d'avoir accès à des informations terrain (sens interdits, restrictions pour les poids lourds, vitesses autorisées...).

## **I.5. Plateformes logicielles de géolocalisation**

La position géographique d'un terminal géolocalisé reste néanmoins une information brute qui peut être exploitée et couplée à d'autres données afin de créer une vaste quantité de services à forte valeur ajoutée.

Afin d'exploiter cette information, la donnée (position) générée par un terminal qui se trouve sur le terrain doit être transmise à une plateforme logicielle qui va la traiter, la présenter graphiquement à l'utilisateur et l'associer à d'autres données afin d'enrichir les informations relatives à l'état du terminal ou de la flotte de terminaux.

## **I.6. Techniques de géolocalisation**

### **I.6.1. Le GPS :**

Le GPS est un système de navigation à base de satellites conçu pour fournir instantanément des informations de position, de vitesse et de temps pratiquement à n'importe quel endroit sur terre, n'importe quelle heure et par n'importe quelles conditions météorologiques.[3]

#### **I.6.1.1. Principe :**

Le récepteur GPS va donc capter les signaux d'au moins quatre satellites et calculer sa position en fonction des informations reçues.

L'utilisation de cette technique nécessite l'installation d'un module GPS, dans le mobile ce qui est plus coûteux que les autres moyens utilisés pour la géolocalisation, mais la localisation est d'une grande précision. Cependant capter le signal du satellite dans les bâtiments ou dans les grandes agglomérations, peut y avoir des problèmes de plus le temps de localisation est un

peu plus long. Le GPS n'est qu'un système de réception c'est à dire qu'il permet juste d'être localisé et non d'envoyer ses coordonnées.

Le GPS offre une précision allant de 15 à 100 mètres pour les applications civiles.[4]

#### *1.6.1.2. Différents segments du système GPS*

Lorsque nous parlons de 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, appelé segments ou secteur. 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 correspond aux récepteurs GPS est dit « segment utilisateur ».

##### **a- Segment spatial**

Le segment spatial est composé d'un réseau de 24 satellites en orbite quasi circulaire autour de la terre à une hauteur à peu près de 20000 km, dont ces satellites sont répartis sur 6 plans orbitaux inclinés  $55^\circ$  par rapport à l'équateur. Cette répartition spatiale garantit la visibilité en permanence d'au moins six satellites en tout point du globe. La durée de vie minimale du système est de 7 ans



*Figure 1.3.* Segment spatial

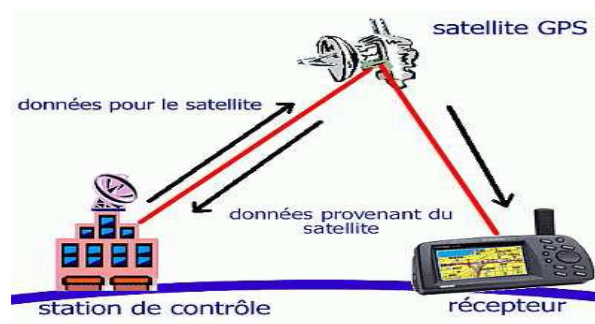
##### **b- Segment de contrôle**

Le segment de contrôle comprend cinq stations de poursuite situées à Colorado Springs, Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia et Kwajalein.



**Figure I.4.** Emplacement de segments de Contrôles dans le monde

Ces stations sont les yeux et les oreilles du système GPS, elles vérifient l'état des satellites lors de leur passage au dessus d'elles. Ces stations transmettent ensuite leurs données à la station principale de Colorado Springs c'est là que les paramètres décrivant l'orbite des satellites, et la qualité des horloges embarquées sont estimés, la vérification de la santé des satellites et la détermination d'un repositionnement éventuel sont également contrôlés. Cette information est alors renvoyée à trois stations de chargement qui transmettent l'information aux satellites grâce à la répartition uniforme des stations de contrôle, tous les satellites GPS sont captés à 92% du temps.



**Figure I.5.** Segment de contrôle

Sur le sol, des stations de contrôle suivent en tout instant le mouvement des satellites, dont l'orbite est périodiquement corrigée.

### c- Segment utilisateur

Le segment utilisateur est constitué de récepteurs, qui ont été conçus afin de décoder le signal transmis par les satellites, pour déterminer la position la vitesse et le temps. Ceux-ci reçoivent les signaux des satellites grâce à des récepteurs GPS, qui vont leur permettre de calculer leur position en trois dimensions (latitude, longitude, altitude) et le temps grâce à la triangulation. Pour comprendre le fonctionnement de ce système, il faut savoir que les ondes émises par les satellites se propagent à la vitesse de la lumière et qu'il est possible de mesurer le temps que met une onde pour parvenir à un récepteur en comparant l'heure d'émission et de réception de cette dernière.

Grâce à ces informations on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur et ainsi déterminer la position de la cible.



*Figure 1.6.* Exemple de récepteur

#### *1.6.1.3. Principe de fonctionnement du GPS*

Le principe de fonctionnement du GPS est très proche du principe de triangulation, la vitesse de transmission des signaux émis par les satellites est égale à celle de la lumière, chaque signal intègre une éphéméride avec son heure de départ avec une mesure de la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites, de positions connues grâce au temps qu'e mis chaque signal à parvenir jusqu'au GPS. On définit ainsi des sphères centrées sur des satellites et dont l'intersection donne la position.

Le récepteur GPS est capable d'identifier le satellite qu'il utilise à l'aide du signal pseudo aléatoire émis par chaque satellite, il charge à l'aide de ce signal les informations sur l'orbite et la position du satellite, Pour mesurer la distance qui



sépare le satellite du GPS on mesure le temps T mis par le signal pour aller de l'un vers l'autre.

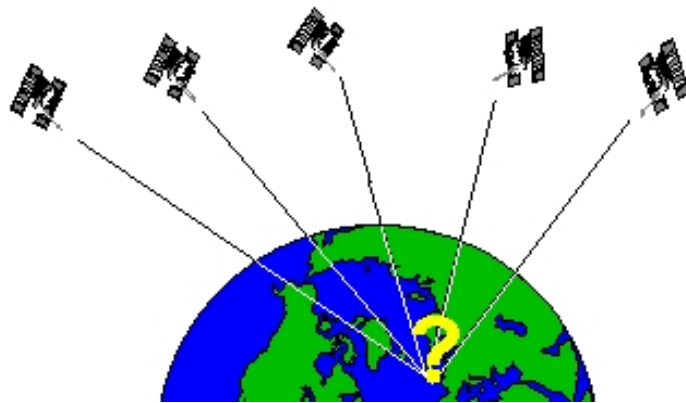


Figure I.6. Calcul du point

✓ Premier satellite :

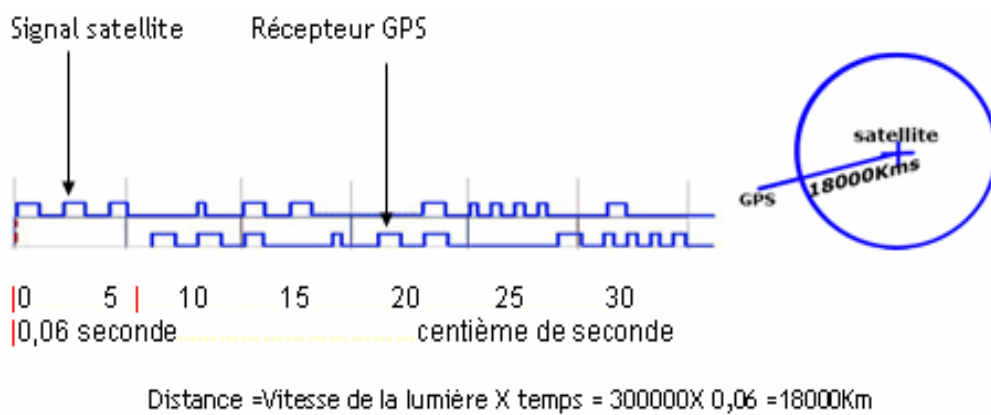
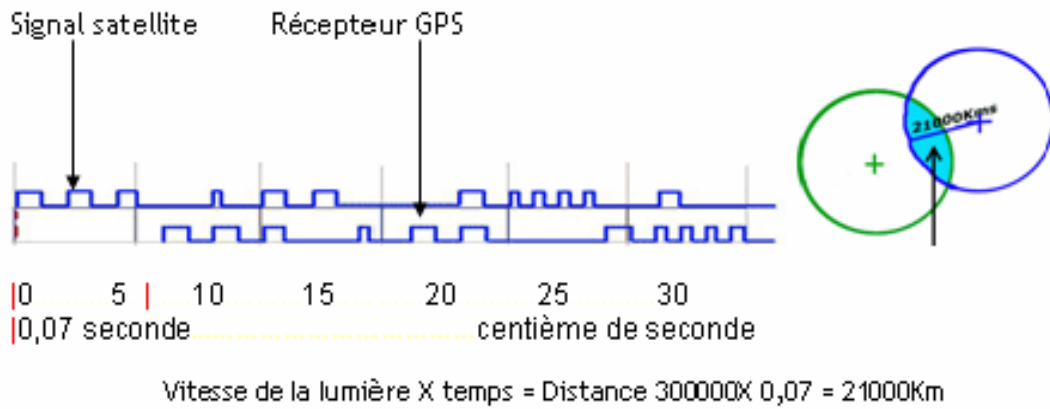


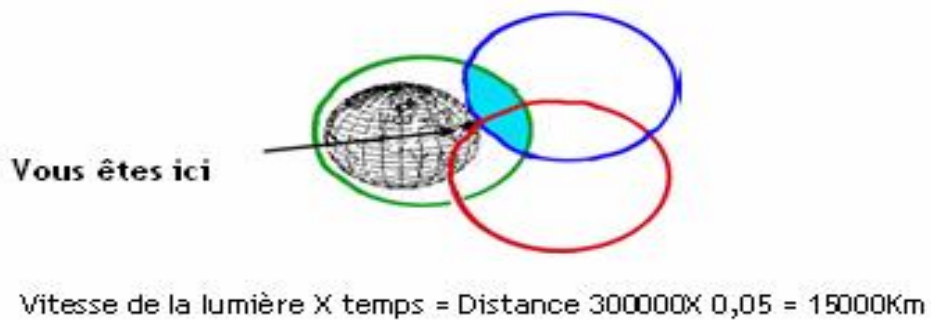
Figure I.7. Localisation par GPS avec un seul satellite

✓ Deuxième satellite :



**Figure I.8.** Localisation par GPS avec deux satellites

✓ **Troisième satellite**



**Figure I.9.** Localisation par GPS avec trois satellites

Le terminal reçoit une onde électromagnétique d'un premier satellite la vitesse de cette onde est de 299792 km/s, le terminal peut en déduire la distance qui le sépare du satellite.

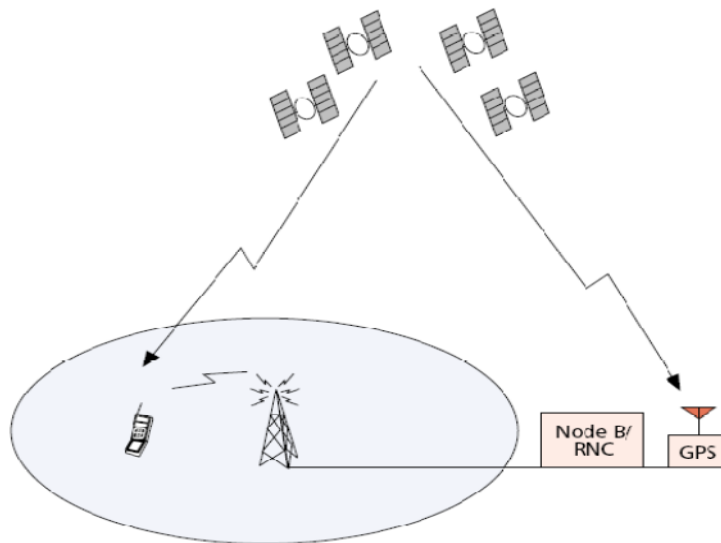
A la réception du signal d'un deuxième satellite, on peut savoir que le terminal se trouve à l'intersection de deux cercles, avec un troisième satellite on sait que le terminal se trouve à l'intersection des trois cercles, ce qui permet d'en déduire deux points possibles.

**I.6.1.4. La méthode est hybride du GPS**

**a- Le A-GPS (Assisted GPS):**

Cette technique est conçue dans le but d'aider l'objet mobile à estimer sa position le procédé proposé rend possible la réception des signaux satellitaires même dans le cas où la valeur du signal reçu se situe en-dessous d'une valeur de seuil permettant, dans certains cas, l'estimation de la position à l'intérieur des bâtiments. La méthode est hybride ou coopérative et associe les standards de communication existants tel le GSM, GPRS, UMTS. Elle nécessite des circuits spécifiques au niveau du téléphone mobile lui permettant la réception des signaux GPS et un serveur de calcul au niveau du réseau. Ce dernier va traiter les données renvoyées par le mobile pour calculer sa position.

La précision de cette technologie est de l'ordre de 10 mètres.



**Figure I.10.** Architecture Assisted GPS

**Avantage:**

- Le délai pour établir la première connexion avec le satellite (TTFF – Time To First) est de quelques secondes pour l'A-GPS alors qu'elle peut durer plus d'une minute pour le GPS.
- Une localisation plus précise
- Plus besoin de récepteur GPS externe
- Fonctionne en intérieure car il suffit que le téléphone mobile reste connecté au réseau de son opérateur pour que les services de localisation soient opérationnels.[5]

**b- Le D-GPS (Differential GPS):**

L'idée dans les techniques de positionnement différentiel est de corriger les erreurs à une position quelconque en prenant comme référence les erreurs mesurées à une position connue. Dans le cas du D-GPS, un récepteur référence (Station de Base D-GPS) calcule

les corrections pour chaque signal satellitaire reçu et renvoie les corrections à tous les récepteurs présents dans sa zone de couverture. Cette information permet d'améliorer l'estimation de la position, l'erreur devenant désormais de l'ordre de 1 mètre.

#### *1.6.1.5. Applications de GPS*

##### **a) Civils**

- les scientifiques utilisent le GPS comme instrument de mesure dans des domaines tels que la géophysique et la tectonique.
- Dans le secteur industriel, les plates-formes pétrolières utilisent depuis longtemps le GPS pour l'exploration.
- Les opérations de sauvetage sont grandement facilitées par l'utilisation du GPS.
- L'aide au déplacement, constitue un des grands axes de la recherche appliquée chez les principaux constructeurs automobiles.
- Navigation aérienne et maritime.
- Etudes géodésiques et géographiques.
- Assistance aux équipes de secours.

##### **b) Militaires**

- Les applications militaires sont nombreuses l'acquisition des cibles, le guidage de missiles, le parachutage tous temps, la coordination de bombardements et toutes les opérations à distance de commandement, de contrôle et de surveillance de véhicule.

#### *1.6.1.6. Avantages et inconvénients du GPS*

##### **a) Avantages**

- Le GPS permet d'obtenir un positionnement précis en n'importe quel point du globe.
- L'utilisation du système est gratuite : seul l'achat du récepteur GPS.
- Position absolue, on obtient toujours une position absolue qui ne dépend Pas des conditions initiales.

- Conditions opérationnelles : le système marche jour et nuit et n'a pas besoin de conditions spéciales telles que support, orientation ou Température.

#### **b) Inconvénients**

- Le manque d'intégrité du système GPS, on définit l'intégrité d'un système comme sa capacité à parvenir l'utilisateur en temps opportun, lorsque le système ne doit pas être utilisé parce que ses performances sont trop dégradées. Cette incapacité à avertir les utilisateurs d'un dysfonctionnement dans un délai raisonnable est aujourd'hui sa faiblesse la plus critique : en effet, un satellite GPS peut délivrer des informations erronées pendant plusieurs minutes avant d'être réparé ou neutralisé sans en avertir les utilisateurs.
- 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.

#### **I.6.2. Géolocalisation par adresse IP :**

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. Il est possible de savoir dans quel pays se trouve un terminal connecté à internet grâce à son adresse IP.

#### **I.6.3. Géolocalisation wifi :**

En indoor, la couverture cellulaire peut devenir moins puissante et le GPS passe lui très difficilement. La solution passe donc par le wifi en implémentant dans des endroits spécifiques et très fréquentés (centres commerciaux, salons, aéroports, ...) des bornes émettrices wifi à intervalle proches afin d'émettre un signal wifi qui sera capté par le mobile et permettant une localisation même à l'intérieur de bâtiments.

##### **I.6.3.1. Principe de fonctionnement :**

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. Il existe des bases de données recensant une multitude de bornes d'accès WiFi ainsi que leur position

géographique. Ces bases peuvent appartenir à des entreprises privées ou à des communautés qui les publient gratuitement. 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.6.4. 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 si le terminal se trouve en milieu urbain (où la densité d'antennes est supérieure), ou en milieu rural.

N'importe quel mobile GSM, à condition qu'il ne soit pas éteint, peut être localisé géographiquement sur le réseau GSM avec au mieux, une précision de plusieurs dizaines de mètres.

##### **I.6.4.1. Principe de localisation par réseau (network-based) :**

En plus d'archiver des informations sur vos communications (le numéro appelé, la date, l'heure et la durée de l'appel ainsi que les coordonnées de la cellule d'où il a été émis), les opérateurs téléphoniques mobiles peuvent en permanence vous localiser en interrogeant les bases de données des HLR / VLR. Les informations récupérées seront ensuite transmises à un centre de positionnement qui calculera à partir de ces données une position approximative du GSM, Pour éviter tout abus dans le cadre de services commerciaux, l'utilisateur du GSM doit être averti et donner son approbation à chaque fois qu'il va être localisé, cependant il faut savoir que les services judiciaires peuvent dans des cas précis, accéder librement à ces données.

##### **I.6.4.2. Principe de localisation Par le GSM (mobile-based) :**

Le téléphone mobile peut se charger lui-même de la récupération et du traitement des informations, Pour permettre une localisation géographique, l'application doit être en relation

par le réseau avec certaines bases de données, au minimum pour faire correspondre l'identifiant d'une cellule (Cell-Id) avec ses coordonnées géographiques.

#### **I.6.4.3. Principe de localisation Assistée par le GSM (mobile-assisted)**

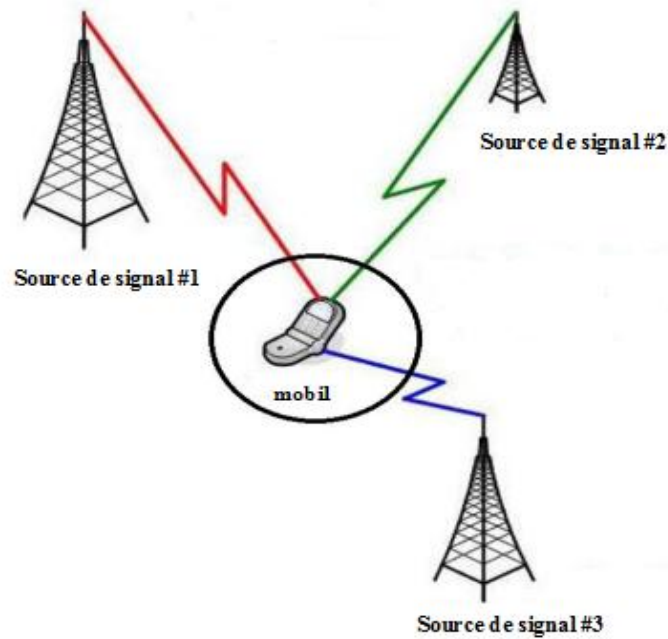
Pour pallier le problème de performances et de surconsommation, l'application embarquée peut se permettre de n'envoyer que les informations nécessaires à sa localisation. Tous les calculs de positionnement seront alors déportés vers un centre de localisation plus puissant et en relation avec plusieurs bases de données ou services (coordonnées des stations de base, cartographies, archivage des déplacements, génération d'alertes, etc.) qui se chargera de retourner les informations demandées vers le mobile.

#### ***I.6.4.4. Les différentes méthodes de Géolocalisation dans GSM***

Les téléphones mobiles sont connectés en permanence à des antennes GSM, puisque c'est grâce à ces antennes que les appels et les envois de SMS peuvent être effectués. Les antennes captent le signal émis par le téléphone et le calcul de la position peut être effectué par plusieurs méthodes :

- en fonction du temps que le signal met pour atteindre l'antenne
- en fonction de l'angle d'arrivée et la force du signal
- en fonction des identifiants des antennes GSM auxquels un terminal se connecte cette méthode appelée Cell ID.

La précision de la géolocalisation par GSM se situe entre 200 mètres et plusieurs kilomètres.[5]



*Figure I.11.* Localisation par GSM

## ***1.7. Application de la géolocalisation***

### **1.7.1. Les applications professionnelles**

Beaucoup d'applications existent en logistique, dans la protection contre les vols, le suivi des marchandises et des conteneurs, le suivi des véhicules.

On trouve également la localisation dans des domaines aussi divers que l'humanitaire, l'environnement et l'agriculture, par exemple :

- pour l'étude d'une population animale
- pour la cartographie des sols et des rendements
- pour surveiller l'activité sismique d'une région
- pour localiser les sites de catastrophes naturelles
- pour l'aide humanitaire et les opérations de sauvetage en montagne ou en mer

Cette liste des applications professionnelle n'est pas exhaustive. De nombreuses utilisations apparaissent régulièrement depuis plusieurs années.

### **1.7.2. Les applications destinées aux particuliers**



Le marché des particuliers s'est développé plus tardivement, De nombreuses applications ont fait leur apparition depuis le milieu des années 2000 et beaucoup restent à venir.

De nombreux sports et loisirs utilisent les systèmes de GPS (randonnée, vélo, course à pied, ...) qui permettent d'avoir des informations précises sur les lieux, les vitesses et les obstacles pour mieux se repérer.

On trouve encore des équipements de localisation dans les systèmes de sécurité et dans la domotique (alarmes, détecteurs de mouvements).

il faut avoir à l'esprit que de nombreux équipements que nous utilisons au quotidien peuvent être localisés : cartes de crédit, équipements de télécommunication (téléphones mobiles, ordinateurs, assistants personnels), cartes à puces, passeports biométriques avec puces électroniques

## ***1.8. Avantages***

L'avantage des systèmes de localisation est également perceptible dans le suivi des objets au sens large.

- Localisation précise à l'intérieur comme à l'extérieur de bâtiments.
- Suivi en temps réel.
- Aucune infrastructure ni modification du matériel n'est nécessaire.

## **1.9. Combinaison de différentes techniques**

### **1.9. 1. Géolocalisation Hybrides**

Il y a actuellement une technique qui combinent les trois précédentes et qui est capable de géolocaliser le téléphones dans n'importe quelle situation possible

Il existe plusieurs inconvénients à l'utilisation d'une seule technique de géolocalisation

- **La dépendance au réseau GPS** : l'incapacité de l'utiliser en intérieur et le temps de réponse à l'allumage.
- **La dépendance au réseau GSM** : sa couverture géographique, l'accès au réseau GPRS pour exploiter l'information;
- **La dépendance à la présence de bornes d'accès WiFi** : en zone rurale par exemple.

Des dispositifs qui combinent ces trois techniques et qui sont capables de géolocaliser le terminal dans n'importe quelle situation existent. La précision de ce positionnement va varier

en fonction des technologies disponibles, mais le temps de réponse à l'allumage et l'adaptabilité s'en verront améliorées. Ceci permet par exemple de géolocaliser une personne à l'extérieur en utilisant le GPS, et de garder sa trace à l'intérieur des bâtiments ou des tunnels en utilisant la technologie GSM couplée au Wifi pour plus de précision.

L'iPhone d'Apple est un exemple de terminal capable d'utiliser une méthode hybride de géolocalisation grâce à son interface GSM, Wifi et à son récepteur GPS. Cette fonction met à disposition les bases de données appropriées pour transformer les identifiants des cellules GSM et des points d'accès Wifi en latitude/longitude et rayon de précision.[6]

La précision de ce positionnement va varier en fonction des technologies disponibles, mais le temps de réponse à l'allumage et l'adaptabilité s'en verront améliorées, grâce à cette utilisation multiple qui permet de géolocaliser une personne à l'extérieur en utilisant le GPS, et de le suivre à l'intérieur des bâtiments ou des tunnels en utilisant la technologie GSM couplée au Wifi pour plus de précision.

La solution hybride de localisation peut intégrer une combinaison de technologies de localisation telles l'identification cellulaire, l'angle d'arrivée, la différence de temps d'arrivée en liaison montante U-TDOA, et le GPS assisté A-GPS afin de garantir une précision, un rendement optimaux dans n'importe quel environnement et n'importe quelle condition (urbains, suburbains, ruraux).



## *Figure I.12.* . Géolocalisation Hybrides

### **I.10. Télérélevé d'information**

La télérélevé d'information consiste à récupérer à distance une série d'informations issues de capteurs ou de systèmes informatiques, électroniques ou électriques. La géolocalisation est très souvent couplée à des systèmes de télérélevé via des boîtiers [télématiques](#), ce qui permet de combiner la position géographique d'un terminal ou d'un véhicule à une série d'informations annexes relatives à l'objet géolocalisé.

#### **I.10.1. les étapes de la chaîne de traitement :**

1. Le terminal détermine sa position géographique grâce à une des techniques de géolocalisation citées précédemment (de préférence GPS, GSM et/ou WiFi);
2. Il envoie ces données vers une plateforme logicielle soit par le réseau GSM/GPRS soit par un réseau satellitaire de type Inmarsat.
3. La plateforme logicielle de géolocalisation traite la donnée et positionne le terminal géographiquement sur une carte moyennant la précision offerte par la technique de géolocalisation utilisée. De plus, en combinant plusieurs informations, notamment récupérées via un système de télérélevé (trafic routier, autonomie du véhicule, points à visiter etc...), des calculs d'itinéraires ou de tournées peuvent par exemple être générés.
4. Cette carte ainsi que tous les traitements effectués sont mis à disposition de l'utilisateur à travers un portail web hébergé sur un serveur accessible depuis internet, ou à travers une application métier installée sur le poste de travail.

Pour transmettre les différentes informations récupérées par le terminal (position géographique ou données provenant de capteurs) nous recensons deux principaux moyens de transmission : le réseau GSM/GPRS et le réseau satellitaire.

### **I.11. Types de terminaux utiliser pour la géolocalisation**

Les terminaux de géolocalisation existants peuvent être classés dans une de ces 3 catégories, même si certains peuvent être configurés pour fonctionner dans un mode au choix :

- **Data loggers** : Ces terminaux stockent les positions localement et celles-ci doivent ensuite être extraites.
- **Data pullers** : Ces terminaux envoient leur position à la demande.
- **Data pushers** : Ces terminaux effectuent des envois fréquents de leur position.

### **I.11.1. Modes de fonctionnement**

#### *a- Data loggers*

Ces terminaux sont généralement équipés de récepteurs GPS et se limitent à stocker dans leur mémoire interne leur position à des intervalles réguliers. Certains loggers GPS disposent de slots pour carte mémoire et/ou d'une mémoire interne ainsi qu'un port USB (le terminal est vu comme une clé USB). Ceci permet, postérieurement, de télécharger les données sur un ordinateur pour les traiter, ce genre de terminaux est surtout utilisé par des sportifs (joggers, amateurs de VTT...) qui téléchargent ensuite les données sur leur ordinateur personnel afin de calculer la durée du parcours ou d'afficher les points sur une carte à l'aide d'un logiciel SIG. Pour des parcours longs et non contrôlés, ce genre de dispositif peut permettre de déterminer le gagnant d'une épreuve et de déterminer si celui-ci est bien passé par des points de contrôle. Ces terminaux peuvent aussi être utilisés dans le cadre de surveillances ou de suivi de véhicules où l'émission de données serait impossible ou repérable.

#### *b- Data pullers*

Contrairement aux dispositifs de type "push", les data pullers se limitent à envoyer l'information uniquement sur demande. Ces dispositifs sont suffisants dans les cas où la position de l'objet ou la personne n'a pas besoin d'être connue en continu. Par exemple, la position du véhicule ne sera nécessaire que si celui-ci est volé, de plus cette méthode permet aux opérateurs de télécommunications de commercialiser un service de géolocalisation à travers des terminaux mobiles dépourvus de récepteurs GPS et de forfaits data. Il suffit d'avoir le numéro de téléphone du mobile et d'y être autorisé pour envoyer une requête de demande de position. L'opérateur localise alors la position du terminal grâce à la technique du Cell ID et vous envoie la position de celui-ci.

### *c- Data pushers*

Ce sont les terminaux les plus utilisés pour des applications professionnelles, Ces terminaux envoient leur position à intervalles réguliers et programmables vers une plateforme de géolocalisation qui traite la donnée en temps réel. Parmi les terminaux capables d'être géolocalisés et de transmettre l'information en temps réel, nous distinguons :

- Les terminaux mobiles de type PDA ou smartphones équipés d'un GPS et/ou d'un modem GSM/GPRS ;
- Les boîtiers de géolocalisation dédiés embarquant un récepteur GPS, un dispositif de télécommunications (GSM/GPRS ou satellite) et avec une capacité optionnelle de télérelève ;
- Les dispositifs de poche destinés aux personnes et embarquant un récepteur GPS et un modem GSM/GPRS ou satellite.

Ces dispositifs peuvent nécessiter le branchement à une source électrique ou être autonomes grâce à une batterie interne. En fonction de l'utilisation du terminal, celui-ci pourra être connecté à la batterie d'un véhicule ou disposer d'une grande autonomie (ex : suivi d'objets sans sources électriques comme des conteneurs, colis, animaux, remorques...).

## **I.12. Terminaux disponibles selon le mode de transmission des données.**

### *I.12.1. Terminaux GSM/GPRS*

Ce moyen de transmission nécessite un terminal disposant d'un modem GSM/GPRS ou 3G, ainsi que d'une carte SIM de n'importe quel opérateur avec un forfait DATA adapté. Le terminal nécessite d'être sous couverture GSM/GPRS pour pouvoir envoyer les données vers la plateforme de traitement. Ce type de terminal est utilisé lorsque l'objet ou la personne à géolocaliser reste dans une zone bien couverte par les réseaux GSM/GPRS.

Si le forfait alloué à la carte SIM le permet, le terminal peut continuer à envoyer des informations même lorsqu'il se déplace à l'international ou qu'il entre dans une zone couverte par un autre opérateur. Il enverra alors les données en roaming.

Les forfaits GSM/GPRS sont économiquement plus avantageux que les forfaits satellite lorsque l'on souhaite remonter les positions à une fréquence élevée. Ils sont donc à privilégier si les zones où l'équipement se déplace restent bien couvertes par les réseaux GSM/GPRS.

### ***I.12.2. Terminaux satellite***

*Ce type de terminaux envoie les données à travers un réseau de satellites de télécommunications comme Inmarsat. Même si ce type de canaux sont plus restrictifs au niveau de la quantité de données envoyées, ils peuvent offrir par ailleurs une couverture mondiale sans frais supplémentaires en fonction des satellites et protocoles utilisés. Cela en fait des terminaux idéaux pour la géolocalisation de conteneurs, navires ou véhicules circulant en plein désert. Des terminaux similaires sont utilisés dans le cadre du système argos, destiné à l'étude et à la protection de l'environnement à l'échelle planétaire, même si celui-ci utilise le même réseau satellitaire pour se positionner et pour transmettre les données.*

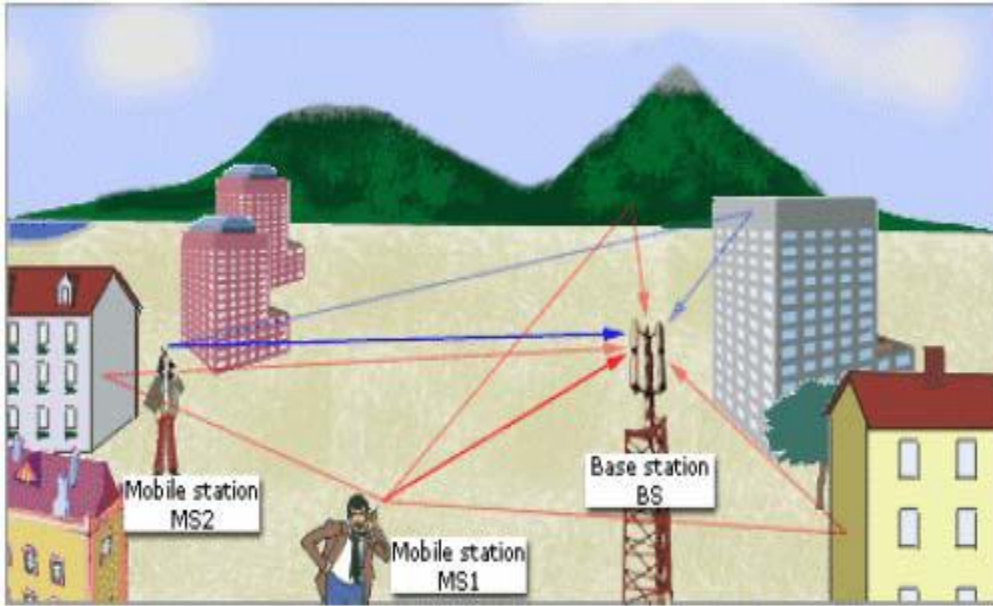
Lorsque le terminal satellite est autonome grâce à une batterie interne, il peut fonctionner jusqu'à 7 ans sans nécessité d'en remplacer la batterie. Son autonomie varie alors en fonction de la fréquence d'actualisation souhaitée. Pour des parcours longs distance ou des remontées d'information peu fréquentes, les solutions satellites sont plus économiques que les solutions GSM/GPRS

## **I.13. Les sources d'erreurs de localisation**

### **I.13.1. Les perturbations lors de la transmission**

Les transmissions radios dans les réseaux sans fil sont toutefois soumises à de nombreuses contraintes, liées à la nature de la propagation des ondes radios et aux méthodes de transmissions, rendant ce type de transmission non suffisante. Le signal transmis est sujet à nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Cette dégradation se traduit en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système.

les interactions électromagnétiques modifient des paramètres intrinsèques de l'onde comme sa polarisation et sa phase, Lors de la transmission le signal subit plusieurs types de dégradations à cause de bruit additif, la distorsion et l'atténuation du signal lors de traversée de l'atmosphère, l'interférence dus aux signaux GPS réfléchis à proximité de la surface, plusieurs signaux du même satellite arrivent au récepteur en ayant suivi des chemins différents.



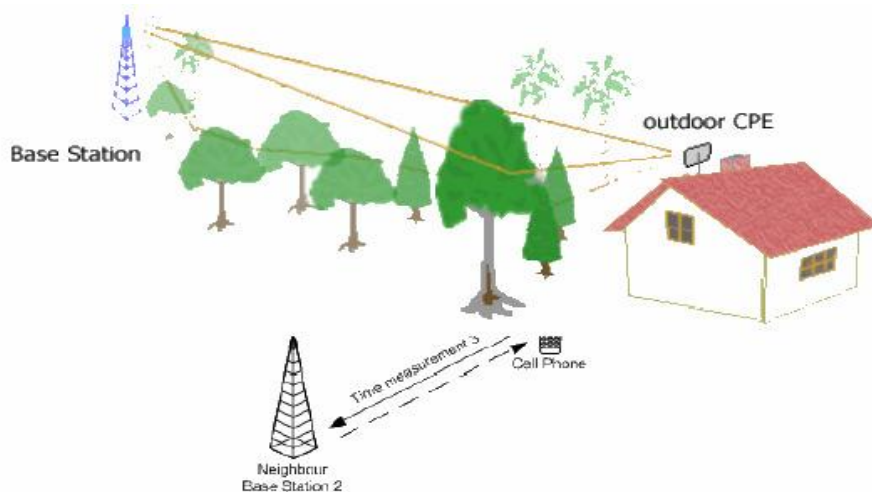
**Figure 1.13.** Illustration de la propagation multi trajets

Le signal est donc affecté par de nombreuses distorsions possibles :

- de fréquence (effet Doppler : mouvement des émetteurs-récepteurs)
- d'amplitude (évanouissement de Rayleigh ou fading dû aux trajets multiples),
- de phase (dispersion des temps de propagation sur les trajets multiples) [7].

### **I.13.2. La propagation NLOS**

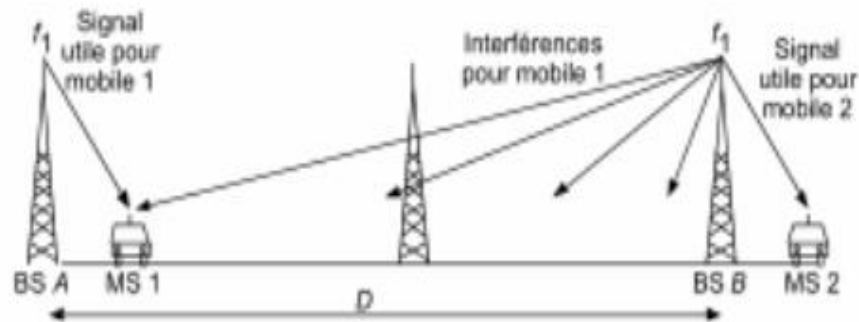
En environnement NLOS, le signal arrivant à la BTS en provenance de la station mobile MS est réfléchi, réfracté, dispersé ou absorbé créant des multiples signaux arrivant au récepteur à des temps différents, de différents chemins et avec des différentes puissances.



*Figure I.14.* Multi trajets en environnement NLOS.

### I.13.3. Interférences Co-canal

Lorsque des émetteurs radio émettent sur la même fréquence que l'émetteur que l'on souhaite capter, et même si ils sont très éloignés, ils peuvent perturber la réception. C'est ce défaut que l'on appelle l'interférence Co-canal.



*Figure I.15.* Interférences Co-canal

On utilise la même fréquence sur des stations de base différentes, diffusion des ondes ce qui donne des Interférences co-canal.

## I.14. Conclusion

On a vu dans ce chapitre quelques généralités et techniques de géolocalisation, parmi ces techniques la localisation par GPS, très répandue actuellement vu ces avantages on a vu aussi les techniques de localisation par GSM qui va être détaillé dans le prochain chapitre la localisation par wifi qui utilise une base de données contenant les points d'accès connus pour déduire la position du terminal mobile. Pour tirer profit des avantages des techniques de géolocalisation et pour améliorer la précision, la localisation hybride est utilisée, enfin on a décrit les sources d'erreurs de localisation qui perturbent la transmission.



## Chapitre II : Méthodes de positionnement du mobile dans GSM

### II.1. Introduction

L'exploitation des réseaux cellulaires permet d'obtenir une estimation de la position des équipements mobiles, l'implémentation de méthodes de localisation cellulaire nécessite des modifications logicielles o

u/et matérielles au niveau de l'objet mobile ou/et du réseau.

Ainsi, on peut classer les technologies:

- Exogènes: modifications au niveau du réseau cellulaire;
- Endogène: modifications au niveau de l'objet mobile;
- Hybrides: modifications sur l'ensemble.

Dans le cas de l'approche exogène, une ou plusieurs stations de base effectuent les mesures nécessaires, appliquent certains algorithmes pour déterminer la position de l'objet mobile et renvoient les résultats à l'objet mobile.

L'approche endogène donne naissance à deux types d'implémentation:

**Mobile based:** l'objet mobile effectue les mesures et les calculs nécessaires pour déterminer sa position. Un avantage de cette approche est le positionnement en mode inactif, réalisé par la mesure de canaux de contrôle qui sont transmis constamment. Cette méthode nécessite des modifications de type matériel et logiciel au niveau de l'équipement mobile.

**Mobile assisted:** l'objet mobile effectue les mesures et les envoie à un centre de gestion qui va effectuer les calculs. Ce type d'implémentation nécessite plutôt des modifications de type logiciel.

### II.2. Le réseau GSM

#### II.2.1. Définition

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21ème siècle, le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables, les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique, en Europe le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz.

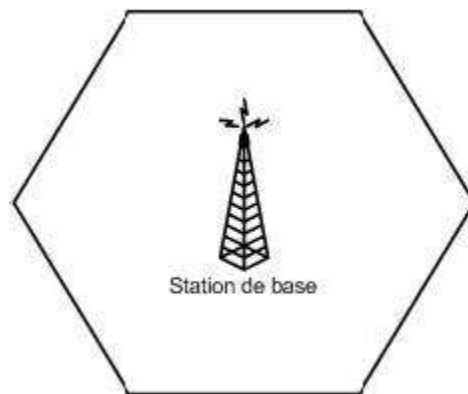
La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages

textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour Multimedia Message Service).

### II.2.2. Notion de réseaux cellulaires

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur la notion de cellules dans les domaines de télécommunications, le développement de réseau cellulaire joue un rôle très important. La technologie de cellule est la base des communications mobiles elle est la technologie fondamentale pour les téléphones portables, les systèmes de communications personnelles.[8]

Le réseau cellulaire est formé par plusieurs cellules chaque cellule est réservées une bande de fréquences et servi par une station de base ou BTS constitué d'un émetteur, un récepteur et une unité de contrôle.



*Figure II .1.* Une cellule

En fait, la station de base utilise une seule antenne centrale pour émettre et recevoir.

Les cellules voisines sont affectées par les fréquences différentes pour éviter le phénomène d'interférence, pourtant les cellules qui ne sont pas adjacents peuvent utiliser la même fréquence la capacité du système se dépend du nombre de cellules et de leur taille.

### II.2.3. Le Transfer intercellulaire

Lorsqu'on téléphone à partir d'un mobile GSM, le mobile transmet par radio la communication vers la station de base de sa cellule, la conversation est ensuite acheminée de façon plus classique (câble, fibre optique ...) vers le Correspondant s'il est raccordé au réseau téléphonique filaire, ou à sa station de base s'il est Équipé d'un

mobile cette station de base transmet finalement la conversation par radio au correspondant.

Même si deux personnes se trouvent dans la même cellule et se téléphonent, la conversation ne passe jamais directement d'un GSM à l'autre. Au cours d'un déplacement, il est possible qu'on sorte d'une cellule il est nécessaire alors de changer sa station de base tout en maintenant la communication, c'est le transfert intercellulaire ou handover. Pour gérer ce transfert le téléphone GSM mesure en permanence la force du signal radio reçu de la station de base et écoute aussi régulièrement les stations de base des cellules voisines. Lorsqu'il constate qu'il reçoit mieux une autre station de base que celle avec laquelle il échange les signaux, il en informe sa station de base.

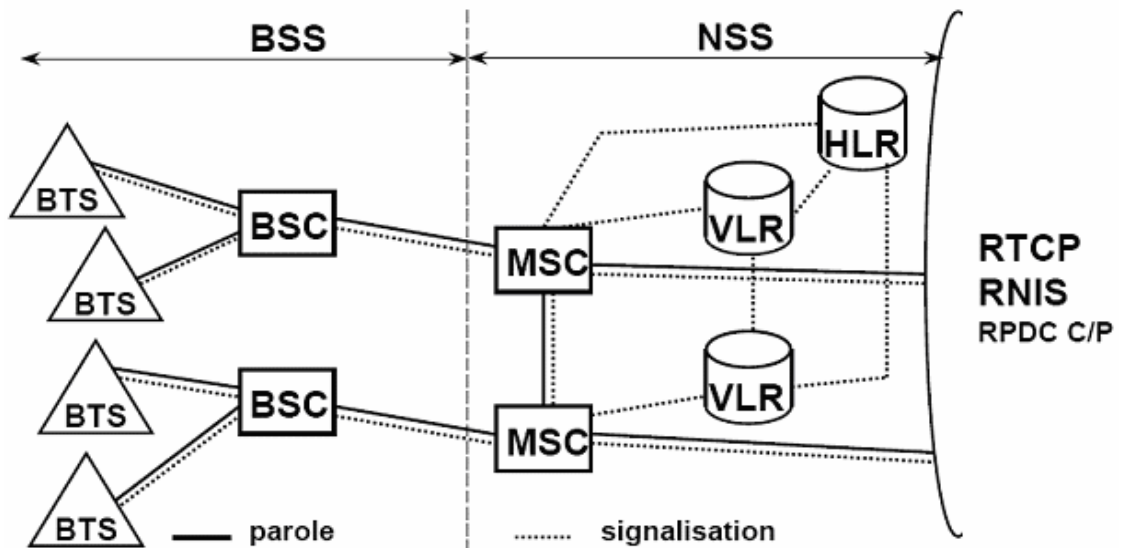
La station de base décide alors de passer le relais à la station de base voisine et met en œuvre la procédure de handover ce processus oblige tous les mobiles GSM à écouter les stations de base des cellules voisines en plus de la station de base de la cellule dans laquelle il se trouve. [9]

#### **II.2.4. Infrastructure d'un réseau GSM**

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

Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC et comprend des commutateurs. Il se distingue par un accès spécifique, la liaison radio est il est composé de trois sous ensembles

- Le sous système radio BSS : assure et gère les transmissions radios
- Le sous système d'acheminement NSS : comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour appels et gestion de la mobilité.
- Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS : qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau. [9]



*Figure II .2.* l'infrastructure d'un réseau GSM

Dans le réseau mobile, il existe deux éléments qui sont utilisés pour identifier la position du terminal mobile ce sont l'enregistreur de localisation nominal HLR et l'enregistreur de localisation de visiteurs VLR, Ils sont connectés au MSC le HLR est une base de données qui permet le MSC de gérer les informations des abonnés le VLR est une base de données qui permet le MSC de gérer les informations des visiteurs.

### II.2.5. Les équipements d'un réseau GSM

- **BTS** : Station de base assure la réception des appels entrant et sortant des équipements mobiles.



*Figure II .3.* BTS

- **BSC** : assure le contrôle des stations de bases.

- **MSC** : Centre de commutation de mobile assure la commutation dans le réseau.



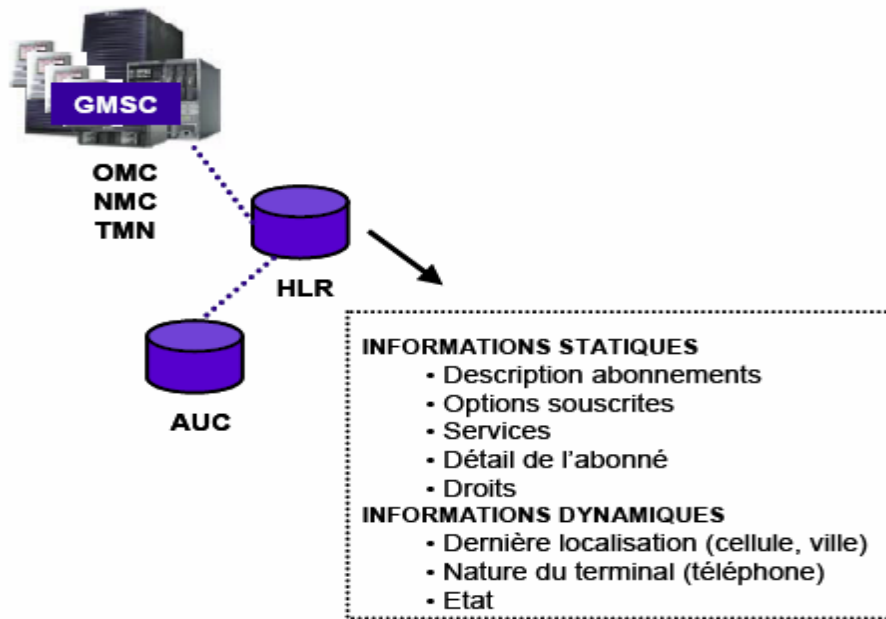
*Figure II .4. MSC*

- **HLR** : Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des abonnés.
- **AUC** : centre d'authentification assure l'authentification des terminaux du réseau
- **VLR** : enregistrement de localisation pour visiteur Base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.

#### **II.2.4.1. Fonctions du HLR**

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

Le schéma ci-dessous décrit les informations gérées par le HLR, une base de données qui conserve des données statiques sur l'abonné et qui administre des données dynamiques sur le comportement de l'abonné les informations sont ensuite exploitées par l'OMC. L'AUC est une base de données associée au HLR.



*Figure II .5.* Informations gérées par le HLR

Le réseau commence par interroger le HLR pour prendre connaissance de la dernière localisation connue, de l'état du terminal (On / Off) et de la date de ces données avant toute action. La mobilité constitue la différence essentielle entre le réseau filaire et le réseau de radiotéléphonie. Ainsi sur le réseau mobile, l'opérateur doit interroger les différentes bases de données (HLR) afin de localiser un abonné pour établir une connexion.

#### **II.2.4.2. Fonctions du VLR**

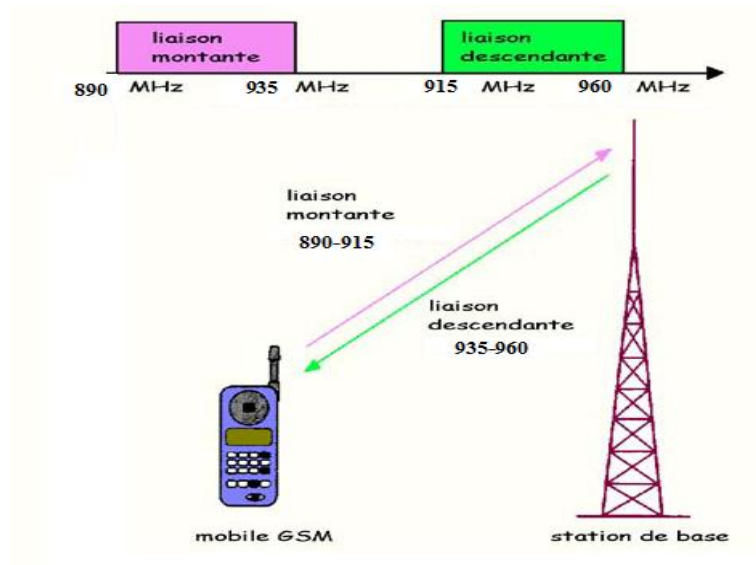
L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC, le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visite et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné visiteur, Pour ce faire un dialogue permanent est établi entre les bases de données du réseau, la mise à jour du HLR est très importante puisque lorsque le réseau cherche à joindre un abonné, il interroge toujours le HLR de l'abonné pour connaître la position.

## II.2.6. Le canal de transmission

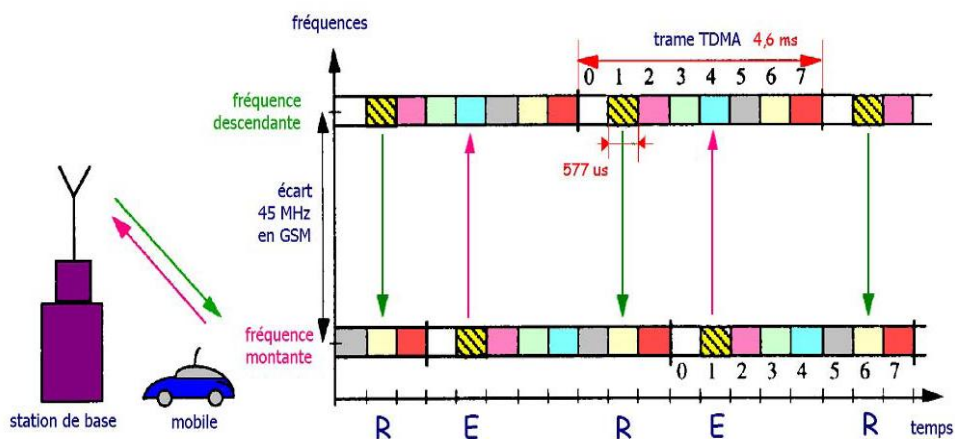
Les échanges entre le mobile et la station de base se font sur deux fréquences distinctes appelées fréquence montante (du mobile vers la station de base) et descendante (de la station de base vers le mobile), séparées par un intervalle appelé écart duplex.

Deux bandes de fréquences sont utilisées : la bande GSM (largeur 25 MHz, parfois étendue à 35 MHz) et la bande DCS (largeur 75 MHz).



*Figure II .6.* Le canal de transmission

Un mobile n'ayant pas besoin de ces fréquences en permanence, il la partage avec autres mobiles selon une technique appelée TDMA (Time Division Multiple Access).



*Figure II. 7.* La TDMA

Le mobile en communication utilise 1 time-slot (durée 577 $\mu$ s) sur les 8 qui constituent une trame TDMA (durée 4,6 ms).

Le mobile reçoit le signal émis par la base sur la fréquence descendante durant un time slot soit 577 $\mu$ s, puis 3 time-slots plus tard, émet son signal vers la station de base sur la fréquence montante.

### **II.2.7. La voix balise et la voix de trafic**

Chaque BTS est équipé pour travailler sur un certain nombre de canaux, en général 5 ou 6 qui sont autant de paires de fréquences émission-réception.

- un canal est affecté à un rôle particulier : la voie balise. Sur ce canal appelé aussi **BCH** (Broadcast Channel) la station de base émet en permanence avec une puissance fixe des données de service.
- les autres canaux sont affectés aux communications

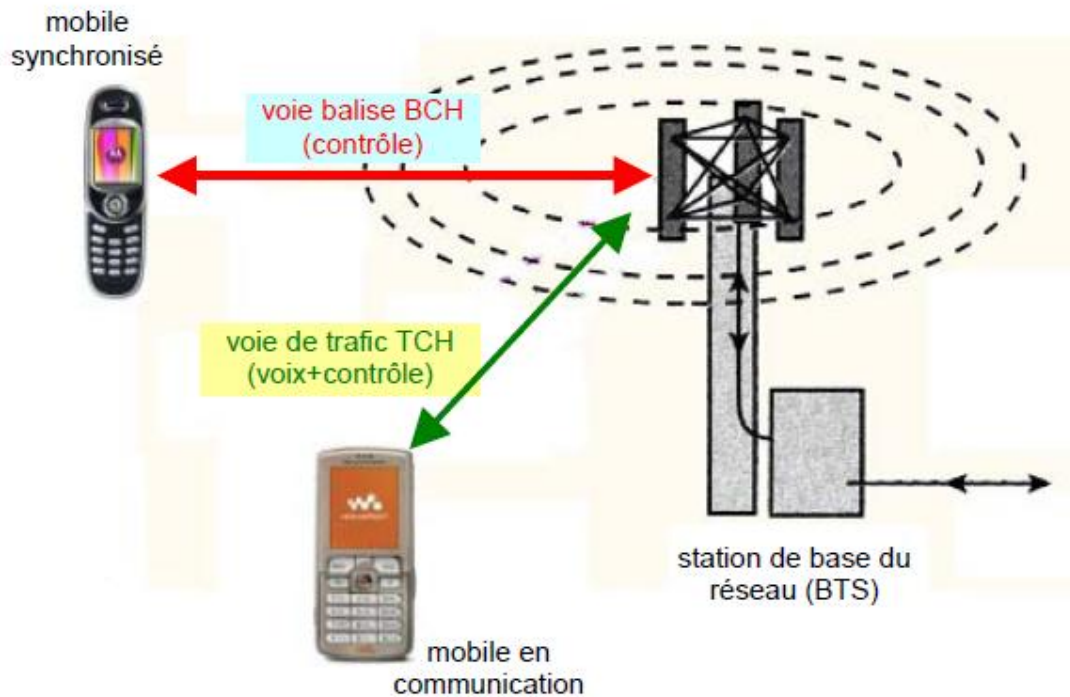
A sa mise en route, le mobile scrute la bande GSM/DCS de son opérateur. Il reconnaît la balise de sa cellule (signal le plus fort) pour s'y raccorder, être identifié par l'opérateur et se synchroniser

⇒ hors communication téléphonique, le mobile reste relié en permanence à la base par la voie balise, on dit que le mobile est synchronisé (ou : en veille / attaché / avec localisation à jour) :

Le mobile échange sur cette voie des signaux de contrôle (réception/demande d'appel, qualité de la liaison...) toutes les 15 secondes (toutes les 5 s si le signal est faible), le récepteur mesure le niveau des balises des cellules voisines pour détecter un possible changement de cellule il utilise la liaison montante de la voie balise pour signaler son désir de se connecter au réseau pour une communication (RACH : random access channel).

⇒ en communication, la base affecte au mobile une autre paire de fréquences que la voie balise : le mobile échange avec la base des signaux de parole et de contrôle sur le canal TCH ( Traffic CHannel) appelé aussi voie de trafic il continue à mesurer les balises environnantes pour détecter une variation de niveau lui indiquant un changement de cellule.





*Figure II. 7.* La voix balise

Le fonctionnement du mobile se décompose en 2 phases :

- Mobile en veille : le mobile échange avec sa base des signaux de contrôle sur la voie balise.

Le niveau de la voie balise (BCH) est connu et sert pour un certain nombre de fonctions de contrôle.

### **II.3. Les équipements du service de localisation**

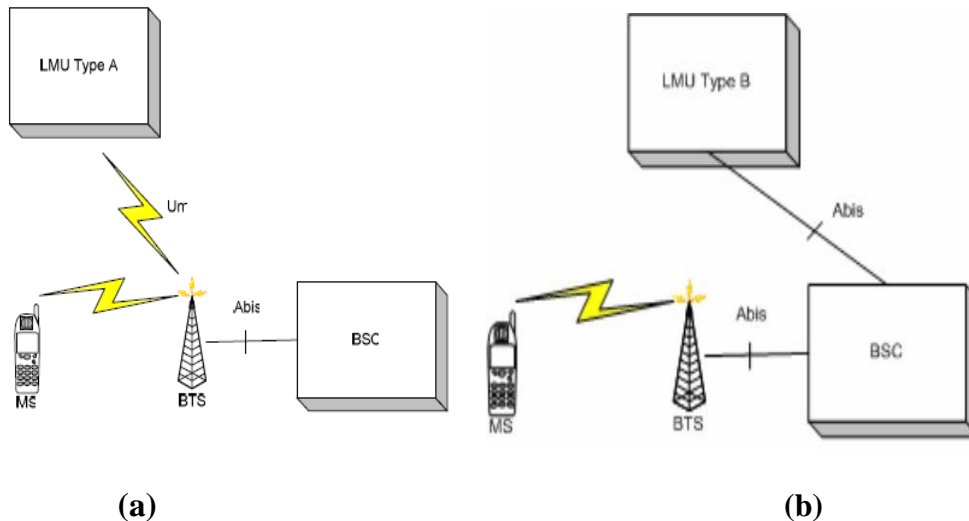
Pour assurer la fonction de localisation des terminaux mobiles, des éléments sont ajoutés à l'infrastructure GSM, les principaux éléments sont les suivants

#### **II.3.1. 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 un MS utilisé pour calculer son

emplacement, la deuxième méthode fournit les mesures d'assistances 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 II.8.** (a) : LMU de type A. (b) : LMU de type B

### **II.3.2. 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 au coordonnées de BTS et d'autres paramètres physiques exigé pour la localisation et 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).

#### **a- 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 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.

#### *b- Centre de localisation de mobile passerelle GMLC*

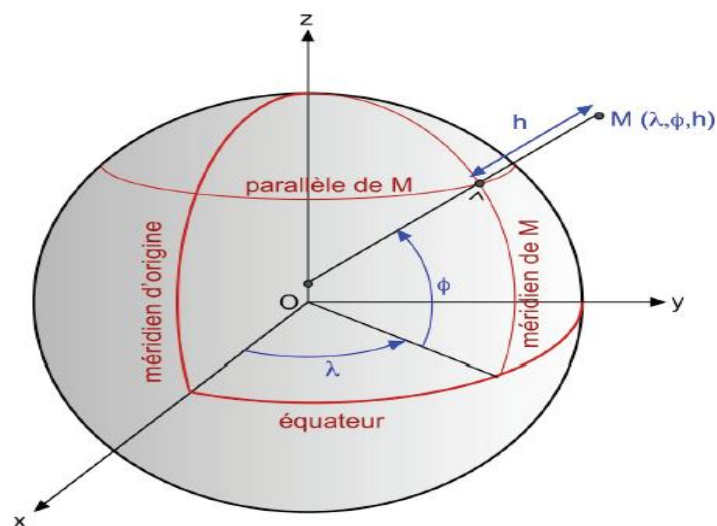
Le GMLC Vérifie si l'application demandeuse est autorisée à accéder aux informations concernant la localisation, il doit aussi rechercher le VMSC capable de fournir cette information.

#### *c- 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 (Base Transceiver Station) selon l'interface SMLC/VMSC

### **II.4. Les coordonnées géographiques d'un point**

- **La longitude** : angle orienté entre le plan méridien origine et le plan méridien contenant le point M. Le méridien d'origine est celui de Greenwich.
- **La latitude** : angle orienté entre le plan de l'équateur et la normale à l'ellipsoïde passant par le point M.
- **La hauteur h** : distance algébrique entre le point M et l'ellipsoïde.[10]



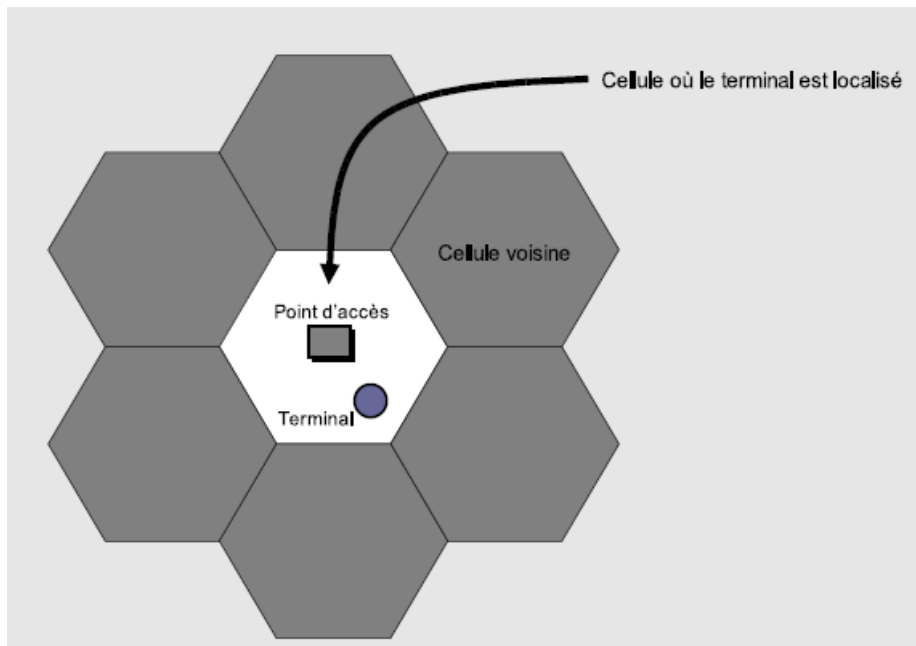
**Figure II.9.** Les coordonnées géographiques d'un point

## **II.5. Les méthodes de positionnement du mobile**

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 quatre méthodes pour déterminer la position d'un équipement : une méthode appelée Cell-ID, l'angle d'arrivée du signal (AOA), le temps d'arrivée du signal (TOA), la différence de temps d'arrivée (TDOA).[11]

### **II.5.1. La méthode Cell-ID**

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, à l'aide de cette information reliée 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 3.5.



**Figure II.10.** Méthode de géolocalisation Cell-ID

Les coordonnées du BTS elle-même peuvent être employées comme première évaluation de l'endroit du mobile.

L'exactitude réalisable de l'endroit estimé dépend de la taille de la cellule, qui pourrait changer de quelques cent mètres à plusieurs kilomètres.

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. Par contre la localisation de l'équipement n'est vraiment pas précise c'est pourquoi cette méthode est généralement utilisée comme méthode de dépannage un autre avantage c'est que cette méthode est la plus simple et la moins coûteuse des méthodes de géolocalisation.

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. 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.

#### **II.5.1.1. Principe :**

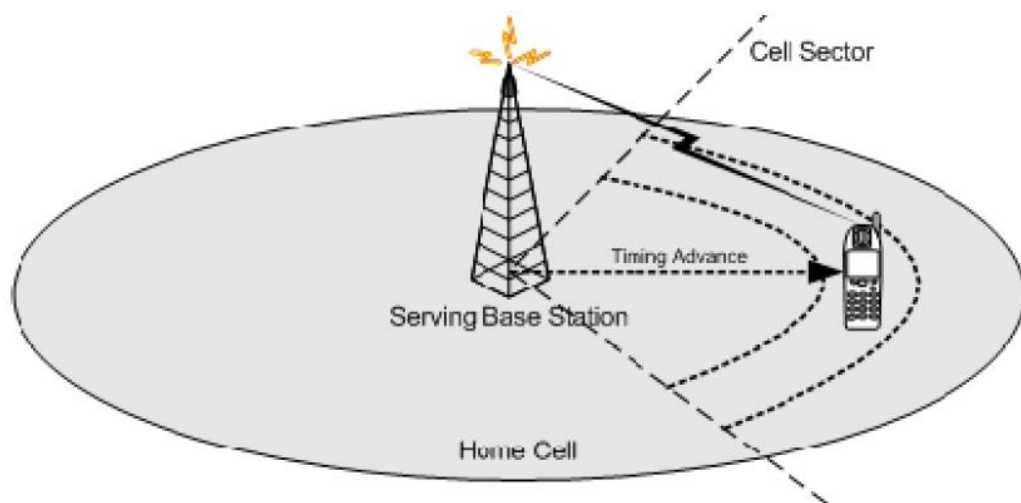
Du moment que le portable est dans une zone couverte par le réseau, il se connecte à un antenne relais GSM cette méthode consiste à récupérer les identifiants des antennes GSM auxquelles le terminal est connecté, par la suite grâce à une base de données faisant le lien

entre les identifiants des cellules et les positions géographiques des antennes, le terminal est capable de déterminer sa position et d'émettre une estimation, ces bases de données peuvent être mises à disposition par les opérateurs pour leurs abonnés.

C'est la technologie la moins coûteuse car il n'y a pas de matériel à mettre en place, cette localisation est très rapide (moins de 5 secondes) mais elle est peu précise, car elle dépend du nombre d'antennes relais et de leur rapprochement, (plus l'antenne est isolée plus la zone de couverture est vaste et moins la localisation est précise) en zone urbaine la précision varie entre 100 et 700 mètres alors qu'en zone rurale cela peut aller jusqu'à 10 kilomètres.

#### **II.5.1.2. Cell-ID combiné avec Timing Advance(avance de synchronisation)**

Pour remédier au manque de précision de la méthode Cell-ID, la valeur du 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).



*Figure*

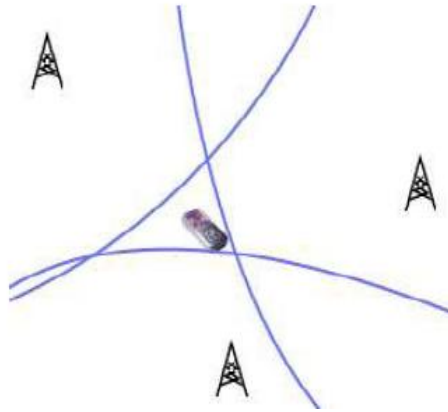
**II.11.** Cell-ID avec Timing Advance

#### **II.5.2. 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 RSS, cette technique est liée à la puissance reçue à une MS.

Cette méthode utilise la force du signal pour déterminer la position de la station mobiles 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 II.12.* La puissance du Signal

**a- Avantage :**

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

**b- Inconvénient :**

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

**II.5.3. Angle d'arrivée (AOA)**

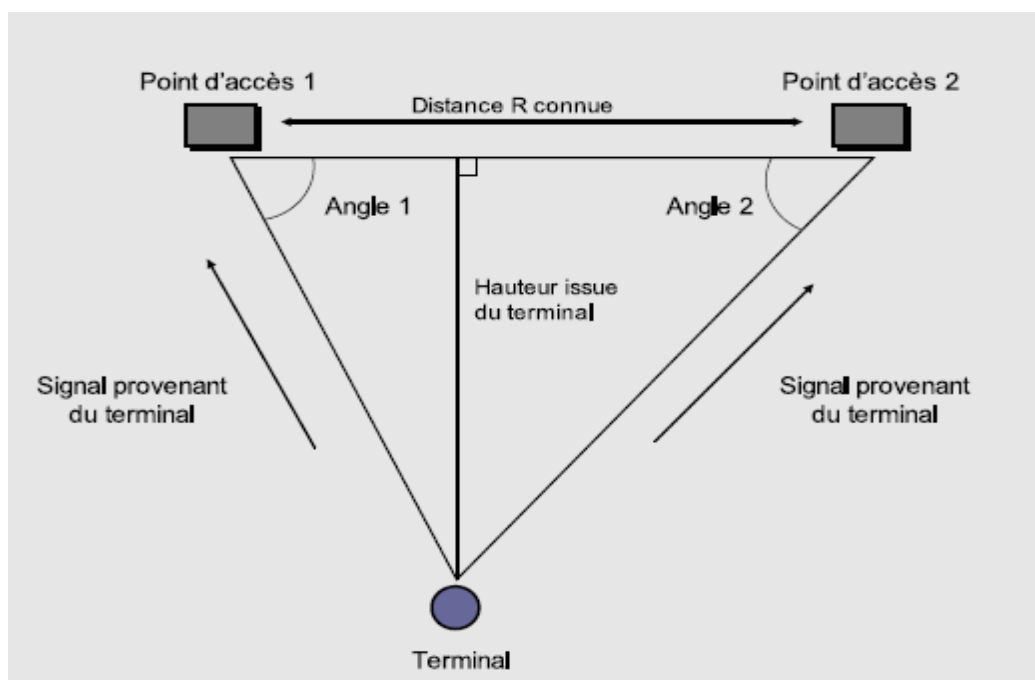
Cette technique est basée sur l'exploitation des angles d'incidence des signaux émis par l'objet mobile au niveau d'au moins deux points de réception. L'estimation des angles d'arrivée se fait à l'aide des antennes directives ou des réseaux d'antennes utilisées conjointement avec des méthodes à haute résolution.

La position de l'émetteur est donnée par l'intersection des droites passant par chaque récepteur et d'angle les AOA calculés par rapport à une référence arbitraire, est couramment

utilisée dans de nombreuses applications de radiogoniométrie, et présente certains avantages mais aussi certains inconvénients, concernant les caractéristiques des antennes par exemple.

### II.5.3.1. Principe :

La technique AOA se base sur un principe de triangulation pour cette méthode, les signaux émis par un terminal sont interceptés par deux points d'accès 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, 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.



**Figure II.13.** Méthode de géolocalisation basée sur l'angle d'arrivée

Sur chaque station relais est installé un système typiquement de 4 à 8 antennes directionnelles (caractérisées par un certain angle de réception) couvrant toutes les directions d'intérêt, l'antenne qui pointe directement dans la direction de l'émetteur

(téléphone mobile) va recueillir un signal plus fort que celui recueilli par les antennes pointant d'autres directions, ainsi en comparant les amplitudes des signaux reçus par



chaque antenne, il est possible d'établir l'angle d'arrivée du signal sur la station relais le temps de localisation est d'environ 5 secondes et la précision est de 125 mètres en milieu urbain à 4 kilomètres en milieu rural.

**a- Avantage :**

- 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 [12]

**b- Inconvénient :**

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 urbaine -- 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.

De plus, en environnement NLOS en présence des trajets multiples, la précision de l'estimation est fortement affectée

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

**II.5.3.2. Les caractéristiques de AOA**

<b>Critère</b>	<b>Spécification</b>
Précision	Dépend de la distance de la station mobile et le nombre de BTS employés. 300m avec deux BTS dans un milieu urbain et 200m Avec trois BTS.

Disponibilité	Indisponible pour les réseaux GSM sans modification des BTS employée, une visibilité directe LOS exigée.
Impact (Equipement mobile)	Pas de changements exigés
Impact (réseau)	Nécessite l'installation d'antenne complexe
Compatibilité	Compatible avec les réseaux cellulaires 3G si les antennes complexes sont disponibles.

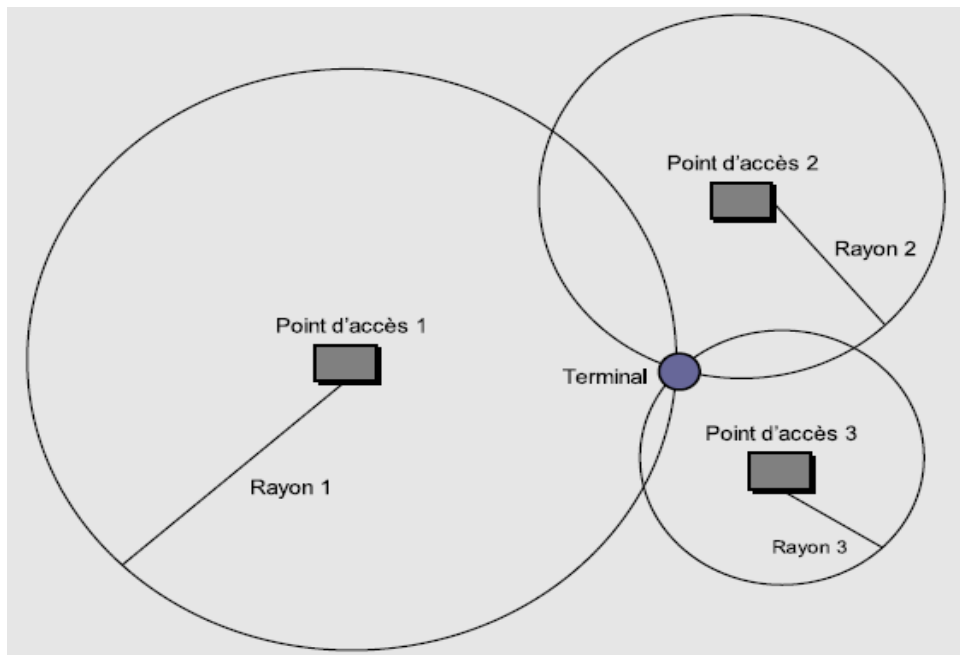
**Figure II.14.** Les caractéristiques de AOA

#### **II.5.4. Le temps d'arrivée TOA**

Cette technologie 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, on suppose que ce temps soit proportionnel à la distance qui sépare le téléphone mobile de la station de base pour estimer la position de l'utilisateur, les stations de base doivent également être équipées de « Location Measurement Units » qui leur 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.

##### **II.5.4.1. Principe :**

La méthode TOA 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



**Figure II.14.** Méthode de géolocalisation basée sur le temps d'arrivée

La méthode TOA nécessite que les équipements possèdent des horloges précises et qu'elles soient toutes synchronisées entre elles.

**a- Avantage :**

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

**b- Inconvénient**

- 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
- le coût de cette méthode est relativement élevé par rapport à la performance qu'elle offre en matière de précision

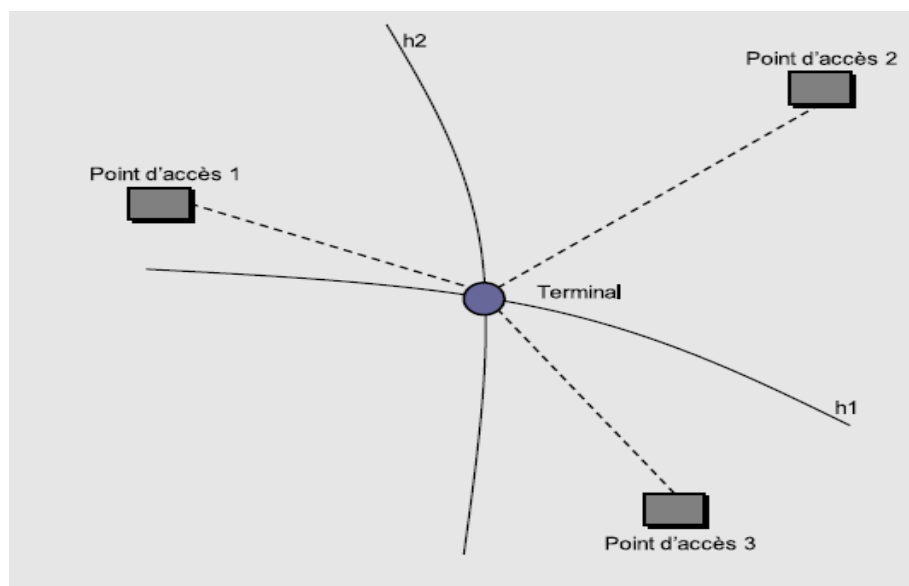
**II.5.5. La différence de temps d'arrivée TDOA**

Cette technique repose sur la mesure du temps exact d'arrivée du signal émis par le téléphone portables à plusieurs antennes relais (minimum trois). Les ondes radio se déplaçant à la vitesse de la lumière et la distance entre les antennes relais étant connue, il est possible, en calculant la différence de temps d'arrivée du signal aux différentes antennes relais considérées, de déterminer par couple d'antennes les hyperboles sur lequel le téléphone

portable peut être localisé. La différence de temps d'arrivée à deux antennes relais est en effet traduite en différence constante de distance du téléphone portable à ces deux stations relais. L'intersection des hyperboles indique la position. La précision du système dépend de la position relative des antennes relais. Il faut également assurer une bonne synchronisation des horloges des antennes relais. Une erreur d'une microseconde peut se traduire par une erreur de position de 300m.

La technologie TDOA est composée en deux parties : la partie TDOA en liaison montante

U-TDOA utilisé dans le cas où l'utilisateur du téléphone portable veut savoir sa localisation et la deuxième partie est TDOA en liaison descendante appelée dans GSM la différence de temps d'arrivée optimisée (E-OTD) utilisé dans le cas où une autorité veut savoir ou se localise l'équipement mobile.



*Figure II.15.* Méthode de géolocalisation basée sur la TDOA

### **II.5.5.1. Principe :**

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 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. [12]

**a- Avantage :**

- Paramètres généralement bien estimés
- Algorithme de positionnement simple
- Précision plus élevée en milieu confiné
- Pas besoin de synchronisation d'horloge entre le mobile et les stations de base
- aucune modification au terminal n'est nécessaire.

**b- Inconvénient :**

- 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]

## II.6. Comparaison de la précision des différentes méthodes

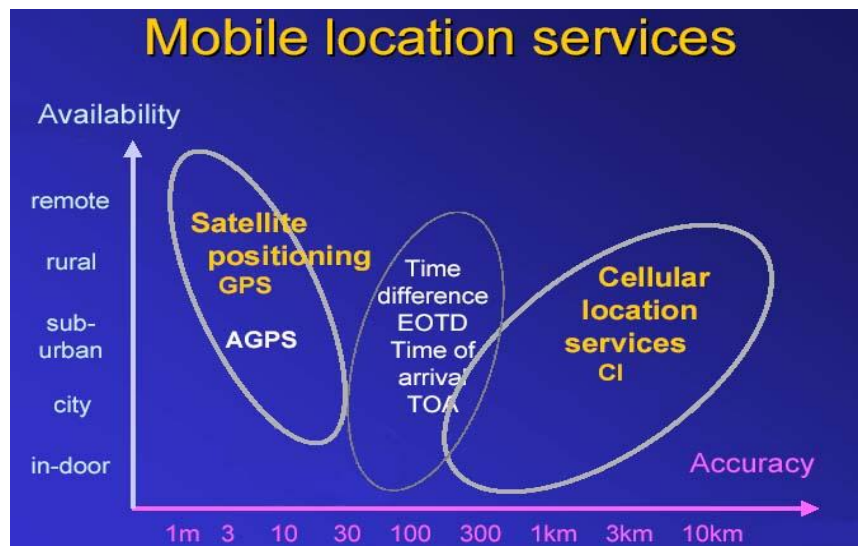


Figure II.16. Comparaison des techniques de géolocalisation

La plage de précision pour la localisation d'un mobile s'étend de 30 m à plus de 10 km. Cette précision varie en fonction de la méthode utilisée, pour le positionnement et du lieu géographique (ville, campagne, montagne, etc.).

## **II.7. Les sources d'erreurs qui peuvent fausser les résultats d'une méthode de localisation :**

- Inexactitude des coordonnées de la station de base, notamment pour la technique « Cell-ID » qui suppose que la position d'un terminal est équivalente à celle de la cellule radio à laquelle le terminal est connecté.
- Inexactitude de l'horloge qui permet la synchronisation des stations de base, par exemple pour « Time of Arrival ».
- Mauvaise disposition des stations de bases, par exemple le fait qu'elles soient alignées le long d'une autoroute ou trop proches les unes des autres augmente le risque d'erreurs.

## **II.8. La trilatération et la triangulation**

Les deux techniques de base pour la localisation sont la trilatération et la triangulation. Elles reposent sur des propriétés très simples et bien connues des triangles. La trilatération consiste à s'appuyer sur trois points de référence, c'est à dire des nœuds dont on connaît la position, et sur les distances qui les séparent du nœud dont on cherche à estimer la position. Cette dernière correspond alors au point d'intersection des trois cercles. La triangulation est semblable à la trilatération puisqu'elle s'appuie également sur trois nœuds de référence. La position est calculée à partir de leurs angles d'incidence. Les deux principes seront détaillés en annexe. [14]

## **II.9. Conclusion**

Dans ce chapitre, on a donné des généralités sur le réseau GSM et puis on a présenté les différentes méthodes qui permettent de déterminer la position d'un équipement, parmi ces méthodes la : cell-ID, la AOA, la TOA, et la TDOA. La technique TDOA qui sera détaillée en chapitre 3 exige des modifications dans l'infrastructure GSM et l'ajout de certains éléments pour rendre actif le service de localisation, cette technique a besoin d'au moins trois BTS pour fonctionner et sa précision augmente en augmentant le nombre de BTS participant par contre la technique AOA emploie des antennes complexes et n'a besoin que de deux BTS pour fonctionner.

La méthode basées par TDOA qui sera détaillé dans le chapitre suivant offre plusieurs avantages par rapport aux méthodes précédentes elle est moins chère de mettre en place que la méthode AOA. [15]

## Chapitre III : La différence de temps de l'arrivée (TDOA)

### III.1. Introduction

Le présent chapitre est consacré à la technique TDOA, on explicite les points forts et les points faibles de la méthode de géolocalisation de signal fondée sur la différence entre les instants d'arrivée (TDOA, *time-difference-of-arrival*). La méthode TDOA consiste quant à elle à calculer la différence entre les instants d'arrivée d'une onde en plusieurs points de mesure, et à calculer le point source.

La méthode TDOA s'avère de plus en plus utile en raison de la disponibilité de calculateurs puissants qui sont compacts et peu onéreux, de récepteurs radio évolués, de liaisons de données accessibles facilement et d'un signal de rythme distribué qui est précis.

La base de la méthode TDOA c'est que si un signal produit par un téléphone dans certain endroit, arrive à deux récepteurs ou plus séparés dans l'espace les variations de la distance aura comme conséquence différentes temps de voyage de signal à chaque récepteur, Par conséquent chaque récepteur rencontrerait le signal avec un temps différent, les différences résultantes dans le temps d'arrivée ont pu alors être employées pour calculer l'endroit du mobil. [16]

### III.2. Principe

La technique TDOA consiste à mesurer l'instant d'arrivée d'un signal RF en plusieurs points de l'espace, et à comparer la différence entre les instants mesurés à chaque récepteur, la méthode classique utilisée pour estimer la différence TDOA consiste à calculer la corrélation croisée d'un signal arrivant à deux récepteurs, cette estimation correspond au délai qui maximalise la fonction de corrélation croisée, si on connaît l'emplacement de chaque récepteur on peut alors en déduire une estimation de l'emplacement du mobil, sous réserve que tous les récepteurs soient synchronisés temporellement.

Un exemple de calcul de TDOA est présenté en utilisant des données rassemblées pendant une épreuve, La source acoustique est un mobil produisant un signal.

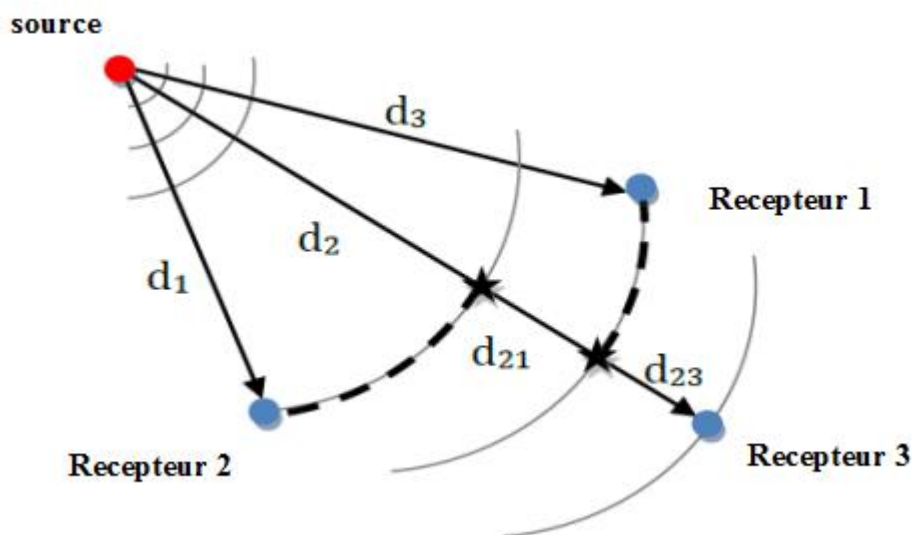
le signal a été enregistré au taux du prélèvement 2000Hz, en utilisant 2000 échantillons (enregistrement de signal d'une seconde), Pour obtenir une meilleure localisation de la méthode emploie un délai d'arrivée des vagues électriques, la mesure de différence entre les instants d'arrivée d'une onde en plusieurs points s'avère de plus en plus utile en raison de la disponibilité de calculateurs puissants qui sont compacts, de récepteurs radio évolués de liaisons de données accessibles facilement et d'un signal de rythme distribué qui est précis.



Depuis une mesure de force de signal fournit une évaluation de distance entre le mobile et la station de base, le mobil devez trouver sur un cercle centré à la station de base la TDOA exigent seulement que les récepteurs soient fixes et ont des horloges avec précision synchronisé rendant la TDOA plus réaliste.

### III.3. La Géométrie De la technique TDOA

La technique TDOA peut être visualisée comme un ensemble de points dans l'espace, un point de source se dirige ver différent récepteur comme le montre la figure , chaque point de récepteur est une distance inconnue de la source, la période de voyage d'un signal provenant de ce point de source changerait entre les récepteurs dus à toutes les différences dans ces distances, si chaque récepteur enregistre le temps où ils rencontrent le signal, un ensemble TDOAs peut être calculé, les différences dans la distance peuvent alors être déterminées directement à partir de ces TDOA.



*Figure III.3.* La géométrie de la technique TDOA

La figure représente La géométrie de la technique TDOA elle se composant d'une source simple, un téléphone par exemple et de trois récepteurs avec des distances séparées, les différences dans la distance ont comme conséquence les différences dans le temps d'arrivée.

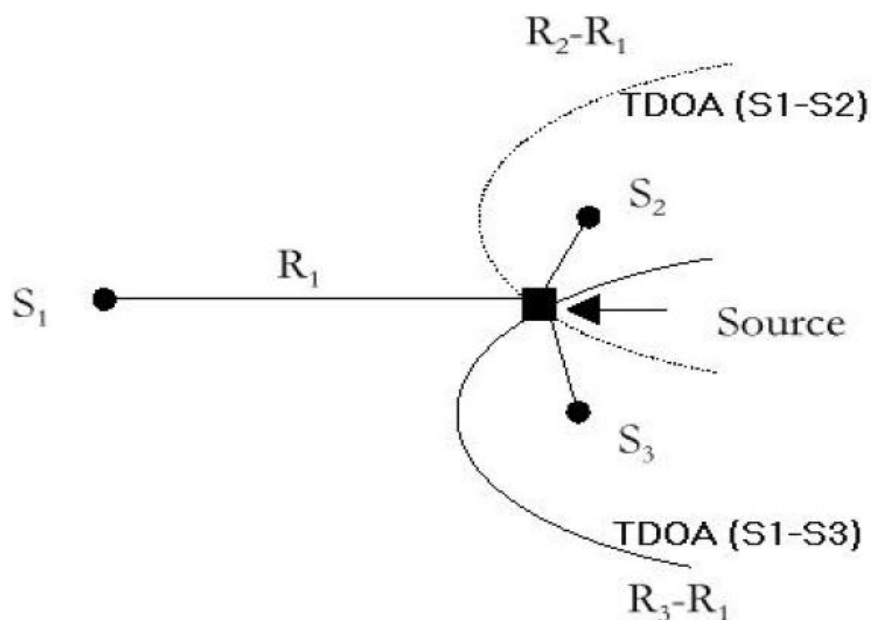
### III.4. La position d'un mobil par TDOA

La TDOA est fondamentalement une amélioration de la méthode TOA l'idée derrière TDOA doit déterminer la position relative de l'émetteur mobile, en examinant la différence de temps ou le signal arrive aux stations de base, par conséquent chaque mesure de TDOA détermine que l'émetteur doit se trouver sur un hyperboloïde avec une différence constante de gamme entre les deux BTS , l'équation pour cette différence de gamme est donnée par :

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} - \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2 + (Z_j - z)^2} \quad (\text{III-1})$$

là où les coordonnées  $(X_i, Y_i, Z_i)$  et  $(X_j, Y_j, Z_j)$  représentent les BTS de position fixes i et j, et x, y, et z représentent la coordonnée inconnue de mobil.

Comme dans la méthode de TOA la TDOA exige que tous les émetteurs fixes, et les récepteurs dans le système aient avec précision synchronisé des horloges.



**Figure III.4.** La méthodes TDOA

La distance du mobil et la BTS peut alors être calculée en utilisant la formule de distance:

$$\mathbf{d}_i = \sqrt{(\mathbf{X}_i - \mathbf{x})^2 + (\mathbf{Y}_i - \mathbf{y})^2 + (\mathbf{Z}_i - \mathbf{z})^2} \quad \text{(III-2)}$$

Une formule additionnelle peut être employée pour calculer cette distance basée sur la période de voyage du signal en question, cette formule calcule la distance voyagée par un objet mobile, étant donné que les signaux électromagnétiques voyagent à une vitesse connue, la vitesse de la lumière (c) la distance voyagé par le signal en question à un récepteur peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{c} * \mathbf{t}_i \quad \text{(III - 3)}$$

$\mathbf{t}_i$  : la période de voyage du signal a la BTS.

$\mathbf{C}$  : la vitesse de la lumière.

Pendant que l'endroit de la source et les temps de voyage des signaux sont inconnus, ces distances ne peuvent pas être calculées directement de ces équations, cependant un système des équations pour les récepteurs multiples(BTS), peut être employé pour indiquer exactement la source.

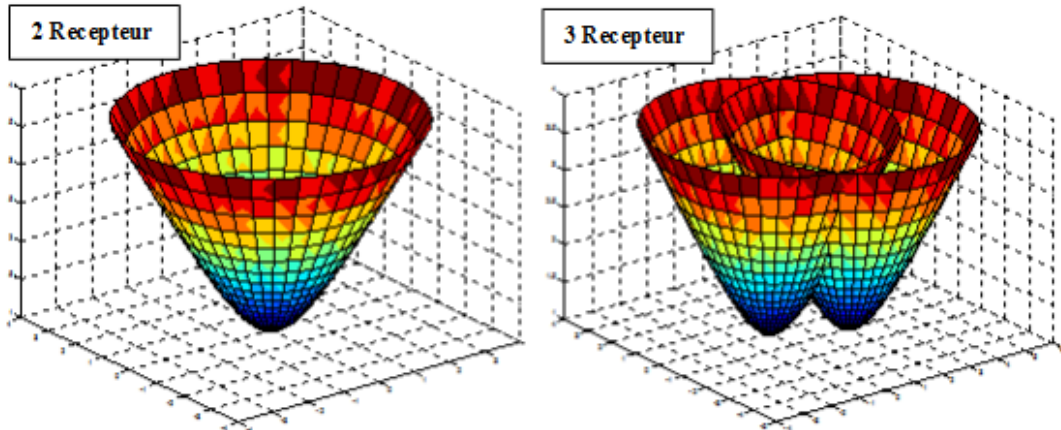
Considérons deux récepteurs i et j et leurs distances calculées avec leur temps de voyage:

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{c} * \mathbf{t}_i \quad \text{et} \quad \mathbf{d}_j = \mathbf{c} * \mathbf{t}_j \quad \text{Alors} \quad \mathbf{d}_{ij} = \mathbf{c} * (\mathbf{t}_i - \mathbf{t}_j)$$

Lorsque  $\mathbf{d}_{ij} = \mathbf{d}_i - \mathbf{d}_j$  , Notons que  $\mathbf{t}_i - \mathbf{t}_j$  est la TDOA entre les récepteurs il est possible de calculer une position à chaque différence dans les distances d'une source de signal entre deux récepteurs. Comme le montre l'équation suivante.

$$\mathbf{d}_{i,j} = \sqrt{(\mathbf{X}_i - \mathbf{x})^2 + (\mathbf{Y}_i - \mathbf{y})^2 + (\mathbf{Z}_i - \mathbf{z})^2} - \sqrt{(\mathbf{X}_j - \mathbf{x})^2 + (\mathbf{Y}_j - \mathbf{y})^2 + (\mathbf{Z}_j - \mathbf{z})^2}$$

(III – 4)



*Figure III.5.* Hyperboloïdes des endroits

Chaque hyperboloïde est calculé à partir d'un TDOA entre deux récepteurs deux hyperboloïdes ramènent les endroits possibles à deux points, trois ramène l'endroit possibles à un seul point les intersections de plusieurs hyperboloïdes peuvent être employées pour réduire le nombre d'endroits possibles de la source.

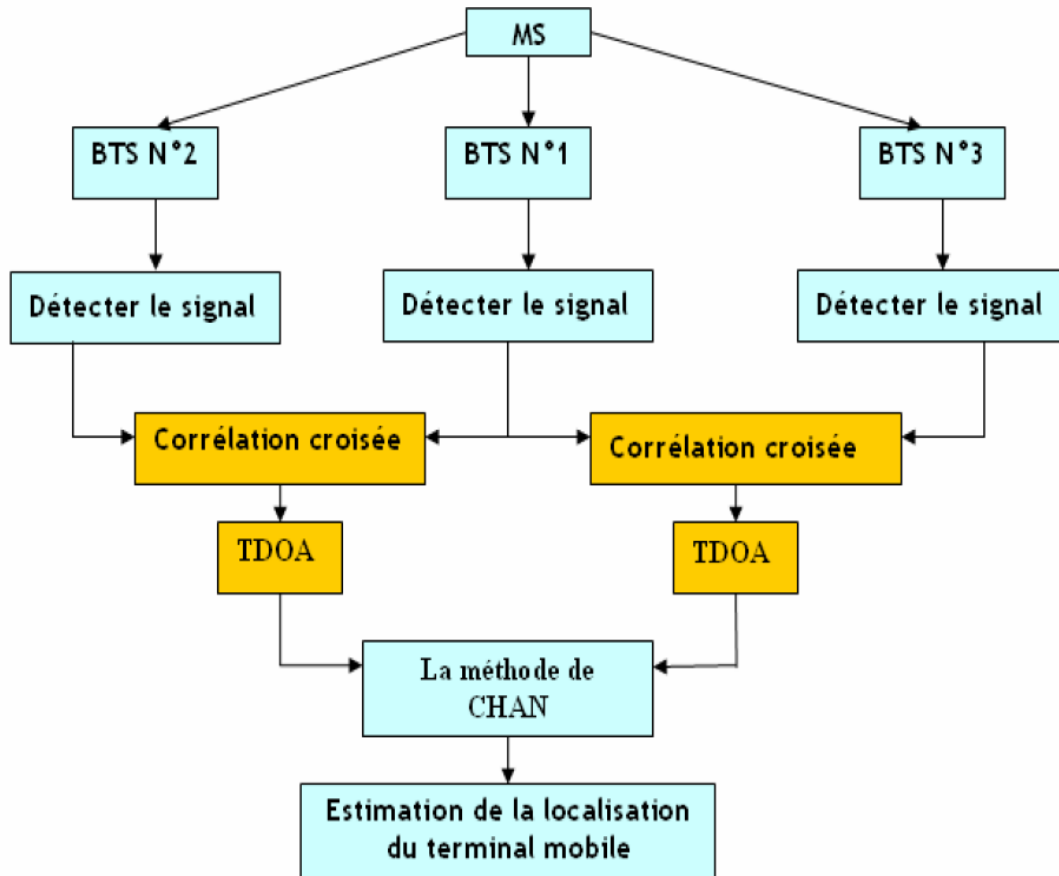
### **III.5. Les étapes de calcul de la position du terminal mobile par TDOA**

La localisation du terminal mobile passe par plusieurs étapes :

- Les stations de base voisines détectent le signal venu de la MS, à partir de ce signal on peut calculer la distance  $d$  entre BTS et MS puis déduire le temps d'arrivée  $T$ .
- Déterminer la différence du temps d'arrivée entre la BTS serveur et les autres BTS secondaires en effectuant la corrélation croisée entre signaux reçus au niveau des BTS.

– Les mesures TDOA peuvent être converties à des équations hyperboliques, ces équations sont non linéaires, on utilise la méthode de Chan pour les rendre linéaires puis les résoudre afin de déterminer les coordonnées (x, y) du terminal mobile. [17]

Le schéma suivant montre les étapes de calcul de la position du terminal mobile



*Figure III.6.* Processus de localisation du terminal mobile

### III.5. 1. La méthode de corrélation croisée

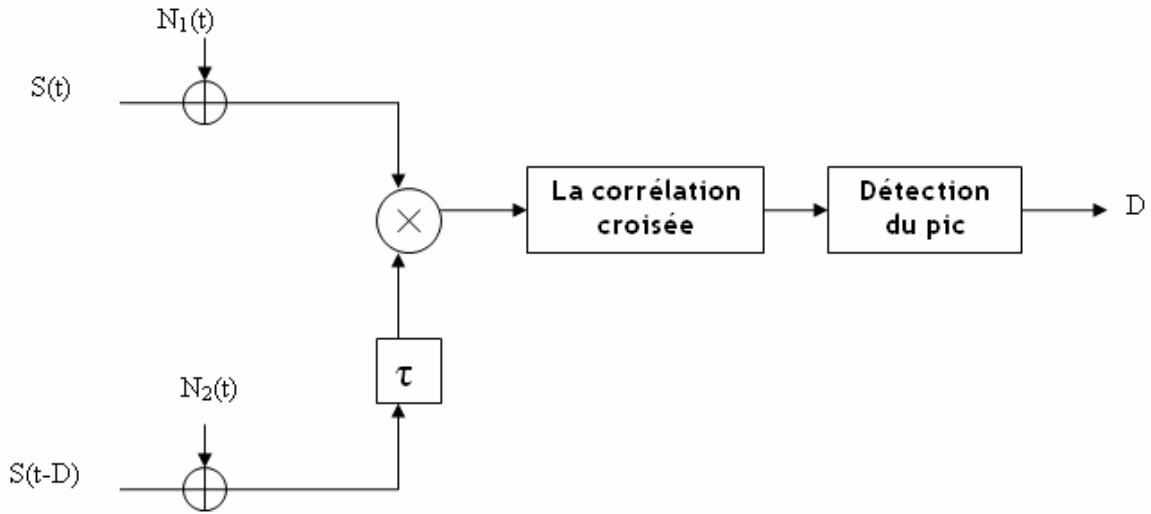
Le maximum de la fonction de corrélation croisée des deux signaux reçus au niveau de deux BTS détermine le délai d'arrivée entre ces deux signaux, les signaux reçus au niveau de chaque BTS sont écrits comme suit

$$X_1(t) = S(t) + N_1(t) \quad (\text{III} - 5)$$

$$X_2(t) = S(t - D) + N_2(t) \quad (\text{III} - 6)$$

Avec  $S(t)$  le signal émis par la MS,  $N_1(t)$  et  $N_2(t)$  représentent le bruit affectant le signal et  $D$  le retard entre la réception des signaux  $X_1(t)$  et  $X_2(t)$ .

Ce modèle suppose que  $S(t)$  n'est pas corrélé avec les bruit  $N1(t)$  et  $N2(t)$ , le schéma ci-dessous présente la méthode de la corrélation croisée:



**Figure III.7.** Processus de la corrélation croisée

$$R_{X1X2}(\tau) = E[X1(t)X2(t + \tau)] \quad \text{(III -7)}$$

**Alors**  $R_{X1X2} = E[(S(t) + N1(t)) (S(t + \tau) - D) + N2(t + \tau)]$  (III -8)

$$R_{X1X2}(\tau) = E[(S(t).S(t + \tau - D) + S(t).N2(t + \tau) + N1(t).S(t + \tau - D) + N1(t).N2(t + \tau)]$$
 (III -9)

$$R_{X1X2}(\tau) = R_{SS}(\tau - D) + R_{SN2}(\tau) + R_{SN1}(\tau) + R_{N1N2}(\tau)$$
 (III -10)

**On a**  $R_{SN2}(\tau) = R_{SN1}(\tau) = R_{N1N2}(\tau) = 0$  (III -11)

$$R_{X1X2}(\tau) = R_{SS}(\tau - D)$$
 (III -12)

On déduit que la fonction de corrélation croisée entre deux signaux reçus est égale à la fonction d'autocorrélation du signal émis retardée du délai D, sachant que la fonction de corrélation est maximum à la valeur 0, c'est-à-dire pour  $j -D = 0$ .

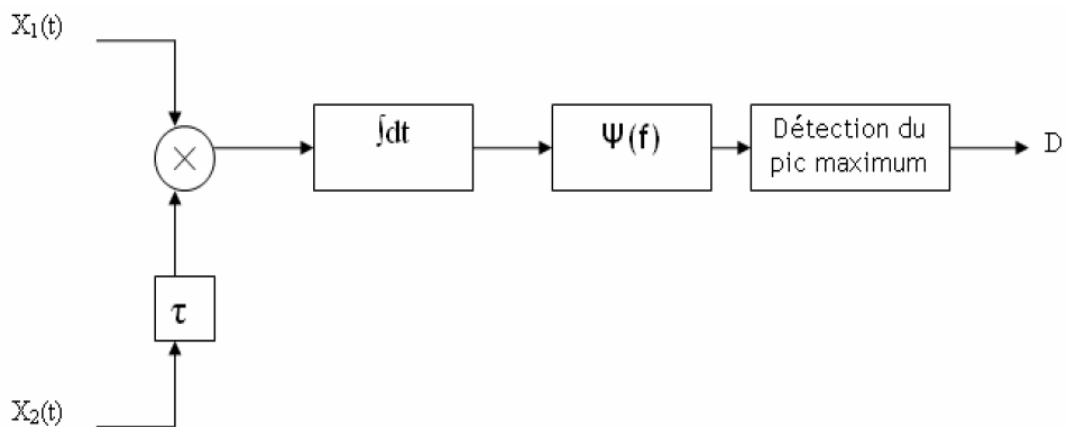
Donc la fonction de corrélation est maximum pour  $j = D$  qui représente la différence de temps d'arrivée.

$$D = \mathit{arg\ max}[R_{X_1X_2}(\tau)] \quad (\text{III} - 13)$$

### III.5. 2. Estimation de TDOA par la corrélation croisée généralisée (GCC) avec la méthode de phase (PHAS Transform (PHAT)):

C'est une méthode plus robuste que CC qui permet de rendre plus précis (pointu) le maximum de la fonction de corrélation croisée, on utilise dans cette technique la fonction de pondération dont le rôle est de blanchir le signal d'entrée avant le calcul de la corrélation croisée afin de réduire l'effet du bruit, le diagramme de la corrélation croisée généralisée est présenté dans la figure ci-dessous.

PHAT (Phase Transform) est une procédure GCC qui a connue un intérêt considérable grâce à sa capacité d'éviter les causes d'étalement du maximum de la fonction de corrélation [17].



**Figure III.8.** Processus de corrélation croisée généralisée avec filtre PHAT

L'expression mathématique de GCC est :

$$R_{X_1X_2}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi_p(f) \cdot G_{X_1X_2}(f) \cdot \exp(j2\pi ft) df \quad (\text{III} - 14)$$

$$\varphi_p(f) = \frac{1}{|G_{X_1X_2}|} \quad (\text{III} - 15) \quad \text{est la fonction du filtre PHAT}$$

$$D_P = \mathit{arg\ max} [R_{X1X2}(\tau)] \quad (\text{III} - 16)$$

$G_{X1X2}(f)$  est le spectre de la fonction de corrélation croisée du signal reçu,  $\phi_p(f)$  est la fonction de pondération PHAT.

L'information de retard du temps est présente dans la phase des différentes fréquences et n'est pas affecté par le filtre, car ce dernier tend à optimiser la vraie valeur du retard et supprimer les faux retards, cette méthode est très efficace en environnement indoor avec réverbérations modérées et peut facilement choisir le pic le plus grand comme le vrai retard [18].

$$R_{X1X2}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left( \frac{1}{|G_{X1X2}(f)|} \right) \cdot G_{X1X2}(f) \cdot \exp(j2\pi f\tau) df \quad (\text{III} - 17)$$

$$R_{X1X2}(\tau) = R_{SS}(\tau - D) \quad (\text{III} - 18)$$

On sait que alors

$$G_{X1X2}(f) = G_{SS}(f) \cdot \exp(-j2\pi fD) \quad (\text{III} - 19)$$

D'où

$$R_{X1X2}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left( \frac{1}{|G_{SS}(f) \cdot \exp(-j2\pi fD)|} \right) (G_{SS}(f) \cdot \exp(-j2\pi fD) \cdot \exp(j2\pi f\tau)) df \quad (\text{III} - 20)$$

$$R_{X1X2}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \exp(-j2\pi fD) \cdot \exp(j2\pi f\tau) df \quad (\text{III} - 21)$$

Un intégral avec LHS réduit le résultat à une fonction Dirac retardée de D :

$$R_{X1X2}(\tau) = \delta(\tau - D) \quad (\text{III} - 22)$$

## III.6. Avantages et inconvénients de la technique TDOA

### a- avantages



Plusieurs avantages sont inhérents avec cette méthode l'avantage le plus prononcé est la capacité d'indiquer exactement un endroit exact du mobil dans l'espace, plutôt que de déterminer seulement une direction typiquement un système de positionnement de TDOA exigerait peu d'antennes cependant si un système de positionnement est nécessaire seulement pour l'azimut dans un champ visuel étroit, alors le système de TDOA exigera réellement plus de composants que d'autres systèmes.

- Très bonne précision
- Les récepteurs TDOA peuvent employer une seule antenne simple (par exemple une antenne unipolaire ou une antenne doublet).
- Les Signaux sont à large bande et à faible rapport signal/bruit, et de courte durée
- les systèmes TDOA peuvent effectuer une géolocalisation en utilisant des mesures de très courte durée sur des signaux de durée plus longue.
- Réduction du brouillage cocanal cohérent (trajets multiples) dans certaines conditions.
- Avec une largeur de bande de signal suffisante, la méthode TDOA est moins sensible à la distorsion du front d'onde due aux obstacles locaux (trajets multiples locaux).

#### **b-Inconvénients :**

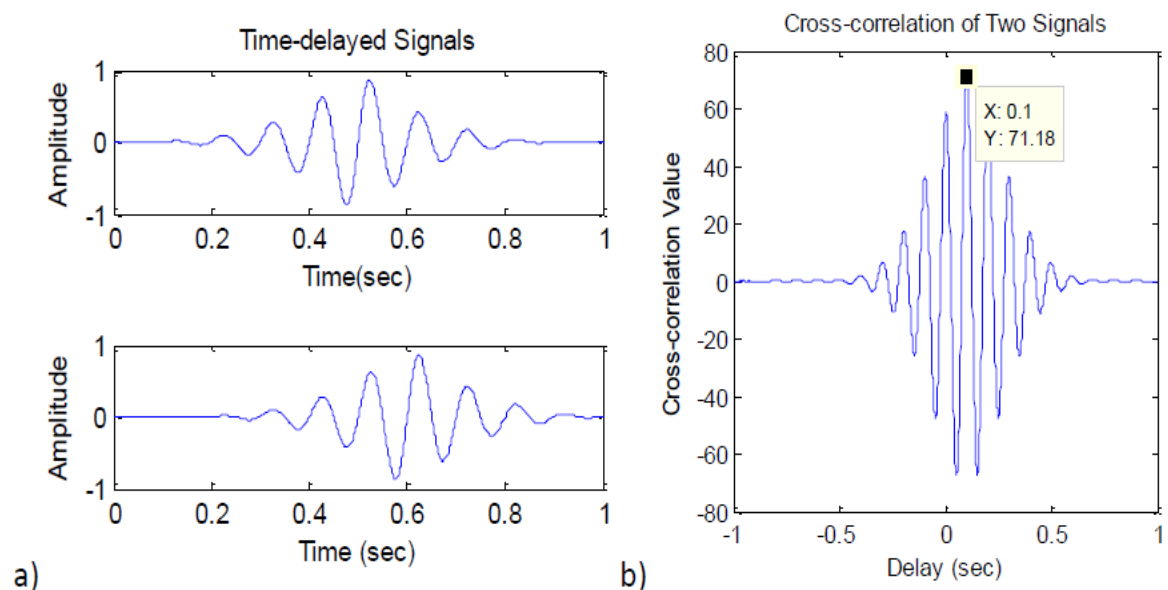
Pour un champ visuel limité ce système exigera plus de composants, la position est placée dans 2d d'espace l'emploi de TDOA exige trois récepteurs afin de localiser un point. III.7. Vitesse de Géolocalisation

D'une manière générale les signaux échantillonnés sont transmis à un serveur pour effectuer la Géolocalisation et une liaison lente peut nettement la retarder.

L'utilisation de liaisons de données ayant une bande plus large permet d'améliorer la vitesse de géolocalisation TDOA le recours à des durées d'observation plus courtes et/ou à des techniques de compression évoluées permet également de réduire la largeur de bande nécessaire pour les données. Une fois que les mesures ont été transmises à un serveur central, les géolocalisations TDOA sont beaucoup plus rapides car elles sont effectuées à partir de données enregistrées localement

### III.8. Cas pratique de TDOA

Le calcul de TDOA est exécuté par des corrélations croisées entre les signaux d'entrée des paires d'antennes le schéma 32 illustre un exemple de deux signaux et leurs résultats de corrélation croisée le nombre de décalages qui rapporte le rendement maximal de la corrélation croisée est délai entre les deux signaux en exécutant des corrélations croisées pour quatre paires de récepteurs des paire 1-2, 1-3, 3-2, et 3-4), les quatre TDOAs nécessaires pour l'endroit de position peuvent être calculés.



**Figure III.9.** a) Deux signaux retardés à temps par 1/10 seconde. b) Corrélation croisée des deux signaux.

Pour simplifier notre propos, nous supposons que le système TDOA utilise une détection fondée sur une corrélation croisée, et que les récepteurs de mesure transmettent les signaux échantillonnés à un serveur central en vue de déterminer les différences TDOA. Pour la plupart des applications de contrôle du spectre, cette méthode est celle qui est préférée à la fois pour ses performances en matière de localisation et pour sa souplesse.

### III.9. Conclusion

Dans ce chapitre on a décrit une vue générale de la technique de localisation TDOA qui est fondée sur la différence entre les instants d'arrivée on a illustré quelque avantage et inconvénient, en conclu que la méthode TDOA est une technique de géolocalisation complémentaire, elle s'avère de plus en plus utile en raison de la disponibilité de calculateurs puissants qui sont compacts et peu onéreux, de récepteurs radio évolués, le traitement par

corrélation utilisé dans la méthode TDOA permet de supprimer les signaux de bruit, et de brouillage cocanal simultanés qui ne sont pas corrélés entre les sites ainsi, des mesures coordonnées dans le temps sont réalisées à tous les récepteurs, et le prochaine chapitre on traitera la simulation de cette méthode.

## Chapitre V : Simulations de la techniques TDOA

### IV.1. Introduction

Dans ce chapitre on a effectué la simulation de la technique TDOA avec la méthode de corrélation croisée CC, et la méthode de corrélation croisée généralisée GCC utilisant le filtre PHAT (Phase Transform). Pour la méthode CC le signal reçu à une station de base dite serveur est corrélée avec un autre signal reçu dans une autre station de base secondaire, et voisine de la station mobile la méthode GCC-PHAT est une corrélation croisée en espace fréquentielle utilisant la méthode de phase qui effectue le pré filtrage du signal avant la corrélation.

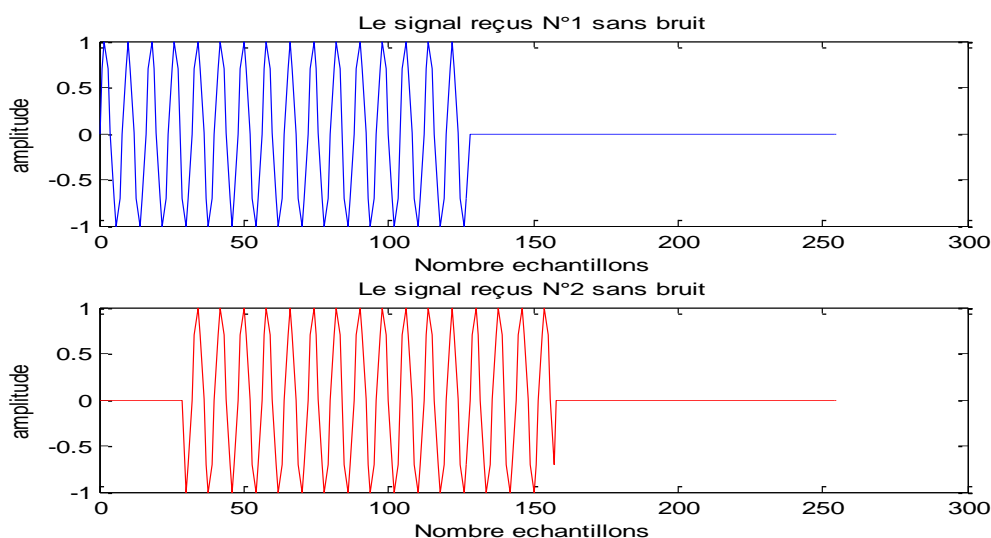
### IV.2. Résultats de la Simulation

Dans la simulation, on a utilisé le logiciel matlab, La raison de choisir ce logiciel est que c'est un logiciel performant et a plus de choix flexibles pour supporter la simulation.

#### IV.2.1. Estimation de TDOA par la corrélation croisée (CC)

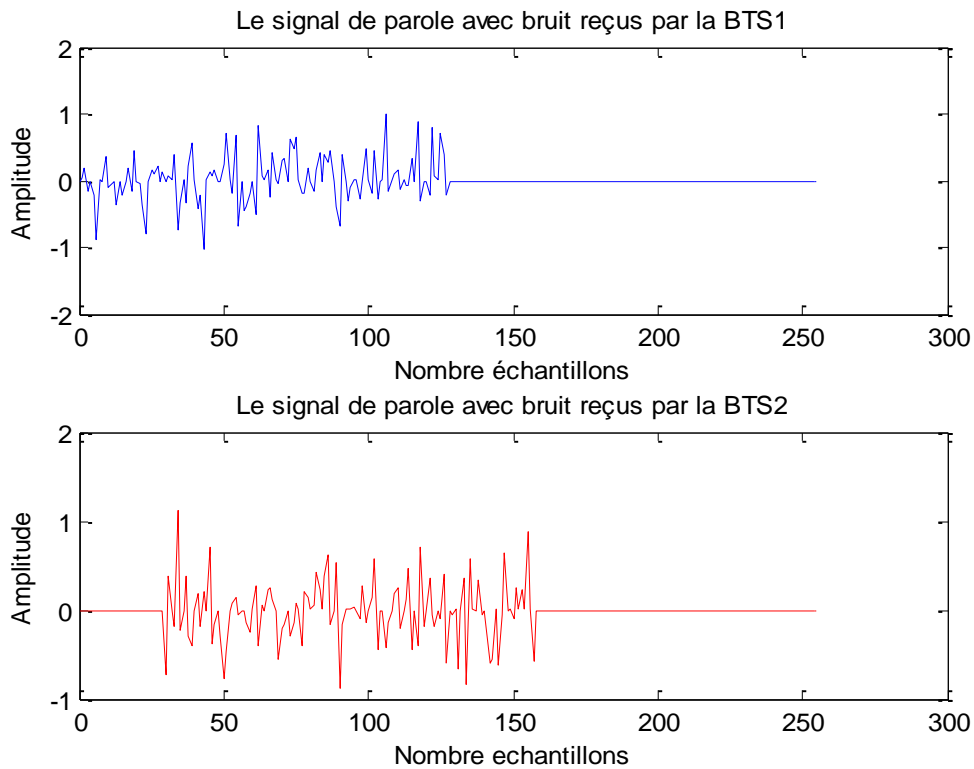
##### *IV.2.1.1. Cas d'un signal périodique*

En première cas on considère que le signal émis est un signal sinusoïdal avec 128 échantillons et une fréquence d'échantillonnages égale à 8KHz et avec une fréquence du signal  $f_1=1\text{KHz}$ , on suppose que les deux signaux reçus sont retardés de 30 échantillons et affectés à un bruit gaussien le schéma suivant montre les deux signaux reçus sans bruit.



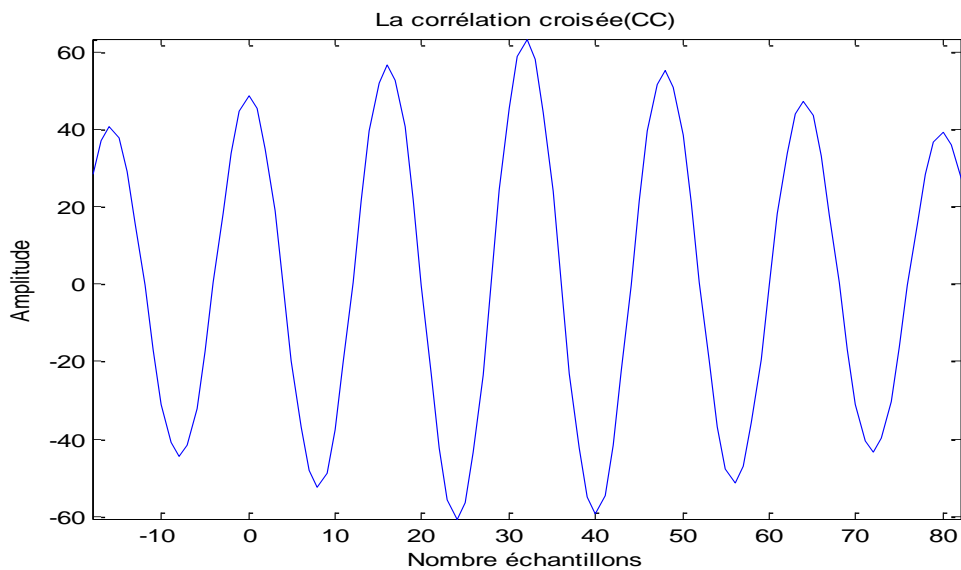
**Figure IV.1.** signaux reçus en absence du bruit

La figure ci-dessous présente les deux signaux reçus en présence du bruit pour chaque récepteur :



**Figure IV.2.** Signaux reçus au niveau des récepteurs en présence du bruit atténué par un facteur de deux

La figure suivante présente l'estimation de différence du temps d'arrivée entre les deux signaux qui est le maximum de la courbe.



**Figure IV.3.** La corrélation croisée en absence de bruit

On remarque que le résultat donne un sinus cardinal dont l'origine correspond à la valeur maximale qui est 30 échantillons. Alors on a

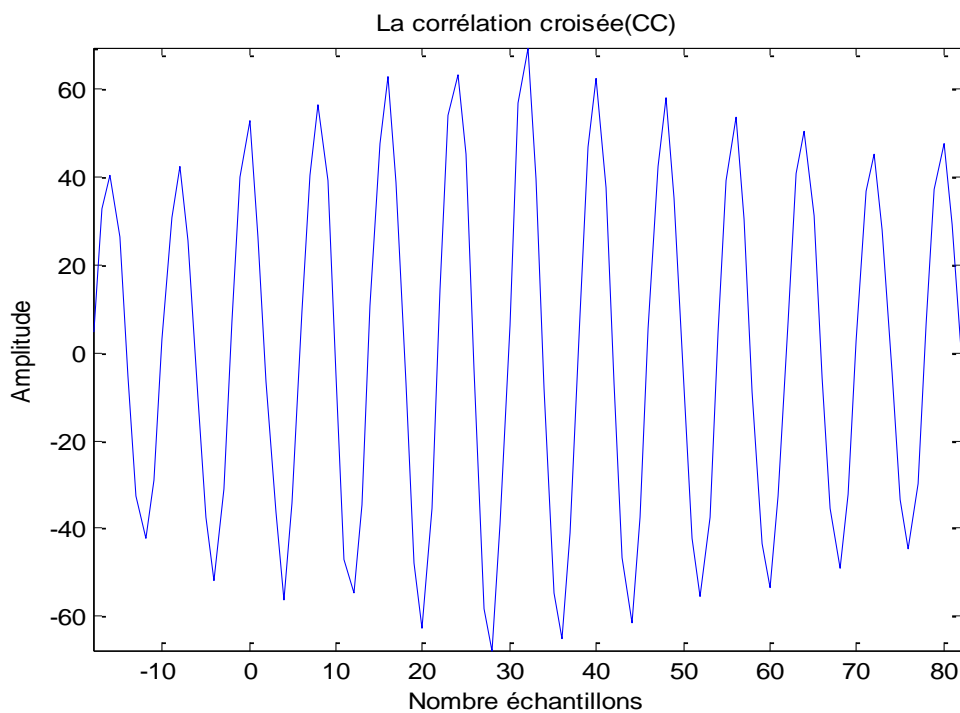
$$\text{TDOA} = 30. T_s \quad \text{Avec} \quad T_s = 125 \mu\text{s}$$

Alors

$$\text{TDOA}_{12} = 3,75\text{ms}$$

En présence de bruit atténué par un facteur de deux, on a la figure suivante qui donne presque le même résultat

:



*Figure IV.4.* La corrélation croisée en présence de bruit atténué par deux

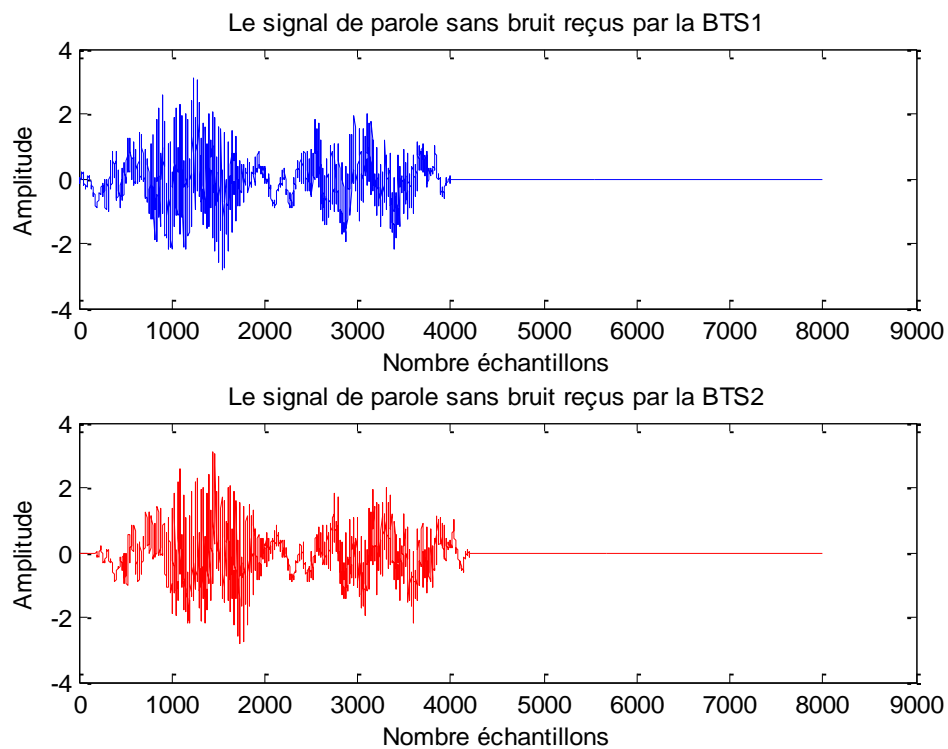
#### *IV.2.1.2. Cas d'un signal de parole*

En deuxième cas on considère que le signal de parole mtlb qui appartient à la bibliothèque matlab est le signal émis, ayant une fréquence d'échantillonnage de 7418Hz et une durée de 0,55s.

La détermination de la différence de temps d'arrivée TDOA des signaux émis par la MS au niveau de chaque BTS se calcule par la corrélation croisée entre ces signaux.

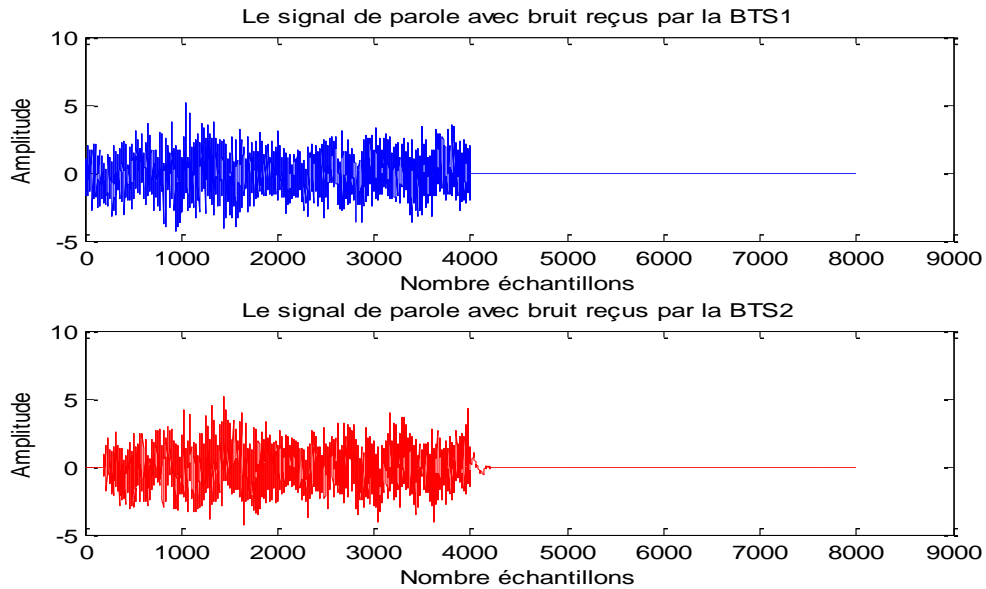
Durant le trajet entre la MS et chaque BTS le signal subit un bruit qu'on définit comme un bruit gaussien.

Les résultats sont présentés dans les figures suivantes dans La figure suivante, le signal de parole est en haut et le signal de parole retardée par exemple de 200 échantillons est en bas.



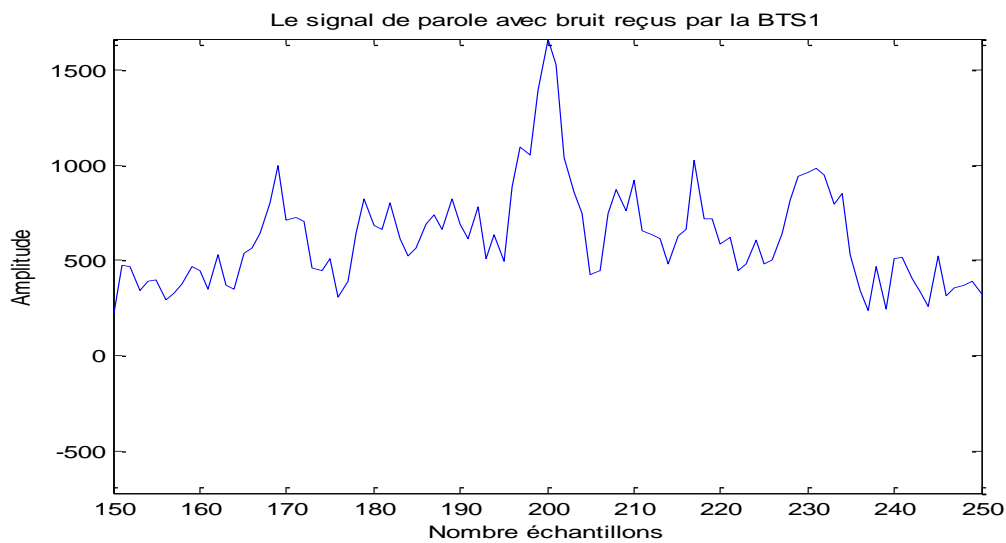
**Figure IV.5.** Signaux reçus par les BTS en absence de bruit

Dans la figure suivante, les deux signaux reçus avec l'ajout du bruit gaussien :



**Figure IV.6.** Signaux reçus par les BTS1 et BTS2 en présence du bruit

La courbe présente le résultat de la corrélation croisée de ces deux signaux. La valeur maximale indique la TDOA.



**Figure IV.7.** La technique CC en cas de signal de parole et en présence de bruit

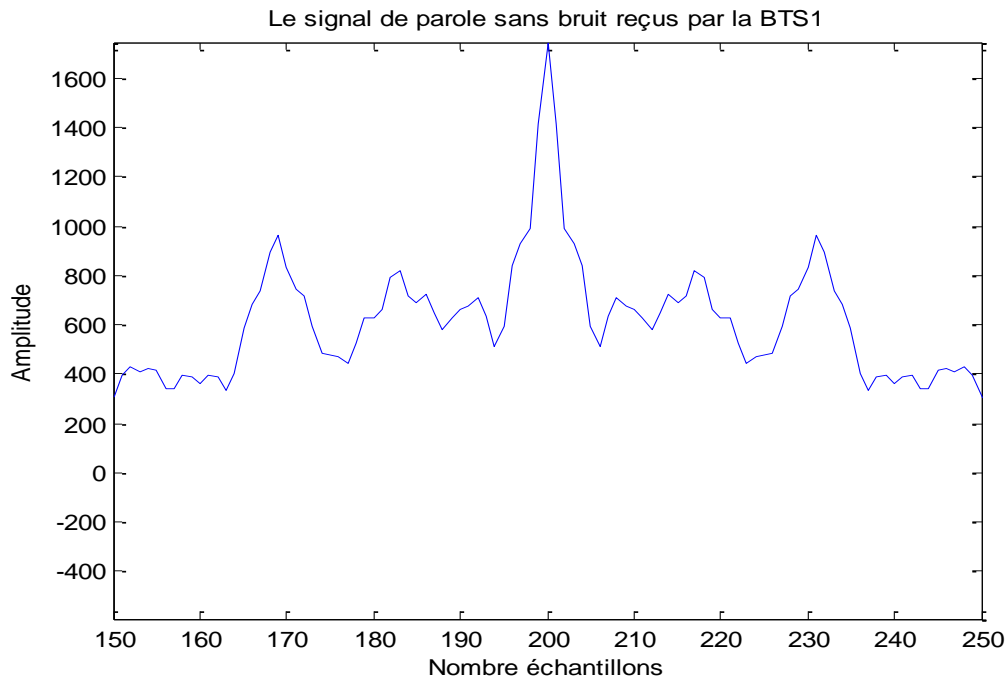
$$\mathbf{TDOA}_{12} = 200 \cdot T_s \quad \text{Avec} \quad T_s = \mathbf{1}/F_s$$

**Alors** 
$$\mathbf{TDOA}_{12} = \frac{200}{7418} = \mathbf{0,027s}$$

**Donc** 
$$\mathbf{TDOA}_{12} = \mathbf{27ms}$$

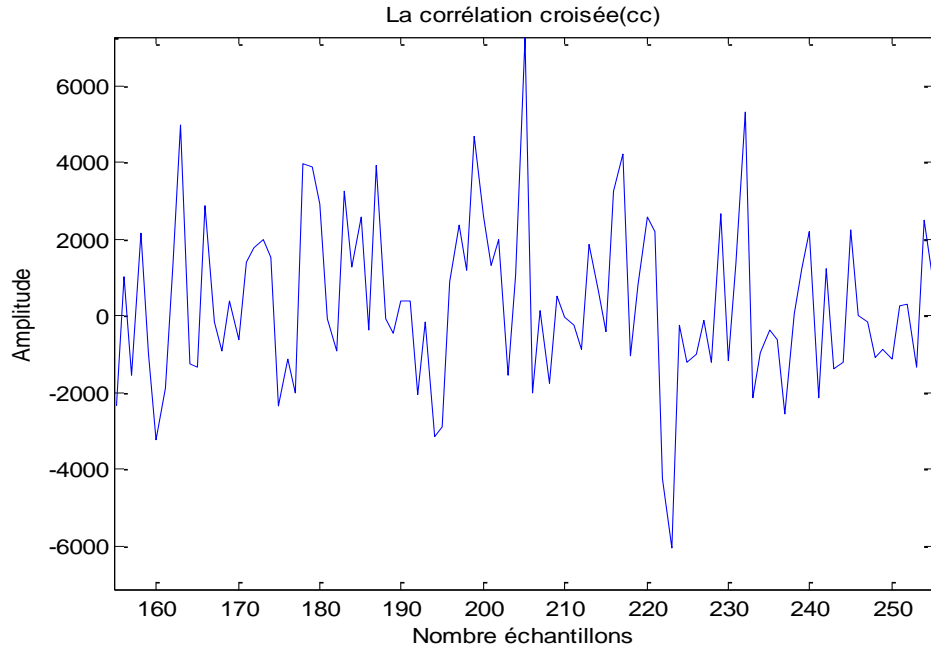
La figure ci-dessous, représente le résultat de la technique CC dans le cas d'absence de bruit.





**Figure IV.8.** La technique CC en cas de signal de parole et en absence de bruit

On constate qu'il n'y a pas de différence entre le cas de présence de bruit ou de son absence, On déduit que l'ajout de bruit n'a pas d'effet sur la précision des résultats mais à un certain seuil de bruit on observe une distorsion dans la courbe, si par exemple On multiplie l'amplitude du signal bruit par cinq, on obtient le schéma suivant qui ne donne pas le résultat cherché. On trouve la même chose pour le signal périodique.



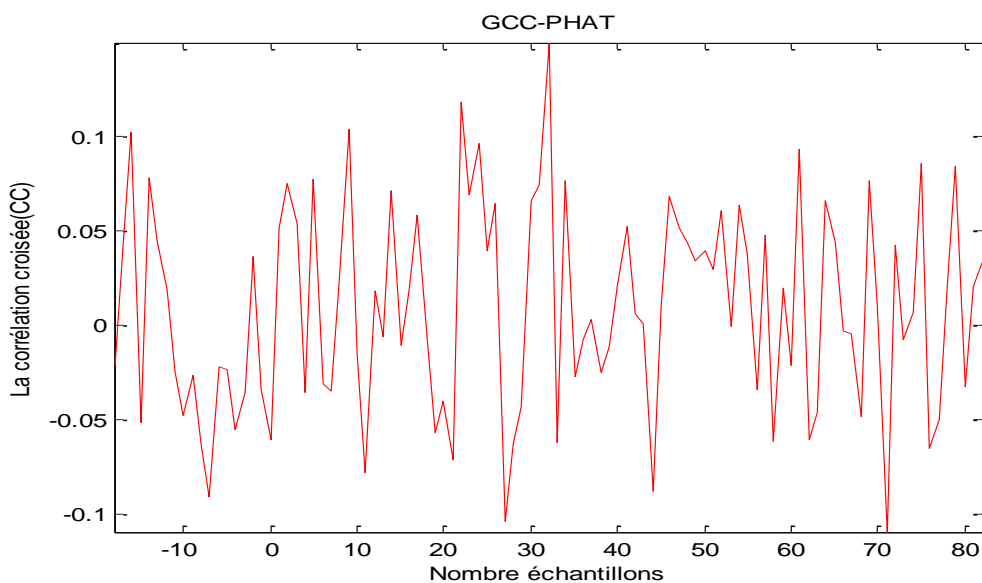
*Figure IV.9.* La corrélation croisée en cas d'augmentation de bruit cinq fois

## IV.2.2. Estimation de TDOA par GCC-PHAT

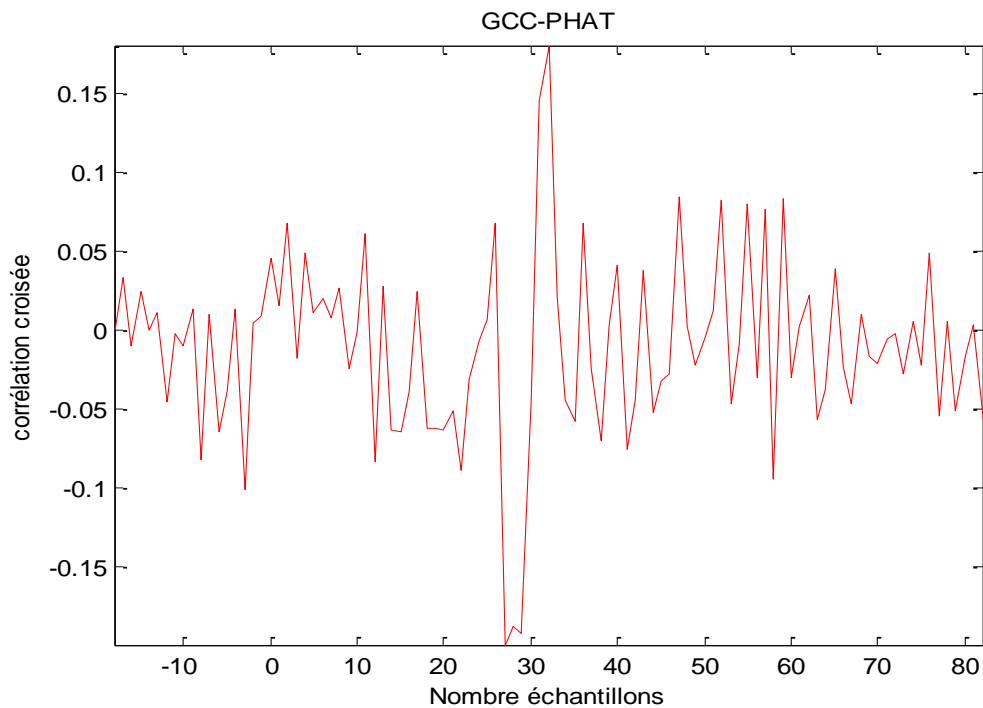
On utilise les mêmes signaux et paramètres que dans la technique CC.

### IV.2.2.1. Cas d'un signal périodique

Dans le cas d'un signal sinusoïdal, on obtient la figure suivante :



*Figure IV.10.* GCC-PHAT avec bruit atténué par deux

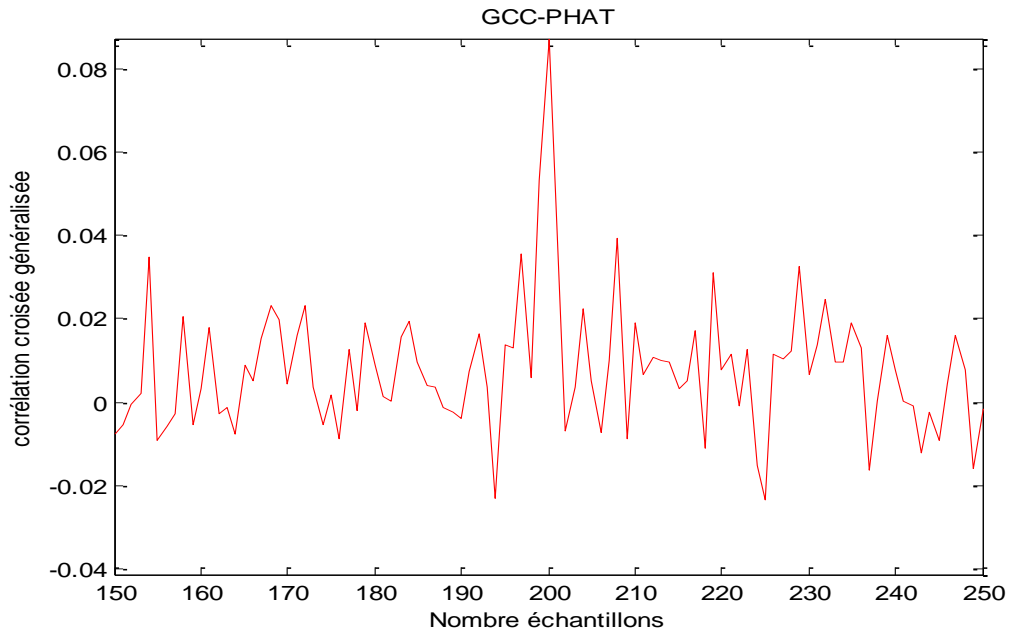


**Figure IV.11.** GCC-PHAT avec bruit atténué par dix

En diminuant l'amplitude du bruit, La précision augmente comme présenté dans les figures ci-dessus.

#### **IV.2.2.2. Cas d'un signal de parole**

Dans le cas du signal de parole mtlb et avec un retard de 200 échantillons entre les deux signaux reçus. La figure représente la corrélation croisée généralisée GCC en utilisant la méthode de phase PHAT.



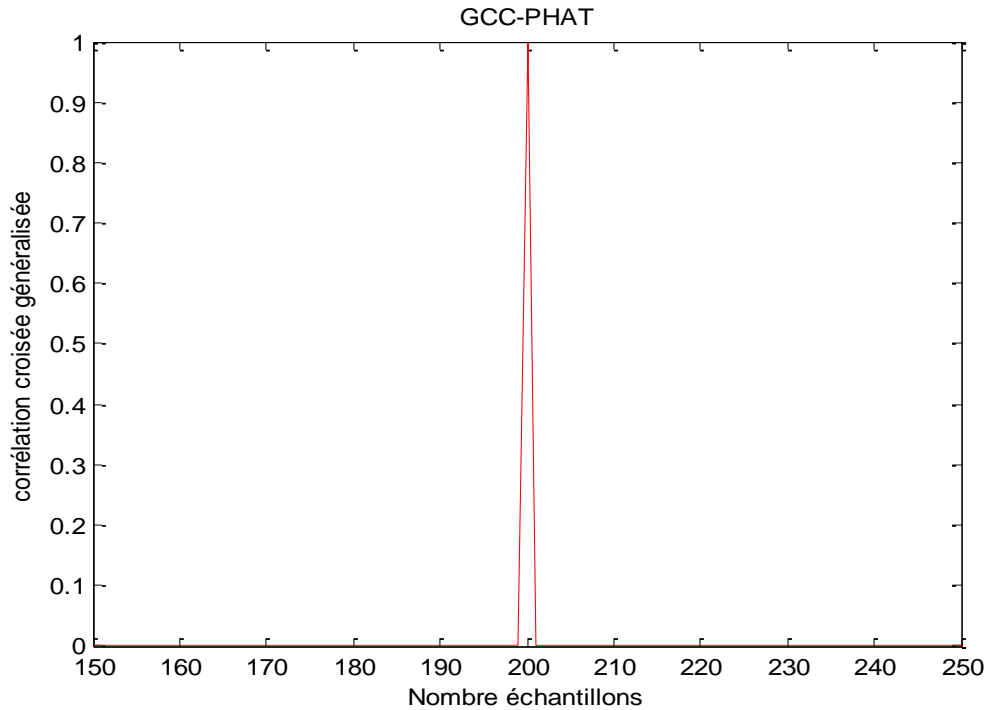
**Figure IV.12.** La technique GCC-PHAT avec bruit

D'après la figure La technique GCC-PHAT à un pic maximal plus pointu que celle de la technique CC.

$$\mathbf{TDOA = 200 \cdot T_s}$$

$$\mathbf{TDOA = 27ms}$$

En l'absence du bruit, le résultat de GCC-PHAT sera une fonction de Dirac retardée de D comme le montre la figure ci-dessous :



**Figure IV.13.** La technique GCC-PHAT en absence de bruit

En générale on remarque que la technique GCC avec la méthode de phase est la meilleur en termes de précision et grande performance par rapport à la méthode CC.

La méthode CC est moins influencée par l'ajout du bruit que la méthode GCC-PHAT mais les deux méthodes commence à de détériorer si le bruit arrive à un seuil donné. On fait la même chose pour les BTS1 et BTS3 pour déterminer TDOA13.

Alors deux valeurs de TDOA suffisent pour résoudre deux équations hyperboliques avec deux inconnus dans la partie suivante on va parler de la méthode de résolution de ces deux équations.

### **IV.3. Résolutions des équations hyperboliques**

Une fois les estimations TDOA sont obtenues, elles sont converties à des équations hyperboliques non linéaires, résoudre ces équations linéaires est difficile, il existe plusieurs algorithmes pour rendre linéaires ces équations mais l'algorithme le plus, efficace et le plus précis est l'algorithme de CHAN.

### IV.3.1. Modèle mathématique pour résoudre les équations hyperboliques

Le modèle général en deux dimensions pour l'estimation de la localisation de la position de la source en utilisant M stations de bases est développé. En référant tous les TDOAs à une station de base primaire BTS1 qui joue le rôle d'une station de base de contrôle d'appel et la première qui reçoit le signal transmis, soit  $(X_i, Y_i)$  la localisation des BTS Avec l'indice  $i=2, \dots, M$  qui présente les numéro des BTS, secondaires et  $(X, Y)$  la localisation de la source . La distance entre la station mobil et la BTS est donné par :

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (\text{IV-23})$$

$$R_i = \sqrt{(X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2)} \quad (\text{IV - 24})$$

La différence de distance entre la BTS serveur et les autres BTS est donnée par :

$$R_{i,1} = C \cdot T_{i,1} = R_i - R_1 \quad (\text{IV--25})$$

$$R_{i,1} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \quad (\text{IV - 26})$$

$T_{i,1} = T_i - T_1$ : L'estimation TDOA entre la BTS serveur et la BTS N° i.

C : la vitesse de propagation du signal.

$R_{i,1}$ : La différence de distance entre la BTS serveur et les autres BTS.

$T_i$ : Le temps de propagation entre la MS et la BTS N°i.

$T_1$ : Le temps de propagation entre la MS et la BTS 1.

$R_i$  : La distance entre la BTS n° i et le terminal mobil

$R_1$ : La distance entre la BTS serveur et le terminal mobil.

### IV.3.2. La Méthode de CHAN

Une solution non itérative pour l'estimation hyperbolique de la position capable de réaliser de la performance optimum pour des récepteurs placés arbitrairement est

proposée par CHAN. La solution est dans une forme finie et valide pour les sources éloignées et proches. En suivant la méthode de Chan, pour trois stations de base produisant deux TDOA.  $x$  et  $y$  peut être résolu en fonction de  $R_1$ . La solution est sous la forme :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} * R_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\}$$

(IV -27)

$$K_1 = X_1^2 + Y_1^2$$

$$K_2 = X_2^2 + Y_2^2$$

(IV-28)

$$K_3 = X_3^2 + Y_3^2$$

En sachant les valeurs de TDOA12 et TDOA13, on peut déterminer les valeurs de  $R_{2,1}$  et  $R_{3,1}$  et sachant que les trois BTSs ont une localisation connue ( $X_i, Y_i$ ) on pourra estimer les coordonnées  $(x,y)$  du terminal mobil.[18]

#### IV.4. Conclusion :

La méthode TDOA détermine l'estimation de la position en commençant tout d'abord par détecter le signal par les BTS puis estimer la TDOA entre au moins deux paires de BTS en utilisant les méthodes CC ou GCC-PHAT. Ensuite résoudre les équations hyperboliques obtenues comme résultats de ces mesures TDOA.

La méthode GCC-PHAT est plus performante que la méthode CC car la méthode GCC-PHAT utilise le préfiltrage du signal d'entrée ce qui permet de réduire l'effet du bruit et donne un pic maximum plus pointu que celui dans la méthode CC.

## Conclusion générale

Dans ce document on a détaillé les techniques qui ne faisant appel qu'au réseau GSM, En effet les systèmes de communication sans fil les plus « populaires » sont basés sur des réseaux terrestres d'ondes radio, afin d'inscrire les systèmes de géolocalisation dans une évolution « naturelle » des anciennes générations de systèmes de télécommunication, il paraît donc raisonnable d'utiliser les signaux de ce réseau terrestre pour déterminer la position d'un téléphone mobile ou du moins aider à le localiser.

La téléphonie mobile est un enjeu majeur depuis quelques années pour les opérateurs. Régulièrement, de nouveaux services sont lancés afin de satisfaire les besoins potentiels des consommateurs. Un des derniers en date est la géolocalisation. Elle permet de fournir des informations en fonction de la position géographique de l'utilisateur. La géolocalisation peut avoir de nombreuses applications dans des domaines très éloignés. Le particulier peut l'utiliser pour trouver le cinéma ou le restaurant le plus proche, avoir des informations touristiques sur le lieu qu'il visite. Les parents soucieux peuvent localiser leur enfant à tout moment. Les professionnels peuvent localiser leurs véhicules, suivre le personnel, la géolocalisation peut être d'une grande aide pour avoir des informations sur les personnes victimes, surveiller les déplacements elle permet également de retrouver une personne

L'utilisateur doit s'inscrire au service et donner son accord à chaque géolocalisation ou en être averti. La géolocalisation peut se faire par GSM, sur un téléphone mobile La technologie à identification de cellule ou Cell ID permet de connecter un téléphone portable à une antenne GSM. Il suffit de quelques secondes pour repérer la position en milieu urbain. Elle est meilleure quand on utilise la triangulation, un recours à trois antennes. C'est par les satellites que la géolocalisation est la plus répandue.

Le GPS (Global Positioning System) qui permet de localiser un corps mobile ou d'avoir une aide à la navigation il est devenu indispensable pour que l'on trouve le meilleur chemin. Sans sortir de chez vous, vous pouvez être géolocalisé quand vous utilisez Internet. Votre adresse IP permet de déterminer l'endroit où vous habitez. Il y a certains avantages sur le fait qu'on est géolocalisé.

La géolocalisation, indispensable pour fournir des services dépendant du contexte d'un terminal mobile et requise pour la prédiction de la mobilité, consiste à détecter la position de



l'individu via son terminal mobile. La géolocalisation consiste à déterminer les coordonnées d'un terminal mobile.

La géolocalisation à l'extérieur est réalisée par des systèmes de géolocalisation par satellite. Globalement, ils existent trois approches utilisées pour localiser et/ou positionner des objets mobiles en espace libre:

- positionnement basé sur les satellites: l'objet mobile est localisé à l'aide de récepteurs de signaux satellitaires. On peut citer le système américain GPS, le système européen Galileo ou le système russe GLONASS.
- localisation/positionnement basé sur les réseaux cellulaires (ou solutions terrestres): l'objet mobile est localisé à l'aide des signaux qu'il transmet au réseau cellulaire de type GSM par exemple ou trouve sa position à l'aide des signaux reçus. Les méthodes hybrides ou coopératives associent les réseaux cellulaires terrestres et satellitaires.

De nos jours, les services de localisation sont de plus en plus utilisés et appréciés des consommateurs. L'avancé technologique en matière de localisation a permis le développement d'une multitude d'applications dans de divers domaines destinés avant tout à faciliter la vie quotidienne des utilisateurs. En effet, des services comme les systèmes de navigations pour automobiles assistent les conducteurs dans leurs trajets quotidiens ou plus simplement les services de localisation permettent à un individu de savoir où il se trouve et ainsi connaître ce qui l'entour (commerces, sites touristiques, bâtiments publics etc.).

La localisation mobile ouvre donc la porte à de nombreuses opportunités d'applications et représente également une nouvelle source de revenu pour beaucoup d'entreprises.

## **Bibliographie**

- [1] Yushi Zhang et Walled Abdulla, « A Comparative Study of Time Delay Estimation Techniques Using Microphone Arrays », rapport d'ingénieur, université de Auckland.
- [2] Fabrice Valois, «Cours Architectures des réseaux mobiles Gestion de la mobilité », université INSA Lyon, 2002.
- [3] Jean-Luc Cosandier, « Principes généraux de la localisation par satellites», cour avril 2003.
- [4] A.Djoughri, « les technologies de géolocalisation», mémoire de master, université de Bejaïa, 2011.
- [5] Hamed. Sekandary, « La Localisation Mobile et ses Applications », Université de Fribourg - Suisse Juillet 2008.
- [6] DANG Hoang Minh, « Étude du système de service de message multimédia », Institut de la Francophonie pour l'Informatique.
- [7] Emmanuel TONYE, Landry, « planification et ingénierie de réseaux de télécom», université de Yaounde, école nationale supérieur polytechnique.
- [8] STEFANUT Paul, « Application des algorithmes de haute résolution à la localisation de mobiles en milieu confiné », Thèse de doctorat, de l'Université des Sciences et Technologies de Lille 2010.
- [9] Emmanuel TONYE, Landry EWOUSSOUA, « ARCHITECTURE GSM, GPRS ET UMTS », MASTER, UNIVERSITY OF YAOUNDE.
- [10] Samuel Pierre, « Introduction aux Réseaux Mobiles », mémoire d'ingénieur 2008.
- [11] Thierry Dudok, « GPS et localisation par satellites » Licence de Chimie-Physique 1ère année.
- [12] MONTAVONT. Julien, « Gestion des déplacements de terminaux IPv6 mobiles assistée par géolocalisation », Docteur de l'Université Louis Pasteur, 2006.

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

[14 ] STEFANUT Paul, « Application des algorithmes de haute résolution à la localisation de mobiles en milieu confiné) Docteur, Université des Sciences et Technologies de Lille 2010.

[15] Mathieu Bouet, Erwan Ermel, Guy Pujolle, «Performances d'une méthode de localisation dans les réseaux sans fil mobiles » cour.

[16] Yushi<sup>1</sup> Zhang and Waleed<sup>2</sup> H. Abdulla, «A Comparative Study of Time-Delay»

[17] Krishnaraj Varma, « Time-Delay-Estimate Based Direction-of-Arrival Estimation for Speech in Reverberant Environments», The Faculty of the Bradley Department of Electrical and Computer, Engineering Virginia Polytechnic Institute and State University October 2002.

# Annexe

## A.1. Le principe de la triangulation et de la trilatération :

Les méthodes mathématiques les plus efficaces pour déterminer l'emplacement précis d'un point sont celles de la triangulation et de la trilatération, à partir d'au moins deux autres points dont la position est connue, on peut calculer la position d'un point les méthodes utilisables sont :

- ❖ les identités trigonométriques.
- ❖ la loi des sinus.
- ❖ le théorème de Pythagore

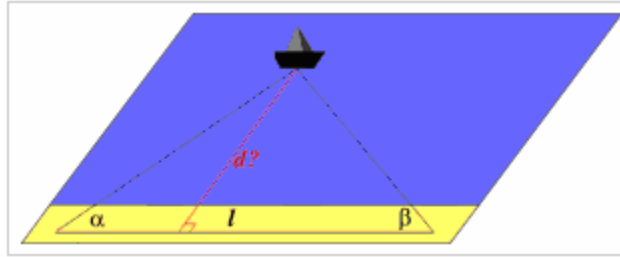
Ces deux méthodes sont utilisées dans la localisation par GPS, par GSM pour calculer la position exacte du terminal mobile.

### A.1.1. La triangulation :

La triangulation est le processus qui permet de déterminer une distance en calculant la longueur de l'un des côtés d'un triangle, et en mesurant deux angles de ce triangle cette méthode utilise des identités trigonométriques.

Six-cent ans avant l'ère chrétienne, Thalès mit au point une méthode pour évaluer la distance d'un bateau en mer à la côte pour avoir une mesure approximative de cette distance, il plaça deux observateurs A et C sur le rivage éloignés d'une distance  $b$  connue. Il demanda à chacun d'entre eux de mesurer l'angle que font les droites passant par le bateau B et l'un d'entre eux, et la droite passant par les deux observateurs (Figure 14).

La méthode a un intérêt si nous voulons déterminer de grandes distances, mais dans ce cas nous devons placer les deux observateurs suffisamment éloignés l'un de l'autre, pour que les mesures d'angle soient plus précises. [7]



**Figure A.1.** La Triangulation

D'après la figure on écrit :

$$l = \frac{d}{\tan\alpha} + \frac{d}{\tan\beta} \quad (\text{A-1})$$

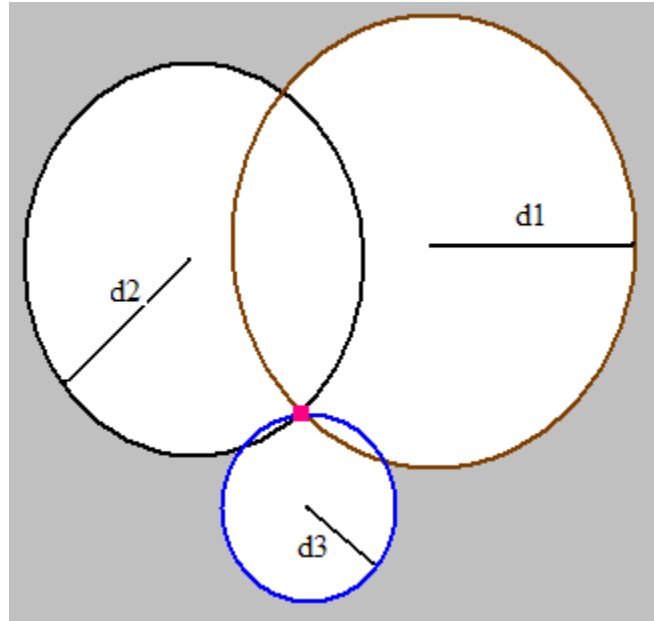
Donc, la distance entre le bateau et la côte est :

$$d = \frac{l}{\left(\frac{1}{\tan\alpha} + \frac{1}{\tan\beta}\right)} \quad (\text{A-2})$$

### **A.1.2. La Trilatération**

La trilatération est un algorithme qui permet de positionner un nœud à l'aide de trois nœuds de référence. Il existe deux types de mesure de distances entre les nœuds de référence et les nœuds que l'on cherche à positionner, une méthode à base de temps d'arrivée et une à base de mesure de puissance du signal cet algorithme consiste donc à mesurer les distances qui séparent les nœuds à positionner aux nœuds de référence. Ensuite, on trace un cercle autour de chaque nœud de référence, le nœud à positionner se situe à l'intersection de ces trois cercles

[8].



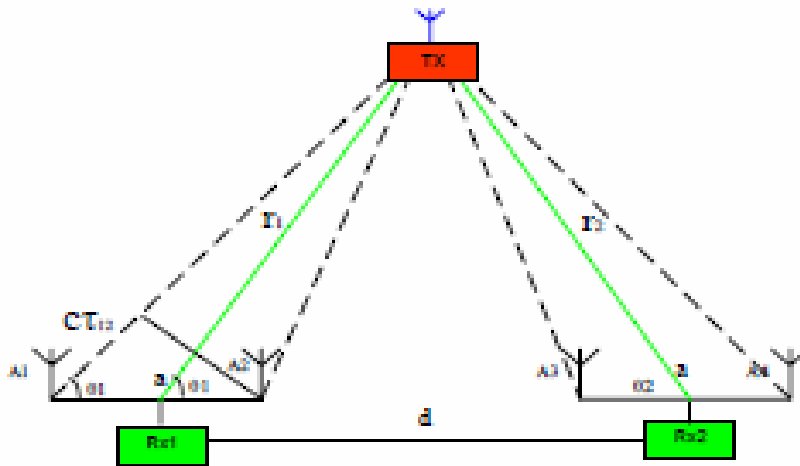
*Figure A.1.* La Trilatération

## A.2. Calcul de la localisation du terminal mobile :

Le problème de positionnement en absence d'erreurs de mesures peut être formulé avec une série de N-1 équations (N : nombre de BTS impliqués dans le calcul) décrivant les hyperboles ayant comme centre les coordonnées des BTS,  $(X_1, Y_1)$  pour la BTS serveur,  $(X_i, Y_i)$  pour les BTS secondaires et  $(x, y)$  pour le terminal mobile. L'équation de l'hyperbole est écrite comme suit :

$$C \times GTD = \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} - \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (\text{A-3})$$

Une solution unique et exacte est trouvée avec l'intersection des hyperboles.



**Figure A.2.** Calcul de la position de la station mobile avec AOA

A1 et A2 : Antennes de la BTS1 (Récepteur1).

A3 et A4 : Antennes de la BTS2 (Récepteur2)

Dans le schéma ci-dessus on a deux récepteurs sont utilisée pour localiser l'émetteur en espace 2-D avec une simple triangulation. La position des récepteurs R1 (0, 0) et R2 (0, d) est connue, en appliquant la loi des sinus, La position d'émetteur est :

$$\left( \frac{d \cdot \cos\theta_1 \sin\theta_1}{\sin(180 - (\theta_1 + \theta_2))}, \frac{d \cdot \cos\theta_1 \sin\theta_1}{\sin(180 - (\theta_1 + \theta_2))} \right) \quad (\text{A-4})$$

Pour calculer les valeurs des angles  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  deux antenne espacées par une distance  $a$  sont connectées à chaque récepteur, les différences de temps d'arrivée  $\tau_{12}$  et  $\tau_{34}$  sont mesurée.

Puisque l'onde électromagnétique se propage avec une vitesse  $C$  constante en espace libre, la distance entre l'émetteur et l'antenne réceptrice est directement proportionnelle au temps de propagation du signal [17].

Supposons que  $r_1 \gg a$  et  $r_2 \gg a$  :

$$C \cdot \tau_{12} = a \cdot \cos\theta_1 \quad (\text{A-5})$$

$$C \cdot \tau_{34} = a \cdot \cos\theta_2 \quad (\text{A - 6})$$

$$\theta_1 = \arccos\left(\frac{c \cdot \tau_{12}}{a}\right) \quad (\text{A-7})$$

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{c \cdot \tau_{34}}{a}\right) \quad (\text{A-8})$$

Donc,  $\theta_1$  et  $\theta_2$  connues, on peut déterminer la position de la station mobile, On peut calculer les valeurs des TDOA  $\tau_{12}$  et  $\tau_{34}$  par les relations suivantes

$$\tau_{12} = \left(\frac{d_2 - d_1}{c}\right) \quad (\text{A-9})$$

$$\tau_{34} = \left(\frac{d_4 - d_3}{c}\right) \quad (\text{A-10})$$

Avec  $d_i$  la distance entre la MS et l'antenne  $A_i$  et  $i=1, 2, 3, 4$ .



# Résumé

La localisation est devenue une composante majeure des services de télécommunications. Les services de localisation vont aider les opérateurs à estimer la position du terminal mobile dans le réseau avec une précision qui dépend de la technique utilisée et des conditions de l'environnement. Dans ce rapport, on étudie la localisation dans le réseau mobiles GSM on utilise les techniques de différences de temps d'arrivée (TDOA) et l'angle d'arrivée (AOA), La méthode TDOA dans GSM exige au moins trois stations de bases pour être implémenté et demande des modifications dans l'infrastructure pour assurer la synchronisation des composantes du réseau GSM et fournir les services de localisation, la méthode AOA exige l'installation des antennes complexes, cette technique nécessite une visibilité directe entre la station mobile et la station de base pour obtenir de bons résultats ce qui la rend plus adéquate aux zones rurales, la simulation avec le logiciel matlab de la technique TDOA en liaison montante est effectuée avec la méthode de corrélation croisée et avec la méthode de corrélation croisée généralisée utilisant la méthode de phase (Phase Transform)

Les mots clé : TDOA, EOTD, AOA, CC, GCC-PHAT

## Abstract

Location position technology has become a major component of services of telecommunication. Location services will help the operator to estimate the location of the mobile station in the network with an accuracy which depends on the used technique and on conditions of the environment. In this report, we study location position in wireless GSM we use the technique of time difference of arrival TDOA and angle of arrival AOA.

TDOA method in GSM needs at least three bases stations to perform measurements and requires network update to insure synchronisation of bases stations and provide location services. AOA method requires installation of antenna arrays to be able to perform AOA measurements. This method requires also line-of-sight propagation to obtain accurate results what makes it more appropriate in rural areas. The simulation with software matlab of the technique TDOA in reverse link is made with the method of cross-correlation and with the method of generalized cross-correlation using the Phase Transform.

Key words: TDOA, EOTD, AOA, CC, GCC-PHAT