

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 : Dris Ismail et Dali Youcef

### **Sujet**

Réalisation d'un système de géolocalisation Galileo

Soutenu publiquement, le 04 / 07 /2019 , devant le jury composé de :

**Mr R.BOUABDELLAH**

**Mr M.HADJILA**

**Mr F .DERRAZ**

**Mr M. BOUSAHLA**

**MCB**

**MCB**

**MCB**

**MCB**

**Univ. Tlemcen**

**Univ. Tlemcen**

**Univ. Tlemcen**

**Univ. Tlemcen**

**Président**

**Examinateur**

**Encadreur**

**Co-encadreur**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# 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 encadreurs : Mr F. DERRAZ et M. BOUSAHLA.

Vous nous avez fait un très grand honneur d'encadrer 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 : R. BOUABDELLAH

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

Veillez 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 : 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.

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

Aussi, nos remerciements vont à Mr M. BENNAT, Mlle M. BENYAGOUB et Mlle M. BENYOUB pour aider dans notre travail.

Et Mr I. HOCINI, Mr M. DERGAOUI pour les bons moments que nous avons passés au laboratoire de Télécommunication.



# Dédicaces

*Avant tout, J'aimerais remercier mon dieu Allah qui m'a donné la santé, la volonté et le courage pour me permettre de finaliser ce projet « ELHAMDOULILAH ».*

*À mes parents :*

*Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A mes chers frères Younes et Belaid :*

*Younes tu es la lumière et le bonheur de nos jours je t'aime fort mon trésor.*

*Belaid le chouchou de notre maison je t'aime mon petit frère.*

*À ma famille :*

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.*

*A tous mes amis et mes collègues, particulièrement Y.DALI, R.HABALI,  
M.R.BETTIOUI, F.LAKEHAL.*

*Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.*

*DRIS Ismail*





# *Dedication*

First, praise ALLAH for being my support, my landmark, my solution and my hope. For the strength you give us, for good health, for the patience to go to the end of my dream.

Second, I want to thank my supportive, lovely and amazing family:

DAD, you're my rock, my mentor, my source of everything.

MOM, you're my second rock, my hero, you're my everything.

SISTERS you're simply amazing, I couldn't ask for better sisters and I can't imagine my life without you.

BROTHER, my little angle I loved that you see me as a mentor to you, thank you for the fun and great moment.

Last but not least ,I want to thank all my friends for the love ,the support the laugh and for the great moment :” I.DRIS , S.BELKASMI ,F.SIFI , R.YAGOUBI ,A.ZOUIOUCHE ,S.MERZOUGUI , A.CHEMDI” .

You raised my spirits when I have felt depressed, supported and encouraged me when life has got me stressed, thank you for everything that you've done for me and all that you still do.

DALI Youcef



## Résume

Le travail présenté dans ce mémoire est les techniques de positionnement dans les systèmes de navigation par satellite Galileo et ses applications. L'objectif est d'effectuer le traitement en bande de base des signaux Galileo à l'aide de Matlab-simulink. Le projet porte donc sur le traitement numérique des signaux radiofréquences.

Mot clé : Système Galileo, signal E1, signal E5, signal E6.

## Abstract

The work presented in this memory is the positioning techniques in Galileo satellite navigation systems and its applications. The goal is to perform baseband processing of Galileo signals using Matlab-simulink. The project therefore focuses on the digital processing of radio frequency signals.

Keyword: System Galileo, signal E1, signal E5, signal E6.

## الملخص

العمل المقدم في هذه المذكرة هو تقنيات تحديد المواقع في أنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية في غاليليو وتطبيقاته. الهدف من ذلك هو إجراء معالجة النطاق الأساسي لإشارات غاليليو باستخدام Matlab-simulink. لذلك يركز المشروع على المعالجة الرقمية لإشارات التردد اللاسلكي.

كلمة مفتاحية : Galileo، إشارة E1، إشارة E5، إشارة E6.

# Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>III</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>V</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>VI</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABREVIATION .....</b>	<b>XII</b>
<b>Introduction général .....</b>	<b>1</b>
<b>Etat de l'art .....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Chapitre I : La géolocalisation .....</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition de la géolocalisation .....	4
I.3 Les avantages et les inconvénients de chaque technique .....	7
I.4 Les systèmes de géolocalisation par satellite.....	8
I.5 Le système mondial de navigation par satellite .....	8
I.6 Système GALILEO.....	11
I.7 L'évaluation de système Galileo .....	12
I.8 Le programme GALILEO .....	13
I.9 Pourquoi le système GALILEO .....	13
I.10 Les services de Galileo.....	14
I.11 Architecture GALILEO .....	14
Conclusion .....	18
<b>Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo.....</b>	<b>19</b>
II.1 Introduction.....	20
II.2 Fréquences Galileo .....	21
II.3 Signaux de navigation Galileo.....	22
II.4 Caractéristiques des signaux Galileo .....	23
II.5 Le signal Galileo E1 .....	30
II.6 Le signal Galileo E5 .....	32
II.7 Le signal Galileo E6.....	35
II.8 Budget de liaison Galileo .....	37
II.9 Le rapport SNR et C/N0 .....	40

II.10 L'effet de doppler .....	41
II.11 Réception d'un signal Galileo .....	43
II.12 Canaux de réception Galileo .....	47
II.13 Traitement RF dans le récepteur Galileo.....	47
II.14 Conversion analogique à numérique .....	50
II.15 L'expression du signal reçu .....	52
Conclusion .....	53
<b>Chapitre III: Simulation Et Résultats. ....</b>	<b>54</b>
III.1Introduction :.....	55
III.2 Partie 1 utiliser un USB SDR avec SRsharp: .....	55
III.3 Partie 2 utiliser Matlab Simulink .....	60
III.4 Partie 3 utiliser GNSS-SDRlib et RTLNAVI .....	66
<b>Conclusion général .....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>77</b>



# Liste des figures

## Chapitre I :

Figure I.1: La triangulation par le satellite [1].	5
Figure I.2: Technique de la localisation par GSM [1].	5
Figure I.3: Technique de la localisation par adressage IP [31].	6
Figure I.4: Technique de la localisation par Wi-Fi [32].	6
Figure I.5: Technique de la localisation par RFID [33].	7
Figure I.6: Triangulation avec trois satellites [5].	9
Figure I.7: La géolocalisation avec quatre satellites [5].	9
Figure I.8: Les modèles de récepteur [34].	10
Figure I.9: Mesure des coordonnées [5].	10
Figure I.10: Les segments de géolocalisation [5].	11
Figure I.11: Répartition des fréquences GPS et Galileo [15].	12
Figure I.12: Les orbites Galileo [9].	15
Figure I.13: GMS et GCS Galileo sites [9].	16
Figure I.14: Antenne parabolique TTCF bande S 11 m (gracieuseté de l'ESA) [9].	17
Figure I.15: Récepteur Galileo [35].	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Chapitre II :

Figure II.1: Structure de signal Galileo [15].	20
Figure II.2: segment spatial/segment utilisateur [18].	21
Figure II.3: Structure générale du message de navigation prévu dans Galileo [20].	23
Figure II.4: Structure d'un message I/NAV [22].	25
Figure II.5: Partie paire ou impaire d'une structure de page Galileo E1 OS [22].	25
Figure II.6: Page Structure Galileo E1 OS [22].	25
Figure II.7: Codes pseudo-aléatoires en Galileo [21].	26
Figure II.8: Fonctions d'autocorrélation et d'intercorrélacion [21].	27
Figure II.9: L'allure du signal BPSK [36].	29
Figure II.10: principe de génération de signal BOC.	29
Figure II.11: Schéma de modulation du signal E1 [26].	31
Figure II.12: Une période de la sous-porteuse CBOC pour la composante de signal E1-B (bleue), et la composante de signal E1-C (rouge) [18].	32
Figure II.13: une période des deux fonctions de sous-porteuse impliquées dans la modulation Alt-Boc [18].	34
Figure II.14: le diagramme de modulation du signal Galileo E5 [26].	35
Figure II.15: Schéma de modulation de figure pour le signal E6 [26].	36
Figure II.16: Bilan de liaison du système Galileo [19].	37
Figure II.17: Effet Doppler [23].	43
Figure II.18: Représentation fréquentielle des puissances du signal Galileo et du bruit [29].	43
Figure II.19: Circuit de mise-en-forme du récepteur E1 [23].	44
Figure II.20: comparaison des filtres passe-bande [29].	45
Figure II.21: Occupation spectrale de quelques signaux RF [29].	48
Figure II.22: Principe de la conversion descendante [29].	48
Figure II.23: Apparition de fréquences images au cours de la conversion descendante [29].	49
Figure II.24: Schéma bloc simplifié d'un canal de réception [20].	50
Figure II.25: Architecture d'une PLL générique [29].	51

Figure II.26: Architecture d'une DLL [29] ..... 51

### **Chapitre III :**

Figure III.1 : USB SDR, GPS.Antennes.....71

Figure III.2: Logiciel SDRshap.....71

Figure III.3: Zadig programme.....72

Figure III.4 Résultat d'exécuter rtl\_tcp.

Figure III.5 : Résultat d'exécuter rtl\_test.

Figure III.6: configuration de paramètre.

Figure III.7 : réception d'un signal radio (fréquence 102,7 MHz).

Figure III.8 : SDRsharq programme.

Figure III.9 : Le model simulink d'un récepteur Galileo pour signal E1.

Figure III.10: Continent d'un GNSS SDR Galileo E1 tcp connector tracking rx.

Figure III.11: Le schéma d'un sous-bloc.

Figure III.12: GNSS\_SDR\_Galileo\_e1\_tcp\_connector\_tracking.

Figure III.13: Bloc DLL.

Figure III.14: Discriminateur DLL.

Figure III.15: Filter DLL.

Figure III.16: Bloc PLL.

Figure III.17: Discriminator PLL.

Figure III.18: Filter PLL.

Figure III.19: GNSS\_SDR\_Galileo\_e1\_tcp\_connector\_tracking\_TX.

Figure III.20: Sortie du scope sur Matlab.

Figure III.21: GitHub programme.

Figure III.22: Bias tee driver for Windows.

Figure III.23: GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Figure III.24 : La localisation de CHETOUANE sur Google maps.

Figure III.24 : GNSS Radar.

Figure III.25 : Monitor.

Figure III.26 : RTKNAVI programme.

Figure III.27 : Input streams.

Figure III.28 : TCP Client Options.

Figure III.29 : GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Figure III.30: GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Figure III.31: GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Figure III.32: GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Figure III.33: Monitor.

Figure III.34: les deux satellites Galileo E12 et E20.

Figure III.35: Monitor.

# Liste des tableaux

## Chapitre I :

Tableau I.1: Avantages et des inconvénients des techniques (GPS, WIFI, RFID, RFID) [4]. .....	7
Tableau I. 2: Comparaison de quelque caractéristiques des systèmes GPS et GALILEO [14]. .....	12

## Chapitre II :

Tableau II. 1: Fréquence porteuse et Largeur de la bande transmise [18].....	21
Tableau II. 2: Types de messages de navigation Galileo [21].....	24
Tableau II.3: Caractéristiques des signaux Galileo E1 [21]. .....	32
Tableau II.4: Alt-Boc Coefficients sous-porteuse [18]. .....	34
Tableau II. 5: Caractéristiques des signaux Galileo E5 [21]. .....	35
Tableau II. 6: Caractéristiques des signaux Galileo E6 [21]. .....	37
Tableau II.7: Pertes supplémentaires dues au filtrage du récepteur [18].....	40
Tableau II.8: Les discriminateurs de DLL les plus courants [19]. .....	52

## Chapitre III :

Tableau III.1:version disponible de package RTK-NAVI.....	82
---	----

# ABREVIATION

ADC Analog to digital converter.

Alt-Boc :Alternative Binary Offset Carrier.

BOC : Binary Offset Carrier.

BPSK : Binary Phase Shift Keying.

CBOC : Composite Binary Offset Carrier.

CCG : Centres de contrôle au sol des missions.

CDMA : Code Division Multiple Access.

CS : Commercial Service.

CRC : Cyclic Redundancy Check.

C/A : Coarse Acquisition code.

C/I : Porteuse sur Interférence.

C/N<sub>0</sub> : Porteuse sur la densité spectrale de bruit.

DoD : Department of Defense.

DLL: Delay Lock Loop.

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum.

EGNOS : Système européen de navigation par complément géostationnaire.

ESA : EuropeanSpace Agency.

ESNIS : European Satellite Navigation Industrie Service.

E1 : La fréquence du GPS et Galileo E1 = 1575.42 MHz.

E5 : La fréquence du Galileo E6 = 1278.75 MHz.

E6: La fréquence du Galileo E6 = 1191.795 MHz.

FEC: Forward Error Correction.

GAIN : Galileo Industries.

GALILEO: European satellite navigation system.

GCS : Ground Control Segment.

GIOVE-A GALILEO In Orbit Validation Element.

GLONASS : GLOBALNAVIGATIONSPOUTNIKOVAYA SISTEMA.

GMS : Ground Mission Segment.

GPS: Global Positioning System.

GSM : Global system for mobile communication.

GSS : Stations de détection au sol.

IF: Intermediary Frequency.

IMEI : International Mobile Equipment Identifier.

IP : Internet Protocol.

IRNSS : Indian Regional Navigational Satellite System.

LNA : Low Noise Amplifier.

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.

OS : Open Service

PLL : Phase Lock Loop.

PRN :Pseudo Random Noise.

PRS :Public Regulated Service .

RF:Radio Frequency.

RFID :Identification par Radio Fréquence.

SAR : Search and Rescue Service .

SoL : Safety of Life Service .

SNR : Signal Noise Rapport.

SUG : segment des utilisateurs de Galileo .

ULS : Mission Up-link Local Station.

UW : Unique Word.

WIFI: Wireless Fidelity.

SDR: **Software-Defined Radio**

# Introduction général

Chacun de nous mène une certaine forme de navigation dans la vie quotidienne ; aller au travail, Voyage, Transport, ...etc.

Cependant dans certains cas où une connaissance plus précise de notre position, du chemin de destination, ou du temps de transit vers une destination souhaitée est nécessaire, les aides à la navigation autres que les repères sont utilisés.

Ces aides de navigation sont fournis par les systèmes GNSS (Global Navigation Satellite System) qui transmettent les messages de navigation d'éphéméride, almanachs, correction d'horloge et les paramètres de correction ionosphérique aux récepteurs qui après traitement d'acquisition et de poursuite arrivent au calcul de la position actuelle.

La navigation par satellites a commencé dans les années 70 avec le développement du système américain GPS (Global Positioning System) et a considérablement évolué jusqu'à nos jours avec l'apparition et le développement d'autres systèmes de positionnement, comme par exemple le système russe GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) ou le futur système européen Galileo. L'ensemble de ces systèmes de navigation permet à un utilisateur muni d'un récepteur de calculer sa position à tout endroit de la terre. En effet, si ce dernier est capable d'estimer la distance qui le sépare d'un nombre minimum de satellites, il lui est alors possible de déterminer sa position.

Le système de positionnement Galileo est un nouveau système de navigation par satellite en cours de développement par l'Union Européenne, il sera en même temps interopérable avec le GPS et le système Russe GLONASS. Avec ce programme, l'Europe assure son indépendance dans ce domaine stratégique et donne les moyens d'étendre les capacités et les potentialités actuellement offertes par le GPS.

Un utilisateur quelconque situé à n'importe quel point de la planète peut se localiser à l'aide des systèmes de positionnement par satellites tel que le système Galileo. En effet, c'est aux travers des récepteurs que les utilisateurs accèdent aux services de localisation et de toutes les autres applications. Quel que soit le type d'utilisation recherché que ce soit civiles, militaires,...etc., un récepteur spécifique, visible par l'utilisateur.



Le but de premier chapitre est de présenter les techniques de géolocalisation et le fonctionnement général de système de navigation par satellites. Ainsi que une présentation du projet Galileo et par une description de l'architecture de Galileo (segment spatial, segment terrestre, segment utilisateur).

Le deuxième chapitre permet une discussion sur les fréquences porteuses Galileo, les schémas de modulation, les signaux de navigation qui sont utilisés pour réaliser ces services et enfin on a terminé avec une architecture d'un récepteur Galileo.

Dans le dernier chapitre on a présenté nos résultats et simulation de notre travaille.

# **Chapitre I: Lagéolocalisation**

## I.1 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. Et depuis quelques années, la localisation est devenue de plus en plus importante dans la vie quotidienne, le concept de positionnement ainsi que la direction de mouvement de toute automobile, tout bateau, tout avion est plus développé grâce à l'apparition de nouvelles technologies de géolocalisation.

La géolocalisation est le fait de localiser quelque chose ou quelqu'un dans un espace, selon un système de référence. Elle consiste à localiser un objet dans une surface de la planète (longitude, latitude, altitude) ou dans une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques.

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.

## I.2 Définition de la géolocalisation

La géolocalisation ou géo-référencement est un procédé permettant de positionner un objet (une personne, un véhicule ... etc.) sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques, cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localisé (grâce à un système de positionnement par satellites et un récepteur GPS par exemple). Les positions enregistrées peuvent être stockées au sein du terminal et être extraites postérieurement, ou être transmises en temps réel vers une plateforme logicielle de géolocalisation. La transmission en temps réel nécessite un terminal équipé d'un moyen de télécommunication de type GSM, GPRS, radio ou satellite lui permettant d'envoyer les positions à des intervalles réguliers. Ceci permet de visualiser la position du terminal au sein d'une carte à travers une plateforme de géolocalisation le plus souvent accessible depuis internet [1]. La géolocalisation existe dans des différentes technologies [1] [2] [3]:

- **La géolocalisation par satellite:** Le système de localisation par satellite fonctionne selon le principe de triangulation, la position de l'objet observé est calculée grâce aux signaux échangés entre le récepteur dont il est équipé et un ensemble d'au moins 3 satellites faisant partie d'une constellation. La mesure de temps de parcours de ces signaux permet d'identifier la longitude, la latitude, et l'altitude de l'objet observé, avec une précision pouvant atteindre les 5 mètres.

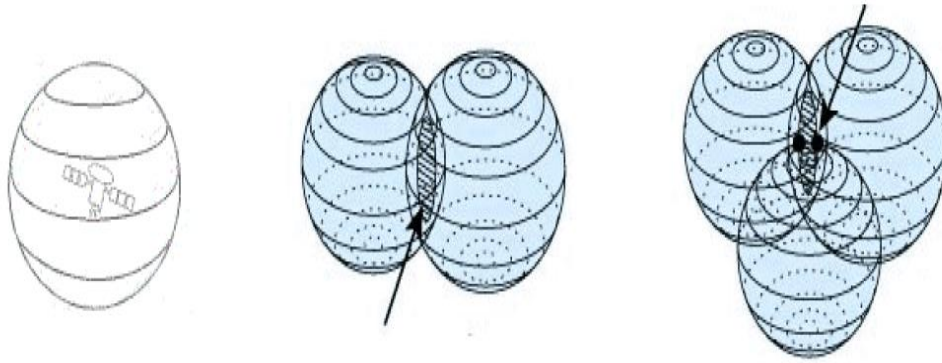


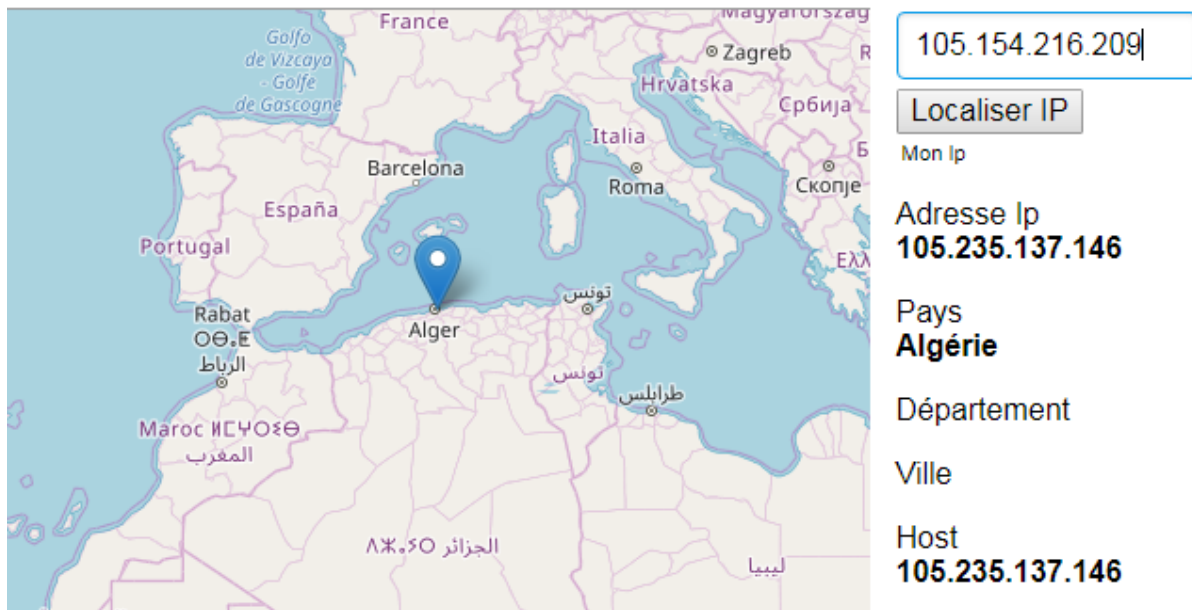
Figure I.1:La triangulation par le satellite [1].

- **La géolocalisation par téléphone portable:** La géolocalisation par GSM est basée sur l'IMEI (International Mobile Equipment Identifie) obtenu à partir de la carte SIM. Il existe plusieurs méthodes. Cell-Id, la plus simple à mettre en œuvre et EODT, un peu plus précise. Aujourd'hui la seule méthode couramment utilisée est Cell-Id, bien qu'elle soit moins précise elle ne demande aucune infrastructure supplémentaire à celle d'un réseau GSM classique.



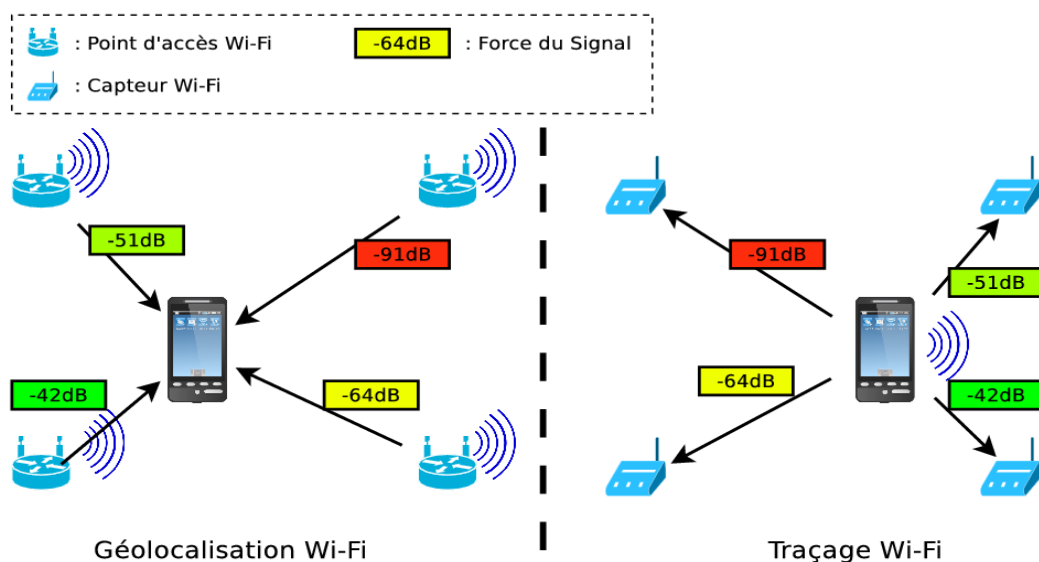
Figure I.2:Technique de la localisation par GSM [1].

- **La géolocalisation par adressage IP :** Chaque pays se voit attribué une certaine tranche des adresses IP, Il existe plusieurs sites pour géolocaliser, qui utilise la technique d'adressage IP. Voici un exemple qui a réalisé par le site **Localiser-IP.com**.



**Figure I.3:** Technique de la localisation par adressage IP [31].

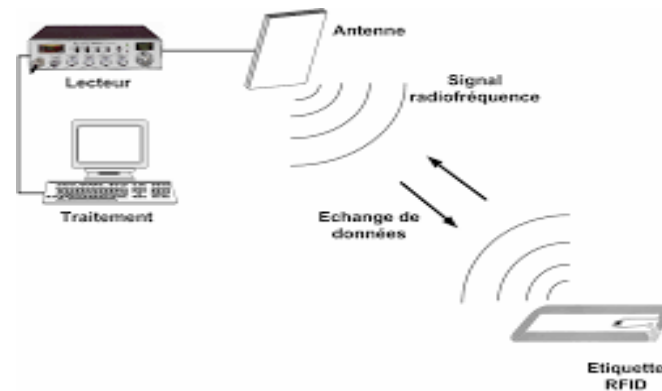
- **La géolocalisation par Wi-Fi :** De la même façon qu'un terminal GSM peut se localiser par la méthode du Cell-ID sur un réseau GSM, un terminal Wi-Fi peut utiliser la même méthode en se basant sur les identifiants des bornes Wi-Fi (adresses MAC) qu'il détecte. Il existe des bases de données qui contiennent une multitude de bornes d'accès Wi-Fi ainsi que leur position géographique.



**Figure I.4:** Technique de la localisation par Wi-Fi [32].

- **La géolocalisation par RFID :** La technologie RFID « Identification par Radio Fréquence » permet l'identification des objets, d'en suivre le cheminement et d'en connaître les caractéristiques à distance grâce à une étiquette émettant des ondes radio, attachée ou

incorporée à l'objet.



**Figure I.5:** Technique de la localisation par RFID [33].

### I.3 Les avantages et les inconvénients de chaque technique

Nous résumons les avantages et les inconvénients de chaque technique dans le tableau suivant:

	Avantages	Inconvénients
GPS	Bonne précision	Difficultés milieu urbain. Extérieur uniquement.
GSM	Tout le monde à un téléphone	Précision dépendant de la densité des relais GSM. Dépendant de l'opérateur.
WIFI	Terminaux compatibles Utilise réseau existant Bonne précision	Logiciel clients à déployer Calibrage.
RFID	Tage RFID passif peu cher	Position disponible aux points de contrôle. Déploiement matériel de capteur.
IP	Gratuit	Précision ville, nécessite base de données géographique des IPs (payantes)

**Tableau I.1:** Avantages et des inconvénients des techniques (GPS, WIFI, RFID, RFID) [4].

### I.4 Les systèmes de géolocalisation par satellite

La navigation par satellites a débuté dans les années 1970. Aujourd'hui des autres systèmes satellitaires sont développés ou en cours de développement pour offrir des services disponibles pour apporter des meilleures performances aux utilisateurs.[2].

- **System GPS (GlobalPositioning System) :** Le GPS est le premier système de géolocalisation mondial (des fins militaires à partir de 1973 et s'ouvre au civil en 2000) fonctionnant sur l'exploitation de signaux radio émis par une constellation de satellites dédiés. Les signaux transmis par les satellites peuvent être librement reçus et exploités [5].
- **Le système russe GLONASS (IAC)** Développé de 1976 à 1982, n'est plus pleinement opérationnel et ce dû aux conditions politiques et économiques du pays. Toutefois, la Russie a entrepris sa remise à niveau et GLONASS devrait être de nouveau fonctionnel en 2011 [5].
- **Le système IRNSS (IndianRegionalNavigational Satellite System):** De son côté, l'Inde met en œuvre son système IRNSS. Il offrira une précision au sol inférieure à 20 mètres et devrait être prêt en 2012 [6].
- **Le système Beidou** Développé par la Chine en est à une version expérimentale (Beidou-1). Elle est composée de quatre satellites ayant des fonctionnalités limitées. La version Compass (ou Beidou-2) devra compter 35 satellites opérationnels d'ici 2010 ou 2011 [6].
- **Le système Galileo GALILEO** est un système de positionnement par satellites développée par l'union européenne. 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 [7].

### I.5 Le système mondial de navigation par satellite

Les quatre étapes suivantes expliquent le fonctionnement d'un système de navigation:

- **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.

Soit  $d_1$  la distance au satellite  $S_1$ , ce paramètre permet de se localiser sur une sphère de rayon  $d_1$  et de centre  $S_1$ . Soit  $d_2$  la distance au satellite  $S_2$ , on se trouve également sur une

sphère de rayon  $d_2$  et de centre  $S_2$ , donc sur le cercle intersection de ces deux sphères. La distance  $d_3$  à  $S_3$  localise l'observateur à l'intersection des 3 sphères (donc des 3 cercles)[9] [10].

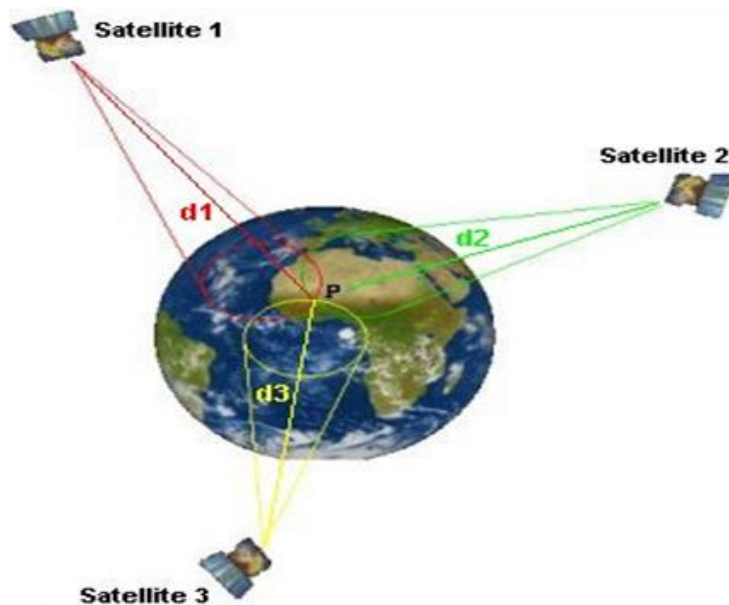


Figure I.6: Triangulation avec trois satellites [5].

En théorie, les signaux provenant de trois satellites distincts devrait suffire à déterminer la position du récepteur. Cette théorie supposerait que l'horloge du récepteur ait la même précision que les horloges embarquées des satellites, ce qui n'est pas le cas en pratique. Le décalage de temps constitue une quatrième inconnue, un quatrième satellite est donc nécessaire pour calculer la position précise du récepteur (une erreur de 1 microseconde  $0.000001s$ , c'est un 300 m d'erreur !!!) [5].

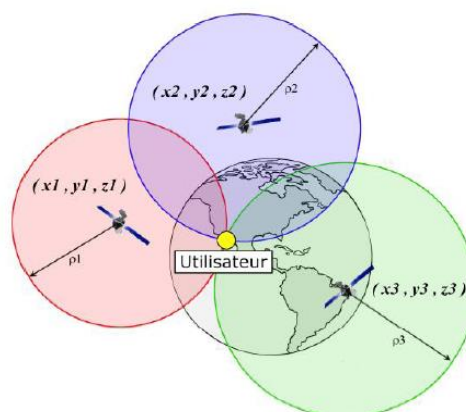


Figure I.7: La géolocalisation avec quatre satellites [5].

- **Le récepteur:**Reçoit ces ondes radios et utilise les informations contenues dans les signaux reçus.





Figure I.8: Les modèles de récepteur [34].

- **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. Il est à signaler qu'à tout moment, chaque point de la terre est couvert par quatre satellites ou plus et plus le récepteur reçoit des signaux, plus sa précision de calcul est augment[5] [11].

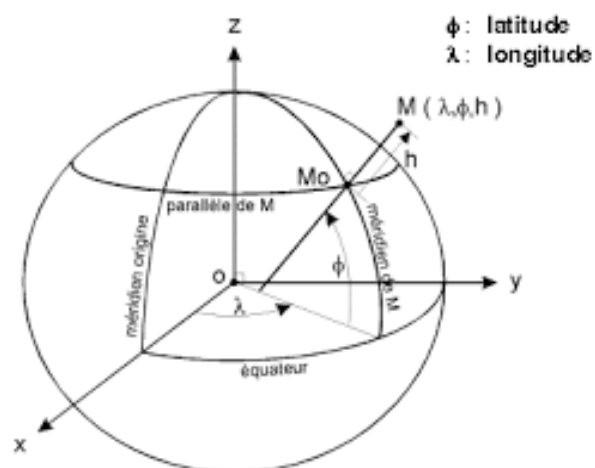
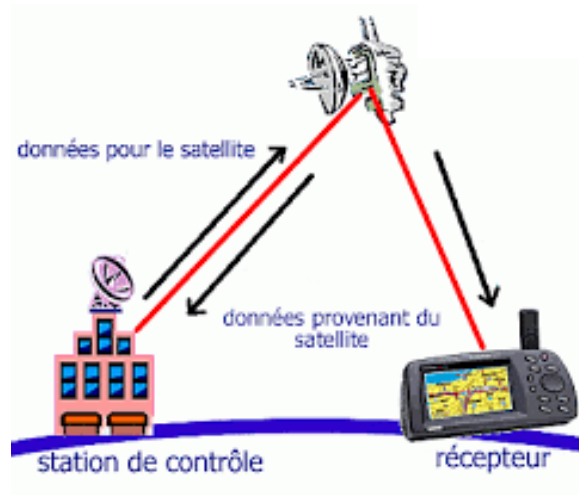


Figure I.9: Mesure des coordonnées [5].

- **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 [5] [10] [11].



**Figure I.10:** Les segments de géolocalisation [5].

## I.6 Système GALILEO

"Galileo est la plus grande constellation de satellites jamais construite par l'Agence spatiale européenne", a rappelé Jan Wörner, le directeur général de l'ESA.

Galileo est le futur système de positionnement européen par satellite, le nom Galileo a été choisi en hommage à Galilée, physicien, mathématicien et astronome italien né à Pise en 1564 et mort en 1642.

Ce système a été créé en juillet 2003, les acteurs du projet sont l'Union Européenne (représentée par les états membres et la commission européenne) et l'Agence spatiale européenne. De plus, un consortium commun ESNIS (European Satellite Navigation Industrie Service), anciennement GAIN (Galileo Industries).

Le système GALILEO commencera à être utilisable en 2010, il sera composé d'une constellation de 30 satellites répartis dans 3 plans d'orbite circulaire à une altitude de 23616 Km. Chaque plan d'orbite comptera donc 10 satellites (un satellite de secours pour chaque orbite), le système Galileo compte déjà 200 millions d'utilisateurs à travers le monde.

Pour le moment, 2 satellites de test ont été lancés : GIOVE-A (GALILEO In Orbit Validation Element) en 2006 et GIOVE-B en 2008 [10] [12] [13].

**I.7 L'évaluation de système Galileo**

Le but du système GALILEO est de proposer un service qui pallie les défauts de l'actuel système GPS, à savoir [14]:

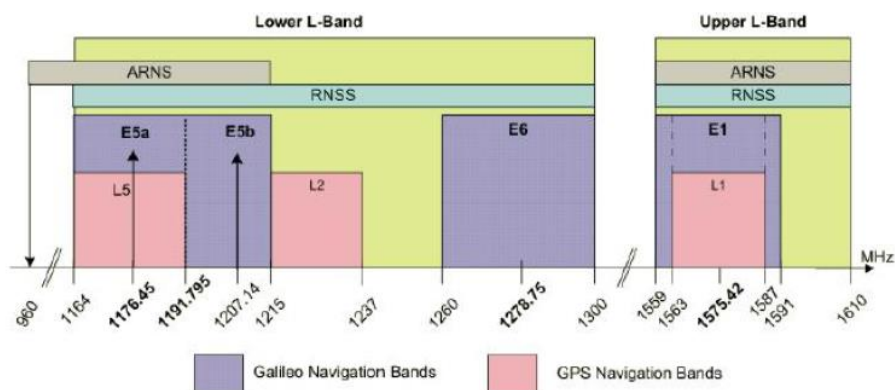
- Une précision trop approximative pour les signaux publics.
- Une mauvaise couverture aux hautes latitudes.
- Une mauvaise pénétration dans les zones denses (i.e. centre-ville).
- Risque de coupure du service par le DoD (Department of Defense) américain.
- Absence d'information d'intégrité du signal.

Le tableau suivant montre une comparaison de quelques caractéristiques des systèmes GPS et GALILEO :

	GPS	GALILEO
Control	Militaire	Civile
Nombre de services	2	5
Nombre de fréquences	2	3
Précision horizontal pour des utilisateurs civils	20 m	15 m
Nombre de satellites (opérationnel/réserve)	24/5	27/3
Altitude moyenne	20 - 200 km	23 - 222 km
Nombre de plant orbitaux	6	3
Inclinaison	55°	56°
Période	12 h	14 h

**Tableau I. 2:** Comparaison de quelques caractéristiques des systèmes GPS et GALILEO [14].

Les signaux GALILEO seront répartis sur 3 porteuses (E5: 1191.795 MHz, E6: 1278.75 MHz et E1 :1575.42 MHz), et chaque signal comportera une composante "data" et "pilot" [15].



**Figure I.11:** Répartition des fréquences GPS et Galileo [15].

### I.8 Le programme GALILEO

L'objectif de GALILEO est de créer un système mondial de navigation par satellite (GNSS) européen autonome qui soit extrêmement précis et interopérable avec les autres systèmes existants (GPS et GLONASS). L'objectif européen d'accéder à une totale autonomie dans la navigation par satellite sera atteint en deux temps, à commencer par le déploiement du Système européen de navigation par complément géostationnaire (EGNOS) en 2004. Ce système a pour objet d'offrir un service civil en complément du GPS et de GLONASS. EGNOS améliore la précision de ces deux constellations et prévoit un système d'alarme en cas de mauvais fonctionnement de GPS et GLONASS [15].

GALILEO, la deuxième étape, sera le premier système de navigation par satellite conçu pour des besoins civils, conçu et exploité sous contrôle public. Sa conception et son architecture sont donc déterminées en fonction d'une multitude d'utilisateurs et de services. Les questions de sécurité ont reçu une attention particulière, la priorité étant de protéger l'infrastructure et d'empêcher une utilisation malveillante de ses signaux [9].

### I.9 Pourquoi le système GALILEO

Les raisons qui ont poussé l'Europe à construire le système GALILEO sont de trois ordres [11]:

- **Stratégiques :** Pour protéger les économies européennes d'une dépendance vis-à-vis des systèmes d'autres états qui pourraient à tout moment refuser l'accès aux utilisateurs civils, et pour améliorer la sûreté et la fiabilité.
- **Commerciales:** Pour accroître les parts de marchés de l'Europe dans le marché des équipements des technologies connexes et des services à valeur ajoutée. Le rôle du GNSS est appelé à se développer considérablement dans l'avenir, n'importe qui, situé n'importe où sur la planète pourra l'utiliser quotidiennement, et de nombreux services à valeur ajoutée seront proposés.
- **Macroéconomiques :** Pour permettre des gains d'efficacité pour l'industrie, procurer des avantages aux sociétés grâce à des transports moins chers, une circulation plus fluide et moins polluante, et stimuler l'emploi.

### I.10 Les services de Galileo

Contrairement au GPS actuel, qui n'offre qu'un seul signal à usage civil, GALILEO produira plusieurs signaux, et assurera ainsi quatre services de navigation différents et un service pour les opérations de recherche et de sauvetage [13] [11] [16] :

- **Open Service (OS):** Le service ouvert, C'est le service qui correspond à l'utilisation civile du GPS actuel. Le service ouvert fonctionne sur deux bandes de fréquences: 1164–1214 MHz et 1563–1591 MHz. Un récepteur qui utilise les 2 bandes de fréquences peut obtenir une précision horizontale inférieure à 4 m et une précision verticale inférieure à 8 m. Si le récepteur n'utilise qu'une des deux fréquences, il aura une précision horizontale inférieure à 5 m et une précision verticale inférieure à 35 m. Ce qui est comparable aux performances du GPS actuel.
- **Commercial Service (CS) :** D'une précision à l'échelle du centimètre, le service commercial est crypté et est destiné à des applications spécialisées. Ce service utilise les 2 bandes de fréquences du service ouvert, ainsi qu'une bande fréquence de supplémentaire de 1260-1 300 MHz. Ce qui permet une précision inférieure à 1 m.
- **Safety of Life Service (SoL):** Le service de sûreté de la vie informera automatiquement les utilisateurs, en quelques secondes, de toute panne de satellite ou de tout problème similaire affectant la performance. Ce service sera mis à disposition pour des applications critiques sur le plan de la sécurité, telles que l'exploitation des trains, le guidage des voitures, la navigation et l'aviation.
- **Public Regulated Service (PRS) :** Le service public réglementé, qui s'adressera aux utilisateurs remplissant une mission de service public (services d'urgence, transport de matières dangereuses, etc).
- **Search and Rescue Service (SAR) :** Le service de recherche et secours mondial de Galileo aidera au transfert des signaux de détresse vers un centre de coordination des sauvetages. Les utilisateurs recevront un signal les informant qu'une aide est en route.

### I.11 Architecture GALILEO

GALILEO sera composé d'un réseau de communications mondial dédié qui produira les signaux électromagnétiques nécessaires pour des services tout-satellite. Il se composera d'un secteur spatial, un secteur terrestre et un secteur utilisateur[9][12][17] :

- **Le secteur spatial Galileo**

Se compose d'une constellation de 27 satellites opérationnels placés sur trois orbites, et Chaque orbite comporte un satellite de secours (trois satellites en réserve).

Suite aux décisions de programme prises en 2012, l'impact sur la conception de la constellation a été réévalué et plusieurs analyses ont montré qu'une constellation réduite avec 24 satellites opérationnels peut répondre aux exigences des services Galileo en termes de précision et disponibilité, donc 21 utilisés pour la transmission du signal et 3 de secours déployés sur trois orbites plans. Ses trois plans orbitaux sont séparés de  $120^\circ$  de chaque plan contenant 8 satellites.

La trajectoire nominale suivie par les satellites Galileo opérationnels est une orbite circulaire d'un rayon d'environ 29 600 km (équivalent à 23 229 km d'altitude au-dessus de la surface de la Terre) et d'une période orbitale d'environ 14 h. Ce choix assure un cycle de répétition au sol du satellite tous les 17 orbites (ou 10 jours).

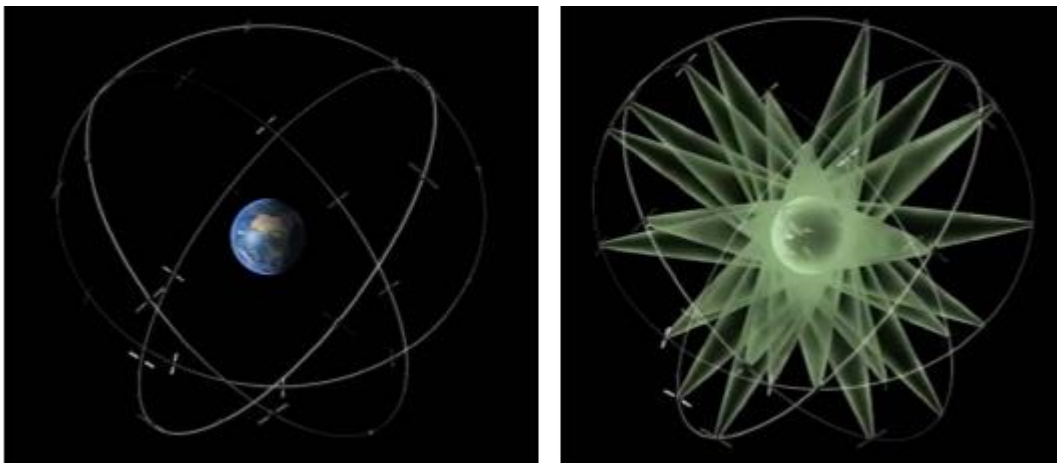


Figure I.12: Les orbites Galileo [9].

- **Le secteur terrestre Galileo**

- **Le secteur de la mission terrestre**

Les principaux rôles du segment de mission terrestre Galileo GMS (Ground Mission Segment) sont la génération des signaux de liaison montante.

Le GMS comprend un réseau mondial d'installations qui comprend les trois types suivants d'éléments au sol :

- Stations de détection au sol(GSS).

- Centres de contrôle au sol des missions (CCG).
- Mission Up-link Local Station (ULS).



**Figure I.13:** GMS et GCS Galileo sites [9].

### ➤ Le secteur de contrôle au sol

Le GCS (Ground Control Segment) est le responsable de la gestion de la constellation Galileo pendant le fonctionnement normal du système. Pour atteindre cet objectif, le GCS peut échanger des signaux de surveillance et de contrôle avec chaque vaisseau spatial Galileo lors de contacts réguliers.

Les éléments du GCS sont situés dans le monde entier et comprennent deux principaux types d'installations :

- Centres de contrôle de la Constellation Galileo (CCG).
- Stations de télémétrie, de suivi et de commandement (TT&C).



**Figure I.14:** Antenne parabolique TTCF bande S 11 m (gracieuseté de l'ESA) [9].

### ➤ **Le secteur utilisateurs Galileo**

Le segment des utilisateurs de Galileo (SUG) est le troisième et le plus important segment qui constitue le système Galileo. Contrairement aux deux autres segments, à savoir le segment spatial Galileo et le segment terrestre Galileo, le SUG est certainement celui qui est le plus proche de l'utilisateur final. En particulier, le SUG vise à fournir les moyens permettant aux utilisateurs finaux d'exploiter pleinement toutes les capacités des signaux transmis par les satellites Galileo. Il s'agit donc du segment englobant les applications et les services aux utilisateurs, ainsi que les technologies de réception des utilisateurs .

Les futures réceptrices GNSS seront capables :

- D'utiliser en même temps les signaux GPS et GALILEO.
- Sélectionner plusieurs satellites parmi ceux qui sont visibles et acquérir les signaux Galileo correspondants.
- Poursuivre les satellites sélectionnés.
- Extraire le message de navigation et calculer les solutions de position/temps.



### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques éléments concernant les principales techniques existantes utilisées dans les systèmes de localisation ainsi. Puis, nous avons présenté les différentes techniques de localisation existantes et les méthodes de géolocalisation qui permettent d'obtenir et éventuellement transmettre la position géographique d'une personne ou d'une ressource. Ainsi, nous avons exposé les principes du nouveau système de navigation Galileo, ces services, les composants de ce système et ces avantages.

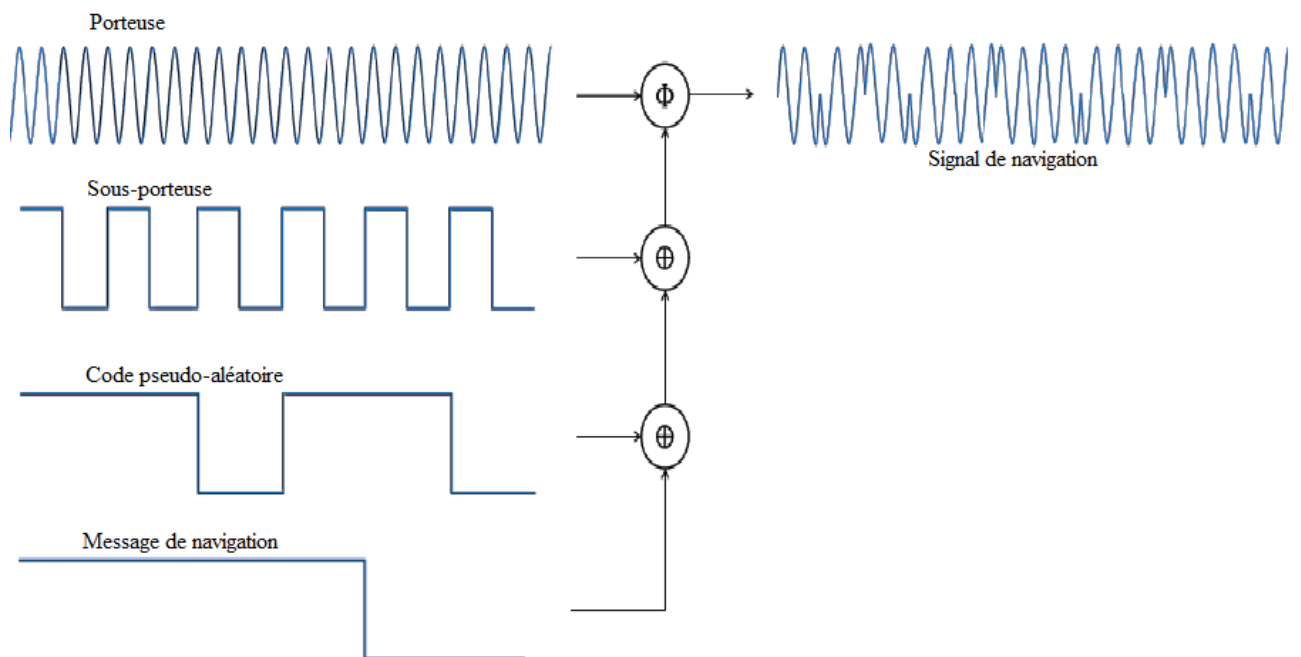
# **Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo**

### II.1 Introduction

Chaque satellite émet un signal radio de façon continue vers la Terre de quelques dizaines de watts de puissance. Comme les ondes hertziennes de la radio et de la télévision, les signaux sont des ondes électromagnétiques qui se propagent à la vitesse de la lumière. Le signal de base est composé d'une simple onde porteuse sinusoïdale, que le récepteur capte.

Les signaux Galileo émis suivent tous une architecture commune, basée sur quatre structures principales [15] :

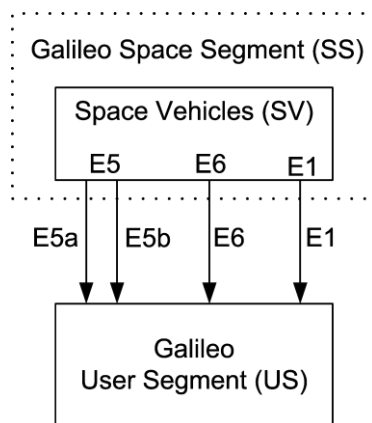
- Un message de navigation contenant plusieurs paramètres nécessaires au récepteur pour calculer sa position (heure d'envoi du message, éphémérides du satellite, état de la constellation, etc.).
- Un code PRN pseudo-aléatoire permettant l'identification du satellite émetteur.
- Une sous-porteuse rectangulaire pour les signaux modulés en BOC (Binary Offset Carrier).
- Une porteuse permet de transmettre l'information à la fréquence choisie.



**Figure II.1:** Structure de signal Galileo [15].

## II.2 Fréquences Galileo

Les signaux de navigation Galileo sont transmis dans 4 bandes de fréquence : la bande E5a (1164 MHz – 1191.795 MHz), la bande E5b (1191.795 MHz – 1215 MHz), la bande E6 (1260 MHz – 1300 MHz) et la bande E1 (1559 MHz – 1592 MHz) [9][18].



**Figure II.2:** segment spatial/segment utilisateur [18].

Dans chaque bande allouée, les satellites vont transmettre des signaux de navigation autour d'une fréquence porteuse. Pour éviter les interférences avec les autres signaux, des largeurs de bandes sont associés à chaque fréquence porteuse. Les fréquences porteuses Galileo sont indiquées dans le tableau suivant [9][18] :

Bande de fréquence	Fréquence porteuse ou central	Largueur de la bande transmise
E5a	1176.45 MHz	60×1.023 MHz
E5b	1207.14 MHz	60×1.023 MHz
E5 (E5a+E5b)	1191.795 MHz	90×1.023 MHz
E1	1575.42 MHz	40×1.023 MHz
E6	1278.75 MHz	40×1.023 MHz

**Tableau II. 1:** Fréquence porteuse et Largueur de la bande transmise [18].

### II.3 Signaux de navigation Galileo

Chaque satellite Galileo transmet 6 signaux de navigation: E1F, E1P, E5A, E5B, E6F et E6P. Le tableau suivant présente le mappage des services Galileo dans les signaux de navigation Galileo [18][19] :

- Le signal E1F est un signal en accès libre transmis dans la bande E1 et composé d'un canal de données et d'un canal pilote (les composantes E1-B et E1-C du signal). Ce signal est accessible à tous les utilisateurs grâce à des codes de distance non cryptés. Les données de navigation E1F contiennent des messages d'intégrité ainsi que des données commerciales cryptées.
- Le signal E1P est un signal à accès restreint transmis dans le canal de signal E1-A. Ses codes de portée et ses données de navigation sont cryptés à l'aide d'un algorithme de cryptage gouvernemental, en raison des services associés.
- Le signal E5a est un signal en accès libre transmis dans la bande E5 et composé de canaux de données et de canaux pilotes (composantes de signal E5a-I et E5a-Q). Ce signal est accessible à tous les utilisateurs grâce à des codes de distance non cryptés et des données de navigation. Le flux de données de navigation E5a transmet les données de base à l'appui des fonctions de navigation et de synchronisation.
- Le signal E5b est similaire au signal E5a avec un canal de données et un canal pilote (composantes de signal E5b-I et E5b-Q). Cependant, le flux de données de navigation E5b contient des messages d'intégrité ainsi que des données commerciales cryptées.
- Le signal E6F est un signal d'accès commercial transmis dans la bande E6 et composé d'un canal de données et d'un canal pilote (composantes de signal E6-B et E6-C). Ses codes de portée et ses données de navigation sont cryptés à l'aide d'un algorithme de cryptage commercial, en raison des services associés.
- Le signal E6P est un signal sécurisé à accès restreint transmis dans le canal de signal E6-A. Ses codes de portée et ses données de navigation sont cryptés à l'aide d'un algorithme de cryptage gouvernemental.

**Note :** "Signaux pilotes" sont des signaux ne comportant pas de message de navigation, permettront au récepteur de passer outre les problèmes de synchronisation avec le message de navigation et offriront donc une meilleure robustesse au niveau du traitement du signal de navigation [15][18].

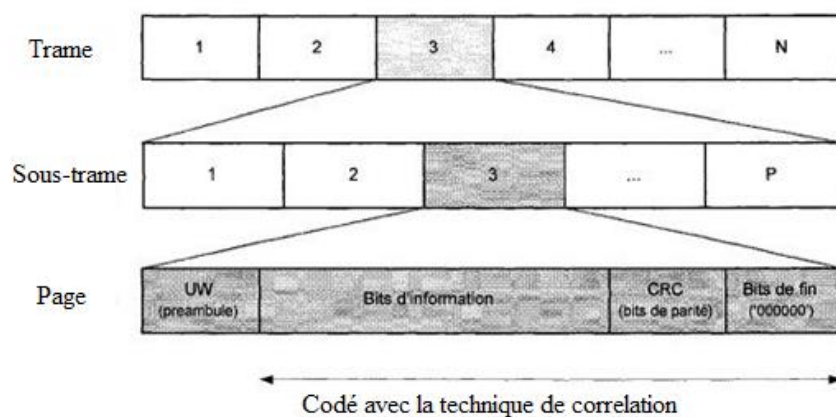
## II.4 Caractéristiques des signaux Galileo

Les fréquences porteuses ainsi que les bandes de fréquence de Galileo ayant été définies précédemment, nous allons présenter les caractéristiques des messages de navigation Galileo, des codes PRN et la modulation des signaux Galileo.

- **Message de navigation Galileo:** Le message de navigation consiste en une suite de données binaires correspondant aux informations nécessaires aux utilisateurs pour accéder aux différents services proposés par Galileo (comme le positionnement classique pour le service OS).

Le message de navigation complet Galileo est appelé trame et elle est composée d'un certain nombre N de sous-trames. Celles-ci sont elles-mêmes constituées de P page. Chaque page est construite selon le même modèle. Un préambule, nommé UW (Unique Word), est appliqué au début de la page. Il permet la synchronisation du récepteur vis-à-vis des informations contenues dans la page.

Pour le message de navigation Galileo, des bits de parité viennent ensuite compléter la page afin de s'assurer de la validité des bits d'information reçus. Ces bits de parité sont appelés CRC (Cyclic Redundancy Check). Ils sont générés en tenant compte uniquement des bits d'information de la page en question. Finalement, des bits de fin de page concluent le mot. Ces bits ont la particularité de ne contenir que des zéros et permettent de réaliser la technique de correction a posteriori des erreurs, ou FEC (Forward Error Correction) [15] [20] [21].



**Figure II.3:** Structure générale du message de navigation prévu dans Galileo [20].

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

La structure de chaque page est fixée et connue du récepteur. La transmission totale du message de navigation fournit une quantité importante de données pour l'utilisateur [21] :

- les éphémérides : les paramètres permettant de connaître la position précise des satellites émetteurs en temps réel, et donc essentiels au positionnement du récepteur.
- les paramètres de correction : paramètres d'intérêt pour l'évaluation des pseudo-distances et donc du positionnement (correcteurs d'horloge, temps Galileo, corrections ionosphériques, etc.).
- les almanachs : les almanachs contiennent les paramètres permettant au récepteur de calculer de manière approchée la position des autres satellites de la constellation (précision moins fine que celle fournie par les éphémérides).
- les paramètres de service : ces indicateurs permettent d'identifier les satellites émetteurs, d'avoir des informations sur leur « état de santé » ou encore d'identifier le type de trames reçues en temps réel.
- les données d'intégrité : elles contiennent des alertes caractérisant la détection d'erreurs et permettent de garantir la fiabilité du positionnement.

Les classes de messages Galileo existent [15][21]:

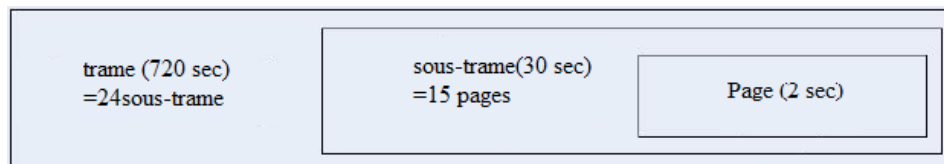
- **F/Nav:** les messages accessibles gratuitement permettent d'accéder au service OS.
- **I/Nav:** les messages d'intégrité permettent d'accéder aux services OS et CS.
- **C/Nav:** les messages dédiés aux services commerciaux permettent d'accéder au service CS.
- **G/Nav:** les messages dédiés aux services gouvernementaux permettent d'accéder au service PRS.

Message	Services	Bandes	Durée 1 trame (sec)	Longueur 1 trame (bits)
F/Nav	OS	E5	600	500
I/Nav	OS, CS, SOL, SAR	E5,E1	720	250
C/Nav	CS	E6	/	/
G/Nav	PRS	E1,E6	Non public	Non public

**Tableau II. 2:** Types de messages de navigation Galileo [21].

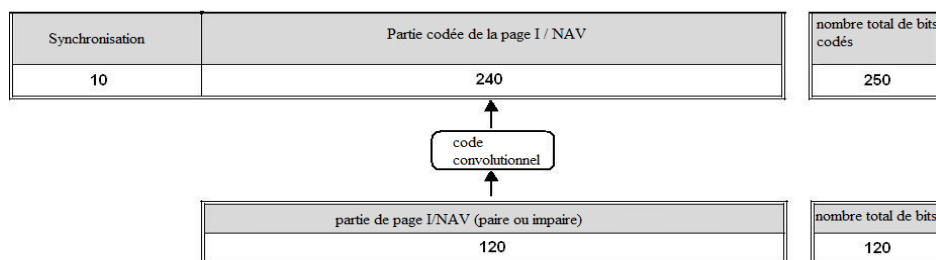
## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

Le message de navigation GALILEO I/NAV contient les services Sol, CS et OS. Cette étude ne concerne que la partie système d'exploitation, car elle fournit un service équivalent au signal GPS L1C.



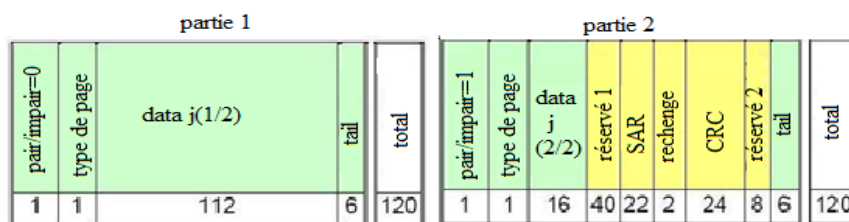
**Figure II.4:** Structure d'un message I/NAV [22].

Chaque page est divisée en deux parties désignées comme des parties d'une page. Chaque partie d'une page contient 120 bits d'information qui sont codés avec un code convolusionnel de vitesse 1/2, ce qui donne 240 bits codés. La partie d'une page est terminée après l'insertion de 10 symboles de synchronisation. Chaque partie d'une page a une durée de 1 seconde puisqu'elle est formée de 250 bits codés [21].



**Figure II.5:** Partie paire ou impaire d'une structure de page Galileo E1 OS [22].

Une page a une durée de 2 secondes et c'est l'unité d'information minimale qui doit être reçue avant de transmettre l'information transmise aux couches supérieures du récepteur. Cela signifie que la réception d'une partie d'une page ne peut pas être utilisée tant que l'autre partie d'une page n'est pas correctement reçue. Une page est formée de 240 bits d'information dont 24 sont des bits de parité calculés par le code de canal CRC-24Q. Ces bits protègent presque tous les bits d'information de la page. La structure d'une page est décrite ci-dessous [21].



**Figure II.6:** Page Structure Galileo E1 OS [22].



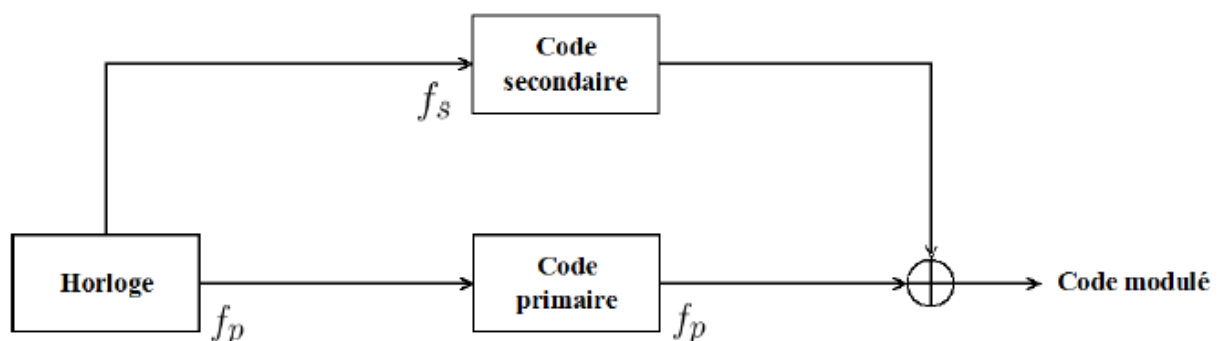
En outre, le message I/NAV peut contenir des pages d'alerte qui durent 1 seconde puisque les deux parties d'une page sont transmises en même temps mais dans les signaux E1 et E5-I [22].

- **Les codes pseudo-aléatoires Galileo (PRN):** Puisque chaque récepteur reçoit en même temps, sur une même fréquence, plusieurs signaux provenant de plusieurs satellites, il lui faut une moyenne pour reconnaître et différencier chaque signal. La technique utilisée pour cela est appelée CDMA (Code Division Multiple Access), ou accès multiple par division de code [23].

Dans le CDMA, chaque satellite se voit attribuer un code particulier, qu'il utilise pour moduler son signal. Ces codes ne sont en fait que des séquences de bits, 0 et 1, qui peuvent être générées de façon prédéterminée et indépendante par les satellites Galileo et par chaque récepteur. Les récepteurs, qui connaissent également ces codes, peuvent les identifier et séparer les différents signaux arrivant sur la même bande de fréquences [23].

Ces codes sont caractérisés par leur taux, c'est-à-dire le nombre de bits transmis par seconde, et leur longueur, c'est-à-dire la durée au bout de laquelle le code reprend une nouvelle séquence.

Afin de respecter la codification CDMA pour les signaux Galileo, les séquences d'étalement sont basées sur des codes pseudo-aléatoires conçus à partir de la combinaison de deux types de codes : un code primaire  $C_p(t)$  de courte durée et un code secondaire  $C_s(t)$  plus long. Le code secondaire, de fréquence  $f_s$  est utilisé pour modifier les répétitions successives du code primaire, de fréquence  $f_p$ . La figure suivante schématise cette combinaison [21][23].



**Figure II.7:** Codes pseudo-aléatoires en Galileo [21].

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

L'objectif d'une telle constitution est d'avoir des codes propres à chaque satellite et quasi-orthogonaux entre eux : leur autocorrélation doit tendre vers la fonction Dirac  $\delta(t)$  et l'inter-corrélation entre les codes de deux satellites différents doit être quasi nulle.

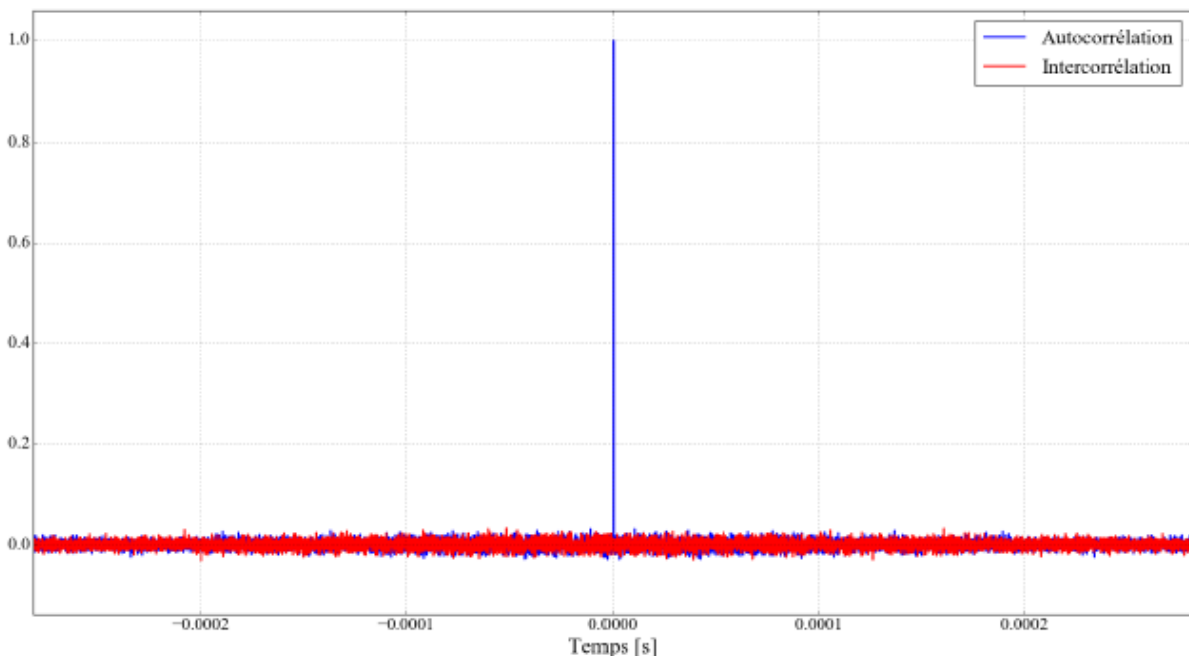
L'identification du satellite correspond à l'étape d'acquisition. Cette méthode est basée sur les caractéristiques de la fonction de corrélation des codes PRN la corrélation de deux codes PRN liés aux satellites  $S_i$  et  $S_j$  est donnée par la formule suivante [21] :

$$\begin{cases} R_{S_i,S_j}(\tau) = E[C_i(\tau)C_j(t - \tau)] \\ R_{S_i,S_j}(\tau) = \frac{1}{N_c T_c} \int_0^{N_c T_c} C_i(\tau)C_j(t - \tau) dt \end{cases} \quad \text{II.1}$$

Avec  $C_i$  et  $C_j$  les codes PRN  $i$  et  $j$ ,  $N_c$  le nombre de chips dans les codes et  $T_c$  la durée d'un chip de code. On notera alors  $f_c$  la fréquence chip correspondante.

L'écriture théorique de la fonction de corrélation des codes PRN est [21]:

$$\begin{cases} R_{S_i,S_j} = 0 & \text{si } i \neq j \\ R_{S_i,S_j} = 1 - \frac{|\tau|}{|T_c|} & \text{si } |\tau| < |T_c| \\ R_{S_i,S_j} = 0 & \text{si } |\tau| > |T_c| \end{cases} \quad \text{II.2}$$



**Figure II.8:** Fonctions d'autocorrélation et d'intercorrélation [21].

Un autre avantage apporté par ces codes est qu'il est possible d'en contrôler l'accès par les utilisateurs, ce qui permet de développer des applications de type commercial. Seuls les

usagers habilités ou abonnés ont accès à une « clé » permettant de générer le code à l'identique du satellite et donc de « décoder » le signal.

- **Signaux Galileo et modulations:** Le signal Galileo est donc constitué d'une porteuse transmettant des données binaires à la fréquence voulue ; ces données sont composées d'informations d'intérêt regroupées dans le message de navigation ainsi qu'une séquence d'étalement propre à chaque satellite. Les modulations utilisées pour le message de navigation et le code PRN sont spécifiques à chaque signal Galileo et vont être précisées ci-dessous.

➤ **Signal BPSK**

Le signal BPSK (Binary Phase Shift Keying) avec des symboles d'étalement rectangulaires est proposé pour transmettre certains des signaux Galileo. Cette modulation est bien connue parce qu'elle est utilisée dans le système GPS pour transmettre les signaux C/A et P(Y). Le BPSK est la forme la plus simple du PSK. Elle utilise deux phases qui sont séparées de 180°, on l'appelle également 2-PSK. Cette modulation est la plus robuste de toutes les PSK car il faut une grande déformation du signal pour que le démodulateur se trompe sur le symbole reçu. Cependant on ne peut moduler qu'un seul bit par symbole, ce qui est un inconvénient pour les applications qui nécessitent un débit binaire élevé [19].

La phase d'une porteuse analogique sinusoïdale de fréquence  $f$  peut prendre deux valeurs :

Soit 0 quand le bit à transmettre est '1' (où '0')

Soit  $\pi$  radians=180° quand le bit à transmettre est '0' (où '1')

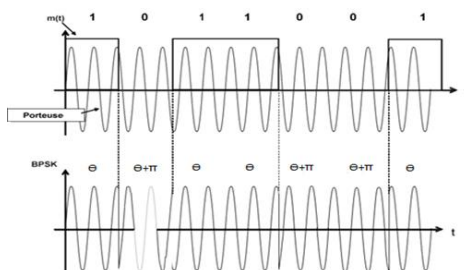
Le signal modulé en BPSK est donc de la forme [9]:

$$\text{BPSK}(t) = A_0 \times \sin(2\pi f_0 t + \begin{cases} 0 & \text{sim}(t) = 1 \\ \pi & \text{sim}(t) = 0 \end{cases}) \quad \text{II.3}$$

avec  $\sin(\Theta + \pi) = -\sin(\Theta) \quad \text{II.4}$

Où :  $m(t)$  est l'information binaire à transmettre qui vaut soit '0' soit '1' et  $A_0$  est le module de signal modulé.

L'allure du signal BPSK est présentée à la figure suivante :

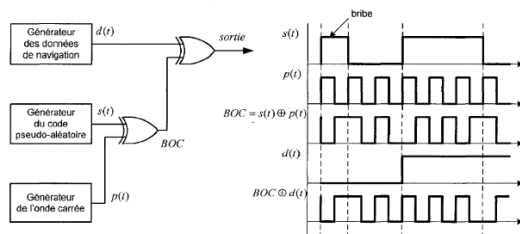


**Figure II.9:** L'allure du signal BPSK [36].

Toutefois, la modulation BPSK ne peut être utilisée pour transmettre tous les signaux Galileo. En effet, le signal BPSK ne peut pas fournir un bon partage de la bande par de multiples signaux. C'est la raison pour laquelle de nouvelles modulations ont été étudiées. Une de ces modulations est la modulation BOC (Binary Offset Carrier). Elle a été choisie comme modulation pour certains des signaux Galileo.

### ➤ Signal BOC

En général, le signal BOC est noté BOC (p,q), p définit la fréquence de la sous-porteuse et q la fréquence du code d'étalement :  $f_s = p \times 1.023 \text{ MHz}$  et  $f_c = q \times 1.023 \text{ MHz}$  [15][19].



**Figure II.10:** principe de génération de signal BOC.

Il existe deux types de synchronisation entre la sous-porteuse et le code d'étalement, la synchronisation sinus et la synchronisation cosinus qui vont respectivement donner les modulations BOCsin(x, y) et BOCcos(x, y). Soit CBOC(t) un d'étalement modulé en BOC.

Selon la synchronisation choisie, on a [15][19] :

$$\text{BOCsin} : \text{CBOC}(t) = C(t) \text{sign}[\sin(2\pi f_s t)] \quad \text{II.5}$$

$$\text{BOCcos} : \text{CBOC}(t) = C(t) \text{sign}[\cos(2\pi f_s t)] \quad \text{II.6}$$

Avec

$$C(t) = \sum_k c_k h(t - kT_C) \quad \text{II.7}$$

$C(t)$  le code d'étalement en BPSK à l'instant  $t$ ,  $h(t)$  est la matérialisation du code égale à 1 sur  $[0, T_C]$  et 0 ailleurs et  $c_k = \{-1, 1\}$ .

### II.5 Le signal Galileo E1

La modulation E1 (OS) reçoit le nom CBOC (Composite Binary Offset Carrier). Le CBOC utilisé est un signal  $\text{BOCsin}(6,1)$  ( $\text{fpBOCsin}(6,1) = 6 \times 1.023 \text{MHz} = 6,138 \text{MHz}$ ) et un signal  $\text{BOCsin}(1,1)$  ( $\text{fpBOCsin}(1,1) = 1.023 \text{MHz}$ ).

Les composantes du signal E1 CBOC sont générées comme suit [22]:

- Le signal  $e_{E1-B}$  est généré à partir du flux de données de navigation I/NAV (DE1-B) et du code de PRN (CE1-B), puis modulé avec les sous-porteuses SCE1-B,a et SCE1-B,b.
- Le signal  $e_{E1-C}$  (composant pilote) est généré à partir du code de PRN (CE1-C) modulé avec les sous-porteuses SCE1-C,a et SCE1-C,b.

L'équation suivant fournit la description mathématique de ces composantes :

$$e_{E1-B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E1-B,|i|_{L_{E1-B}}} \cdot D_{E1-B,[i]_{DC_{E1-B}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E1-B}}(t - i \cdot T_{C,E1-B}) \right] \quad \text{II.8}$$

$$e_{E1-C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E1-C,|i|_{L_{E1-C}}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E1-C}}(t - i \cdot T_{C,E1-C}) \right] \quad \text{II.9}$$

La figure suivant donne une vue générique de la génération du signal E1 CBOC [24][25] :

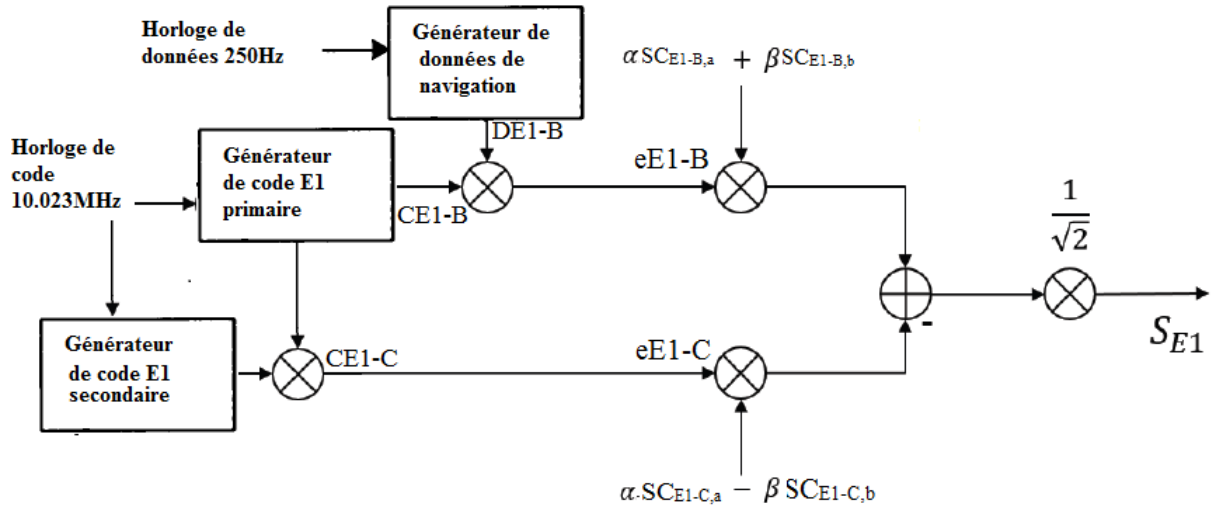


Figure II.11: Schéma de modulation du signal E1 [26].

Le signal composite E1-B/C est ensuite généré selon l'équation Eq ci-dessous, avec les composantes de signal binaire  $e_{E1-B}(t)$  et  $e_{E1-C}(t)$ , les composantes pilote et données sont modulées sur la même composante porteuse, avec un partage de puissance de 50 % [18].

$$S_{E1}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( e_{E1-B}(t) (\alpha sc_{E1-B,a}(t) + \beta sc_{E1-B,b}(t)) - e_{E1-C}(t) (\alpha sc_{E1-C,a}(t) - \beta sc_{E1-C,b}(t)) \right)$$

II.10

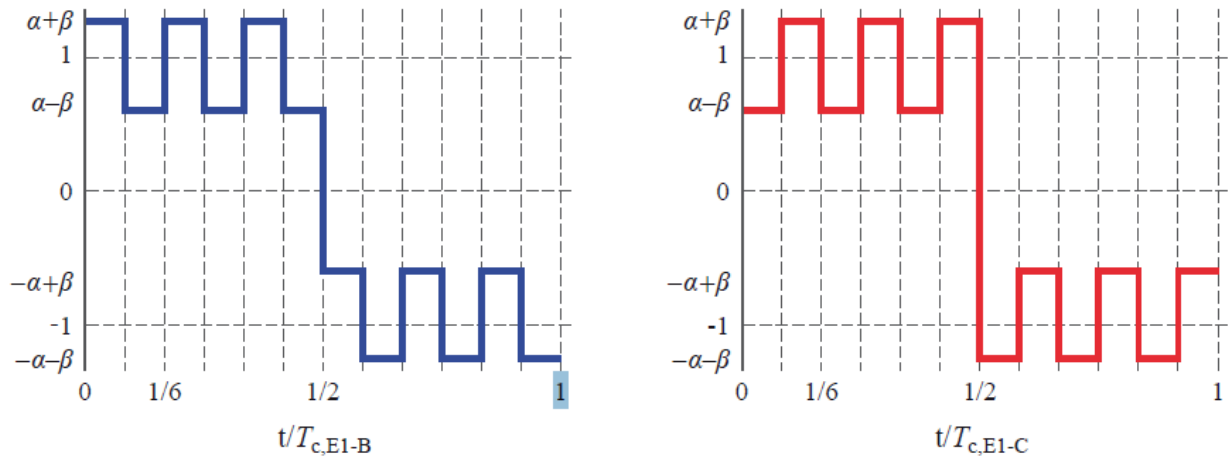
Avec :

$$sc_x(t) = \text{sign}[\sin(2\pi f_x t)] \quad \text{II.11}$$

Les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  sont choisis de telle sorte que la puissance combinée des composantes de sous-porteuse SCE1-B et SCE1-C soit égale à 1/11 de la puissance totale de  $e_{E1-B}$  plus  $e_{E1-C}$ , avant application de toute limitation de largeur de bande. Cela donne :

$$\alpha = \sqrt{\frac{10}{11}} \text{ et } \beta = \sqrt{\frac{1}{11}}$$

Une période de la fonction de sous-porteuse  $\alpha sc_{E1-B,a}(t) + \beta sc_{E1-B,b}(t)$  pour la composante de signal E1-B et une période de la fonction de sous-porteuse  $\alpha sc_{E1-C,a}(t) - \beta sc_{E1-C,b}(t)$  pour la composante de signal E1-c sont indiquées sur la figure suivante [9]:



**Figure II.12:** Une période de la sous-porteuse CBOC pour la composante de signal E1-B (blue), et la composante de signal E1-C (rouge) [18].

Bande de fréquences	E1	
Signaux	eE1-B	eE1-C
Type de voies	Data	Pilot
Modulation	CBOC(+)	CBOC(-)
Fréquence sous porteuse (MHz)	1.023	6.138
Fréquence de code (MHz)	1.023	1.023
Longueur code primaire	4092	4092
Longueur code secondaire	/	25
Débit de données (symp/s)	250	/

**Tableau II.3:** Caractéristiques des signaux Galileo E1 [21].

## II.6 Le signal Galileo E5

La modulation E5 reçoit le nom Alt-BOC et est une version modifiée d'une porteuse de décalage binaire (BOC) avec un taux de codage de 10,23 MHz ( $q=10$ ) et une fréquence de sous-porteuse de 15,345 MHz ( $p=15$ ). Alt-BOC (15,10) est un signal large bande transmis à 1191,795 MHz. La figure suivante présente le diagramme de modulation du signal Galileo E5 [24] [25]:

Le diagramme de cette figure donne une vue générique de la génération de la modulation Alt-BOC du signal E5, les composantes du signal E5 sont générées conformément à ce qui suit [24]:

- eE5a-I du flux de données de navigation F/NAV DE5a-I modulé avec le code de télémétrie non crypté CE5a-I.
- eE5a-Q (composant pilote) à partir du code de gamme non crypté CE5a-Q.
- eE5b-I du flux de données de navigation I/NAV DE5b-I modulé avec le code de télémétrie non crypté CE5b-I.
- eE5b-Q (composant pilote) à partir du code de gamme non crypté CE5b-Q.

Les définitions respectives sont les suivantes [24] :

$$e_{E5a-I}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E5a-I,|i|_{LE5a-I}} \cdot d_{E5a-I,[i]_{DCE5a-I}} \text{rect}_{T_{C,E5a-I}}(t - iT_{C,E5a-I}) \right] \quad \text{II.12}$$

$$e_{E5a-Q}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E5a-Q,|i|_{LE5a-Q}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E5a-Q}}(t - iT_{C,E5a-Q}) \right] \quad \text{II.13}$$

$$e_{E5b-I}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E5b-I,|i|_{LE5b-I}} \cdot d_{E5b-I,[i]_{DCE5b-I}} \text{rect}_{T_{C,E5b-I}}(t - iT_{C,E5b-I}) \right] \quad \text{II.14}$$

$$e_{E5b-Q}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E5b-Q,|i|_{LE5b-Q}} \cdot \text{rect}_{T_{C,E5b-Q}}(t - iT_{C,E5b-Q}) \right] \quad \text{II.15}$$

le signal E5 est généré avec la modulation Alt-Boc du taux de sous-porteuse à bande latérale RS,E5= 1/TS,E5= 15.345MHz (15 x 1.023MHz) selon l'expression dans EqII.16 avec les composantes binaires eE5a-I, eE5a-Q, eE5b-I, eE5b-Q [18][19] .

$$\begin{aligned} S_{E5}(t) = & \frac{1}{2\sqrt{2}} (e_{E5a-I}(t) + je_{E5a-Q}(t)) \left[ SC_{E5-S}(t) - jSC_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\ & \frac{1}{2\sqrt{2}} (e_{E5b-I}(t) + je_{E5b-Q}(t)) \left[ SC_{E5-S}(t) - jSC_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\ & \frac{1}{2\sqrt{2}} (\bar{e}_{E5a-I}(t) + j\bar{e}_{E5a-Q}(t)) \left[ SC_{E5-P}(t) - jSC_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\ & \frac{1}{2\sqrt{2}} (\bar{e}_{E5b-I}(t) + j\bar{e}_{E5b-Q}(t)) \left[ SC_{E5-P}(t) - jSC_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \right] \end{aligned} \quad \text{II.16}$$

Avec:

$$\bar{e}_{E5a-I} = e_{E5a-Q} \cdot e_{E5b-I} \cdot e_{E5b-Q} \quad \text{II.17}$$

$$\bar{e}_{E5a-Q} = e_{E5a-I} \cdot e_{E5b-I} \cdot e_{E5b-Q} \quad \text{II.18}$$



## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

$$\overline{e_{E5b-I}} = e_{E5b-Q} \cdot e_{E5a-I} \cdot e_{E5a-Q} \quad \text{II.19}$$

$$\overline{e_{E5b-Q}} = e_{E5b-I} \cdot e_{E5a-I} \cdot e_{E5a-Q} \quad \text{II.20}$$

Les paramètres SCE5-S et SCE5-P représentent les fonctions de sous-porteuse à quatre valeurs pour les signaux simples et les signaux de produit respectivement :

$$SC_{E5-S}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} AS_{|i|_8} \text{rect}_{T_{S,E5}/8}(t - iT_{S,E5}/8) \quad \text{II.21}$$

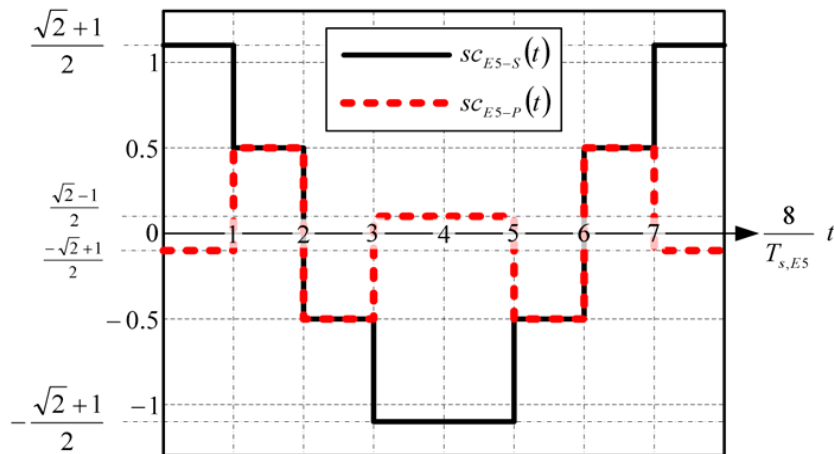
$$SC_{E5-P}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} AP_{|i|_8} \text{rect}_{T_{S,E5}/8}(t - iT_{S,E5}/8) \quad \text{II.22}$$

Les coefficients ASi et APi sont conformes au tableau :

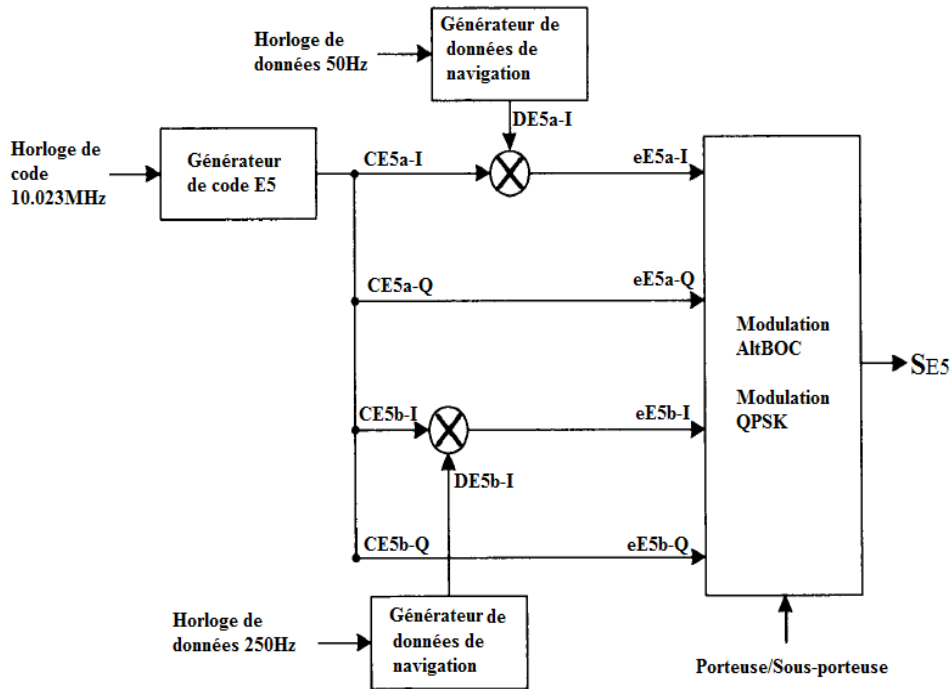
I \	0	1	2	3	4	5	6	7
2. ASi	$\sqrt{2}+1$	1	-1	$-\sqrt{2}+1$	$-\sqrt{2}+1$	-1	1	$\sqrt{2}+1$
2 Api	$-\sqrt{2}+1$	1	-1	$\sqrt{2}+1$	$\sqrt{2}+1$	-1	1	$-\sqrt{2}+1$

**Tableau II.4:** Alt-Boc Coefficients sous-porteuse [18].

Une période des fonctions de sous-porteuse SCE5-S et SCE5-P est représentée sur la figure suivant :



**Figure II. 13:** une période des deux fonctions de sous-porteuse impliquées dans la modulation Alt-Boc [18].



**Figure II. 14:** le diagramme de modulation du signal Galileo E5 [26].

Bande de fréquences	E5			
Signaux	E5a-I	E5a-Q	E5b-I	E5b-Q
Type de voies	Data	Pilot	Data	Pilot
Modulation	AltBOC			
Fréquence sous porteuse (MHz)	15.345			
Fréquence de code (MHz)	10.23			
Longueur code primaire	10230			
Longueur code secondaire	20	100	4	100
Débit de données (symb/s)	50	/	250	/

**Tableau II. 5:** Caractéristiques des signaux Galileo E5 [21].

### II.7 Le signal Galileo E6

Les composantes eE6-B et eE6-C du signal E6 sont générées selon les étapes suivantes [24]:

- eE6-B à partir du flux de données de navigation C/NAV DE6-B modulé avec le code de télémétrie crypté CE6-B.
- eE6-C (composant pilote) du code de gamme CE6-c.

Les définitions respectives sont les suivantes [18][19]:

$$e_{E6-B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E6-B} - B, |i|_{L_{E6-B}} d_{E6-B, [i]_{DC_{E6-B}}} \text{rect}_{T_{C, E6-B}}(t - iT_{C, E6-B}) \right] \quad \text{II.23}$$

$$e_{E6-C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[ C_{E6-C} - C, |i|_{L_{E6-C}} \text{rect}_{T_{C, E6-C}}(t - iT_{C, E6-C}) \right] \quad \text{II.24}$$

La modulation choisie pour les composantes data eE6-B et pilote eE6-c du signal E6 est la modulation BPSK, le signal est généré selon EqII.25.

$$S_{E6}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} [e_{E6-B}(t) - e_{E6-C}(t)] \quad \text{II.25}$$

**Note :** les composantes pilotes et données sont combinées sur la même composante porteuse, avec un partage de puissance de 50%.

Le diagramme suivante fournit une vue générique de la génération du signal E6 [25].

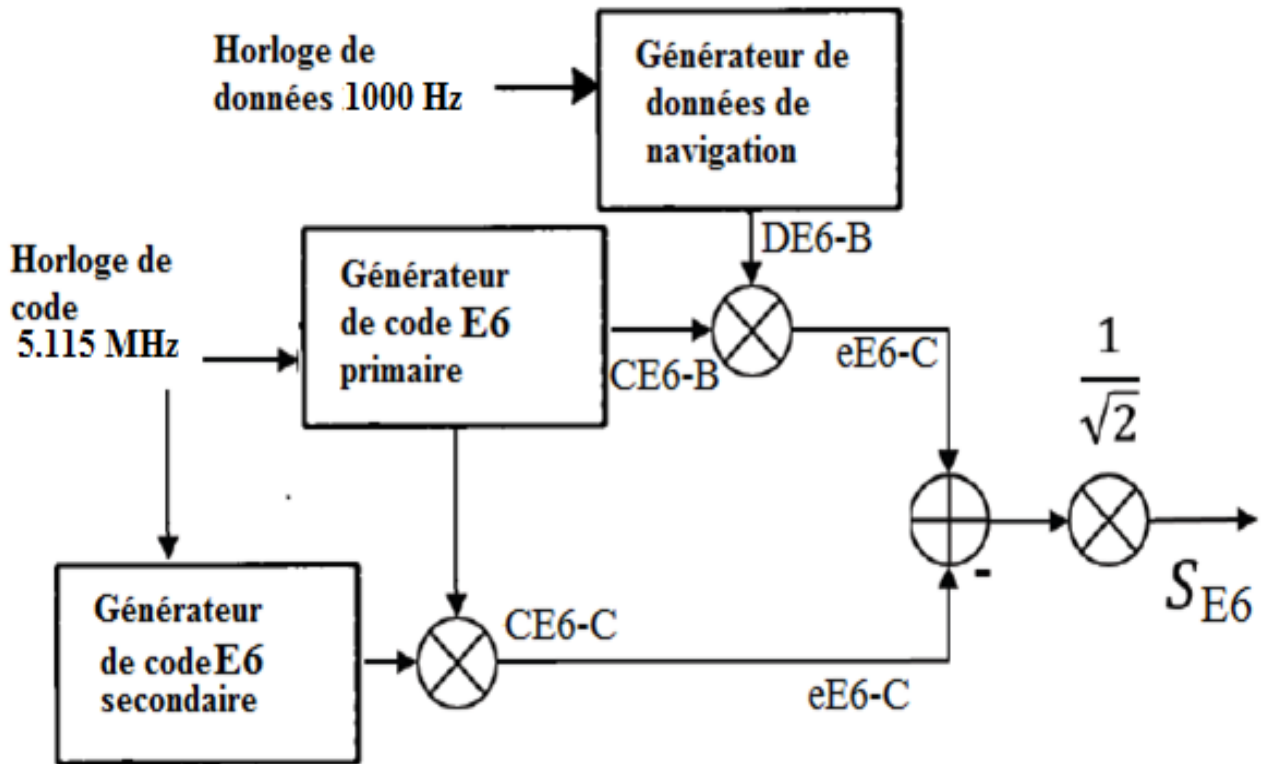


Figure II. 15: Schéma de modulation de figure pour le signal E6 [26].

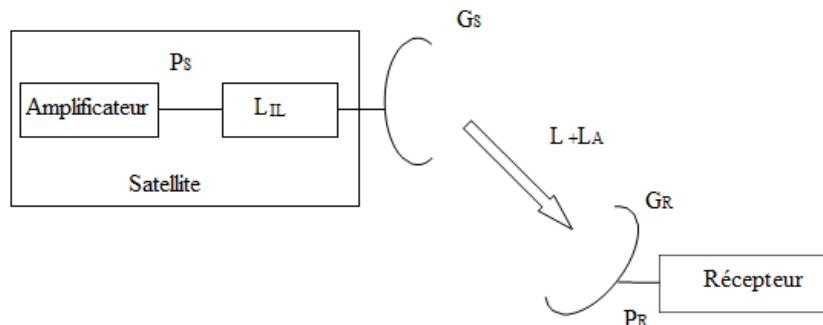
Bande de fréquences	E6	
	eE6-B	eE6-c
Signaux	Data	Pilot
Type de voies	Data	Pilot
Modulation	BPSK	BPSK
Fréquence sous porteuse (MHz)	/	/
Fréquence de code (MHz)	5.115	5.115
Longueur code primaire	5.115	5.115
Longueur code secondaire	/	100
Débit de données (symb/s)	1000	/

**Tableau II. 6:** Caractéristiques des signaux Galileo E6 [21].

### II.8 Budget de liaison Galileo

L'étude du bilan de liaison Galileo est intéressante afin d'évaluer la puissance nécessaire à la sortie de la charge utile et donc la portée de fonctionnement requise de l'amplificateur de charge utile.

• **Définition :** Le système Galileo considéré pour calculer le bilan de la liaison de puissance est représenté à la figure suivant [19]:



**Figure II. 16:** Bilan de liaison du système Galileo [19].

Avec:

- $P_S$ , la puissance à la sortie de l'amplificateur.
- $L_{IL}$ , les pertes globales introduites par le filtre après l'amplificateur et les pertes dues aux imperfections des composants de la charge utile.
- $G_S$ , le gain d'antenne satellite.
- $L$ , les pertes en espace libre.
- $LA$ , les pertes atmosphériques et les pertes de polarisation.

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

- GR, le gain d'antenne du récepteur.
- PR, la puissance à l'entrée du récepteur.

L'équation de la puissance à la sortie de l'amplificateur donne :

$$P_S = \frac{(L_{IL} L_A P_R)}{G_S G_R} \quad \text{II.26}$$

• **Niveaux de puissance reçus au sol :** Le bilan de liaison est la puissance reçue par un récepteur, au pied de l'antenne. C'est donc la puissance isotrope émise multipliée par les gains d'antenne (émission et réception) et divisée par les pertes, comme indiqué par l'équation suivant [18]:

$$Pr = Pe \times Ge \times Gr \times \frac{1}{L_t} \quad (\text{watt}) \quad \text{II.27}$$

Avec :

- Pr: Puissance fournie à l'antenne d'émission (en Watt).
- Ge : Gain de l'antenne d'émission.
- Gr : Gain de l'antenne de réception.
- Lt: Bilan des pertes de la liaison Radio-fréquence.

$$L_t = L_{FS} \times L_{atm} \times L_{pol} \times L_{rec} \quad \text{II.28}$$

Avec

- $L_{FS}$ : Atténuation de la propagation en espace libre (Free Space Loss).
- $L_{atm}$  : Pertes atmosphérique.
- $L_{pol}$ : Pertes de polarisation
- $L_{rec}$ : Pertes due au récepteur.

En décibels, la puissance reçue est donc :

$$P_{rdB} = P_{edB} + G_{edB} + G_{rdB} - L_{FSdB} - L_{atmdB} - L_{poldB} - L_{recdB} \quad (\text{dBW}) \quad \text{II.29}$$

• **Puissance reçue:** Dans le cadre de notre application spatiale, les pertes atmosphériques sont nulles. Les signaux traversant l'atmosphère ne sont pas utilisés, l'atténuation est donc  $L_{REC} = 1$ , tel que  $L_{rec} = 1,5\text{dB}$  Pour l'atténuation due au récepteur, nous utilisons une valeur typique issue de récepteur existant, tel que  $L_{rec} = 1,5\text{dB}$  [18].

Alors II.27 vient :

$$Pr = Pe \times Ge \times \frac{1}{L_{FS} L_{pol} \times L_{rec}} \times Gr \quad (\text{Watt}) \quad \text{II.30}$$

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

• **Bilan en bruit:** Notre modèle a également besoin du bilan en bruit du système. Nous devons donc analyser toutes les sources de bruit et calculer le bruit équivalent à l'entrée de l'amplificateur faible bruit de l'antenne de réception. Le bruit est modélisé par un bruit blanc de densité spectrale  $N_0$  exprimé en Watt par Hertz  $W.Hz^{-1}$ . La puissance équivalente du bruit à l'entrée d'un récepteur est [30]:

$$N=N_0 \times B \quad (\text{Watt}) \quad \text{II.31}$$

Avec  $B$ , bande passante du récepteur.

La température de bruit d'une source de bruit délivrant une puissance de bruit  $N$  est donnée par l'expression :

$$T = \frac{N}{k \times B} = \frac{N_0}{k} \quad (\text{Kelvin}) \quad \text{II.32}$$

Avec,  $k$  le constante de Boltzmann :

$$k \approx 1,23 \times 10^{23} J.K^{-1} \approx -228,6 \text{ dBW Hz}^{-1}.K^{-1} \quad \text{II.33}$$

$T$  est la température thermodynamique d'une résistance adaptée  $R$  qui délivre la même puissance de bruit. La température équivalente en bruit  $T_{eq}$  d'un quadripôle est la température thermodynamique d'une résistance qui, placée à l'entrée du quadripôle, délivre la même puissance de bruit à la sortie de ce quadripôle [30].

• **Bruit de phase du signal transmis:** La densité spectrale du bruit de phase de la porteuse non modulée permettra à une boucle à verrouillage de phase du second ordre avec une largeur de bande de bruit unilatérale de 10 Hz de suivre la porteuse avec une précision de 0,04 radians rms [18][27].

• **Pertes à la réception de la charge utile et des composants :** A la réception, les puissances des signaux de navigation vont être atténuées à cause de leur propagation en espace libre et de la traversée de l'atmosphère. Au niveau du récepteur, et on peut écrire [18]:

$$P_R = P_s - L - LA \quad (\text{dB}) \quad \text{II.34}$$

Les pertes associées à la propagation du signal en espace libre s'expriment par :

$$L = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad \text{II.35}$$

Avec :

- $\lambda$  La longueur d'onde du signal.

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

- R la distance satellite/récepteur.

Pour chaque composante du signal, la perte de corrélation due aux distorsions de la charge utile sera inférieure à 0,6 dB, les pertes supplémentaires dues au filtrage du récepteur doivent être prises en compte, comme indiqué au tableau suivant :

Signal	Perte (dB)
E1	0.1
E6	0.0
E5	0.4
E5a	0.6
E5b	0.6

**Tableau II.7: Pertes supplémentaires dues au filtrage du récepteur [18]**

### II.9 Le rapport SNR et C/N0

- **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. 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 [28]:

- Énergie binaire sur la densité spectrale de puissance de bruit  $E_b/N_0$  [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].

Le SNR est généralement exprimé en décibels :

$$\text{SNR(dB)} = S - N \quad \text{II.36}$$

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].

- **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

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

sa densité spectrale de puissance [28].

En relation avec le SNR, le C/N0 peut être formulé comme suit :

$$\text{SNR} = \frac{C/N_0}{\text{BW}} \text{II.37}$$

Avec :

$$N_0 = [\text{W} \cdot \text{s}] = [\text{W}/\text{s}^{-1}] = [\text{W}/\text{Hz}] \text{II.38}$$

Soit en décibels :

$$C/N_0 = C - N_0 = C - (N - \text{BW}) = \text{SNR} + \text{BW}(\text{dB Hz}) \text{II.39}$$

Où :

- C: La puissance de la porteuse en [dB m] ou [dB W] ;
- N: La puissance de bruit en [dB m] ou [dB W] ;
- N0: La densité de puissance de bruit en [dB m/Hz] ou [dB W/Hz] ;
- BW: La largeur de la bande [dB Hz].

Pour pouvoir trouver le C/N0 correspondant, nous allons utiliser la relation suivante :

$$\text{SNR} = \frac{C}{N_0} \cdot 10 \log\left(\frac{F_s}{2}\right) = \frac{C}{N_0} \cdot 10 \log(F_s) + 3(\text{dB}) \text{II.40}$$

- Fs: La fréquence d'échantillonnage.
- Fs/2: La bande maximale de notre récepteur numérique.

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

### II.10 L'effet de doppler

Lors de l'émission d'un signal, tout mouvement relatif entre l'émetteur et le récepteur provoque une modification de la fréquence du signal reçu : c'est le phénomène Doppler. Dans le cadre du GNSS, les signaux de navigation sont affectés par l'effet Doppler résultant des mouvements relatifs entre le satellite et l'utilisateur. En effet, considérons le modèle simplifié du signal émis au niveau du satellite suivant [28]:

$$S(t) = C(t)e^{i2\pi f_p t} \quad \text{II.41}$$

Avec :



## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

- $C(t)$  : Le code pseudo-aléatoire du signal.
- $f_p$  : La fréquence porteuse.

Si on suppose que le signal émis ne subit aucune perturbation lors de sa propagation, le récepteur reçoit alors le signal suivant :

$$S_r(t) = S_e(t - \tau(t)) = C(t - \tau(t)) e^{i2\pi f_p(t - \tau(t))} \quad \text{II.42}$$

Où :  $\tau(t)$  Le retard exprimé en seconde associé au temps de propagation du signal.

$$\tau(t) = \tau_0 + \frac{\int_0^t v_{rad}(t) dt}{c} \quad \text{II.43}$$

Avec :

- $c$  : La vitesse de la lumière dans le milieu.
- $v_{rad}$  : La vitesse radiale satellite/récepteur.

En supposant que la vitesse radiale est constante, on obtient l'expression du retard suivant :

$$\tau(t) = \tau_0 + \frac{v_{rad} t}{c} \quad \text{II.44}$$

En combinant l'équation et l'équation, on obtient l'expression du signal reçu Suivant :

$$S_r(t) = C\left(\left(1 - \frac{v_{rad}}{c}\right)t - \tau_0\right) e^{i2\pi f_p\left(1 - \frac{v_{rad}}{c}\right)t + \Phi_0} \quad \text{II.45} \quad (\text{avec } \Phi_0 = -i2\pi f_p \tau_0)$$

La fréquence porteuse du signal reçu est modifiée de la fréquence Doppler  $f_d$  est définie par :

$$f_d = -f_p \frac{v_{rad}}{c} \quad \text{II.46}$$

Cette équation est l'approximation au premier ordre de l'effet Doppler sur la porteuse du signal de navigation. De manière générale, la fréquence Doppler sur la fréquence porteuse s'exprime par :

$$f_d = -f_p \frac{(v_s - v_u)^T}{c} u_r \quad \text{II.47}$$

Avec :

- $v_u$  : La vitesse utilisateur.
- $v_s$  : La vitesse satellite.
- $u_r$  : Le vecteur unitaire radial de l'utilisateur vers le satellite.

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

L'effet Doppler va également affecter le rythme binaire des codes pseudo-aléatoires (et plus généralement l'ensemble des signaux binaires véhiculé par la porteuse) qui va subir la dérive Doppler  $f_d^{code}$  suivant :

$$f_d^{code} = f_d^{porteuse} \frac{R_c}{f_p} \quad \text{II.48} \quad (R_c \text{ Le rythme chip du code pseudo-aléatoire.})$$

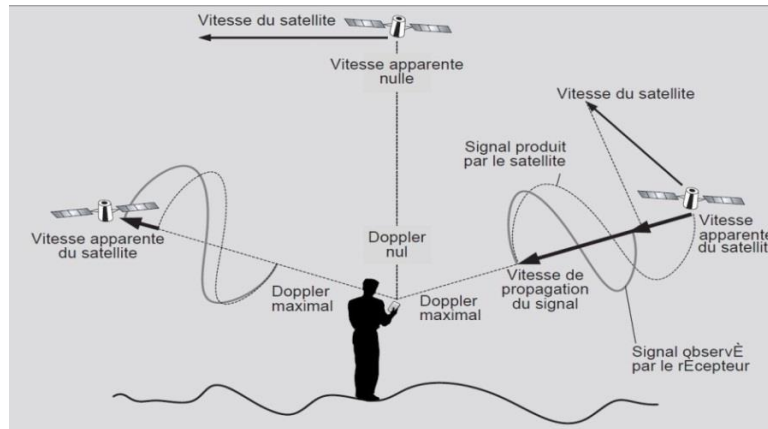


Figure II.17: Effet Doppler [23].

### II.11 Réception d'un signal Galileo

Un utilisateur quelconque situé à n'importe quel point de la planète peut se localiser à l'aide des systèmes de positionnement par satellites tel que le système Galileo. En effet, c'est aux travers des récepteurs que les utilisateurs accèdent aux services de localisation et de toutes les autres applications. Quel que soit le type d'utilisation recherché que ce soit civil, militaire,...etc., un récepteur spécifique, visible par l'utilisateur, est nécessaire. Il existe une très grande variété de récepteurs, adaptée à des besoins spécifiques [29].

Composants électroniques de mise-en-forme (front-end) :

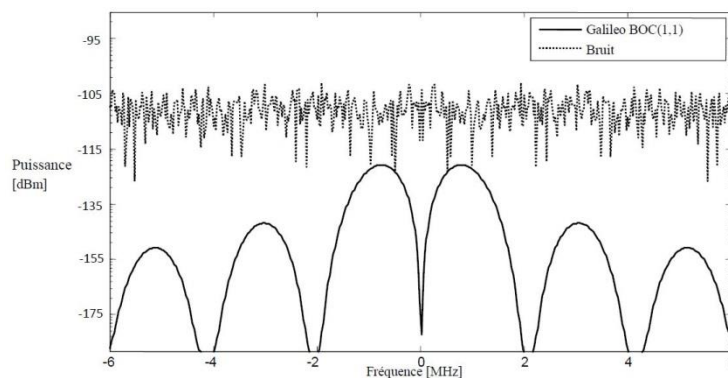


Figure II.18: Représentation fréquentielle des puissances : du signal Galileo et du bruit [29].

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

Le processus de localisation commence par l'incidence des signaux Galileo à l'antenne du récepteur. En effet, le signal à l'entrée du récepteur a une faible puissance (elle est de l'ordre de -160 dBW). Pour la fréquence de la porteuse  $E1=1575.42\text{MHz}$  et dans une bande de 4MHz, le signal reçu a une puissance qui est située au-dessous de celle du bruit.

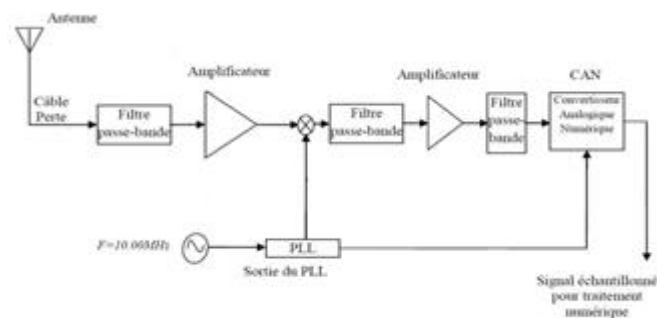
La puissance du bruit est donnée par [29]:

$$P_{\text{bruit}}=K \times T \times B \quad \text{II.49}$$

Avec :

- K: la constante de Boltzman ( $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ k/}^\circ\text{k}$ ).
- T: la température absolue en  $^\circ\text{k}$ .
- B: la bande équivalente du bruit en Hz.

Pour un signal Galileo BOC(1,1), la puissance du bruit est de l'ordre de -111.97dBm. Elle est supérieure à la puissance du signal utile. Ceci représente une des caractéristiques de la technique d'étalement du spectre avec séquence directe (Direct Sequence Spread Spectrum «DSSS ») .Cette technique est utilisée dans les communications à accès multiple CDMA et elle exige un traitement de signal approprié pour acquérir le signal codé. Ceci implique aussi que la conception des blocs électroniques de mise-en-forme est beaucoup plus basée sur le niveau du bruit que sur le signal E1 reçu.



**Figure II.19:** Circuit de mise-en-forme du récepteur E1 [23].

La tension analogique qui provient du signal Galileo incident et du bruit reste très faible et a des fréquences élevées ce qui entrave le fonctionnement de la plupart des convertisseurs analogique numérique (Analog to digital converter « ADC »). Pour surmonter ce problème, un circuit de mise-en-forme est nécessaire. Ce dernier utilise une combinaison d'amplificateurs, mixeur, filtres ainsi qu'un oscillateur local pour conditionner la tension incidente sur l'antenne aux échantillons numériques résultants.

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

Dans les sections suivantes, la fonction de chaque élément de la figure sera discutée à part :

- **Antenne de récepteur :**

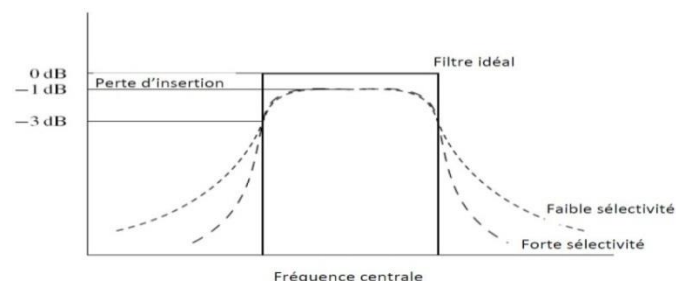
Pour les signaux Galileo E1-OS, l'antenne doit être conçue pour induire une tension à partir des ondes radio qui se propagent à la fréquence E1. De plus, la conception doit être adaptée à la bande passante du signal désiré.

Dans les systèmes de radionavigation par satellites Galileo, le diagramme de rayonnement doit avoir une forme hémisphérique parce que tous les satellites sont aériens par rapport aux récepteurs. L'antenne est conçue pour recevoir le signal uniquement à partir des angles d'élévations positives de toutes les directions de l'azimut [23].

- **Filtre radio fréquence (RF):**

C'est un filtre passe-bande situé directement après l'antenne de réception. Il est basé sur la sélection, qui permet le passage de certaines fréquences et l'empêchement d'autres. Son rôle est de donner une sélectivité fréquentielle en plus de celle de l'antenne puisque cette dernière a une pauvre sélectivité par rapport à un filtre. Donc il est important d'éliminer complètement la bande de fréquence qui est source de tout signal hors bande qui peut pénétrer dans le circuit de mise-en-forme et saturer par conséquent les composantes sensibles qui suivent cet étage.

C'est pour cette raison qu'un filtre passe-bande est le premier composant après l'antenne. Les autres filtres ont des rôles spécifiques bien que tous sont utilisés pour laisser passer des fréquences et supprimer d'autres. Un filtre est généralement caractérisé par sa perte d'insertion, ou par l'atténuation des fréquences des composantes spectrales désirées [29].



**Figure II.20:** comparaison des filtres passe-bande [29].

- **Amplificateur :**

L'amplification est le processus qui permet d'augmenter l'amplitude d'un signal. Ce dernier est un composant actif qui nécessite un apport de puissance pour son fonctionnement [23].

- **Mélangeur/Oscillateur local :**

La fonction de base de la combinaison Mélangeur/Oscillateur Local est de translater la porteuse RF d'entrée à une fréquence intermédiaire plus basse et de préserver la structure du signal modulé. La raison la plus évidente pour cela est de ramener la fréquence vers une gamme utilisable où la fonction de la conversion analogique numérique peut se faire normalement.

Le mélangeur fonctionne selon l'expression trigonométrique suivante :

$$\cos(2\pi f_1)\cos(2\pi f_2) = \frac{1}{2}[\cos(2\pi f_2 - 2\pi f_1) + \cos(2\pi f_2 + 2\pi f_1)] \quad \text{II.50}$$

Il est évident que la sortie du mélangeur peut être une somme ou une différence de la fréquence. Ce qui nous intéresse c'est la différence qui correspond à la fréquence intermédiaire désirée. Par ailleurs, la fréquence somme est tout simplement une conséquence et le 2<sup>ème</sup> filtre en cascade [29].

- **Convertisseur Analogique Numérique :**

Le dernier composant dans le chemin du circuit de mise-en-forme est l'ADC. Ce composant est dédié à la conversion d'un signal analogique en des échantillons numériques. Il y'a une grande variété de convertisseur disponible dans le marché avec un ensemble important de paramètres pour chacun d'eux. Les paramètres clés à considérer pour la caractérisation d'un tel ou tel ADC sont [29]:

- Le nombre de bit de l'ADC.
- La fréquence d'échantillonnage maximale.
- La bande passante du signal analogique d'entrée.
- La gamme de l'entrée analogique.

- **Traitement du signal en bande de base**

Cet étage permet de faire la démodulation du signal reçu, le calcul des mesures brutes de la distance, la vitesse, et l'angle d'arrivée. Dans le cas de réception Galileo, ce circuit contient

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

des canaux de réception qui effectuent les mesures sur le signal « pseudo distances, pseudo vitesses, rapport signal sur bruit, données, ...etc. ».

Il contient des générateurs de codes satellites, des corrélateurs de code et de phase et il est généralement géré par un microprocesseur [28][29].

- **Processeur de Navigation**

Ce dernier est chargé de traiter le message d'information, d'effectuer le filtrage et la correction des mesures faites par l'étage de traitement de signal. Il permet de déterminer les coordonnées du récepteur [20].

### **II.12 Canaux de réception Galileo :**

Dans la mesure où la composition détaillée des canaux de réception Galileo El sera décrite dans les sections suivantes, seule une vue d'ensemble de ces canaux est présentée ici.

Initialement, les canaux de réceptions peuvent suivre trois scénarios différents, selon les circonstances [20]:

A/ Le démarrage à froid. Le récepteur est éteint depuis une longue période. Il ne connaît donc pas les satellites en vue, ni leurs paramètres relatifs (fréquence Doppler, décalage sur le code). Les canaux de réception doivent alors commencer par rechercher les satellites visibles par le récepteur.

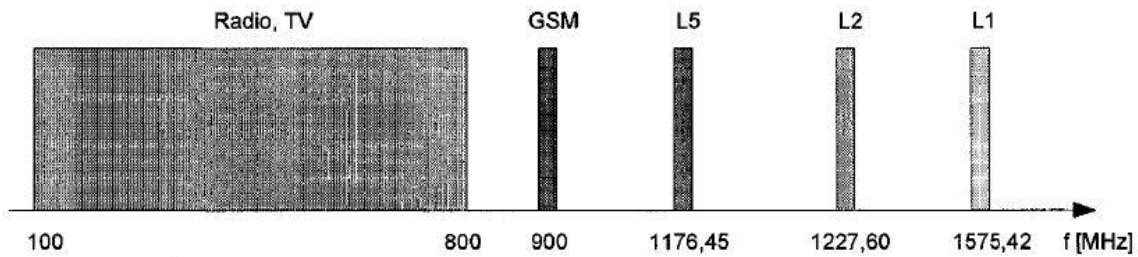
B/ le démarrage tiède. Le récepteur n'est éteint que depuis quelques heures. Il a donc une idée des satellites visibles et une estimation plus ou moins précise de leurs paramètres. Les canaux de réception commencent alors par rechercher en priorité ces satellites.

C/ le démarrage à chaud. Le récepteur connaît avec précision les satellites en visibilité et leurs paramètres. Les canaux de réception peuvent alors rapidement retrouver les signaux émis par ces satellites visibles.

### **II.13 Traitement RF dans le récepteur Galileo**

Une fois les signaux récupérés par l'antenne, la partie RF permet de les traiter afin d'en préparer la conversion analogique/numérique. Le premier filtre passe-bande a pour objectif de

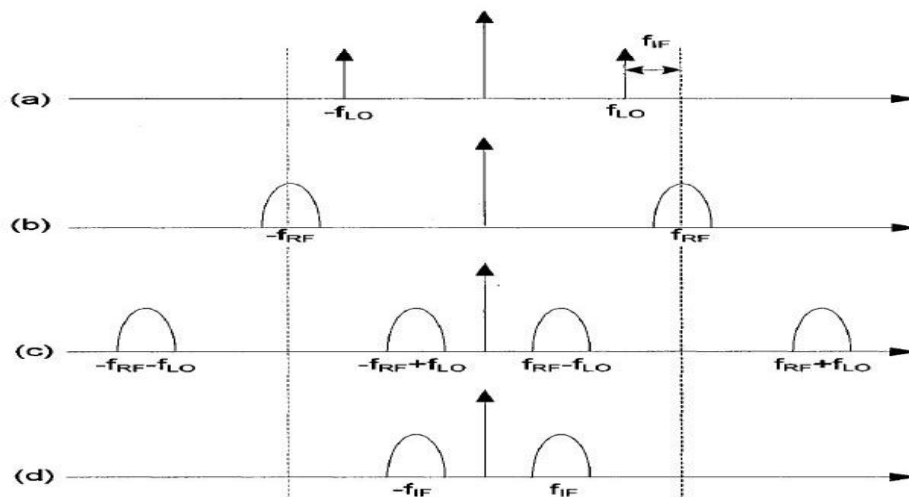
supprimer les interférences produites par la présence de signaux sur des bandes de fréquences proches. En effet, comme le montre la Figure suivant :



**Figure II. 21:** Occupation spectrale de quelques signaux RF [29].

De nombreux signaux radio occupent des plages de fréquences voisines. Ces derniers peuvent donc perturber les signaux Galileo de la bande E1. Quant à l'amplificateur à faible bruit ou LNA (Low Noise Amplifier) qui suit, il permet d'augmenter l'amplitude du signal reçu par l'antenne. Ses caractéristiques (gain, linéarité) au regard des performances finales du récepteur sont essentielles [29].

La conversion descendante permet ensuite de ramener la fréquence du signal RF  $f_{RF}$  de 1575,42 MHz pour la bande de fréquence L1 à une fréquence intermédiaire  $f_{IF}$  de quelques MHz. Des oscillateurs locaux, générés à partir de l'oscillateur de référence et d'un synthétiseur suivant :



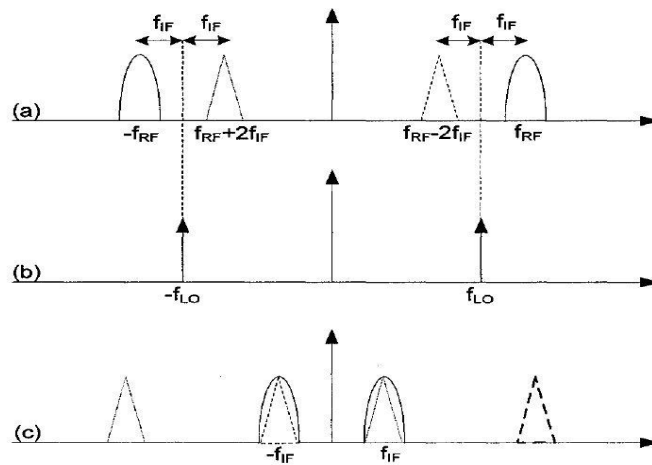
**Figure II. 22:** Principe de la conversion descendante [29].

La fréquence de l'oscillateur local  $f_{LO}$  est telle que :

$$f_{LO} = f_{RF} - f_{IF} \quad \text{II.51}$$

Le signal en (a) représente la transformée de Fourier de la sortie de l'oscillateur local. Le signal en (b) est la transformée de Fourier du signal RF issu de l'antenne et après le premier filtrage. Le signal en (c) est le résultat du mixage entre les deux signaux précédents, correspondant à la convolution de leurs transformées de Fourier. Après un dernier filtrage passe-bas pour ne conserver que les basses fréquences. Le signal final en fréquence intermédiaire  $f_{IF}$  est tel que présenté en (d).

L'apparition de fréquences images dans la bande de fréquence intermédiaire représente une source de bruit supplémentaire pouvant entraîner des difficultés dans la récupération des signaux Galileo. Ces fréquences images sont issues de la conversion descendante et apparaissent de la manière qui est dans la figure suivante :



**Figure II. 23:** Apparition de fréquences images au cours de la conversion descendante [29].

Les bandes de la fréquence image, illustrées par les triangles en (a), sont présentes au voisinage de la fréquence du signal RF. Après mixage avec l'oscillateur local (b), le signal IF est confondu avec les fréquences images (c). Celles-ci agissent comme une source de bruit vis-à-vis du signal utile. Pour empêcher les fréquences images de nuire au signal IF, il est nécessaire de les filtrer de manière efficace en amont [20].



### II.14 Conversion analogique à numérique

Assurant l'échantillonnage du signal analogique IF précédent, le convertisseur analogique à numérique est spécifique à partie Galileo. En effet, sa fréquence d'échantillonnage minimale  $f_{sMin}$  est liée à la bande passante  $\Delta f$  du signal concerné selon l'équation suivant [20]:

$$f_{sMin} = 2\Delta f \quad \text{II.52}$$

Dans le cas où le signal est issu d'une conversion descendante à la fréquence  $f_{IF}$ , la fréquence d'échantillonnage minimale du convertisseur est alors telle que :

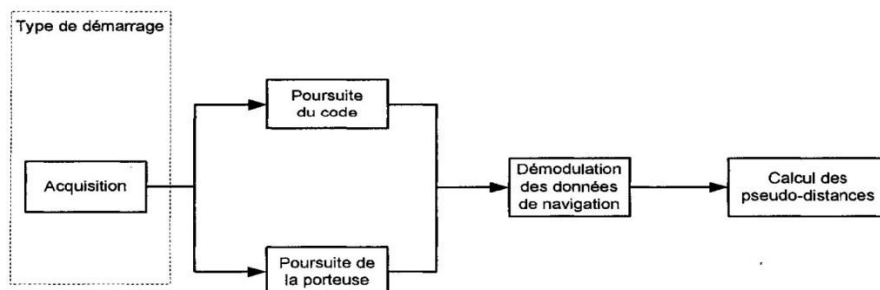
$$f_{sMin} = f_{IF} + \frac{1}{2}\Delta f \quad \text{II.53}$$

Les fonctions remplies par chaque canal de réception Galileo, sont les suivantes [20]:

A/ l'acquisition des signaux. Elle a pour objectif de déterminer quels satellites sont visibles pour le récepteur. Pour cela, un module d'acquisition recherche la présence d'un signal Galileo et en détermine les déphasages sur la fréquence introduits par la fréquence Doppler et les décalages sur le code.

B/ la poursuite des signaux. Une fois la présence d'un signal Galileo confirmée, le canal de réception doit le poursuivre pour en assurer la démodulation. Pour cela, il fait notamment intervenir une boucle de phase (PLL) et une boucle de code (DLL).

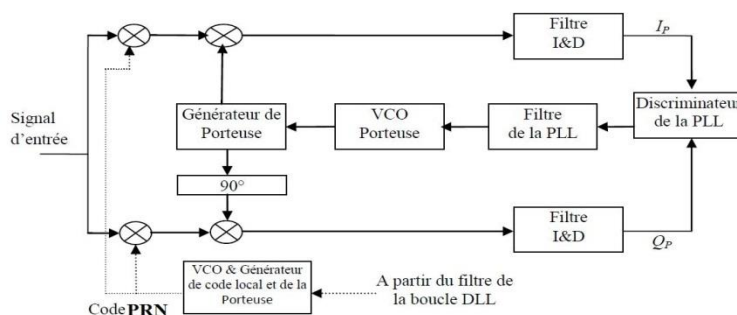
C/ la démodulation des données de navigation. Lorsque le signal est finalement poursuivi, le canal de réception récupère le message de navigation et en extrait les paramètres qu'il contient (correction d'horloge, almanachs, éphémérides). Il peut ainsi déterminer les pseudo-mesures [20].



**Figure II.24:** Schéma bloc simplifié d'un canal de réception [20].

- **Structure générique d'une boucle PLL**

Une architecture générique de la PLL est présentée sur le schéma de la figure ses dessous. Comme l'illustre cette figure, le signal d'entrée, filtré par l'étage de mise-en-forme, est en premier lieu multiplié par une réplique du code d'étalement venant de la boucle DLL [29].

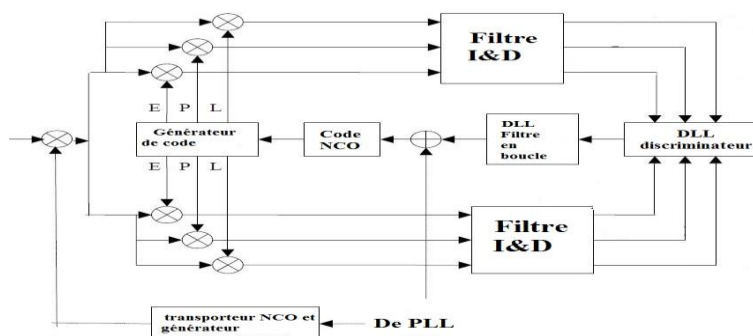


**Figure II.25:** Architecture d'une PLL générique [29].

Le signal est alors divisé en deux branches. Une branche est multipliée par une porteuse locale qui est en phase, et l'autre par une porteuse locale qui est en quadrature (décalé de  $90^\circ$ , par rapport à la réplique de la porteuse en phase). Ceci permet la suppression de la porteuse et le suivi des variations de phase dues au changement du temps de propagation du signal entre le satellite et le récepteur. Pour réaliser ceci, la PLL utilise un discriminateur de phase pour évaluer l'erreur de phase demeurant après la multiplication par la porteuse locale [29].

- **La boucle de verrouillage de délai de code DLL**

L'objectif de la DLL (code Delay lockedloop) est de maintenir à zéro l'erreur de délai entre la réplique de code générée localement et le code de signal entrant. Tout désalignement produit un retard non nul, qui est détecté et corrigé par la boucle de suivi de retard suivante :



**Figure II.26:** Architecture d'une DLL [29].

Après l'étape d'effacement de la porteuse de signal d'entrée, les composantes en phase et en quadrature résultantes sont multipliées par trois répliques de séquence d'étalement retardé :

une invite, une en avance et une en retard, qui sont décalées dans le temps. Les signaux résultants sont filtrés par des filtres "Integrate and Dump" qui fournissent six valeurs de corrélation à leurs sorties. Les valeurs de corrélation sont ensuite combinées dans un discriminateur de retard de code qui estime l'erreur de retard de code. De la même manière que pour le PLL, la sortie du discriminateur est filtrée et envoyée au code NCO, qui fournit, grâce au générateur de code, le code local mis à jour, en tenant compte de l'erreur de retard estimée [19].

Quant à la PLL, le rôle du discriminateur est extrêmement important. Il existe différents types de discriminateurs. Les plus couramment utilisés sont présentés :

Algorithme discriminateur	Caractéristiques
$(I_E - I_L) \cdot I_P + (Q_E - Q_L) \cdot Q_P$	Produit en points
$(I_E^2 + Q_E^2) - (I_L^2 + Q_L^2)$	Tôt moins Tard Puissance tardive

**Tableau II.8: Les discriminateurs de DLL les plus courants [19].**

Ces deux discriminateurs sont insensibles aux erreurs de phase des porteuses, ce qui est extrêmement intéressant du point de vue de la robustesse du suivi.

Une fois le suivi de la porteuse réalisé, les bits de données démodulés seront convertis en données de navigation par appariement de sous-frames et vérification de parité. A partir des sous-cadres, les données éphémérides peuvent être extraites. Les pseudo-distances entre le satellite et le récepteur peuvent également être déterminées, puis la position du satellite peut être trouvée en utilisant les données éphémérides. Une fois toutes les informations nécessaires obtenues, la position de l'utilisateur peut être calculée [19].

### II.15 L'expression du signal reçu

Pour les k satellites reçus, l'expression du signal reçu et numérisé en bande de base est [30]:

$$S(n) = \sum_k A^{(k)}(n) \times c^{(k)}(nT - n\tau^{(k)}(n)) \times d^{(k)}(nT - \tau^{(k)}(n)) \times e^{j(-\varphi^{(k)}(n) + \theta)} + n(n) \quad \text{II.54}$$

Avec :

- n : instant d'échantillonnage
- $A^{(k)}$ : Amplitude du signal reçu.

## Chapitre II : Caractéristique des signaux Galileo

- $\tau^{(k)}$  : Déphasage des signaux dû au temps de propagation entre l'émetteur et le récepteur
- $\varphi^{(k)}(n)$  : Phase de la porteuse résiduelle
- $\Theta$  : phase de la porteuse à l'origine ( $n=0$ ).
- $n(n)$  : Bruit de la chaîne de démodulation rapporté à l'entrée du récepteur.

En considérant que la vitesse radiale satellite-récepteur est constante entre deux instants d'échantillonnage,

La phase de la porteuse résiduelle est calculée à partir de la fréquence Doppler  $f_d$

$$\varphi^{(k)}(n) - \varphi^{(k)}(n-1) = 2\pi f_d^{(k)} \times T \quad \text{II.55}$$

$$\varphi^{(k)}(n) = 2\pi f_d^{(k)} \times n \times T + \varphi^{(k)}(0) \quad \text{II.56}$$

De la même façon, nous avons pour le retard (en négligeant le Doppler sur le code) :

$$\tau^{(k)}(n) - \tau^{(k)}(n-1) = 0 \quad \text{II.57}$$

$$\tau^{(k)}(n) = \tau^{(k)} \quad \text{II.58}$$

En considérant un intervalle de temps suffisamment petit pour que l'hypothèse de la vitesse radiale constante soit valide, nous pouvons remplacer (II.56) et (II.58) dans (II.55). L'expression du signal est alors :

$$S(n) = \sum_k A^{(k)}(n) \times c^{(k)}(nT - n\tau^{(k)}(n)) \times d^{(k)}(nT - \tau^{(k)}(n)) \times e^{j(-\varphi^{(k)}(n) + \theta)} + n(n) \quad \text{II.59}$$

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques du signal Galileo. Les formes d'onde BPSK et BOC proposées pour transmettre les différents signaux Galileo ont également été exposées. En outre, les principales propriétés de la forme d'onde BOC et nous avons présenté les composantes essentielles d'un récepteur Galileo 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 E1 provenant du satellite et le signal généré par le récepteur Galileo.

# **Chapitre III: Simulation Et Résultats.**

### **III.1 Introduction :**

Le signal Galileo E1 comprend deux composantes E1-B et E1-C. Sa fréquence porteuse est de 1575,42 MHz. Les composantes de signal E1-B et E1-C sont respectivement une composante de données et une composante pilote. Le signal E1 fournit le message I / NAV et prend en charge le service de sécurité de la vie, l'intégrité du système Galileo et le service ouvert. Les simulations du récepteur sont basées sur une plateforme Matlab. Dans ce chapitre nous présenterons les différentes caractéristiques du signal Galileo E1 (générateur du signal Galileo-E1 et message de navigation), en va utiliser le Matlab Simulink pour tous les blocs de ce système.

### **III.2 Partie 1 utiliser un USB SDR avec SRsharp:**

- **L'équipement de matériel**

RTL-SDR est un appareil de stick USB petit, compact et facile à utiliser qui est capable de recevoir des signaux radio RF. Les SDR représentent une valeur considérable par rapport aux radios traditionnelles entièrement matérielles [37].

Les applications SDR ont un d'affichage du spectre qui nous donne une vue en temps réel d'une large bande du cadran de la radio. Tandis que nous ne pouvons écouter qu'une fréquence à la fois avec les anciens récepteurs. Avec l'affichage du spectre, on peut voir quand les signaux apparaissent ou disparaissent sans être réellement syntonisés [37].

Pour utiliser RTL-SDR USB, on a besoin :

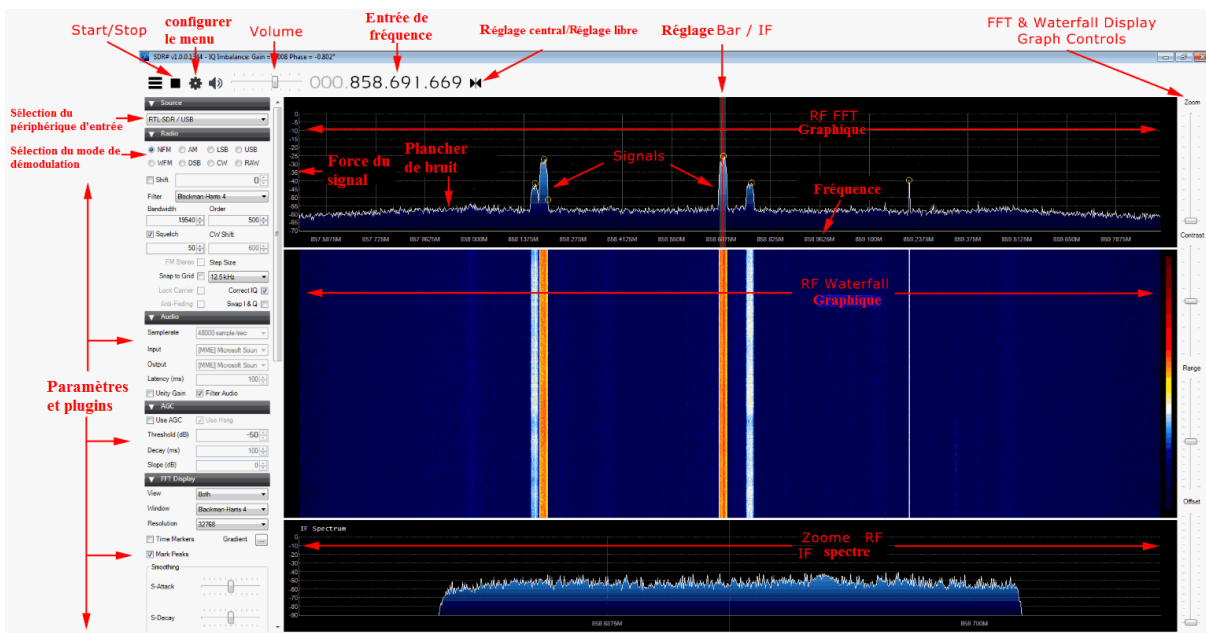
- Antenne.
- package Rtl-sdr.
- SDRsharp (logiciel).
- Zadig(logiciel)

Package rtl-sdr est un programme récepteur de radio logicielle (SDR) pour certains dongles USB DVB-T/DAB(+) à bas coût basés sur le modèle de puce Realtek RTL2832U. L'outil qui nous intéresse est 'rtl\_sdr.exe' (rtl\_tcp : un serveur de spectre de signal en quadrature (I/Q) pour les récepteurs DVB-T basés sur le RTL2832).



**Figure III.1 : USB SDR, Antennes GPS.**

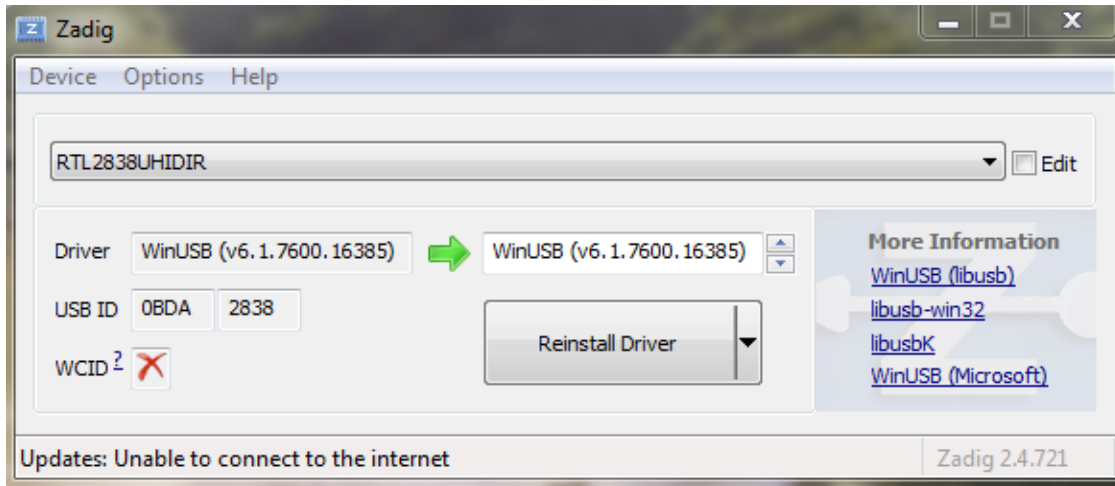
La radio définie par logiciel (SDR) est un système de communication radio appelé SDRsharp. Le SDRsharp est un logiciel gratuit, facile à utiliser. C'est le logiciel le plus populaire compatible avec RTL-SDR sous la plateforme Windows. On utilise le SDRSharp pour recevoir un signal FM connu. La fréquence centrale indiquée sera différente du signal sur l'oscilloscope.



**Figure III.2: Logiciel SDRsharp.**

- **Branchement du matériel**

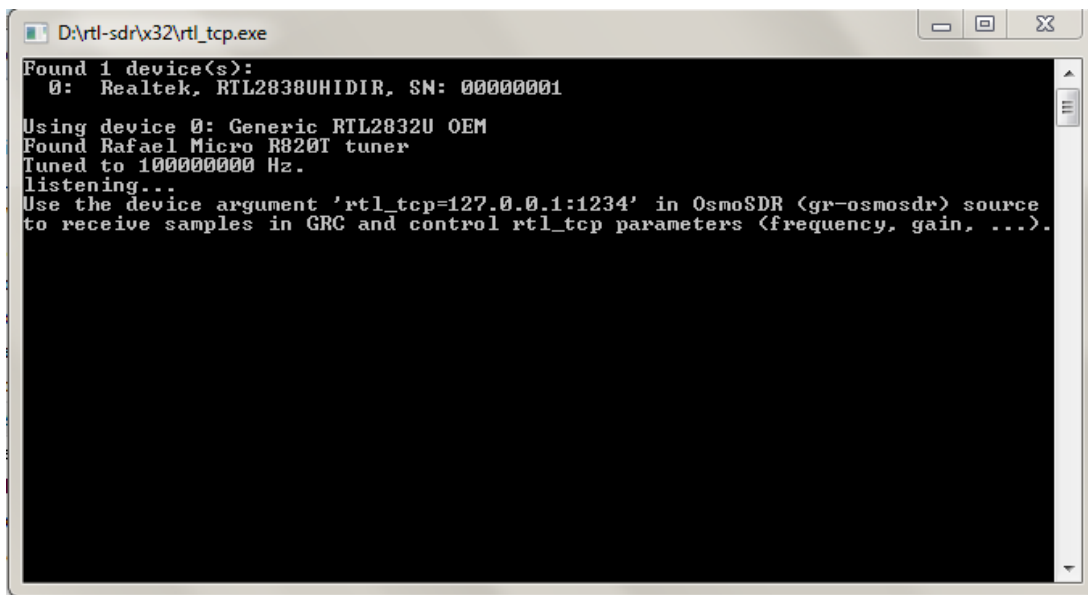
Une fois que l'USB SDR est en communication avec l'ordinateur personnel lancez logiciel « zadig » (pouvez télécharger sur <https://zadig.akeo.ie/> ) click sur « Option » suit « List All Devices » choisir votre clé RTLxxx puis « Reinstall Driver » .



**Figure III.3:** Zadig programme.

On passe pour l'installation de notre logiciel SDRsharp téléchargement le package sur <https://airspy.com/downloads/sdrsharp-x86.zip> et le décompresser, puis lancez le fichier « install-rtlsdr » attendez quelque seconde pour télécharger des mise à jour.

Suit décompresser le package Rtl-sdr et lancer rtl\_tcp.exe :

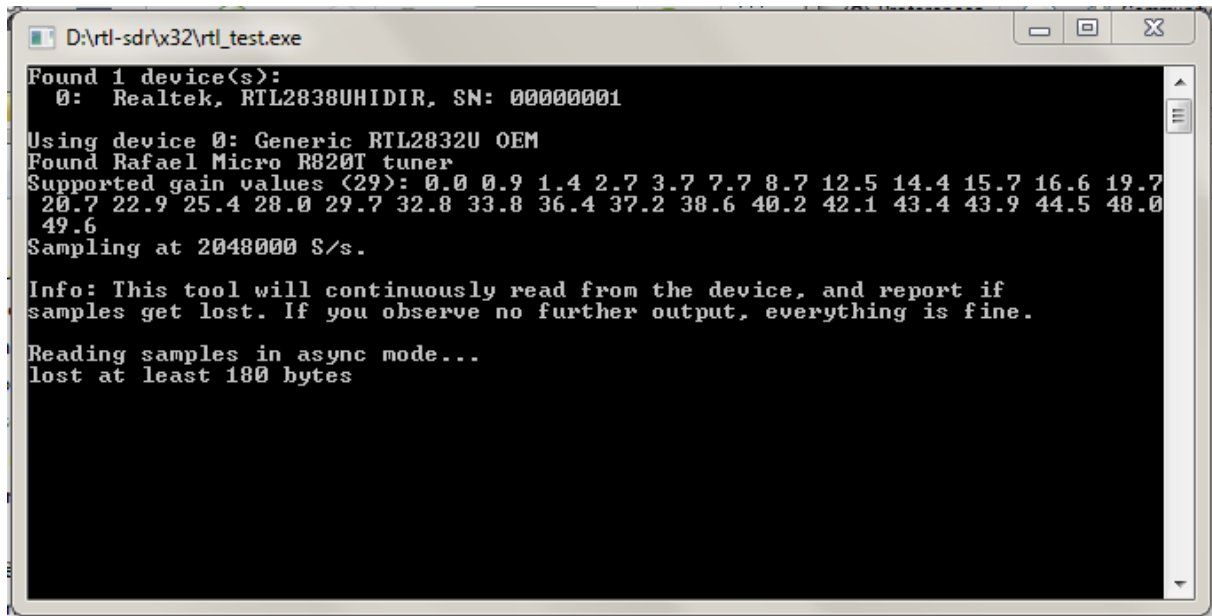


**Figure III.4** Résultat d'exécuter rtl\_tcp.



Nous remarquons qu'il a trouvé le périphérique (USB SDR), la fréquence est prise 100MHz, l'adresse IP est '127.0.0.1' avec un numéro de port 1234.

Pour tester est ce que notre USB SDR fonctionne correctement, on peut lancer aussi le rtl\_test.exe :



```
D:\rtl-sdr\x32\rtl_test.exe
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.

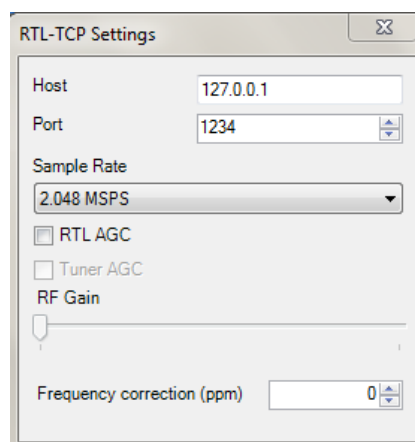
Info: This tool will continuously read from the device, and report if
samples get lost. If you observe no further output, everything is fine.

Reading samples in async mode...
lost at least 180 bytes
```

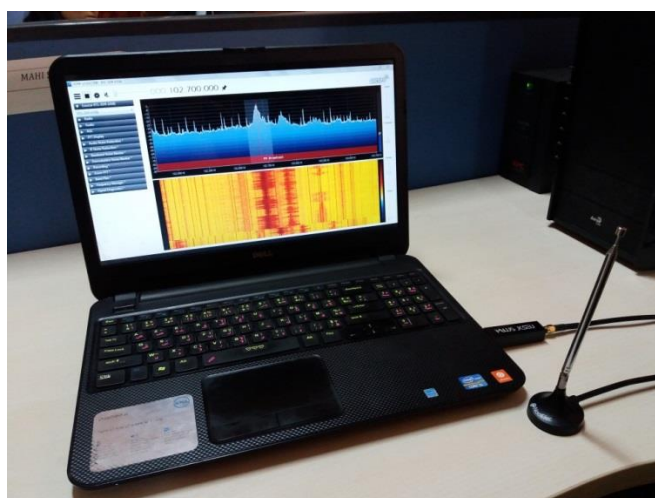
**Figure III.5 :** Résultat d'exécuter rtl\_test.

Nous remarquons les résultats de la figure précédente nous constatons que nos pilotes et notre USB RTL-SDR fonctionnent correctement.

Sur notre logiciel SDRsharp on utilise le périphérique RTL-SDR(TCP) puis on a configuré les paramètres comme suit :



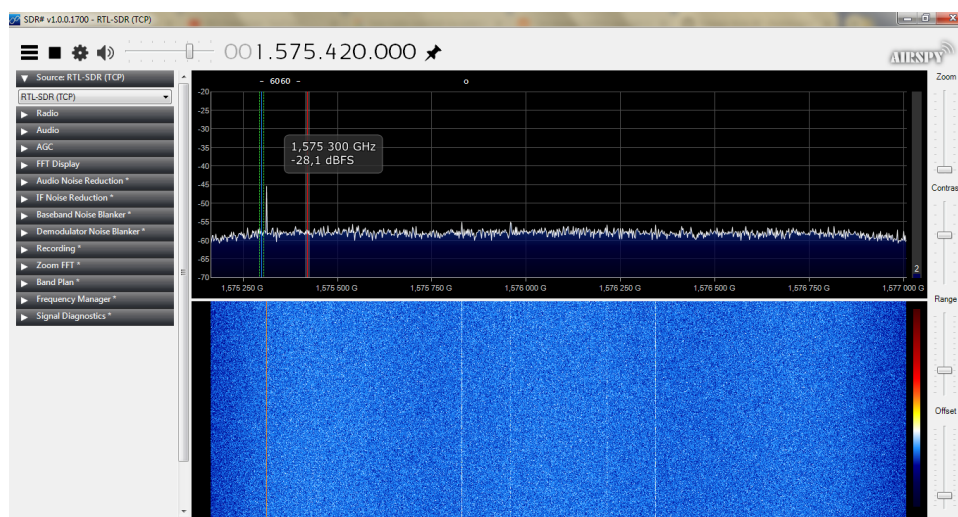
**Figure III.6:** configuration de paramètre.



**Figure III.7 :** réception d'un signal radio (fréquence 102,7 MHz).

La fréquence Galileo E1 est 1,57542 GHz (Pour recevoir notre signal Galileo E1 on va utiliser une antenne GPS model GPS-001, fréquence= 1575,42 MHz).

Si nous fixons la fréquence du signal Galileo E1=1575.42 MHz le SDRsharp nous montre cette figure :



**Figure III.8 :** SDRsharp programme.

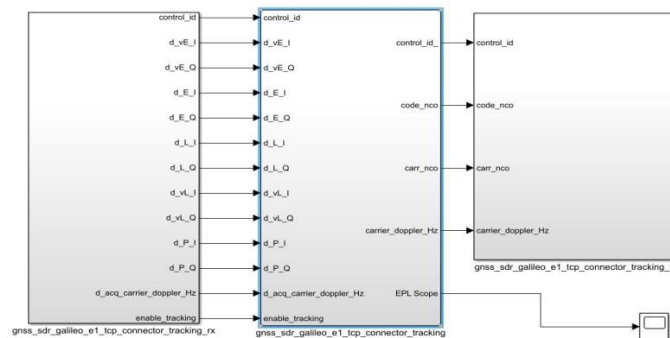
Notez également que la plupart des RTL-SDR ne parviennent pas à recevoir au bout de quelques minutes à des fréquences supérieures à environ 1,3 GHz en raison de problèmes de chaleur, aussi la majeure partie de ce signal est très faible et inférieure au bruit de fond. Si vous essayez d'afficher le spectre du Galileo en SDRsharp, vous constaterez que vous ne verrez pas grand-chose.

### III.3 Partie 2 utiliser Matlab Simulink

Dans cette partie, nous avons proposé de modéliser le récepteur Galileo/GNSS par la technique de conception à basse de model (Model Based Design), pour cela nous avons organisé notre travail comme suit :

Dans un premier temps, nous avons proposé trois (03) grand blocs regroupant les fonctionnalités d'acquisition, de modélisation du signal Galileo, et le fonctionnement de poursuite.

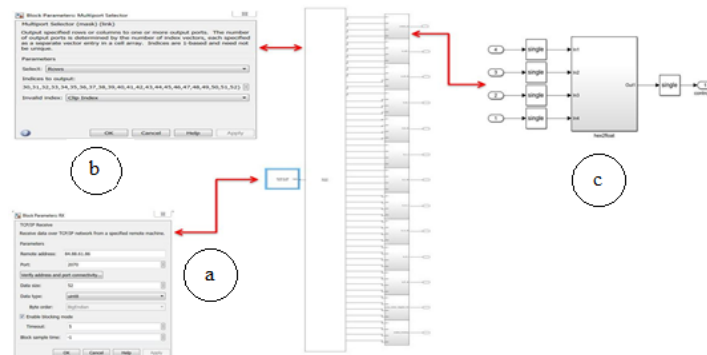
Dans un deuxième temps nous avons modélisé chaque bloc par des sous blocs, jusqu'aux blocs des fonctions de base.



**Figure III.9 :** Le model simulink d'un récepteur Galileo pour signal E1.

#### 1) GNSS SDR Galileo E1 tcp connector tracking rx :

Ce bloc est formé d'un bloc réception, un bloc Sélecteur Multiport et 13 sous bloc qui se répète.



**Figure III.10:** Continent d'un GNSS SDR Galileo E1 tcp connector tracking rx.

#### a) Le bloc de réception :

Le bloc de réception TCP / IP configure et ouvre une interface de notre adresse distante spécifiée à l'aide du protocole TCP / IP, ce bloc n'a pas des ports. Pendant l'exécution du

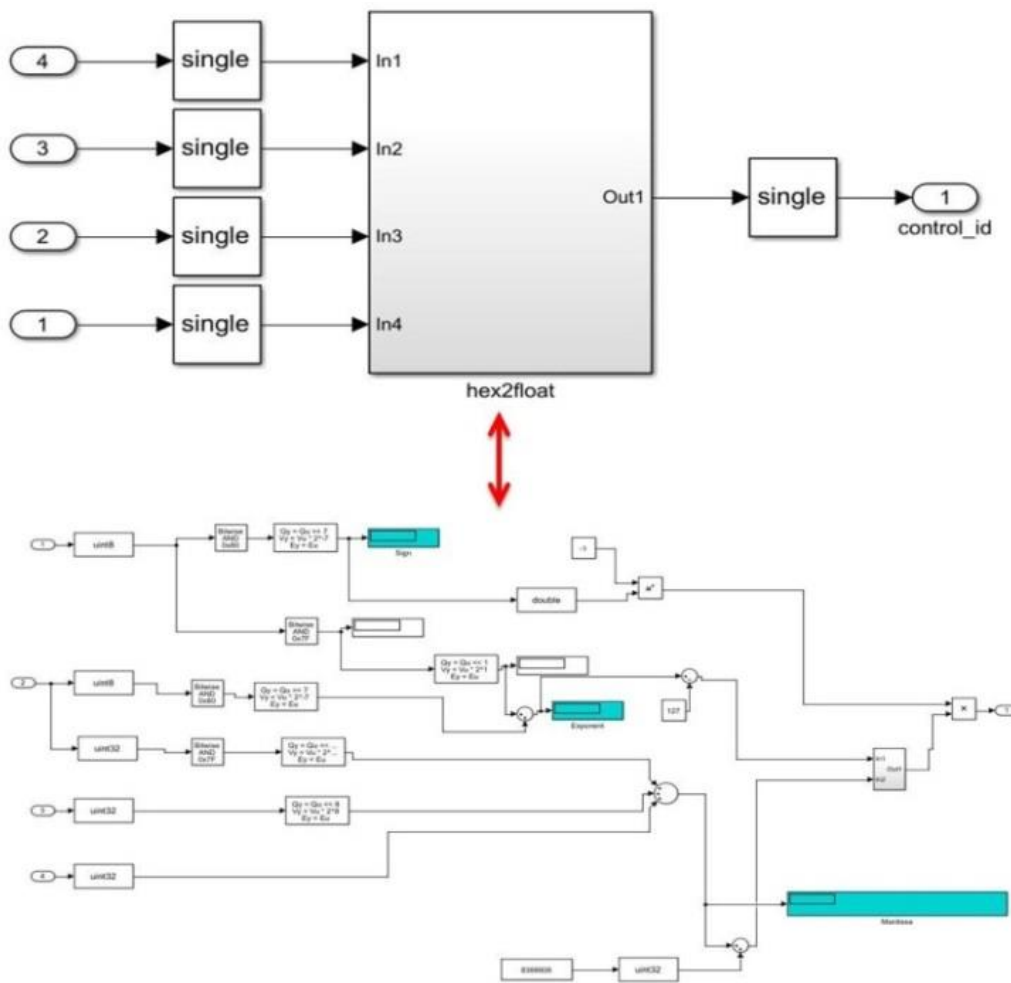
modèle, le bloc acquiert des données en mode blocage. , le bloc aura une porte de sortie correspondant aux données qu'il reçoit.

**b) Le bloc Sélecteur Multiport :**

Le bloc Sélecteur Multiport extrait plusieurs sous-ensembles de lignes ou de colonnes de la matrice u d'entrée M-par-N, et propage chaque nouvelle sous-matrice à 52 portes de sortie distinct. Le bloc traite l'entrée vectorielle de longueur M non orientée comme une matrice M-par-1.

**c) Les sous-blocs :**

Le générateur contient les données réseaux qui est formé de 13 sous blocs, chaque sous bloc contient quatre entrées (il formé les données sous format de signal il va le codé sur 16 bits), cette sous bloc fait le convertisseur de hexadécimale vers les données format réel (c'est codé sur 32 bits (les variable réels)).



**Figure III.11:** Le schéma d'un sous-bloc.

## 2) GNSS SDR Galileo e1 tcp connector tracking.

Il compose des données analytique sous forme de complexe ; prendre le I dans la partie réel et le Q dans la partie imaginaire est donne un complexe. Le calcule de la valeur absolu (la valeur efficace) c'est un sens énergétique.

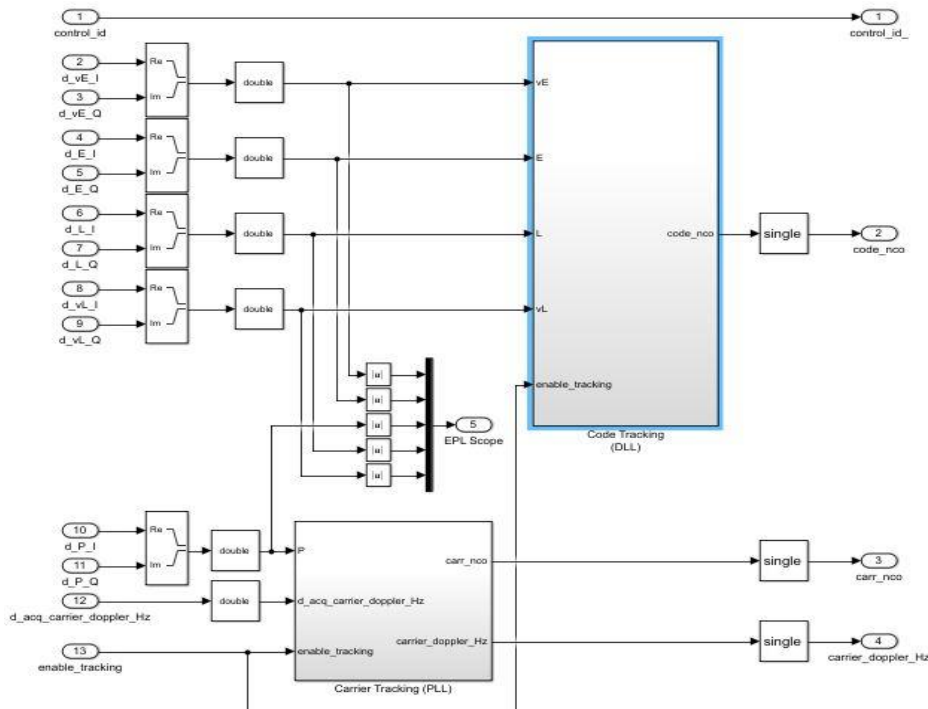


Figure III.12: GNSS\_SDR\_Galileo\_e1\_tcp\_connector\_tracking.

### a) Bloc DLL :

La boucle de code permet la diffusion spectrale. Pour ce faire, elle doit générer un code pseudo-aléatoire en phase avec celui qui est reçu.

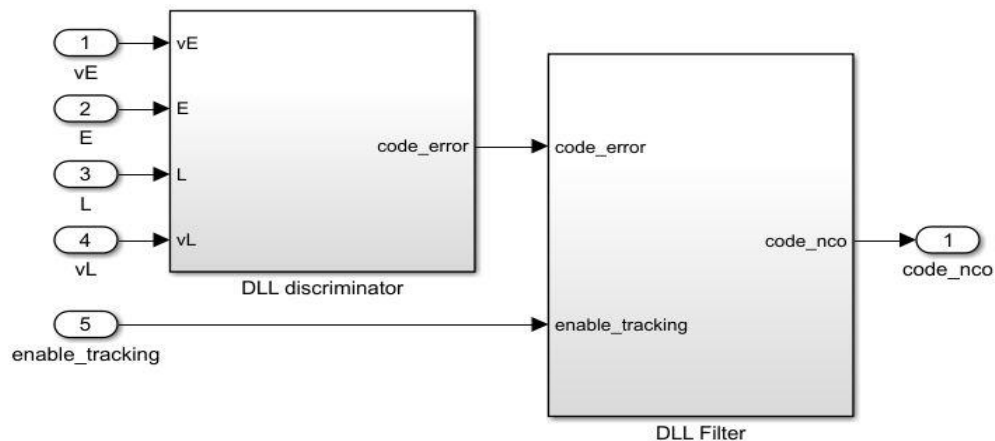
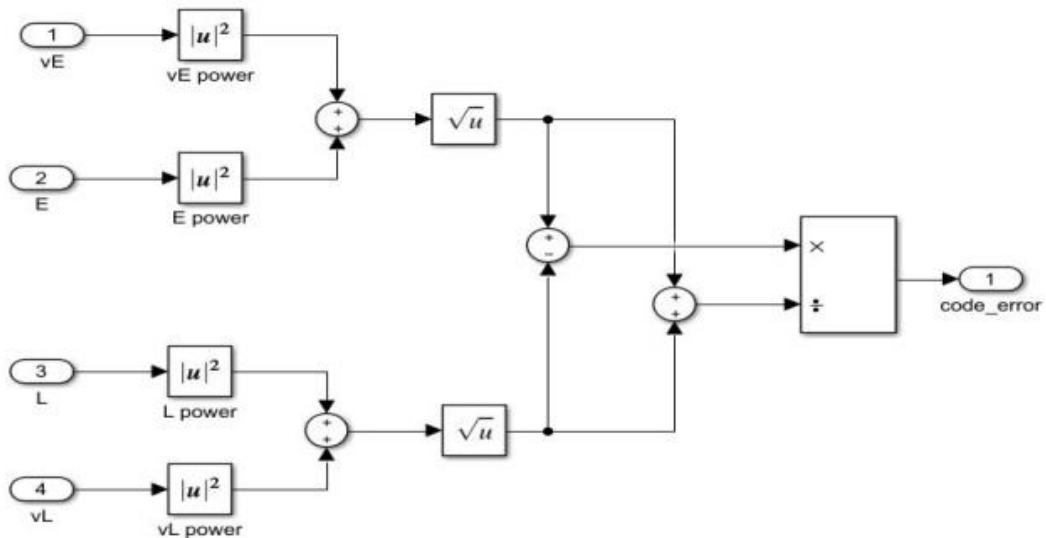


Figure III.13: Bloc DLL.

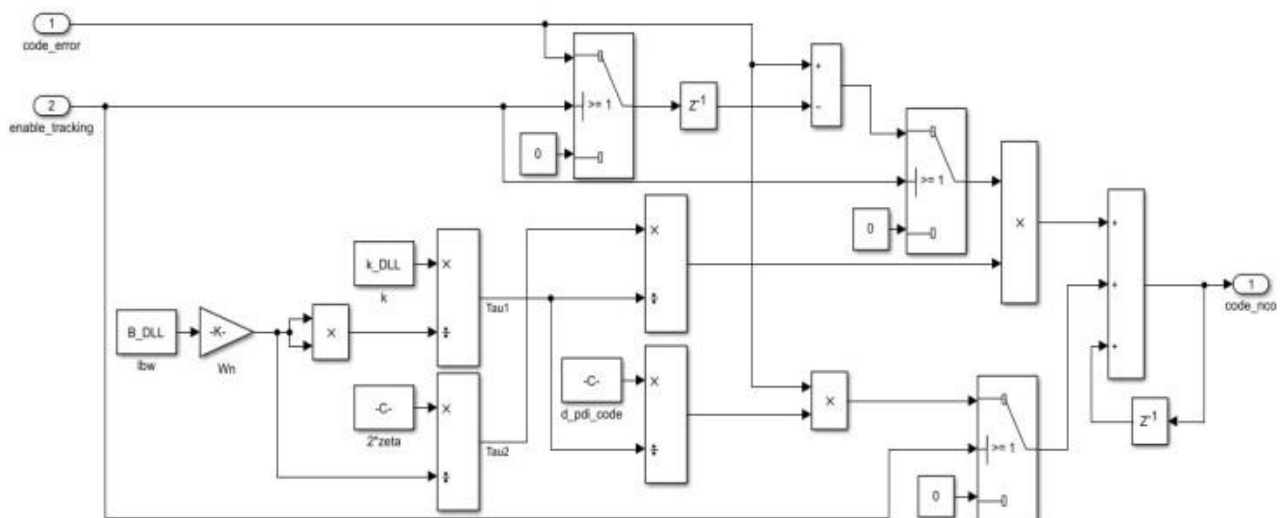
Cette boucle est devise sur deux blocs nécessaires :

- **Discriminateur DLL** : Ce discriminateur contient 4 entrées ( $vE$ ,  $E$ ,  $L$ ,  $vL$ ) et une sortie de code erreur. Le discriminateur DLL permet de trouver l'erreur de phase dans le code. En plus des signaux avance, la phase et le retard provenant du NCO de la boucle DLL.



**Figure III.14:** Discriminateur DLL.

- **Filtre DLL** : il contient deux entrées ; le premier est relié avec la sortie de DLL discriminateur (l'entrée pour le code erreur), la deuxième pour activer le suivi, et une sortie pour le code NCO qui est déterminant la fréquence du code est commandée par l'erreur calculée par le discriminateur DLL.



**Figure III.15:** Filtre DLL.

## b) Bloc PLL :

À l'entrée, notre signal est multiplié avec un signal en phase, aussi appelé la voie I, et un autre en quadrature, appelé la voie Q. Ces signaux passent à travers un filtre passe-bas afin d'éliminer les produits d'inter modulation de haute fréquence.

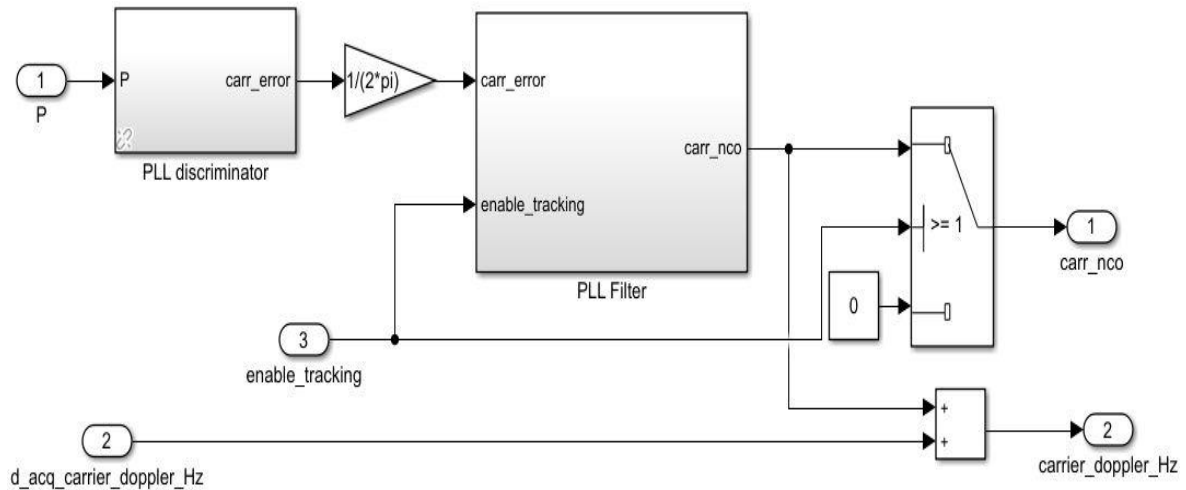


Figure III.16: Bloc PLL.

Cette boucle est devise sur deux blocs nécessaires :

- **Discriminateur PLL** : Le discriminateur permet de déterminer l'erreur de phase entre le signal en phase et le signal en quadrature au niveau de la porteuse.

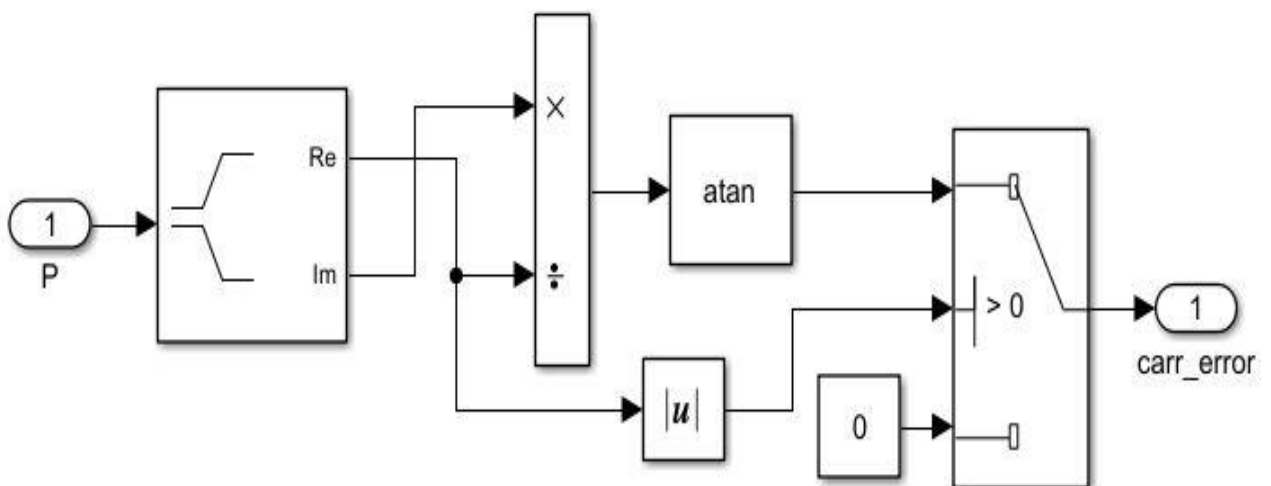


Figure III.17: Discriminateur PLL.

- **Filtre PLL** : Les filtres de boucle servent à réduire le bruit afin d'augmenter la précision de l'erreur de phase donné par les discriminateurs. Avec leurs coefficients typiques,

les filtres proposent un gain à 1' erreur de phase dont il faut tenir compte dans la conception de ces filtres. L'ordre des filtres vient en réponse au stress dynamique du signal et aide la récupération du signal original (dans le cas de la PLL, ce signal est la porteuse).

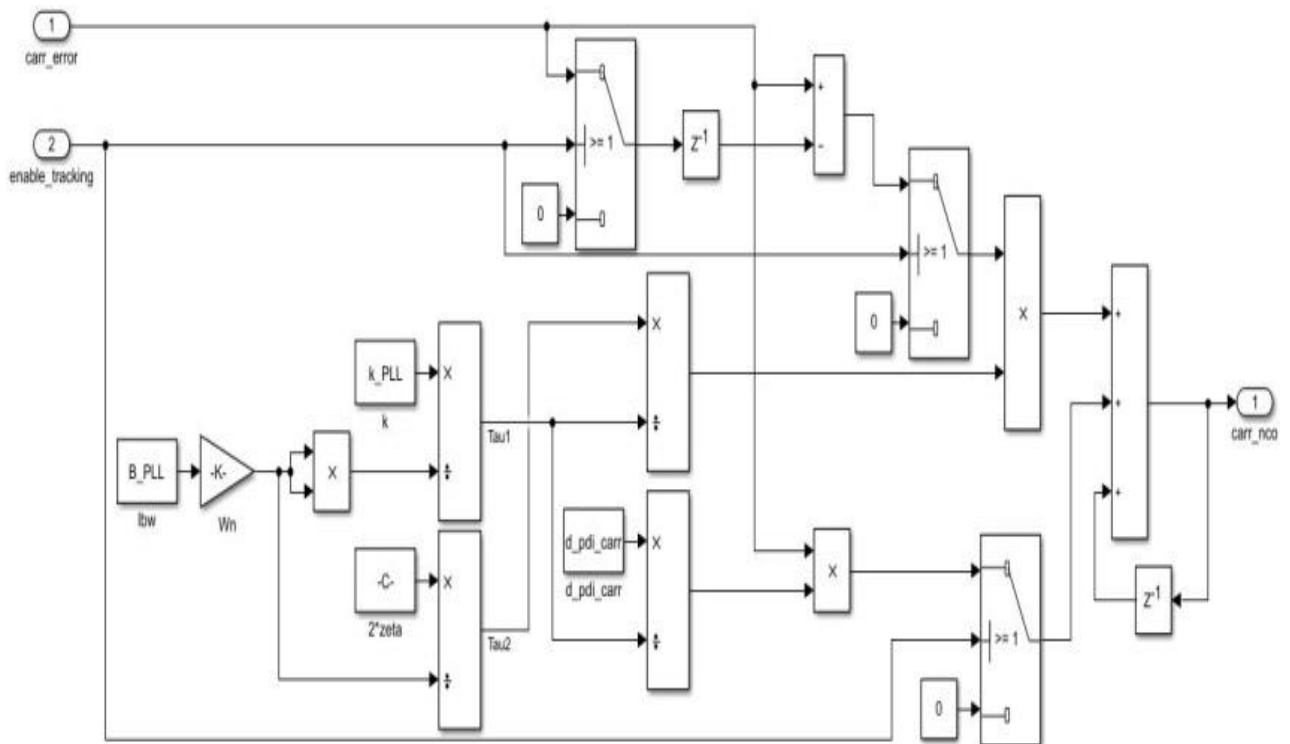


Figure III.18: Filtre PLL.

### 3) Tracking TX :

Dans le troisième bloc on va ajouter un multiplexage de 4 signaux traité

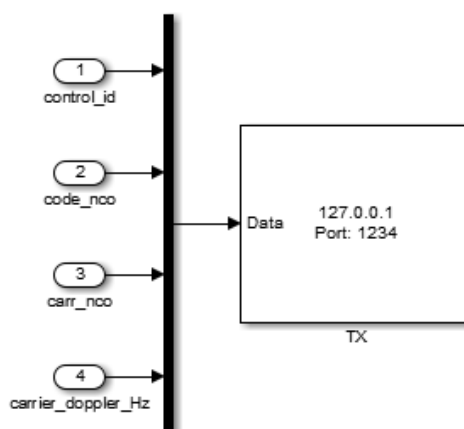
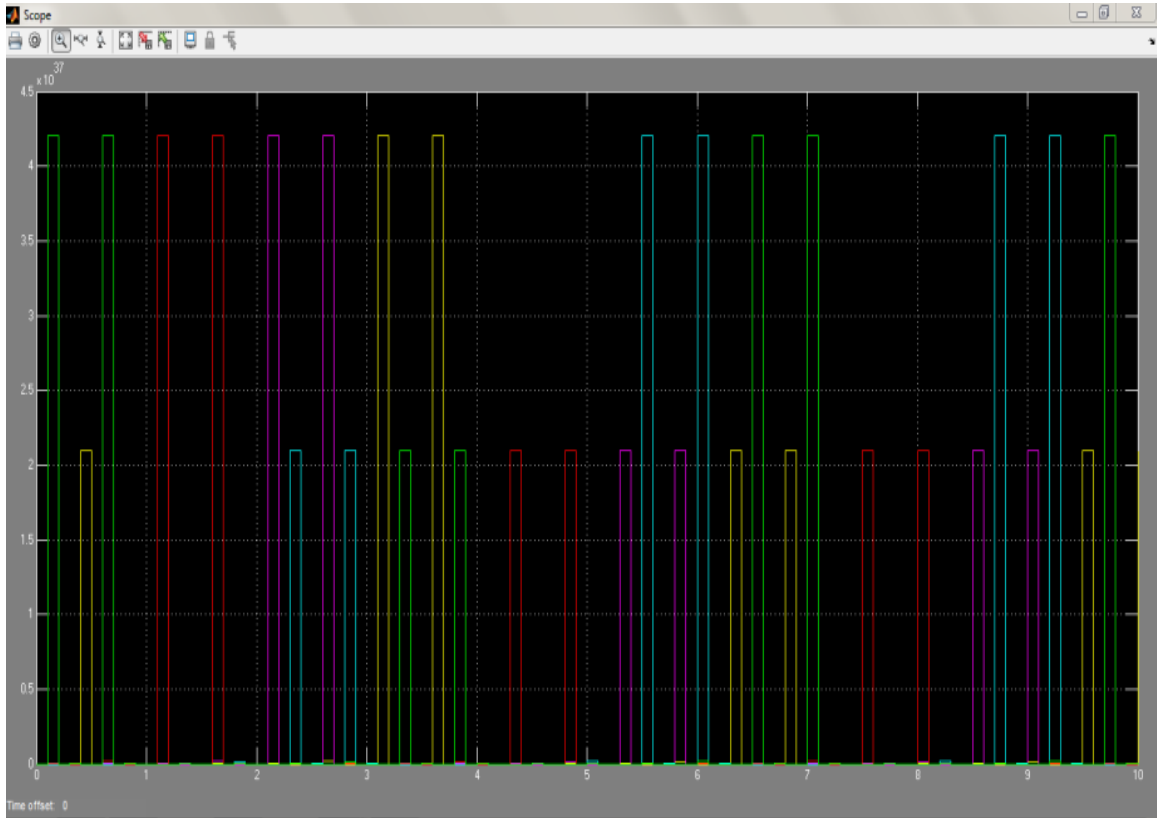


Figure III.19: GNSS\_SDR\_Galileo\_e1\_tcp\_connector\_tracking\_TX.



Pour la troisième étape, nous allons utiliser la clé RTL-SDR et le SDRSHARP en parallèle avec cette schéma block du GNSS, la clé SDR recette toujours connecté, on lance une autre fois le programme rtl-tcp.exe, fixerons la fréquence E1=1575,42 MHz, en même temps on lance la simulation sur matlabsimulink.



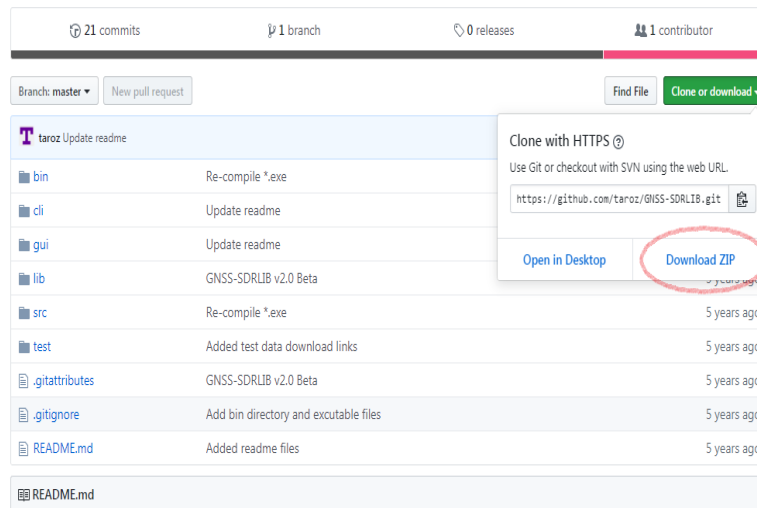
**Figure III.20:** Sortie du scope sur Matlab.

D'après cette figure on voit qu'il y'a 5 signaux, chaque signal est défini par une défférent couleur

#### **III.4 Partie 3 utiliser GNSS-SDRlib et RTLNAVI :**

La partie suivant montre comment recevoir et décoder des signaux Galileo et obtenir une coordonnée sur une carte de votre emplacement, en utilisant uniquement une clé RTL-SDR (avec polarisation en té) et notre antenne de fréquence 1575,42MHz.

Tout d'abord, on télécharge le package GNSS-SDRLIB « <https://github.com/taroz/GNSS-SDRLIB> », sur GitHub, cliquez sur le bouton vert "Cloner ou télécharger" sur la droite, puis cliquez sur "Télécharger le fichier ZIP".



**Figure III.21 :** GitHub programme.

Suit, on doit télécharger un autre package RTK-NAVI sur le site « [rtklib.com](http://rtklib.com) », de préférence de télécharger la dernière version.

Version	Date	Binary AP Package for Windows	Full Package with Source Programs
0.2.0	2006/12/16	-	<a href="#">rtklib_0.2.0.zip</a> (2.8MB)
1.0.0	2007/01/25	-	<a href="#">rtklib_1.0.0.zip</a> (10.5MB)
1.1.0	2007/03/20	-	<a href="#">rtklib_1.1.0.zip</a> (6.2MB)
2.1.0	2008/07/15	-	<a href="#">rtklib_2.1.0.zip</a> (22.9MB)
2.2.0	2009/01/31	<a href="#">rtklib_2.2.0_bin.zip</a> (10.7MB)	<a href="#">rtklib_2.2.0.zip</a> (23.4MB)
2.2.1	2009/05/17	<a href="#">rtklib_2.2.1_bin.zip</a> (15.3MB)	<a href="#">rtklib_2.2.1.zip</a> (30.6MB)
2.2.2	2009/09/07	<a href="#">rtklib_2.2.2_bin.zip</a> (21.4MB)	<a href="#">rtklib_2.2.2.zip</a> (33.8MB)
2.3.0	2009/12/17	<a href="#">rtklib_2.3.0_bin.zip</a> (26.7MB)	<a href="#">rtklib_2.3.0.zip</a> (35.8MB)
2.4.0	2010/08/08	<a href="#">rtklib_2.4.0_bin.zip</a> (17.4MB)	<a href="#">rtklib_2.4.0.zip</a> (26.5MB)
2.4.1	2011/06/11	<a href="#">rtklib_2.4.1_bin.zip</a> (16.5MB)	<a href="#">rtklib_2.4.1.zip</a> (26.4MB)
2.4.2	2013/04/29	<a href="#">rtklib_2.4.2_bin.zip</a> (30.4MB)	<a href="#">rtklib_2.4.2.zip</a> (55.2MB)

These are just old archives for recording. To download of the newest version, please visit the following GitHub links.

Version	Date	Binary APs for Windows	Source Programs and Data
2.4.2 p13	2018/01/29	<a href="#">GitHub</a>	<a href="#">GitHub</a>
2.4.3 b32	2019/05/13	<a href="#">GitHub</a>	<a href="#">GitHub</a>

**Tableau III.1:** version disponible de package RTK-NAVI.


Enfin, il manque un package pour activé et désactivé le tee biais, on télécharge sur le site « <https://github.com/taroz/GNSS-SDRLIB> ».

# Bias tee driver for Windows

rtlsdrblog released this on 16 Aug 2016 · 10 commits to master since this release

rtl\_biast allows you to turn the bias tee on or off on our V3 dongles.

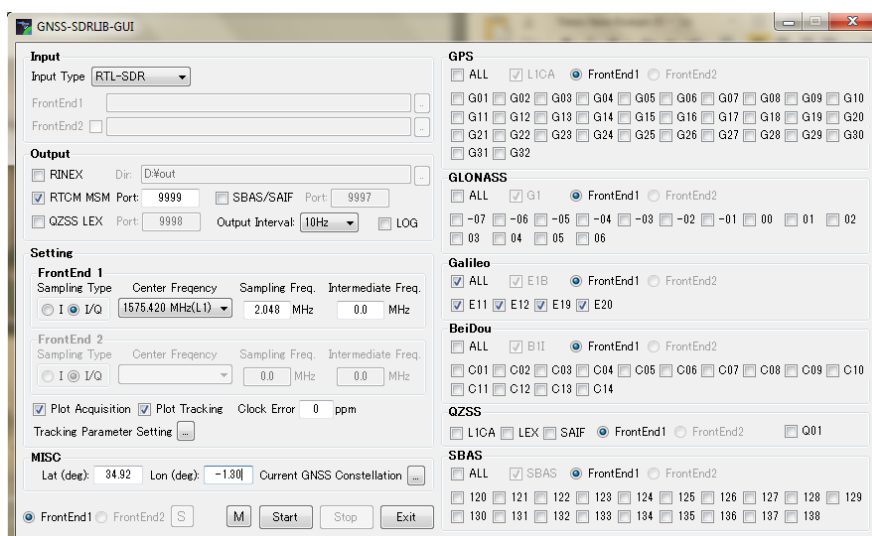
## ▼ Assets 3

 <a href="#">bt_driver.zip</a>	206 KB
 <a href="#">Source code (zip)</a>	
 <a href="#">Source code (tar.gz)</a>	

**Figure III.22:** Bias tee driver for Windows.

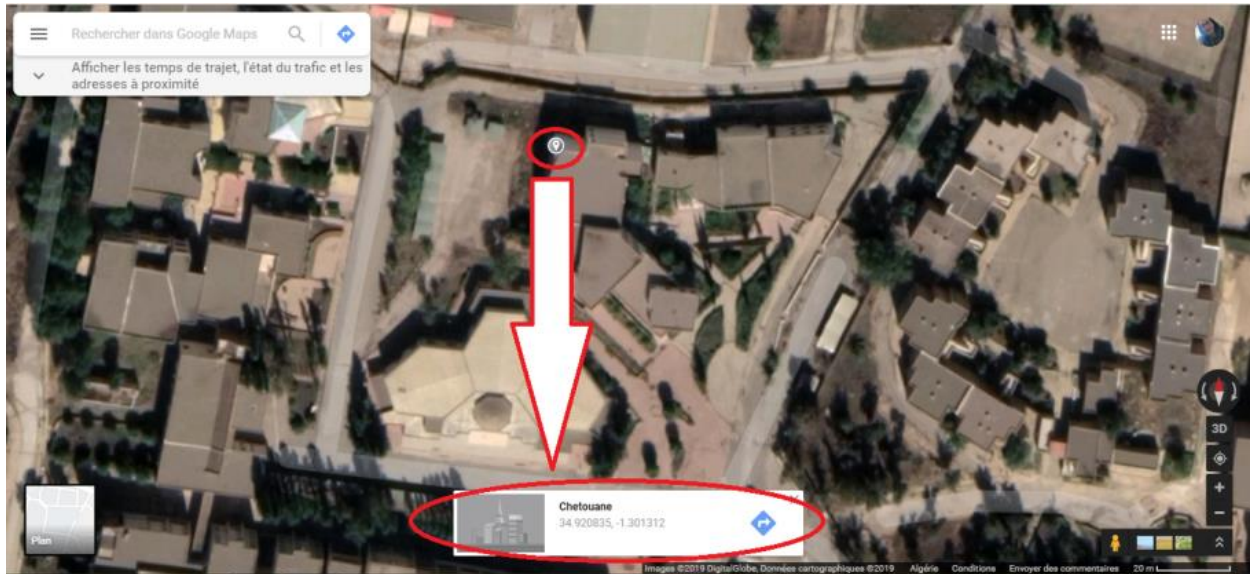
Après Extraire les fichier zip,et dans le dossier GNSS-SDRLIB, ouvrez gnss-sdrgui.exe, sera stocké dans le sous-dossier bin et sélectionnez les option suivantes :

1. Type d'entrée : RTL-SDR.
2. [x] RTCM MSM, port 9999
3. Changer la liste déroulante "output interval" à 10 hz
4. [x] Plot tracking
5. [x] Plot Acquisition
6. [x] les satellites Galileo



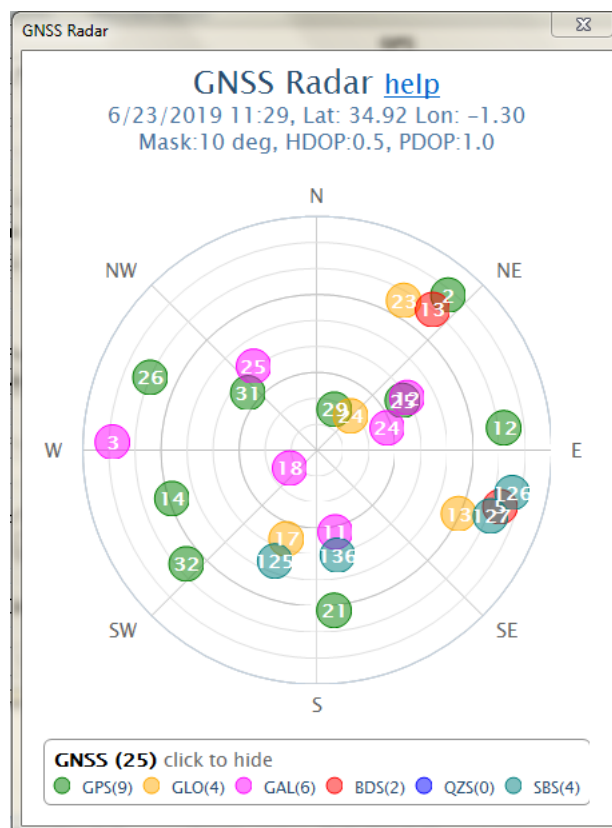
**Figure III.23:** GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Pour entrer la latitude / longitude approximative dans MISC vous pouvez utiliser Google maps.



**Figure III.24 :** La localisation de CHETOUANE sur Google maps.

Cliquez sur le bouton "... " pour obtenir les positions actuelles des satellites par rapport à votre position.



**Figure III.25 :** GNSS Radar.

- Appuyez sur Start, un certain nombre de consoles de commande s'ouvriront puis se fermeront pour chaque satellite suivi.
- Cliquez 'M'

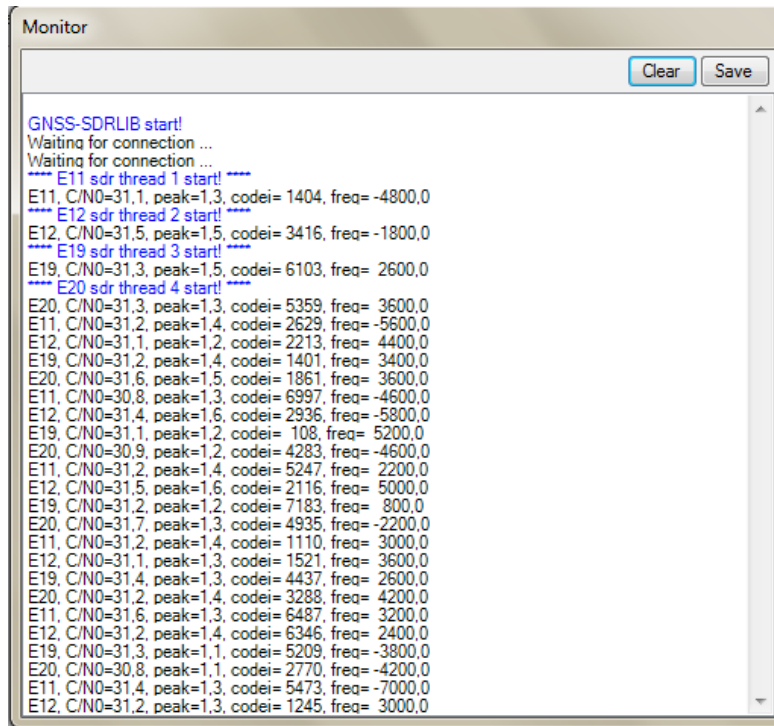


Figure III.26 : Monitor.

- Maintenant, ouvrez RTKNAVI et cliquez sur le bouton 'I'.

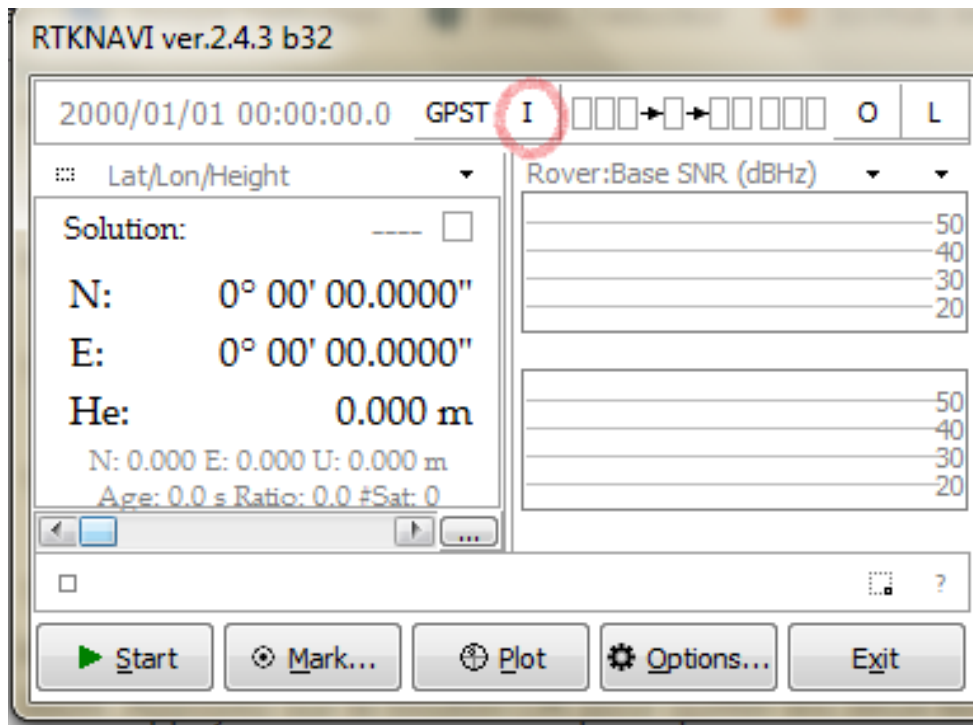
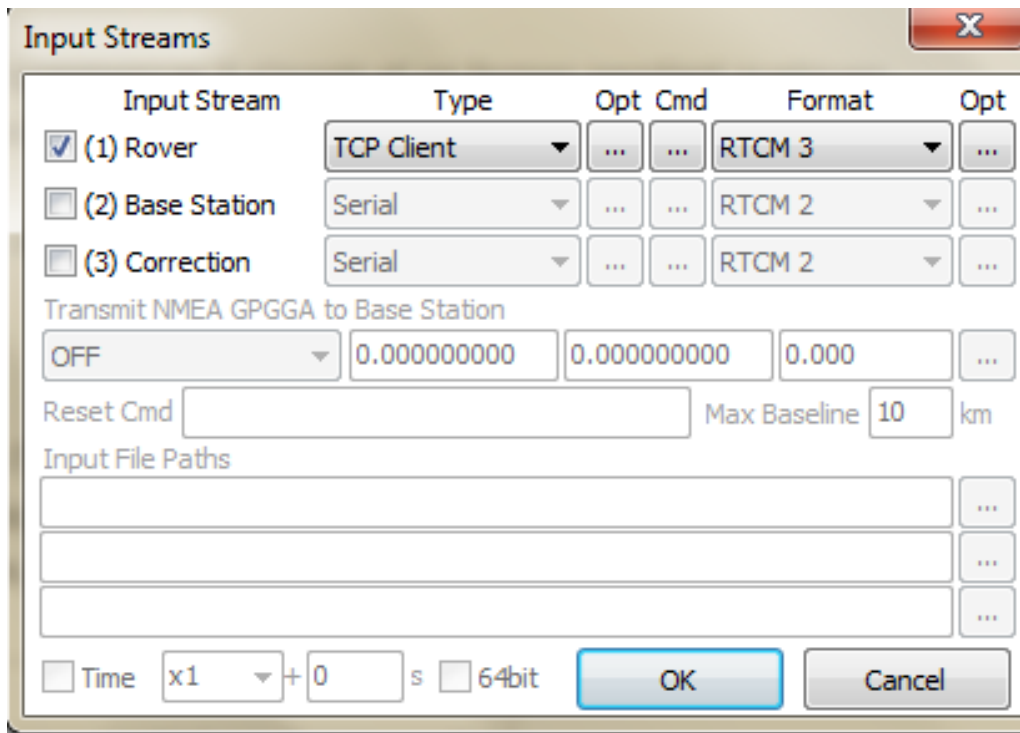


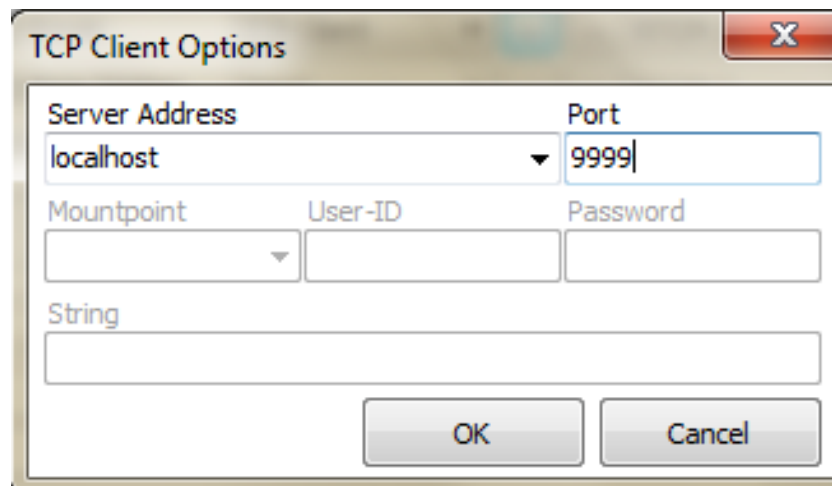
Figure III.27: RTKNAVI programme.

10. Cocher "Rover", tapez "TCPclient ", format "RTCM3"



**Figure III.28 :** Input streams.

11. Cliquez sur le bouton "opt" et réglez l'adresse sur "localhost" et le port sur "9999".



**Figure III.29 :** TCP Client Options.

12. Cliquez sur OK

13. Cliquez sur "Star"

**Note:**

Après suivi ces étapes normalement il sera possible de recevoir les signaux des satellites choisi dans l'étape 6 qui permette de décodé ces signaux et calculer la position. Malheureusement on a obtenus des difficultés de recevoir ces signaux. Pour la partie software



nous avons essayé plusieurs versions RTKNAVI et c'est toujours les même résultats, pour la partie hardware, la clé usb se chauffe pour des raisons qu'on ignore, pour c'est qui est de l'antenne GPS on n'a aucune possibilité pour tester son fonctionnement. et pour l'environnement on a essayé deux positions TOUNANE-SOUAHLIA (35,05 -1.90) et CHETOUANE-TLEMCEN (34,92 -1,30). Pour cela on a choisi une autre méthode.

On a changé le mode vers File(RTL-SDR) :

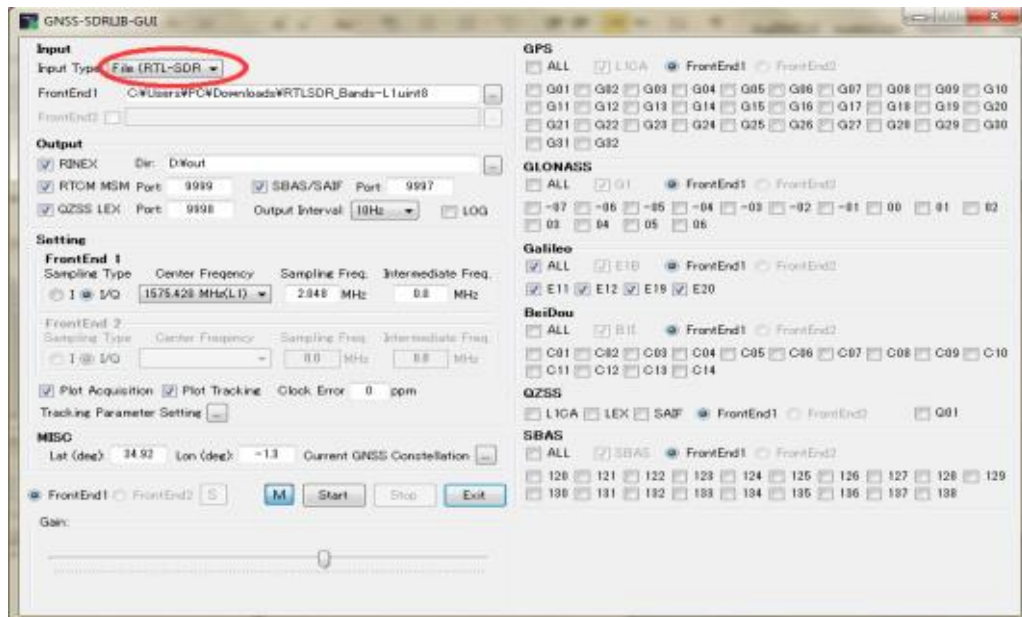


Figure III.30 : GNSS-SDRLIB-GUI programme.

Et on a téléchargé le fichier RTLSDR\_Band\_L1.unit8 d'après [http://sdr.ion.org/RTL\\_SDR/RTLSDR\\_Bands-L1.unit8](http://sdr.ion.org/RTL_SDR/RTLSDR_Bands-L1.unit8)

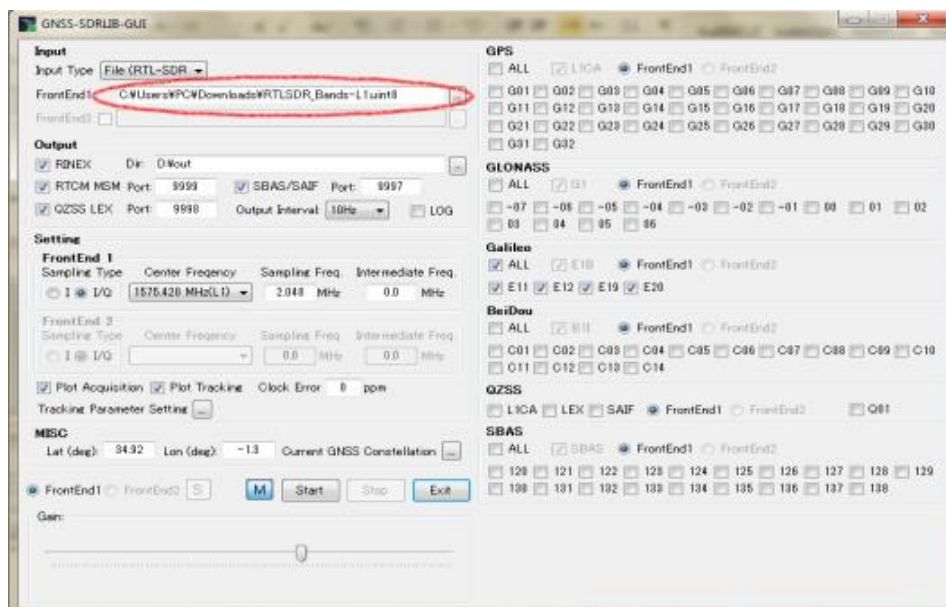


Figure III.31: GNSS-SDRLIB-GUI programme.

En suivre les étapes 2-3-4-5-6 précédent, après en click su Start

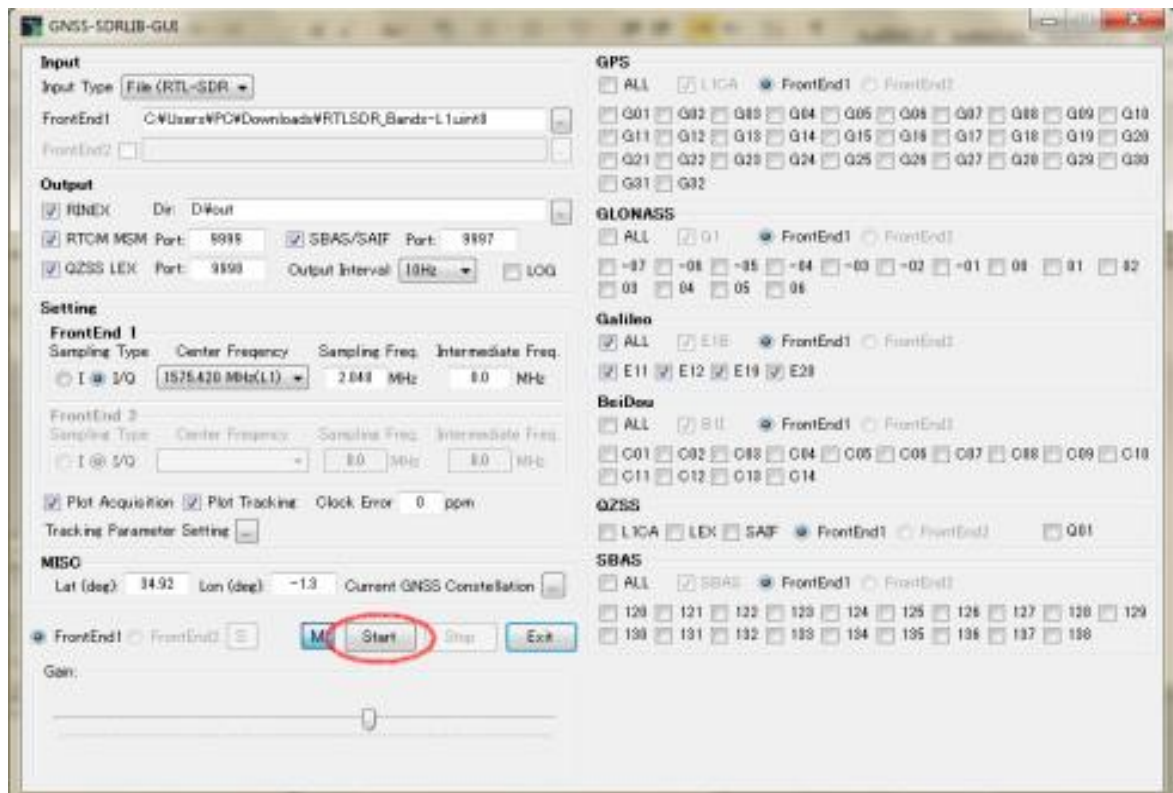


Figure III.32: GNSS-SDR LIB-GUI programme.

Après en click sur M

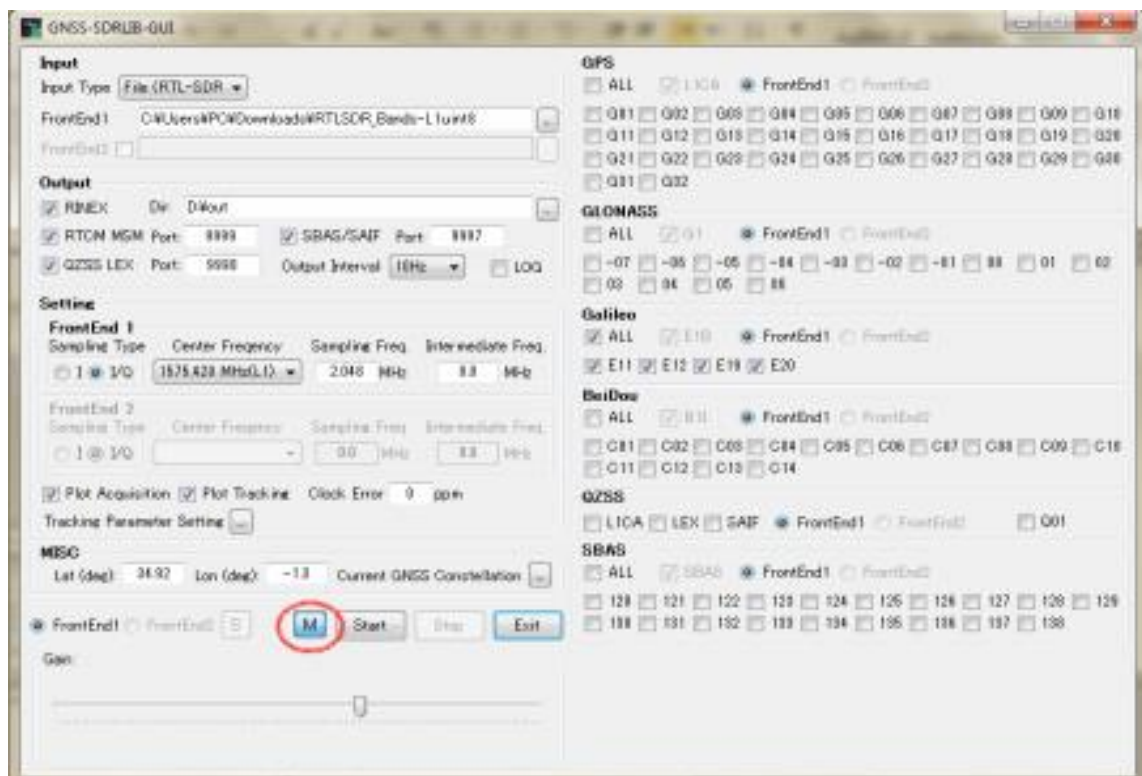


Figure III.33: GNSS-SDR LIB-GUI programme.



Et le monitor afficher les détails de chaque satellite :

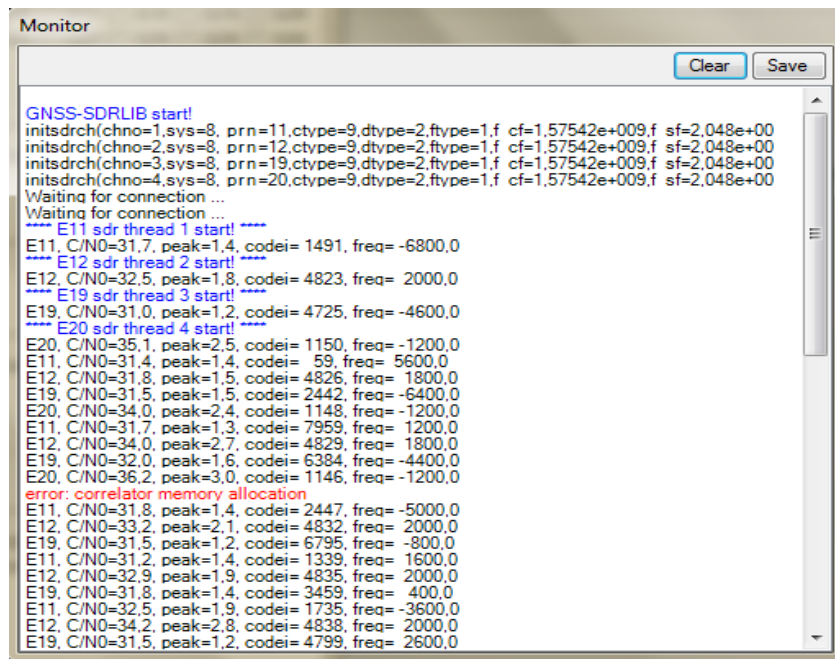


Figure III.34: Monitor.

Le programme Gnuplot graph sera lancer automatiquement et afficher les deux figures suivante qui présentent l'acquisition de deux satellites E12 (à gauche) et E20 (à droite) :

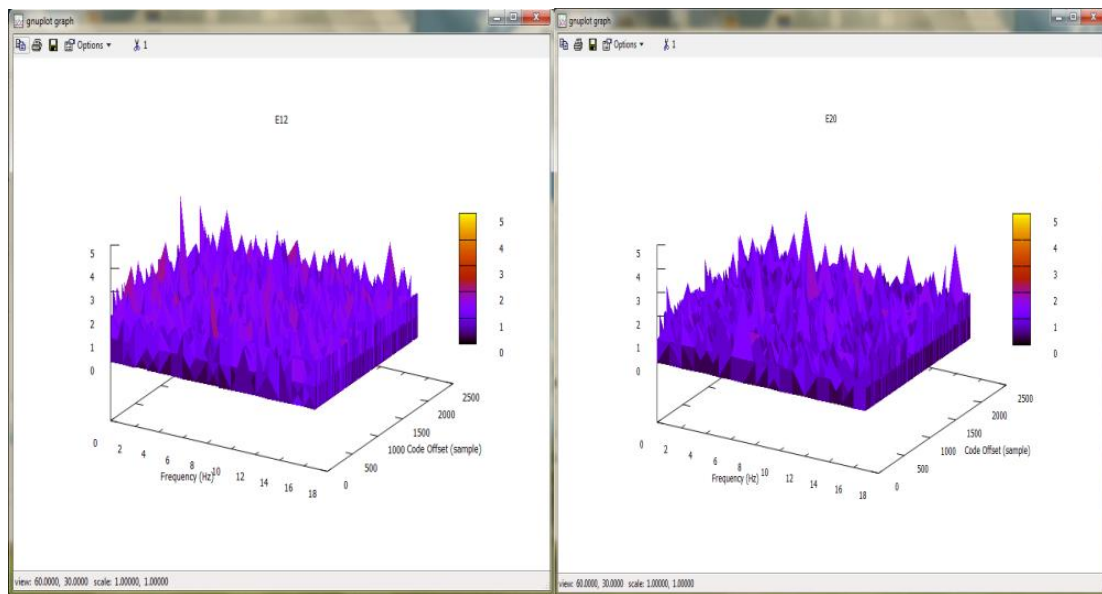


Figure III.35: les deux satellites Galileo E12 et E20.

Après certain moment le programme GNSS-SDRLIB-GUI fait stop comme la fenêtre monitor est affichée :

```
Monitor
Clear Save
E19, C/NO=31.4, peak=1.3, codeid= 1210, freq= 3000.0
E11, C/NO=31.1, peak=1.3, codeid= 385, freq= -2000.0
E19, C/NO=31.5, peak=1.2, codeid= 5721, freq= 600.0
E11, C/NO=32.0, peak=1.7, codeid= 7228, freq= -200.0
E19, C/NO=31.4, peak=1.3, codeid= 5965, freq= 3600.0
E11, C/NO=31.8, peak=1.5, codeid= 960, freq= 1600.0
E19, C/NO=31.2, peak=1.4, codeid= 6444, freq= 1000.0
E11, C/NO=31.3, peak=1.4, codeid= 7227, freq= -200.0
E19, C/NO=31.8, peak=1.3, codeid= 7233, freq= 4800.0
E11, C/NO=32.3, peak=1.5, codeid= 7226, freq= -200.0
E19, C/NO=32.3, peak=1.6, codeid= 2388, freq= 4600.0
E11, C/NO=31.6, peak=1.6, codeid= 471, freq= -2400.0
E19, C/NO=31.7, peak=1.4, codeid= 558, freq= -6000.0
E11, C/NO=31.2, peak=1.3, codeid= 3575, freq= -5200.0
E19, C/NO=31.4, peak=1.4, codeid= 2476, freq= 2200.0
E11, C/NO=31.6, peak=1.5, codeid= 2468, freq= -2800.0
E19, C/NO=30.8, peak=1.2, codeid= 5430, freq= -6600.0
E11, C/NO=31.6, peak=1.2, codeid= 1356, freq= -4600.0
E19, C/NO=31.7, peak=1.5, codeid= 2338, freq= -400.0
E11, C/NO=31.5, peak=1.4, codeid= 337, freq= -2200.0
E19, C/NO=31.5, peak=1.4, codeid= 4361, freq= 1800.0
E11, C/NO=31.4, peak=1.5, codeid= 6011, freq= 5800.0
E19, C/NO=32.2, peak=1.4, codeid= 1474, freq= 5800.0
E11, C/NO=31.4, peak=1.4, codeid= 2331, freq= 4600.0
E19, C/NO=31.5, peak=1.4, codeid= 7841, freq= 1000.0
E11, C/NO=31.2, peak=1.3, codeid= 168, freq= -600.0
E19, C/NO=31.0, peak=1.1, codeid= 2165, freq= -1600.0
SDR syncthread finished!
end of file!
SDR channel E12 thread finished! Delay=-255339 [ms]
SDR channel E20 thread finished! Delay=-247903 [ms]
SDR channel E11 thread finished!
SDR channel E19 thread finished!
GNSS-SDRLIB is finished!
```

Figure III.36: Monitor.

## Conclusion

Actuellement, il devient accessible aux civils aussi, permettant de déterminer une position géographique où que l'on soit dans la terre.

Dans cette chapitre on a vu les différents type de la conception d'un signal GNSS, nous terminaux cette chapitre avec des conseils pour avoir une très bonne précision:

- ✓ Toujours vérifié les mise à jour de votre PC .
- ✓ Un bon Equipment de matériels.
- ✓ Plus de 3 satellites visibles.
- ✓ Antenne récepteur en terrain découvert.

# Conclusion général

La géolocalisation est un domaine scientifique de haut technologie, qui existe depuis la préhistoire, elle se développe pour mieux répondre aux besoins en informations dans des plusieurs domaine.

La navigation par satellite est la nouvelle technologie dont les champs d'application, qui couvrent pratiquement tous les domaines d'activité. Différents systèmes sont déjà développer ou en cours de développement pour offrir des services disponibles en permanence dans le monde entier, ces systèmes peuvent se combiner pour apporter de meilleures performances aux utilisateurs.

L'Europe fait des gros efforts pour construire son propre système 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.

Galileo fournira les services de positionnement les plus précis et fiables au monde et jouera un rôle positif dans l'économie européenne en créant des emplois et en offrant de nouveaux services industriels et personnels.

En collaboration avec d'autres systèmes mondiaux, Galileo fera du processus de positionnement par satellite un produit qui servira de base aux applications dans toutes les situations, de l'économie à la sécurité et à l'environnement, et à l'amélioration de la qualité de vie des particuliers dans le monde entier.

# Bibliographie

- [1][CLAUDE GUEDAT, OLIVIER BRETTE, « systèmes de géolocalisation », janvier 2010].
- [2][F. BOUZIANE **Une approche pour l'hybridation des techniques de localisation.**]
- [3][Mlle S. DAHMANI, Mlle M. HABIB « La géolocalisation basée sur l'utilisation des systèmes d'informations géographiques » 2016]
- [4][GUILLAUME SCHREINER, « Introduction à la géolocalisation 802.11 » Université Louis Pasteur LSIT].
- [5][Benyoub.M Benyagoub.M. « CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME DE GELOCALISATION MULTI-UTILISATEURS » Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER 2018.]
- [6][SAHRAOUI Belkheyr La Géolocalisation dans les Réseaux de Capteurs sans Fil. **Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen** 2010-2011]
- [7][ANKLS et AZIN. **Conception et réalisation d'une application de géolocalisation.** Université Abderrahmane Mira de Béjaia, Master en informatique, 2015/2016].
- [8][Anne, M., Crowley, J. L., Devin, V., & Privat, G. (2005, May). **Localisation intra-bâtiment multi-technologies: RFID, Wifi et vision**].
- [9][J. Nurmi, E. Simona, S. Sand and Heikki Hurskainen « GALILEO positioning Technology »]
- [10][[www.sciencbnes.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Meca/Planetes/3spheres.php](http://www.sciencbnes.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Meca/Planetes/3spheres.php)]
- [11][Michael OBORNE Directeur, Unité consultative auprès du Secrétaire général, OCDE « L'économie de la sécurité »]
- [12][ARONDEL Olivier POUPARDIN Thomas « Systèmes de positionnement GALILEO / GLONASS »]
- [13][Algorithmes de diversité d'antennes appliqués à la réception des signaux GNSS en environnement urbain et sur terminal mobile Directeur de thèse : M. François Vincent]
- [14][Ir. Benoît Bidaine, Galileo : une boussole spatiale européenne réglée par des ingénieurs belges]
- [15][R. Sébastien « Algorithmes de diversité d'antennes appliqués à la réception des signaux GNSS en environnement urbain et sur terminal mobile » 2012]
- [16][Les programmes européens de navigation par satellite Galileo « [www.gsa.europa.eu](http://www.gsa.europa.eu) »]
- [17][[http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Galileo\\_\(syst%C3%A8me\\_de\\_positionnement\)/fr-fr/#Pr.C3.A9sentation\\_de\\_Galileo](http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Galileo_(syst%C3%A8me_de_positionnement)/fr-fr/#Pr.C3.A9sentation_de_Galileo)]

[18] [European Union 2016 Document subject to terms of use and disclaimers p. i-ii OS SIS ICD, Issue 1.3, December 2016]

[19] [**Emilie REBEYROL** présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications « Optimisation des signaux et de la charge utile GALILEO (Galileo signals and payload optimization) »]

[20] [CÉDRIC CHAVAGNIEUX « Développement D'un Récepteur hybride»]

[21][Charbonnierchristophe « Mesure d'intégrité par l'exploitation des signaux de navigation par satellites »]

[22][Axel Javier Garcia Peña « Optimisation de la Performance de Démodulation des Messages de Navigation GPS et GALILEO »]

[23] [Jean-Marc Piéplu « GPS et Galileo Systèmes de navigation par satellites »]

[24][[https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo\\_Signal\\_Plan](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Signal_Plan)]

[25][Soon Lim, Deok Won LimI, Meilin Liu, SeungWook Moon Chansik Park “Design of a Software-based Multi-Channel GNSS IF Signal Generator]

[26][J.Benedicto, S.E.Dinwiddy, G. Gatti, R. Lucas, M. Lugert « GALILEO: Conception et conception de systèmes desatellites Développements » technologiques Agence spatiale européenne .Novembre 2000]

[27] [IURIE ILIE « RÉCEPTEUR HYBRIDE GPS/GALILÉO : SIMULATION ET ANALYSE DE ROBUSTESSE AVEC LE FILTRE F ADP »2004]

[28][BENHADDAD N OURLOUM R « technologies de positionnement pour les systemes de navigation GNSS »]

[29][ROUABAH Khaled \_Etude et Amélioration des Performances des boucles de poursuite de code dans les Récepteurs de Navigation Galileo en Présence de Trajectoires Multiples]

[30][Récepteur de navigation reconfigurable pour applications spatiales par **Arnaud DION**]

[31][ <http://oklanding.me/qu-est-ce-qu-une-adresse-ip.html>]

[32][<https://connect.ed-diamond.com/MISC/MISCHS-008/Smartphone-Wi-Fi-et-vie-privee-comment-votre-smartphone-peut-se-reveler-etre-votre-pire-ennemi>]

[33][[https://www.researchgate.net/figure/Principe-de-fonctionnement-de-la-RFID\\_fig2\\_269574438](https://www.researchgate.net/figure/Principe-de-fonctionnement-de-la-RFID_fig2_269574438)]

[34][ [http://www.geotronics.sk/produkty/geo7/geo7\\_front-terrasync\\_viewpoint-rtx/](http://www.geotronics.sk/produkty/geo7/geo7_front-terrasync_viewpoint-rtx/)]

[35][ <http://www.directindustry.fr/prod/heol-design/product-57722-516852.html>]

[36][<http://www.electronicsandcommunications.com/2019/02/bpsk-system-with-block-diagram.html>]

[37][<https://on5vl.org/introduction-sdr-applications-1/>]

[38][[www.sdr-radio.com](http://www.sdr-radio.com)]