

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane MIRA-Béjaïa

Faculté de Technologie

Département d'électronique

# Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electronique

Option : Télécommunication

**Thème :**

Simulation des techniques de géolocalisation

Présenté par :

Mr. BOUCHAL Hakim

Mr. BIROUCHE Daoud

Encadré par :

Mr. MAKHMOUKH Abdenour

Mr. MOKRANI Karim

Promotion 2016

## Remerciement

*Tout d'abord Nous remercions Dieu, le tout puissant de nous avoir accordé santé, volonté, courage et force et la patience d'achever ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier nous encadreur Mr. MEKHMOURKH Abdenour et Mr. MOKRANI Karim, d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour leur conseils et orientation le long de ce mémoire.*

*Nous tenons également à remercier le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en participant à l'évaluation de ce travail.*

*Nous remercierons tous enseignants du département de technologie à qui nous devons notre respect et reconnaissance. Et tous ceux qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire*

*Nous ne saurons oublier de remercier nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience, nos proches, nos amis et toutes les personnes qui nous ont aidées par leur soutien permanent de près ou de loin de nos études.*

*Merci*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont chers*

*A mes très chers parents pour leur aides, encouragements soutiens, et leur patiences pendant mes années d'études, qui ont été comme de bougie qui brulait pour éclaires mon chemin, source d'amour et d'affection,*

*A mes sœurs et mes frère, ma véritable source de bonheur qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'apporter leur aide ;*

*A mon grand père Mouloud et mes oncles et tantes, mes cousins et cousines et à toute la famille ;*

*A ma belle famille sportive son oublier mes coach RAchef Adel & BOUDERIAS Sofiane.*

*Hakim*

## *Dédicaces*

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant notre reconnaissance et notre profonde gratitude durant toute notre existence*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*Mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi,*

*Mes frères et sœur pour leur encouragement.*

*Mes chers oncles et tous mes cousins.*

*A tous mes amis,*

*Tous les enseignants et les Etudiants du département de science technologie en particulier notre promotion.*

*Daoud*

# Table des matières

---

## **b- Liste des figures.**

## **- Liste des Tableaux.**

## **- Liste des Algorithmes.**

Introduction générale.....1

### Chapitre I : Généralités sur la géolocalisation

I - Introduction .....3

II - définition .....3

III - Histoire de la géolocalisation.....3

IV - Les applications de la géolocalisation.....5

IV-1 Applications professionnelles .....6

IV-2 Applications personnelles .....7

IV-3 quelques Applications commune .....7

V-Les principales techniques de géolocalisation utilisé.....8

V-1 La géolocalisation par géocodeur .....8

V-2 La géolocalisation par satellite .....8

V-3- La géolocalisation par GSM.....9

V-3-1- L'identification par cellules.....10

V-3-2- Identification par triangulation.....10

V-3-2- Identification par le temps (E-OTD).....11

V-4 La géolocalisation par wifi .....11

V-5 La géolocalisation par adresse IP .....12

V-6 La géolocalisation par RFID .....12

VI- Comparatifs .....13

- Zone d'utilisation.....13

- Echelle de précision.....13

VII- Les Performances d'un système de navigation .....14

# Table des matières

---

VIII- Combinaison de ces techniques .....	14
VIV- Les risque de la géolocalisation .....	15
VIV- 1 Les dangers de la géolocalisation sur le Web.....	15
VIV- 2 Les limites au sein de l'entreprise.....	15
VIV- 3 les moyens à disposition afin de brouiller la localisation .....	16
X- L'avenir de la géolocalisation .....	16
XI-Conclusion .....	17

## Chapitre II : Les techniques de la géolocalisation

I- Introduction .....	19
II-TOA ET TDOA .....	19

### Partie I : positionnement hyperbolique

I-Description du système Loran C .....	20
II-Le fonctionnement de système Loran C .....	22
II-1 Constitution d'une chaine .....	22
II-1-1 Emission des stations .....	22
II-1-2 Le codage de phase .....	23
II-1-3 Le blink.....	24
II-2 Détermination des coordonnées géographiques .....	24
IV- Les erreurs déterministes .....	26
IV-1 L'onde de sol .....	26
IV-2 Les ondes de ciel .....	29
V- Conclusion.....	29

### Partie II : positionnement par GPS

I- Description d'un system GPS.....	32
I- 1 Code utilisé dans le système GPS .....	32
I- 2 Générateur de code PRN.....	33
II- Principe de fonctionnement du récepteur GPS.....	35

# Table des matières

---

II-1 Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite .....	35
II-2 La trilatération dans le GPS.....	36
II-3 La détermination des coordonnées .....	37
III- Les erreur .....	38
IV- Amélioration locale du calcul .....	40
IV- 1 Le DGPS .....	40
IV- 2 Le SBAS .....	40
V-Conclusion .....	41

## Chapitre III : simulation Loran C et GPS

I- introduction.....	43
II- Positionnement hyperbolique ou multilateration.....	43
- Application de l’algorithme de positionnement pour Loran C .....	47
III- Application de la corrélation au positionnement hyperbolique .....	50
IV- Positionnement circulaire.....	52
- Application de l’algorithme de positionnement pour GPS.....	54
V- Simulation de positionnement par GPS et l’identification des satellites par CDMA.....	57
VI- Conclusion.....	62
<b>- Conclusion générale .....</b>	<b>64</b>
<b>- Bibliographie.</b>	

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Chronologie de la géolocalisation. ....	5
<b>Figure 1.2</b> : Identification par cellules.....	10
<b>Figure 1.3</b> : Identification par le temps.....	11
<b>Figure 1.4</b> : Un système de Radio-identification. ....	12
<b>Figure 2.1</b> : Positionnement en TOA.....	19
<b>Figure 2.2</b> : Positionnement en TDOA.....	19
<b>Figure 2.3</b> : émission du système Loran C.....	21
<b>Figure 2.4</b> : Modes de fonctionnement TDOA.....	21
<b>Figure 2.5</b> : différentes positions d'une chaine Loran C.....	22
<b>Figure 2.6</b> : une chaine Loran C on triangle.....	22
<b>Figure 2.7</b> : Train impulsions du maitre.....	23
<b>Figure 2.8</b> : Codage de phase.....	23
<b>Figure 2.9</b> : Chronogrammes.....	25
<b>Figure 2.10</b> : Intersection des hyperboles pour différents TDOA.....	26
<b>Figure 2.11</b> : Le segment spatial.....	30
<b>Figure 2.12</b> : Le segment de contrôle.....	31
<b>Figure 2.13</b> : Le segment utilisateur.....	31
<b>Figure 2.14</b> : Architecture interne des satellites GPS.....	32
<b>Figure 2.15</b> : Partie satellites émettent le code C/A.....	32
<b>Figure 2.16</b> : Registre LFSR.....	33
<b>Figure 2.17</b> : Modulation avec code PRN.....	34
<b>Figure 2.18</b> : la corrélation.....	35
<b>Figure 2.19</b> : Décalage entre le satellite et le récepteur.....	36
<b>Figure 2.20</b> : un Satellite.....	36
<b>Figure 2.21</b> : deux satelites.....	37
<b>Figure 2.22</b> : trois satelites.....	37
<b>figure 2.23</b> : quatre satelites.....	37
<b>Figure 2.24</b> : erreur Atmosphériques.....	38



<b>Figure 2.25:</b> Géométrie des satellites.....	39
<b>Figure 2.26 :</b> système DGPS.....	40
<b>Figure 3.1 :</b> les étapes de calcul de positionnement du système Loran C.....	43
<b>Figure 3.2 :</b> schémas de simulation Loran.....	47
<b>Figure 3.3 :</b> signal mesuré au point U.....	47
<b>Figure3.4:</b> évolution du critère d'erreur en fonction du numéro d'itération.....	48
<b>Figure 3.5:</b> évolution du positionnement en fonction de l'itération.....	48
<b>Figure 3.6:</b> positionnement par équations hyperbolique.....	49
<b>Figure 3.7:</b> la corrélation au positionnement hyperbolique.....	50
<b>Figure 3.8 :</b> schémas de simulation GPS.....	54
<b>Figure 3.9:</b> signal mesuré au point U.....	54
<b>Figure 3.10:</b> évolution du positionnement.....	55
<b>Figure 3.11:</b> positionnement par équations de cercles .....	55
<b>Figure 3.12:</b> les étapes pour simuler l'identification des satellites GPS .....	56
<b>Figure 3.13 :</b> schémas simulation PRN code.....	57
<b>Figure3.14 :</b> l'ensemble des PRN multiplexé.....	57
<b>Figure 3.15 :</b> auto-corrélation du code PRN1.....	58
<b>Figure 3.16 :</b> intercorrélacion entre les codes PRN1 et PRN2.....	58
<b>Figure 3.17 :</b> le signal data total recue .....	59
<b>Figure 3.18 :</b> Inter-corrélation par code PRN1. ....	59
<b>Figure 3.19:</b> Inter-corrélation par code PRN2. ....	59
<b>Figure 3.20:</b> Inter-corrélation par code PRN3.....	59
<b>Figure 3.21 :</b> les étapes de simulation de la technique CDMA et le calcul de position.....	60
<b>Figure 3.22 :</b> maximum et l'indice de chaque intercorrélacion.....	60
<b>Figure 3.23 :</b> évolution du positionnement de simulation.....	61

## Liste des Tableaux

<b>Tableau 1.1 :</b> Applications professionnelles.....	6
<b>Tableau 1.2 :</b> Applications personnelles.....	7
<b>Tableau 1.3 :</b> Avantages et Inconvénients des techniques.....	13
<b>Tableau 1.4 :</b> Zone d'utilisation.....	13
<b>Tableau 2.1 :</b> Code de phase master et secondaire.....	24
<b>Tableau 2.2 :</b> calcul théorique de différence de temps avec les corrections PF et SF.....	27
<b>Tableau 2.3 :</b> extrait d'une correction Loran C pour la chaîne NEUS (9960) .....	28
<b>Tableau 2.4 :</b> affectation des codes PRN pour chaque satellite.....	34
<b>Tableau 3.1:</b> positionnement hyperbolique émetteur fixe.....	50
<b>Tableau 3.2</b> positionnement hyperbolique récepteur fixe.....	50
<b>Tableau 3.3 :</b> positionnement par GPS émetteur fixe.....	56
<b>Tableau 3.4 :</b> positionnement par GPS récepteur fixe.....	56

## Liste des Algorithmes

<b>Algorithme 3.1:</b> Organigramme itératif pour le calcul de positionnement.....	46
--	----

# Introduction générale

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Les systèmes de localisations existants présentent des insuffisances au niveau des applications en environnement indoor. Ces insuffisances se traduisent soit par la non disponibilité des signaux (le GPS) dans ce type d'environnement, soit par leur manque de précision quand ils sont prévus à cet effet. Ces limites ont motivé la recherche de nouvelles techniques.

Les techniques de localisation connaissent aujourd'hui un grand intérêt par les sociétés de télécommunications et entreprise qui essaye d'élargir la gamme de leurs services offerts aux clients.

Les dispositifs dits de géolocalisation permettant aux employeurs privés ou publics de prendre connaissance de leur position géographique à un instant donné ou en continu des employés par la localisation d'objets dont ils ont l'usage (badge, téléphone mobile) ou des véhicules qui leur sont confiés.

Les possibilités en termes de géolocalisation ont connu un développement inouï au cours des dix dernières années révolutionnant ainsi de nombreux domaines, Avec le développement des Technologies de l'Informatique et de la Communication qui a su optimiser l'usage de la géolocalisation. C'est à présent un outil majeur de communication personnelle et professionnelle qui estime la position d'un terminal mobile dans un plan avec une précision qui dépend de la technique utilisée et des conditions de l'environnement.

Durant le premier chapitre on s'intéresse à présenter un aperçu générale sur la géolocalisation, histoire ,définition, application, les technique utiliser et les enjeux de la géolocalisation.

Le deuxième chapitre sera consacré, en deux partie, pour expliqué la procédure de localisation des deux techniques de positionnement la première est hyperbolique la seconds à l'aide des cercles.

Quand au dernier chapitre il est réservé pour une simulation des deux techniques vues au chapitre précédant dont on représentera les résultats de simulation ainsi une analyse de ses résultats pour les différentes positions des émetteurs.

Est On termine par une conclusion générale qui englobe l'ensemble de ce mémoire.

# **Chapitre I :**

Généralités sur la géolocalisation

### **I - Introduction**

Aujourd'hui nous sommes soumis à un besoin constant d'être en contact avec ce qui nous entoure, que ce soit professionnel ou privée. Avec le développement des technologies de l'informatique et de la communication cela devient de plus en plus possible. La géolocalisation fait partie de ces technologies qui ont vu le jour récemment et qui permettent cette évolution dans notre mode de vie. Au cours de ce chapitre, nous allons aborder quelques généralités sur la géolocalisation.

### **II- Définition de la géolocalisation :**

La géolocalisation ou géoréférencement est une technologie qui permet de collecter des informations permettant de localiser un objet, une personne ou de placer un ou plusieurs lieux (ville, montagne, évènement) sur un plan ou une carte à l'aide ses coordonnées géographiques. Cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localisé grâce à une des techniques de positionnement et de publier ses coordonnées géographiques. 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 par internet [1].

### **III- Histoire de la géolocalisation :**

Les technologies de géolocalisation ne sont pas récentes. Le besoin humain de se situer dans l'espace et savoir prendre des points de repère pour trouver son chemin et le communiquer à d'autres fait partie de l'apprentissage de base de l'Homme. Donc Le premier verrou a été de trouver un même langage et un support pour exprimer le message. Ainsi, les hommes préhistoriques utilisèrent des traces sur le sol, puis progressivement des éléments naturels taillés pour indiquer leurs routes.

Ensuite, pour des besoins administratifs et politiques, il devint important de situer les principales villes et les caractéristiques géographiques d'une région de façon permanente sans avoir à se déplacer, afin de pouvoir gérer ses ressources et sa population. On commença alors

à faire des relevés afin de produire des cartes plus ou moins précises. La première carte était en Egypte sur les papyrus.

**Puits Apparitions** Les premiers instruments de navigation d'origine chinoise (chariot chinois), est la découverte de la sphéricité de la Terre, à permit la mise au point d'un système de coordonnées sphérique localisant un point de la Terre par sa latitude et sa longitude.

La mesure de la **latitude** consiste à mesurer l'angle que fait un astre avec l'horizon en prenant le Soleil comme astre de référence à partir de plusieurs instruments tels que l'astrolabe, le sextant. La mesure de la **longitude** consiste à déterminer le positionnement Est-Ouest du lieu où l'on se trouve, La méthode la plus simple consiste à mesurer l'écart entre l'heure solaire local et l'heure solaire d'un méridien de référence qui est actuellement le méridien de Greenwich.

La constatation du magnétisme terrestre a conduit à l'invention de la boussole en 1040, ainsi que le loch à bateau pour calcul de vitesse en mer afin de connaître la distance D parcourue pendant le temps t par les marins. Ces instruments permettent de se positionner, mais ils sont inutiles sans une carte précise. Le géographe Gerardus Mercator proposa en 1569, la projection cylindrique permettant de projeter la sphère terrestre sur un plan en 2D.

A partir de 19ème siècle le développement des ondes radios à permit de mesurer la direction d'arrivée d'une onde électromagnétique. Ainsi en mesurant la direction d'arrivée de deux ondes produites par des radiophares (situés en des lieux connus) et par la technique de triangulation maitrisée depuis 1533 permit aux navigateurs de calculer une position probable de leur bateau. A partir de la Seconde Guerre Mondiale, de grands systèmes de radionavigation aérienne et maritime véritablement universel mis en place .tel que le Loran C.

Enfin la géolocalisation moderne des premiers satellites furent lancé a partir des années 60 pouvant émettre et recevoir un certain nombre de données autorisant la localisation de points fixes et mouvants sur la surface terrestre, Depuis cette époque, plus de 5 500 satellites artificiels ont été placés en orbite (2007). Les satellites jouent désormais un rôle important à la fois sur les plans économique, militaire et scientifique.de plus d'autres techniques de positionnements furent développés avec l'apparition d'internet/IP et les réseaux mobiles.

Aujourd'hui, la géolocalisation devient presque automatique pour de nombreuses applications, jeux ou services qui sont proposés sur les Smartphones. La géolocalisation

devient une norme, une habitude qui est désormais encadrée par des lois et des mesures de protection de la vie privée. [2][3]

La figure ci-dessous nous résume la chronologie et l'évolution des techniques de géolocalisation.

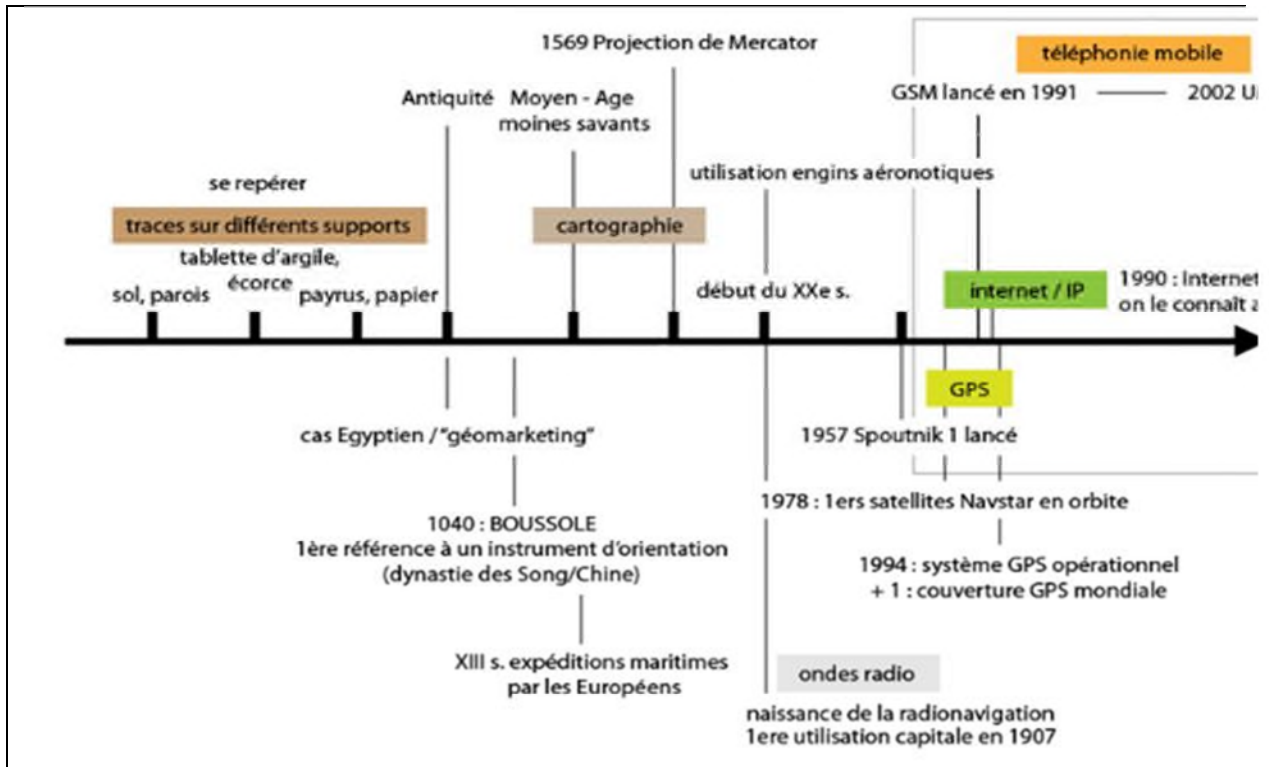


Figure 1.1 : Chronologie de la géolocalisation

### IV- Applications de la géolocalisation :

La géolocalisation peut se révéler utile, voir primordiale, dans de nombreux secteurs d'activités. Les finalités et objectifs fixés sont différents selon ces secteurs, mais grâce à une adaptabilité forte et à de nombreuses options, la géolocalisation répond aux attentes variées d'un grand nombre de professions. A travers les multiplications des applications web et mobiles disponible aujourd'hui, et le taux des Smartphone qui ne cesse de croitre, Cela rond une évidence que La géolocalisation est devenue un outil majeur de communication personnelle et professionnelle [4].



**IV-1 Applications professionnelles :**

La géolocalisation est devenue un moyen indispensable pour de nombreuse société et entreprise, Cela leur a permet d’augmenter leur chiffre d’affaire, le gain de productivité, ainsi que l’économie de carburant et de communications, sécurité et simplicité des services. Nous citons quelque une dans le tableau suivant :

<b>Applications professionnelles</b>	<b>A localiser (personne ou objet)</b>	<b>Possibilités fonctionnelles</b>
<b>Transport de marchandises et logistique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semi-remorques</li> <li>• Citernes</li> <li>• Convoyeurs de fonds.</li> <li>• Transport de matériaux dangereux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivi en temps réel et historique</li> <li>• Trajets détaillés sur carte</li> <li>• Repérage des arrêts</li> <li>• Calcul des temps de conduite et de pause</li> <li>• évité les bouchant</li> </ul>
<b>Propreté urbaine et assainissement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camions benne.</li> <li>• Véhicules d'entretien de parcs.</li> <li>• Bennes à ordures ménagères.</li> <li>• Bornes d'apport volontaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suivi en temps réel et historique</li> <li>• Gestion et optimisation des tournées de collecte</li> <li>• Comptage de bacs</li> <li>• Traçabilité des opérations</li> </ul>
<b>Transport de passagers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autobus</li> <li>• Navettes</li> <li>• Bateaux mouche</li> <li>• Taxis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Génération de statistiques (temps d'arrêt moyen, temps de chargement)</li> <li>• Détection de retard de sortie de zone</li> <li>• Optimisation des horaires et des trajets</li> <li>• Détection de changement de cap (map matching)</li> </ul>
<b>Suivi et protection de personnes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Travailleurs isolés</li> <li>• Techniciens de maintenance</li> <li>• Agents de sécurité</li> <li>• Journalistes, reporters</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envoi d'ordres de mission</li> <li>• Navigation vers les lieux d'intervention</li> <li>• Suivi en temps réel et historique</li> <li>• Calcul de proximité</li> </ul>

**Tableau I.1** : Applications professionnelles.

## IV-2 Applications personnelles :

L'utilisation de la géolocalisation Cela a permet de facilité de nombreuse tache nous citons quelques une dans le tableau suivant :

Applications personnelles	A localiser (personne ou objet)	Possibilités fonctionnelles
<b>Suivi et sécurité des personnes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfants</li> <li>• Personnes âgées</li> <li>• Personnes avec troubles de la mémoire</li> <li>• Randonneurs, skieurs, sportifs extrêmes, Personnes dépendantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation et suivi en temps réel</li> <li>• Détection de sortie de zone (ex : école et trajet de retour)</li> <li>• Détection d'immobilité prolongée (en cas d'accident ou perte de connaissance d'une personne isolée)</li> </ul>
<b>Sécurité des animaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Animaux de compagnie</li> <li>• Chevaux</li> <li>• Bétail</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation et suivi en temps réel</li> <li>• Détection de sortie de zone</li> </ul>
<b>Sécurité des biens personnels</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voiture</li> <li>• Coffre portable</li> <li>• bateau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation et suivi en temps réel</li> <li>• Détection de sortie de zone</li> </ul>

Tableau I.2 : Applications personnelles.

## IV-3 Quelques applications communes:

- **Gestion de flotte de voiture** : cela est possible bien avec le GPS.
- **Cartographie locale** : certaines applications permettent d'obtenir une carte centrée sur l'endroit ou le téléphone est géolocaliser. Cela peut se faire via GPS ou Cell-ID
- **Local search & advertising** : ces applications permettent d'avoir des informations liés au lieu ou l'on se trouve, pouvant être en cohérence avec ses préférences personnelles
- **City guide** : cela permet de connaitre la position géographique de certains points d'intérêts: (restaurants, musée...).
- **Buddy Finder/social network** : ces applications de type réseau sociaux permettent de localiser ses amis, ses enfants...

- **Météo et infos** : ces applications permettent d'avoir des informations précises suivant l'endroit où l'on se trouve. [5]

### V- Les principales techniques de géolocalisation utilisées :

Les techniques de géolocalisation sont nombreuses. Chacune d'entre elles a des spécificités et un mode de fonctionnement bien précis. Globalement on compte 6 techniques.

#### V-1 La géolocalisation par géocodeur :

Le géocodage consiste à affecter des coordonnées géographiques (la longitude et la latitude) à une adresse. Ces données permettent de situer chaque adresse sur une carte numérique via un Système d'Informations Géographiques (SIG). Ce principe de géocodage est automatisé à l'aide d'un géocodeur qui peut être sous forme de logiciel ou de service en ligne.

L'intérêt de cette technique est de pouvoir traiter géographiquement l'ensemble des informations de sa base de données. Ainsi, on peut regrouper plus facilement l'entièreté de ses informations clients, prospects et concurrents sur une même carte. Certains logiciels peuvent même décoder l'ensemble de vos données et les restituer sur une carte en appliquant des marqueurs visuels, comme une couleur par exemple, pour différencier chaque catégorie (clients, partenaires,...). Vous pouvez, dès lors, avoir une visibilité optimale de votre implantation. Cependant, la technique de géocodage a comme inconvénient son manque de précision, plusieurs adresses peuvent être couvertes par le même code postal. Le géocodage est une des techniques de géolocalisation dont la précision est de quelques dizaines de mètres en moyenne. [6]

#### V-2 La géolocalisation par satellite

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

Actuellement, on peut compter 4 systèmes de positionnement par satellites :

- **Le GPS** : est un système de géolocalisation fonctionnant au niveau mondial créé par les américains en 1994.

- **GLONASS** : GLONASS dispositif russe, mis en place dans les années 1980, laissé en sommeil dans les années 1990 et qui est de nouveau pleinement opérationnel depuis décembre 2011 assure la couverture de toute de la surface terrestre
- **GALILEO** : développé par l'Union européenne dont le déploiement doit s'achever vers 2020.
- **BEIDOU ou COMPASS** : un système de navigation et de positionnement par satellites chinois en cours de déploiement qui devrait devenir complètement opérationnel en 2020

L'utilisation la plus connue de cette technique est le GPS (Global Positioning System). Dont on va expliquer son principe de fonctionnement dans le chapitre suivant.

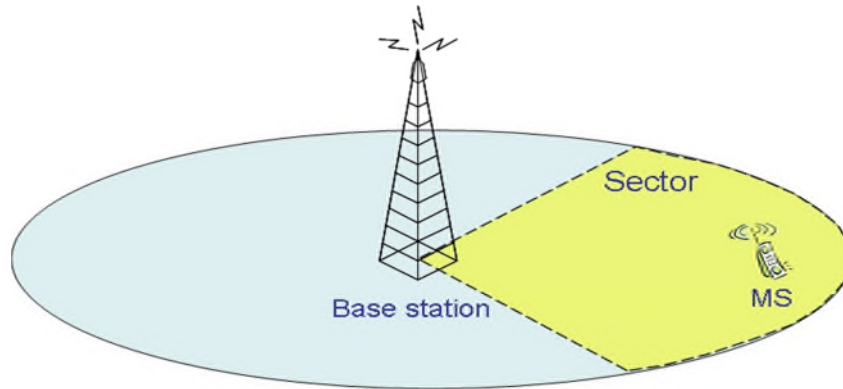
### V-3 La géolocalisation par GSM :

Avec cette technique de géolocalisation, on trouve la position d'un GSM en se basant sur certaines informations relatives aux antennes GSM auxquels ce dispositif est connecté. La précision va dépendre, ici, de l'environnement, du milieu où se situe l'appareil. En milieu urbain, la densité d'antennes est supérieure par rapport au milieu rural.

Il existe plusieurs techniques de géolocalisation par GSM mais la méthode du Cell ID (identification de la cellule radio) reste la plus utilisée. Cette méthode consiste à récupérer l'identifiant de l'antenne GSM à laquelle le terminal est connecté. Ensuite, grâce à des bases de données, l'identifiant sera relié à la position géographique connue de l'antenne. Sur base de cela, on va pouvoir faire une estimation de l'emplacement du terminal.

Il faut savoir qu'un réseau GSM est composé de plusieurs cellules et que chacune d'elle contient une BTS (Base Transceiver Station) qui prend en charge les communications radio des téléphones mobiles. Chaque BTS est relié en suite à un BSC (Base Station Controller) qui pilote l'ensemble des BTS et gère le basculement d'un portable d'une cellule à une autre selon le principe de handover. [7]

### **V-3-1 L'identification par cellules:**



**Figure 1.2:** Identification par cellules

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

Cette localisation dépend donc fortement de la densité d'antenne, si un récepteur est dans plusieurs champs différents, on commence à pouvoir de localiser de manière précise. En ville l'on peut repérer un portable à 250 mètres près, en zone rurale on peut arriver à une précision de seulement 10 km.

### **V-3-2 Identification par triangulation:**

Cette identification se base non plus sur les informations des BTS mais de celles de la BSC. Il s'agit d'établir un rapport de distance d'un mobile entre trois stations BTS. On peut établir une comparaison entre la puissance du signal émis dans chaque BTS, ce qui permet d'évaluer la distance qui le sépare des trois BTS. Cela permet de préciser la position par rapport à une simple Cell-Id.

### V-3-3 Identification par le temps (E-OTD):



**Figure 1.3 :** Identification par le temps

La méthode E-OTD (Enhanced Observed Time Difference) nécessite l'envoi d'un signal par le portable. Il faut donc que le mobile soit équipé pour pouvoir être localisé. Le BTS envoie des signaux régulièrement, dès que le mobile reçoit un de ces signaux, il réemet. Le BTS peut donc calculer la distance en mesurant le temps d'aller retour. Pour avoir un temps plus précis, on utilise plusieurs cellules BTS pour repérer un mobile (même principe que le 4e satellite pour le GPS). L'idéal serait d'avoir trois cellules dans la portée du mobile pour avoir une localisation optimale. Toutes ces différentes géolocalisation par GSM sont toute fois moins précises que le GPS, surtout en campagne, elles dépendent essentiellement de la densité d'antenne autour du mobile.

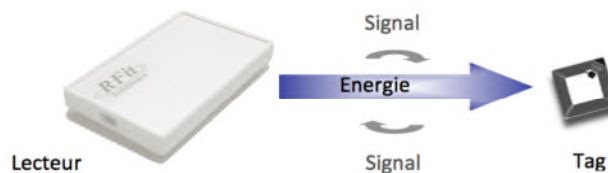
### V-4 La géolocalisation par wifi :

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

### **V-5 La géolocalisation par adresse IP :**

Grâce à cette technique, on peut déterminer la position géographique d'un ordinateur ou de n'importe quel autre terminal connecté à Internet. On se base ici sur l'adresse IP (numéro d'identification attribué à un appareil connecté à un réseau informatique). Ces adresses IP sont gérées par l'IANA (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers), une organisation qui se charge de distribuer les adresses IP disponibles aux pays demandeurs. Les attributions sont donc très bien documentées et il est possible de déterminer facilement dans quel pays se trouve un terminal. [8]

### **V-6 La géolocalisation par RFID :**



**Figure 1.4 :** Un système de Radio-identification

Le RFID est un sigle couramment utilisé pour désigner la radio-identification. Il s'agit d'une méthode destinée à mémoriser et récupérer des données à distance grâce à des marqueurs appelés «radio-étiquette» (ou RFID tag). Ces étiquettes ou transpondeur sont de petits objets comme des étiquettes autoadhésives. Elles peuvent facilement être incorporées à des produits et des organismes vivants (animaux,...). Les “radio-étiquettes” sont équipées d'une antenne et d'une puce électronique. Ces puces contiennent un identifiant. Grâce à un lecteur RFID, la puce peut être détectée. L'identifiant est ensuite assimilé à une zone géographique.

Les lecteurs RFID ce sont des dispositifs actifs, émettant des ondes radio à courte distance de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres selon la puissance de l'alimentation et la fréquence radio utilisée, qui servent à activer les étiquettes qui passent devant eux Le lecteur lit les données encodées dans la puce et les envoie au serveur pour être traitées. C'est les ondes émit par Les lecteurs RFID qui fournissent l'énergie nécessaire pour accéder à la puce. On distingue plusieurs fréquences utilisées, en fonctions du type d'application visé et des performances attendues, En générale cette technique est utilisée pour la géolocalisation en intérieur. [9]

**VI- Comparatifs :**

	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>GPS</b>	- Bonne précision	- Extérieur uniquement - Difficultés milieu urbain
<b>GSM, UTMS</b>	- Tout le monde à un Téléphone	- Précision dépendant de la densité des relais GSM - Dépendant de l'opérateur
<b>Wifi</b>	- Bonne précision - Utilise réseau existant - Terminaux compatibles	- Calibrage - Logiciel clients à déployer
<b>IP</b>	- Gratuit	- Précision ville, nécessite base de données géographique des IP (payantes)
<b>RFID</b>	- Tags RFID passif peu cher	- Déploiement matériel de capteur - Position disponible au checkpoints

**Tableau I.3 :** Avantages et Inconvénients des techniques [10]

**VI-1 Zone d'utilisation :**

	<b>GPS</b>	<b>GSM</b>	<b>Wifi</b>	<b>RFID</b>	<b>Internet</b>
<b>Extérieur</b>					
<b>Intérieur</b>					
<p> <span style="background-color: green; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> <b>Plus favorable</b> <span style="margin-left: 100px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> <b>Moins favorable</b> <span style="margin-left: 100px; background-color: red; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> <b>Inutilisable</b> </p>					

**Tableau I.4 :** Zone d'utilisation

**VI-2 Echelle de précision :**

- ✓ IP : du pays à la ville, quartier
- ✓ GSM : centaine de mètres à plusieurs km
- ✓ Wifi : dizaines de mètres
- ✓ GPS : quelques mètres
- ✓ RFID (passif) : 150cm entre RFID et capteurs



### VII- Les Performances d'un système de navigation :

L'utilité principale d'un système de radionavigation est de fournir la position d'un utilisateur ou d'un objet sur une carte géographique est pour bien se positionnement notre système de navigation doit répondre aux plusieurs critères de qualité : la précision, la disponibilité, la capacité, la continuité, la couverture, l'information de dimension (2D ,3D), l'intégrité, le taux d'actualisation du positionnement.

- La précision est le degré de confiance entre la valeur donnée du système et les valeurs exacts (la vitesse, les coordonnées géographique)
- La disponibilité d'un système de navigation est le pourcentage du temps durant lequel le système de navigation est utilisable. La capacité d'un système de navigation est le nombre d'utilisateurs pouvant utiliser le même système de navigation en même temps.
- La couverture d'un système de navigation est la surface terrestre ou l'espace, où un utilisateur peut se positionner avec une précision donnée. Dans le cas des systèmes de radionavigation, la couverture dépend de la géométrie des émetteurs radio, de leur puissance d'émission, de la sensibilité des récepteurs et des conditions de propagation atmosphériques.
- La dimension d'un système de navigation définit le nombre d'axe de positionnement : 1D, 2D ou 3D. Certains systèmes permettent de fournir une quatrième dimension, qui est une référence de temps.
- L'intégrité d'un système de navigation est sa capacité à avertir les utilisateurs de ses défaillances par la transmission de messages d'alarmes.
- Le taux d'actualisation (en anglais : fix rate) définit le nombre de résultats indépendants de positionnement obtenus par unité de temps. [3]

### VIII- Combinaison de ces techniques

Aucune technique n'est parfaite. Chacune a ses propres faiblesses, généralement liées à leur dépendance à un certain réseau. Ainsi, la géolocalisation par GPS est impossible à utiliser à l'intérieur et elle nécessite un temps de réponse à l'allumage. La géolocalisation par GSM a une couverture géographique limitée. Enfin, la géolocalisation par Wifi souffre, quant à elle, d'une dépendance à la présence de bornes d'accès Wifi, plus complexe en milieu rural.

Il existe certains dispositifs qui combinent ces trois techniques pour limiter leurs faiblesses. Ce type de dispositif peut permettre, par exemple, de géolocaliser un individu à l'extérieur en utilisant le GPS et de garder sa trace à l'intérieur grâce aux techniques GSM et Wifi. Sachant que la précision de ce positionnement va varier en fonction des technologies disponibles.

### **VIV- Les risques de la géolocalisation :**

#### **VIV- 1 Les dangers de la géolocalisation sur le Web :**

Outre le fait qu'elles influencent sur nos habitudes et notre mode de vie, les nouvelles technologies deviennent des menaces dans le "cyberespace". En plus de vous localiser en permanence, en interrogeant leurs bases de données, les opérateurs téléphoniques collectent et archivent des nombreuses données à caractère personnel. Certaines sociétés sont spécialisées dans le rachat de ces données qui peuvent être réutilisées à des fins commerciales. Certaines personnes qui ont l'esprit mal placé et qui agissent contre la société et ses lois, utilisent des réseaux sociaux pour faire connaissance avec des personnes et lorsque celles-ci donnent des informations sur leurs habitudes et les lieux où elles vont, il est d'autant plus facile pour ces personnes de devenir dangereux pour leurs intérêts.

En utilisant des sites tels que YouTube, Twister, des chercheurs de l'International Computer Science Institute (ICSI) ont prouvé qu'il est facile de déterminer avec précision les adresses postales de victimes potentielles. Rien qu'en consultant des informations incluses dans des contenus accessibles à tous en ligne, tel que les photos et vidéos et tout genre de publication. Pour ce genre de cas, la CNIL (Commission Nationale de l'informatique et des libertés) L'organisme qui veille au respect de la vie privée et des droits de chacun dans le « monde numérique », ne peut agir, il nous suffit juste d'être vigilant et de ne pas divulguer toutes sortes d'informations. [11][12]

#### **VIV- 2 Les limites au sein de l'entreprise :**

Certaines entreprises vont jusqu'à vérifier la localisation de leurs camions en temps réel pour savoir où vont leurs chauffeurs. Ainsi, pour éviter tout risque de dérive, la CNIL impose aux entreprises l'existence d'un système de désactivation de la balise GPS, que le collaborateur peut utiliser quand il le souhaite, notamment à la fin de sa journée de travail. Cela permet aux employés, qui notamment utilisent leur véhicule de travail à des fins privées de ne pas être localisé constamment en dehors de leur temps de travail. Cela évite un

espionnage constant de la direction, ce qui pourrait amener à des maladroites de gestion de l'entreprise.

La Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) a instauré un guide destiné aux entreprises qui veulent pratiquer la géolocalisation. Ces dernières doivent obligatoirement présenter une déclaration. Elles doivent justifier le recours à ce dispositif (Suivre le temps de travail, assurer la sécurité des salariés) : l'entreprise doit mettre en avant des arguments qui légitiment une restriction des libertés ainsi que l'information des salariés sur la mise en place de la géolocalisation. [13]

### **VIV- 3 Moyens à disposition afin de brouiller la localisation :**

Les principales manières de faire brouiller la localisation est en utilisant un cryptage de signal émis. De même si l'utilisateur ne souhaite pas être localisé il peut faire cela depuis son emplacement en disposant des moyens technologiques. Il existe des produits anti-espion facile à l'utilisation, afin de brouiller les signaux. Ces systèmes bloquent tous les signaux émis par le GPS ou par le réseau téléphonique et réceptionnés dans un rayon variant de 5 à 10 mètres. Ces dispositifs sont en vente libre et disponibles. [14]

### **X- L'avenir de la géolocalisation :**

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication ne sont pas prêtes de faire leurs adieux, au contraire, un avenir radieux s'offre à elle. La modernité n'a pas de limites. Les entreprises mise beaucoup sur l'évolution de ces techniques pour pouvoir aller plus loin dans l'amélioration de leurs services.

D'un point de vue technique, la géolocalisation sera notamment progressivement intégrée à toutes les applications mobiles et Tous les contenus générés par les utilisateurs seront géo-taggués, Les LBS ( Location-Based Services ) seront intégrés dans les réseaux sociaux et les données géographiques vont devenir gratuites grâce à l'OSM (Open Street Map ) qui est un projet international fondé en 2004 dans le but de créer une carte libre du monde ou Elle collecte des données dans le monde entier sur les routes, voies ferrées, les rivières, les forêts, les bâtiments...[1]

### **XI- Conclusion**

Au cours de ce premier chapitre, nous avons défini la géolocalisation et les techniques de géolocalisation existante, Nous avons pu voir que la géolocalisation est présente dans tous les domaines, que ce soit dans les réseaux sociaux, domaine militaires (missiles, stratégie de terrain, déplacement de troupes...), transports (navigation, GPS). La géolocalisation est réglementée par la CNIL d'une manière à limiter tout risque qui peut atteindre la vie privé.

## **Chapitre II:**

### **Les techniques de la géolocalisation**



### I. Introduction

L'utilité principale d'un système radionavigation est de fournir la position d'un utilisateur se trouvant à la surface terrestre, sur les océans ou bien dans les airs. On a vu dans le chapitre précédent les différentes techniques de la géolocalisation utiliser pour se positionner et chaque technique a ces avantages et plus favorable que d'autre, chacune est caractérisée par son mode de fonctionnement et la zone de couverture et la vitesse de géolocalisation de l'utilisateur. On va consacrer ce deuxième chapitre à l'étude des systèmes GPS et le Loran C basé sur les deux techniques TOA et TDOA respectivement en deux parties.

### II. TOA ET TDOA :

#### Principe

TOA (temps d'arrivée) et TDOA (différence de temps d'arrivée) méthodes utilisent des relations géométriques basées sur des distances ou des différences de distance entre une station mobile et un certain nombre de terminaux fixes pour déterminer la position des coordonnées de la cible mobile. Les données relatives à estimations de distance sont calculées à partir des temps d'arrivée des signaux radioélectriques émis à un ou plusieurs récepteurs. Le procédé TOA utilise le temps de transit entre l'émetteur et le récepteur directement pour trouver la distance, alors que le procédé TDOA calcule l'emplacement à partir des différences de temps d'arrivée mesurés sur des paires de voies de transmission entre la cible et les terminaux fixes.

En TOA, les estimations de positionnement sont trouvées en déterminant les points d'intersection des cercles (2D) ou des sphères (3D) dont les centres sont les stations émettrices et les rayons sont estimés à distances de récepteur. En TDOA La position du récepteur est obtenue par l'intersection d'au moins 2 hyperboles avec chaque station fixe comme des foyers, ce positionnement hyperbolique est appelé multilatération. [15]

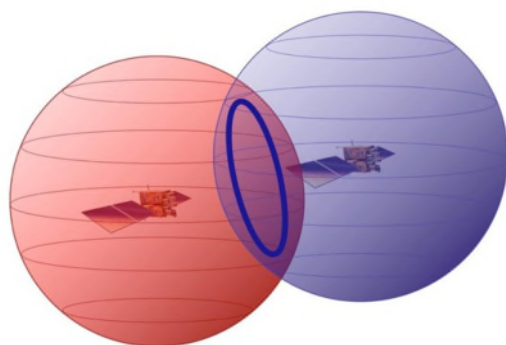


Figure 2.1 : Positionnement en TOA.

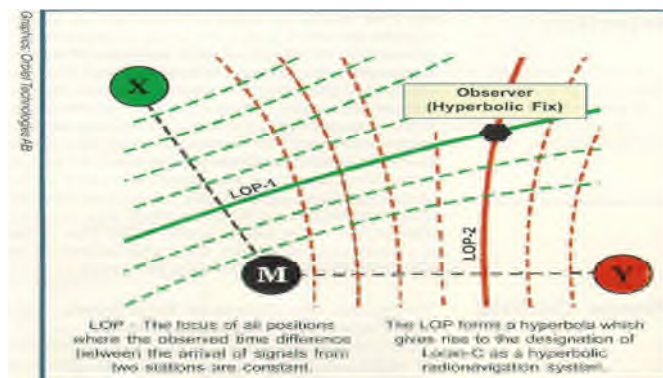


Figure 2.2: Positionnement en TDOA.

### Partie I : positionnement hyperbolique

Le système Loran C (Long Range Aid for Navigation de type C) est un système de radionavigation terrestre, existe depuis la Seconde Guerre Mondiale et il est issu des systèmes Gee et Loran A. Ce système terrestre actuellement utilisé en secours des systèmes de positionnement par satellite.

Il est réparti en trois segments principaux :

- **Segment balise/émetteur** : ce segment est constitué d'un réseau de balises émettrices fixe recouvrant un territoire, un continent, une partie d'un océan (système LORAN C), et diffusant des signaux radio permettant au récepteur de se positionner.
- **Segment de contrôle** : ce segment est constitué de stations de contrôle disposé sur le territoire couvert par le segment balise. Ayant une position précisément connues, elles reçoivent, analysent et surveillent les signaux provenant du segment balise. Elles permettent de déterminer les erreurs de synchronisation entre plusieurs émetteurs, Si elles détectent des défauts elles peuvent les corriger en transmettant des ordres de correction aux différents émetteurs.
- **Segment utilisateur** : ce segment est constitué de tous les récepteurs recevant les signaux radio des balises émettrices pour en déterminer leur position. Les récepteurs sont généralement constitués d'une partie analogique qui amplifie, filtre et convertit les signaux radio des balises, puis d'une partie numérique qui traite les informations mesurées pour en déduire la position du récepteur dans un référentiel défini par l'utilisateur.

#### I. Description du système Loran C :

Constitué de stations émettrices de position précisément connue, qui émettent des signaux radio impulsionnel périodique en basses fréquences (BF) à 100KHz avec une puissance variant entre 250KW à 1MW. Les stations sont regroupées en chaînes au sein de laquelle une station Master synchronise et commande d'autres stations Slave, de telle façon que les stations d'une même chaîne émettent séquentiellement. Tous les émetteurs Loran C utilisent la même fréquence d'émission, mais multiplexés dans le temps par la méthode TDMA ( Time Division Multiple Access). Les chaînes Loran C diffèrent l'une de l'autre par la période de répétition de leur impulsion appelée GRI (Group Repetition Interval), spécifique à chaque chaîne. La figure suivante illustre la structure des signaux radio émis par une chaîne. [3]

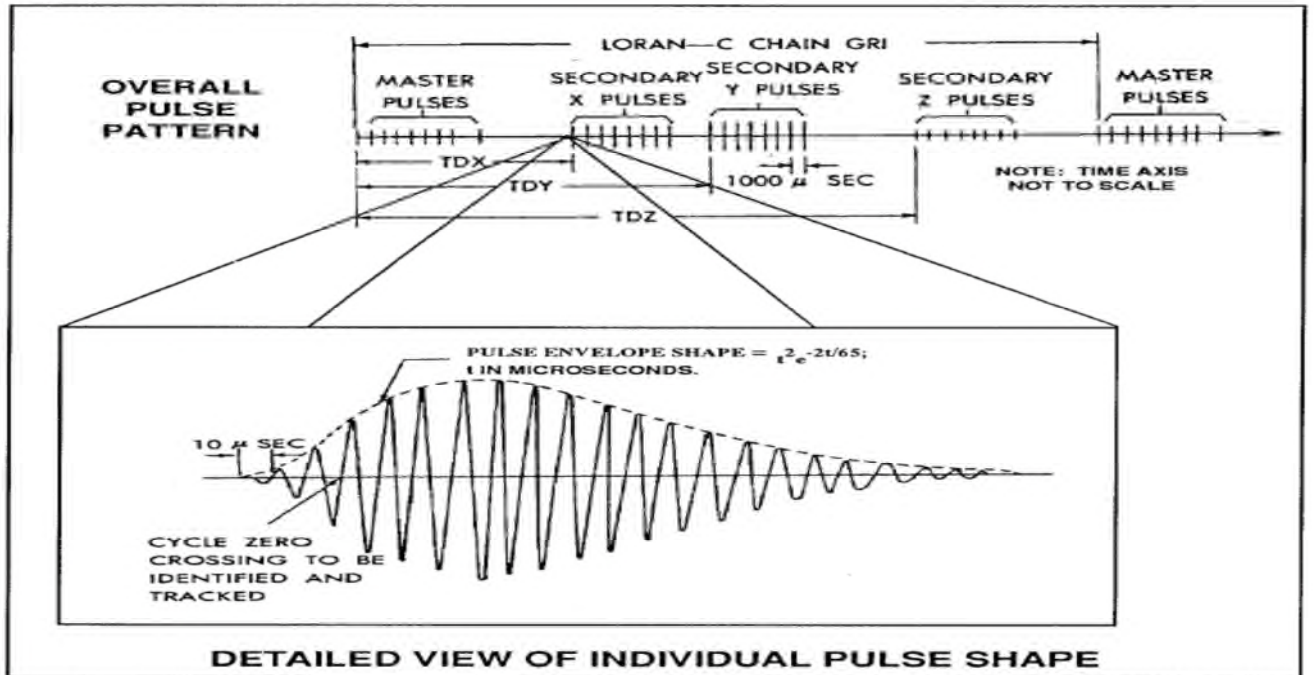


Figure 2.3 : émission du système Loran C.

### 1. Les modes de fonctionnements :

La technique TDOA peut fonctionner dans deux modes : [16]

**Mode 1**- La station d'intérêt reçoit plusieurs impulsions de référence et calcule le TDOA : fonctionnement de type LORAN-C et la charge de traitement est sur le récepteur pour exécuter les algorithmes de localisation hyperbolique.

**Mode 2** - La station d'intérêt transmet une impulsion de référence qui est reçue par plusieurs nœuds fixes :

Les nœuds fixes doivent transmettre les informations TDOA à un poste de travail qui exécute ensuite l'emplacement par un autre algorithme.

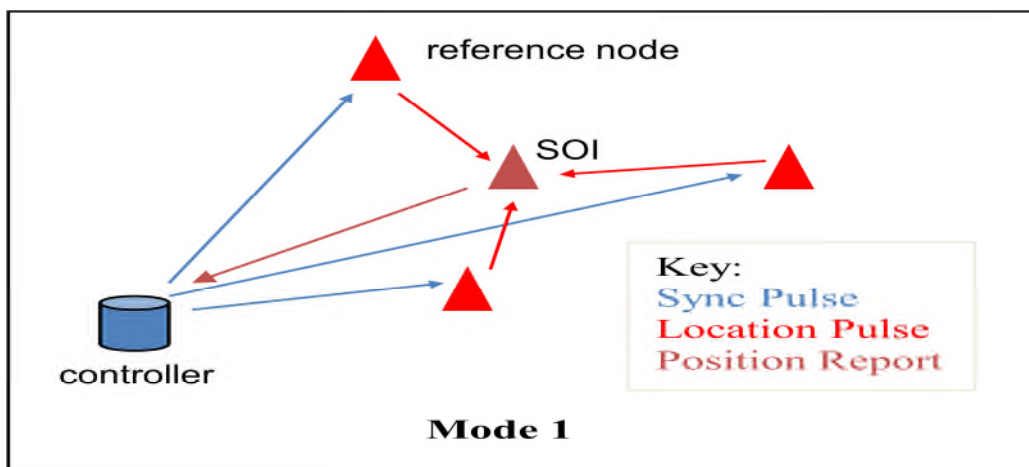


Figure 2.4 : Modes de fonctionnement TDOA.



## II. Le fonctionnement de système Loran c :

### II.1 Constitution d'une chaîne :

Une chaîne Loran C comprend une station maitre et de 2 à 5 stations esclaves disposées selon la figure 2.5 ci dessous, sachant que la zone de couverture de chaque chaîne est fonction de :

- La porté des émetteur en onde de sol (jusqu'à 1200 milles sur mer).
- Regroupement correct des hyperboles des différents couples maitre-esclave.

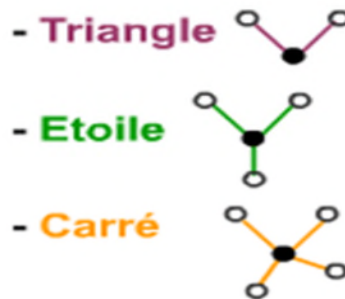


Figure 2.5 : différentes positions d'une chaîne Loran C

Dans notre cas on va a étudier le cas d'une chaîne en triangle, rappelant que la position de notre récepteur on l'obtient par le point d'intersection de deux hyperbole pour les autre cas c'est le même principe. [17]

#### II.1.1 Emission des stations :

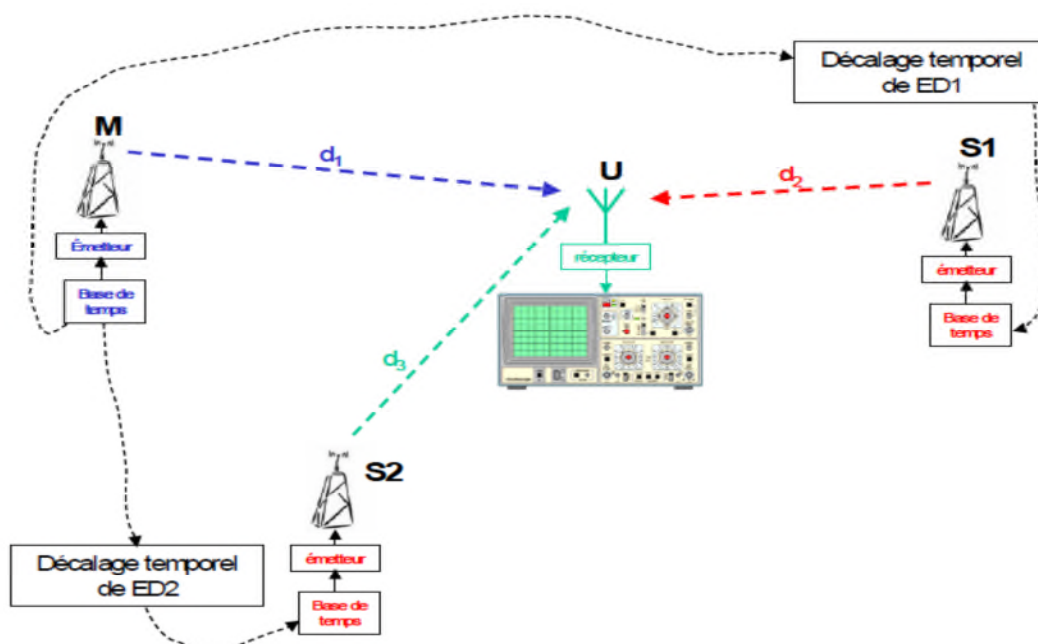


Figure 2.6 : une chaîne Loran C on triangle.

Les émetteurs sont synchronisés par le segment de contrôle et émettent sur la même fréquence porteuse. ED1 désigne le retard d'émission pour S1 et ED2 désigne le retard

d'émission pour S2. Les retards ED1 et ED2 sont pris strictement supérieur au temps de propagation entre MS1 et MS2 respectivement. Ils sont parfaitement connus et maîtrisés par le segment de contrôle, et sont calculés de façon à ce que en tout point de la zone de couverture les stations soient toujours reçues dans l'ordre où elles sont émises, afin d'éviter d'avoir des impulsions confondues.

Chaque station émet à tour de rôle un train de 8 impulsions la station maître émet une 9ème impulsion après la 8ème pour que le récepteur identifie l'émission du maître.

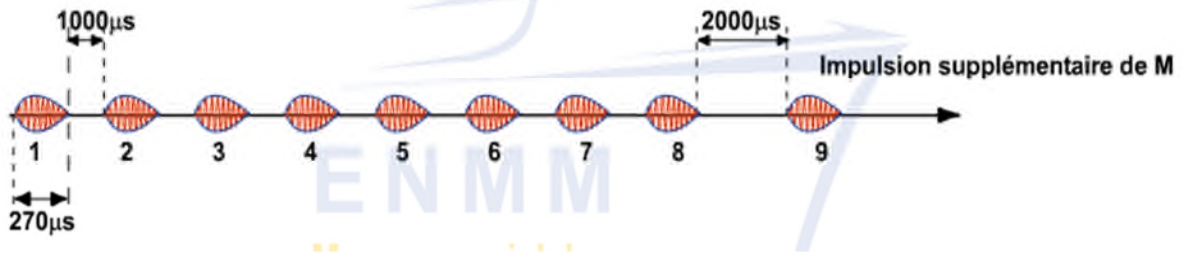


Figure 2.7 : Train impulsions du maître.

### II.1.2 Le codage de phase:

On va coder les impulsions de chaque train d'impulsion, action qui consiste à faire débiter certaines impulsions par une alternance positive et d'autres par une alternance négative. Le codage de phase se prolonge sur une période de deux GRI appelé intervalle de codes de phase (PCI). Le code de phase maître et secondaire sont présentés dans Tableaux 2.1. [17]

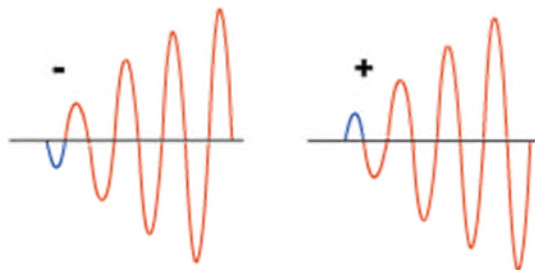


Figure 2.8 : Codage de phase.

Le codage de phase nous permet de réduire les effets de bruit et parasite rassemblant à des impulsions, d'identifier les stations principales et secondaires automatiquement par des techniques de corrélation croisée (Autocorrélation) dans les récepteurs, rechercher et poursuivre automatiquement des stations par microprocesseur et rejette les skywaves multi-hop afin de privilégier l'onde de sol : lorsque les skywaves ont des codes de phase différents des ondes de sol souhaités, le signal skywave est annulé. [18]

**Skywaves :** fait référence à la propagation des ondes radio réfléchi ou réfracté vers la Terre de l'ionosphère qui peut interférer le récepteur.

station		
GRI	Master	secondaire
A	+ + - - + - + - +	+ + + + + - - +
B	+ - - + + + + + -	+ - + - + + - -

**Tableaux 2.1** : Code de phase master et secondaire.

### II-1-3 Le blink :

Pour la Détection des défauts à la réception on utilise le BLINK qui est un signal supplémentaire introduit à la transmission des impulsions de la station concerné pour signaler un défaut de l'émetteur.

- Station maître : clignotement de la 9eme impulsion
- Station esclave : clignotement des deux premières impulsions

Le blink va déclencher une alarme sur le récepteur, aucune observation ne doit être faite sur un signal présentant un clignotement régulier. [17]

### II-2 Détermination des coordonnées géographiques :

Le récepteur utilise l'onde de sol des stations émettrices d'une chaîne Loran C, La détermination du point s'effectue par :

- Une synchronisation sur la période de répétition et la fréquence (GRI): Les différentes périodes de répétition permettent de synchroniser le récepteur sur une chaîne choisie.
- Corrections prédictibles de propagation
- Utilisation de TDOA pour détermine les retards (TD) des stations esclaves par apport à la station Master.
- Utilise les retards pour détermine ses coordonnées géographiques par l'intersection de deux hyperbole.
- Reportées sur des cartes spéciales LORAN C sa position.

Avec le maître et les stations secondaires dans des positions géographiques  $(X_m, Y_m), (X_{s1}, Y_{s1})$  et  $(X_{s2}, Y_{s2})$  respectivement connues, le seule inconnue est les coordonnées de récepteur  $U(X_u, Y_u)$ , on utilise les retards pour détermine les coordonnées du récepteur. [3]

On visualise les différents signaux M, S1, S2 et U dans la figure 2.10 si dessous :

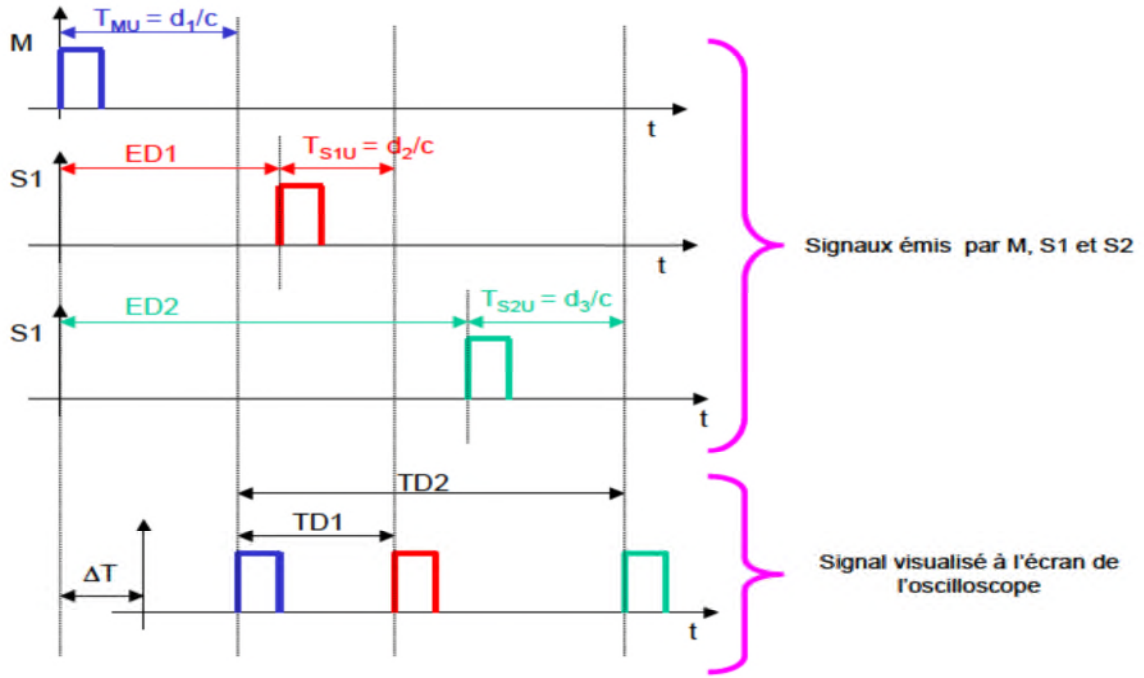


Figure 2.9 : Chronogrammes.

Le décalage temporel  $\Delta T$  est éliminé par la mesure de TDOA :

$$TMu + TD1 = ED1 + TS1u \quad \text{II.1}$$

$$TMu + TD2 = ED2 + TS2u \quad \text{II.2}$$

D'où:

$$TMu - TS1u = \frac{(d1-d2)}{c} = ED1 - TD1 \quad \text{II.3}$$

$$TMu - TS2u = \frac{(d1-d3)}{c} = ED2 - TD2 \quad \text{II.4}$$

Comme :

$$d1 = \sqrt{(Xu - Xm)^2 + (Yu - Ym)^2} \quad \text{II.5}$$

$$d2 = \sqrt{(Xu - Xs1)^2 + (Yu - Ys1)^2} \quad \text{II.6}$$

$$d3 = \sqrt{(Xu - Xs2)^2 + (Yu - Ys2)^2} \quad \text{II.7}$$

On déduit les 2 équations hyperboliques :

$$C. (ED1-TD1) = \sqrt{(Xu - Xm)^2 + (Yu - Ym)^2} - \sqrt{(Xu - Xs1)^2 + (Yu - Ys1)^2} \quad \text{II.8}$$

$$C. (ED2-TD2) = \sqrt{(Xu - Xm)^2 + (Yu - Ym)^2} - \sqrt{(Xu - Xs2)^2 + (Yu - Ys2)^2} \quad \text{II.9}$$

Chaque TD correspond a une hyperbole est par l'intersection de 2 hyperbole On détermine les coordonner géographique de point U.

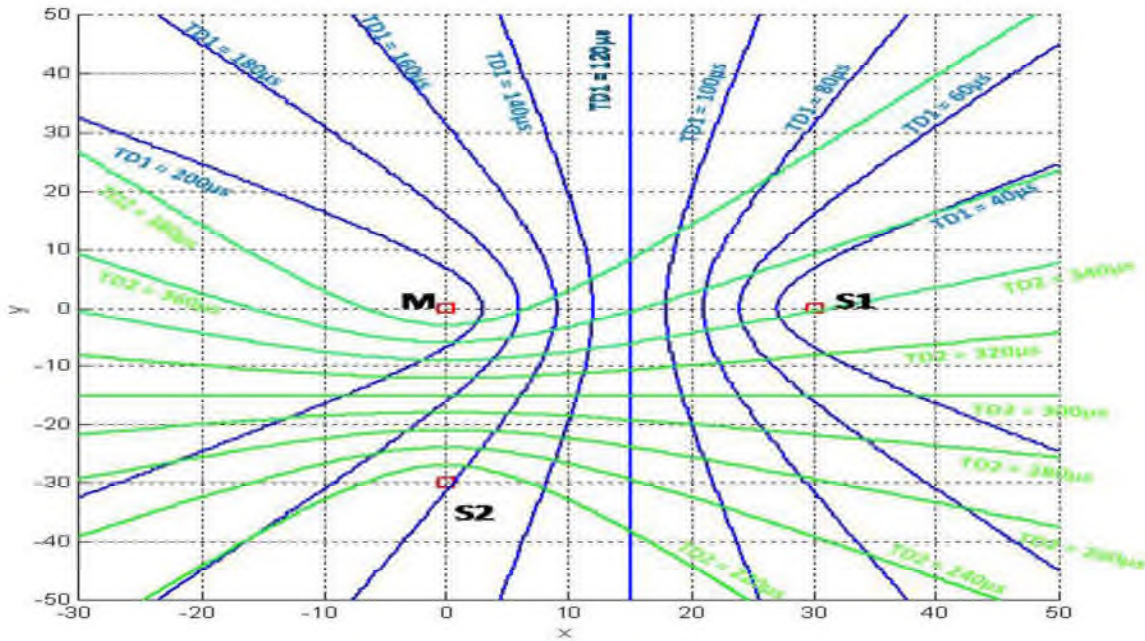


Figure 2.10 : Intersection des hyperboles pour différents TDOA.

#### IV- Les erreurs déterministes :

##### IV-1 L'onde de sol :

- **Primary factor (PF) :** La vitesse de propagation dépend des propriétés physique de l'air, de l'eau de mer et des terres au-dessus des quelles l'onde électromagnétique se déplace. On définit les conditions de propagation par des corrections à la vitesse théorique du signal en atmosphère standard cette vitesse est de 299691 Km/s (équivalent à 161,828 NM/sec) appelée PF.
- **Secondaire factor (SF) :** c'est la 1<sup>er</sup> correction elle tient compte de la conductivité de l'eau de mer .calculer à l'aide d'un model de correction adapté a chaque océan en fonction de sa salinité. il conduit à adopter des vitesses de propagation diminuant avec l'éloignement à la station d'émission, cette correction est préprogrammée dans le récepteur. comme ils voyagent sur l'eau de mer. La quantité de temps nécessaire pour Voyage sur une distance déterminée dépasse celle calculée en utilisant le PF d'un montant égal à la SF. SF est appliquée comme terme correction du temps de Voyage requis plutôt que comme un ajustement à la vitesse de propagation des signaux. Plusieurs équations pour SF ont été proposées, telles que les polynômes dits Harris indiqués ci-dessous qui concernent la SF à la distance parcourue, d (en miles):

$$SF = \begin{cases} -0.01142 + 0.00176 d + \frac{0.5104831}{d} & \text{pour } d \leq 100 \text{ SM} & \text{II. 10} \\ -0.40758 + 0.000346776 d + \frac{24.0305}{d} & \text{pour } d \geq 100 \text{ SM} & \text{II. 11} \end{cases}$$

Exemple de calcul théorique de différence de temps avec les corrections PF et SF dans le tableau suivant :[25]

propagation	PF (usec)	SF (usec)	TEMP (PF+SF) (usec)
De Maître au secondaire (400NM)	2471.74	1.25	2472.99
Le retard entre le maitre et secondaire	/	/	11000
De Secondaire au navire (212.5NM)	1313.11	0.55	1313.67
De Master au navire (512.5NM)	3166.92	1.68	<u>-3168.61</u>
Mesuré Différence de temps au navire			11618.05

**Tableau 2.2** : calcule théorique de différence de temps avec les corrections PF et SF

Avec :

- Le mile (SM) : 1 SM = 1,609 Km
  - Le mile nautique(NM) : 1NM=1.852 Km
  - 1SM=0.868976 NM
- **Additional secondary factor (ASF)** : c'est la 2eme correction, elle tient compte des trajets alternés sur des surfaces immergées et non immergées. L'effet des trajets terrestres est très variable et conduit à diminuer la vitesse de propagation moyenne sur l'ensemble du trajet, cette correction est préprogrammée dans le récepteur.

Les ASF peuvent être trouvées dans une série de tableaux, appelé Loran C Tableaux de correction, préparés et publiés par l'Agence de défense cartographique, Centre hydrographique / topographique (DMAHTC). Ces tableaux sont publiés dans une série de volumes, un pour chaque chaîne Loran. Chaque volume est organisé en un ensemble de pages pour chaque paire de stations (principale et secondaire) ou le taux au sein de la chaîne. En outre, chaque page de corrections dans le tableau couvre une superficie de trois degrés en latitude par un degré de longitude. Un index permet une détermination rapide de la page appropriée dans le tableau pour trouver ASF d'intérêt.

Tableau 2.3 fournit un extrait d'une correction Tableau Loran C pour le NEUS (9960) et la chaîne maître-Whiskey paire de station. Cette page couvre une zone au large de l'embouchure de la baie du Delaware entre les latitudes de 36 0 'N et 39 0' N et les longitudes 74 0 'W et 75 0 'W. les corrections ASF indiquées dans ce tableau sont à appliquer sur les TD mesurées, et peuvent être positifs ou négatifs, les corrections ASF sont généralement de petite taille (pas plus de 4 microseconde), mais peuvent être importants pour la navigation précise, ils sont ajoutés algébriquement à la mesure TD observée de la paire de la station (maitre et secondaire). Par exemple, supposons que le navire était situé à la position approximative 39 0 'N et 74 30' W, et que l'ASF pour la paire de station de Whiskey on voulait. D'après le tableau II\_5 on peut voir que l'ASF est -0.9 microseconde. Ainsi, en l'occurrence 0,9 microseconde devrait être soustraits de la TD observée pour obtenir un TD corrigé. [25]

		9960-W												
		LONGITUDE WEST												
		75												74
		0	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
<b>LONGITUDE NORTH</b>	39°0				-0.9	-1.0	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5
	55	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5
	50	-1.3	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5
	45	-1.3	-1.0	-1.0	-0.9	-0.9	-0.7	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5
	40	-1.3	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6
	35	-1.1	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	30	-1.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.7	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	25	-1.0	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	20	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	15	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	10	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	38°0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	55	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
	50	-0.3	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	
	45	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	
	40	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6		
	35	-0.2	-0.3	-0.3	-0.5	-0.7	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6				
	30	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6					
	25	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.5	-0.7						
	20	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.5	-0.6						
	15	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.5	-0.4	-0.6						
	10	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4							
	5	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.4							
	37°0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4								
	55	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3								
	50	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2								
	45	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2									
40	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2										
35	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2										
30	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1										
25	-0.2	-0.2	-0.2	-0.0										
20	-0.2	-0.2	-0.2	-0.0										
15	-0.2	-0.2	-0.1	-0.0	0.0									
10	-0.2	-0.1	-0.1	-0.0	0.0	0.1								
5	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	0.1	0.1								
36°0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	0.1	0.2	0.3							

Tableau 2.3 : extrait d'une correction Loran C pour la chaîne NEUS (9960)

La vitesse de propagation entre une station et un point donnés vaut :  $PF+SF+ASF$ . L'ensemble des corrections peut atteindre plusieurs us, est pour améliorer la qualité du point il faut les prendre en compte.

### IV-2 Les ondes de ciel :

Lorsque la synchronisation sur l'onde de sol n'est plus possible, le mode de réception sur mode de ciel devient prépondérant. Le récepteur en avertit l'utilisateur par une alarme. Il faut alors appliquer des corrections pour tenir compte du trajet et de la vitesse de propagation de l'onde ciel.

Les performances du Loran C sont fortement dégradées par la mauvaise connaissance de ces corrections. [17]

## V- Conclusion

Le Loran C est un système de radionavigation terrestres qui utilise la méthode hyperbolique qui consiste à mesurer les différences de temps d'arrivée des signaux radio transmis par les émetteurs, puis déduire la position par l'intersection des hyperboles correspondantes aux différences de temps. La méthode TDOA élimine naturellement le décalage temporel existant entre les bases de temps des émetteurs et du récepteur.



## Partie II : positionnement par GPS

Le système de positionnement global ou GPS, est un système de radionavigation spatial qui permet aux utilisateurs équipés de récepteurs convenables de déterminer sur terre, sur mer ou dans les airs, leur position, leur vitesse et l'heure à n'importe quel moment du jour ou de la nuit et ce, quelles que soient les conditions météorologiques. Le système offre un niveau de précision équivalent ou supérieur à tout autre système de navigation existant. Le principe du GPS réside dans la mesure précise du temps de propagation d'un signal émis par un satellite de la constellation GPS (31 satellites en activité fin 2007[19]) jusqu'à un récepteur autorisant la détermination de la distance qui les séparent.

Le GPS a été conçu par le ministère de la Défense des États-Unis qui en assure également l'exploitation et l'entretien. À l'origine, il était destiné à répondre aux besoins des militaires.

Le GPS est composé de trois parties distinctes, appelées encore segments :

- **Le segment spatial** : est constitué d'une constellation de 31 satellites Navstar dont 24 satellites principaux placés sur 6 orbites circulaires qui assurent la couverture mondiale du GPS, l'altitude de ces satellites est de 20 200 km. Ils font ainsi un tour d'orbite en 12 h. la position de chaque satellite est connue avec une précision inférieure à 1 mètre. [20]

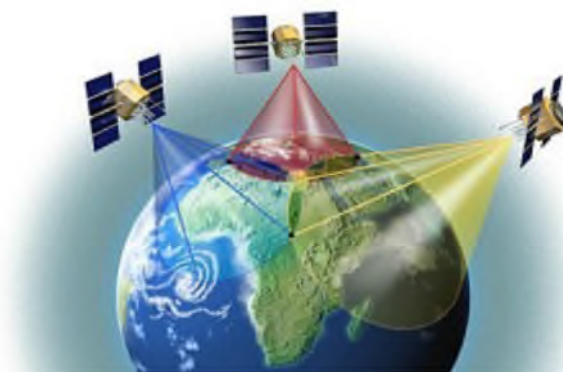


Figure 2.11 : Le segment spatial.

- **Le segment de contrôle** : C'est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système. Il est composé de cinq stations au sol, Leur rôle est de mettre à jour les informations transmises par les satellites (éphémérides, paramètres d'horloge) et contrôler leur bon fonctionnement.



Figure 2.12 : Le segment de contrôle.

- **Le segment utilisateur :** Constitué par l'ensemble des récepteurs susceptible de décoder les signaux de navigation transmis par les satellites et d'en déduire par calculer la position, de vitesse ou de temps. Comme les utilisateurs ne font que recevoir le système ne peut être saturé et le nombre maximum d'utilisateurs GPS est illimité.

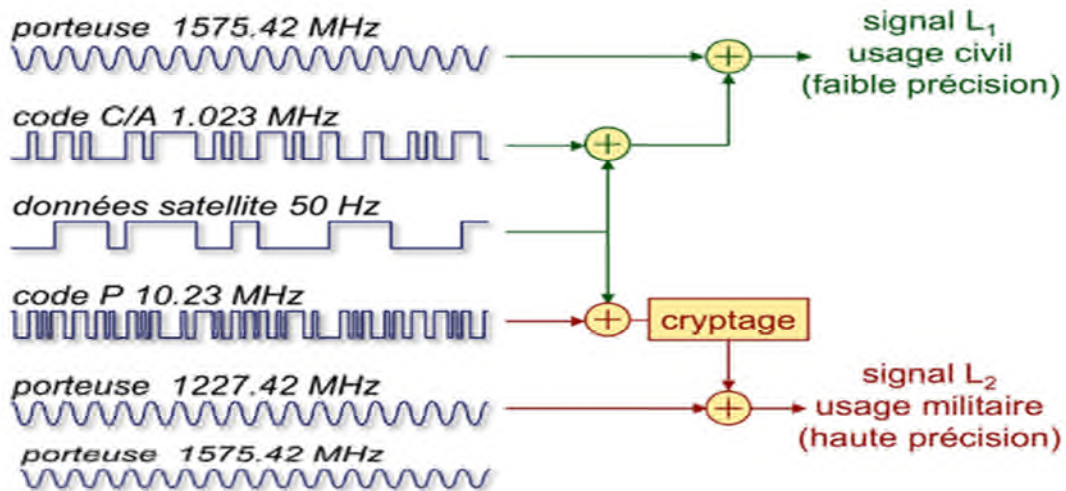


Figure 2.13: Le segment utilisateur.

**I- Description d'un system GPS:**

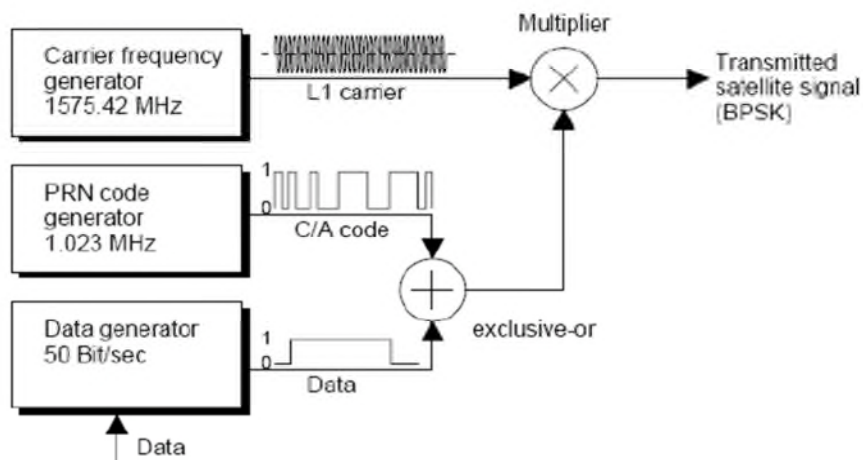
**I- 1. Code utilisé dans le système GPS**

La structure électronique interne des satellites GPS est la suivante :



**Figure 2.14 :** Architecture interne des satellites GPS.

Chaque satellite émet en permanence sur deux fréquences le code civil SPS (Standard Positioning Service) ou code C/A sur la fréquence L1 de 1575.42 MHz. Et le code militaire PPS (Precise Positioning Service) sur les fréquences L1 et L2 de 1227.42MHz, modulées en phase (BPSK) par un ou plusieurs codes pseudo-aléatoires. Datés précisément grâce à leur horloge atomique et un message transmis à 50 bit/s, inclut en particulier les éphémérides permettant le calcul de la position des satellites, ainsi que des informations sur leur horloge interne. Le débit du code C/A est de 1.023 Mbps et le débit du code PPS est de 10.23Mbps. Par la suite, nous allons seulement nous intéresser au code C/A et simplifier l'architecture du satellite à la figure suivante : [3]



**Figure 2.15:** Partie satellites émettent le code C/A.

## I- 2. Générateur code PRN :

Les émissions de chaque satellite sont en fait différenciées les une des autres au moyen d'un bruit pseudo-aléatoire. Chaque satellite possède un PRN différent, Qui est une suite périodique de bit dont la génération est complètement déterministe, mais avec équiprobabilité d'apparition des « 0 » et des « 1 ». Cette séquence est générée par un registre à décalage à rétro-action linéaire ou LFSR (Linear Feedback Shift Register). la figure suivante montre le registre à décalage utiliser par se système de positionnement.

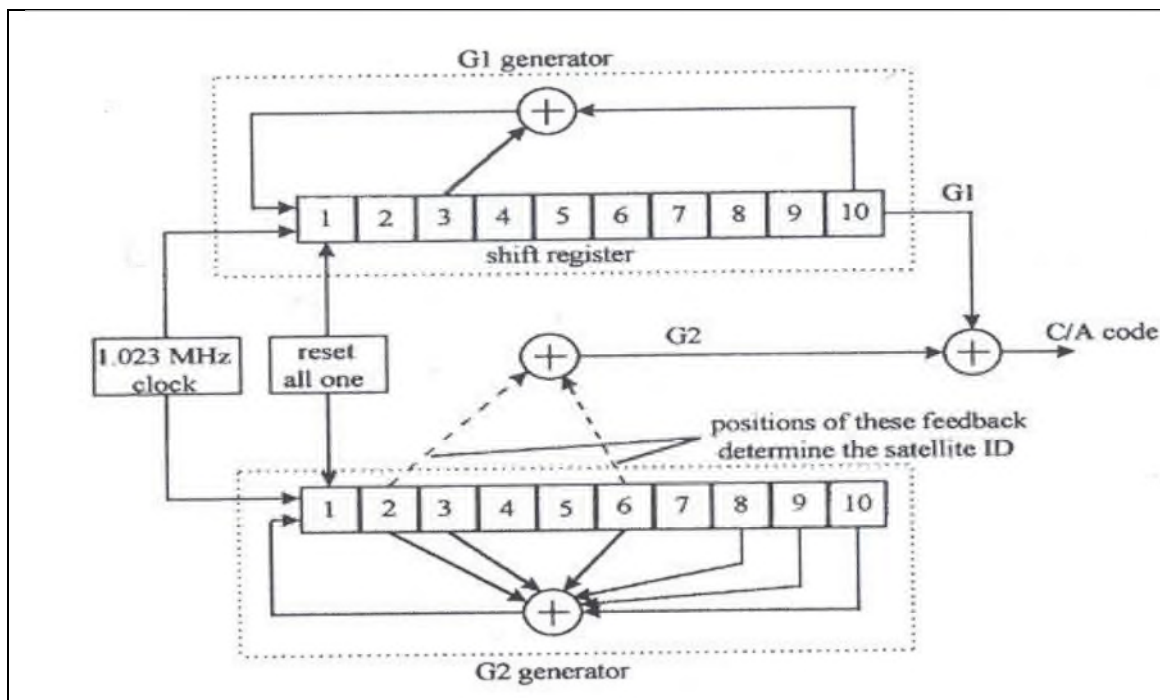


Figure 2.16 : Registre LFSR.

Cette séquence est statistiquement aléatoire ne se répète pas à tout moment est elle à de très bonnes propriétés d'auto corrélation : fait apparaître un pic très étroit, d'amplitude égale à  $2N-1$  avec  $N$  la taille des registre LFSR. Cette propriété d'auto corrélation sera très utile en radionavigation pour déterminer très précisément les TOA.

Un générateur de code PRN délivre un code binaire au débit de 1.023Mb/s, qui est multiplié avec les données de navigation à 50bit/s, l'ensemble vient moduler en phase (BPSK) sur une porteuse de 1575.42MHz. Ceci est résumé par la figure suivante :

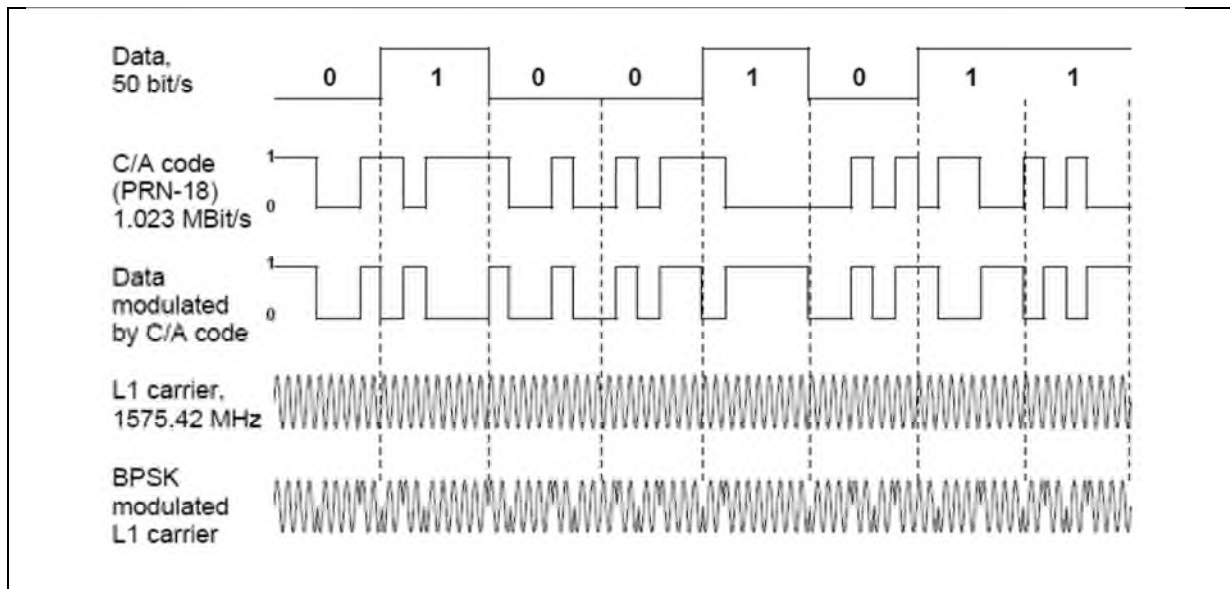


Figure 2.17 : Modulation avec code PRN.

Chaque satellite est attribué par un code PRN unique de longue 1023 bit/s. Ceci est fait en choisissant les différentes positions pour exploiter le registre à décalage G2, les satellites GPS sont souvent identifiés par leur numéro PRN. Dans le Tableaux 2.2 ci-dessus, nous cherchons le PRN1 du premiers satellite, qui est défini comme étant prélevé sur les positions 2 et 6 du registre a décalage (figure 2.16), Pour PRN2 est défini comme étant prélevé sur les positions 3 et 7 est ainsi de suite. Voici la liste des affectations PRN pour chaque satellite:[3][22]

Identification de satellite par PRN	Position de sortie de code G2	Identification par satellite par PRN	Position de sortie de code G2
1	2&6	17	1&4
2	3&7	18	2&5
3	4&8	19	3&6
4	5&9	20	4&7
5	1&9	21	5&8
6	2&10	22	6&9
7	1&8	23	1&3
8	2&9	24	4&6
9	3&10	25	5&7
10	2&3	26	6&8
11	3&4	27	6&9
12	5&6	28	8&10
13	6&7	29	1&6
14	7&8	30	2&7
15	8&9	31	3&8
16	9&10	32	4&7

Tableau 2.4 : affectation des codes PRN pour chaque satellite

## II- Principe de fonctionnement du récepteur GPS:

### II-1 Mesure de la pseudo-distance du récepteur par rapport à un satellite :

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques en continue qui se propagent à la vitesse de la lumière (la vitesse retenue par convention pour le système GPS est  $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1}$ ), ces signaux contenant toutes les informations nécessaires pour déterminer la position et premièrement la distance récepteur satellite donner par la formule suivante :

$$d = c \cdot T \quad (10)$$

Où :

- d : est la distance.
- C : la vitesse de la lumière.
- T : le temps mis par l'onde pour arriver (TOA) du satellite au récepteur.

Le récepteur une fois en fonctionnement capte les signaux envoyés par les satellites. il Reste donc à déterminer le temps qu'a mis l'onde pour parvenir au récepteur. Pour cela le récepteur mesure le déphasage entre les ondes comme suite :

- Une fois que le signal L1 du satellite est capté, le récepteur génère des répliques identiques de code PRN, Une boucle automatique de contrôle de code dans le récepteur va faire décaler dans le temps le signal reçue de façon à la faire coïncider avec la trame générer. Quand la correspondance est établie, le récepteur peut alors déterminer le temps de parcours du signal TOA plus ou moins l'erreur d'horloge. [23][24]

Dans la figure 2.18 suivante, en haut et en jaune c'est le code génère par le récepteur en bas on recherche la la coïncidence avec le code du satellite par corrélations:

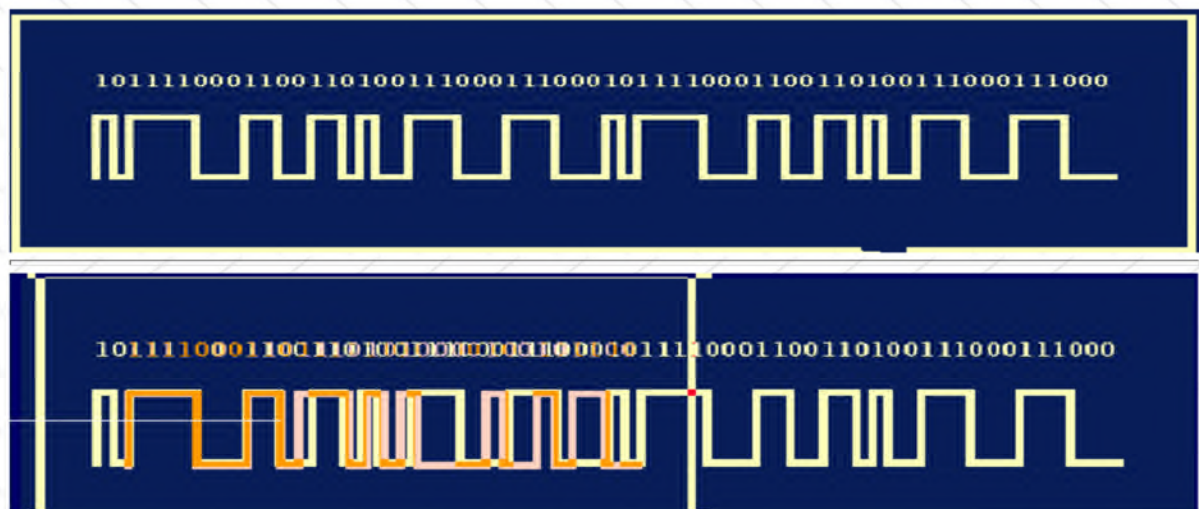


Figure 2.18 : la corrélation.

Après recherche de superposition de signal, on obtient donc :



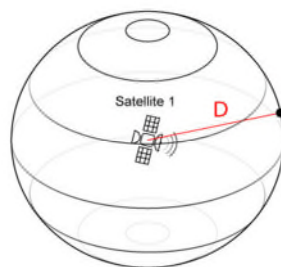
**Figure 2.19:** Décalage entre le satellite et le récepteur.

Enfin, Le récepteur mesure le déphasage entre les deux signaux, C'est la différence de temps entre l'heure d'envoi du signal et sa réception par le récepteur. La mesure du temps de transmission est déduite de ce procédé, et ainsi on peut connaître la distance séparant le récepteur du satellite par la relation (10), Cette procédure est reprise pour au moins trois autres satellites afin d'obtenir les mesures de temps TOA. Toutes ces distances mesurées par le récepteur sont entachées d'erreurs à cause de manque de synchronisation entre les horloges stables et hautement précises des satellites et l'horloge du récepteur, qui fausse le décalage de temps mesuré par le récepteur, cependant les différents distances calculer on les appelle des pseudo-distances.

Cette étape est terminée, on a la distance séparant le récepteur du satellite par l'intermédiaire de la vitesse des ondes et du temps mis par l'onde pour parvenir au récepteur. Ensuite il faut trouver précisément où se trouve le récepteur à la surface du globe. Afin d'y parvenir on utilise la méthode de trilatération .

### II-2 La trilatération dans le GPS :

Sachant que le satellite a une position X précise et définie dans un espace à 3 dimensions, l'ensemble des points possibles où pourrait se situer l'utilisateur du GPS est la sphère de centre le satellite et de rayon la distance d.



**Figure 2.20 :** un Satellite

A partir de cela, il est impossible de localiser un point précis. Il faut donc l'intervention d'au moins un autre satellite qui connaît la distance le séparant du récepteur GPS : les rayons d'actions des deux satellites vont alors se rencontrer et former un cercle dans lequel se trouve le point recherché par le GPS.

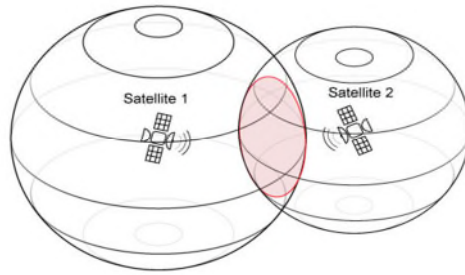


Figure 2.21: deux satellites

On voit qu'on a une idée peu précise de la localisation du point d'où la nécessité d'un 3eme satellite qui connaît la distance le séparant du récepteur GPS. On obtient alors 2 points possibles. Ainsi on peut déduire sa position exacte en éliminant le point donnant un résultat incohérent, si le récepteur est au sol 3 satellites suffisent pour déterminer l'intersection des 3 sphères si non le point sera déterminé Grâce aux signaux d'un quatrième et dernier satellite.

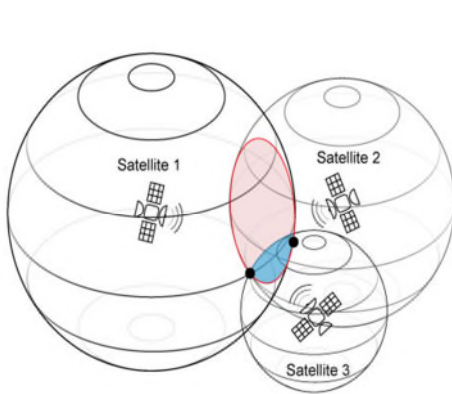


Figure 2.22: trois satellites

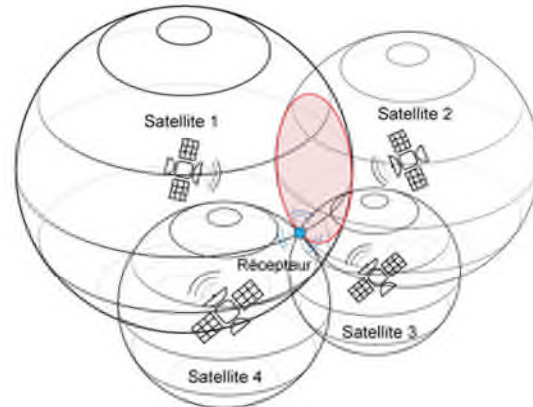


figure 2.23: quatre satellites

### II-3 La détermination des coordonnées :

Une fois que la corrélation est réalisée le récepteur peut décoder et démodule les signaux provenant de chaque satellite pour :

- récupérer la position de satellite avec les corrections associées.
- reconstruire la porteuse pour déterminer la vitesse de récepteur par une mesure doppler.

La position de chaque satellite sont connu NV1(X1,Y1) ,NV2(X2,Y2) , NV3(X3,Y3) ,NV4(X4,Y4) et la position de notre récepteur à déterminer U(Xu,Yu, Zu). On obtient les équations sphériques suivantes :

$$(X_u - X_1)^2 + (Y_u - Y_1)^2 + (Z_u - Z_1)^2 = c^2 \cdot (T_u - T_1)^2 \quad (11)$$

$$(X_u - X_2)^2 + (Y_u - Y_2)^2 + (Z_u - Z_2)^2 = c^2 \cdot (T_u - T_1)^2 \quad (12)$$

$$(X_u - X_3)^2 + (Y_u - Y_3)^2 + (Z_u - Z_3)^2 = c^2 \cdot (T_u - T_1)^2 \quad (13)$$

$$(X_u - X_4)^2 + (Y_u - Y_4)^2 + (Z_u - Z_4)^2 = c^2 \cdot (T_u - T_1)^2 \quad (14)$$



Avec :

- $(T_u - T_1) = \text{TOA1}$
- $(T_u - T_4) = \text{TOA4}$
- $(T_u - T_3) = \text{TOA3}$
- $(T_u - T_2) = \text{TOA2}$

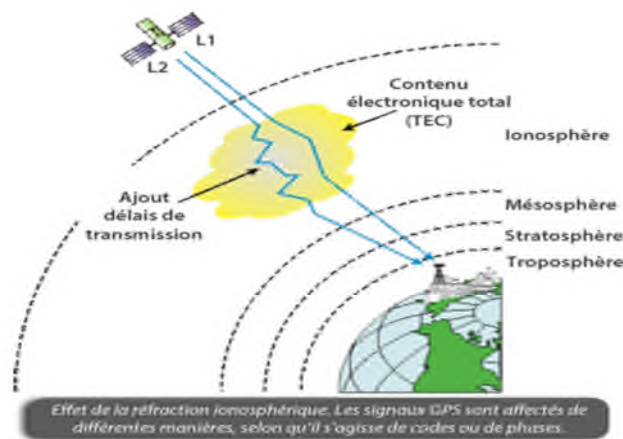
$T_u$  le temps par rapport à la base des satellites et  $T_1, T_2, T_3$  et  $T_4$  le temps à la réception par rapport à chaque satellite.

La résolution de ce système d'équation nous donne les coordonnées sphériques ( $X_u, Y_u, Z_u$ ) du récepteur GPS. Le récepteur calcule le point géographique latitude longitude et altitude par rapport au système géodésique WGS 84, puis effectue automatiquement toutes les conversions entre le système appelé ECEF (terre centrée terre fixée) à partir de coordonnées sphériques ( $X_u, Y_u, Z_u$ ) et le système WGS 84. [17]

### II- Les erreurs :

La plupart des récepteurs sont capables d'affiner leurs calculs en utilisant plus de quatre satellites. Cependant, le GPS ne fonctionne pas toujours : il arrive parfois que les signaux soient trop perturbés par : [23] [26] [27]

- **Traversée des couches Atmosphériques :**

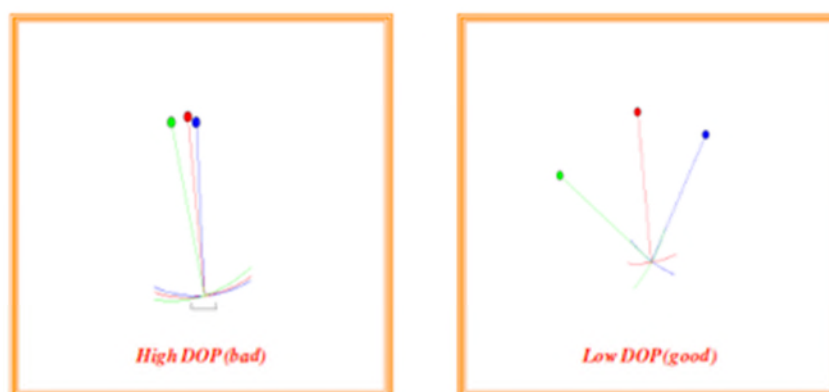


**Figure 2.24 :** erreur Atmosphériques

Les erreurs atmosphériques sont les sources d'erreurs les plus fréquentes pour le GPS. Comme les satellites sont en orbite à environ 20 000 km autour de la terre, les signaux GPS doivent traverser les couches de l'ionosphère et de la troposphère avant d'atteindre l'antenne réceptrice. L'ionosphère est un terme collectif identifiant diverses couches de particules ionisées et d'électrons se trouvant à des altitudes de 80 à 250 km dans l'atmosphère. Ce qui change la vitesse d'émission du signal provenant du satellite entraînent des erreurs dans la distance mesurée par le récepteur de l'ordre de 10 à 12 mètres. L'ionisation est surtout causée

par les courtes longueurs d'ondes du rayonnement solaire (rayons X et ultraviolets) au cours de la journée. Les activités ionosphériques ont le plus fort impact sur la précision du GPS.

- **les multi trajets :** Le trajet multiple est du à la réflexion du signal GPS par une surface proche de l'antenne qui interfère avec le signal direct. Son effet sur le signal est en général inférieur à 10 mm, des valeurs plus importantes (jusqu'à 40 mm) sont obtenues dans le cas d'un environnement physique très réfléchissant à proximité de l'antenne GPS.
- **Les Erreurs d'horloge du récepteur :** l'horloge intégrée d'un récepteur n'est pas aussi précise que les horloges atomiques à bord des satellites GPS. Par conséquent, elle peut avoir des erreurs très légères de synchronisation.
- **Les Erreurs orbitales :** connues sous le nom d'erreurs d'éphéméris, ce sont des inexactitudes de positionnement du satellite.
- **La Géométrie Satellite :**



**Figure 2.25:** Géométrie des satellites.

Comme le récepteur utilise une triangulation des signaux GPS pour déterminer son positionnement sur la terre, plus la géométrie des satellites dans le ciel est précise, plus la triangulation qui en résulte n'est précise. L'effet de la géométrie des satellites sur les erreurs de positionnement est appelé DOP (pour Dilution of Precision ou affaiblissement de la précision), Le récepteur GPS calcule constamment la valeur DOP en fonction des satellites utilisés pour sa localisation, La géométrie satellite idéale existe lorsque les satellites sont situés à angles larges l'un par rapport à l'autre qui correspond à une valeur DOP petite. La mauvaise géométrie résulte lorsque les satellites sont alignés ou dans un regroupement rapproché dans ce cas la valeur DOP calculée sera élevée.

Sachant que la valeur DOP idéale est 1, chaque application nécessite une précision différente et permet des valeurs DOP plus élevées. Habituellement, 1 à 2 est excellent, 3 à 4 est bon, 5 à 7 est acceptable et 8 ou plus est mauvais. La valeur DOP étant calculée par le récepteur, la plupart des logiciels GPS offrent des filtres empêchant l'opération ou l'enregistrement lorsque la valeur DOP atteint un seuil prédéterminé.

- **La Dégradation intentionnelle du signal satellite :**

La disponibilité sélective (SA) est une dégradation intentionnelle du signal imposé par le département de la défense des États-Unis. SA a été prévue pour empêcher les adversaires militaires d'employer les signaux GPS fortement précis. Le gouvernement a arrêté SA en mai 2000, qui a par la suite amélioré de manière significative la précision des récepteurs GPS civils.

D'autres erreurs, n'ayant pas de corrélation avec le milieu de prise de mesure ni la nature atmosphérique, peuvent être présentes. Ce sont des erreurs systématiques, telles les décalages orbitaux ou encore un retard dans l'horloge atomique qui calcule le temps auquel la mesure est prise. Un mauvais étalonnage du récepteur (ou autres appareils électroniques du système) peut aussi produire une erreur de mesure.

Le Bruit du récepteur est évalué à environ 1% de la longueur d'onde du signal mesuré, Un filtrage adapté permet de rendre son effet négligeable sur le positionnement. [28]

### IV- Amélioration locale du calcul : Les améliorations du système GPS

#### IV-1. DGPS :

Se système permet d'améliorer la précision du GPS en réduisant la marge d'erreur du système. Un récepteur GPS fixe dont la position est connue avec une très bonne précision constitue la station de référence. Elle compare les différentes pseudo-distances reçues des satellites en vue. Aux distances théoriques. Leur différences fournissent des corrections qui sont diffusées vers les utilisateurs qui les intègrent à leur propres mesures de pseudo distance. [17]

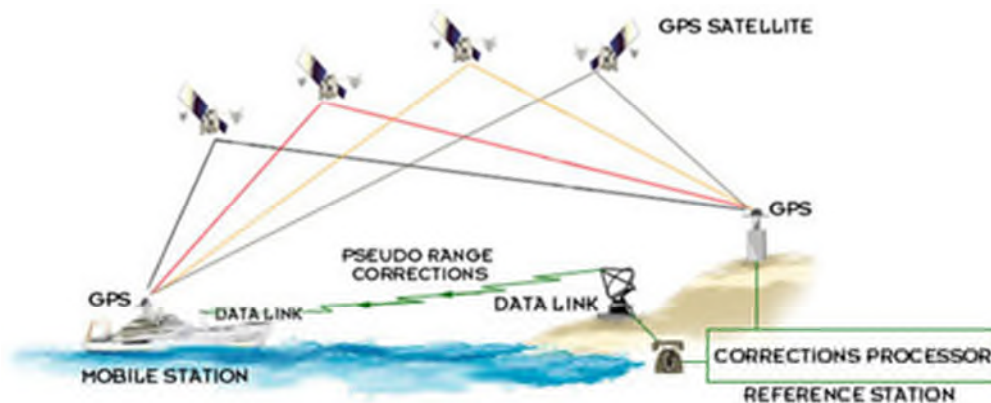


Figure 2.26 : système DGPS.

#### IV-2. Le SBAS :

Satellite based augmentation system C'est l'ensemble des systèmes complémentaires d'amélioration de la précision et de l'intégrité pour augmenter les performances du système GPS. Un réseau régional ou continental de stations au sol, une ou plusieurs stations maîtres qui centralisent les données des stations et transmettent aux satellites géostationnaires qui rediffusent vers le sol les informations permettant d'améliorer la fiabilité et la précision des

données du GPS et d'alerter l'utilisateur en cas de défaillance d'un des satellites. C'est le principe de ses systèmes. Le SBAS calcule les erreurs distinctes suivantes :

- Erreur ionosphérique.
- Erreurs de chronométrage du GPS.
- Erreurs d'orbite des satellites GPS.

### **V- Conclusion :**

Dans le système GPS, tous les satellites émettent sur la même fréquence porteuse, en même temps et dans le même espace. D'où l'utilisation de la technique CDMA qui affecte à chaque satellite, un code de bruit pseudo-aléatoire spécifique ce qui permet aux récepteurs de les identifier, le récepteur calcule les pseudo-distances le sépare de chaque satellite et par une technique de triangulation on détermine la position du récepteur avec les corrections apportées. Dans cette partie, nous avons traité et étudié l'aspect théorique du système GPS afin de maîtriser et éclaircir sa conception et son fonctionnement.

## **Chapitre III :**

Simulation TDOA & TOA

### I- introduction

L'apparition des micro-processeurs a permis d'automatiser le calcul de positionnement avec le traitement numérique des temps mesurés TOA et TDOA, afin d'en déduire les coordonnées directes de l'utilisateur. Dans ce chapitre nous allons simuler à l'aide de logiciel ADS (Advanced Design System) et Matlab, le principe de fonctionnement des systèmes de radio-positionnement permettant de déterminer la position du récepteur en coordonnées sphériques, cartésiennes ECEF ou WGS84.

Afin de bien appréhender les principes de radionavigation hyperbolique de system Loran C et circulaire dans le GPS, nous allons considérer le positionnement d'un récepteur U en 2D dans le plan X Y, le système de radionavigation sera constitué de 3 émetteurs dont les coordonnées sont connues.

#### C'est quoi l'ADS le logiciel de simulation ?

Advanced Design System (ADS) est un système de logiciel d'automatisation de la conception électronique produite par Keysight EEsof EDA (entreprise d'équipement de mesure), une division de Keysight Technologies. , utilisés par les grandes entreprises dans la communication, Il fournit un environnement de conception intégré aux concepteurs de radio fréquence RF produits électroniques tels que les téléphones mobiles, téléavertisseurs, réseaux sans fil, les communications par satellite, des systèmes de radar, et des liaisons de données à grande vitesse. ADS Keysight soutient chaque étape de la capture, la mise en page, la vérification des règles de conception, domaine fréquentiel et temporel de simulation de circuit de traitement schématique la conception et la simulation permet à l'ingénieur de caractériser pleinement et d'optimiser une conception RF sans changer d'outil champ électromagnétique.

### II- positionnement hyperbolique ou multilateration :

Comme nous l'avons vu précédemment, la détermination de la position consiste à recevoir les 3 signaux provenant de M, S1 et S2, puis à mesurer TD1 et TD2, et enfin il reste à résoudre les 2 équations hyperboliques non-linéaires suivantes pour trouver les coordonnées de U :

$$C. (ED1-TD1) = \sqrt{(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2} - \sqrt{(X_u - X_{s1})^2 + (Y_u - Y_{s1})^2} \quad \text{III.1}$$

$$C. (ED2-TD2) = \sqrt{(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2} - \sqrt{(X_u - X_{s2})^2 + (Y_u - Y_{s2})^2} \quad \text{III.2}$$

On utilise la méthode itérative de **Newton-Raphson** pour résoudre se système d'équations :

Nous allons poser :

$$P1 = C. (ED1-TD1)$$

$$P2 = C. (ED2-TD2)$$

Puis nous définissons les 2 fonctions f et g :

$$f(X_u, Y_u) = \sqrt{(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2} - \sqrt{(X_u - X_{s1})^2 + (Y_u - Y_{s1})^2} \quad \text{III.3}$$

$$g(X_u, Y_u) = \sqrt{(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2} - \sqrt{(X_u - X_{s2})^2 + (Y_u - Y_{s2})^2} \quad \text{III.4}$$

Le système non-linéaire que nous devons résoudre, est le suivant :

$$P1=f(X_u, Y_u)$$

$$P2=g(X_u, Y_u)$$

Les différentes étapes du processus de résolution son résumée dans l’algorithme suivant :

<b>Les étapes de positionnement Loran C</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etape 1</b> : nous partons d’une condition initiale donnée : <math>U_0 (X_{u0}, Y_{u0})</math></li> <li>• <b>Etape 2</b> : en utilisant les coordonnées de U obtenu à l’étape précédente, nous estimons <math>\tilde{P1}</math> et <math>\tilde{P2}</math> pour en déduire les erreurs <math>\Delta P1</math> et <math>\Delta P2</math> entre les 2 valeurs estimées et les 2 valeurs P1 et P2 mesurées.</li> <li>• <b>Etape 3</b> : par développement en série de Taylor de f et g, en utilisant <math>\Delta P1</math> et <math>\Delta P2</math> de l’étape 2, nous calculons les déplacements à effectuer sur <math>X_u</math> et <math>Y_u</math>.</li> <li>• <b>Etape 4</b> : nous utilisons un critère d’erreur mesurant le déplacement relatif sur les coordonnées de U, si cette valeur est supérieure à un seuil spécifié, nous recommençons à l’étape 2 en utilisant les nouvelles coordonnées de U, et ceci jusqu’à ce que le critère d’erreur devienne inférieur au seuil ; si cette condition est vérifiée, la boucle s’arrête et nous obtenons ainsi les coordonnées de U</li> </ul>

**Figure 3.1** : les étapes de calcul de positionnement du système Loran C

Décrivons mathématiquement ces différentes étapes :

**A l’itération n**, nous avons les coordonnées :  $X_u(n)$  et  $Y_u(n)$ , que nous utilisons pour estimer  $\tilde{P1}$  et  $\tilde{P2}$  avec les équations suivantes :

$$\tilde{P1} = \sqrt{(X_u(n) - X_m)^2 + (Y_u(n) - Y_m)^2} - \sqrt{(X_u(n) - X_{s1})^2 + (Y_u(n) - Y_{s1})^2} \quad \text{III.5}$$

$$\tilde{P2} = \sqrt{(X_u(n) - X_m)^2 + (Y_u(n) - Y_m)^2} - \sqrt{(X_u(n) - X_{s2})^2 + (Y_u(n) - Y_{s2})^2} \quad \text{III.6}$$

Ensuite nous pouvons calculer les erreurs  $\Delta P1$  et  $\Delta P2$  avec les équations suivantes :

## Chapitre III : simulation TDOA & TOA

---

$$\Delta P1 = P1 - \tilde{P}1$$

$$\Delta P2 = P2 - \tilde{P}2$$

Le développement en série de Taylor des fonctions  $f$  et  $g$ , nous permet de linéariser le système non-linéaire autour du point courant  $(X_u(n), Y_u(n))$  :

$$\text{Eq(A)} \quad \begin{cases} f(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) = f(X_u, Y_u) + \frac{df(X_u, Y_u)}{dX_u} \cdot \Delta X_u + \frac{df(X_u, Y_u)}{dY_u} \cdot \Delta Y_u \\ g(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) = g(X_u, Y_u) + \frac{dg(X_u, Y_u)}{dX_u} \cdot \Delta X_u + \frac{dg(X_u, Y_u)}{dY_u} \cdot \Delta Y_u \end{cases}$$

À partir du développement en série de Taylor, on exprime les erreurs  $\Delta P1$  et  $\Delta P2$  comme suivant :

$$\text{Eq (B):} \quad \begin{cases} \Delta P1 = f(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) - f(X_u, Y_u) \\ \Delta P2 = g(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) - g(X_u, Y_u) \end{cases}$$

En utilisant les équations A et B, nous obtenons le système d'équations linéarisé suivant :

$$\text{Eq (C):} \quad \begin{cases} \Delta P1 = \alpha \cdot \Delta X_u + \beta \cdot \Delta Y_u \\ \Delta P2 = \gamma \cdot \Delta X_u + \delta \cdot \Delta Y_u \end{cases}$$

Avec  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$  sont les 4 dérivées partielles calculés à chaque itération avec les valeurs courantes de  $X_u(n)$  et  $Y_u(n)$ .

$$\alpha = \frac{df(X_u, Y_u)}{dX_u} = \frac{X_u - X_m}{[(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2]^{1/2}} - \frac{X_u - X_{s1}}{[(X_u - X_{s1})^2 + (Y_u - Y_{s1})^2]^{1/2}}$$

$$\beta = \frac{df(X_u, Y_u)}{dY_u} = \frac{Y_u - Y_m}{[(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2]^{1/2}} - \frac{Y_u - Y_{s1}}{[(X_u - X_{s1})^2 + (Y_u - Y_{s1})^2]^{1/2}}$$

$$\gamma = \frac{dg(X_u, Y_u)}{dX_u} = \frac{X_u - X_m}{[(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2]^{1/2}} - \frac{X_u - X_{s2}}{[(X_u - X_{s2})^2 + (Y_u - Y_{s2})^2]^{1/2}}$$

$$\delta = \frac{dg(X_u, Y_u)}{dY_u} = \frac{Y_u - Y_m}{[(X_u - X_m)^2 + (Y_u - Y_m)^2]^{1/2}} - \frac{Y_u - Y_{s2}}{[(X_u - X_{s2})^2 + (Y_u - Y_{s2})^2]^{1/2}}$$

On écrit sous forme matricielle le system d'équation C:

$$\begin{pmatrix} \Delta P1 \\ \Delta P2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \end{pmatrix}$$

On résolut le système linéaire par inversion matricielle :



$$\begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \end{pmatrix}$$

La connaissance du vecteur « déplacement »  $\begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \end{pmatrix}$  nous permet de recalculer les nouvelles coordonnées de U pour l'**itération suivante n+1** :

$$X_u(n+1) = X_u(n) + \Delta X_u$$

$$Y_u(n+1) = Y_u(n) + \Delta Y_u$$

L'intégralité du traitement précédent sera refait en considérant les nouvelles valeurs des coordonnées de U, ainsi de proche en proche, l'algorithme d'optimisation se rapproche de la solution optimale.

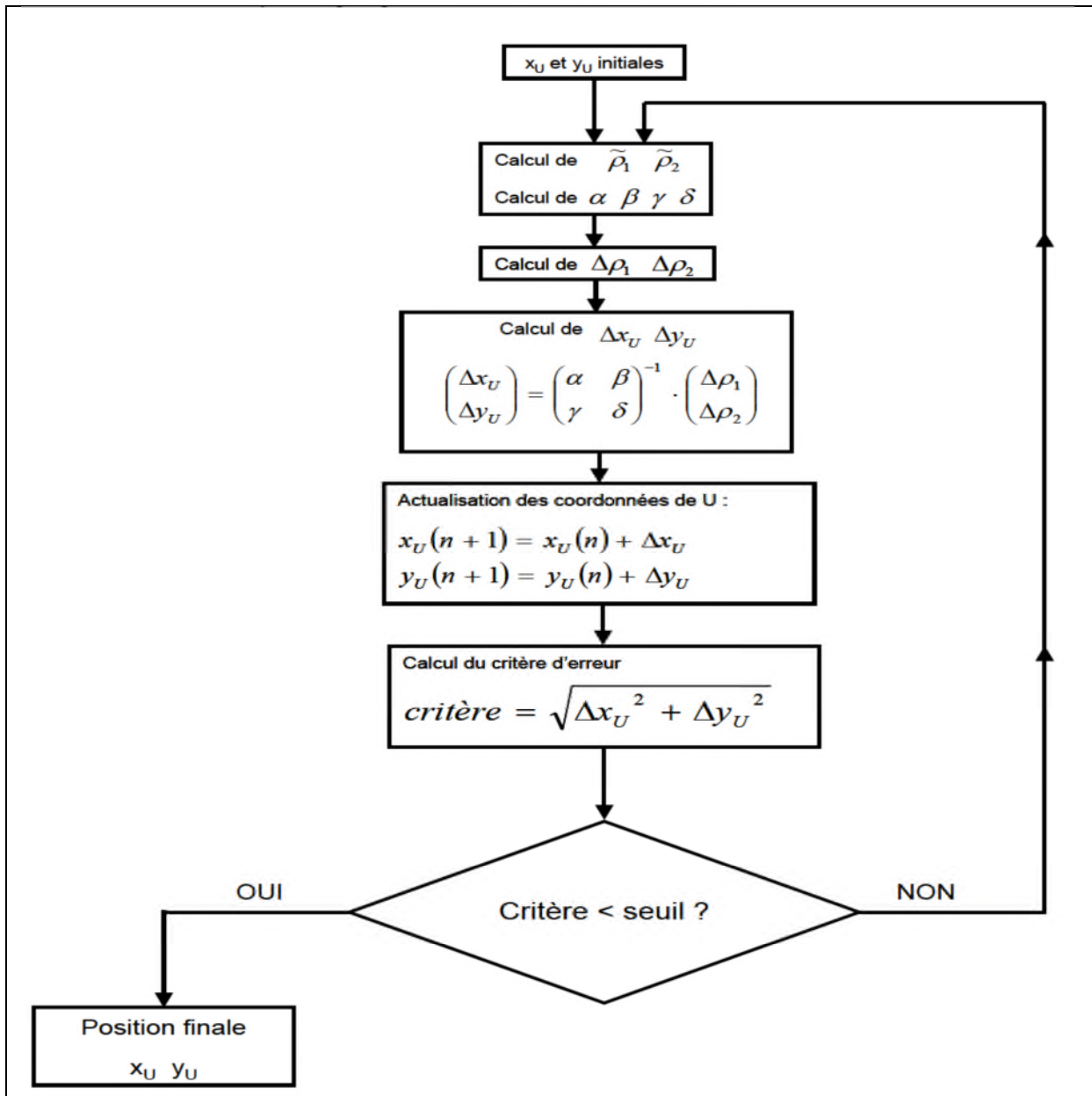
L'arrêt des itérations s'effectue lorsque le critère d'erreur devient inférieur à un seuil donné.

Le critère d'erreur est défini par le calcul de la norme du vecteur « déplacement »  $\begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \end{pmatrix}$  :

$$\text{Critère} = \sqrt{\Delta X_u^2 + \Delta Y_u^2}$$

Lorsque l'algorithme s'approche de la solution optimale, les déplacements calculés  $\Delta X_u$  et  $\Delta Y_u$  à chaque itération doivent diminuer pour tendre vers 0.

Après cette description mathématique de l'algorithme itératif pour le calcul de position, nous pouvons résumer tout ce traitement dans l'organigramme suivant :



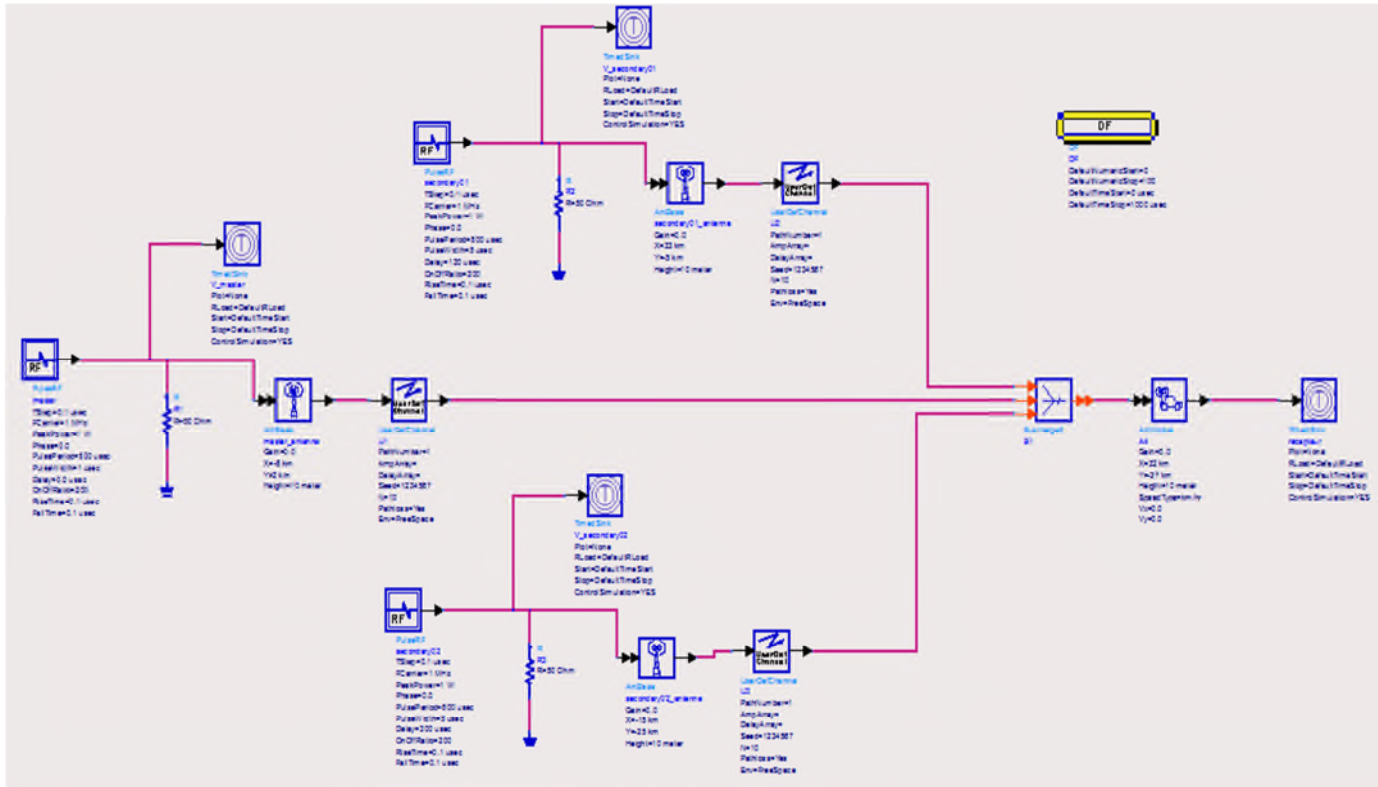
**Algorithme 3.1:** Organigramme itératif pour le calcul de positionnement.

**- Application de l’algorithme de positionnement pour Loran C :**

Pour illustrer l’utilisation de cet algorithme de trilatération, nous allons simuler sous l’ADS (figure 3.2) avec les modèles de canaux de propagation en espace libre, et en utilisant les coordonnées des émetteurs M (1km,1km), S1(32km,-11km) et S2 (-4km,-32km) de maitre et les deux secondaires respectivement avec les retard ED1 = 120μs et ED2 = 260μs.

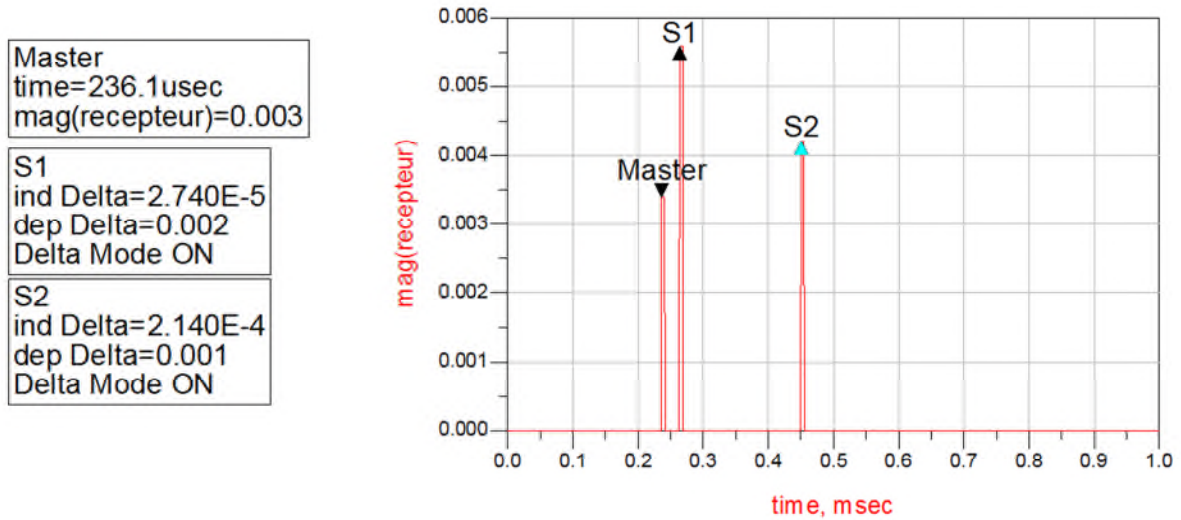
Condition sur le choix des retard ED :

- ED1 > T<sub>MS1</sub> , avec T<sub>MS1</sub> : temps de propagation entre M et S1
- ED2 > (T<sub>MS1</sub> + T<sub>S1S2</sub>) , avec T<sub>S1S2</sub> : temps de propagation entre S1 et S2



**Figure 3.2** : schémas de simulation Loran C

L'enveloppe du signal au point U obtenue est la suivante :



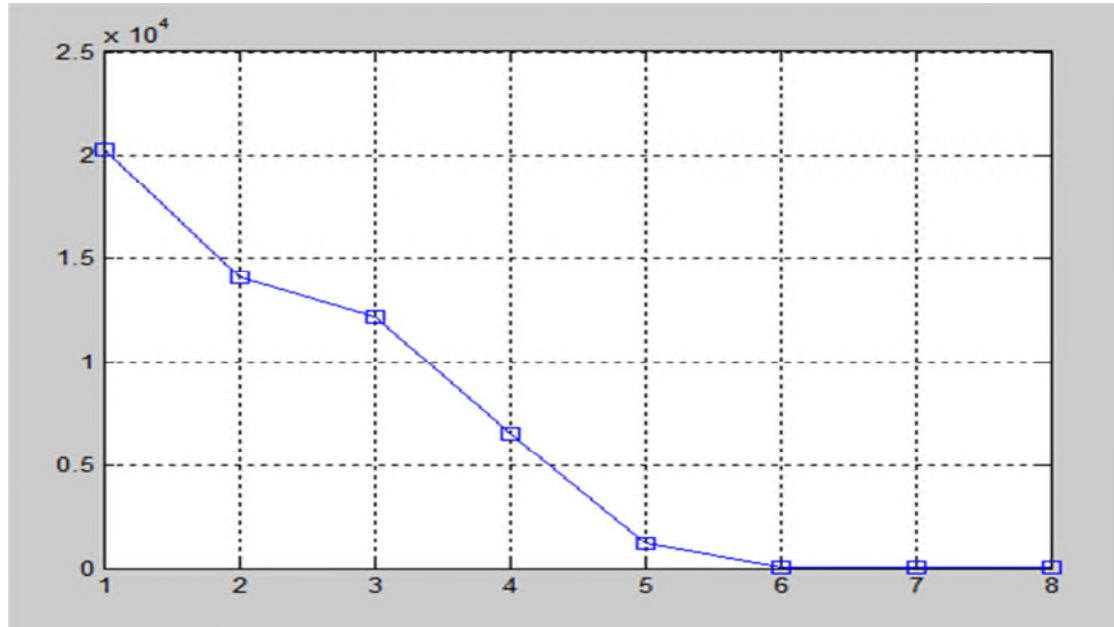
**Figure 3.3** : signal mesuré au point U

Nous obtenons donc  $TD1 = 0,274 \cdot 10^{-4}$  s et  $TD2 = 2,140 \cdot 10^{-4}$  s. Ces deux valeurs sont ensuite traitées par l'algorithme précédemment présenté implémenté sous Matlab.

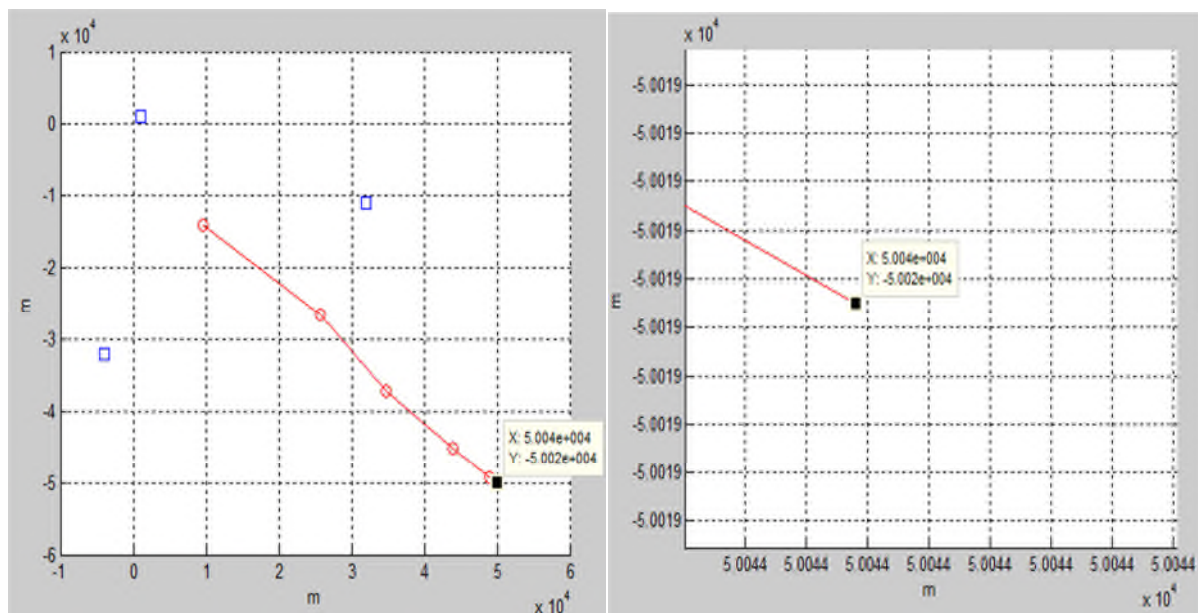
Les paramètres utilisés par l'algorithme sont :

## Chapitre III : simulation TDOA & TOA

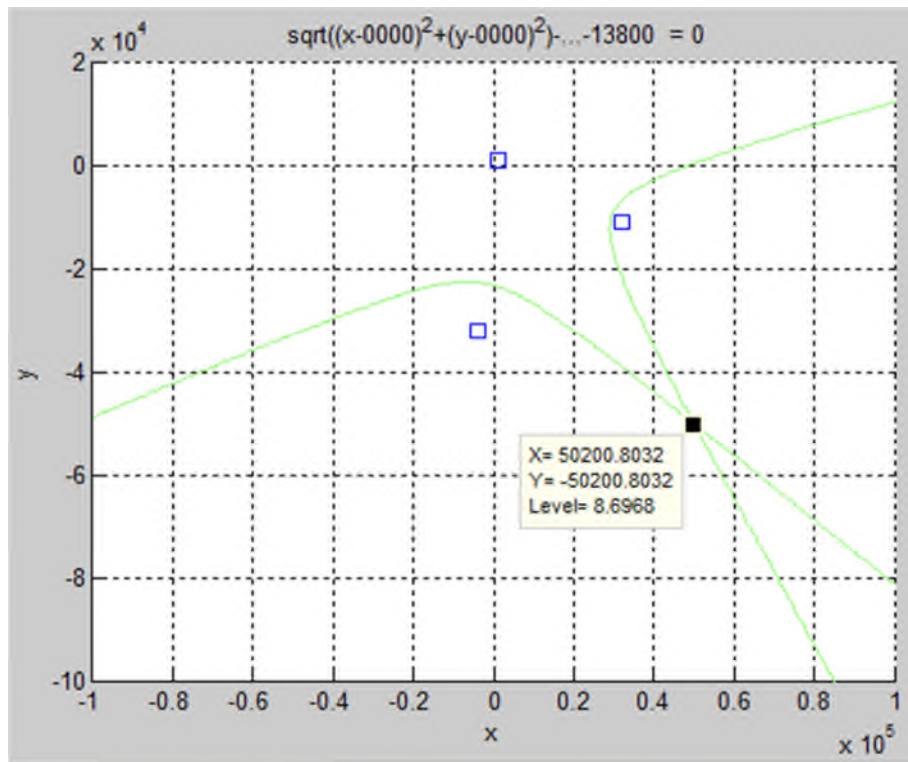
- seuil d'arrêt = 0.00001.
- La condition initiale pour le point U est le point barycentre des 3 émetteurs M, S1 et S2. Nous obtenons les résultats suivants :



**Figure 3.4:** évolution du critère d'erreur en fonction du numéro d'itération



**Figure 3.5:** évolution du positionnement en fonction de l'itération



**Figure 3.6:** positionnement par équations hyperbolique.

Le point final retourné par la méthode itérative a pour coordonnées :

$$\mathbf{x = 50044 \text{ m et } y = -50019 \text{ m}}$$

En comparaison avec le point de référence **U (50km,-50km)**, nous obtenons une erreur en valeur absolue de 44 m en x et 19 m en y. Les erreurs obtenues ne peuvent pas s'expliquer par un défaut du canal de propagation mais plutôt par l'influence de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour mesurer les TD et par la disposition des réseaux d'hyperboles au point considéré.

Nous avons détaillé l'algorithme de multilateration utilisé pour déterminer automatiquement le positionnement à partir de la mesure des TD. Cet algorithme peut être facilement implanté dans des processeurs embarqués, et le résultat s'affiche directement sur le récepteur de radionavigation sous la forme de coordonnées cartésiennes ou bien en latitude et longitude. Tout ceci simplifie l'utilisation de ce formidable outil de positionnement.

## II- Application de la corrélation au positionnement hyperbolique :

En réalité la mesure des TDOA directement est impossible à cause de la présence de bruit l'utilisation de la corrélation dans les system de radio navigation permet une localisation temporelle d'un signal noyé dans du bruit.

Le signal reçu et démodulé par le récepteur de radionavigation simulé sous l'ADS (figure 3.2), sera traité par Matlab afin d'en extraire de manière automatique les temps d'arrivée TOA par une corrélation avec un signal rectangle de même largeur que les

## Chapitre III : simulation TDOA & TOA

impulsions des émetteur Loran C simuler par L'ADS et de calculer automatiquement sous Matlab la différence de temps d'arrivée TDOA.

<b>Les étapes pour l'application de la corrélation au positionnement hyperbolique</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etape 1</b> : on apporte le signal de 3 impulsions reçue par le récepteur ver Matlab.</li> <li>• <b>Etape 2</b> : on utilise la corrélation entre le signal reçue et une fonction porte.</li> <li>• <b>Etape 3</b> : recherche des 3 pics (impulsions) de corrélation dans le vecteur représentant le résultat de corrélation.</li> <li>• <b>Etape 4</b> : le calcul de position se fait comme l'algorithme précédant sauf que le calcule de TDOA se fait automatiquement.</li> </ul>

**Figure 3.7:** la corrélation au positionnement hyperbolique.

Après la simulation et l'exécutions des deux Algorithmes 3.1 et Algorithme 3.2 pour différents position de récepteur en fixant les coordonnées émetteurs comme précédemment, on obtient les résultats inscrite dans le tableau suivant :

<b>Coordonnée récepteur (Km)</b>	U (17,-23)	U (50,-50)	U (22,-40)
<b>Algorithme 3.1 Positions en (m)</b>	U (16996,-23001)	U (50044,-50019)	U (22046,-40103)
<b>Point d'intersection hyperbole</b>	U (17269.0763, -22891.5663)	U (50200.8032, -50200.8032)	U (22891.5663, -40562.249)

**Tableau 3.1:** positionnement hyperbolique émetteur fixe

Coordonnée récepteur fixe U (22,-40)

<b>Coordonnée émetteurs Loran C (Km)</b>	M (4,8) S1 (30,-9) S2 (-5,-40)	M (-7,3) S1 (30,5) S2 (-5,-35)	M (-8,8) S1 (40,7) S2 (-3,-30)
<b>Retards ED (µsec)</b>	ED1=120 ED2=300	ED1=130 ED2=350	ED1=180 ED2=380
<b>Algorithme 3.1 Positions en (m)</b>	U(2202 , -40021)	U(2199,-40015)	U(21999,-40045)
<b>Point d'intersection hyperbole (m)</b>	U(22088.3534, -39759.0631)	U(22088.3534, -39759.0631)	U(22088.3534, -39759.0631)

**Tableau 3.2** positionnement hyperbolique récepteur fixe

### IV- Positionnement circulaire

La détermination de la position consiste à recevoir les signaux provenant des trois satellites Navastar puis à mesurer TOA de chaque satellite, et enfin il reste à résoudre les 3 équations circulaires non-linéaires suivantes pour trouver les coordonnées de U :

$$(Xu - X1)^2 + (Yu - Y1)^2 = c^2 \cdot (Tu - T1)^2 \quad \text{III.7}$$

$$(Xu - X2)^2 + (Yu - Y2)^2 = c^2 \cdot (Tu - T2)^2 \quad \text{III.8}$$

$$(Xu - X3)^2 + (Yu - Y3)^2 = c^2 \cdot (Tu - T3)^2 \quad \text{III.9}$$

Les différentes étapes du processus de résolution son résumée dans **la Figure 3.1**.

On utilise la méthode itérative de **Newton-Raphson** pour résoudre se système d'équations :

Nous allons poser :

$$P1 = (c \cdot TOA1)$$

$$P2 = (c \cdot TOA2)$$

$$P3 = (c \cdot TOA3)$$

Puis nous définissons les 3 fonctions f ,g et h:

$$f(Xu, Yu) = \sqrt{(Xu - X1)^2 + (Yu - Y1)^2} \quad \text{III.10}$$

$$g(Xu, Yu) = \sqrt{(Xu - X2)^2 + (Yu - Y2)^2} \quad \text{III.11}$$

$$h(Xu, Yu) = \sqrt{(Xu - X3)^2 + (Yu - Y3)^2} \quad \text{III.12}$$

Le système non-linéaire que nous devons résoudre, est le suivant :

$$P1 = f(Xu, Yu)$$

$$P2 = g(Xu, Yu)$$

$$P3 = h(Xu, Yu)$$

**A l'itération n**, nous avons les coordonnées :  $Xu(n)$  et  $Yu(n)$ , que nous utilisons pour estimer  $\tilde{P1}$  et  $\tilde{P2}$  avec les équations suivantes :

$$\tilde{P1} = \sqrt{(Xu(n) - X1)^2 + (Yu(n) - Y1)^2} \quad \text{III.13}$$

$$\tilde{P2} = \sqrt{(Xu(n) - X2)^2 + (Yu(n) - Y2)^2} \quad \text{III.14}$$

$$\tilde{P3} = \sqrt{(Xu(n) - X3)^2 + (Yu(n) - Y3)^2} \quad \text{III.15}$$

Ensuite nous pouvons calculer les erreurs  $\Delta P1$  et  $\Delta P2$  avec les équations suivantes :

$$\Delta P1 = P1 - \tilde{P}1$$

$$\Delta P2 = P2 - \tilde{P}2$$

$$\Delta P3 = P3 - \tilde{P}3$$

Le développement en série de Taylor des fonctions  $f$  et  $g$ , nous permet de linéariser le système non-linéaire autour du point courant  $(X_u(n), Y_u(n))$  :

$$\text{Eq(A)} : \begin{cases} f(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) = f(X_u, Y_u) + \frac{df(X_u, Y_u)}{dX_u} \cdot \Delta X_u + \frac{df(X_u, Y_u)}{dY_u} \cdot \Delta Y_u \\ g(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) = g(X_u, Y_u) + \frac{dg(X_u, Y_u)}{dX_u} \cdot \Delta X_u + \frac{dg(X_u, Y_u)}{dY_u} \cdot \Delta Y_u \\ h(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) = h(X_u, Y_u) + \frac{dh(X_u, Y_u)}{dX_u} \cdot \Delta X_u + \frac{dh(X_u, Y_u)}{dY_u} \cdot \Delta Y_u \end{cases}$$

À partir du développement en série de Taylor on exprime Les erreurs  $\Delta P1$  et  $\Delta P2$  comme suivant :

$$\text{Eq(B)} : \begin{cases} \Delta P1 = f(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) - f(X_u, Y_u) \\ \Delta P2 = g(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) - g(X_u, Y_u) \\ \Delta P3 = h(X_u + \Delta X_u, Y_u + \Delta Y_u) - h(X_u, Y_u) \end{cases}$$

En utilisant les équations A et B Nous obtenons le système d'équations linéarisé suivant :

$$\text{Eq(C)} : \begin{cases} \Delta P1 = \alpha_x \cdot \Delta X_u + \alpha_y \cdot \Delta Y_u \\ \Delta P2 = \beta_x \cdot \Delta X_u + \beta_y \cdot \Delta Y_u \\ \Delta P3 = \gamma_x \cdot \Delta X_u + \gamma_y \cdot \Delta Y_u \end{cases}$$

Avec  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et  $\delta$  sont les 4 dérivées partielles calculés à chaque itération avec les valeurs courantes de  $X_u(n)$  et  $Y_u(n)$ .

$$\alpha_x = \frac{df(X_u, Y_u)}{dX_u} = \frac{X_u - X_1}{\sqrt{(X_u - X_1)^2 + (Y_u - Y_1)^2}}$$

$$\alpha_y = \frac{df(X_u, Y_u)}{dY_u} = \frac{Y_u - Y_1}{\sqrt{(X_u - X_1)^2 + (Y_u - Y_1)^2}}$$

$$\beta_x = \frac{dg(X_u, Y_u)}{dX_u} = \frac{X_u - X_2}{\sqrt{(X_u - X_2)^2 + (Y_u - Y_2)^2}}$$

$$\beta_y = \frac{dg(X_u, Y_u)}{dY_u} = \frac{Y_u - Y_2}{\sqrt{(X_u - X_2)^2 + (Y_u - Y_2)^2}}$$

$$\gamma_x = \frac{dh(X_u, Y_u)}{dX_u} = \frac{X_u - X_3}{\sqrt{(X_u - X_3)^2 + (Y_u - Y_3)^2}}$$



$$\gamma_x = \frac{dg(X_u, Y_u)}{dY_u} = \frac{X_u - X_3}{\sqrt{(X_u - X_3)^2 + (Y_u - Y_3)^2}}$$

On écrit sous forme matricielle le system d'équation C:

$$\begin{pmatrix} \Delta P1 \\ \Delta P2 \\ \Delta P3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_x & \alpha_y & 1 \\ \beta_x & \beta_y & 1 \\ \gamma_x & \gamma_y & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \\ T_u \end{pmatrix}$$

On résolut le système linéaire par inversion matricielle :

$$\begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \\ T_u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_x & \alpha_y & 1 \\ \beta_x & \beta_y & 1 \\ \gamma_x & \gamma_y & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \Delta P1 \\ \Delta P2 \\ \Delta P3 \end{pmatrix}$$

La connaissance du vecteur « déplacement »  $\begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \\ \Delta T_u \end{pmatrix}$  nous permet de recalculer les nouvelles coordonnées de U pour l'**itération suivante n+1** :

$$X_u (n+1) = X_u(n) + \Delta X_u$$

$$Y_u (n+1) = Y_u(n) + \Delta Y_u$$

$$T_u (n+1) = T_u(n) + \Delta T_u$$

L'intégralité du traitement précédent sera refait en considérant les nouvelles valeurs des coordonnées de U, ainsi de proche en proche, l'algorithme d'optimisation se rapproche de la solution optimale. L'arrêt des itérations s'effectue lorsque le critère d'erreur devient inférieur à un seuil donné. Le critère d'erreur est défini par le calcul de la norme du vecteur « déplacement »  $\begin{pmatrix} \Delta X_u \\ \Delta Y_u \\ T_u \end{pmatrix}$ :

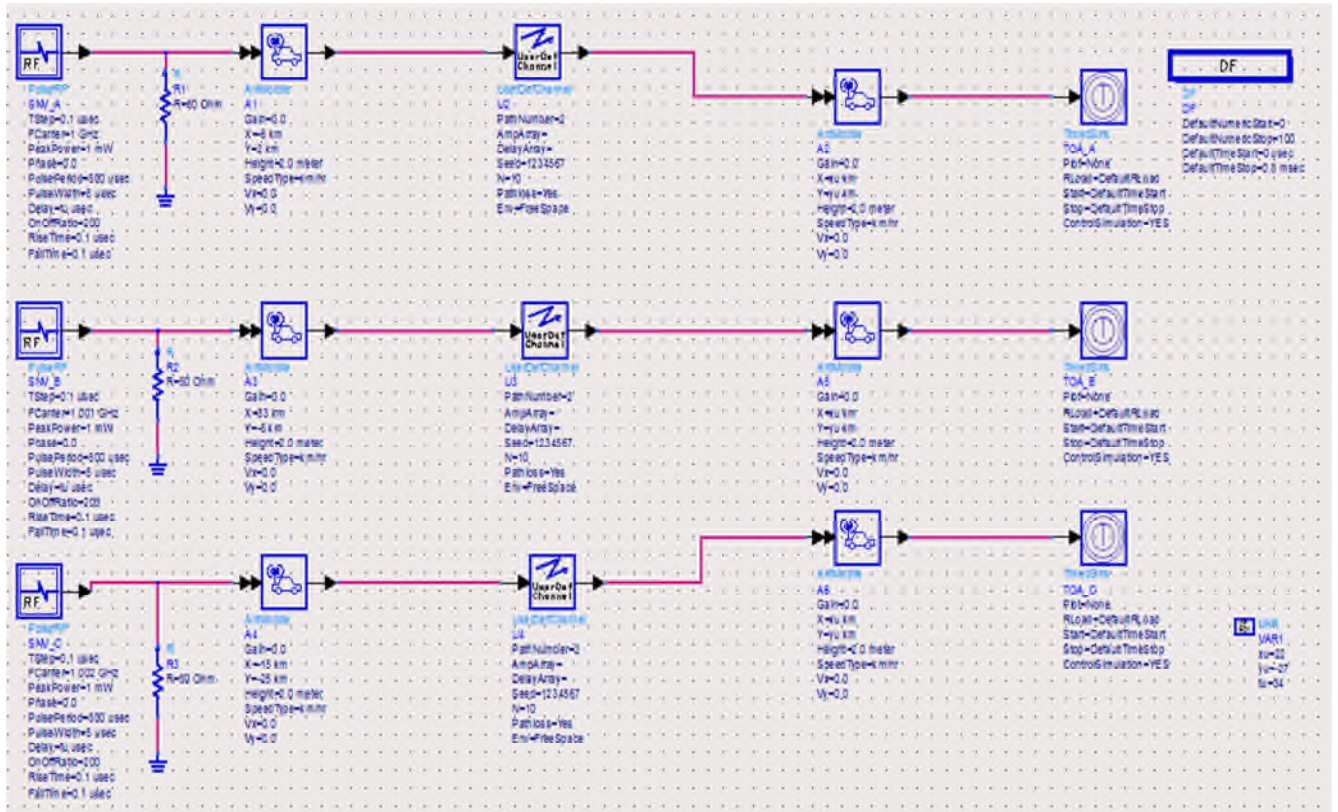
$$\text{Critère} = \sqrt{(\Delta X_u)^2 + (\Delta Y_u)^2 + T_u^2}$$

Lorsque l'algorithme s'approche de la solution optimale, les déplacements calculés  $\Delta X_u$  et  $\Delta Y_u$  à chaque itération doivent diminuer pour tendre vers 0.

### - Application de l'algorithme de positionnement pour GPS

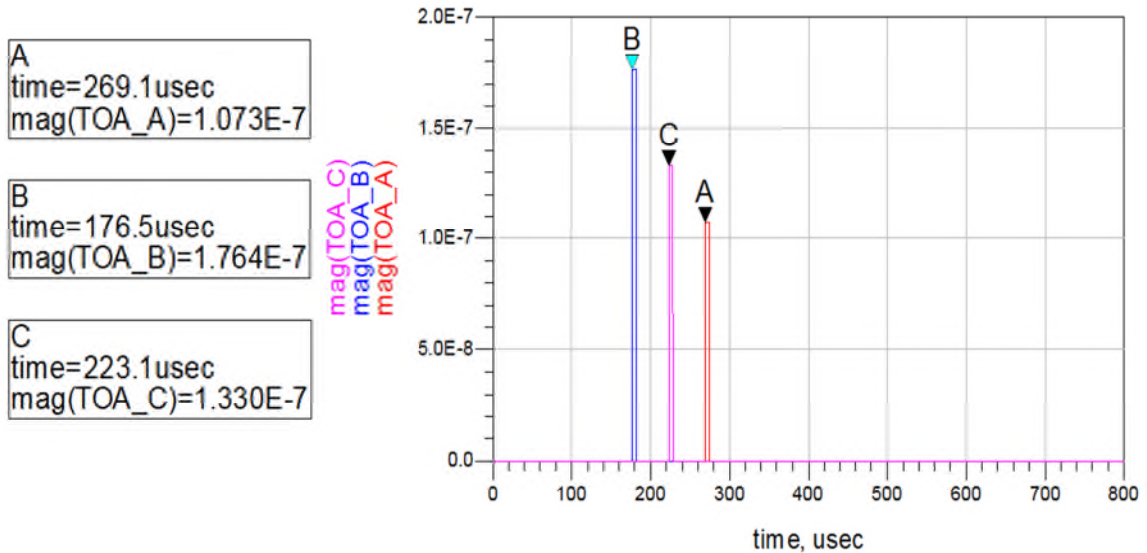
Pour illustrer l'utilisation de cet algorithme de triangulation, nous allons simuler sous l'ADS (figure 3.7) avec les modèles de canaux de propagation en espace libre, soit les coordonnées des satellites :

$$NV\_a (1,1), NV\_b (32,-11) \text{ et } NV\_c (-4,-32) \text{ avec : } \quad tu=33\mu\text{sec}$$

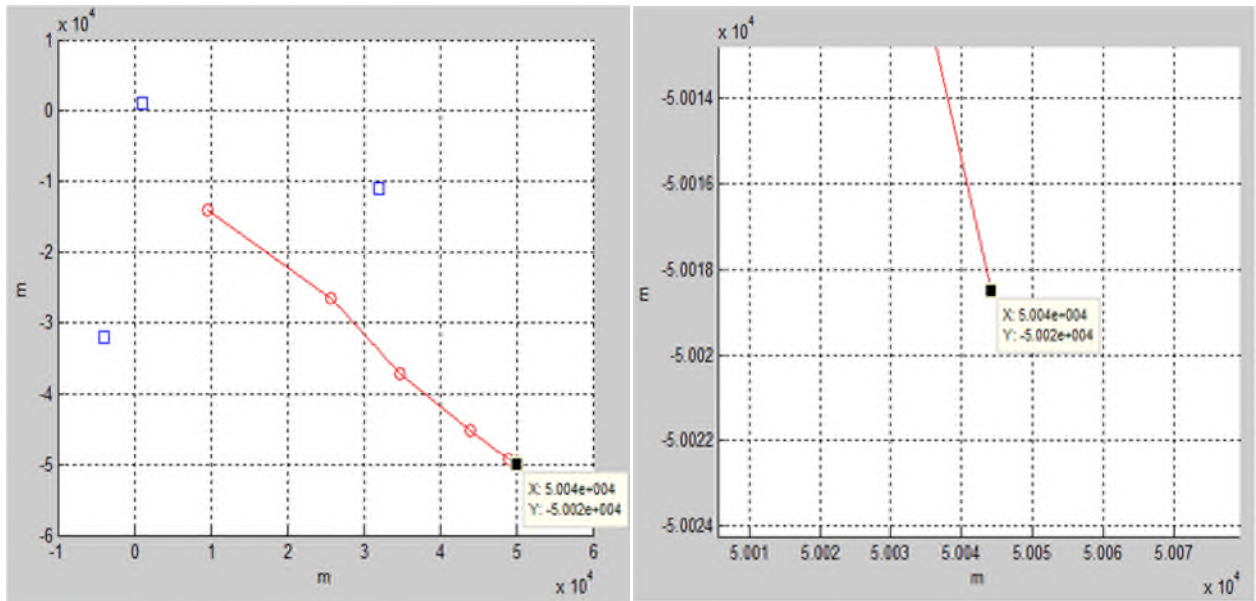


**Figure 3.8 :** schémas de simulation GPS

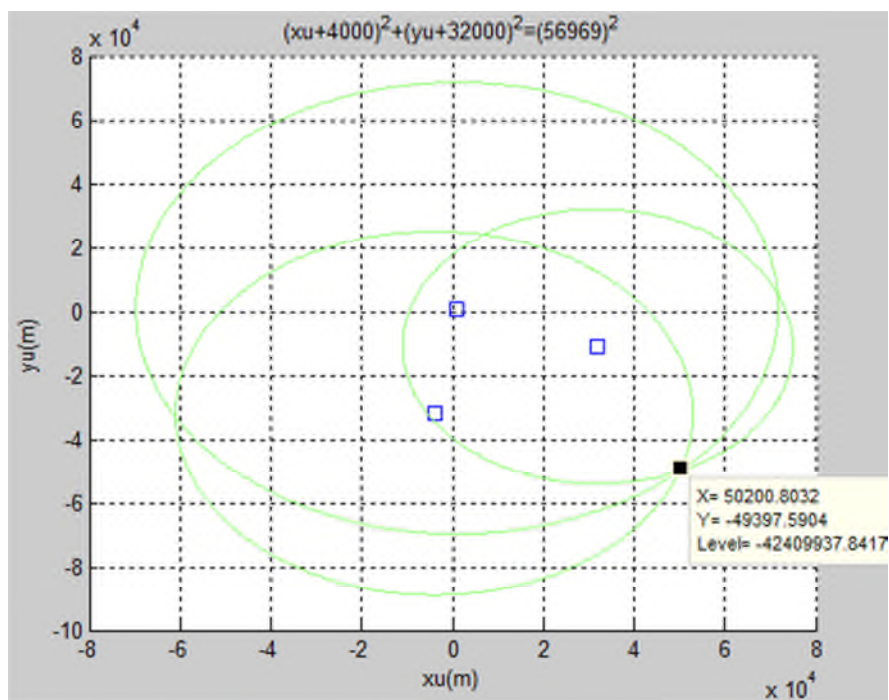
Nous obtenons l'enveloppe du signal au point U (50Km,-50Km) comme suit :



**Figure 3.9:** signal mesuré au point U.



**Figure 3.10:** évolution du positionnement



**Figure 3.11:** positionnement par équations de cercles

Après la simulation et l'exécution de l'algorithme de positionnement pour différentes positions du récepteur en gardant les mêmes coordonnées des satellites, on obtient les résultats regroupés dans le tableau suivant :

## Chapitre III : simulation TDOA & TOA

<b>Coordonnée récepteur (Km)</b>	U (17,-23)	U (50,-50)	U (22,-40)
<b>Algorithme 3.1 (m)</b>	U (16996,-23001)	U (50044, -50019)	U (22,046, -40103)
<b>Point d'intersection cercle (m)</b>	U (17269.0763, -22891.5663)	U (49397.5904, -50200.8032)	U(22088.3534, -39759.0631)

**Tableau 3.3 :** Positionnement par GPS émetteur fixe

Avec coordonnée récepteur fixe U (22,-40) :

<b>Coordonnée émetteurs Satellites GPS (Km)</b>	NV_a (4,8) NV_b (30,-9) NV_c (-5,-40)	NV_a (-7,3) NV_b (30,5) NV_c (-5,-35)	NV_a(-8,8) NV_b (40,7) NV_c (-3,-30)
<b>tu (µsec)</b>	12	10	41
<b>Algorithme 3.1 (m)</b>	U (2202,-40021)	U (2199,-40015)	U (21999,-40045)
<b>Point d'intersection cercle (m)</b>	U (22015,-40018)	U (21988,-4001)	U (21998,-4004)

**Tableau 3.4 :** Positionnement par GPS récepteur fixe

### V- Simulation de positionnement par GPS et l'identification des satellites par CDMA :

Comme nous l'avons vu au chapitre précédant tous les satellites émettant en même moment continuellement par un multiplexage CDMA pour que le récepteur puisse identifier chaque un d'eux par un code PRN unique.

Afin d'illustrer le principe du CDMA dans le GPS, nous allons utiliser Matlab pour simuler la génération des codes PRN, le multiplexage CDMA, et le démultiplexage CDMA par corrélation.

<b>Les étapes de simulation</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Etape 1 :</b> la génération du code GPS C/A des 3 satellites on vue par le récepteur.</li> <li>• <b>Etape 2:</b> on multiplie chaque bit donné d'un satellite avec le code PRN associe. Puis on crée le vecteur donné totale reçue.</li> <li>• <b>Etape 3:</b> faire l'inter-corrélation entre le signal donnée total avec les différents PRN des 3 satellites, afin d'extraire les donnée de chaque un d'eux.</li> </ul>

**Figure 3.12:** les étapes pour simuler l'identification des satellites GPS

# Chapitre III : simulation TDOA & TOA

Après l'étape 1, nous allons simuler sous l'ADS (figure 3.11) avec les modèles de canaux de propagation en espace libre, pour voir les propriétés de corrélation des codes PRN générés multiplexés.

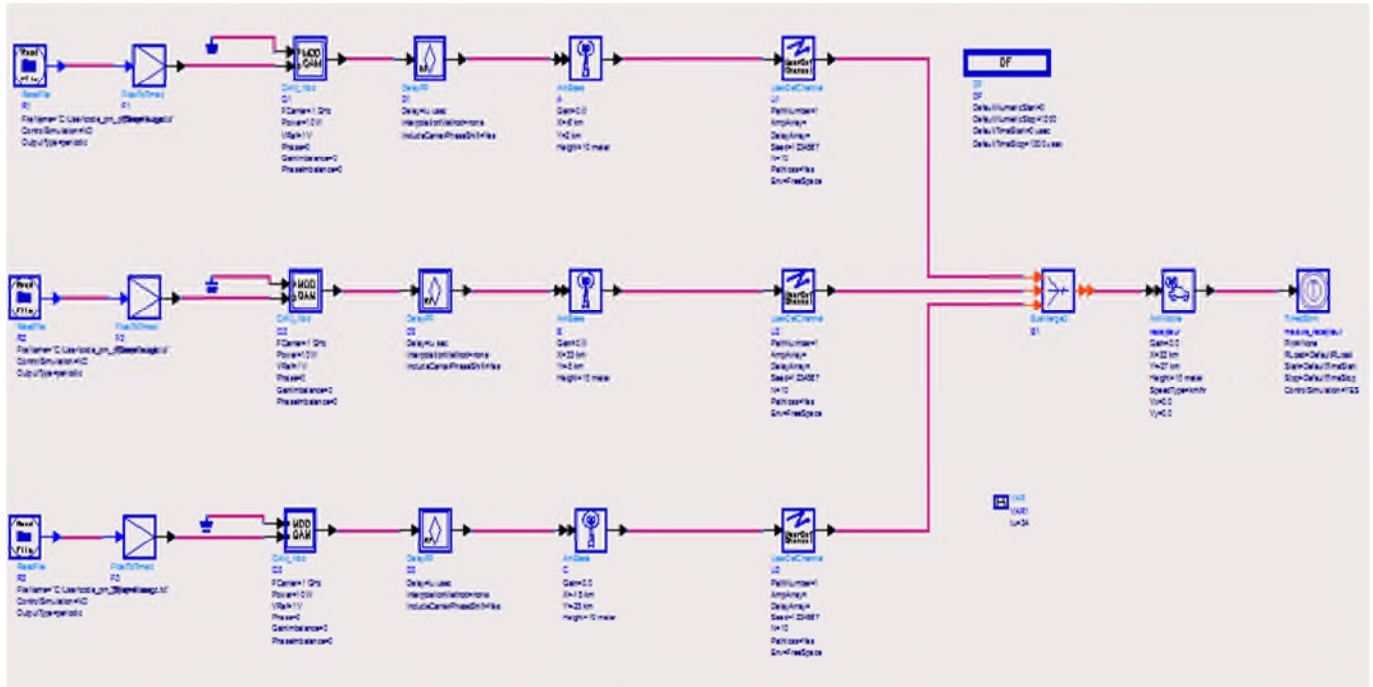


Figure 3.13 : schémas simulation PRN code et positionnement GPS

A partir de Matlab, nous allons observer les propriétés d'auto-corrélation et d'intercorrrelation de ces codes PRN et on obtient les résultats dans les figures suivantes :

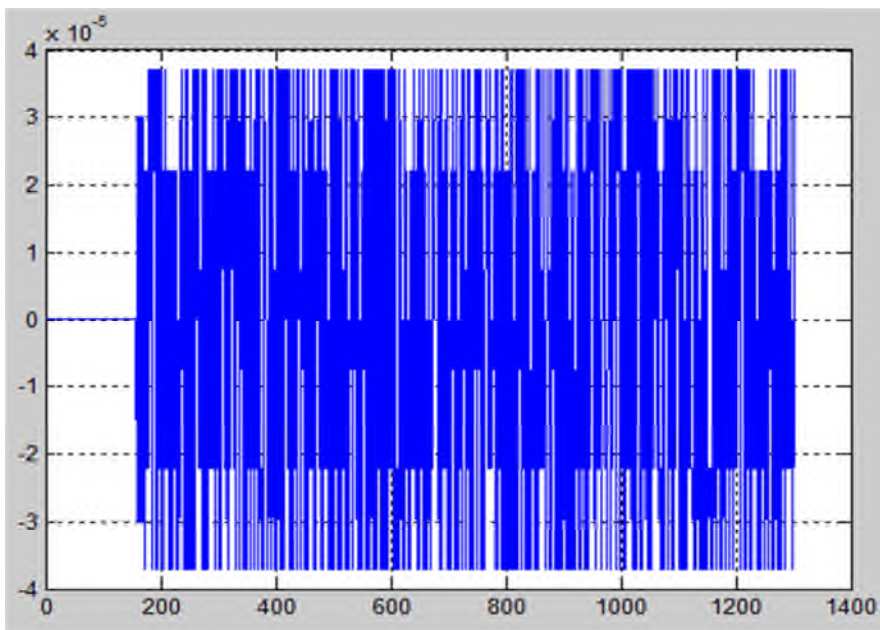
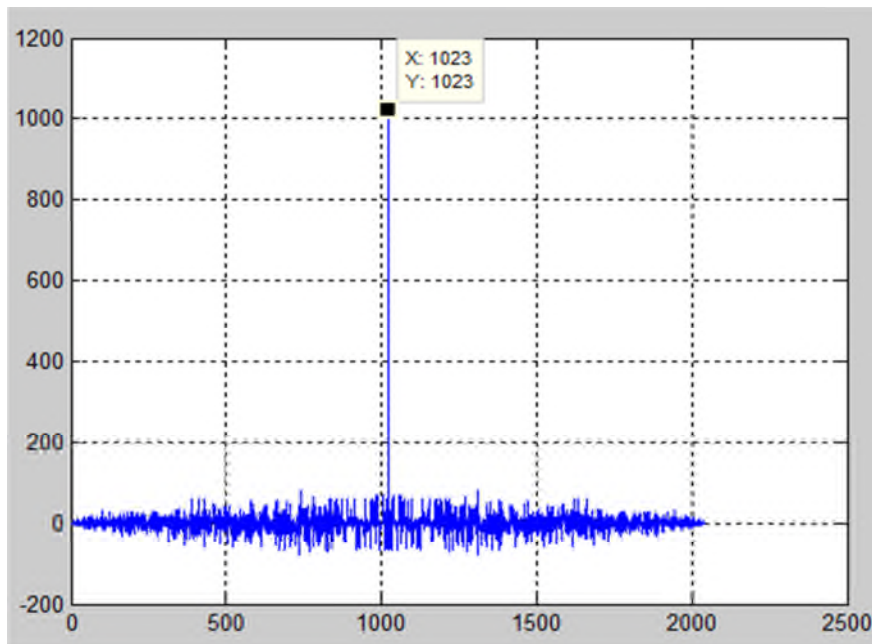
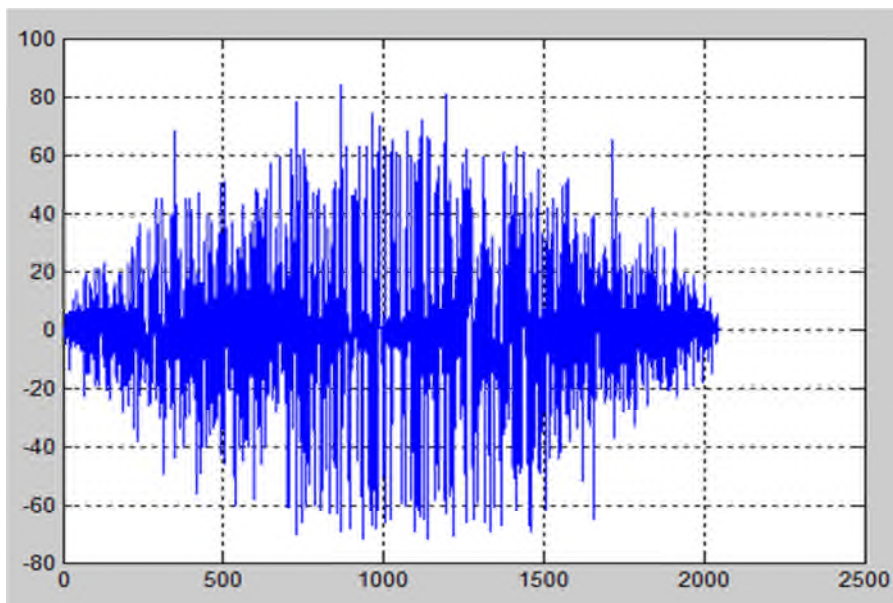


Figure 3.14 : l'ensemble des PRN multiplexé



**Figure 3.15:** auto-corrélation du code PRN1

L'auto-corrélation des codes PRN fait donc apparaître un pic central de corrélation très fin, et dont l'amplitude est de 1023. Ce pic correspond au maximum de ressemblance lorsque le code est multiplié par lui-même, Nous obtenons la même observation pour l'auto-corrélation des autres codes PRN.



**Figure 3.16 :** inter-corrélation entre les codes PRN1 et PRN2

L'intercorrélation mesure la ressemblance entre les codes PRN1 et PRN2, son maximum ne dépasse pas 90 en valeur absolue, ce qui est très faible par rapport à l'amplitude de 1023 de

## Chapitre III : simulation TDOA & TOA

l'auto-corrélation. Ce résultat nous montre que les codes PRN sont dé-corrélés entre eux, c'est-à-dire qu'ils se ressemblent très peu. Nous obtenons le même résultat d'intercorrélations pour les autres combinaisons. Nous verrons par la suite que cette propriété permettra le démultiplexage des données associées à différents codes PRN.

A l'étape 2, On prend les vecteurs de données pour chaque satellite 1,2 et 3 est on les multiplie par PRN1, PRN2 et PRN3 respectivement :

Donnée1 = [-1 -1 1 ],

Donnée2 = [1 -1 1 -1],

Donnée3 = [1 -1 1 1]

Après l'exécution de la suite de cet algorithme nous obtiendront les figures suivantes :

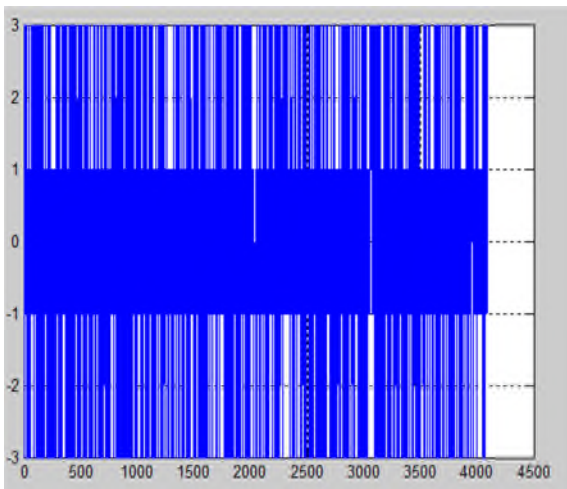


Figure 3.17 : le signal data total recue

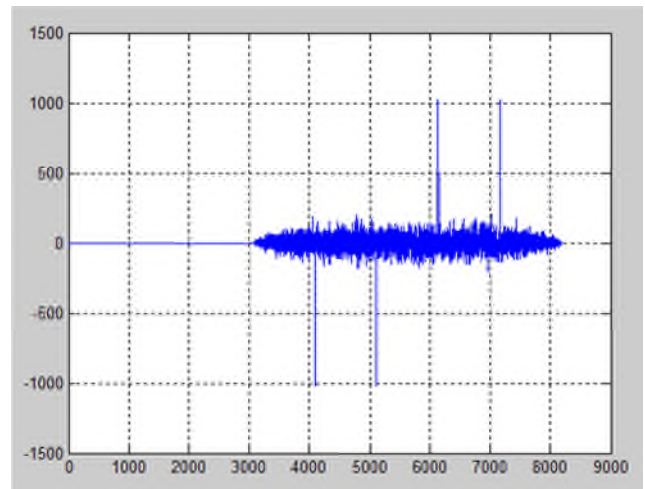


Figure 3.18 : Inter-corrélation par code PRN1

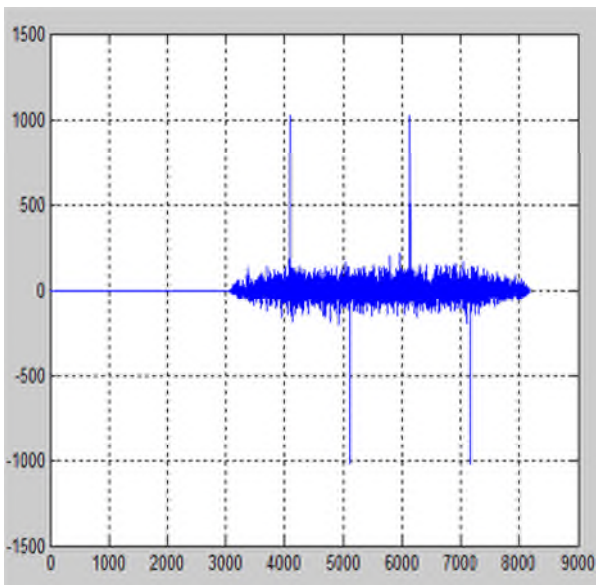


Figure 3.19 : Inter-corrélation par code PRN2

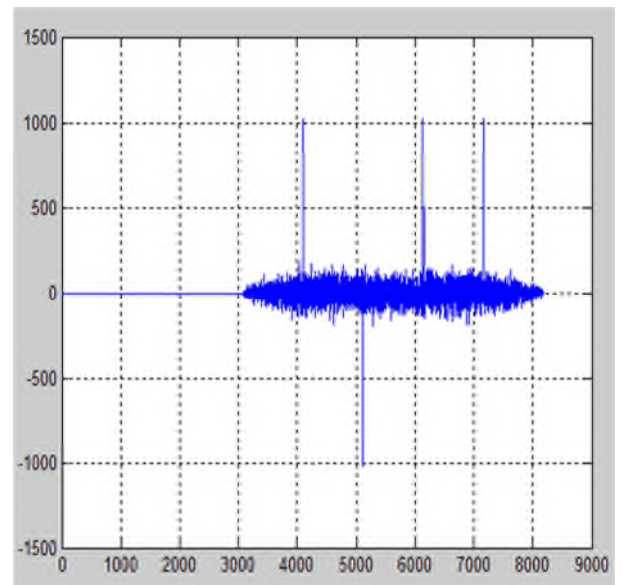


Figure 3.20 : Inter-corrélation par code PRN3

## Chapitre III : simulation TDOA & TOA

On remarque bien que chaque pic de l'intercorrélacion d'amplitude 1023 correspond à 1 bit de donnée.

Illustration de l'utilisation de la technique CDMA dans le calcul de position d'un récepteur GPS :

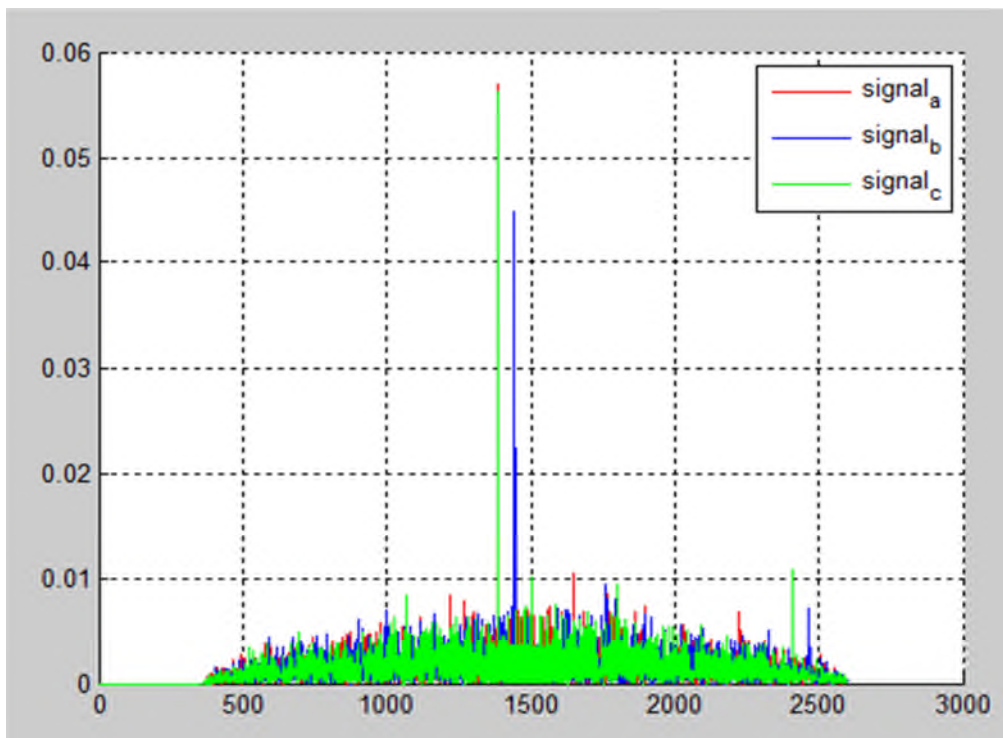
les étapes de simulation de la technique CDMA et le calcul de position
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Etape1</b> : on charge le signal reçu dans Matlab après la simulation sous l'ADS.</li><li>• <b>Etape2</b> : calcul des modules des 3 intercorrélacion de signal reçu avec les différents PRN.</li><li>• <b>Etape3</b> : calcul du maximum et l'indice de chaque intercorrélacion.</li><li>• <b>Etape4</b> : calcul des 3 TOA qui est le déphasage des intercorrélacions.</li><li>• <b>Etape5</b> : calculer la position en mode circulaire.</li></ul>

**Figure 3.21** : les étapes de simulation de la technique CDMA et le calcul de position.

On choisit les positions des satellites avec leur PRN respectives dans le schéma de la **Figure 3.11**, comme suivant :

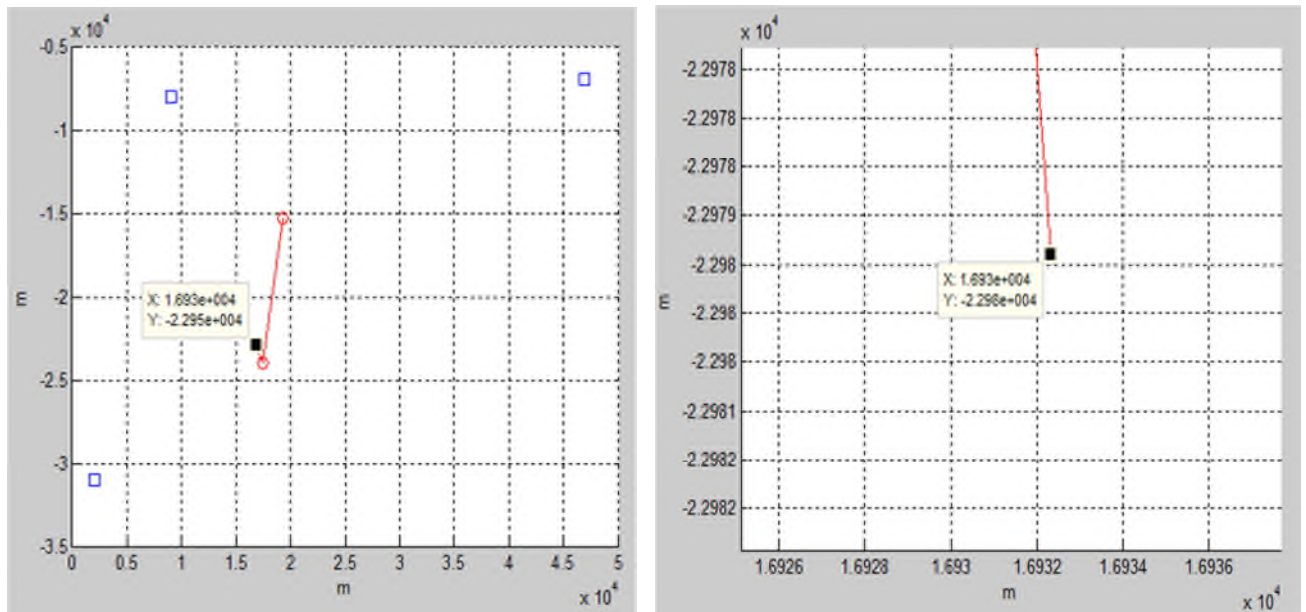
- NV\_a (9 km; -8 km) PRN17
- NV\_b (47 km; -7 km) PRN18
- NV\_c (2 km; -31 km) PRN19
- Le récepteur (17 km ; -23 km)

On obtient les résultats suivants :



**Figure 3.22** : maximum et l'indice de chaque intercorrélacion





**Figure 3.23 :** évolution du positionnement de simulation

Au final, on obtient la position (16932 m, -22979 m) avec une erreur de quelques mètres.

## VI- Conclusion

Après avoir simulé les deux technique TDOA dans le système Loran C et TOA utilisé par le system GPS en fixant les coordonnées des émetteurs et le récepteur nous a permis de comparer les différents résultats obtenus. Nous remarquons que le positionnement par GPS et le LoranC est proche au point U par une erreur de quelques mètres, Les erreurs obtenues dû à l'influence de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour mesurer les TDOA et TOA.

Grâce à la méthode CDMA, nous avons pu mettre en évidence les propriétés utilisées en radionavigation :

- Séparation des différents signaux provenant des émetteurs par intercorrélacion, en utilisant des codes PRN orthogonaux entre eux, donc démultiplexage des signaux.
- Mesure précise par intercorrélacion de la TOA.

## **Conclusion générale**



---

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons abordé les techniques de localisation existantes en identifiant les avantages et les inconvénients de chacune d'elles. Puis nous nous sommes basé sur deux techniques de géolocalisation dans un plan bidimensionnel d'un point fixe par trois stations de base.

La première avec une technique hyperbolique de positionnement qu'on appelle aussi TDOA qui consiste à mesurer l'instant d'arrivée des signaux émis par les différentes stations de position connue et mesurée la différence de temps TD entre les instants d'arrivée des signaux par rapport à une station maître, chaque mesure correspond à une hyperbole dont l'intersection donne la position de l'utilisateur, illustration par le système Loran C.

La deuxième avec une technique de positionnement circulaire qu'on appelle aussi TOA, qui consiste à mesurer la différence de temps d'arrivée entre le signal émis par les satellites et le signal reçu par l'utilisateur afin de calculer la distance entre eux, et par une méthode de triangulation entre les trois satellites pour pouvoir déterminer la position de l'utilisateur par l'intersection des trois cercles dont le centre est le satellite (système GPS).

Pour réaliser notre étude, tout d'abord nous avons simulé ces deux techniques de positionnement à l'aide de logiciel ADS qui nous a permis d'extraire les différences de temps d'arrivée TDOA et les différents temps d'arrivée TOA afin de les exploiter dans MATLAB pour calculer les coordonnées de l'utilisateur par une méthode itérative dite de Newton-Raphson. Ainsi que le traitement par corrélation qui nous a permis d'identifier et d'extraire les signaux dont nous avons besoin et de supprimer le bruit s'il existe.

Il existe beaucoup de méthodes pour améliorer la précision des estimations de la position. Dans ce travail, nous avons choisi d'utiliser la méthode itérative de Newton-Raphson, et nous avons comparé les deux techniques de positionnement entre elles, ce qui nous a permis de retrouver une légère erreur de quelques mètres dû à l'influence de la fréquence d'échantillonnage utilisée pour mesurer les TDOA et TOA, et non pas au défaut du canal de propagation.

En fin pour un positionnement plus précis, le mieux est d'utiliser plus de trois émetteurs est pour cela on doit disposer d'un récepteur capable de traiter plus trois signaux.

Les techniques et les technologies sont diverses. De la localisation RF (Radio Frequency) à la localisation basé sur l'image, l'Ultra-son et l'infra-rouge, la concurrence ne cesse pas. Le défi à relever est l'indicateur coût-qualité. Le choix doit se baser sur une définition rigoureuse du cahier de charge de l'application de géolocalisation.

## Bibliographie

- [1]- Articles tagués 'les risques de la géolocalisation' Efad 3 – 2011/ 2012 Web marketing et stratégies digitales.
- [2]- Géolocalisation en France Tout à propos de la Géolocalisation professionnelle.
- [3]- Guillaume Neveux documentation cours de l'université limoge.
- [4]- LA GEOLOCALISATION : LE NOUVEL OUTIL DE GESTION DE VOTRE ENTREPRISE.
- [5]- CNLI : guide de géolocalisation :Rapport d'étude Ifod &BNP Paribas.
- [6]- Articles Techniques: la géolocalisation par géocodeur et par satellite Géolocalisation de véhicules Belgique Géolocalisation de véhicules – Infos utiles et comparer des devis
- [7]- Systèmes de Géolocalisation par Culture Générale des Télécommunications Janvier 2010, INSA Lyon Département TELECOM SERVICES & USAGES | La Géolocalisation.
- [8]- Articles Techniques de géolocalisation : le GSM, le WiFi, l'adresse IP et le RFID Géolocalisation de véhicules Belgique Géolocalisation de véhicules – Infos utiles et comparer des devis
- [9]- Technologie RFID - Ingénierie informatique, traçabilité par RFID, géolocalisation.
- [10]- Guillaume Schreiner Université Louis Pasteur LSIIT Introduction à la Géolocalisation 802.11
- [11]- **Les enjeux de la géolocalisation**
- [12]- Fabrice Epelboin et Sarah Perez ReadWriteWeb. Les dangers de la geolocalisation sur le web
- [13]- article être géolocaliser employeur men fiche n'ai rien à cacher Par Clément Lauer, La Chance aux concours. Publié le 25/02/2014
- [14]- Article Géolocalisation, toujours fiable? Brouillage? Géolocalisation de véhicules Belgique Géolocalisation de véhicules – Infos utiles et comparer des devis
- [15]- chapitre 7 du livre Wireless Positioning Technologies and Applications. auteur Alan bensky
- [16]- TDOA Localization Techniques Documents de Rick Roberts, Harris Corporation.
- [17]- école national de la marine marchande de Marseille.
- [18]- livre Time and Frequency Users' Manual, Numéro 559 . (page165)
- [19]- Pierre Bosser Thèse de Doctorat Développement et validation d'une méthode de calcul GPS intégrant des mesures de profils de vapeur d'eau en visée multi-angulaire pour l'altimétrie de haute précision .

[20]- Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics.

[21]- Time Synchronizing Signal by GPS Satellites Maryam Sadeghi, Majid Gholami University of Azad Eslamshahr branch..

[22]- natronics on GitHub The GPS PRN (Gold Codes)– September 2014.

[23]- pêches et océans canada garde côtière introduction gps et dgps  
.

[24]- GPS et localisation par satellites. Thierry Dudok de Wit Professeur at the University of Orléans

[25]- W.J. ECKER Chief, Office of Navigation Safety and Waterway Services commandant publication p16562.5

[26]- Information - Articles TRAKGPS.

[27] - Comprendre le GPS - 3GRT : *3GRT* est spécialisée dans la mise en place de solution de cartographie et de SIG Mobile, ainsi que de relevés topographiques.

## Résumé -----

Dans ce mémoire, nous avons abordé les techniques de localisation existantes en identifiant les avantages et les inconvénients de chacune d'elles. Puis nous nous sommes basés sur deux techniques de géolocalisation dans un plan bidimensionnel d'un point fixe par trois stations de base. La première avec une technique hyperbolique de positionnement qu'on appelle aussi TDOA qui consiste à mesurer l'instant d'arrivée des signaux émis par les différentes stations de position connue et mesurée la différence de temps TD entre les instants d'arrivée des signaux par rapport à une station maître, chaque mesure correspond à une hyperbole dont l'intersection donne la position de l'utilisateur, illustration par le système Loran C. La deuxième avec une technique de positionnement circulaire qu'on appelle aussi TOA, qui consiste à mesurer la différence de temps d'arrivée entre le signal émis par les satellites et le signal reçu par l'utilisateur afin de calculer la distance entre eux, et par une méthode de triangulation entre les trois satellites pour pouvoir déterminer la position de l'utilisateur par l'intersection des trois cercles dont le centre est le satellite (système GPS).

## Summary -----

In this report, we approached the existing techniques of location by identifying the advantages and the inconveniences of each of them. Then we based ourselves on two techniques of geo-localization in a two-dimensional plan of a fixed point by three base stations. The first one with a hyperbolic technique of positioning which we also call TDOA who consists in measuring the moment of arrival of the signals emitted by the various stations of known and measured position the difference of time TD between the moments of arrival of the signals with regard to a station master. Every measure corresponds to a hyperbola the intersection of which gives the position of the user, the illustration with the system Loran C. The second with a technique of circular positioning which we also call TOA, who consists in measuring the difference of time of arrival between the signal emitted by satellites and signal successfully received by the user to calculate the distance between them, and by a method of triangulation between three satellites to be able to determine the position of the user by the intersection of three circles the center of which is the satellite (GPS system).