

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Système de Télécommunications

Par : BENYOUB Meriem et BENYAGOUB Meryem

Sujet :

**CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME DE
GEPLOCALISATION MULTI-UTILISATEURS.**

Soutenu publiquement, le **28 /06/ 2018** , devant le jury composé de :

Mr S.M.MERIAH	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr M.BOUSAHLA	MCB	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr F.DERRAZ	MCB	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr M.HADJILA	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

((رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ
عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ
وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ))

صدق الله العظيم
سورة النمل : 19

Remerciements

Au terme de ce travail, on saisit cette occasion pour exprimer nos vifs remerciements au bon dieu qui nous a donné la force et la patience d'effectuer ce travail.

A nos encadreur : Mr. DERRAZ.F et Mr. BOUSSAHLA.M

Vous nous avez fait un très grand honneur d'encadré ce mémoire et de nous guider tout au long de son élaboration. Vos précieux conseils et votre disponibilité, nous ont beaucoup aidés lors de la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici le témoignage de notre plus grande estime et nos remerciements les plus sincères ainsi que l'assurance de notre respect.

A notre président de jury : Mr. S.M.MERIAH

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider ce jury de mémoire.

Veuillez trouver ici l'expression de notre plus profond respect pour votre qualité d'enseignement.

Soyez assuré de notre gratitude et de notre sympathie.

A notre membre de jury : Mr.M.HADJILA

Nous tenons à vous remercier d'avoir accepté de participer au jury de notre mémoire, d'évaluer et d'enrichir ce travail. Nous vous remercions pour la qualité de votre enseignement durant nos études. Veuillez trouver par ce travail le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Nous exprimons également notre gratitude à :

Notre chef de département de télécommunication : Mr. MERIAH.S.M

Notre responsable de spécialité (système de télécommunication) : Mr. KAMECHE.S.

Un spécial remerciement au corps professoral durant notre cursus d'étude pour la qualité de leur enseignement.

Aussi, nos remerciements vont à Mr.BENMOKRANE.M.I., Mr.RAHMI.B, Mr.GAAD.M, Mr.CHEBOUROU.M, Mme.ARBOUZ.F, Madame. ALLALI.KH pour les bons moments que nous avons passé ensemble au laboratoire de Telecommunication.

Dédicaces

Louange à ALLAH pour être mon appuie, mon repère, ma solution et mon éternel espoir. Pour la force que vous nous donnez, pour la bonne santé, pour la patience d'aller jusqu'au bout de mon rêve. HAMDOLIALLAH.

Ma très chère Maman

Je ne trouve jamais les mots ou les expressions assez fortes pour vous exprimer mon amour, mes remerciements. Merci pour ton jolie sourire et à ta force qui m'impressionne toujours, ce travail est le résultat de vos longues années de sacrifices, d'effort et surtout de patience tout au long de mes études.

Que Dieu prolonge vos jours dans la joie, la santé et la paix.
Je vous aime très fort ma chère maman.

Mon cher Papa

Qui a toujours essayé de m'offrir toute les conditions de confort possibles. Que Dieu vous bénisse pour nous. On vous aime.

A mon unique et chère sœur

Pour son amour et son soutien moral ; que Dieu te garde pour moi " Je t'aime Maroua".

A mes chers frères Mohamed Tayeb et Zakaria

Mohamed Tayeb tu es la lumière et le bonheur de nos jours je t'aime fort mon trésor.
Zakaria le chouchou de notre maison je t'aime mon petit frère.

A ma famille

Tentes, oncles, cousins, cousines.

A mes amis (ies)

A toi ma chère Meri, Fissa et Abir on a passé des jours plus que formidable Merci pour tous les bons moments qu'on a passé ensemble.

BENYOUB Meriem.

Je dédie ce travail à mes très chers parents ; ma chère mère et cher père pour tous les sacrifices et les encouragements durant toute la période de mes études. Que Dieu les protège et leur donnent tout le bonheur du monde qu'ils méritent.

A mes frère Youcef, Ayoub et ma chère sœur Marwa. Je leur souhaite un avenir radieux, plein de réussite.

A tous mes amis avec qui nous avons partagé les meilleurs moments de notre vie Nafissa , Hafsa et Abir, ainsi leur aide et leur soutien moral durant l'élaboration de notre travail de fin d'études.

A mon binôme Meriem et toute sa famille surtout Mohamed Tayeb.

BENYAGOUB.Meryem

Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces.....	III
ABREVIATION	XII
INTRODUCTION GENERALE :	1
Chapitre I : Notions Fondamentales sur la Navigation par Satellite.	
I.INTRODUCTION	4
II.CONCEPT DE GEOLOCALISATION	4
III.LES SYSTEMES DE GEOLOCALISATION	4
a) Système GPS :.....	5
b) Système GALILEO :	5
c) Système GLONASS :	5
III.1. CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES DE GEOLOCALISATION.....	5
a) Modèles des données de localisation :	5
a) Identification :	6
b) Position absolue ou relative.....	6
c) L'exactitude et la précision	6
d) L'échelle	6
III.2. LES SOLUTIONS POSSIBLES POUR LES APPLICATIONS DE LOCALISATION.....	6
IV. LE SYSTEME GPS :	7
IV.1. L'EVOLUTION DU GPS :	7
IV.2. APPLICATIONS DU GPS :	8
a) L'application personnelle	8
b) Les applications professionnelles du GPS	8

IV.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU GPS	8
IV.4. COMPOSITION DU GPS :	9
a) Le segment spatial :	10
b) Le segment de contrôle :	11
c) Le segment utilisateur :	12
IV.5. METHODES DE GEOLOCALISATION	12
a) Méthode de Triangulation	13
b) Méthode de Trilatération.....	13
IV.6. POSITIONNEMENT DANS LE SYSTEME GPS :	14
IV.6.1. Positionnement dans le repère sphérique :	15
a) Latitude.....	15
b) Longitude :	15
c) L'altitude :	15
IV.7. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DU SYSTEME GPS	16
IV.7.1. Les avantages	16
IV.7.2. Les inconvénients :	17
IV.8. ERREURS ET PRECISION INTRINSEQUE DU SYSTEME GPS :	18
V : CALCUL DE LA POSITION D'UN UTILISATEUR :	19
VI.CONCLUSION.....	22

Chapitre II : CARACTERISTIQUE DU SIGNAL GPS.

I.INTRODUCTION :	24
II. SIGNAL GPS L1 :	26
II.1. Propriétés générales du signal L1 :	26
II.2. CODES GOLD :	26
II.2.1. Le code C/A :	26
II.2.2. Le code P :	27
II.2.3. Message de navigation :	27

II.3. STRUCTURE DU SIGNAL GPS L1 :	29
II.3.1. Signal émis :	30
II.3.2 Signal reçu :	31
II.4. LE SIGNAL GPS-C/A SUR L1 (EXEMPLE DE SIGNAUX GNSS) :	33
II.5. GENERATION DU SIGNAL GPS DANS LA BANDE DE FREQUENCE L1 :	33
III. LES SIGNAUX RF ET CAN :	34
IV. LE RAPPORT SNR ET C/N0 POUR UN GPS :	35
IV.1. LE RAPPORT SNR :	35
IV.3. LE RAPPORT C/N0 :	35
V. MODULATION DU SIGNAL GPS L1 :	36
VI. ACQUISITION DU SIGNAL GPS	39
VI.1. EXEMPLES D'ACQUISITION :	39
VI.2. POURSUITE DES SIGNAUX :	41
VII. CONCLUSION	41

Chapitre III : RECEPTEUR GPS

I.INTRODUCTION	44
III.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE BOUCLE DE COSTAS	48
IV.ARCHITECTURE DES BOUCLES DU RECEPTEUR GPS NUMERIQUE.....	51
IV.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	52
IV.2. MESURES REALISEES PAR UN RECEPTEUR GPS :	52
IV.2.2. Mesure sur la phase de l'onde porteuse (la boucle PLL) :	55
IV.2.2.1. Comment suivre la phase porteuse ?	55
IV.2.2.2. Mesure sur la phase de l'onde porteuse :	55
IV.2.2.3. Avantages et inconvénients des mesures de code et de la phase :	58
V. CONCLUSION :	58

Chapitre IV : Simulation et résultats.

I. INTRODUCTION	60
-----------------------	----

II. UTILISATIONS DU SDR :.....	60
SDR-Sharp :.....	60
III. PARTIE 1 : Configuration du matériel :.....	61
III.1. EQUIPEMENT :.....	61
III.2. BRANCHEMENT DU MATERIEL :.....	62
Bibliographie	XII
RESUME :.....	XIV

Liste des figures

Figure I.1 : Principe de fonctionnement du GPS [7].....	9
Figure I.2: Les compositions du GPS [7].....	9
Figure I.3: Constellation des satellites du GPS [7].....	10
Figure I.4 : Principe de l'inclinaison d'une orbite [4].....	11
Figure I.5 : Horloge atomique [18].	11
Figure I.6 : Localisation du segment terrestre [7].....	12
Figure I.7 : Triangulation avec trois satellites [23].....	13
Figure I.8: Méthode de trilatération [7].....	14
Figure I.9 : Mesure des coordonnées [8].....	15
Figure I.10 : Les coordonnées géographiques de l'aéroport de Tlemcen.....	16
Figure I.11: Les trajets multiples.	17
Figure I.12 : Effet de la configuration géométrique des satellites sur la précision de la mesure de position [7].	19
Figure I.13: Principe de mesure de distance.....	19
Figure I.14: Calcul de la position et du temps.....	21
Figure II.15: Signaux du système GPS [19].....	24
Figure II.16: Schéma de la génération des signaux L1 avec une réalisation sous simulink [14].	25
Figure II.17 : Générateur du code C/A (Gold) [17].	27
Figure II.18 : Constitution du message de navigation [21].	28
Figure II.19 : Spectre du signal GPS L1 [17].....	29
Figure II.20 : Fonction d'autocorrélation d'un code C/A [11].	31
Figure II.21 : Génération du signal GPS dans la bande de fréquence L1.	33
Figure II.22 : Modulation BPSQ [19].	37
Figure II.23 : Onde porteuse des signaux GPS et Galileo [3].	37
Figure II.24: Modulation BPSK de la porteuse L1 par le code C/A et le message de navigation [22].....	38
Figure II.25 : Addition modulo 2 [22].	38
Figure II.26 : Schéma bloc des opérations réalisées par le récepteur [3].	39
Figure II.27: Schéma d'acquisition réalisé sous Simulink	40
Figure II.28 : Exemples de résultats d'acquisition.....	40
Figure II.29 : Canal de réception [1].....	41

Figure III.30 : Principe de l'effet Doppler [7].	44
Figure III.31 : Effet Doppler sur satellite.	45
Figure III.32 : Exemple de boucle de Costas	49
Figure III.33 : Boucle PLL dans le domaine fréquentiel.	51
Figure III.34 : Schéma bloc d'un récepteur GPS [10].	52
Figure III.35 : Mesure sur le code pseudo-aléatoire.	54
Figure III.36: Onde porteuse.	56
Figure III.37 : Principe de la mesure de phase sur l'onde porteuse.	56
Figure IV.38 : Interface SDR-Sharp.	61
Figure IV.39 : USB SDR, Antenne GPS.	61
Figure IV.40 : Branchement du SDR avec la machine PC.	62
Figure IV.41:L'apparence du PIC.	62
Figure IV.42 : Résultat afficher sur le RTL-TCP.	63
Figure IV.43 : Résultat afficher sur le cmd.	63
Figure IV.44 : Le schéma block principale du GNSS.	66
Figure IV.45 : GNSS_SDR_TCP_connector_tracking_rx.	66
Figure IV.46 : Control-id.	67
Figure IV.47 : GNSS_SDR_TCP_connector_tracking.	67
Figure IV.48 : Code tracking DLL.	67
Figure IV.49: Bloc PLL.	68
Figure IV.50 : Power Estimation.	68
Figure IV.51:GNSS_SDR_TCP_connector_tracking_TX.	68

Liste des tableaux

Tableau I.1: Les différents milieux du GPS.....	16
Tableau II.2 : Signal L1.	26
Tableau II.3: les caractéristiques techniques des signaux GPS existants et prévus dans la bande L1 [17].....	30
Tableau III.4: Avantage et inconvénient des mesures de code et de la phase [24].....	58

ABREVIATION

- AM radio: Modulation d'Amplitude radio.
- BPSK: Binary Phase Shift Keying.
- C/A : Coarse Acquisition code.
- C/I : Porteuse sur Interférence.
- C/N0 : Porteuse sur la densité spectrale de bruit.
- CAN : Convertisseur Analogique Numérique.
- CDMA : Code Division Multiple Access.
- dB: Decibel.
- DLL: Delay Lock Loop.
- DMS: Degré, Minute, Seconde.
- DOD: Department Of Defense.
- GALILEO: European satellite navigation system.
- GDOP: Geometry Dilution Of Precision.
- GEO: Geostationary Earth orbit.
- GLONASS: GLObalnaya Navigatsionnaya Spoutnikovaya Sistema.
- GNSS: Global Navigation Satellite System.
- GPS: Global Positioning System.
- GSM: Global system for mobile communication.
- HF: Haute Frequency.
- HOW: Hand Over Word.
- IF: Intermediary Frequency.
- I-Q In phase–Quadrature phase.
- L1 : La fréquence du GPS et Galileo L1 = 1575.42 MHz.

- LNA: Low Noise Amplifier.
- NAVSTAR/GPS: NAVigation Satellite Timing And Ranging/ Global Positioning System.
- NAVSTAR: NAVigation Satellite Timing And Ranging.
- OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.
- OL: Oscillator Local.
- P: Precise code.
- PLL: Phase Lock Loop.
- PRN: Pseudo Random Noise.
- PVT : Position, Vitesse et Temps.
- RF: Radio Frequency.
- SNR : Signal Noise Rapport.
- TLM: Télémétrie.
- TRANSIT :
- UHF TV: Ultra Haut Frequency
- UTC: Universal Time Coordinats.

INTRODUCTION GENERALE :

Durant les trois dernières décennies, l'intérêt envers la géolocalisation ne cesse de grandir, venant d'une demande grandissante par les utilisateurs pour connaître leurs positions exactes sur la surface du globe. Le plus connu est le système américain GPS. Depuis la mise en place du système GPS, les applications de la navigation par satellite se développent et s'étendent dans de multiples domaines. Conçus principalement pour des applications militaires, les signaux GPS sont maintenant couramment utilisés dans des applications civiles telles que les transports maritimes, aériens et terrestres, la géologie, les travaux publics, la prospection pétrolière, l'agriculture, et de nouvelles applications ne cessent de voir le jour, ou sont tout simplement associées au téléphone.

Cependant, d'autres systèmes de navigation par satellite, moins connus, sont déjà en place. C'est le cas du système russe GLONASS et bientôt GALILEO offre des services de positionnement disponibles en permanence dans le monde entier pour un nombre illimité d'utilisateurs.

Si certains de ces systèmes couvrent la quasi-totalité de la planète, les systèmes de positionnement satellitaires ne permettent pas à un utilisateur de se localiser n'importe où. Outre la présence de zones d'ombre dans lesquelles les signaux ne peuvent être reçus, les phénomènes de réflexion et d'atténuation des signaux émis par les satellites rendent particulièrement délicat le positionnement au moyen des GNSS en milieux urbains ou fermés.

L'ensemble de ces systèmes de navigation permet à un utilisateur muni d'un récepteur de pouvoir traiter les signaux émis par les satellites de la constellation afin d'estimer le triplet : position, vitesse et temps (PVT).

En effet, le récepteur est capable d'estimer la distance qui le sépare d'un nombre minimum de satellites, il lui est alors possible de déterminer sa position. La distance entre un satellite et l'utilisateur est mesurée grâce au temps de propagation nécessaire pour que le signal émis par le satellite soit reçu au niveau du récepteur. Pour déterminer ce temps de propagation, le récepteur compare le signal reçu avec une réplique locale qu'il va lui-même créer. Au cours du temps, l'estimation du temps de propagation va être réalisée par des algorithmes de poursuite afin de suivre l'évolution de ce dernier liée aux mouvements relatifs entre l'utilisateur et le satellite. Le récepteur doit estimer à la fois la phase, la fréquence Doppler et le décalage des codes pseudo aléatoires des satellites visibles .

Dans le premier chapitre, on a présenté les notions fondamentales sur la navigation par satellite. Dans le deuxième chapitre, on a présenté les caractéristiques des signaux GPS en particulier le signal L1 qui est utilisée par des citoyens civils. Dans le troisième chapitre, on a présenté le récepteur GPS et ces caractéristiques. Dans le quatrième chapitre, on présente nos résultats et simulation de notre travaille.

Chapitre I

Notions Fondamentales sur la Navigation par Satellite.

I.INTRODUCTION

Avec la globalisation du monde dans lequel nous vivons, nous ne pouvons plus ignorer les grands progrès technologiques et scientifiques que nous avons à notre disposition, même s'ils peuvent comporter quelques inconvénients, mais concentrons notre attention sur les avantages que ces nouvelles technologies offrent. Actuellement, le concept de positionnement ainsi que la direction de mouvement de tout automobile, tout bateau, toute avion est plus développé grâce à l'apparition de nouvelles technologies de géolocalisation, parmi celles-ci, on cite le GSM, wifi et GPS.

Dans ce chapitre on donnera plus de détails sur la notion de localisation qui est le thème de notre travail et qui vise à concevoir et à réaliser un système de géolocalisation en utilisant la carte Raspberry avec récepteur SDR.

II.CONCEPT DE GEOLOCALISATION

La GEO LOCALISATION (ou GEO-référencement) est une technologie avancée qui permet de spécifier des informations permettant de localiser un objet ou un individu à l'aide de coordonnées géographiques. Avec l'apparition des nouvelles technologies telles que les téléphones mobiles, les tablettes numériques, les systèmes de géolocalisation ont connu un grand essor. En effet, ces systèmes impliquent une infrastructure contenant un ensemble de capteurs permettant d'acquérir les informations nécessaires sous diverses formes (acoustique, électrique, etc.), une référence par rapport à laquelle la position de l'objet à localiser est déterminée et une partie intelligente permettant de traiter les échantillons acquis et d'extraire l'information nécessaire pour déterminer la position [?]. Le traitement des données peut être effectué à un emplacement dédié du réseau ou au niveau de l'objet mobile souhaitant se localiser. Dans ce cas, nous pouvons observer trois types positionnement :

- ✓ Positions absolues.
- ✓ Positions relatives.
- ✓ Positions symboliques. [2]

III.LES SYSTEMES DE GEOLOCALISATION

La navigation par satellites a débuté dans les années 1970. Quelques systèmes satellitaires ont été explorés avant la mise en place du système GPS, parmi eux le programme TRANSIT qui a été le premier à utiliser les émissions continues d'ondes à partir de satellites [2]. À l'origine il était prévu qu'il soit utilisé pour détecter la position des missiles, des sous-marins et autres navires. Son

principal inconvénient est sa lenteur d'acquisition. Le système TRANSIT demeurait inadapté à la localisation d'objets à grande mobilité.

a) Système GPS :

Le GPS est le premier système de géolocalisation mondial fonctionnant sur l'exploitation de signaux radio émis par une constellation de satellites dédiés. Mis en place à des fins militaires à partir de 1973, le système avec 24 satellites est totalement opérationnel en 1995 et s'ouvre au civil en 2000. Les signaux transmis par les satellites peuvent être librement reçus et exploités.

Le principe de fonctionnement repose sur la trilatération de signaux électromagnétiques synchronisés émis par les satellites. Pour assurer la précision du positionnement, le système GPS utilise : horloges atomiques embarquées, compensation d'effets relativistes, mise en place de stations d'observation et de synchronisation. Les coordonnées terrestres calculées se réfèrent au système géodésique WGS 84 [20].

b) Système GALILEO :

GALILEO est un système de positionnement par satellites développée par l'union européenne [6]. Il permettra à un utilisateur muni d'un terminal de réception d'obtenir sa position sur une carte géographique. GALILEO couvrira toute la surface de la terre, chaque point donnée étant balayée à tout moment par 06 à 08 satellites [6].

c) Système GLONASS :

Le système GLONASS est l'équivalent russe du GPS, conçu pour apporter des performances comparables à celles du GPS. GLONASS utilisait initialement le système géodésique russe PZ-90 qui est sensiblement différent du système WGS84. Le PZ-90 a été adapté et mis à jour en accord avec le système ITRF2000, auquel se conforme WGS84. En 2008, seize satellites actifs sont en orbite, ce qui permet la couverture de tout le territoire russe. En 2011, pour la première fois, GLONASS assure la couverture de toute la surface terrestre[3, 15,7, 5].

III.1. CARACTERISTIQUES DES SYSTEMES DE GEOLOCALISATION

a) Modèles des données de localisation :

Les données de localisation devraient être définies suivant un modèle abstrait de l'espace qui peut être métrique, ensembliste, structurel ou sémantique [2].

a) Identification :

L'identification fait référence à une correspondance exacte avec une base de données externe des caractéristiques représentant les objets ou les personnes [2]. Aussi, une identification peut correspondre à la possibilité d'attribuer des labels différenciant subjectivement les objets ou personnes détectés sans faire appel à des références ou à des bases de données externes.

b) Position absolue ou relative

Un système à localisation absolue utilise une grille référentielle universelle pour tous les objets et les positions. Un système à localisation relative utilise un plan référentiel relatif à sa propre position qui peut changer d'un endroit à l'autre. Un avantage commun des deux systèmes est la possibilité de translater les coordonnées d'un système à un autre, bien que le système absolu reste plus universel [2].

c) L'exactitude et la précision

Exactitude qui est définie comme la capacité du système à garder un niveau de précision pour toutes ses estimations. Il existe un compromis entre les deux, où pour un système donné il est capable de fonctionner avec une exactitude plus élevée si la précision est moins contraignante, ce qui veut dire moins de précision. Il faut noter que plus le système a une meilleure performance, plus il pousse vers une amélioration de ces deux critères en parallèle [2,3,22].

d) L'échelle

En fait un système comme le GPS peut couvrir la terre, d'autres peuvent couvrir une région précise ou un immeuble ou même une seule chambre. Mais en plus un système peut localiser jusqu'à 10 cibles à la fois alors que d'autres peuvent localiser un nombre illimité de cibles. L'échelle est un critère essentiel surtout pour étudier le rapport efficacité/prix. L'échelle d'un système peut souvent être élargie en développant l'infrastructure [2].

III.2. LES SOLUTIONS POSSIBLES POUR LES APPLICATIONS DE LOCALISATION

Une panoplie des solutions possibles pour les applications de localisation est constituée par :

- Les systèmes à repères : utilisent des balises installées dans des positions fixes.

- Les systèmes inertiels : exploitent la vitesse ou l'accélération de l'objet souhaitant être localisé. La position de départ étant connue, l'intégration dans le temps de l'accélération subie par le mobile permet d'estimer sa position. Dans cette catégorie on retrouve les odomètres, les accéléromètres et les gyroscopes.
- Les systèmes à base d'ondes : exploitent les perturbations produites dans un système physique par l'énergie d'une onde optique, acoustique ou électrique [2].

IV. LE SYSTEME GPS :

Le GPS est un système de navigation à base de satellites conçu pour fournir instantanément des informations de position, de vitesse et de temps pratiquement à n'importe quel endroit sur terre n'importe quelle heure et par n'importe quelles conditions météorologiques. Le système GPS permet un positionnement instantané avec une précision qui va d'une centaine de mètres à quelques mètres (95% des cas).[6]. Le système GPS fournit à un récepteur sa position, sa vitesse de déplacement et le temps. Ce positionnement est réalisé de manière rapide, avec une précision d'une dizaine de mètres, n'importe quand, n'importe où sur la Terre, quelle que soit la météo et à faible coût [5].

IV.1. L'EVOLUTION DU GPS :

Les systèmes de navigation par radio ont été développés dans les années 1920. Celles-ci ont été largement utilisées dans la seconde guerre mondiale par les navires et les avions des deux côtés. L'inconvénient de l'utilisation des ondes radio qui sont générées sur le sol est qu'on doit choisir entre un système très précis mais qui ne couvre pas une large zone (haute fréquence ondes radio, comme UHF TV) et celui qui couvre une large zone, mais n'est pas très précis (comme radio AM). La seule façon de fournir une couverture pour l'ensemble du monde consiste à placer des émetteurs radio à haute fréquence dans l'espace.

Le développement du satellite artificiel a rendu possible la transmission des signaux de radionavigation à visibilité directe plus précis et a déclenché une nouvelle technologie de navigation. Une onde radio HF peut couvrir une grande surface et être très précise (il surmonte le bruit sur le chemin du sol en ayant un signal spécialement codé). Les satellites ont d'abord été utilisés dans la recherche de position dans un simple système de navigation bidimensionnel fiable appelé **TRANSIT**. Cela a jeté les bases pour un système qui allait révolutionner la navigation pour toujours (**GPS Positionnement Global Système**) [14].

IV.2. APPLICATIONS DU GPS :

Les fonctionnalités d'un traceur GPS sont nombreuses et peuvent être utilisées dans divers cas, de manières professionnelles ou personnelles.

a) L'application personnelle

Les applications à usage personnel du traceur GPS sont aussi nombreuses, il s'applique par exemple dans le domaine automobile, la localisation des personnes malades ou vulnérables.

Un traceur GPS s'utilise afin d'envoyer des informations sur la géolocalisation d'une personne. De manière automatique et instantanée, l'information arrive sur un site internet qui montre la position exacte sur une carte géographique. Des zones personnalisées peuvent être définies. Une alarme prévient si la personne quitte ou entre dans une zone [8].

b) Les applications professionnelles du GPS

Les applications de géolocalisation sont généralement réservées aux professionnels pour :

- La navigation en générale (course pédestre, marine, aviation, automobile..)
- La surveillance d'ouvrages de génie civil.
- Contrôle de la navigation (randonnée, sur route, dans l'air, en mer).
- Aux études géodésiques.
- Aux recherches scientifiques (étude de migrations, déplacements et localisation d'animaux).
- Aux systèmes d'armes (missiles tactiques, bombes etc...)

IV.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU GPS

Les quatre étapes suivantes expliquent le fonctionnement d'un GPS :

1-Les satellites envoient des signaux à des intervalles de temps réguliers. Chacun de ces signaux contient les informations suivantes : un code permettant d'identifier le satellite, l'instant "**t**" auquel le signal est transmis, sa hauteur et sa position par rapport aux coordonnées géographiques terrestres.

2-**Le récepteur GPS** reçoit ces ondes radios et utilise les informations contenues dans les signaux reçus.

3-**Distance géodésique** : le récepteur peut calculer sa position : latitude, longitude, altitude. Avec les signaux de trois satellites, il calcule la latitude et la longitude. Avec les signaux de quatrième satellite, on obtient l'altitude (Figure 1). Il est à signaler qu'à tout moment, chaque point de la terre est couvert par quatre satellites et que plus le récepteur reçoit des signaux, plus sa précision de calcul est importante [8].

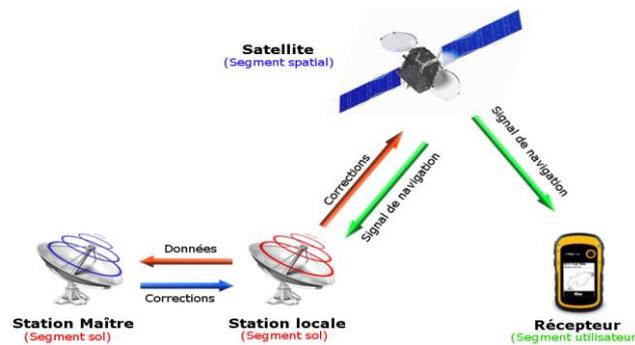


Figure 1 : Principe de fonctionnement du GPS [7].

4-**Calcul de position** : Le satellite renvoie sa position théorique à la station de contrôle, qui calcule alors l'erreur de position commise par ce dernier afin de lui renvoyer la valeur de cette erreur [6].

IV.4. COMPOSITION DU GPS :

Du point de vue fonctionnel, Le système GPS est composé de 3 segments principaux (Figure 2) :

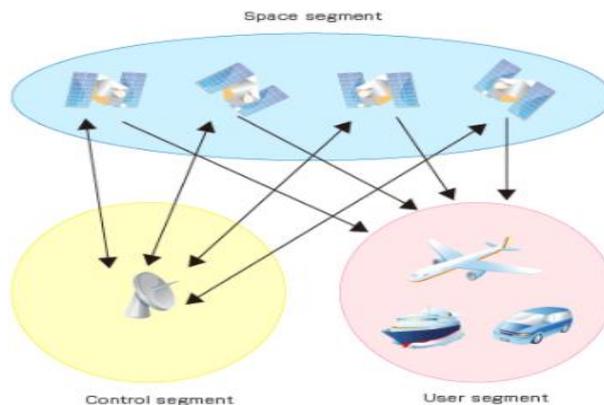


Figure 2: Les compositions du GPS [7].

a) Le segment spatial :

Le segment spatial inclut tous les éléments orbitaux du dispositif de positionnement. Il est composé de 24 satellites NAVSTAR (**NAV**igation **Sat**ellite **T**imming **A**nd **R**anging) [15, 20]. Ces satellites évoluent sur 6 plans orbitaux différents et à une altitude comprise entre 20000 et 20500km. Le segment spatial est constitué d'une constellation de satellites placés en orbites quasiment circulaires. Données de la constellation GPS :

- Comme le montre la figure 3, les 24 satellites en orbite assurant une certaine redondance afin de garantir un nombre minimum de 21 unités opérationnelles dans 98% du temps.

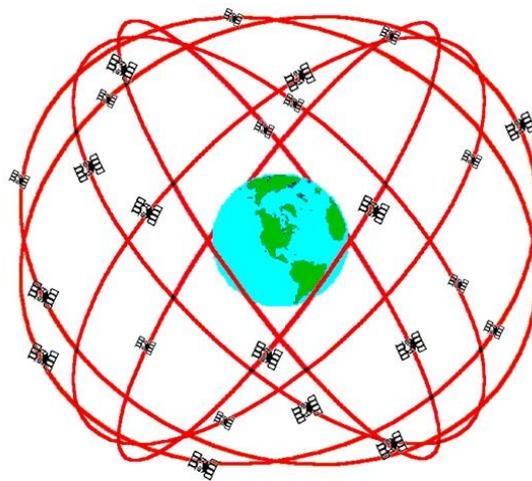


Figure 3: Constellation des satellites du GPS [7].

- 6 plans orbitaux décalés de 60° entre eux.
- Inclinaison des orbites de 55° par rapport au plan de l'équateur (Figure 4).
- Période orbitale de 11H 58 min.

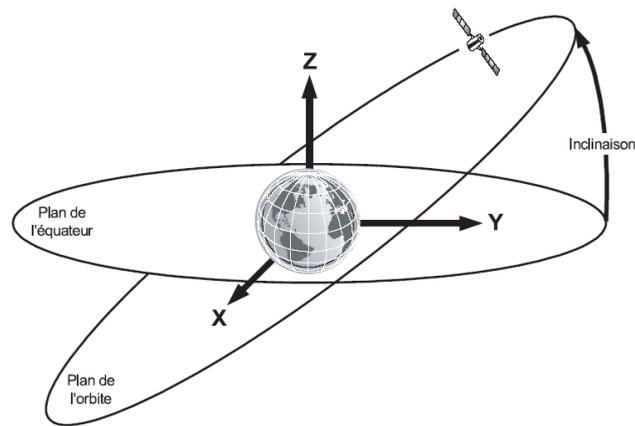


Figure 4 : Principe de l'inclinaison d'une orbite [4].

Chaque satellite pèse de 700kg et contient notamment :

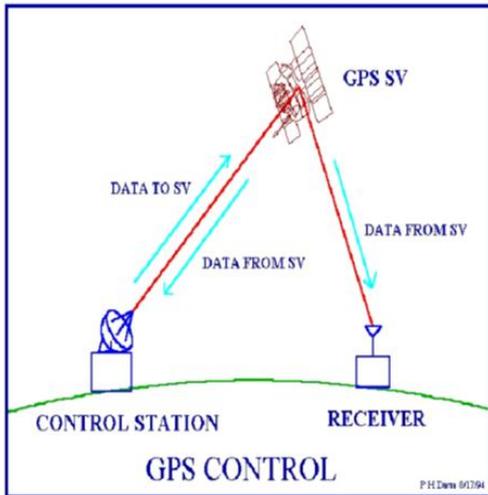
- Plusieurs horloges atomiques.
- Des panneaux solaires fournissant une puissance maximale de 1500 watts.
- Un émetteur et un récepteur radio. [16]



Figure 5 : Horloge atomique [18].

b) Le segment de contrôle :

Le segment de contrôle est composé de 5 stations réparties uniformément sur la surface du globe. Ces stations reçoivent des informations fournies par les satellites, assure le contrôle et la mise à jour des paramètres du système par un suivi permanent du segment spatial (Figure 6) [18]. Ces stations transmettent ensuite leurs données à la station principale [8].



a) Schéma représente le control du GPS.

b) La répartition des 5 stations su segment du control.

Figure 6 : Localisation du segment terrestre [7].

c) Le segment utilisateur :

Il regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires susceptibles de décoder les signaux de navigation transmis par les satellites et d'en déduire par calcul les solutions de position, de vitesse et/ou de temps. Le système ne peut pas être saturé : le nombre maximum d'utilisateurs GPS est donc illimité.

Un récepteur doit être capable de :

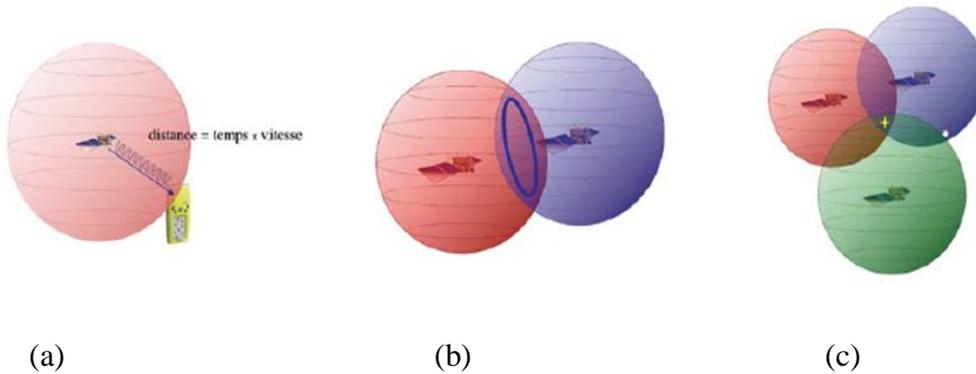
- Sélectionner plusieurs satellites parmi ceux qui sont visibles et acquérir les signaux GPS correspondants.
- Poursuivre les satellites sélectionnés (tracking).
- Extraire le message de navigation et calculer les solutions de position/temps.

IV.5. METHODES DE GEOLOCALISATION

Il existe plusieurs méthodes de géolocalisation. Parmi ces méthodes la méthode de **triangulation** et la méthode de **trilatération** sont les plus utilisées :

a) Méthode de Triangulation

La méthode la plus couramment utilisée pour déterminer la position d'un point à la surface du globe repose sur le principe de la triangulation qui permet par exemple de localiser un objet en connaissant la distance qui le sépare de 3 points de référence (Figure 7).



a) Position de satellite.

b) Création d'un cercle commun entre la 1^{ère} sphère du 1^{er} satellite et la 2^{ème} sphère du 2^{ème} satellite,

c) Triangulation avec trois satellites

Figure 7 : Triangulation avec trois satellites [23].

Le GPS calcule la position comme suit :

- Le satellite émet une onde électromagnétique de vitesse connue (c'est la vitesse de la lumière). Le récepteur calcule le temps mis par cette onde pour l'atteindre.
- Maintenant que nous avons à la fois la vitesse et la distance des satellites, le récepteur peut déterminer une position. Cette position serait quelque part sur une sphère centrée sur le satellite. Disons maintenant que nous sommes à une certaine distance d'un autre satellite.
- La seconde sphère recouperait la première sphère pour créer un cercle commun. Si nous ajoutons un troisième satellite, nous obtenons maintenant deux points communs où les trois sphères se coupent.

Même s'il y a deux positions possibles, elles diffèrent largement. Le GPS sait automatiquement laquelle des deux positions à prendre.

b) Méthode de Trilatération

Le principe de positionnement par satellites repose sur l'hypothèse de la propagation à vitesse constante (proche de la vitesse de la lumière) des ondes émises par les satellites dans

l'espace [7]. Si un récepteur arrive à estimer le temps de propagation d'un signal de navigation, il lui est alors possible, grâce à cette hypothèse, de déterminer la distance qui le sépare du satellite émetteur [21]. Les positions des satellites étant connues et transmises dans le message de navigation, le récepteur sait ainsi qu'il se trouve sur la sphère de rayon la distance estimée et centrée au niveau du satellite émetteur (Figure 8). Il peut alors calculer ses coordonnées à partir du moment où il dispose d'au moins 3 mesures de distance satellite/utilisateur.

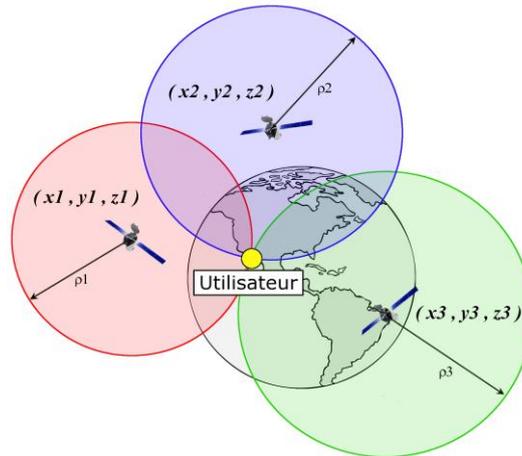


Figure 8: Méthode de trilatération [7].

En effet, en trois dimensions, l'intersection de 3 sphères donnera 2 points de position dont un se trouve à la surface de la terre et correspondra à la position de l'utilisateur, et un autre se trouvant dans l'espace et à exclure. Ce principe de positionnement est appelé trilatération [7].

Où : (x_i, y_i, z_i) : les coordonnées du satellite.

ρ_i : La distance entre le satellite et l'émetteur.

IV.6. POSITIONNEMENT DANS LE SYSTEME GPS :

Le système GPS permet donc de se positionner sur la terre en fournissant à l'utilisateur des coordonnées. Celles-ci peuvent être de deux types :

- Les coordonnées géographiques (c'est-à-dire longitude, latitude et hauteur ellipsoïdale) qui sont liées à ce référentiel géodésique.
- Les coordonnées planes ou rectangulaires (X, Y) qui sont indissociables des systèmes de projection plane [2].

La position est un endroit précis et unique qui est exprimé par un système de coordonnées géographiques. Le format le plus courant est : latitude et longitude.

IV.6.1. Positionnement dans le repère sphérique :

a) Latitude

La latitude est la valeur en degrés de la position angulaire d'un cercle vers le Nord ou vers le Sud par rapport à l'équateur (0° de latitude). Les Parallèles de Latitude sont un autre ensemble de cercles imaginaires perpendiculaires à l'axe des pôles. [8]

b) Longitude :

La longitude est la valeur en degrés à l'Est ou à l'Ouest d'un cercle imaginaire par rapport au méridien de référence (Greenwich) (0° de longitude). Les Méridiens de Longitude sont des cercles imaginaires qui passent par le pôle Nord et le pôle Sud [8].

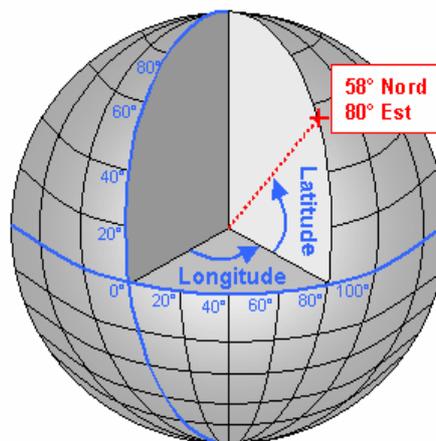


Figure 9 : Mesure des coordonnées [8].

c) L'altitude :

C'est une valeur qui est mesurée ou calculée par rapport au niveau de la mer c.à.d. La hauteur de l'objet ou de la personne par rapport au niveau de la mer (0 mètre).



Figure 10 : Les coordonnées géographiques de l'aéroport de Tlemcen.

Degrés Minutes Secondes (DMS) :

Le Degré est choisi comme unité de mesure des coordonnées ($^{\circ}$). Les sous-multiple du degré sont : la minute (') et la seconde ("). Il y a 60' dans 1° et 60" dans un 1'.

IV.7. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DU SYSTEME GPS

IV.7.1. Les avantages

- Précision à long terme : la précision ne se dégrade pas en fonction du temps, il n'y a pas de dérive.

Technologie	Rural	Suburbain	Urbain	Intérieur
GPS	10m	20m	Entre 30 et 300m	Pas de couverture

Tableau 1: Les différents milieux du GPS.

- Position absolue : on obtient toujours une position absolue qui ne dépend pas des conditions initiales.
- Conditions opérationnelles : le système marche jour et nuit et n'a pas besoin de conditions spéciales telles que support, orientation ou température.
- Prix abordable : des récepteurs simples coûtent de moins en moins chers [4].

IV.7.2. Les inconvénients :

Le GPS est un système américain sur lequel les utilisateurs non américains n'ont aucun contrôle et aucune garantie légale de bon fonctionnement.

- Les trajets multiples : ceci se produit quand le signal du GPS est reflété par des objets tels que des grands bâtiments ou de grandes surfaces de roche avant qu'il atteigne le récepteur. Ceci augmente le temps de parcours du signal, par conséquent une surévaluation du temps de vol et générant par conséquent des erreurs [2].

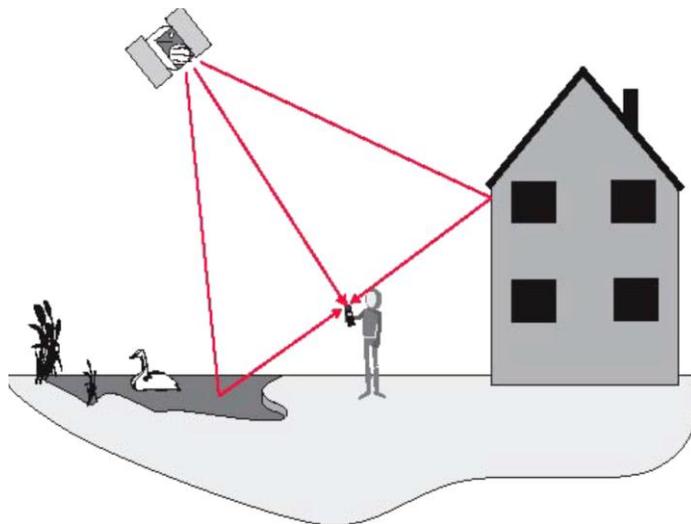


Figure 11: Les trajets multiples.

- Faible disponibilité : la précision dépend du nombre de satellites visibles par le récepteur. Les conditions de visibilité sont souvent dégradées ; ceci peut bloquer la réception du signal, entraînant des erreurs de position voir causant un arrêt temporaire du système [3].
- Géométrie des satellites/ombre : ceci se rapporte à la position relative des satellites selon l'instant d'observation. La géométrie satellitaire idéale se fait quand les satellites sont situés à des angles relativement larges. On dispose d'une géométrie faible quand les satellites sont alignés [3].
- Exactitude variable : l'exactitude des mesures de position peut varier considérablement. Tandis que sur une route en pleine campagne l'accès à disons 8 satellites peut donner une précision submétrique, les erreurs dans une ville avec ses « gorges de bâtiments » vont être de l'ordre d'une dizaine de mètres [5].

- Mauvaise précision en z : la précision sur l'axe vertical est facilement dégradée en cas de visibilité limitée.
- Le retard de l'ionosphère et de la troposphère : le signal satellite ralentit pendant qu'il traverse l'atmosphère. Le système de GPS emploie un modèle intégré qui tient compte d'un retard moyen pour corriger partiellement ce type d'erreur [5].

IV.8. ERREURS ET PRECISION INTRINSEQUE DU SYSTEME GPS :

Les erreurs intrinsèques au système de positionnement par satellites sont principalement liées aux limites technologiques des équipements. Parmi ces limites, on a la précision des horloges embarquées parmi eux les horloges atomiques, elles présentent une infime dérive qui entrainera une erreur de distance de l'ordre du (dm) lorsque la dérive horloge est de l'ordre de (η s). Pour affaiblir l'impact de cette dérive, des corrections sont calculées par les stations sol (segment de control) puis envoyées au satellite qui les inclura dans le message de navigation afin que l'utilisateur puisse apporter les corrections nécessaires.

L'horloge embarquée dans le récepteur fait également partie des sources d'erreurs. Les horloges utilisées pour les récepteurs grand public sont des horloges qui présentent une précision et une dérive d'horloge bien plus grandes que celles des horloges atomiques. Cette imprécision représente la grande majorité de la dérive horloge à estimer pour le calcul de la position [7].

Les erreurs de synchronisation d'horloge liées à des phénomènes relativistes doivent être également être prises en compte. En effet, d'après les théories d'Einstein sur la relativité restreinte et la relativité générale, des erreurs d'horloge entre les satellites et le récepteur apparaissent du fait de l'altitude et de la vitesse de déplacement des satellites par rapport au récepteur. Des erreurs sont également présentes au niveau de la précision de localisation des satellites. Ces derniers étant suivis par les stations sol, des corrections sur les éphémérides sont envoyées aux satellites pour qu'ils puissent mettre à jour leurs messages de navigation [7].

Pour connaître l'impact final sur la précision du positionnement des erreurs précédemment décrites il faut tenir compte du **GDOP (Geometry Dilution Of Precision)**. De manière générale, on a :

$$\sigma_p = GDOP * \sigma_m$$

Avec : σ_m : L'erreur de mesure sur les distances utilisateur/satellite.

σ_p : L'erreur de positionnement.

La valeur du GDOP est liée à la configuration géométrique des satellites ainsi qu'au nombre de satellites en vue. En général on considère que GDOP=2, mais ce dernier peut être supérieur à 20 dans certains cas critiques [7] (Figure 12).

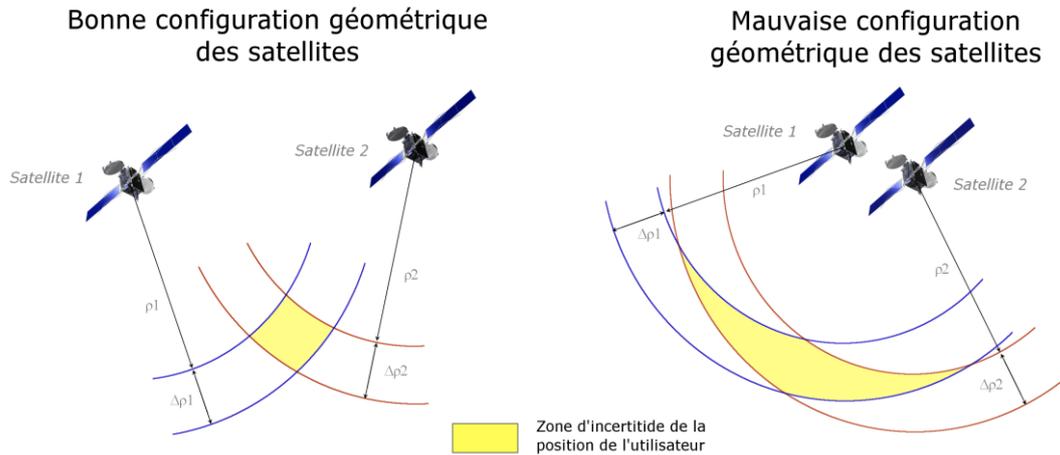


Figure 12 : Effet de la configuration géométrique des satellites sur la précision de la mesure de position [7].

V : CALCUL DE LA POSITION D'UN UTILISATEUR :

Le satellite connaît une horloge et introduit dans son signal à des instants très précis une porteuse, cette dernière circule jusqu'au récepteur de l'utilisateur. Le récepteur possède également une horloge, par rapport à laquelle il calcule très précisément à quel instant ce signal est reçu.

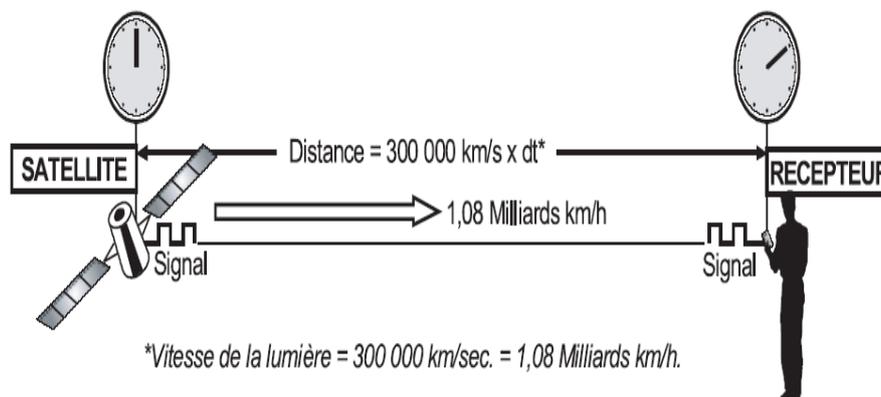


Figure 13: Principe de mesure de distance.

En comparant l'instant où le signal a été émis et celui où il est reçu, le récepteur de l'utilisateur peut déterminer le temps de propagation du signal entre le satellite et le récepteur. Connaissant la vitesse de propagation du signal provenant des satellites, qui correspond à la vitesse de la lumière, le récepteur peut déduire la distance parcourue par ce signal. [16].

Une condition essentielle à la mesure de la position est la synchronisation des satellites entre eux. Grâce à leurs infrastructures de mesures et de calculs au sol, les systèmes GPS garantissent que les horloges des satellites sont très précisément synchronisées entre elles. Les satellites sont de la sorte tous synchronisés par rapport à une référence de temps commune, dite « temps système GPS » [3].

Ces références de temps sont établies dans le segment de contrôle du système GPS au sol et sont « raccordées » au temps universel, dit UTC (Universal Time Coordinates).

Pour le calcul de sa position et comme les satellites sont synchronisés entre eux, le récepteur doit déterminer quatre paramètres inconnus :

- ✓ Trois paramètres définissant sa position dans l'espace (longitude, latitude, altitude).
- ✓ Un paramètre définissant l'avance ou le retard de son horloge par rapport au temps de référence du système GPS.

Un récepteur doit donc recevoir les signaux d'au moins quatre satellites pour établir sa position. Il obtient ainsi quatre mesures de distance lui permettant de calculer ses quatre paramètres inconnus.

La figure 14 montre, les relations entre la synchronisation des satellites, les quatre mesures de distance et les quatre paramètres à déterminer par le récepteur de l'utilisateur. [3]

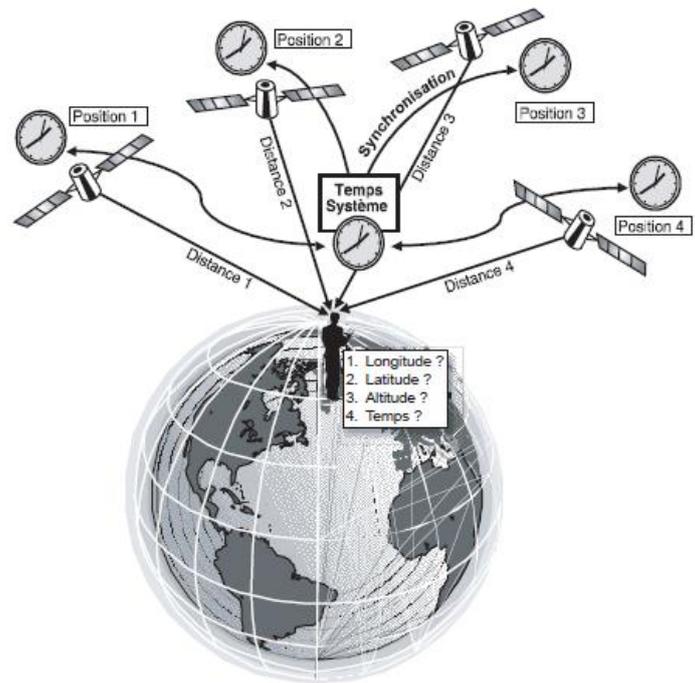


Figure 14: Calcul de la position et du temps.

Pour assigner la position du récepteur à trois dimensions (x_u, y_u, z_u) et l'offset de temps « t_u », on mesure quatre pseudo-distances à partir des positions des quatre satellites. Pour chaque satellite :

$$i \ (i = 1,2,3,4) \text{ on a : } \rho_i - c \cdot t_u = \|s_i - u\| \quad I.1$$

Avec :

ρ_i : La pseudo-distance (x_i, y_i, z_i) .

C : La vitesse de lumière.

t_u : Offset de l'horloge du récepteur par rapport au système de temps.

s_i : Les coordonnées de la position du satellite.

u : Les coordonnées de l'utilisateur (récepteur).

Pour $(i = 1,2,3 \text{ et } 4)$ on a :

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad I.2$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (i = 1) \quad I.3$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (i = 2) \quad I.4$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (i = 3) \quad I.5$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + c \cdot t_u \quad (i = 4) \quad I.6$$

La résolution du système I.2 permet de connaître les coordonnées x_u, y_u, z_u et le délai t_u qui correspond à l'horloge du récepteur.

VI.CONCLUSION

Dans ce premier chapitre nous avons exposé les principes du système GPS [24], les composants de ce système, après les différentes étapes pour obtenir une position quelconque par le système de navigation par satellite. Tout d'abord le nombre minimal de satellites nécessaires pour avoir une position exacte plus moins exacte. Ensuite nous avons fait suivre notre présentation par les équations fondamentales nécessaires pour le calcul de la position.

Pour assurer son indépendance dans ce domaine stratégique plusieurs pays lancent leurs propres constellations des satellites de navigation, utilisant les dernières techniques avancés de traitement de signal [1, 2, 22].

Chapitre II

CARACTERISTIQUE DU SIGNAL GPS.

I.INTRODUCTION :

Les systèmes de navigation par satellites sont les systèmes qui présentent de nos jours plus de croissance. Parmi les applications des systèmes satellitaires, le système GPS "Globe Navigation Systems" de NAVSTAR est la seule constellation qui a un statut opérationnel complet et ses satellites couvrent 99% de monde. [3]. Le système de navigation par satellite GPS est basé sur la technique CDMA où les signaux transmis par les différents satellites sont identifiés par différents codes pseudo aléatoires PRN. Ces séquences sont utilisées pour étaler les données de navigation à transmettre. Le récepteur exploite donc les propriétés de corrélation des codes d'étalement pour mesurer le temps de propagation de l'onde porteuse [1]. L'émission des signaux GPS par les satellites se fait sur deux fréquences porteuses différentes L1 (1575.43 MHz) et L2 (1227.60 MHz), afin que l'erreur introduite par la réfraction ionosphérique puisse être éliminée. Ces fréquences sont générées grâce à la fréquence d'horloge atomique fondamentale des satellites $f_0=10.23$ MHz. [23]. Sur ces deux porteuses sont modulés, par inversion de phase, un message de navigation ainsi que différents codes pseudo-aléatoires [9]. Les porteuses L1 et L2 ne peuvent pas être utilisées directement pour le positionnement et c'est pourquoi deux codes binaires sont modulés sur les porteuses :

- ✓ Le code C/A émis sur la fréquence L1 : 1575.42 MHz.
- ✓ Le code P émis sur la fréquence L2 : 1227.6MHz. mais réservé aux militaires Américains.

[21]

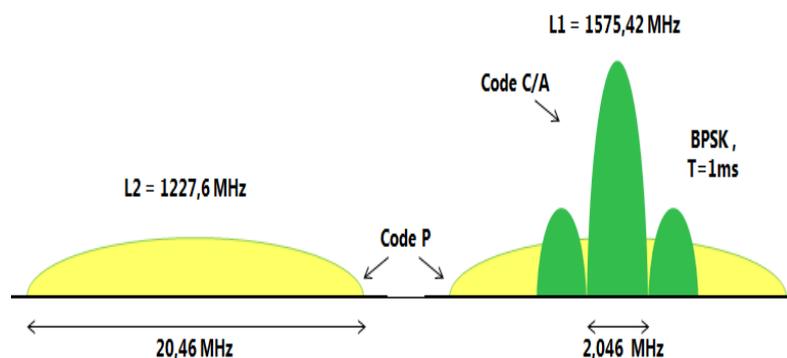


Figure 15: Signaux du système GPS [19].

Donc la porteuse L1 est modulée en phase avec deux pseudo-codes de bruit aléatoires binaires contenant des informations GPS :

- ✓ le code d'acquisition grossière (**C/A**), caractérisé par un débit de puce de 1.023 MHz.
- ✓ le code (**P**) précis, la porteuse L2 est modulée avec le code P uniquement.

Les signaux des différents satellites se distinguent les uns des autres parce que chaque satellite transmet un signal C/A et un signal un code P unique. Les codes C/A et P de tous les satellites sont en outre modulés avec un code binaire commun qui transmet des informations sur les satellites, leurs orbites, leurs décalages d'horloge et leurs états opérationnels [14].

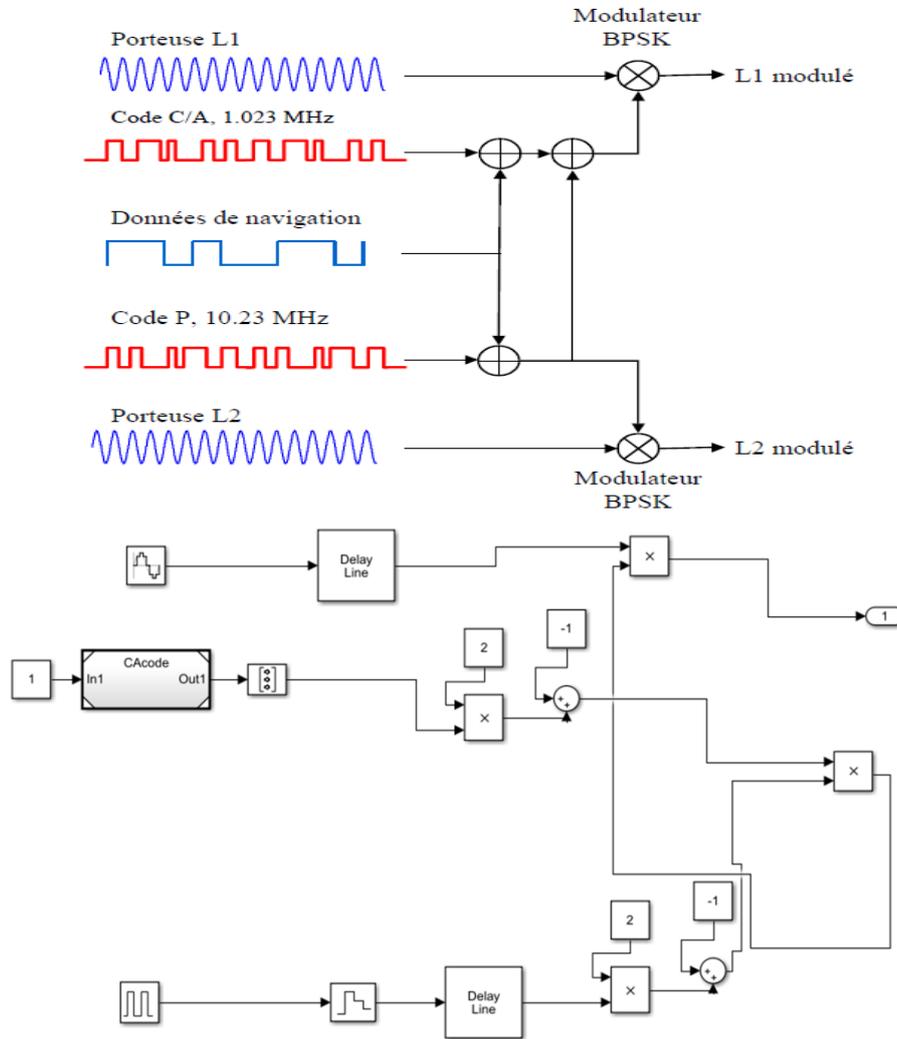


Figure 16: Schéma de la génération des signaux L1 avec une réalisation sous simulink [14].

Pour tout signal de communication, la première étape est la génération du signal de base ou d'une horloge. Dans le cas du signal GPS, la génération du signal complet se fait en 2 étapes. On effectue un étalement spectral qui module une porteuse à une fréquence, puisque l'on fonctionne en bande de base, de 2,046 MHz. On utilise une modulation BPSK qui fait un changement de phase de 90° selon si la donnée change ou conserve la même valeur.

II. SIGNAL GPS L1 :

II.1. Propriétés générales du signal L1 :

- Fréquence fondamentale interne de l'horloge atomique : **f=10.23 MHZ.**
- Message de navigation : **50 bits/s** sur **L1** et **L2** (voir Tableau 2).

Bande GPS	L1	
Fréquence de la porteuse	15757.42 Mhz (=154*10.23 Mhz)	
Code	C/A	P
Puissance	-160 dBW	-163 dBW
Débit	1.023 Mchips/s	10.23 Mchips/s
Modulation	BPSK	BPSK

Tableau 2 : Signal L1.

II.2. CODES GOLD :

II.2.1. Le code C/A :

Le code C/A est présent sur la porteuse **L1** uniquement. Il consiste en une séquence de **1023 bits** se répétant toutes les millisecondes. Chaque satellite GPS correspond un unique code **C/A** [22]. La fréquence élevée de répétition du code permet au récepteur de facilement identifier le satellite émetteur. La figure 17 nous montre la génération du code de **Gold C/A**. Basé sur deux registres, G1 et G2, le code de Gold est un code bloc cyclique à 2 registres de 10 cellules dont les registres représentent les équations de codage. Les équations des deux registres sont semblables pour tous les satellites, cependant, au niveau du registre G2, un sélecteur de phase à configuration unique pour chaque satellite confère la particularité d'autocorrélation. La réponse de ce sélecteur est ajoutée avec une porte logique OU EXCLUSIF avec la réponse du registre G1 afin de produire le code de Gold [10].

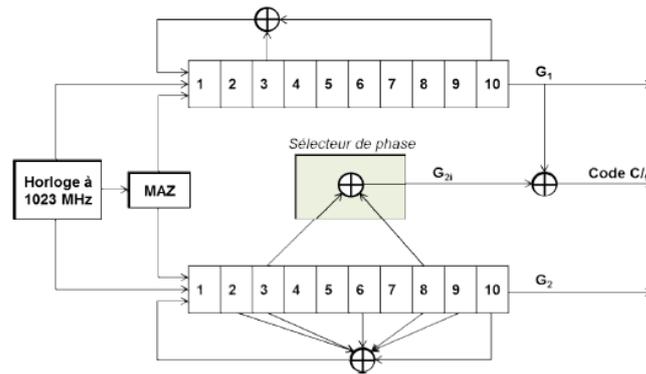


Figure 17 : Générateur du code C/A (Gold) [17].

II.2.2. Le code P :

Ce code est une longue séquence binaire non répétitive et limitée à une certaine catégorie d'utilisateur (armée US) dont la durée vaut une semaine, son exploitation nécessite l'accès à des informations particulières et du matériel (hardware) adapté [8].

II.2.3. Message de navigation :

Les signaux du code C/A et du code P sont modulés avec des données de **50 bits/s**. Ces données fournissent à l'utilisateur les informations nécessaires pour calculer les emplacements précis de chaque satellite visible et l'heure de transmission pour chaque signal de navigation. Les données comprennent également un ensemble important d'informations auxiliaires qui peut être utilisé, par exemple, pour aider l'équipement à acquérir de nouveaux satellites, traduire l'heure du système GPS en UTC et corriger le nombre d'erreurs qui affectent les mesures de distance [20].

Le message de navigation est émis au rythme de **50 bits/s** et est composé de **25 trames de 30 s**. On représente sur la figure 18 la constitution de ce message. La transmission du message complet requiert alors **750 s (12.5 min)**. Chacune de ces trames est séparée en **5 sous-trames de 6 s** et de **300 bits**. [21]

Les deux premiers mots des sous-trames sont les mots :

- TLM (TéLéMétrie).
- HOW (Hand Over Word).

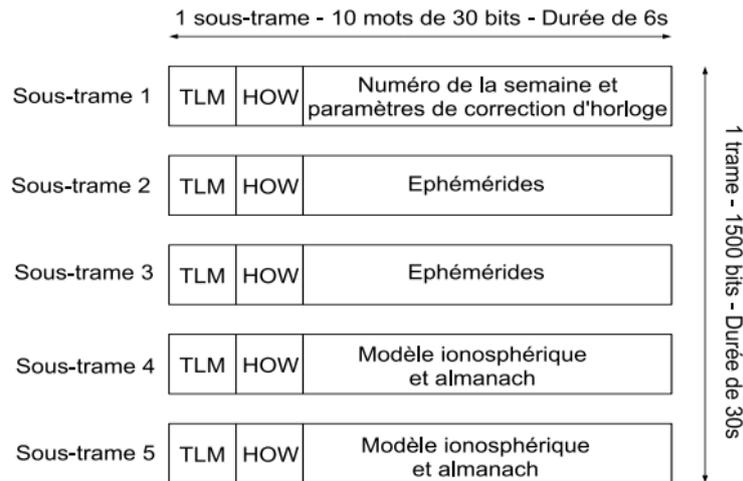


Figure 18 : Constitution du message de navigation [21].

Le mot **TLM** mesure **30 bits** de long et apparaît donc dans la trame toutes les **6s** et débute chaque sous-trame. Il est composé d'un message de préambule toujours identique (10001011) suivi d'un message de télémétrie, de deux bits réservés et de six bits de parités [21].

Le mot **HOW** mesure également **30 bits** et suit directement le mot **TLM**. Les informations contenues dans ce mot permettent de dater, dans le temps GPS, les mots de télémétrie du message de navigation. En effet, le mot **HOW** contient le temps GPS d'émission du mot de télémétrie de la sous-trame suivante. Ce sera donc à l'aide de la datation du mot de télémétrie à partir du message de navigation que l'on calculera une première pseudo-distance et une première position grâce aux mesures effectuées sur plusieurs satellites. Les pseudo-distances suivantes sont définies à partir de cette première mesure par les algorithmes de poursuite du code [21]. Les 8 mots restants de chaque sous-trame sont utilisés pour transmettre diverses informations :

✓ **La sous-trame 1** : permet de transmettre le numéro de la semaine GPS, les paramètres d'horloge du satellite ainsi que les paramètres de correction d'horloge.

✓ **Les sous-trames 2 et 3** : servent à transmettre les éphémérides¹ des satellites.

✓ **Les sous-trames 4 et 5** : donnent l'almanach² du satellite, les paramètres de correction ionosphérique et le temps UTC. Elles renseignent également sur l'état de santé du satellite.

1. Ephémérides : Calendrier dont on retire chaque jour une feuille.
2. Almanach : Liste des paramètres dont les valeurs, actualisées chaque semaine, sont diffusés par les satellites du système GPS et permettent à chaque récepteur GPS de déterminer les trajectoires et les marches d'horloge des satellites qu'il utilise.

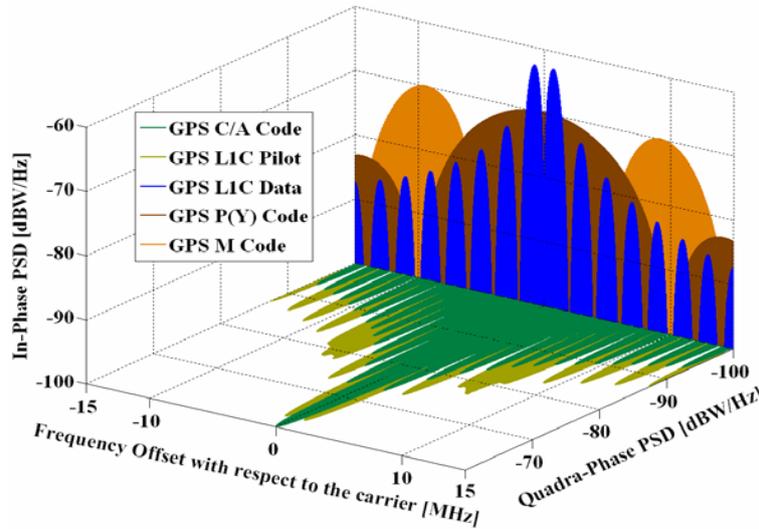


Figure 19 : Spectre du signal GPS L1 [17].

II.3. STRUCTURE DU SIGNAL GPS L1 :

La bande L1 GPS (**1575,42 MHz**) est devenue le groupe le plus important pour la navigation. En effet, la plupart des applications dans le monde de nos jours, sont basées sur les signaux émis à cette fréquence. Trois signaux sont transmis à l'heure actuelle par GPS L1 C/A code, P (Y) et le code M-Code.

Les satellites GPS émettent plusieurs signaux codés, à destination civile ou militaire. Le signal civil pour l'utilisation libre correspond au code C/A, émis sur la porteuse L1 de **1575 MHz**. Sur cette porteuse, le signal de modulation est une séquence résultant de l'addition modulo 2 du code pseudo-aléatoire C/A à **1 Mb/s** et des données à **50 b/s** contenant les éphémérides des satellites et d'autres informations de navigation. C'est le code C/A qui sert dans les récepteurs par corrélation avec le signal reçu à déterminer l'instant exact d'émission de celui-ci (Tableau 3)

GNSS System	GPS	GPS	GPS	GPS
Service Name	C/A	L1C	P(Y) Code	M-code
Centre Frequency	1575.42 MHz	1575.42 MHz	1575.42 MHz	1575.42 MHz
Frequency Band	L1	L1	L1	L1
Access Technique	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Signal Component	DATA	DATA Pilot	DATA	N.A
Modulation	BPSK(1)	TMBOC	BPSK(10)	BOC _{sin}
Code Frequency	1.023MHz	1.023MHz	10.23MHz	5.115MHz
Primary PRN	1023	10230	6.19*10 ¹²	N.A

Code length					
Secondary PRN	-	-	1080	-	N.A
Code length					
DATA rate	50bps/50sps	50bps/ 100sps	-	50bps/50sps	N.A
Minimum received Power [dBW]	-158.5	-157		-161.5	N.A
Elevation	5°	5°		5°	5°

Tableau 3: les caractéristiques techniques des signaux GPS existants et prévus dans la bande L1 [17].

II.3.1. Signal émis :

Les signaux civils et militaires consistent un message binaire commun comportant les messages de navigation multiplexés par deux codes binaires différents et modulés par une porteuse sinusoïdale commune. Le signal émis par les satellites GPS à la fréquence L1 a la forme suivante [11] :

$$S_e(t) = A_e d(t) C/A(t) \sin(2\pi f_1 t) + \frac{A_e}{\sqrt{2}} d(t) P(t) \cos(2\pi f_1 t) \quad II.1$$

Avec :

$C/A(t)$: le code pseudo-aléatoire civil **COARSE/ACQUISITION** cadencé à 1.023 MHz.

$P(t)$: le code pseudo-aléatoire militaire **PRECISION** cadencé à 10.23 MHz.

$d(t)$: le message de navigation cadencé à 50 bit/s.

A_e : la puissance d'émission de référence.

f_1 : la fréquence de la porteuse L1, à savoir 1575.42 MHz.

Chaque satellite GPS dispose de ses propres codes binaires C/A et P . Ces codes vont permettre l'accès aux informations de navigation portées dans le message d et l'identification des satellites émetteurs. Le code C/A d'un satellite est généré suivant la somme logique binaire des sorties de deux registres à décalage de code. La longueur des codes ainsi générés est de 1023 bits, soit une milliseconde [11].

L'inter-corrélation entre les codes ainsi générés est très faible. De plus, l'autocorrélation d'un code est très discriminante en matière de décalage temporel. La corrélation de deux signaux X_1 et X_2 de période T est définie sur cette période par :

$$R(\tau) = \left| \frac{1}{T} \int_0^T X_1(t)X_2(t + \tau)dt \right| \quad II.2$$

Avec τ un décalage temporel compris entre 0 et T . L'autocorrélation d'un signal est quant à elle :

$$\Lambda(\tau) = \left| \frac{1}{T} \int_0^T X_1(t)X_1(t + \tau)dt \right| \quad II.3$$

Avec :

$$\tau \in [0; 1023] \text{ bits.}$$

Pour deux codes C/A différents, on aura $R(\tau) \approx 0$ pour toute valeur de τ .

Pour deux codes C/A identiques, on aura $R(\tau)$ élevé pour $\tau = 0$ et proche de 0 pour tout autre valeur de τ .

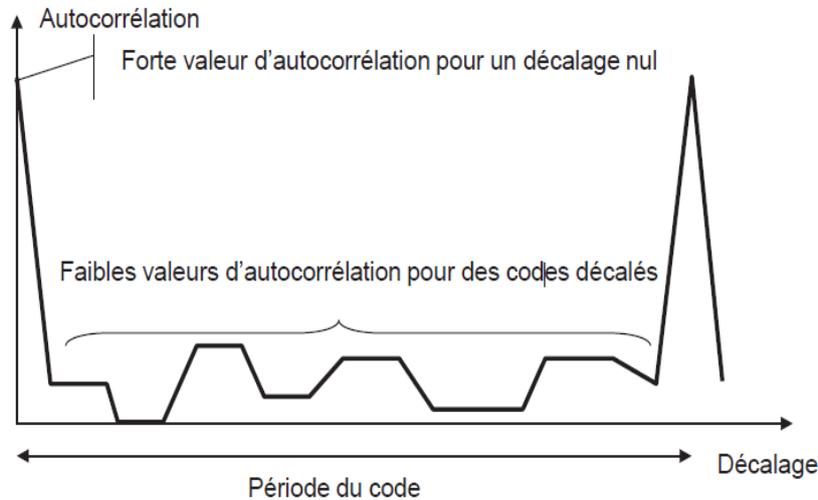


Figure 20 : Fonction d'autocorrélation d'un code C/A [11].

II.3.2 Signal reçu :

Pendant le trajet direct du signal GPS jusqu'au récepteur, il subit des modifications et perd de sa puissance [11]. La composante civile du signal en sortie d'antenne réceptrice peut être modélisée dans le domaine temporel par :

$$S_r(t) = \sum_{s \in S} A_s(t)n_s(t)C/A_s(t + \tau_s) \sin(2\pi f_{s0}(t)t + \theta_s(t)) + v_{s0}(t) \quad II.4$$

Avec :

$s \in S$: définissant un satellite dans l'ensemble S des satellites visibles.

A_s : la puissance du signal reçu.

n_s : le message reçu, décalé dans le temps par rapport au message envoyé d .

τ_s : le décalage de code correspond.

f_{s0} : la fréquence du signal reçu.

θ_s : la phase du signal reçu.

ν_{s0} : le bruit sur le signal, comprenant ici les perturbations dues à la propagation du signal, à sa réception par l'antenne, mais également la partie militaire du signal.

τ_s : le décalage du code correspond à l'intervalle de temps entre la réception du premier bit de code et le début d'une période de code, inférieur donc à une milliseconde, La fréquence de réception f_{s0} diffère de la fréquence d'émission f_1 du fait de l'effet Doppler. Il s'agit de la variation de fréquence associée au mouvement relatif émetteur-récepteur. θ_s est le délai de phase et τ_s le délai de code, dépend de l'instant de réception du signal, et appartient à $[-\pi; \pi[$.

On estime la qualité du signal reçu par la mesure de rapport signal sur densité de bruit C/N_0 , en dB Hz par la formule suivante :

$$\frac{C}{N_0} = 20 \log_{10} \left(\frac{\Lambda(\tau_s)}{\sigma_{\Lambda(\tau_s)}} \right) - 10 \log_{10}(T_1) \quad II.5$$

La permutation du signal du domaine analogique au numérique se traduit d'abord par une décente en fréquence porteuse. Le signal est pour cela multiplié par un signal sinusoïdal, généré par l'OL, de fréquence f_{OL} proche de f_1 . Le signal résultant se trouve à une fréquence dite intermédiaire $f_s = f_{s0} - f_{OL}$ permettant de procéder ensuite à son échantillonnage. La fréquence d'échantillonnage f_e utilisée correspond à la résolution temporelle avec laquelle le signal pourra être traité et observé. Lors de la conversion, le signal est également quantifié sur un nombre de bits fixe. Plus le nombre de bits utilisé est important, plus des variations de faible amplitude du signal seront visibles [11].

Ces paramètres ont une influence sur la précision obtenue par positionnement GPS. Le signal civil numérique traité par le récepteur a la forme suivante :

$$S_r(n) = \sum_{s \in S} A_s(n) n_s(n) C/A_s(n + \tau_s) \sin(2\pi f_{s0}(n) t_n + \theta_s(n)) + \nu_{s0}(n) \quad II.6$$

Avec :

n : l'échantillon de signal considéré.

t_n : l'indice de temps correspondant à cet échantillon.

II.4. LE SIGNAL GPS-C/A SUR L1 (EXEMPLE DE SIGNAUX GNSS) :

Le signal GPS sur L1 utilise un code CDMA, noté C/A (code Gold), qui est utilisé par tous les récepteurs GNSS et constitue la pierre angulaire de toutes les applications professionnelles et scientifiques. C'est pour cette raison que notre étude se reposera sur ce signal GNSS afin d'expliquer les différents traitements et modèles que nous proposons [4].

II.5. GENERATION DU SIGNAL GPS DANS LA BANDE DE FREQUENCE L1 :

La génération du signal est présentée sur la Figure si dessous. Une porte logique, de type "ou exclusif", combine le code pseudo-aléatoire C/A et le message de navigation. Le signal résultant est ensuite multiplié, après l'introduction d'une quadrature de phase, par la porteuse L1 : il s'agit alors de la modulation numérique BPSK. Afin de distinguer le code C/A du code P sur la bande L1, deux opérations sont effectuées :

D'une part l'atténuation de -3dB de la puissance du code P, et d'autre part l'introduction d'une quadrature de phase sur la porteuse du code C/A. [4]

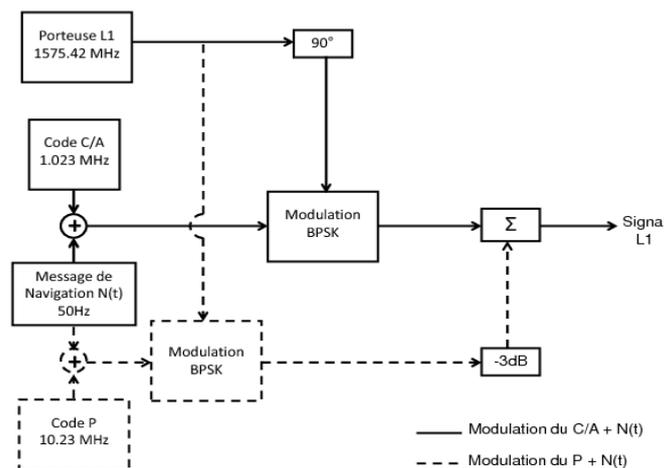


Figure 21 : Génération du signal GPS dans la bande de fréquence L1.

L'expression du signal L1 à la sortie du sommateur est alors :

$$S^{L1}(t) = A \cdot n(t) \cdot CA(t) \cdot \sin(2\pi f^{L1}t) + \frac{A}{\sqrt{2}} \cdot n(t) \cdot P(t) \cos(2\pi f^{L1}t) \quad II.7$$

Avec :

A : La puissance d'émission,

$n(t)$: Le message de navigation associé au satellite est cadencé à 50 bits/s,

$CA(t)$: Le code pseudo-aléatoire civil C/A est cadencé à 1.023 MHz,

f^{L1} : La fréquence de la porteuse est de 1575.42 MHz,

$P(t)$: Le code pseudo-aléatoire militaire P est cadencé à 10.23 Mhz. [4]

III. LES SIGNAUX RF ET CAN :

Les signaux RF, amplifiés et filtrés, sont alors transposés en fréquences intermédiaires (IF) grâce aux multiplieurs bas fréquence (**Down Converter**). Ces derniers utilisent un signal de, fréquences f^{IF} fourni par les oscillateurs locaux (OL). Les OL utilisent un synthétiseur de fréquence pour générer à partir d'une unique référence d'horloge leurs différentes fréquences. Suite à la descente en fréquence (**Down Converter**) le signal analogique prend la forme :

$$s^{IF} = \sum_{s \in S} A_v(t) n(t) CA_v(t + \tau_v) \sin(2\pi f^{IF} t + \phi_v^{IF}) + \eta_v(t) \quad II.8$$

Avec :

V : L'indice du satellite, il prend sa valeur dans l'ensemble V des satellites visibles.

A_v : L'amplitude du signal.

τ_v : Le délai du code CA_v .

f_v : La fréquence porteuse du satellite s . Elle inclut le Doppler $f D_v$ ($f_v = f L1 + f D_v$)

ϕ_v^{IF} : Le déphasage de la porteuse.

η_v : Le bruit introduit par : la propagation libre, l'antenne et le bruit de calcul du récepteur. On suppose le bruit additif, Gaussien, centré et de variance unitaire.

La conversion analogique numérique est réalisée sur le signal descendu à la fréquence intermédiaire. Le signal s^{IF} échantillonné et numérisé à la fréquence $f_e = 1/T_e$ et $s^{IF}(i * T_e)$ et est noté s_i^{IF} .

Dans un récepteur GPS ce signal est traité en parallèle par plusieurs composants dédiés (canaux du récepteurs GPS) qui sont associés à chaque satellite du système GNSS. Les dits canaux assurent de nombreuses fonctions de traitement du signal en bande de base [4] :

Le signal à la sortie du convertisseur analogique-numérique est donné par :

$$S_i^{IF} = \sum_{v \in V} A_{v,i} n_i CA_{v,i} \sin(2\pi f_v^{IF} i + \phi_v^{IF}) + \eta_{v,i} \quad II.9$$

T_e : La période d'échantillonnage,

$f_v^{IF} = (f^{IF} + f_v^D + f^{offset})$: La fréquence intermédiaire du signal.

f^{offset} : L'offset de l'oscillateur local, évalué entre 0 et quelques kHz.

i : Les instants d'échantillonnage.

IV. LE RAPPORT SNR ET C/N0 POUR UN GPS :

IV.1. LE RAPPORT SNR :

En général, le rapport signal sur bruit (SNR ou S/N) est une mesure relative, permettant la comparaison entre le niveau du signal utile et celui du bruit. [15] En télécommunications pour qualifier une liaison entre un émetteur et un récepteur, plusieurs indicateurs ont été proposés. Parmi les indicateurs de qualité les plus connus, on peut citer les rapports :

- Énergie binaire sur la densité spectrale de puissance de bruit **E_b/N₀ [dB]**.
- Signal sur bruit **S/N** ou **SNR [dB]**.
- Porteuse sur interférences **C/I [dB]**.
- Porteuse sur la densité spectrale de bruit **C/N₀ [dB Hz]**.

Chaque indicateur est adapté à une caractéristique de la liaison de télécommunications : le type de transmission utilisé, analogique ou numérique, et la nature de la modulation exploitée.

Le SNR caractérise en général un signal analogique en bande de base, après démodulation, cas du signal GNSS [12].

Le rapport C/I, utilisé pour les modulations multi-porteuses telles que la modulation OFDM, permet de caractériser l'effet des interférences sur la qualité du signal reçu. [13]

Le SNR est généralement exprimé en décibels :

$$SNR(dB) = S - N \quad II.10$$

Où :

S : La puissance du signal exprimée en [dB m] ou [dB W].

N : La puissance de bruit, dans la bande passante de travail, en [dB m] ou [dB W].

IV.3. LE RAPPORT C/N0 :

Le rapport puissance de la porteuse sur la densité de la puissance du bruit (**C/N₀**) s'exprime en [dB Hz] et se réfère au rapport de la puissance de la porteuse sur la puissance du bruit ramené à sa bande passante. Soit la puissance du bruit divisée par la bande passante de sa densité spectrale de puissance.

En relation avec le **SNR**, le **C/N₀** peut être formulé comme suit [4] :

$$SNR = \frac{C}{\frac{N_0}{BP}} \quad II.11$$

Avec :

$$N_0 = [W.s] = [W/s - 1] = [W/Hz]$$

Soit en décibels :

$$C/N_0(dB Hz) = C - N_0 = C - (N - BW) = SNR + BW \quad II.12$$

Où :

C : La puissance de la porteuse en [dB m] ou [dB W] ;

N : La puissance de bruit en [dB m] ou [dB W] ;

N_0 : La densité de puissance de bruit en [dB m/Hz] ou [dB W/Hz] ;

BW : La largeur de la bande [dB Hz], qui est généralement la largeur de bande équivalente de bruit du dernier étage du frontal RF du récepteur. [15]

En effet, la qualité du signal reçu par un récepteur GPS est étroitement liée aux valeurs indiquées de C/N_0 .

Pour un récepteur du GPS C/A sur L1, les valeurs typiques tolérables de C/N_0 varient entre **[37≤45] dB Hz**. Pour une bande passante de l'étage RF de **4 MHz**, la bande passante BW est de **66 dB**. Le SNR varie alors de **-29 dB à -21 dB**. [15]

Il est comme le C/N_0 mais pour la bande de fréquence analysée. Pour pouvoir trouver le C/N_0 correspondant, nous allons utiliser la relation suivante :

$$SNR = \frac{C}{N_0} \cdot 10 \log\left(\frac{F_s}{2}\right) = \frac{C}{N_0} \cdot 10 \log(F_s) + 3(dB) \quad II.13$$

Où :

F_s : La fréquence d'échantillonnage.

$\frac{F_s}{2}$: La bande maximale de notre récepteur numérique.

Ce calcul nous permettra de comparer les puissances théoriques et les puissances mesurées.

V. MODULATION DU SIGNAL GPS L1 :

Un signal GPS comporte trois composantes principales dont le message de navigation $n(t)$ qui est un signal en bande de base contenant les informations nécessaires au récepteur pour le calcul de sa position telles que : les éphémérides des satellites, les almanachs, des paramètres utilisés dans le modèle de correction ionosphérique, un code CDMA cette technique CDMA permet aux satellites de la même constellation de partager la même bande de fréquence sans interférer. Le CDMA par un code PRN (**P**seudo **R**andom **O**nde) est la technique d'accès utilisée et La modulation.

Plusieurs bandes de fréquences sont partagées par les systèmes de navigation. La transposition des signaux numériques en bande de base dans ces bandes fréquentielles est réalisée par des modulations BPSK et leurs variantes [4].

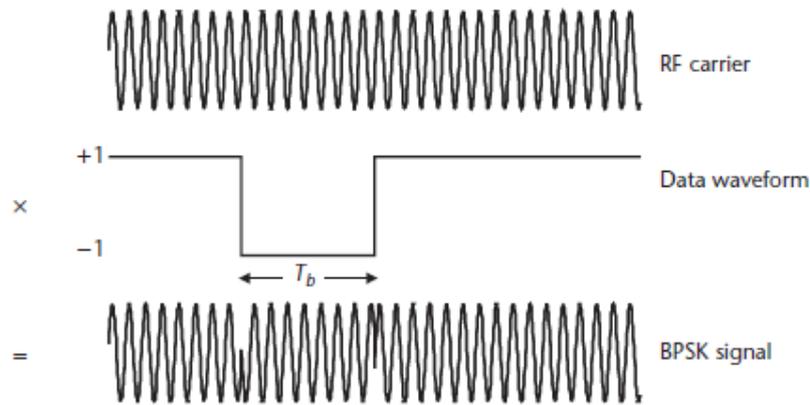


Figure 22 : Modulation BPSQ [19].

Chaque satellite GPS transmet trois signaux différents utilisant trois bandes de fréquences (nous intéressons à la bande de fréquence L1), chacun de ces signaux est construit à partir d'un signal dit « de base », aussi appelé « porteuse ». Il s'agit d'une onde pure de fréquence égale à environ 1 500 MHz. Cela représente un nombre d'un milliard cinq cents millions d'oscillations électromagnétiques par seconde. La longueur d'onde de cette porteuse est d'environ 20 cm [3].

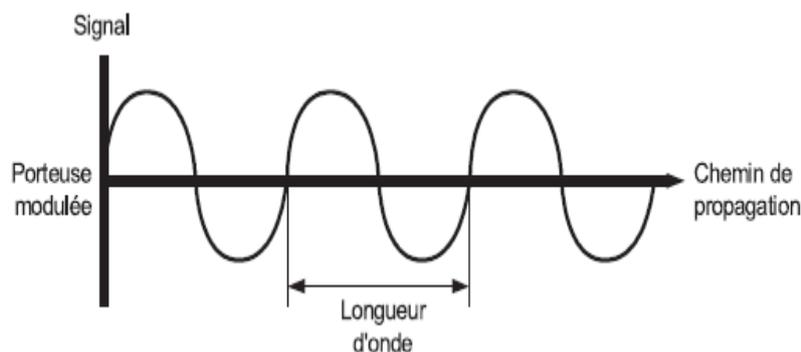


Figure 23 : Onde porteuse des signaux GPS et Galileo [3].

Pour transmettre une information à travers ce signal, il faut donc ajouter d'autres signes. Ces signes sont des modifications du signal de base, appelées « modulations ». Ces modulations peuvent être observées par le récepteur et être utilisées pour transporter de l'information entre le satellite et les récepteurs [3].

Les satellites GPS utilisent modulation de phase pour transmettre leurs informations. L'émetteur transmet son information sans changer la fréquence, mais en introduisant des sauts dans les oscillations de l'onde. Le récepteur peut détecter ces sauts et recomposer l'information de l'émetteur.

En résumé :

- Le satellite établit un lien avec chaque récepteur en transmettant une onde pure (la porteuse) à une fréquence bien précise, captée et reconnue par chaque récepteur.
- Le satellite mémorise des informations sous forme binaire (des 0 et des 1) et les transmet à tous les utilisateurs en modulant la porteuse par des sauts de phase.
- Chaque récepteur détecte ces sauts et peut ainsi reconstituer l'information sous forme également binaire.

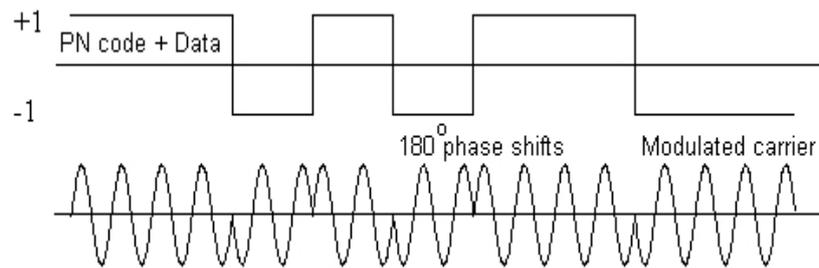


Figure 24: Modulation BPSK de la porteuse L1 par le code C/A et le message de navigation [22].

La modulation **BPSK** a été choisie pour ce type de liaison car elle est appréciée pour sa très bonne tenue dans les conditions de réception difficiles. Le principe de ce type de modulation consiste à faire pivoter la phase du signal porteur de 180° à chaque transition du signal modulant (binaire). On parle de sauts de phase.

Les porteuses sinusoïdales sont modulées par deux binaires différentes les codes C/A et P (codes pseudo-aléatoires).

Eux même modulés par le message de navigation BM (Broadcast Message) qui contient les informations nécessaires au calcul de la solution de position. Le signal transmis résulte de l'addition modulo-2 du message de navigation et des codes [22].

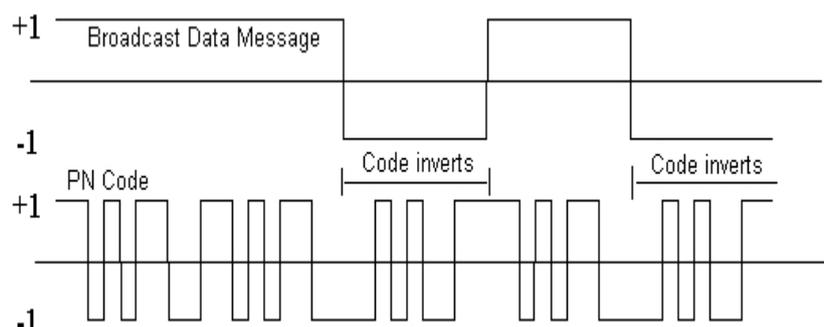


Figure 25 : Addition modulo 2 [22].

VI. ACQUISITION DU SIGNAL GPS

L'acquisition du signal, ou signal lock, se réalise lorsque le récepteur GPS effectue la corrélation entre la modulation de code du signal reçu et la modulation de code qu'il génère lui-même. Pour cela, le récepteur doit ajuster les deux paramètres suivants :

- Le décalage Doppler de la porteuse, selon lequel le signal reçu au niveau du récepteur apparaît avec une fréquence différente de celle du signal émis par le satellite.
- Le décalage temporel du code, dont la détermination est l'objet de l'opération de corrélation.

[3] [1].

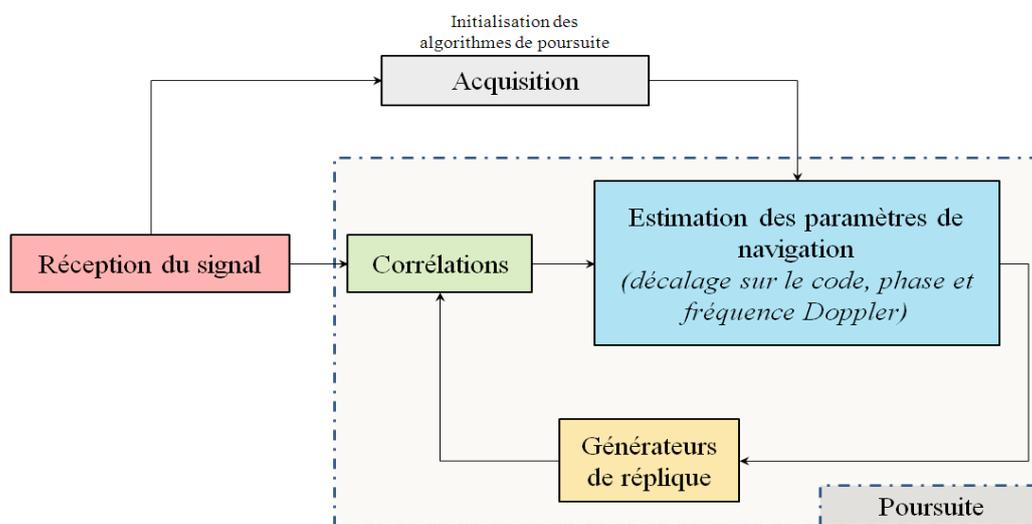


Figure 26 : Schéma bloc des opérations réalisées par le récepteur [3].

VI.1. EXEMPLES D'ACQUISITION :

Pour illustrer le fonctionnement de l'étape d'acquisition, nous allons considérer ici que le récepteur reçoit un signal de type C/A (associé au code de Gold numéro 1) avec un décalage temporel de $\tau = 10$ chips et une fréquence Doppler de $F_d = 20$ Hz (Figure 27,28)

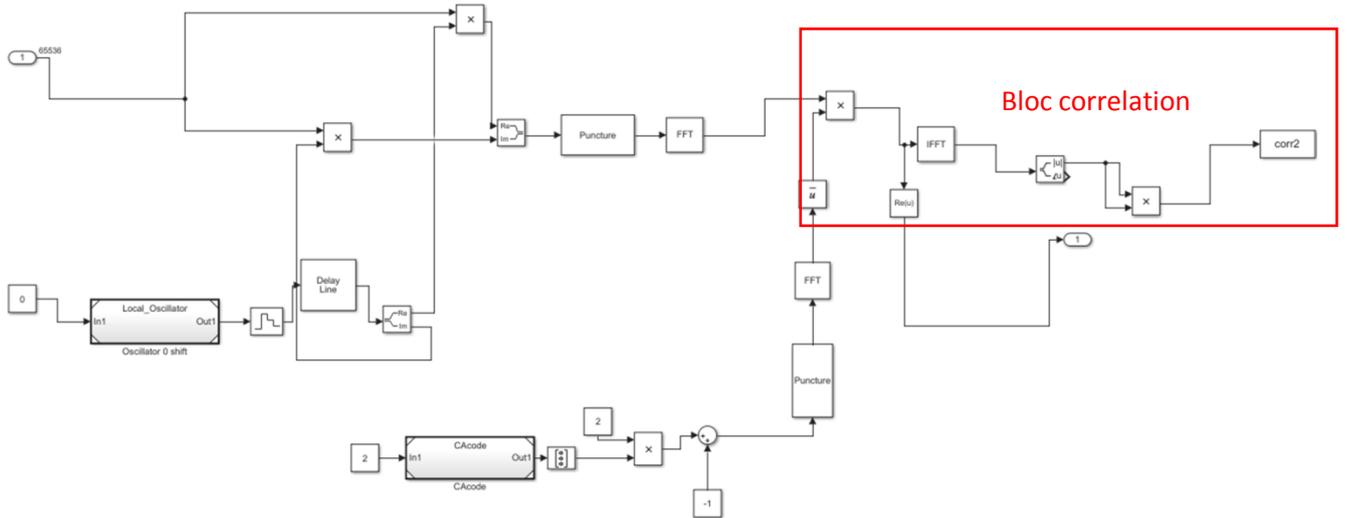
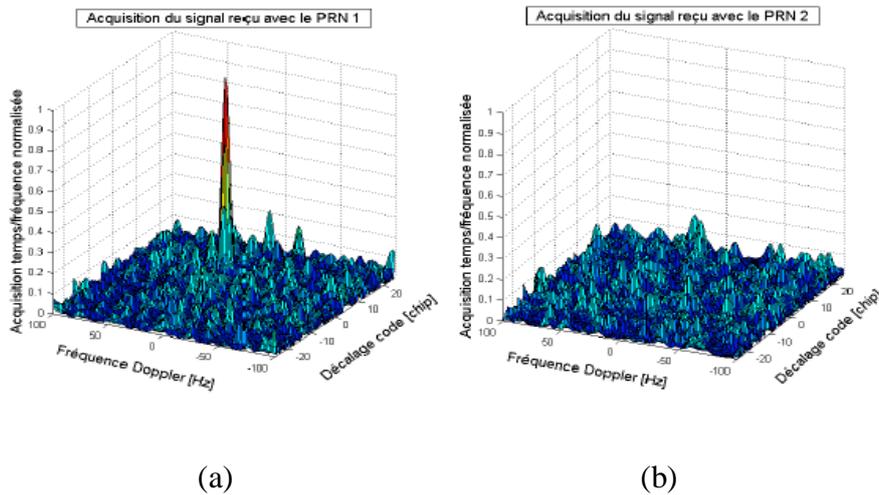


Figure 27: Schéma d'acquisition réalisé sous Simulink .

On supposera également que les conditions de réception du signal sont telles que $C/N_0 = 27 \text{ dBHz}$. Le temps d'acquisition sera de $T_{acq} = 100 \text{ ms}$ (le temps d'acquisition est ici choisi grand pour l'exemple, en pratique on choisit $T_{acq} \leq 20 \text{ ms}$ pour éviter tout problème de changement de signe du bit de navigation).



- (a) Acquisition du signal reçu avec le PRN 1
- (b) Acquisition du signal reçu avec le PRN 2

Figure 28 : Exemples de résultats d'acquisition.

On remarque que l'acquisition avec le code de Gold numéro 1 donne un pic de corrélation dont le maximum correspond bien aux valeurs de τ et de F_d du signal reçu (car la grille de recherche est

choisie de telle façon que le maximum corresponde bien aux paramètres et F_a). Concernant l'acquisition avec la réplique associée au code de Gold numéro 2 figure 28 on voit qu'il n'y a aucun maximum de corrélation significatif qui se dégage ; ce qui confirme l'absence du satellite associé au code de Gold numéro 2 [5].

VI.2. POURSUITE DES SIGNAUX :

Une fois l'acquisition est réalisée, le récepteur continue à "poursuivre" le signal.

La poursuite du signal consiste à estimer les variations de code et de phase de chaque signal satellitaire reçu au cours du temps. En effet, ces paramètres changent avec les perturbations de trajet du signal, et plus particulièrement l'effet Doppler. Pour chaque satellite, la poursuite génère en permanence au moins trois codes décalés dans le temps.

En analysant les propriétés de corrélation du code reçu par rapport à ces trois codes générés en interne, il est capable de s'ajuster et de suivre les variations de distance entre le satellite et le récepteur, et donc les variations d'avance ou de retard des modulations de code reçues dans le signal. Dans les récepteurs modernes utilisant plus de trois corrélateurs, on parle de multi-corrélation. Grâce aux nouvelles technologies disponibles aujourd'hui, le nombre de corrélateurs n'est plus vraiment limité [1].

Cela permet de développer des techniques de corrélation plus sophistiquées, plus robustes et performantes, permettant, par exemple, de mieux rejeter les signaux parasites et ainsi d'améliorer la précision de la mesure [1].

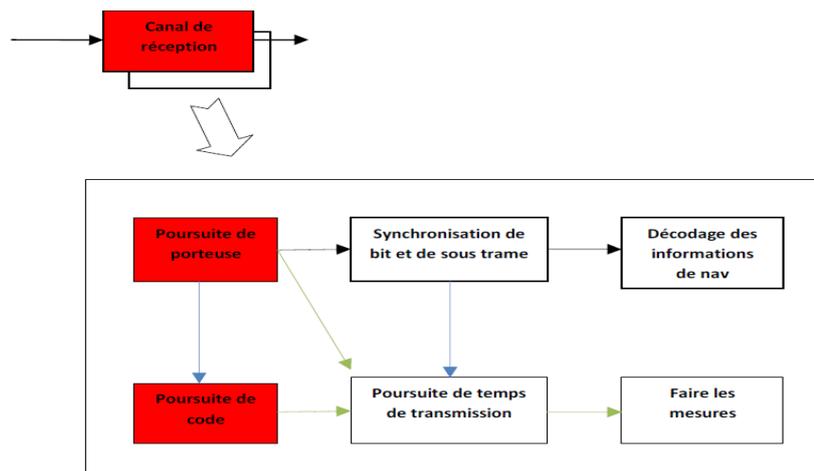


Figure 29 : Canal de réception [1].

VII. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques du signal GPS. Ce dernier étant le système de navigation le plus connu dans le monde.

Ce système GPS possède deux types de code d'étalement :

- ✓ le premier est pour l'utilisation générale (service publique).
- ✓ le deuxième est pour l'utilisation spéciale (service militaire).

Ce système utilise un code d'étalement est le C/A avec un cryptage qui donne plus de précision pour l'utilisateur. La génération des codes C/A est réalisée par des registres à décalage branchés d'une manière à donner des caractéristiques de corrélation désirées permettant la récupération du signal transmis par le satellite.

Le code P(Y) peut offrir un positionnement à l'utilisateur mieux que le positionnement basé sur l'étalement de spectre par code C/A. La longueur du code d'étalement et la largeur de spectre de puissance de P(Y) sont plus importantes que celles du code C/A. Toutes ces caractéristiques confèrent au signal transmis des performances lui permettant de résister aux effets externes tels que le multi trajet, les bruits...

Chapitre III

RECEPTEUR GPS.

I.INTRODUCTION

Au niveau du récepteur plusieurs signaux provenant des différents et plusieurs satellites de constellation seront présents. Ces signaux ne peuvent pas être exploités directement à cause des perturbations. Pour tous ces faits une acquisition du signal est obligatoire.

La modélisation d'une chaîne de communication GPS se répartie en deux parties :

1. Source du signal GPS avec perturbations.
2. Récepteur GPS avec récupération sur la phase et le code.

La première partie procède le signal GPS en simulant le signal satellitaire, en y incorporant les perturbations subites par ce dernier lors de son déplacement sur sa trajectoire dans l'espace entre le satellite et le récepteur.

L'ajout de l'effet Doppler subir par cette onde peut être une tâche ardue et pour bien comprendre son implantation dans le modèle, une analyse théorique de l'effet Doppler est essentielle.

L'effet Doppler se produit lors du déplacement relatif entre une source et un récepteur. Le signal reçu par le récepteur n'a pas toujours la même fréquence que le signal émis par la source.

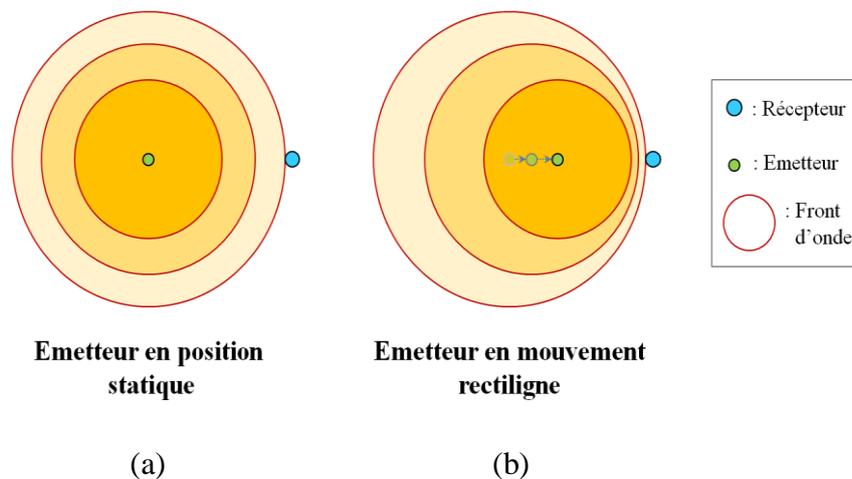


Figure 30 : Principe de l'effet Doppler [7].

La figure 31 nous montre l'effet Doppler vu par les deux extrémités (émetteur et récepteur).

- (a) Les 3 composantes sont immobiles. Les longueurs d'ondes observées sont les même pour les deux extrémités.
- (b) la source se déplace vers la droite.

Les fréquences vont se modifier selon les relations suivantes :

$$f_A = f_s - f_d = f_s - \frac{v_s f_s}{C} \quad III.1$$

$$f_B = f_s + f_d = f_s + \frac{v_s f_s}{C} \quad III.2$$

Où :

f_A , f_B et f_s sont les fréquences perçues respectivement par A, B et la source

C : La vitesse de la lumière

v_s : La vitesse de la source dans l'axe directionnel qui relie la source au récepteur.

Nous pouvons donc constater que la fréquence augmente si la source se rapproche de l'observateur tandis qu'elle diminue si la source s'éloigne.

La différence en fréquence perçue pour l'observateur a des conséquences, non seulement sur la récupération de la porteuse mais aussi sur le code C/A. La période du code change à cause de l'effet Doppler, dû à 2 mouvements des satellites (figure31):

- ✓ Celui du satellite autour de la Terre.
- ✓ Celui du récepteur dû à la rotation de la Terre et à sa propre dynamique dans le repère terrestre.
- ✓

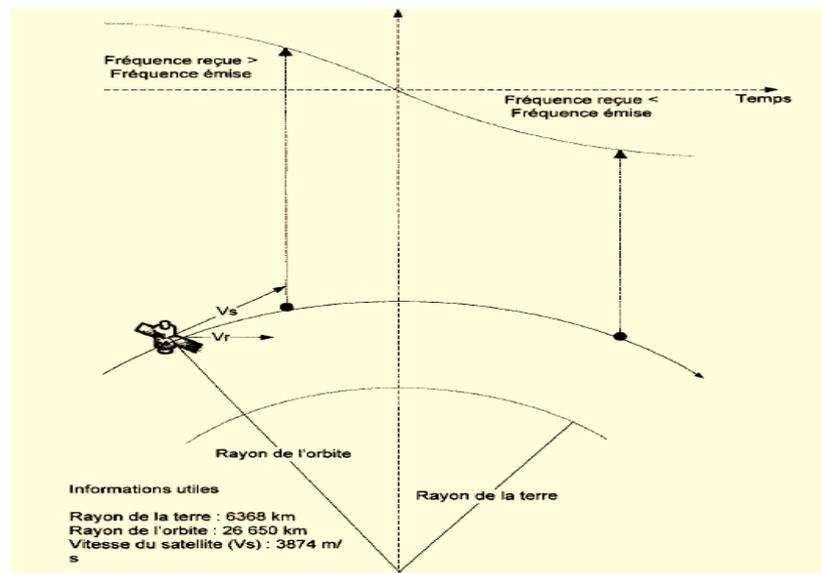


Figure 31 : Effet Doppler sur satellite.

La Figure 31 nous montre l'impact d'un mouvement satellitaire sur la fréquence émise. La vitesse du mobile est un élément essentiel de l'effet Doppler et pour la constellation GPS, les vitesses (V_s) des satellites sont considérées comme constantes et facilement calculables. Cependant, il en est tout autrement pour la vitesse radiale V_r . Cette dernière peut s'exprimer de la façon suivante :

$$V_r = \frac{V_s R_T \cos\theta}{\sqrt{R_T^2 + R_S^2 - 2R_T R_S \sin\theta}} \quad III.3$$

Où : θ est l'angle d'élévation du satellite par rapport au centre de la Terre. Cette vitesse n'est pas constante et varie justement en fonction de l'angle d'élévation. Il nous est donc possible de déterminer l'accélération radiale du satellite avec l'expression suivante :

$$a_R = \frac{\partial V_R}{\partial t} = \frac{V_s R_T [V_s R_T \sin^2\theta - (R_T^2 + R_S^2) \sin\theta + V_s R_T]}{\sqrt{(R_T^2 + R_S^2 - 2R_T R_S \sin\theta)^3}} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad III.4$$

Les limites de l'effet Doppler dépendent des limites des vitesses et l'accélération radiale du satellite. Par le théorème des valeurs maximales et minimales, nous pouvons calculer ces bornes en égalant la dérivée des deux équations précédentes égale à 0.

$$\frac{\partial V_R}{\partial\theta} = \frac{V_s R_T [V_s R_T \sin^2\theta - (R_T^2 + R_S^2) \sin\theta + V_s R_T]}{\sqrt{(R_T^2 + R_S^2 - 2R_T R_S \sin\theta)^3}} = 0 \quad III.5$$

Avec cette équation, la valeur maximale de la vitesse radiale trouvée est de **929 m/s**. La valeur de l'angle d'élévation correspondant à cette vitesse est de **13,9°**, toujours par rapport au centre de la Terre. Cette vitesse est atteinte lorsque le satellite est **13,9°** ou **166,1°** par rapport au récepteur, donc à l'horizon.

Et l'effet Doppler sera donc maximum lorsque le satellite sera à ces positions. En se référant à la Figure précédente, nous pouvons déjà déduire que l'effet Doppler augmentera la fréquence quand le satellite se rapprochera du récepteur et diminuera la fréquence lorsqu'il s'éloignera. Ainsi, le calcul de l'effet Doppler maximal se traduit par l'expression suivante :

$$f_{Doppler\ max} = \frac{f_S V_{R\ max}}{c} = \frac{1.57542 \cdot 10^9 \cdot 929}{3 \cdot 10^8} = 4.8785\ KHz \quad III.6$$

Cet effet Doppler se calcule sur le signal GPS dans son ensemble. Mais il faut considérer que cet effet se répercutera sur les données encodées à l'intérieur du signal. L'effet Doppler maximal sur le code et sur les données est de respectivement **3 Hz** et **0,15 mHz**, valeur négligeable par rapport au Doppler subi par la porteuse.

Pour générer l'effet Doppler dans notre modèle, il est important de rappeler que la fréquence de notre porteuse ne sera pas la même que le signal GPS réel. Les logiciels que nous utilisons (Matlab et Simulink) ne peuvent échantillonner à fréquence élevée sans utiliser une partie trop importante de la mémoire, ralentissant énormément le temps de simulation. Dans le cas du GPS, l'échantillonnage minimum nécessaire serait de **3,15084 GHz**.

Ainsi, nous devons simuler à une fréquence porteuse plus faible que la fréquence du signal GPS. Cependant, pour choisir une fréquence que nous appellerons fréquence intermédiaire (FI), nous devons respecter les normes de base en génération du signal GPS. La synchronisation des signaux à l'intérieur est une importante caractéristique pour la génération du signal. Or, un changement dans l'une de ces fréquences diminuerait le réalisme de notre modèle. Par contre, si l'on respecte dans un certain rapport les fréquences des signaux, il nous sera possible de garder le réalisme de notre modèle.

$$K = \frac{f_P}{f_C} = \frac{f_P + f_{doppler_porteuse}}{f_C + f_{doppler_code}} = \frac{1.57542\ GHz}{1.023\ MHz} = 1540 \quad III.6$$

Où : f_C est la fréquence du code et f_P est la fréquence de la porteuse.

La relation précédente nous indique que le rapport entre la porteuse GPS et le code C/A est de **1540**. En utilisant une FI, nous devons respecter le rapport que l'effet Doppler aura sur le code. Ainsi, si on choisit une fréquence porteuse autre que **1,57542 GHz**, l'effet Doppler sur le code se devra respecter ce rapport. Cette façon de mesurer l'effet Doppler est plus réaliste mais, pour la simulation, peu convaincante sur les performances de nos boucles. Pour respecter ce rapport, l'effet Doppler sur le code ne devrait pas dépasser **3 Hz** [9,10]. Mais une différence de **3 Hz** sur une fréquence de **1,023 MHz** ne représente que **0.00029 %** de changement, ce qui est négligeable par rapport à la valeur absolue de l'effet Doppler sur la porteuse.

Donc, pour tester nos boucles et leurs performances nous allons séparer ces perturbations en les ajoutant sur chaque générateur de fréquence individuellement.

Même si cela diminue le réalisme de notre modèle, il nous sera possible d'augmenter le stress dynamique appliqué sur nos boucles et d'étudier leur comportement.

Les perturbations de l'effet Doppler considérées dans notre modèle sont :

- Le saut de phase
- Le saut en fréquence

Le saut de phase : est une erreur due au retard du signal par rapport à son émission.

Cependant, nous devons traiter ce signal puisqu'il s'agit peut-être du seul signal dont le récepteur à accès [10]. Cette perturbation sera générée directement à l'aide d'un bloc incorporant un délai sur le signal.

La forme générale d'une onde sinusoïdale s'exprime de la forme suivante :

$$y(t) = A * \sin(2\pi(F_c + F_d)) * t + \theta_i \quad III.7$$

Où : A est l'amplitude de l'onde, F_c est la fréquence centrale, F_d est l'effet Doppler, et θ_i la phase initiale d'onde.

Le saut de phase s'obtient en changeant tout simplement θ_i ou en retardant le signal GPS.

Pour le saut de fréquence, nous devons incorporer un autre paramètre qui influence la fréquence centrale (F_c) de notre système. On peut le faire à travers la composante F_d de l'équation. Il faut se rappeler que, l'effet Doppler, n'est qu'une particularité du saut de fréquence. L'effet Doppler est un saut de fréquence qui dépend de la vitesse relative entre la source et le récepteur. La vitesse du mobile influence la fréquence que l'on reçoit, et la vitesse est la dérivée du déplacement par rapport au temps [8]. Nous pouvons donc assurer que l'effet Doppler dépend du temps, et peut s'exprimer ainsi :

$$F_d = \frac{F_c}{c} * \left(\frac{dy}{dt}\right) \quad III.8$$

Ainsi, si l'on veut avoir un saut de fréquence constant, il suffit de poser que la dérivée du déplacement en t soit égale à 0.

$$y(t) = A * \sin(2\pi(F_c + F_d) * t + F_b + \theta_i) \quad III.9$$

Où F_b est la composante à dérivé nulle de l'effet Doppler. Donc, pour affecter un saut de phase, nous incorporerons un paramètre dans notre définition de l'argument de la sinusoïde [10].

III.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE BOUCLE DE COSTAS

Les boucles de recouvrement, autant de code que de la porteuse, d'un récepteur GPS sont basées sur le principe des boucles de Costas. Dans cette section, nous analyserons seulement les

composantes utiles à nos boucles, c'est-à-dire les boucles d'ordre 3 appliquées à la PLL. Cette boucle à un filtre d'ordre 2 et, en théorie, devrait être la plus robuste.

Le principe d'une boucle PLL est simple : on multiplie le signal reçu par une référence variable générée à l'interne et on filtre le produit. On utilise le résultat (qui correspond à l'erreur de phase entre le signal d'entrée et la référence) pour ajuster la fréquence de la référence variable (le VCO).

La configuration de la boucle de Costas est illustrée à la Figure suivante :

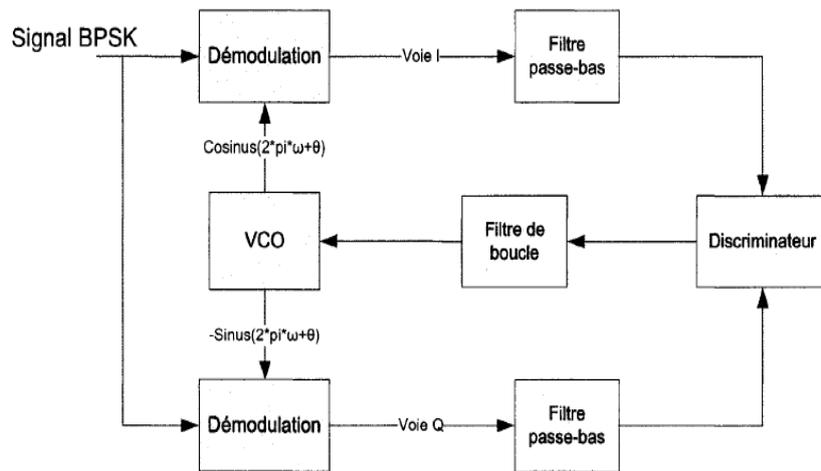


Figure 32 : Exemple de boucle de Costas

La boucle de Costas génère un signal en phase (I) et en quadrature (Q) pour démoduler le signal BPSK. Le signal en quadrature doit être en avance de **90°** sur le signal en phase.

Dans le cas de la modulation BPSK :

- Le signal en phase est un (Cosinus).
- Le signal en quadrature correspond donc à (- Sinus).

Le signal BPSK est défini par :

$$BPSK = \cos\left(\omega_c t + DATA(t) \frac{\pi}{2}\right) \quad III. 10$$

Où : DATA représente le message binaire (code et données) et correspond à ± 1 .

Un changement de phase de **180°** équivaut à multiplier la porteuse par «-1» L'expression du signal BPSK peut donc être simplifiée :

$$BPSK = DATA(t). \cos(\omega_c t) \quad III. 11$$

On analyse d'abord le produit du signal BPSK par **la composante en phase** :

$$I = BPSK * \cos(\omega_c t) = [DATA(t). \cos(\omega_c t) \cos(\omega_c t)] \quad III. 12$$

Par la suite, nous obtenons :

$$I = \frac{1}{2} [DATA(t). \cos(0) + DATA(t). \cos(2\omega_c t)] \quad III. 13$$

Une fois filtré par le filtre passe-bas, on obtient la composante continue :

$$I_{filtré} = \frac{1}{2} DATA(t) \quad III. 14$$

On analyse ensuite le produit du signal BPSK par **la composante en quadrature** :

$$Q = BPSK * \sin(\omega_c t) = DATA(t). \cos(\omega_c t) \sin(\omega_c t) \quad III. 15$$

Selon la propriété trigonométrique 2, on obtient :

$$Q = \frac{1}{2} [DATA(t). \sin(0) + DATA(t). \sin(2\omega_c t)] \quad III. 16$$

Une fois filtré par le filtre passe-bas, on obtient :

$$Q_{filtré} = 0 \quad III. 17$$

Cette analyse montre que pour une porteuse en phase, l'extraction des données se fait après le filtre passe-bas du signal I . De plus, l'analyse montre que lorsque la boucle PLL est accrochée, le signal $Q_{filtré}$ est nul.

Le signal BPSK est alors défini par :

$$BPSK = DATA(t). \cos(\omega_c t + \theta) \quad III. 18$$

Où : θ est l'erreur de phase.

Le produit du signal BPSK avec erreur de phase par **la composante en phase** correspond à :

$$I = \pm \frac{1}{2} [\cos((\omega_{VCO} - \omega_{BPSK})t + \theta) + \cos((\omega_{VCO} + \omega_{BPSK})t + \vartheta)] \quad III. 19$$

Où : $DATA(t)$ est remplacé par ± 1 .

Une fois filtré, on obtient :

$$I_{filtré} = \pm \frac{1}{2} \cos((\omega_{VCO} - \omega_{BPSK})t + \theta) \quad III. 20$$

Le produit du signal BPSK avec erreur de phase par la composante en quadrature correspond à :

$$Q = \pm \frac{1}{2} [\sin((\omega_{VCO} - \omega_{BPSK})t + \theta) + \sin((\omega_{VCO} + \omega_{BPSK})t + \vartheta)] \quad III.21$$

Une fois filtré, on obtient :

$$Q_{filtré} = \pm \frac{1}{2} \sin((\omega_{VCO} - \omega_{BPSK})t + \theta) \quad III.22$$

En utilisant un discriminateur qui fait la multiplication des signaux $I_{filtré}$ et $Q_{filtré}$ on obtient en sortie du discriminateur :

$$sortie - discr = \frac{-1}{8} \sin(2((\omega_{VCO} - \omega_{BPSK})t + \theta)) \quad III.23$$

On constate donc que la boucle de Costas nous permet d'ajuster simultanément l'erreur de fréquence $\omega_{VCO} - \omega_{BPSK}$ et l'erreur de phase θ . Le schéma équivalent de la boucle PLL linéarisée est présenté à la figure suivante :

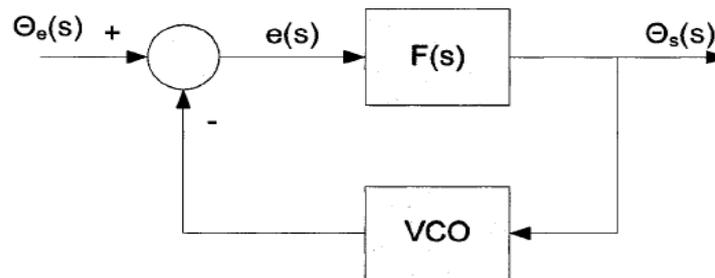


Figure 33 : Boucle PLL dans le domaine fréquentiel.

La fonction de transfert du filtre de boucle est $F(s)$. Le VCO peut être vu comme un intégrateur de phase. Sa fonction de transfert dans le domaine Laplace est donc $VCO(s) = \frac{1}{s}$. [10]

IV. ARCHITECTURE DES BOUCLES DU RECEPTEUR GPS NUMERIQUE

Basée sur les boucles de Costas, les architectures possibles d'un récepteur GPS sont limitées. Les concepteurs du système GPS l'ont conçu afin que le système soit performant en présence de bruit et l'architecture du récepteur démontre cette facette avec plusieurs étapes dans le processus. [10]

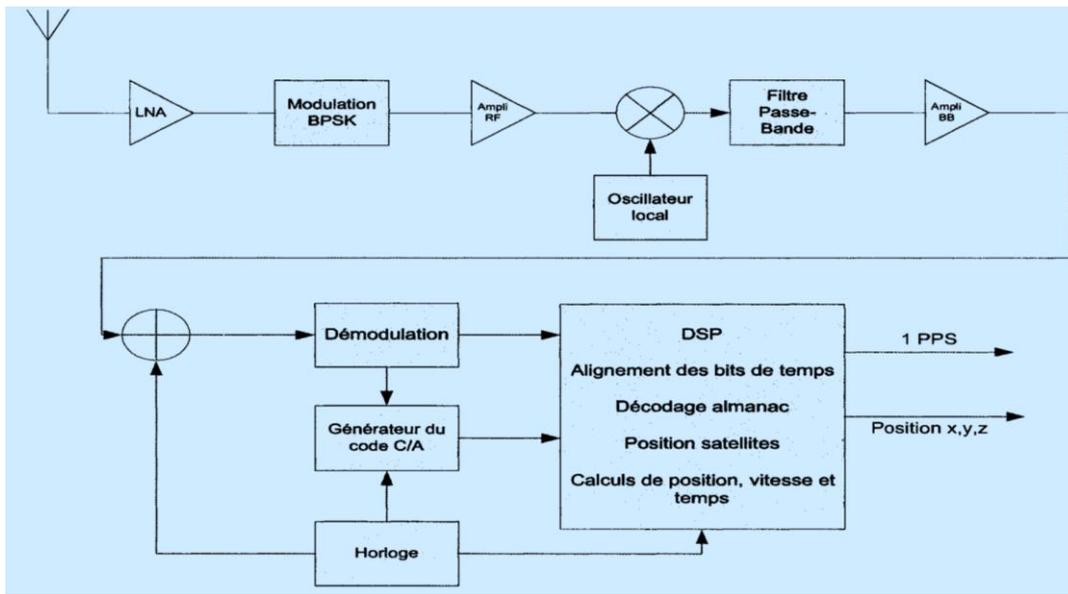


Figure 34 : Schéma bloc d'un récepteur GPS [10].

IV.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le récepteur GPS reçoit la fréquence **L1** à un niveau de signal de **-130 dBm** et la largeur de sa bande est de **2,046 MHz**. Un premier étage constitué d'un amplificateur faible bruit LNA (Low Noise Amplifier) amplifie le signal.

À la suite de cet amplificateur, un filtre passe-bande isole les fréquences utiles du signal (fréquences radio du satellite) et un amplificateur RF ajoute un gain supplémentaire. À la sortie du mélangeur, le signal est de nouveau filtré à l'aide d'un filtre bande de base.

Enfin, un amplificateur bande de base, qui permet de passer de la fréquence RF en bande de base, amplifie le signal contenu dans la bande de fréquence désirée.

Le DSP génère le code pseudo-aléatoire et le compare au signal reçu [10].

IV.2. MESURES REALISEES PAR UN RECEPTEUR GPS :

Les mesures réalisées par un récepteur GPS pour déterminer le temps de trajet du signal reçu, le récepteur peut utiliser soit :

- L'information temporelle véhiculée par le code pseudo-aléatoire.
- La phase de l'onde porteuse.

Aujourd'hui, de plus en plus de récepteurs civils sont capables de traiter simultanément les mesures de code (cryptée ou non) et celles de phases pour plusieurs fréquences et plusieurs satellites.

Un récepteur GPS est constitué d'une antenne, qui capte l'ensemble des signaux provenant des satellites visibles, et d'une unité de traitement, qui analyse les signaux reçus et effectue les mesures.

Dans le cas du système GLONASS où les fréquences émises sont mieux séparées, il y a moins de risque de confondre les Dopplers de deux satellites à la réception.

Pour un satellite donné les mesures sur le code et la phase sont réalisées de manière indépendante par deux boucles d'accrochage et de suivi :

- ✓ La boucle de code (DLL - Delay Lock Loop) pour la mesure sur le code pseudo-aléatoire.
- ✓ La boucle de phase (PLL - Phase Lock Loop) pour la mesure sur la phase de la porteuse.

Ces boucles permettent de faire coïncider le signal provenant d'un satellite (code ou phase) avec sa réplique générée en interne par le récepteur. Pour cela, le signal génère par le récepteur est retardé jusqu'à ce que l'on obtienne le maximum de corrélation entre les deux signaux. [9]

IV.2.1. Mesure sur le code pseudo-aléatoire (la boucle DLL) :

Le code pseudo-aléatoire est par définition une fonction binaire du temps parfaitement connue. Si ' t ' désigne une valeur indiquée par une horloge de référence, $code(t)$ est la valeur du code pseudo-aléatoire qui correspond à l'instant ' t '.

Le satellite, comme le récepteur, est équipé d'une horloge interne qui lui permet de disposer de sa propre échelle de temps.

Nous considérerons que lorsque l'horloge de référence indique la valeur ' t ', l'horloge du récepteur indique la valeur $t_u(t)$ et l'horloge du satellite indique la valeur $t^s(t)$. Les valeurs $t - t_u(t)$ et $t - t^s(t)$. Correspondent aux termes de désynchronisation entre l'horloge de référence et celles du récepteur et du satellite.

Soit maintenant t_e l'instant d'émission du signal par le satellite indiqué par l'horloge de référence. A cet instant, l'horloge du satellite affiche la valeur $t^s(t_e)$ et génère la valeur $code(t^s(t_e))$ du code pseudo-aléatoire.

Cette valeur $code(t^s(t_e))$ est reçue au niveau du récepteur à un instant ' t_r ' suivant l'horloge de référence. A cet instant t_r , l'horloge du récepteur indique la valeur $t_u(t_r)$ et génère en interne la valeur $code(t_u(t_r))$ de la séquence de code pseudo-aléatoire.

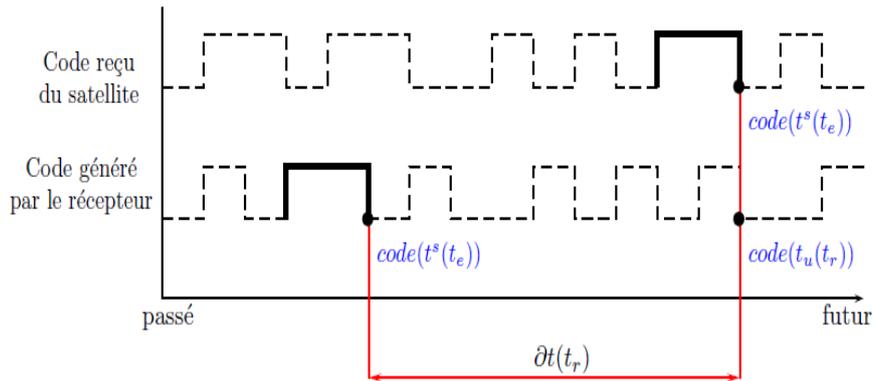


Figure 35 : Mesure sur le code pseudo-aléatoire.

Comme illustré sur la figure 36, le code pseudo-aléatoire est reçu par le récepteur avec un retard $\partial t(t_r)$ correspondant au temps de trajet du signal et à la désynchronisation entre les horloges.

La boucle de code (DLL) permet à ce niveau de faire coïncider le code reçu du satellite et sa réplique générée en interne en les faisant "glisser" l'un par rapport à l'autre jusqu'à obtenir un pic de corrélation maximal. La valeur du décalage correspond simplement à l'intervalle de temps $\partial t(t_r)$.

Ainsi, la boucle de code (DLL) permet d'obtenir la valeur $\partial t(t_r)$ du décalage temporel entre les codes reçu et généré associée au maximum de corrélation. Ce décalage temporel s'exprime simplement par :

$$\partial t(t_r) = t_u(t_r) - t^s(t_e) \quad III.24$$

En pratique, le récepteur ne fournit pas directement la quantité $\partial t(t_r)$ mais son équivalent en termes de distance appelé mesure de pseudo-distance :

$$\partial t(t_r) = c(t_u(t_r) - t^s(t_e)) + e(t_r) \quad III.25$$

Avec : $e(t_r)$ représente le bruit sur la mesure de pseudo-distance.

La mesure de pseudo-distance peut se faire en deux manières différentes par le récepteur :

- ✓ Au niveau de la réception. A un instant de réception t_r donné, le récepteur détermine à l'aide des mesures les instants d'émission $(t_e)^n$ du signal pour l'ensemble des 'n' satellites visibles. Il s'agit de la méthode la plus utilisée.
- ✓ Au niveau de l'émission. Pour une même transition du code pseudo-aléatoire et le même instant d'émission 't_e', le récepteur détermine les instants de réception $(t_r)^n$ sur l'ensemble des 'n' satellites visibles.

La précision avec laquelle le récepteur peut déterminer sa position en utilisant le code pseudo-aléatoire dépend essentiellement de la précision avec laquelle il peut effectuer la mesure de pseudo-distance et de la géométrie des satellites.

Les récepteurs GNSS actuels sont capables de réaliser cette mesure avec une précision d'environ un centième de cycle. Vu les longueurs d'ondes utilisées pour les codes pseudo-aléatoires dans les systèmes GNSS actuels, la précision maximale avec laquelle le récepteur peut mesurer une pseudo-distance est de quelques dizaines de centimètres (Code P sur GPS). [4]

IV.2.2. Mesure sur la phase de l'onde porteuse (la boucle PLL) :

IV.2.2.1. Comment suivre la phase porteuse ?

Il existe plusieurs méthodes pour suivre la phase porteuse du signal de navigation au cours du temps. Les techniques utilisées se basent généralement toutes sur des systèmes bouclés qui vont estimer la phase grâce à la comparaison du signal reçu avec une réplique du signal que le récepteur va créer. La différence entre ces méthodes réside dans les techniques d'estimation et les architectures des algorithmes de poursuite de phase [7].

IV.2.2.2. Mesure sur la phase de l'onde porteuse :

Cette méthode permettant de déterminer le temps de propagation du signal émis par les satellites GNSS consiste à utiliser directement la phase de l'onde porteuse.

Une onde porteuse étant simplement une fonction sinusoïdale du temps, elle s'exprime mathématiquement en fonction du paramètre temps 't' sous la forme suivante :

$$\text{onde}(t) = A(t) \sin(\phi(t)) \quad III.26$$

Avec : $A(t)$ est l'amplitude de l'onde, $\phi(t)$ est la phase de l'onde en fonction du temps.

La phase peut être développée en faisant apparaître la fréquence $f(t)$ de l'onde porteuse à chaque instant ainsi que la valeur de la phase à l'origine notée $\phi_0 = \phi(t_0)$:

$$\phi(t) = f(t) \cdot t + \phi_0 \quad III.27$$

Le fonctionnement de la boucle de phase est identique à celui de la boucle de code. Elle effectue la corrélation des signaux pour déterminer la différence de phase existante entre l'onde porteuse reçue du satellite et celle générée en interne par le récepteur.

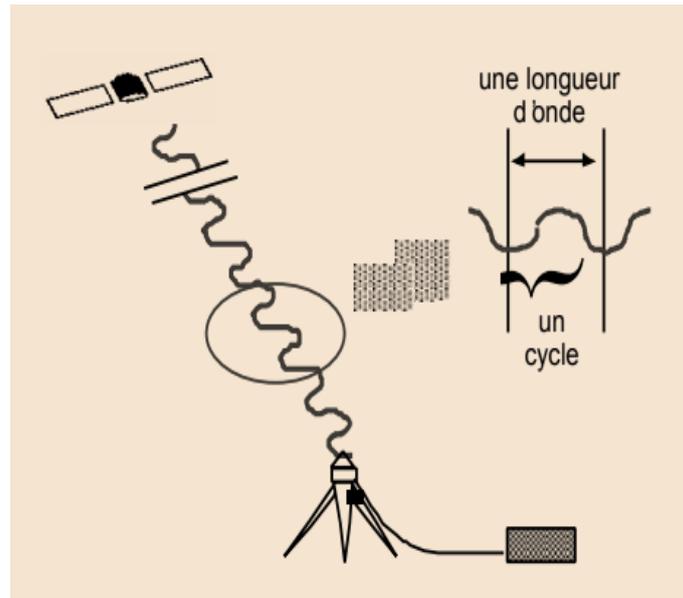


Figure 36: Onde porteuse.

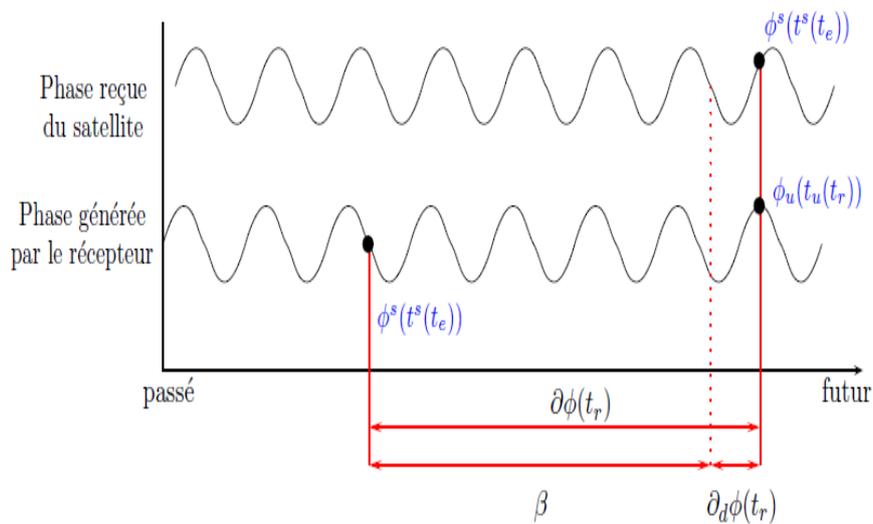


Figure 37 : Principe de la mesure de phase sur l'onde porteuse.

A l'instant t_e indiqué par l'horloge de référence, l'horloge du satellite indique la valeur $t^s(t_e)$ et génère la phase (en cycles).

$$\phi^s(t_e) = f^s(t_e)t^s(t_e) - \phi^s(t_0) \quad III.28$$

Avec : $f^s(t_e)$ est la fréquence instantanée du signal émis par le satellite.

$\phi^s(t_0)$: est la phase à l'origine.

Lors de la réception de cette valeur de la phase par le récepteur, l'horloge de référence indique la valeur t_r . L'horloge du récepteur indique la valeur $t_u(t_r)$ et génère la phase (en cycles)

$$\phi_u(t_r) = f_u(t_r)t_u(t_r) - \phi_u(t_0) \quad III.29$$

La boucle de phase (PLL) permet d'obtenir par corrélation la valeur $\partial\phi(t_r)$ de la différence de phase entre le signal reçu du satellite et le signal généré en interne.

Cette différence de phase s'exprime par :

$$\partial\phi(t_r) = \phi_u(t_r) - \phi^s(t_e) \quad III.30$$

$$\partial\phi(t_r) = f_u(t_r) \cdot t_u(t_r) - f^s(t_e) \cdot t^s(t_e) - \phi_u(t_0) + \phi^s(t_0) \quad III.31$$

En pratique, seule la partie décimale (entre 0 et 2π) de la différence de phase $\partial\phi(t_r)$ est accessible par corrélation car cette méthode ne permet pas de faire la distinction entre les différents cycles de la porteuse.

Notons t_1 l'instant où le récepteur réalise sa première mesure sur la phase du signal provenant du satellite.

A cet instant, le récepteur mesure la partie décimale $\partial_d\phi(t_1)$ de la différence de phase $\partial\phi(t_1)$. La partie entière de cette différence, notée β et appelée ambiguïté entière est par contre inconnue. Pour l'instant de première mesure, on a donc :

$$\partial\phi(t_1) = \partial_d\phi(t_1) + \beta + e(t_1) \quad III.32$$

Avec : $e(t_1)$ est le bruit sur la mesure de phase à l'instant t_1 .

Chaque boucle de phase dispose d'un "compteur de tours" qui comptabilise le nombre de cycles entiers de la phase écoulés depuis l'instant de première mesure t_1 . Tant qu'il n'y a pas d'interruption dans la réception du signal, le récepteur mesure à chaque instant $t_n > t_1$, en plus de la partie décimale $\partial_d\phi(t_n)$ de la différence de phase, le nombre de cycles entiers de la phase écoulés depuis la première mesure, noté $N_{\partial\phi}(t_n)$. A l'instant t_n , la différence de phase $\partial\phi(t_n)$ s'exprime alors sous la forme :

$$\partial\phi(t_n) = \partial_d\phi(t_n) + N_{\partial\phi}(t_n) + \beta + e(t_n) \quad III.33$$

La quantité fournie à l'instant t_r par le récepteur, communément appelée mesure de phase et notée $\Phi(t_r)$ est par définition la partie décimale de la différence de phase, obtenue par corrélation,

augmentée du nombre entier de cycles écoulés depuis la première mesure (donné par le compteur de cycles de la boucle PLL) :

$$\Phi(t_r) = \partial_d \phi(t_r) + N_{\partial\phi}(t_r) + e(t_r) \quad III.34$$

La mesure de phase est bien plus précise que la mesure de pseudo-distance, les récepteurs actuels étant capables de mesurer le terme $\partial_d \phi(t_r)$ avec une précision d'environ 3 millièmes de cycle, soit moins de 0.5 mm sur la porteuse L1 du GPS et moins d'un millimètre sur la porteuse L2 [9] [10].

IV.2.2.3. Avantages et inconvénients des mesures de code et de la phase :

	Pseudo-distance	Phase
Avantages	Non ambiguës Simples.	Possibilité d'une grande exactitude de positionnement.
Inconvénients	Faible exactitude de positionnement.	Complexité plus grande.

Tableau 4: Avantage et inconvénient des mesures de code et de la phase [24].

V. CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons présenté les composantes essentielles d'un récepteur GPS, partant d'un signal GPS L1, reçu nous avons mis en avant le phénomène de l'effet Doppler.

Par nous avons mis en avant les différents schémas des systèmes d'acquisition et nous avons donné l'exemple de la boucle de COSTAS ainsi les différentes mesures possibles à savoir la mesure sur le code pseudo-aléatoire en utilisant la boucle DLL et la différence de phase de porteuse en utilisant la boucle PLL. Ces deux boucles comme nous l'avons déjà évoqué permettent de faire coïncider le signal L1 provenant du satellite et le signal généré par le récepteur GPS. Le minimum de retard nous renseigne sur un maximum de deux signaux par un pic maximal de corrélation. Ce pendant le maximum de retard donne un dé corrélation complète. D'autre part, la différence de phase entre le signal généré par le satellite et le signal généré par le récepteur nous renseigne sur la précision et l'accrochage au satellite, Dans le chapitre suivant nous allons présenter une réalisation possible dans un environnement de programmation en temps réel et avec un matériel à faible cout. En effet nous avons opté pour une réalisation a base de radio logiciel avec une antenne GPS classique.

Chapitre IV

Simulation Et Résultats.

I. INTRODUCTION

Ce présent travail utilise des données réelles du signal GPS-L1 avec une fréquence de 1575.42 MHz. Les simulations du récepteur sont basées sur une plateforme Matlab. Dans ce chapitre nous présenterons les différentes caractéristiques du signal GPS-L1 (générateur du signal GPS-L1, générateur du Code Gold C/A et message de navigation), l'acquisition du signal GPS avec corrélation dans le domaine temporel et enfin une acquisition par FFT et tous sa en utilisant le Matlab Simulink pour tous les blocs de ce système.

II. UTILISATIONS DU SDR :

Une fois que l'appareil de SDR est en communication avec l'ordinateur personnel, on peut commencer. Le concept de plate-forme homogène et la possibilité de corriger les erreurs en temps réel sont les applications classiques de la SDR. Cependant, des études ont identifié d'autres applications importantes, telles que : Positionnement dynamique du spectre, accès multiple piloté par les opportunités (ODMA), réglementation du spectre et réduction des coûts (certaines implémentations SDR sont plus économiques que son homologue analogique).

Un peu au-delà de ses applications traditionnelles, la philosophie de la SDR commence à se manifester dans les secteurs à fort impact des télécommunications. C'est le cas de l'aide à la conduite, de la réception des signaux GPS, de l'analyse de propagation HF, de l'interprétation des émissions de la technologie cellulaire, en particulier la modulation OFDM, et de l'identification des émissions de radiofréquences.

SDR-Sharp :

Le premier logiciel s'appelle SDR-Sharp et affiche en temps réel toutes les lectures capables de générer le dispositif SDR, qu'il traduit à 3,2 MHz dans le cas du RTL2831. Il offre 4 fenêtres principales à l'utilisateur. La partie supérieure montre le spectre affiché en temps réel, dans lequel trois stations de radio FM sont visibles dans l'exemple choisi. La fenêtre suivante, qui se présente sous la forme d'un graphique en cascade, illustre le comportement temporel du signal en montrant comment les émissions les plus intenses dans des couleurs plus chaudes.

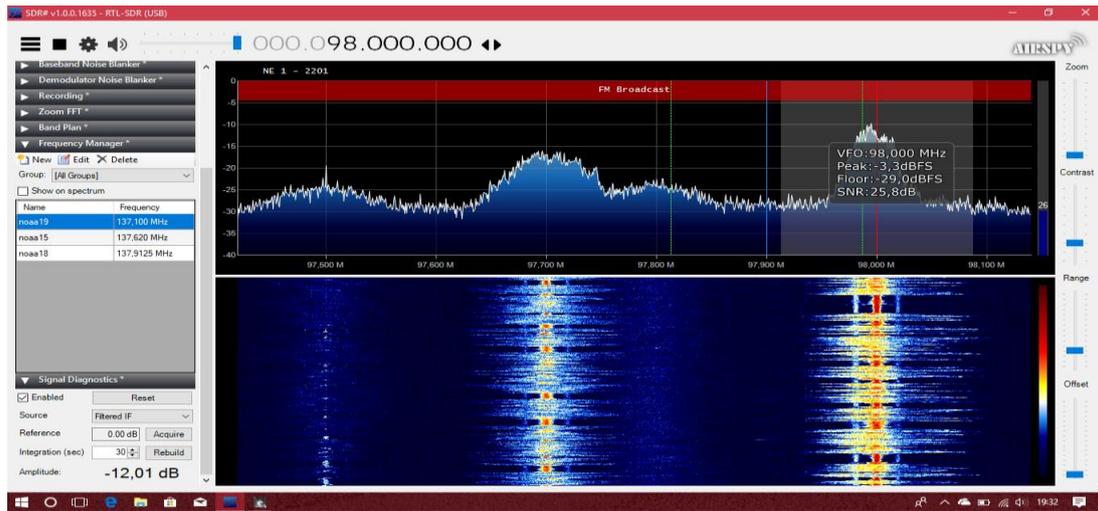


Figure 38 : Interface SDR-Sharp.

III. PARTIE 1 : Configuration du matériel :

III.1. EQUIPEMENT :

- Antenne GPS model GPS-001, fréquence=1575.42 MHz.
- USB RTL-SDR.
- GNSS-SDRLIB-GUI (logiciel).
- RTKLIB v.2.4.2 (logiciel).



Figure 39 : USB SDR, Antenne GPS.

III.2. BRANCHEMENT DU MATERIEL :

RTL-SDR à distance :



Figure 40 : Branchement du SDR avec la machine PC.

Il nous faut d'abord installer le SDRSHARP sur le PC et utiliser son périphérique RTL-SDR.

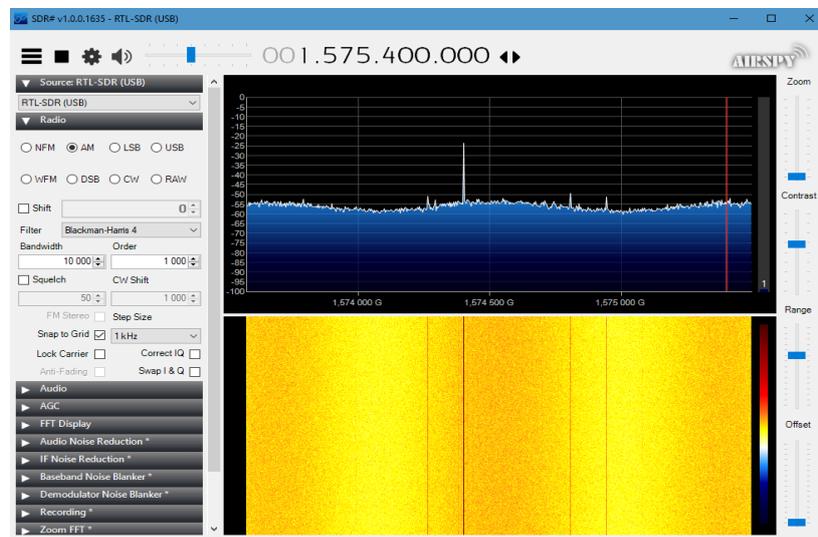
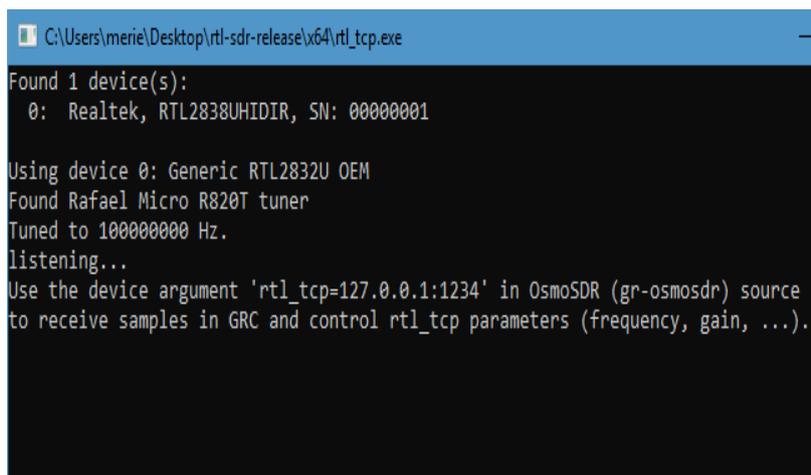


Figure 41: L'apparence du PIC.

Nous avons besoin du package RTL-SDR téléchargeable sur ce site : <http://sdr.osmocom.org/trac/attachment/wiki/rtl-sdr/RelWithDebInfo.zip>.

Nous allons le décompresser dans un nouveau dossier, dans ce dernier on trouve le dossier rtl-sdr-release contenant des autres fichiers et deux autres dossiers X32 et X64 (nous allons utiliser le X64 pour le système de notre machine).

L'outil qui nous intéresse est `rtl_sdr.exe`.



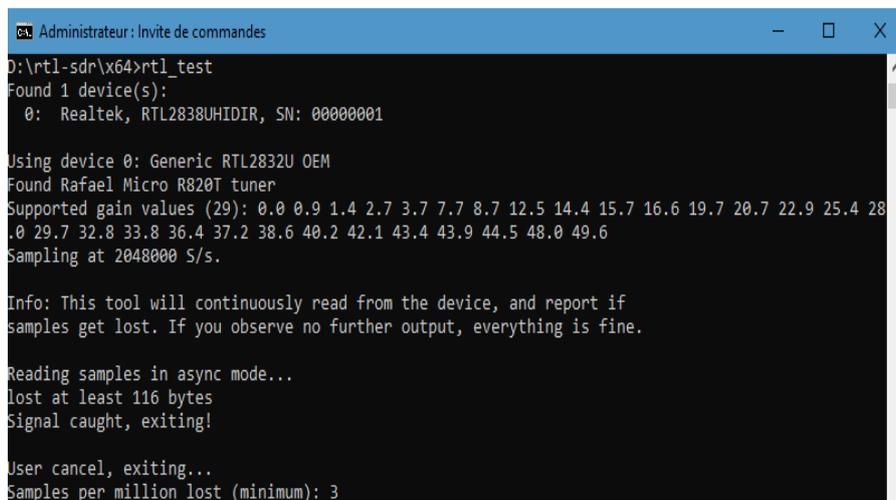
```
C:\Users\merie\Desktop\rtl-sdr-release\x64\rtl_tcp.exe
Found 1 device(s):
 0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Tuned to 100000000 Hz.
listening...
Use the device argument 'rtl_tcp=127.0.0.1:1234' in OsmoSDR (gr-osmosdr) source
to receive samples in GRC and control rtl_tcp parameters (frequency, gain, ...).
```

Figure 42 : Résultat afficher sur le RTL-TCP.

Nous remarquons qu'il a trouvé un périphérique, la fréquence est prise 100MHz, l'adresse IP est celle de la machine local "127.0.0.1" avec un numéro de port 1234.

Maintenant il faut lancer le "rtl_test" et tester que la clé SDR fonctionne correctement nous allons d'abord accéder au dossier "rtl_sdr_release" tout en utilisant la fenêtre de "rtl_tcp" comme étant administrateur.



```
Administrateur : Invite de commandes
D:\rtl-sdr\x64>rtl_test
Found 1 device(s):
 0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Supported gain values (29): 0.0 0.9 1.4 2.7 3.7 7.7 8.7 12.5 14.4 15.7 16.6 19.7 20.7 22.9 25.4 28
.0 29.7 32.8 33.8 36.4 37.2 38.6 40.2 42.1 43.4 43.9 44.5 48.0 49.6
Sampling at 2048000 S/s.

Info: This tool will continuously read from the device, and report if
samples get lost. If you observe no further output, everything is fine.

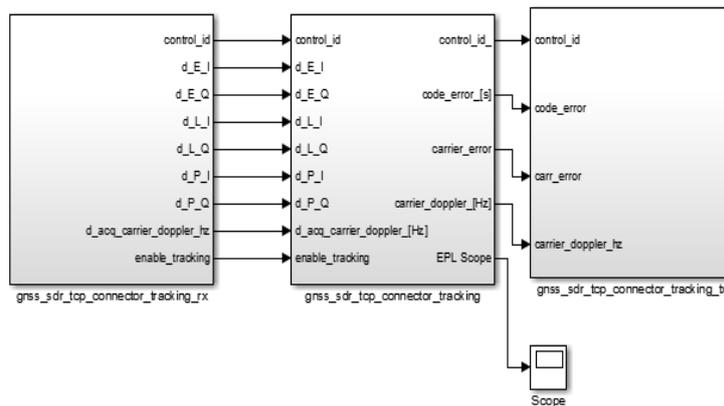
Reading samples in async mode...
lost at least 116 bytes
Signal caught, exiting!

User cancel, exiting...
Samples per million lost (minimum): 3
```

Figure 43 : Résultat afficher sur le cmd.

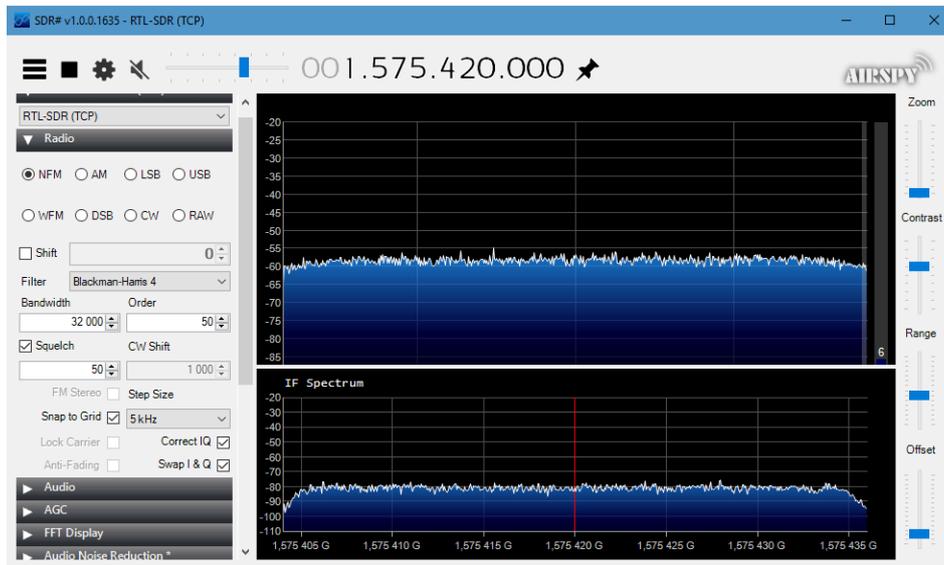
On remarquant les résultats de la figure précédente nous constatons que nos pilotes et notre USB RTL-SDR fonctionnent correctement. Maintenant nous sommes prêts à l'utiliser avec l'antenne GPS L1 et le SDRSHARP.

Nous allons utiliser le SDRSHARP et la clé RTL-SDR en parallèle avec le schéma block du GNSS (réaliser par le Matlab Simulink) que nous avons parlé au-dessous.

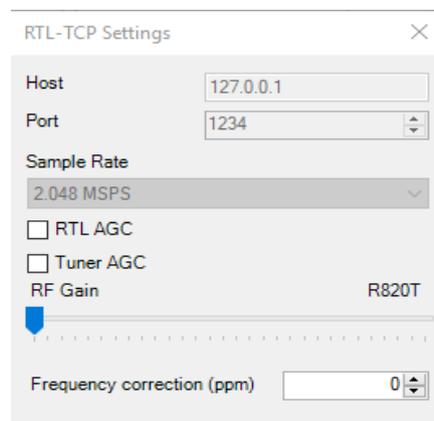


En même temps nous allons lancer le SDRSHARP qui nécessite le branchement de son USB RTL SDR.

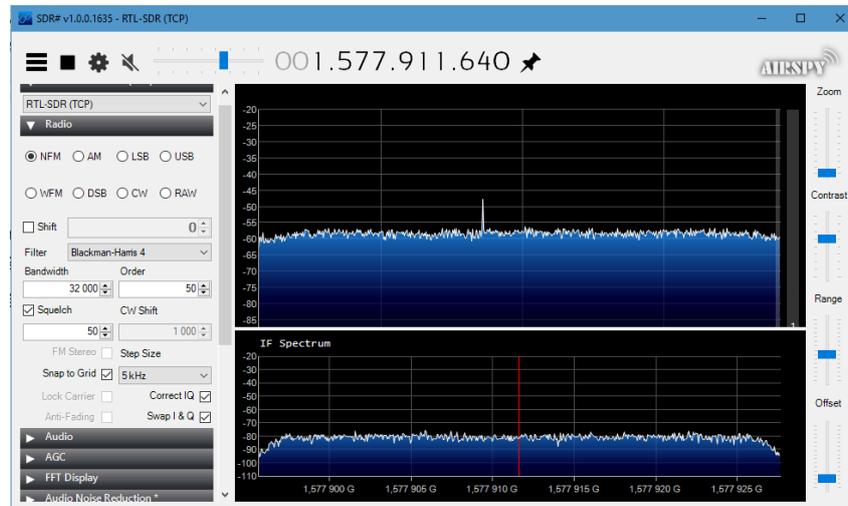
Si nous fixons la fréquence du signal GPS L1=1575.42 MHz le SDRSHARP nous montre cette figure :



Avec :



Si nous changerons la fréquence du signal GPS on L=1577.911 MHz



Nous pouvons voir le ‘peak’ au milieu. Attention tous sa en utilisant le RTL-SDR(TCP) au paramètres source non pas RTL-SDR(USB) et tous doit être par ordre c.-à-d. :

1. Brancher l’USB RTL-SDR.
2. Ouverture du schéma block (Matlab Simulink).
3. Compilation du schéma.
4. Ouverture du rtl_tcp en cadre d’administrateur.
5. Ouverture du SDRSHARP et modification du paramètre source en RTL-SDR(TCP).

Lorsque on appui sur le bouton START le rtl_tcp.exe va afficher cette figure avec une continuité des nombres qui s’affichent.

```

C:\Users\merie\Desktop\rtl-sdr-release\64\rtl_tcp.exe
Found 1 device(s):
 0: Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Tuned to 100000000 Hz.
Listening...
Use the device argument 'rtl_tcp=127.0.0.1:1234' in OsmoSDR (gr-osmosdr) source
to receive samples in GRC and control rtl_tcp parameters (frequency, gain, ...).
client accepted!
11+, now 1
11+, now 2
11+, now 3
11+, now 4
11+, now 5
11+, now 6
11+, now 7
11+, now 8
11+, now 9
11+, now 10
11+, now 11
11+, now 12
11+, now 13
11+, now 14
11+, now 15
11+, now 16
11+, now 17
11+, now 18
11+, now 19
11+, now 20
  
```

Nous avons modélisé un récepteur GPS/GNSS pour la technique de la conception a basse de model, pour cela nous avons organisé

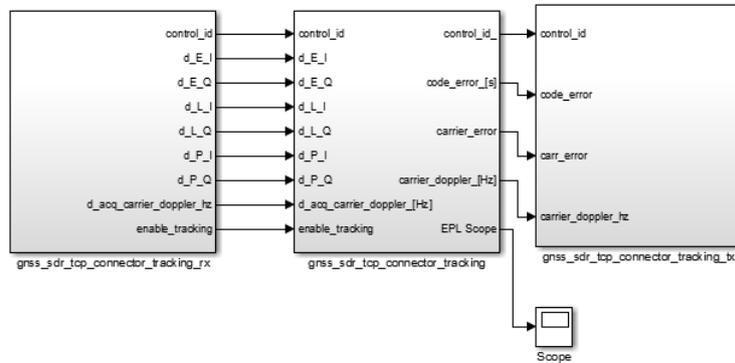


Figure 44 : Le schéma block principale du GNSS.

La partie tracking_RX :

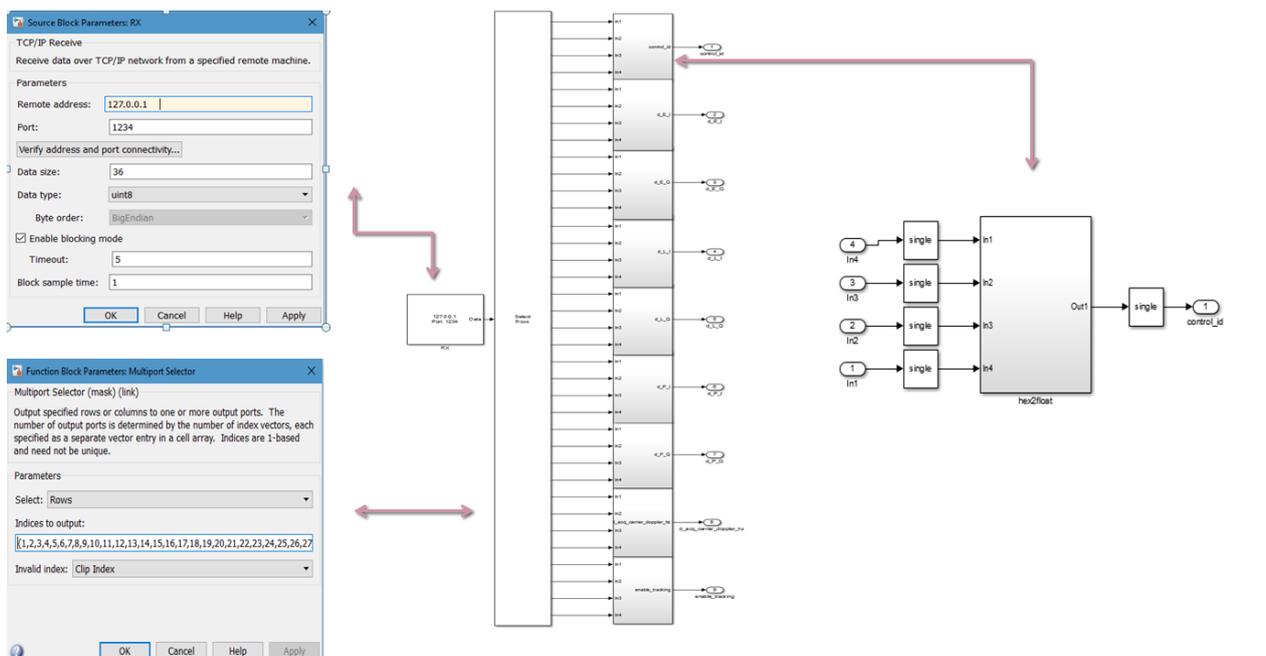


Figure 45 : GNSS_SDR_TCP_connector_tracking_rx.

Le block GNSS SDR tracking_RX est formé de 9 sous bloc qui se répète

Dans ce bloc, les signaux sont injectés pour déterminer le centroïde de l'objet à mouvement.

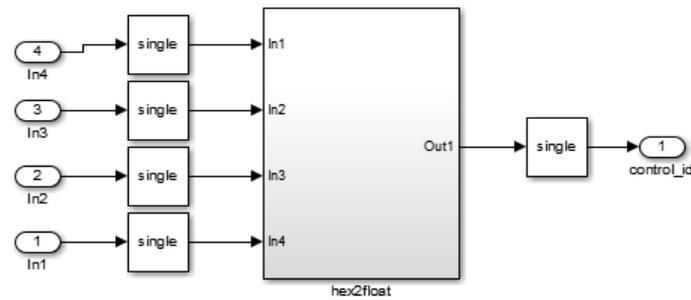


Figure 46 : Control-id.

Pour localiser un objet nous devons utiliser deux blocs PLL et DLL, ce dernier calcule la coïncidence entre le code C/A local généré par le GPS et le code C/A reçu par le récepteur.

Après le bloc PLL détermine le retard de phase entre la pseudo-porteuse généré par GPS et celle reçu par le satellite.

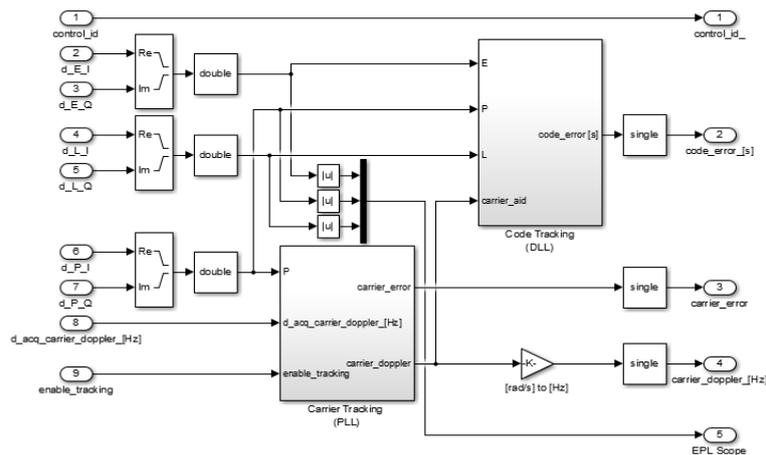


Figure 47 : GNSS_SDR_TCP_connector_tracking.

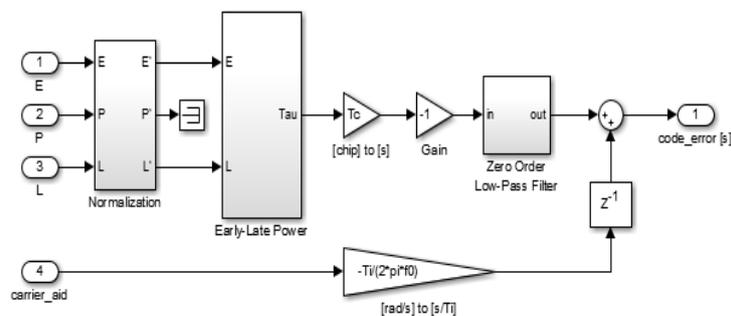


Figure 48 : Code tracking DLL.

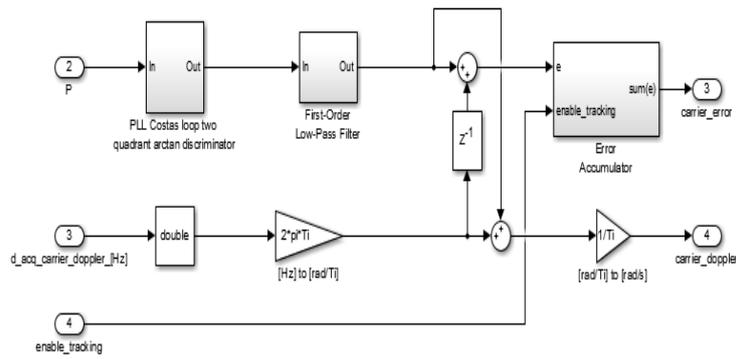


Figure 49: Bloc PLL.

On trouve là dans Power Estimation

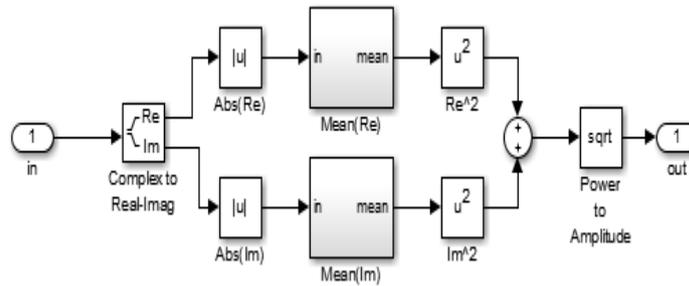


Figure 50 : Power Estimation.

Par la suite dans le troisième bloc on va ajouter un multiplexage de 4 signaux traité

La partie tracking_TX :

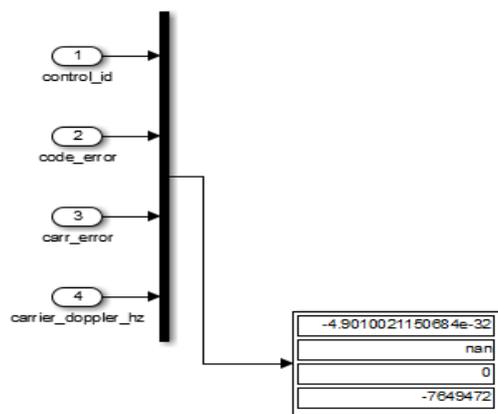


Figure 51:GNSS_SDR_TCP_connector_tracking_TX.

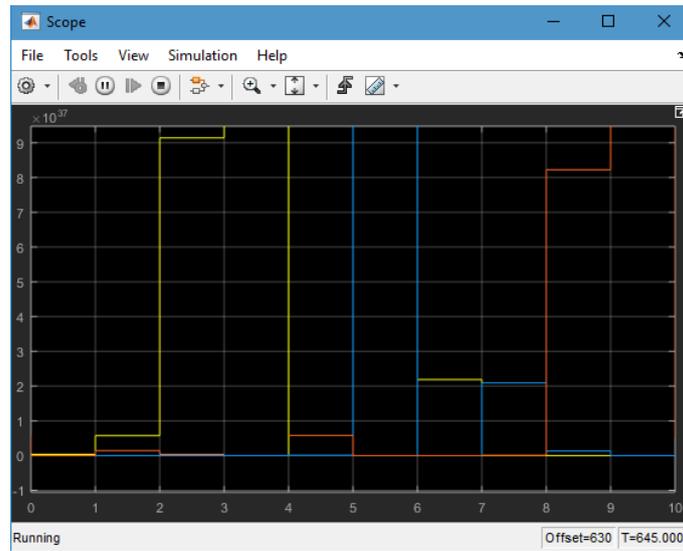


Figure 52 : Sortie du scope.

CONCLUSION GENERALE :

Les systèmes de navigation sont intégrés dans plusieurs applications dans notre vie. L'importance prise par les systèmes de localisation démontre clairement le caractère stratégique de cette nouvelle technologie.

Différents systèmes sont déjà à l'œuvre ou en cours de développement pour offrir des services disponibles en permanence dans le monde entier. Loin d'être concurrents, ces systèmes peuvent se combiner pour apporter de meilleures performances aux utilisateurs.

Le GPS, totalement opérationnel depuis 1994, après une vingtaine d'années d'études et développements, est en cours de modernisation et apportera à partir de 2010 de nouveaux services aux performances améliorées. GLONASS, très peu connu du grand public, est maintenu dans un état intermédiaire faute de financements suffisants, ce qui ne lui permet pas de développer des applications aux performances comparables à celles du GPS.

L'Europe fournit un effort important pour mettre en place l'infrastructure de GALILEO, dont les services permettront d'étendre largement les applications actuelles fondées sur le seul GPS. Pour mener à bien le développement de GALILEO, l'ensemble de l'industrie spatiale européenne a mis en commun ses moyens et ses compétences.

Ces systèmes permettent la mesure de la position, la vitesse et du temps en utilisant un traitement du signal très efficace basé sur des caractéristiques de codage, transmission et de réception avancées.

Les applications GNSS étant de plus en plus exigeantes en termes de précision, l'implémentation des algorithmes de positionnement précis au sein d'un récepteur grand public est devenue une des problématiques fondamentales de la navigation par satellites. En effet, les techniques de positionnement précis nécessitent une information de phase dont l'estimation souffre d'un manque de robustesse en environnement dégradé. Ce problème de robustesse est en grande partie dû au phénomène de sauts de cycle se produisant lors d'une poursuite de phase. En plus de créer des biais dans l'estimation de phase, les sauts de cycle peuvent induire un décrochage de la poursuite si le phénomène est trop important.

Bibliographie

- [1] A.Z KHEZZAR. **Acquisition Rapide des Signaux GNSS Par un Récepteur Logiciel.** *Magister en Electronique*, Université de Batna.
- [2] Mme. F. BOUZIANE **Une approche pour l'hybridation des techniques de localisation.** Magister en Informatique, *Batna*.
- [3] J.M. Piéplu. **GPS et Galileo. Systèmes de navigation par satellites**, 2009.
- [4] A. Bourkane. **Estimation du rapport signal à bruit d'un signal GPS par filtrage non linéaire.** Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 2015.
- [5] B.LUBAC. **LOCALISATION PAR SATELLITES : LE SYSTEME GPS.** Université Bordeaux.
- [6] ANKIS et AZIN. **Conception et réalisation d'une application de géolocalisation.** Université Abderrahmane Mira de Béjaia, Master en informatique, 2015/2016.
- [7] S. ROCHE. **Méthodes de poursuite de phase pour signaux GNSS multifréquence en environnement dégradé.** Université de Toulouse, 2013
- [8] formation GPS. **GUIDE PRATIQUE D'UTILISATION DU GPS SUR LE TERRAIN.**
- [9] S. DURAND. **Amélioration de la précision de la localisation différentielle temps réel par mesure de phase des systèmes GNSS.** DOCTORAT DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS Paris, 2003.
- [10] B. DIONNE. **ÉTUDE ET ANALYSE TEMPS RÉEL D'UN CANAL DE RÉCEPTION GPS.** MAÎTRISE EN GÉNIE ÉLECTRIQUE, MONTRÉAL, 2006.
- [11] G. STIENNE. **Traitement des signaux circulaires appliqués à l'altimétrie par la phase des signaux GNSS.** Docteur Université du Littoral Côte d'Opale, 2013. Français.
- [12] S. Haykin et M. Moher. **Communication Systems.**
- [13] T. Wang, J. Proakis et J. Zeidler. **Interference analysis of filtered multitone modulation over time-varying frequency-selective fading channels.**

- [14] Sudha.N Thipparthi, B.Tech. **Improving positional accuracy using carrier-smoothing techniques in inexpensive GPS receivers**. Master en Science ingénieur en électricité, New Mexico State University, 2004.
- [15] J.Angelo. **GNSS Solutions: Measuring GNSS Signal Strength**, 2010.
- [16] K.ROUABAH. **Etude et Amélioration des Performances des boucles de poursuite de code dans les Récepteurs de Navigation Galileo en Présence de Trajectoires Multiples**. UNIVERSITE FARHAT ABBAS – SETIF.
- [17] J.ÁNGEL, Á.RODRÍGUEZ. **On Generalized Signal Waveforms for Satellite Navigation**. UNIVERSITY FAF MUNICH, GERMANY, JUNE 2008.
- [18] K. BORRE, D. AKOS, N. BERTELSEN, P. RINDER et S. JENSEN. **A Software-defined GPS and Galileo Receiver. Single-frequency Approach**. Birkhäuser, Boston (2007).
- [19] SARAB TAY. **Analyse et modélisation de l'utilisation de signaux GNSS en environnement marin. Traitement du signal et de l'image**. TELECOM BRETAGNE, UNIVERSITE DE RENNES, 2012.
- [20] Juliette Marais. **LOCALISATION DE MOBILES TERRESTRES PAR SATELLITES**. DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DES SCIENCES TECHNOLOGIES DE L'ILLE, Juillet 2002.
- [21] Elliott.D.Kaplan , C.J.Hegarty. **UNDERSTANDING GPS (Principes and applications)**. Deuxième édition, BOSTON LONDON, 2006
- [22] Jean Luc Cosandier. **PRINCIPES GENERAUX DE LA LOCALISATION PAR SATELLITES**, Avril 2003.
- [23] <http://www.aerofutur.com/pdf/CE/Le%20GPS.pdf>.
- [24] http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/GPS_Guide_f/GPS_Guide_f.pdf.
(Consulté le 28/05/2018)
- [25] Library: Undergraduate Research Matlab Simulink version R2015b.

RESUME :

Ce travail de mémoire s'inscrit dans le contexte de la localisation. L'information de positionnement est intéressante pour fournir aux utilisateurs des services spécifiques au lieu dans lequel ils se trouvent : restaurant ou cinéma le plus proche ?

Les applications de localisation ont des besoins spécifiques en termes de couverture et de précision, auxquels une technologie de localisation unique ne peut généralement pas répondre. En combinant plusieurs technologies et techniques de localisation, on fournit une nouvelle solution robuste, plus précise pour la localisation.

Mot clé : Localisation, GPS, Signal L1, USB SDR.

ABSTRAT:

This memory work is part of the context of localization. Positioning information is interesting to provide users with specific services at the location in which they are the nearest restaurant or cinema?

Location-based applications have specific coverage and accuracy need that can not be met by a single location technology. By combining several technologies and localization techniques, we provide a new robust, more precise solution for localization. [1]

Keyword: Location, GPS, Signal L1, USB SDR.

ملخص

تعتبر معلومات تحديد المواقع مثيرة للاهتمام لتزويد المستخدمين بخدمات محددة في الموقع الذي يوجدون فيه: مطعم أو أقرب سينما؟
تحتوي التطبيقات القائمة على الموقع على تغطية محددة واحتياجات الدقة التي لا يمكن تلبيتها من خلال تقنية الموقع الواحد. من خلال الجمع بين عدة تقنيات وتقنيات التعريب، نقدم حلاً قوياً أكثر دقة للتوطين. [1]
الكلمة الرئيسية: الموقع، GPS، إشارة L1، USB SDR