



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغزور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

Réduction des interférences DME dans les récepteurs GNSS

Réalisé par :

-Boudjellal Houssemeddine

Dirigé par : Dr. Khezzar Zaki

-Afoufou Nasreddine

Soutenue devant le Jury :

Mr. M.C.C.B Université de Khenchela Rapporteur

Mr. M.C.C.B Université de Khenchela Président

Mr. M.C.C.B Université de Khenchela Examineur

Promotion 2019/2020

Remerciement

Avant tout, nous remercions tout d'abord Allah, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.

Le travail présenté dans ce mémoire de thèse a été dirigé par Monsieur

Khezgar Zaki, au sein Département de Génie Industriel au l'Université

ABBES LAQHROUR *Khenchela. nous tiens à lui exprimer toute ma*

gratitude et ma reconnaissance d'avoir proposé et diriger ce travail. Ses

qualités humaines, son esprit critique et particulièrement ses conseils et ses

orientations ont apporté beaucoup à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons tous nos remerciements aux membres du jury.

Enfin, nous tiens à exprimer toute mes reconnaissances à toutes les personnes

qui ont contribué de loin ou de près au bon déroulement de notre travail.

Dédicaces

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir aidé pour achever ce modeste travail
que je dédie :*

*À mes chers parents, ma mère et mon père, pour l'éducation qu'ils m'ont
prodiguée avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont
consentis à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements.*

Que ce travail leur apporte joie et fierté;

À toute ma famille;

À tous mes enseignants,

À mon collègue de travail Afoufou Nasreddine, sans oublier tous mes amis.

Houssein

Dédicaces

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir aidé pour achever ce modeste travail
que je dédie :*

*À mes chers parents, ma mère et mon père, pour l'éducation qu'ils m'ont
prodiguée avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont
consentis à mon égard, pour leur patience, leur amour et leurs encouragements.*

Que ce travail leur apporte joie et fierté;

À toute ma famille;

À tous mes enseignants,

À mon collègue de travail Boudjellal Housseem , sans oublier tous mes amis.

Nasreddine

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....a

Chapitre 1

1.1. Introduction.....3

1.2. Bref Historique des systèmes de localisation satellitaires.....4

1.3. Principe de fonctionnement des dispositifs GNSS.....5

1.4. Principe de positionnement.....6

 1.4.1. Qu'est-ce qu'une position ? 7

 1.4.2. Le temps de transmission d'un signal.....7

 1.4.3. Détermination de la position9

1.5. La constellation des satellites.....12

2- GPS.....13

2-1 Structure des signaux GPS.....14

2-2 Fréquences de transmission.....16

2-3 Signal GPS hérité.....17

3- Architecture d'un récepteur GPS.....18

4. Conclusion.....22

Chapitre 2

II.1. Introduction: Signaux d'interférence dans le GNSS.....23

II.2. Classification des sources d'interférences non intentionnelles et modèle de signal.....	23
II.2.1. Signaux hors bande.....	25
II.2.2.1. Chaînes de télévision.....	26
II.2.1.2. Signaux DVB-T.....	27
II.2.1.3. VHFCOM.....	28
II.2.1.4. Harmoniques FM.....	29
II.2.2. Signaux en bande.....	29
II.2.2.1. Interférences entre systèmes et intrasystèmes.....	30
II.2.2.2. Systèmes de communications aéronautiques militaires/civils....	30
II.2.2.3. Signaux à bande ultra large.....	31
II.2.2.4. Harmoniques potentielles dans les bandes de fréquences de Galileo.....	32
II.10. Conclusion.....	34

Chapitre 3

III.1. Introduction.....	35
III.2. Suppression conventionnelle des interférences d'impulsions.....	36
III.2.1. Méthode d'effacement des impulsions du domaine temporel.....	38
III.3. Formulation mathématique du problème.....	41
III.4. Conclusion.....	42

Chapitre 4

Introduction.....	43
1 Caractéristiques des signaux simulés.....	43
Conclusion.....	49

Conclusion générale.....50

Résumé

Bibliographie

Liste des figures

N°	figure	page
01	Position par rapport à un satellite.	6
02	Précision de la position avec deux satellites.	7
03	principe pour calculer la distance entre le satellite et le récepteur.	8
04	Utilisation des positions connues pour trouver la position inconnue.	10
05	Relations entre les temps pour mesurer la distance.	11
06	Répartition des fréquences GPS et Galileo	15
07	La structure des signaux GPS et Galileo est donnée	16
08	Synoptique d'un récepteur GNSS [DAR12]	19
09	Spectre de puissance d'un code C/A	26
10	Potentiel d'interférence harmonique de canal de télévision	27
11	Interférences possibles dans la bande et hors bande (a). Interférences d'harmoniques secondaires dans les bandes GPS L1 et Galileo E1 (b)	28
12	Potentiel d'interférence harmonique de VHFCOM.	29
13	Plan de fréquences DME/TACAN et JTIDS/MIDS.	31
14	Harmoniques d'interférence dans les bandes E5a, E5b et E6	33
15	Forme d'onde du signal de la paire d'impulsions DME	36
16	La puissance spectrale du signal DME	38
17	Le spectre de signal de Galileo E5a	43
18	Le PSD de signal E5aI+bruit	44
19	Signal Galileo E5a de 3 ms à la fréquence intermédiaire affecté par l'interférence pulsée DME/TACAN.	45
20	La Méthode de suppression des impulsions dans le domaine temporel pour la suppression des interférences DME	46
21	Une Opération zoom sur la partie supprimé	47
22	Ambiguity functions for contaminated signal (DMA 3000 pps,ISR = 50 dB)	48
23	Fonctions d'amplification du signal contaminé (DMA 3000 pps, ISR = 50 dB) signal récupéré.	48
24	Les PSD , (a) le PSD du signal d'entrée contaminé, (b) le PSD du signal restauré après interférence DMA, de ISR=50 dB et 3000 pps rejet.	49

Liste des tableaux

N°	Tableau	page
01	Principales sources de brouillage dans la bande	32
02	Les paramètres de signale E5aI	44

Introduction générale

L'historique des systèmes de navigation par satellite commence dans les années 70 lorsque le premier système qui est le système GPS est développé. L'évolution dans cette catégorie des services donne la naissance à d'autres systèmes à l'image du système Russe GLONASS, Européen Galileo et chinois BeiDou. Le système GNSS devient une technologie indispensable dans la société d'aujourd'hui associé avec l'Internet et les communications mobiles.

En effet, ces systèmes permettent de développer plusieurs applications que nous utilisons dans une gamme de services tels que la navigation, le positionnement, la sécurité publique et la surveillance, les enquêtes géographiques, la cartographie, sans oublier les informations météorologiques et atmosphériques se basant sur l'utilisation des satellites avec orbite terrestre basse (LEO). Un autre aspect intéressant de l'évolution du monde de la navigation concerne l'intégration de ce système avec les systèmes de communication sans fil, cette intégration permet à l'industrie de la navigation d'atteindre un total brut de gain de 130 milliards de dollars en 2015 [1]

On sait que les systèmes de radionavigation aéronautiques partageant les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) la bande de fréquences représente une menace pour les services de navigation par satellite. Équipement de mesure de distance (DME) et tactique Les systèmes de navigation aérienne (TACAN) diffusent de puissants signaux de télémétrie pulsés dans le système de positionnement global L5 et Galileo Bandes de fréquences E5a auxquelles sont attribués les services d'aides au positionnement pour l'aviation.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la réduction des interférences des systèmes de radionavigation aéronautiques telles que le DME/TACAN sur les récepteurs GNSS.

La contre-mesure d'interférence pulsée la plus courante, qui est déjà mise en œuvre dans les récepteurs GNSS modernes, est représentée par un circuit de suppression des interférences pulsé. Ce type de circuit numérique fournit une excision d'interférence pulsée par moyen d'une opération de seuillage sur les échantillons en sortie ADC. Fondamentalement, chaque échantillon est comparé à un niveau de seuil numérique, qui est établi en fonction d'une L'aboutissement de notre travail de recherche est présenté comme suit.

Le chapitre 1 commence par un historique sur les systèmes de localisation par satellite en plus du principe de fonctionnement. Les fondamentaux de navigation, les différents composants du système GNSS et les principes utilisés pour la localisation sont présentés.. Dans cette chapitres on décrit les signaux GNSS et les différents traitements d'acquisition et de poursuite du signal reçu par le récepteur.

Introduction Générale

Le chapitre 2 présente les modèles d'interférence GNSS et évalue leurs impacts sur les performances des récepteurs.

Le chapitre 3 On introduit un algorithme adapté à la détection et d'atténuation des signaux d'interférence pulsés du type DME/TACAN dans le domaine temporel.

Le dernier chapitre est dédié à une simulation des signaux GNSS sous Matlab pour faire l'acquisition de signal dans le cas où il est contaminé par une interférence pulse et dans le cas ou l'algorithme d'atténuation des interférences pulsé est présenté. Les résultats obtenus présente les performances de l'approche sur la récupération du signal GNSS interféré..

Enfin, ce modeste travail est parachevé par une conclusion générale incluant certaine perspectives.

I.1. Introduction

Le terme GNSS représente un acronyme de l'expression Global Navigation Satellite System. Certains pays ont déjà développé des systèmes de positionnement, et tentent d'améliorer les performances de ces systèmes, avec l'utilisation de nouveaux signaux et de nouvelles fréquences. Le GNSS comprend de nos jours les systèmes de positionnement par satellites tels que le GPS (États Unis), Galileo (Union Européenne), Glonass (Russie),...

Au cours des dernières années, la technologie GNSS a attiré beaucoup d'attention autour du monde et elle a été largement appliquée dans de nombreux domaines. Le positionnement par satellites répond au besoin de l'utilisateur de se positionner avec une bonne précision et à n'importe quel moment, quel que soit sa position sur Terre, et ce de façon absolue. Grâce à une constellation de satellites orbitant tout autour de la Terre, les systèmes de positionnement par satellites offrent ce service .

Les systèmes qui offrent ce service sont connus sous le nom de GNSS (Global Navigation Satellite System) systèmes globaux de navigation par satellite. Il s'agit de l'ensemble des systèmes qui utilisent une constellation de satellites pour offrir la possibilité à un nombre illimité de récepteurs le calcul de la position exacte en trois dimensions : latitude, longitude et altitude, la précision peut atteindre quelques mètres dans n'importe quel point sur la terre et en temps continu. A l'aide des signaux émis par les satellites, situés dans des orbites distribuées d'une façon à fournir une couverture totale de la terre, le système de positionnement le plus connu et le plus utilisé actuellement dans le monde est le système américain GPS (Global Positioning System) d'autres systèmes sont développés comme le système Russe GLONASS (GLObal'naia NA vigacionnaia Sputnikovaia Systema) et d'autres sont en cours de développement comme le système Européen Galileo et le système chinois Beidou .

Cependant, comme la distance entre un satellite GNSS et un récepteur peut aller de 20000 km à plus de 30000 km, et que la puissance d'un émetteur satellite typique n'est généralement que de quelques dizaines de watts, le signal GNSS devient très faible lorsqu'il atteint le sol. Par exemple, la puissance d'un signal GPS L1 est d'environ -160dBw lorsqu'il atteint la surface de la terre, ce qui est inférieur au niveau de bruit thermique d'un récepteur d'environ 20 dB , donc le GNSS peut facilement être affecté par divers types d'interférences externes.

Chapitre 1

Pour améliorer les performances du GNSS dans des environnements électromagnétiques complexes, il faut étudier des algorithmes efficaces d'atténuation des interférences.

Tout d'abord, ce chapitre présente brièvement les développements des différents GNSS. Ensuite, pour aider à comprendre le contenu des chapitres suivants, le code C/A (Coarse/Acquisition) est utilisé comme exemple, pour présenter brièvement la composition d'un système de navigation par satellite et les principes d'acquisition, de suivi et de positionnement pour un récepteur. Enfin, les impacts des interférences sur les récepteurs GNSS sont brièvement introduit [Livre Navigation science and...].

Un aperçu sur la vulnérabilité possible de ce dernier et les problèmes à relever seront présentés à la fin de ce chapitre pour en tirer les premières conclusions, formuler les recommandations de départ et pour justifier ce travail.

Les systèmes de navigation par satellites sont en permanente évolution afin d'accroître l'intégrité, la précision, la disponibilité et la robustesse du service pour les applications civiles et militaires. D'une part, ce fait est dû au lancement des nouveaux systèmes de navigation (ex. Galiléo) et de l'autre, par la modernisation des systèmes déjà existants (ex. GPS et GLONASS).

Cette diversité des systèmes, grâce à un nombre plus élevé des satellites disponibles et une grande variété de signaux, offre des possibilités uniques. En même temps, elle relève un défi d'ingénierie de taille quant à l'utilisation la plus efficace de plusieurs types de systèmes de navigation d'une part et des différents signaux au sein d'un seul système de l'autre (De Mateo, 2002).

I.2. Bref Historique des systèmes de localisation satellitaires

Au début des années 60 plusieurs organisations Américaines à l'image du département de la défense DOD, le ministère du transport et la NASA (National Aeronautics and Space Administration), ont décidé de développer un système de localisation par satellite capable de déterminer la position des utilisateurs en trois dimensions. Le premier système proposé est le system 621B qui se compose d'une constellation de 15 à 20 satellites qui tournent dans des orbites avec des inclinaison de 0° , 30° et 60° , ces satellites transmettent en permanence des signaux codés par des codes pseudo aléatoire. En 1973 le programme GPS a été approuvé par le département de la défense et le premier satellite a été lancé en 1978.

Chapitre 1

En Aout 1993, 24 satellites sont mis en orbite , dans la même période exactement en 1970 l'Agence fédérale spatiale russe et le ministère de la Défense ont commencé le développement de leur propre système de navigation par satellite nommé GLONASS. Pour ce dernier, le premier satellite a été lancé en 1984 et le système est devenu pleinement opérationnel avec une constellation complète de 24 satellites en 1996. La chine a décidé de développer son propre système en 1983, le système est proposé d'être opérationnel en 2020. L'Union européenne (UE) et de l'Agence spatiale européenne (ESA) (European Space Agency) commence le développement d'un système de localisation par satellite européen nommé Galileo en 2002, deux premiers satellites expérimentaux pour ce système, GIOVE-A et GIOVE-B, ont été lancés en 2005 et 2008, ce système est programmé d'être pleinement opérationnel en 2018 .

I.3. Principe de fonctionnement des dispositifs *GNSS*

L'objectif d'un système global de positionnement par satellite est de fournir à un récepteur sa position, sa vitesse de déplacement et l'heure et pour déterminer la position d'un utilisateur situe dans le voisinage de la Terre, les systèmes de radionavigations par satellite utilisent le principe de multi_latération dans lequel la distance géométrique entre un récepteur au sol et un émetteur abord d'un satellite s'obtient par mesure du temps de propagation d'un signal particulier émis par le satellite.

Les quatre systèmes de positionnement par satellites (GPS, Glonass, Galileo et Beidou) utilisent le même principe de fonctionnement: chaque satellite émet en permanence un signal transportant une information sur la position du satellite et l'heure précise de l'émission (déterminée par une horloge atomique ultra-précise embarquée dans le satellite); l'usager est équipé d'un récepteur, qui mesure les instants de réception des signaux provenant des satellites dans son champ de visibilité.

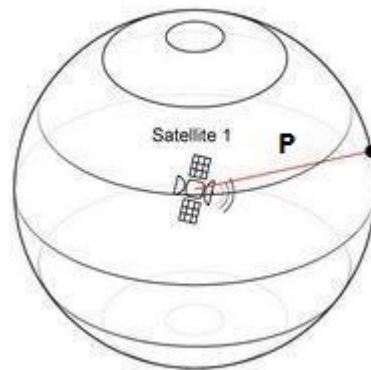


Figure 1.1. Position par rapport à un satellite.

La détermination de la position du récepteur consiste en la résolution d'une équation à quatre inconnues : la position géographique du récepteur (latitude, longitude), son altitude et le biais de l'horloge de mesure du récepteur. Il faut donc quatre satellites « visibles » pour déterminer une position (avec, en prime, un sous-produit disponible : la mesure précise du temps).

Pour que le récepteur fonctionne sur toute la surface du globe (ou dans son voisinage avions, satellites), il faut qu'il puisse « voir » en permanence au minimum 4 satellites et que la répartition géométrique des satellites positionnés au-dessus de lui soit la plus uniforme possible. C'est ce qui explique le nombre important des satellites à placer sur orbite : 24 satellites représentent le minimum requis pour le GPS actuel et pour le GIONASS, et ce minimum sera de 30 pour les 4 systèmes futurs.

I.4. Principe de positionnement

Les systèmes de positionnement par satellites se fondent sur le principe de trilatération qui repose sur l'hypothèse de la propagation à une vitesse constante (proche de la vitesse de la lumière) des ondes émises par les satellites dans l'espace. Un récepteur synchronisé peut alors calculer le temps de propagation de ce signal et en déduire la distance associée qui le sépare du satellite, de position connue.

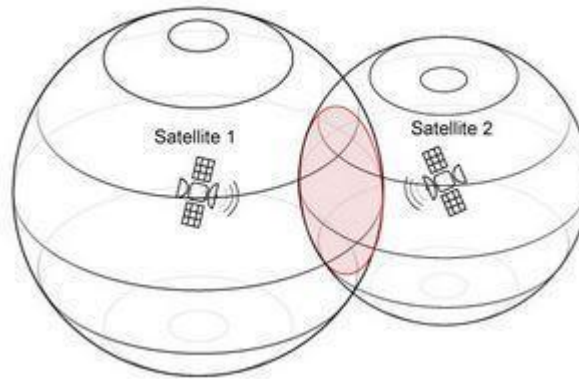


Figure 1.2. Précision de la position avec deux satellites.

I.4.1. Qu'est-ce qu'une position ?

On appelle une position un jeu de trois paramètres, qui permet de repérer un lieu dans l'espace par rapport à une référence connue. Par exemple, la longitude, la latitude et l'altitude permettent de repérer n'importe quel lieu à la surface terrestre. De même, ce sont les distances d'un objet par rapport à un mur de gauche, à un mur de devant et au sol qui permettent de le positionner dans l'espace d'une pièce. Nous concevons ainsi intuitivement que nous avons besoin de trois mesures par rapport à des repères dont la position est connue pour déterminer la position d'un objet quelconque. Et pour mieux comprendre cette définition, nous devons nous intéresser à la façon dont est obtenue la mesure de distance entre le récepteur et un satellite.

I.4.2. Le temps de transmission d'un signal

Dans les systèmes de navigation par satellite, la distance géométrique entre un satellite de la constellation GNSS et un récepteur au sol est déterminée en mesurant le temps de propagation d'un signal émis par le satellite et répartis de telle façon qu'il y ait une ligne de contact à vue au moins de quatre satellites. Chacun de ces satellites est équipé d'horloges atomiques à bord qui permettant une mesure précise du temps et engendrent une perte d'une seconde au maximum

Chapitre 1

tous les 30.000 à 1.000.000 années. Les satellites GNSS transmettent leurs positions exactes et leurs heures d'horloges de bord à la terre.

Ces signaux sont transmis à la vitesse de la lumière (300.000 km/s) et nécessitent donc environ 67.3ms pour parvenir à une position sur la surface de la terre directement sous le satellite. Les signaux nécessiteront une nouvelle tranche de $3.33\mu\text{s}$ pour chaque kilomètre supplémentaire de voyage pour établir la position ; tout ce qui est alors nécessaire est un récepteur et une horloge précise. En comparant l'heure d'arrivée du signal satellite avec l'heure de l'horloge à bord au moment où le signal a été transmis.

Toute la démonstration précédente repose sur l'hypothèse que le récepteur GNSS doit savoir deux paramètres importants pour pouvoir calculer sa position. Il doit connaître la position exacte des satellites et à quelle distance il se trouve par rapport à chacun deux.

Il est facile de simplifier les choses. Connaissant la vitesse de propagation des ondes qui est égale à la vitesse de la lumière 3.10^8 m/s et le temps de propagation de cette onde entre le satellite et le récepteur, il est possible de déterminer, comme dans l'exemple de la voiture, la distance D vers le satellite qui peut être déterminée à partir du signal temporel connu par une multiplication entre le temps et la vitesse. Le satellite transmet un signal au temps t_t et le récepteur reçoit ce signal au temps t_r , le récepteur doit analyser l'écart temporel entre ces deux temps pour estimer le temps de propagation du signal.

La distance entre eux sera exprimée par (1.1) dont le principe est schématisé par la Figure 1.4.

$$D = c \times (t_r - t_t) = c \times \Delta t \quad (1.1)$$

Avec c est la vitesse de la lumière.

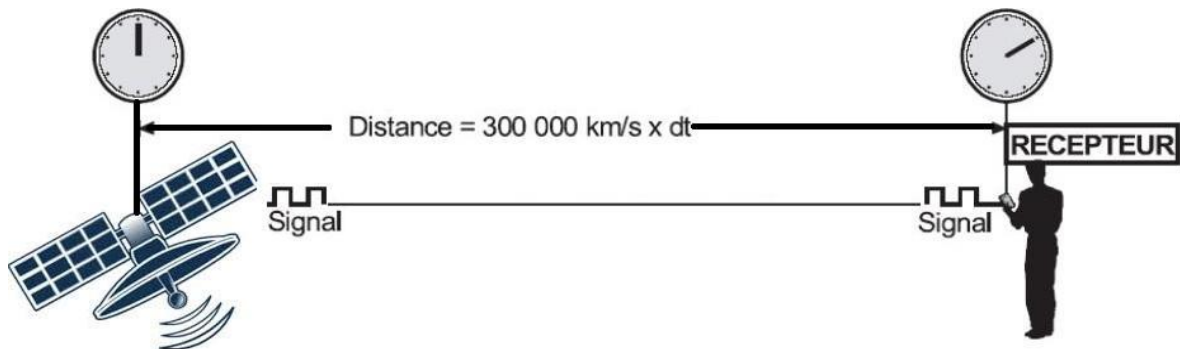


Figure 1.4. Principe pour calculer la distance entre le satellite et le récepteur.

I.4.3. Détermination de la position

Celui-ci consiste à calculer notre position en connaissant la distance qui nous sépare de plusieurs points de repère ainsi que la position de ces points de repère. Il ne doit pas être confondu avec le principe de triangulation qui utilise aussi des points de repère, mais calcule la position en fonction des angles mesurés, et non des distances. Pour savoir la position d'un utilisateur qui se déplace dans un vaste plateau ; dans un plan (X/Y) y a deux satellites qui sont en orbite au-dessus de ce récepteur qui transmettent leurs heures d'horloge et leurs positions. En utilisant le temps de transmission des deux signaux de satellite ; le récepteur va dessiner deux cercles de rayons R_1 et R_2 autour de ces satellites. Chaque rayon correspond à la distance calculée entre le récepteur et le satellite.

La position du récepteur est au point exact où les deux cercles se coupent sous les satellites. Dans le cas réel, une position doit être déterminée dans l'espace en trois dimensions plutôt que sur un plan qui veut dire qu'il y aura une dimension supplémentaire (Z) donc un troisième satellite additionnel devrait suffire pour déterminer la position correcte. Si les distances des trois satellites sont connues alors toutes les positions possibles sont situées sur la surface de trois sphères dont les rayons correspondent à la distance calculée.

En pratique, le biais d'horloge sera considéré comme une inconnue à estimer au même titre que les trois composantes de la position. Par conséquent, un récepteur aura besoin de la réception du signal d'un quatrième satellite pour pouvoir calculer sa position.

La position est calculée à partir des données transmises par chacun et par rapport à la référence ECEF (Earth Centered, Earth Fixed). L'équation fondamentale pour mesurer la distance entre le satellite et le récepteur est l'équation d'une sphère qui est donnée par :

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (1.2)$$

ρ_i est la distance entre le $i^{\text{ème}}$ satellite et le récepteur.

Les trois valeurs inconnues x_i , y_i et z_i peuvent être déterminées à partir de ces équations. Théoriquement, il devrait y avoir deux ensembles de solutions car ces équations sont du second

Chapitre 1

ordre et non linéaires ; elles sont difficiles à résoudre directement, donc elles peuvent être résolues facilement en utilisant une linéarisation ou une approche itérative [1,2].

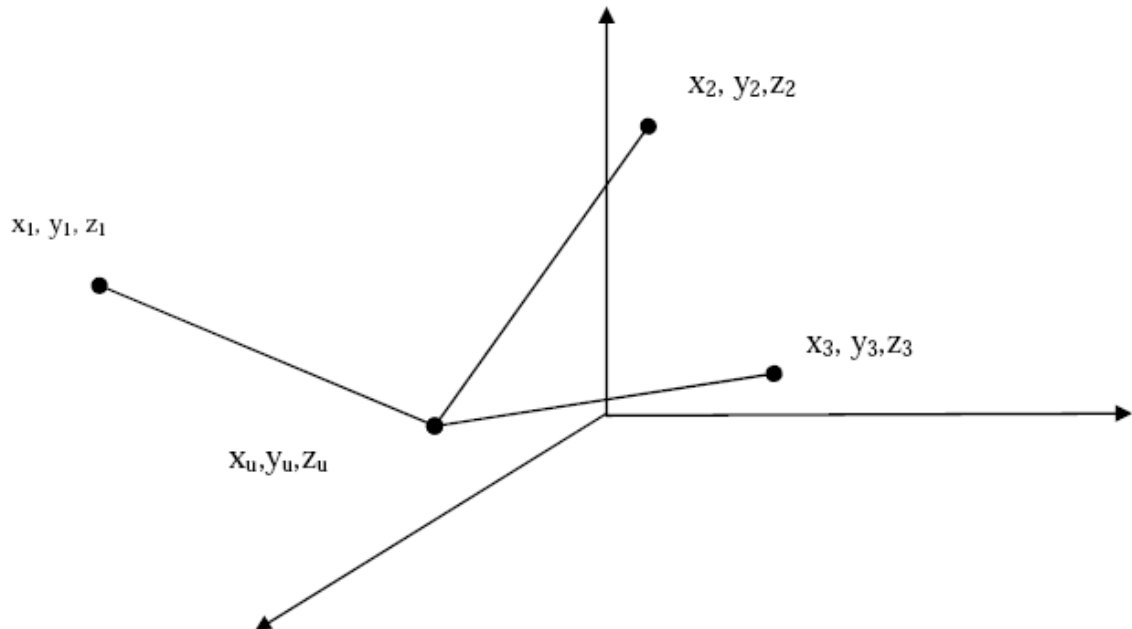


Figure 1.7. Utilisation des positions connues pour trouver la position inconnue.

- Dans cette équation il y a trois inconnues (X, Y, Z) qui sont les coordonnées du récepteur, donc pour calculer ces coordonnées, nous avons besoin de trois équations au minimum.
- D'un point de vue pratique, il est difficile d'obtenir le temps de propagation exact relatif à un satellite ou bien au récepteur, particulièrement avec une multitude de phénomènes qui influencent sur le signal et qui vont le retarder.
- L'horloge du récepteur aura généralement une erreur systématique. La génération de fréquence et de temps est basée sur une horloge embarquée d'une très grande précision. Cette dernière est typiquement décalée par rapport à l'heure du système. Cette mesure est déterminée par un processus de corrélation qui se présente comme une « pseudo-distance ». Cette mesure est appelée « pseudo distance » car elle est déterminée par multiplication du signal se propageant à une vitesse c par la différence de temps entre deux horloges non synchronisées comme le montre la figure suivante :

Chapitre 1

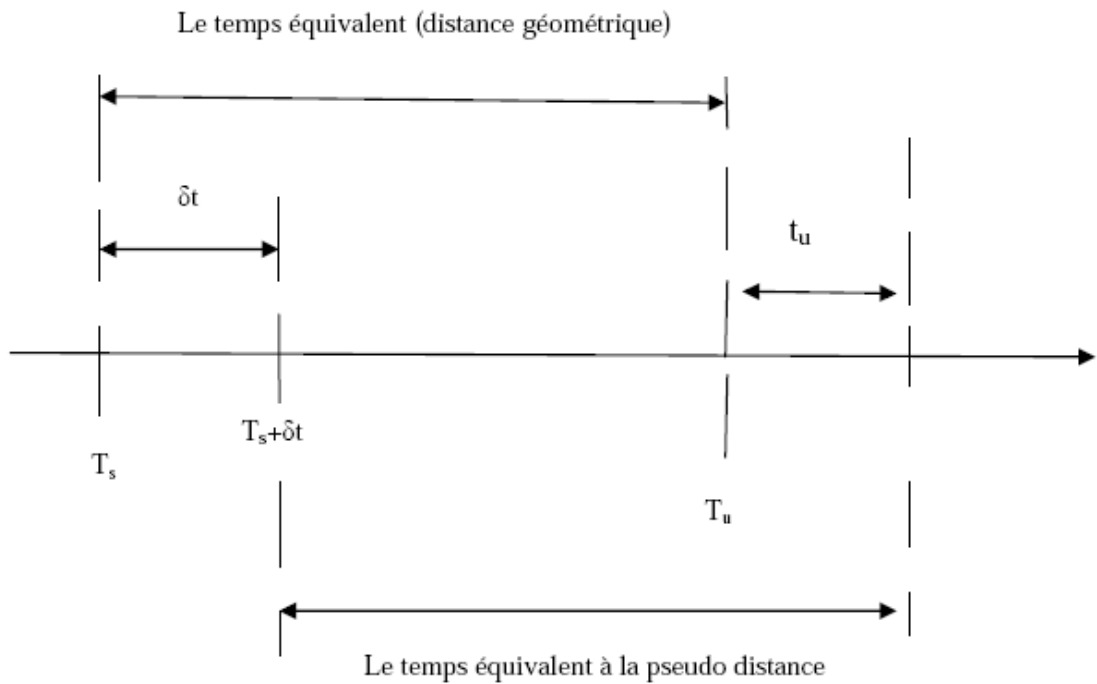


Figure 1.5. Relations entre les temps pour mesurer la distance.

Les mesures suivantes contiennent :

1. la distance géométrique du satellite à l'utilisateur.
2. une compensation correspondant à la différence entre le temps système et l'horloge de l'utilisateur.

T_s : Temps de transmission par le satellite.

T_u : Temps de réception par l'utilisateur.

δt : Décalage de l'horloge satellite par rapport au temps système.

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

$T_s + \delta t$: Lecture d'horloge satellite au moment où le signal du satellite est transmis.

$T_s + t_u$: Lecture d'horloge du récepteur de l'utilisateur au moment où le signal atteint le récepteur.

Chapitre 1

c : Vitesse de lumière.

Les distance géométrique et pseudo distance sont respectivement données par :

$$\rho = c(T_u - T_s) = c \times \Delta T \quad (1.4)$$

$$\rho' = c[(T_u + t_u) - (T_s + \delta t)] \quad (1.5)$$

$$\rho' = \rho + c(t_u - \delta t) \quad (1.6)$$

I.5. La constellation des satellites

Une constellation est constituée de satellites dont les mouvements sont synchronisés entre eux et dont les trajectoires par rapport à la Terre se reproduisent à l'identique au bout d'une durée constante, le plus souvent de plusieurs jours. C'est un véritable mouvement d'horlogerie en orbite qui est mis en place, permettant une couverture mondiale et une utilisation aisée par l'utilisateur.

Différents types de constellation peuvent être distingués :

- ✓ Les constellations en orbite intermédiaire à plus de 5 000 kilomètres d'altitude, avec des périodes de révolution autour de la Terre d'environ 12 heures ; c'est le cas des systèmes de satellites de positionnement GPS en place et de la future constellation Galileo.
- ✓ les constellations en orbite basse à une altitude inférieure à 1 500 kilomètres avec des périodes de révolution d'environ 2 heures, représentées par les systèmes de satellites de télécommunication Global star et Iridium.

L'utilisation de constellations pour les systèmes de télécommunication répond à 2 objectifs :

- ✓ Souci de minimiser les effets du délai de propagation dans la conversation (la position géostationnaire à 36 000 Km induit un retard de près de 0,5 s sur le trajet aller / retour très perceptible à l'oreille)

Chapitre 1

- ✓ Présence réseau maximale n'importe où dans le monde, avec des performances sans cesse croissantes.

2- GPS

Pendant la phase de développement a été lancée avec succès. Mais le système GPS a fait ne commencera son opération formelle qu'en 1995. Les signaux GPS utilisent CDMA (Code Division Multiple Access) pour permettre à plusieurs satellites de partager le même temps et Fréquence dans une bande donnée. La conception initiale du signal GPS a deux codes d'étalement:

Code grossier / d'acquisition (code C / A) et code de précision (code P). Le code C / A est un Code pseudo-aléatoire ouvert au public, avec une longueur de code de 1024 et un code Période de 1 ms. L'utilisation du code P a été restreinte, et cette spéciale le code pseudo-aléatoire a été réservé aux applications militaires américaines, avec un Longueur de code et cycle de code. Les signaux de porteuse GPS initiaux incluent le signal L1 (centre Fréquence de 1575,42 MHz) et signal L2 (fréquence centrale de 1227,6 MHz). Le code C / A est diffusé sur la porteuse L1 uniquement, tandis que le code P est diffusé sur les porteurs L1 et L2 [1, 2]. Les États-Unis, au milieu des années 1990, pour les Raisons de sécurité, y compris SA (disponibilité sélective) sur le signal GPS, qui Augmentation intentionnelle des erreurs de positionnement sur les récepteurs, de sorte que la précision n'était que environ 100 m.

En mai 2000, l'utilisation de SA a été interrompue, ce qui a considérablement promu les applications du GPS.

Pour effectuer une mise à niveau complète du système GPS, et pour remplacer a échoué satellites pour assurer le fonctionnement normal du système, les États-Unis ont lancé le Projet de «modernisation du GPS» depuis 1996. Avec les avancées de la modernisation du GPS processus, signal L2C, signal de code M, signal L5 et signal L1C, tels que modernisés Les signaux GPS ont élargi la famille de signaux GPS initiale . Le L2C signal est un signal civil nouvellement ajouté sur la fréquence L2 qui était autrefois utilisé pour application militaire uniquement. En raison de la structure de signal plus flexible dont il dispose, la navigation la précision a été améliorée. M-code est un nouveau code militaire améliorer la capacité d'atténuation des interférences et la sécurité du code militaire d'origine. Contrairement au code P, le code M utilise une méthode de positionnement autonome dans la conception: le récepteur peut résoudre directement la position uniquement sur la base du code M. Après surmonter de nombreux défis technologiques et des délais de lancement constants, Le satellite GPS IIR-20 (M), transportant le troisième signal civil nouvellement ajouté L5, était lancé le 24 mars 2009, puis il a commencé à transmettre avec succès

Chapitre 1

le L5 signale le 10 avril 2009. L'un des objectifs du lancement du signal L5 est de fournir des services pour les applications de sécurité de la vie (SoL). La fréquence porteuse de L5 est 1176,45 MHz, qui est situé sur l'ARNS internationalement protégé (Service de navigation radio aéronautique), ce qui le rend pratique pour autorités aéronautiques pour gérer efficacement les interférences radio rencontrées bande de fréquence. Mais, cela entraîne également une certaine compatibilité électromagnétique problèmes entre le signal L5 et les équipements de navigation existants travaillant sur le Bande de fréquences ARNS. Par rapport au code C / A sur la fréquence L1, le L5 le code a un taux de code plus élevé (10,23 Mcps), une plus grande puissance de transmission et une meilleure performance d'atténuation des interférences. Le signal L1C est le quatrième signal civil qui est conçu pour faciliter l'interopérabilité entre le GPS et d'autres GNSS.

Le lancement du satellite GPS III portant le signal L1C est prévu pour 2017.

La constellation et l'état du réseau pour le GPS sont indiqués dans le tableau

2-1 Structure des signaux GPS

De manière générale, les signaux GPS et Galileo sont construits sur le même modèle de signal : une fréquence porteuse sinusoïdale sur laquelle sont véhiculés différents signaux Binaires modulés en BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) contenant les informations nécessaires à la navigation

Plusieurs bandes fréquentielles sont allouées pour l'émission des signaux GPS et Galileo.

Avec la modernisation du système, les signaux GPS seront émis sur trois porteuses Situées dans la bande L supérieure. Ces trois fréquences porteuses, construites à partir d'une Fréquence de base $F_0 = 10.23$ MHz, sont données par :

- $L1 = 154F_0 = 1575.42$ MHz. Cette fréquence porte actuellement le service PPS et SPS et accueillera le prochain signal civil L1C ainsi que le signal militaire M.
- $L2 = 120F_0 = 1227.60$ MHz. Cette fréquence porte actuellement le service PPS et Accueillera le prochain signal civil L2C.
- $L5 = 115F_0 = 1176.45$ MHz. Cette fréquence accueillera le prochain signal civil L5 ainsi que le signal militaire M.

Les signaux Galileo seront également répartis sur 3 bandes spectrales dont les porteuses Associées sont données par :

- $E1 = 1575.42$ MHz. La porteuse correspond à la porteuse $L1$ du signal GPS. La bande $E1$ accueillera les services OS, PRS, CS et SoL.

Chapitre 1

– **E5** = 1191.79 MHz. Comporte deux sous-bandes *E5a* (1176.45 MHz) et *E5b* (1207.14 MHz). *E5a* correspondant à la porteuse *L5* du GPS. La bande *E5* accueillera les services OS, CS et SoL.

– **E6** = 1278.75 MHz. La bande *E6* accueillera les services CS et PRS.

La répartition fréquentielle des différentes bandes d'émission GPS et Galileo est donné

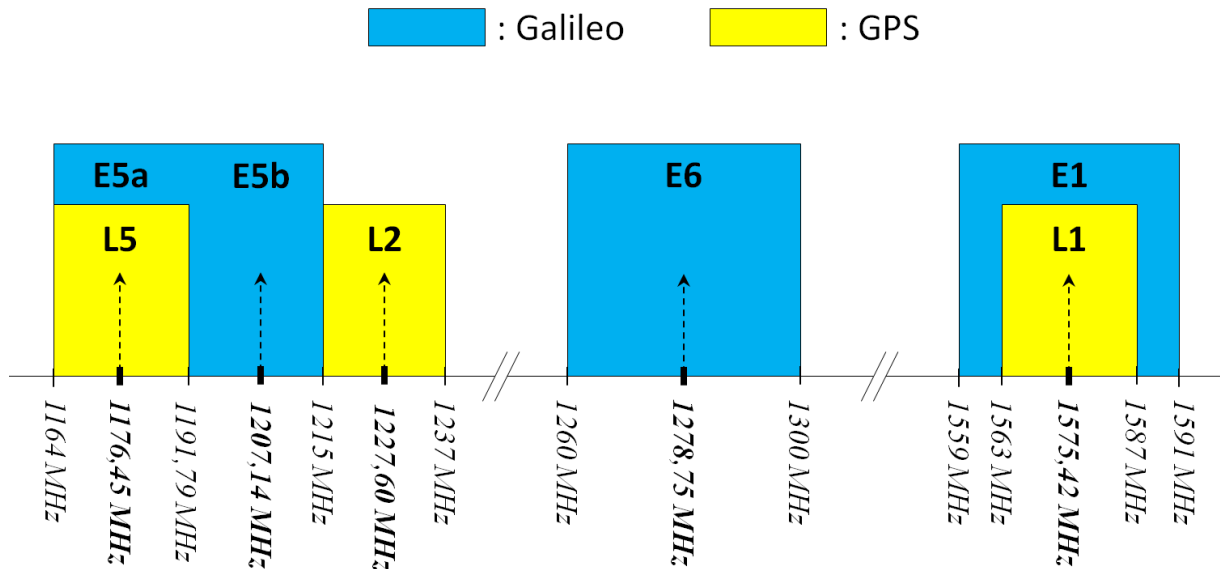


Figure 1.3 – Répartition des fréquences GPS et Galileo

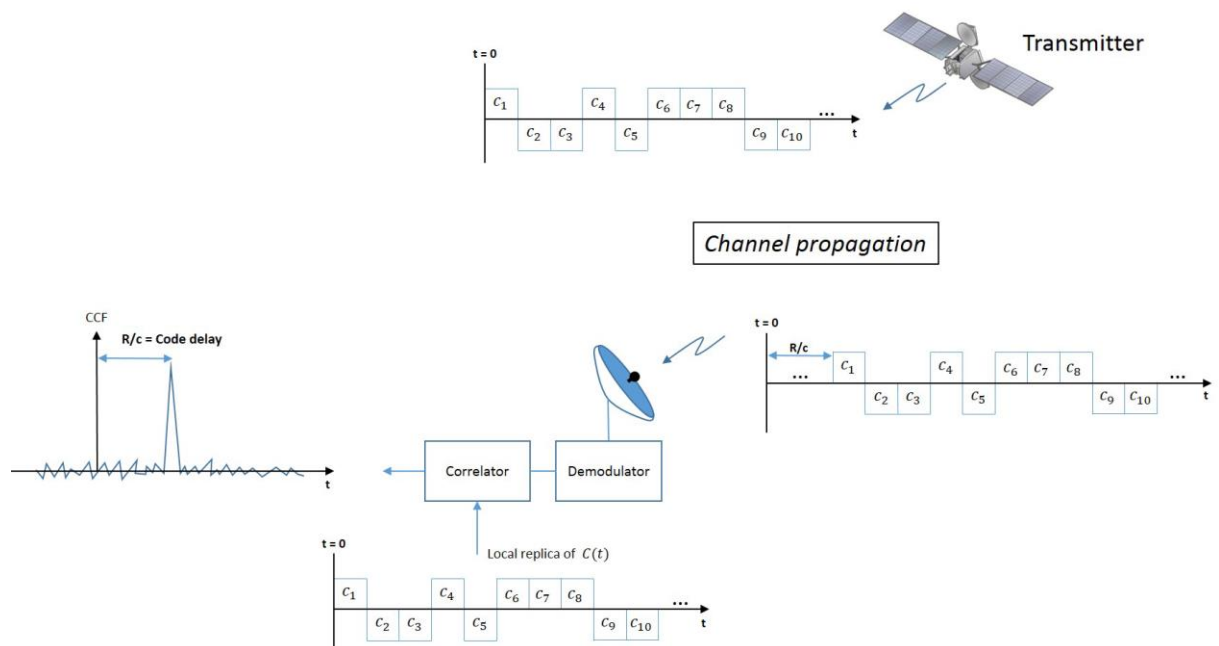
Il peut y avoir plusieurs types de signaux binaires véhiculés par les porteuses des signaux GPS et Galileo :

– Un message de navigation contenant plusieurs paramètres nécessaires au récepteur pour calculer sa position (heure d'envoi du message, éphémérides du satellite, état de Un code pseudo-aléatoire permettant l'identification du satellite émetteur.

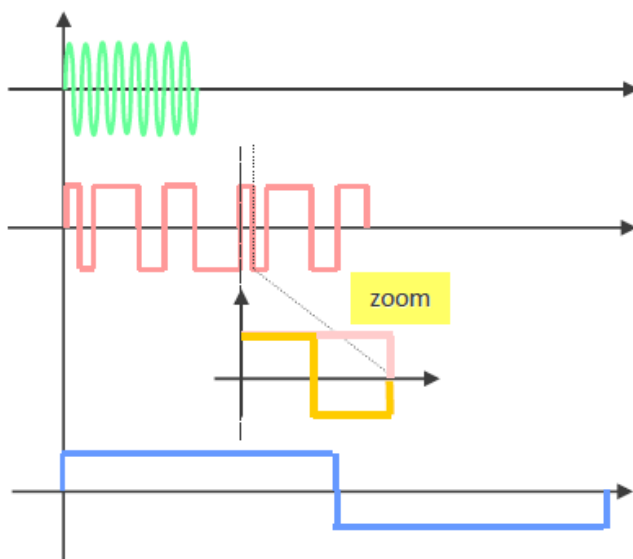
Une sous-porteuse rectangulaire pour les signaux modulés en BOC (*Binary Offset Carrier*). Les détails de cette modulation sont donnés plus loin.

Certains services GPS et Galileo disposeront de signaux ne comportant pas de message de navigation. Ces signaux, appelés "signaux pilotes", 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.

Chapitre 1



La structure des signaux GPS et Galileo est donnée



2-2 Fréquences de transmission

Les signaux GPS sont transmis sur deux fréquences différentes : L1 (1575.42 MHz) et L2 (1227.6 MHz). Le signal

Chapitre 1

GPS est composé des trois parties suivantes Porteuses : deux fréquences porteuses L1 et L2.

- Messages de navigation : contiennent les informations concernant les orbites des Satellites. Ces données sont calculées dans les centres de contrôle au sol et transmises Quotidiennement aux satellites.
- Codes d'étalements : chaque satellite GPS possède deux codes d'étalements. Les plus Connus et utilisables sont : code C/A avec 1023 chips et code P(Y) avec ($\approx 2.35 \cdot 10^4$ chips).

Le code C/A \square data et le code P(Y) \square data (tableau 2.1) sont des signaux fournis aux Deux modulateurs et ont les fréquences L1 et L2. La porteuse est modulée par les signaux Précédents à l'aide de la méthode "Binary Phase Shift Keying (BPSK)". Notez que les deux Signaux sont modulés en phase et en quadrature

2-3 Signal GPS hérité

Le signal de télémétrie GPS principal est transmis sous forme de modulation par décalage de phase binaire (BPSK) à 1575,42 MHz (L1). Il transporte des données de navigation avec le grossier / acquisition (C / A) code en quadrature de phase avec le code de précision (P). Le code P est le principal code de télémétrie. Le code C / A était à l'origine conçu comme une aide à l'acquisition à la plus longue code, qui a une période de code de sept jours à un débit de 10,23 Mbps (Tran & Hegarat 2002). Le code P permet une télémétrie plus précise que le code C / A. cependant, il est Crypté et seuls les utilisateurs autorisés y ont accès. Ainsi, les utilisateurs civils, utilisant un seul Récepteurs de fréquence (L1), sont limités à la précision de positionnement fournie par le C / A Code. Récepteurs de qualité topographique utilisés dans des applications de haute précision, en plus du L1 récupération de la porteuse, essayez de reconstruire la porteuse L2 (1227,6 MHz) sans connaissance du code militaire P (Y) qui y est transmis. Ils sont appelés soit suivi semi-sans ou sans code basé sur la technique utilisée pour la porteuse L2 récupération. Puisqu'ils fonctionnent à l'insu du code d'épandage, sans demi-code ou le suivi sans code souffre de problèmes de signal sur bruit (SNR) faible et manque de robustesse (Woo 1999).

L'utilisation du code C / A pour le positionnement est appelée positionnement standard service (SPS). Le code C / A est un code court avec une période de 210-1 (1023) bits transmis à un débit de copeaux de 1,023 Mbps. Chaque satellite reçoit un code C / A unique, qui est choisi parmi une famille de codes Gold. Les codes or sont obtenus par addition modulo-2 de deux séquences de longueur maximale (séquence m) de période égale (dans ce cas, 1023 bits). Ce code C / A est modulé par la séquence de bits de données de navigation, qui est transmise à 50 pb. Étant donné

Chapitre 1

que le code C / A est aligné sur les limites des bits de données de navigation au moment de transmission, il y a exactement 20 périodes de code C / A dans chaque bit de données. La résultante Le signal est ensuite utilisée pour moduler la porteuse L1 pour la transmission. En attribuant un unique Code C / A pour chaque satellite, les propriétés de corrélation croisée de code C / A permettent à tous les satellites pour partager la même bande de fréquences avec des interférences limitées. Ainsi, le GPS les satellites utilisent l'accès multiple par répartition par code (CDMA) pour transmettre les signaux de télémétrie. La puissance minimale reçue des signaux GPS L1 C / A répertoriés dans IS-GPS-200-D (2006) est de - 158,5 dBW (ou -128,5 dBm). La puissance minimale reçue est définie comme (IS-GPS-200-D 2006).

"La puissance mesurée à la sortie d'un utilisateur à polarisation linéaire 3dBi antenne (située près du sol) à la pire orientation normale, lorsque le satellite véhicule (SV) est au-dessus d'un angle d'élévation de 5 degrés " Le facteur important contribuant à l'atténuation de la puissance est la perte de chemin car le signal parcourt environ 20 000 à 25 000 km du satellite à l'utilisateur sur la surface de la terre (Ray 2007). La perte de chemin est calculée comme suit

$$Path\ loss = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi d^2} \right) \text{ dB} \quad (2,1)$$

où dd est la distance en mètres. Pour les signaux GPS, la perte de chemin est d'environ -157 à -159 dB. En outre, les pertes atmosphériques peuvent ajouter jusqu'à 2 dB d'atténuation du signal (Ray 2007). Pour un satellite au zénith transmettant le signal GPS à 14,3 dBW avec 10,2 dB du gain d'antenne satellite, la puissance du signal reçu par mètre carré est calculée comme

$$Received\ Power = 14,3 \text{ dBW} + 10,2 \text{ dB} - 157 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = -134,5 \text{ dBW}$$

3- Architecture d'un récepteur GPS

On représente **Figure 1.21** l'architecture classique d'un récepteur. Dans cette architecture on distingue une partie analogique, qui conditionne le signal avant son échantillonnage, et une partie numérique qui réalise l'ensemble des traitements radio (signal processing : démodulation, démultiplexage) et le calcul du PVT (Navigation processing : Position Velocity Time).

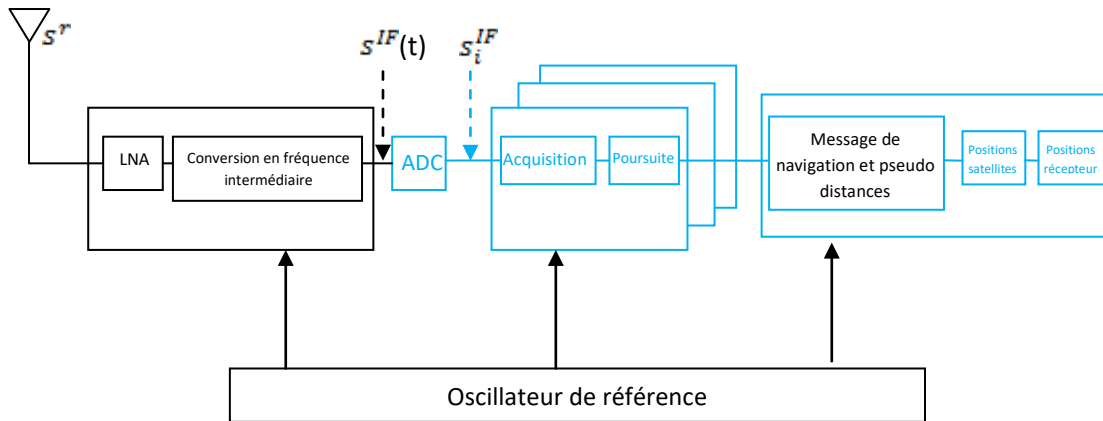


FIGURE 1.2 – Synoptique d’un récepteur GNSS [DAR12]

Les différents sous-systèmes, de la Figure 1.2, qui composent l’architecture d’un récepteur sont les suivants :

- L’antenne
- La chaîne radio- fréquence : Front-end (RF chain)
- Le convertisseur analogique-numérique (ADC)
- L’unité de traitement du signal (Signal processing)
- Les fonctions de traitement de navigation (Navigation processing)
- La génération des oscillateurs locaux (Reference oscillator & frequency synthesizer).

L’acquisition des signaux GNSS : signal GPS-C/A

Pour que le récepteur puisse extraire les délais de code et de phase du signal reçu par l’antenne, il doit générer une réplique locale du signal s_i^{IF} . Les délais de code et de phase sont utilisés pour calculer la distance satellite-récepteur, et la vitesse du récepteur (effet Doppler visible sur la phase). La réplique est générée par le récepteur en faisant varier le couple code C/A-porteuse L1. L’acquisition consiste alors à chercher le maximum de la corrélation, entre le signal reçu s_i^{IF} et un signal synthétique local

La corrélation est définie par :

$$r_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} s_n^{IF} s_{v,n+m}^{OL}$$

Chapitre 1

Où :

N : est le nombre total d'échantillons du signal,

m : est le décalage,

Avec le répliqua du satellite v :

$$s_{v,i}^{OL} = CA_{v,i} \sin \left(2\pi f^{OL} i * T_e \right)$$

rm est maximum lorsque le signal local a le même code et la même fréquence porteuse

que le satellite recherché dans le signa Ce signal contient l'ensemble des satellites visibles.

Si le satellite n'est pas visible la corrélation est nulle. La valeur de m donne le décalage en nombre d'échantillons entre le code du satellite contenu dans le signal reçu et les codes générés localement par le récepteur. On a donc une recherche tridimensionnelle à effectuer pour extraire l'ensemble des informations contenues dans le signal reçu. Soit :

- Les satellites visibles.
- Leur fréquence porteuse.
- Le retard de leur code.

On représente sur la Figure 1.5 un exemple d'acquisition obtenue pour un satellite visible. Dans cette représentation la fonction de corrélation est calculée pour différentes fréquences du signal et différents décalages de code. Les trois méthodes standards d'acquisition sont les suivantes:

- L'acquisition temporelle dite aussi algorithme de recherche série

La poursuite des signaux GNSS : signal GPS-C/A

Une fois que l'acquisition a fourni des estimations de la fréquence Doppler et du décalage de code l'étape de la poursuite prend la relève pour suivre leurs évolutions.

Pour cela les services de trois boucles d'asservissement doivent coopérer

- La boucle à verrouillage de fréquence FLL (Frequency Lock Loop) poursuit la fréquence porteuse

Chapitre 1

La boucle à verrouillage de phase PLL (Phase Lock Loop) poursuit la phase la boucle à verrouillage de délai de code DLL (Delay Lock Loop) poursuit les décalages du code

Dans le système de poursuite, de la Figure 1.9, ces trois boucles sont imbriquées. En effet, la sortie de la boucle de poursuite de la porteuse sera utilisée lors de la démodulation (carrier wippe-off) de la boucle de poursuite du code. Les boucles de poursuite PLL et FLL utilisent le code synchronisé (code “prompt”), fourni par la boucle de code pour le dés-étalement du signal (wippe-off)[SUN13].

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de la navigation par satellite ainsi que les différentes étapes pour obtenir une position d'un utilisateur quelconque par le système de navigation par satellite. Ce système permet de se positionner tout autour du globe grâce à des constellations de satellites et chaque satellite inclut dans son signal les informations donnant sa position précise dans l'espace. Bien qu'ils soient utilisés en permanence par des milliers de personnes.

II.1. Introduction: Signaux d'interférence dans le GNSS

Il est bien connu qu'un récepteur *GNSS* est en principe susceptible de recevoir plusieurs types d'interférences, ce qui peut entraîner une perturbation totale du signal. Cette faiblesse intrinsèque affecte les performances de tout type de récepteur, car il doit extraire des informations de pseudo-distance du Sis qui est reçu à une très faible puissance de signal (typiquement -160 dBw pour le *GPS* et -155 dBw sont attendus pour *Galileo*).

Tous les systèmes émettant sur des fréquences porteuses proches de la bande d'intérêt sont des sources potentielles d'interférence pour un récepteur *GNSS* et même de petites pertes de la largeur de bande qui leur est attribuée peuvent être nuisibles pour les signaux *GNSS*. Même si les événements de *PFI* non intentionnelles sont généralement imprévisibles, leur présence a été constatée dans le passé [26] et le nombre croissant d'infrastructures de communication sans fil augmente la probabilité qu'une partie de l'énergie hors bande provenant de la fréquence du signal située près des bandes *GNSS* puisse affecter les performances des récepteurs *GNSS* dans une certaine région.

Dans ce chapitre, une classification détaillée des principales sources de *SR* pour les applications *GNSS* est présentée.

II.2. Classification des sources d'interférences non intentionnelles et modèle de signal

Le signal *GNSS* interféré reçu à partir de l'antenne du récepteur peut être écrit sous forme de :

$$r(t) = \sum_{l=1}^{L-1} s_{RF,l}(t) + i(t) + \eta(t) \quad (2.1)$$

Où L est le nombre total de signaux *GNSS* utiles, $s_{RF,l}(t)$ est le signal *GNSS* utile reçu par le $l^{\text{ème}}$ satellite en ligne de mire, $i(t)$ est le signal interfère additif transmis sur une fréquence porteuse f_{int} et caractérisé par une largeur de bande bilatérale B_{int} , et $\eta(t)$ est le bruit blanc gaussien additif. Avant d'être envoyé au bloc d'acquisition et de poursuite, le signal est d'abord converti en fréquence intermédiaire, puis échantillonné et quantifié dans

le front-end du récepteur. Ainsi, le signal composite reçu à la sortie de l'ADC devient selon §[32] peut être écrit comme :

$$r_{IF}[n] = Q_k^u \left[\sqrt{2C} d(n-n_0) c(n-n_0) \times \cos(2\pi F_{D,0} n + \phi_0) + i[n] + \eta[n] \right] \quad (2.2)$$

Où C est la puissance du signal *GNSS* reçu d'un satellite en vue, d et c sont respectivement le contenu du message de données de navigation et la séquence de bruit pseudo-aléatoire, $F_{D,0} = (f_{IF} + f_0) T_s$ est la fréquence *Doppler* affectée.

$n_0 = \tau_0 / T_s$ est le retard du code numérique et ϕ_0 est la phase de la porteuse instantanée. $i[n]$ et $\eta[n]$ sont respectivement l'interférence numérisée et la composante numérique du bruit gaussien. Étant donné B_{IF} la largeur de bande du front-end, on peut montrer que l'échantillonnage du signal à la fréquence de *Nyquist* $f_s = 2B_{IF}$, la variance du bruit devient :

$$\sigma_{IF}^2 = E\{\eta^2[n]\} = \frac{N_0 f_s}{2} = N_0 B_{IF} \quad (2.3)$$

Où $\frac{N_0}{2}$ est la densité spectrale de puissance (*DSP*) du bruit.

Une classification générale des signaux parasites est basée sur leurs caractéristiques spectrales telles que leur ajustement à la fréquence porteuse ou leur largeur de bande B_{int} :

- Le brouillage hors bande désigne les signaux interférents dont la fréquence porteuse est située à proximité de la bande de fréquence *GNSS* visée

$$\left(f_{int} < f_{IF} - \frac{B_{IF}}{2} \text{ ou } f_{int} > f_{IF} + \frac{B_{IF}}{2} \right);$$

- L'interférence dans la bande fait référence aux signaux brouilleurs avec la fréquence porteuse dans la bande de fréquences *GNSS*

$$\left(f_{IF} - \frac{B_{IF}}{2} < f_{int} < f_{IF} + \frac{B_{IF}}{2} \right);$$

En outre, l'interférence peut être classée selon ses caractéristiques dans le domaine fréquentiel comme:

- *NBI* lorsque l'occupation spectrale est plus petite par rapport à la largeur de bande du signal GNSS ($B_{\text{int}} \ll B_{IF}$) ;
- Interférence à large bande (*WBI*) lorsque l'occupation spectrale est comparable par rapport à la largeur de bande du signal GNSS ($B_{\text{int}} \approx B_{IF}$) ;
- *CWI* qui représente la limite ultime en *NBI* et apparaît comme une seule tonalité dans le domaine des fréquences ($B_{\text{int}} \rightarrow 0$) ;

En outre, en général, l'interférence peut avoir des caractéristiques variant dans le temps et la fréquence, comme par exemple, l'interférence pulsée ou les signaux de modulation d'impulsions (*chirp*). Le premier est principalement caractérisé par un état de marche/arrêt de courte durée (ordre de F_{es}), qui alterne dans le domaine temporel, tandis que le second est caractérisé par une variation linéaire dans le temps de la fréquence instantanée, ce qui donne une *IBW*. Plus de détails sur la classification des interférences peuvent être trouvés dans [33].

Tous les systèmes de communication dont les fréquences sont proches de la bande GPS pourraient être une source potentielle d'interférence pour un récepteur GNSS. Il est évident qu'une partie de l'énergie hors bande provenant des fréquences situées près des bandes GNSS interfère avec les récepteurs GNSS, même si elle n'appartient pas au même milieu. Les sources potentielles d'interférence peuvent avoir des bandes différentes, y compris les fréquences GPS/Galileo (dans la bande F_{in}) ou loin des bandes du récepteur (hors bande [*WI*]).

Pour les fréquences GPS/Galileo existantes, la menace d'interférence est bien connue et a fait l'objet d'études approfondies.

II.2.1. Signaux hors bande

Le *CWI* concerne une large classe de *NI31* causée par les émissions hors bande des systèmes électroniques. Même si les bandes de fréquences du GNSS sont protégées par la Commission fédérale des communications (*FCC*) et les organismes internationaux, certaines harmoniques hors bande pourraient interférer avec les signaux Galileo et GPS.

En particulier, le CWI pourrait avoir un impact important sur un récepteur GNSS sur les blocs d'acquisition et DLL car la puissance d'interférence est dispersée sur tout l'espace de recherche par le désétalement du code, compromettant la précision d'acquisition et ayant un impact sur les autres blocs fonctionnels conséquents.

L'interférence en bande étroite représente l'effet négatif le plus important sur la performance du récepteur GPS. Cela est dû aux caractéristiques du code C/A. En fait, le spectre d'un code C/A présente des composantes de ligne espacées à 1 kHz avec une hauteur différente en raison des variations du code de la fonction d'autocorrélation. Ces composantes sont plus sensibles aux interférences et pourraient générer un faux verrouillage dans le corrélateur en cas de correspondance entre les composantes de ligne du signal de référence C/A et le brouilleur CWI [34][7][23].

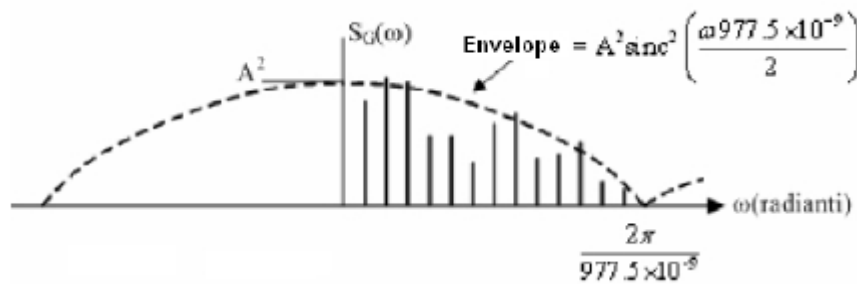


Fig 2.1. Spectre de puissance d'un code C/A

La représentation typique de la présence d'une interférence est illustrée dans la figure 2.1 ci-dessous où une émission d'une source d'interférence tombe dans la bande *GPS L1*. Les schémas des niveaux de puissance d'interférence maximum admis à l'antenne d'un récepteur *GPS* sont illustrés dans [34]. Ils sont spécifiés par certaines institutions comme *ARINC 743A*, *RTCA* et *EUROCAE*. Dans les sections suivantes, certaines des principales sources d'interférence hors bande seront analysées plus en détail.

II.2.2.1. Chaînes de télévision

Les émissions de télévision sont de véritables sources d'interférences pour un récepteur *GNSS*. Elles peuvent être de type *NBI* ou *WM* : les ondes vidéo sont considérées comme des signaux à bande moyenne/large alors que les ondes sonores sont considérées comme des ondes *CWI*. Dans le signal *TV* diffusé. Des antennes à très haute fréquence (*VHF*) et

UHF sont utilisées. Ainsi, les deux extrémités des mains, dans leur sous-canal, peuvent représenter des sources d'interférence pour un récepteur *GNSS*.

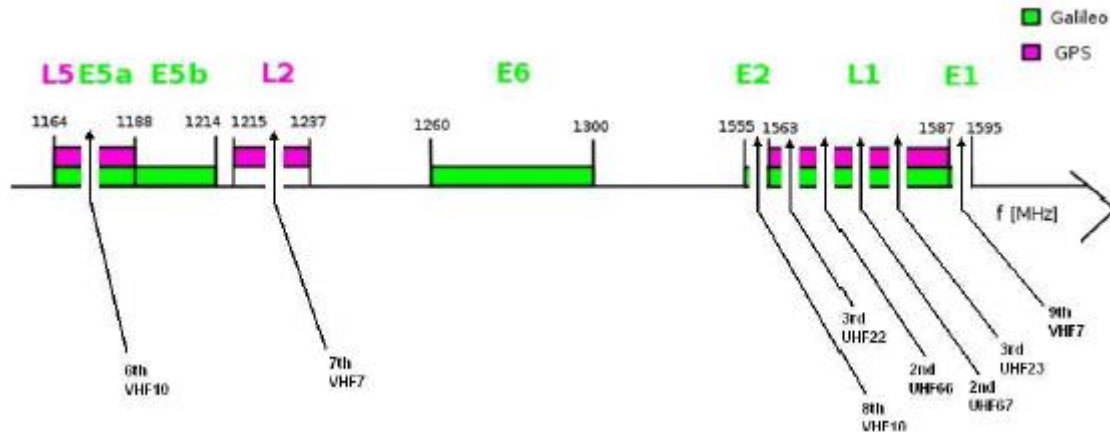


Figure 2.2. Potentiel d'interférence harmonique de canal de télévision

II.2.1.2. Signaux DVB-T

La norme DVB a été constituée en 1993 par le projet européen DVB. L'objectif principal de ce projet, qui comprend aujourd'hui plus de 300 membres européens et extra-européens, est d'harmoniser les stratégies d'introduction de la télévision numérique et des nouveaux services interactifs multimédia sur les réseaux de transmission et de définir les spécifications techniques correspondantes. Certains résultats sont obtenus en définissant les spécifications du système pour la norme DVB-S, développée pour la diffusion directe de programmes multiples de télévision par satellite et pour la norme DVB-C pour la distribution de signaux de télévision à travers les réseaux centraux. La famille DVB comprend également la norme DVB-T, qui fournit la télévision numérique terrestre. Sa définition a été réalisée en novembre 2005 avec la norme approuvée en février 1997 par l'ETSI.

En [3], une description plus complète du système est donnée et les principales fréquences de transmission sont indiquées en VHF III (174-223 MHz), UHF IV et UHF V (470-854 MHz). Il est clair que ces valeurs de fréquence ne représentent pas une nuisance directe pour les bandes de réception GNSS, mais elles peuvent causer certains problèmes si l'on

tient compte des harmoniques potentielles. Dans le document [29], une série d'expériences sur le terrain visant à évaluer l'effet des signaux terrestres DVB et VHF/UHF sur les récepteurs GNSS sont décrites. La figure 2.3 montre les harmoniques secondaires potentielles provenant du système DVB-T et qui peuvent relever du GPS L1.

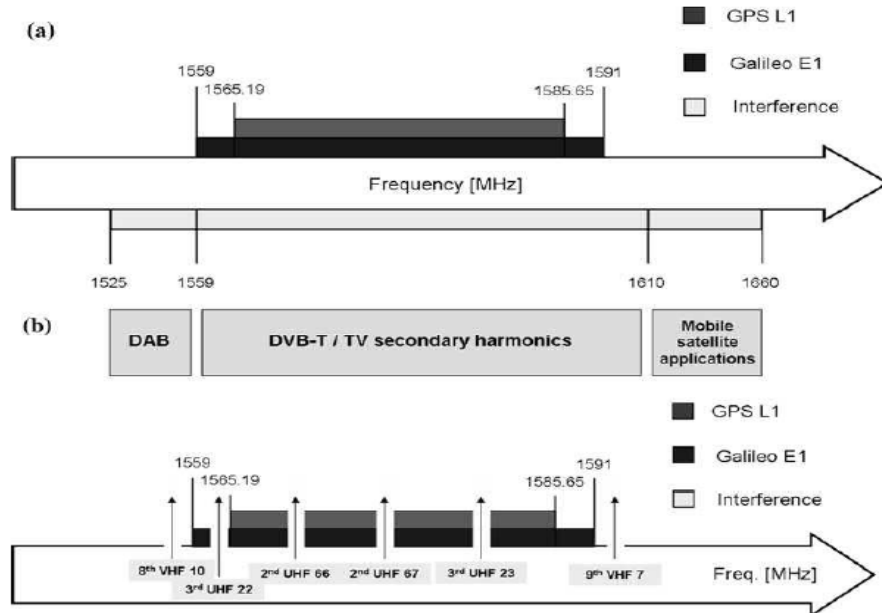


Figure 2.3 : Interférences possibles dans la bande et hors bande (a). Interférences d'harmoniques secondaires dans les bandes GPS L1 et Galileo E1 (b)

II.2.1.3. VHF/COM

Avec la TV VHF, d'autres sources d'interférence dans la bande VHF pourraient être considérées comme dangereuses pour un récepteur GNSS. Il s'agit des interférences de communication VHF [34] [36]. Cette bande (118-137 MHz) contenant 760 canaux espacés de 25 kHz, est couramment utilisée par les communications du contrôle du trafic aérien (ATC). Les harmoniques sont considérées comme des CWI avec une largeur de bande d'environ 25 kHz. Les canaux VHF centrés sur 121.150, 121.175 et 121.200 MHz ont la 3^{ème} harmonique dans la largeur de bande du GPS, tandis que les canaux centrés sur 131.200, 131.250 et 131.300 MHz ont la 12e. La figure 2.4 indique les harmoniques potentielles *VHF/COM*.

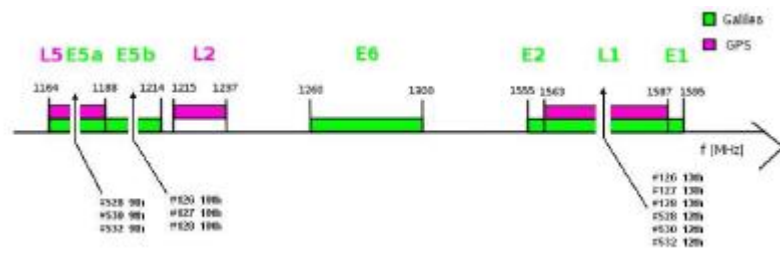


Figure 2.2. Potentiel d'interférence harmonique de *VHF COM*.

II.2.1.4. Harmoniques FM

Les petites bandes de fréquences à l'intérieur de la bande de modulation de fréquence (FM) (87,5-108 MHz) sont également des sources d'harmoniques qui tombent dans les bandes GNSS. Les canaux 104,9 et 105,1 MHz ont leurs 15^{ème} harmonique près de la bande GPS à corrélation étroite. Les canaux sont espacés de 150 kHz alors que la puissance maximale émise est de 50 dBW. Les harmoniques générées par les sources FM sont considérées comme des interférences à bande large au sens du signal GPS C/A [34].

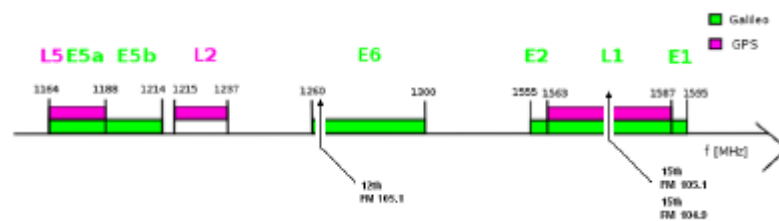


Figure 2.2. Potentiel d'interférence harmonique de *FM*.

II.2.2. Signaux en bande

Comme certaines sources d'interférence ont une bande de base directement attribuée dans les bandes d'observation, elles peuvent être considérées comme des signaux d'interférence de bande. Il s'agit des interférences intersystèmes et intrasystèmes, des systèmes de communication aéronautiques militaires et civils et des U \ VB. Une brève description de chacun d'entre eux est présentée dans les sections suivantes.

II.2.2.1. Interférences entre systèmes et intrasystèmes

L'interférence intersystème et intrasystème peut être considérée comme des perturbations de la bande. Le système Galileo a été développé pour assurer la compatibilité avec le GPS [10]. Les deux systèmes doivent fonctionner indépendamment l'un de l'autre ou avec un niveau minimum d'interférence entre eux. Le terme "intersystème" désigne la perturbation que l'émetteur GPS produit sur le signal Galileo et vice versa.

En revanche, le terme intrasystème fait référence aux perturbations affectant le même système que celui qui les produit. Cet effet est généralement causé par une suppression incomplète de la porteuse qui pourrait produire une composante à bande étroite non désirée avec une concentration de puissance autour de la fréquence porteuse.

II.2.2.2. Systèmes de communication aéronautiques militaires/civils

Les systèmes de communication militaires peuvent être considérés comme des interférences dans la bande en raison de la bande de signaux utilisée par les systèmes.

Les systèmes DME/TACAN se composent d'un interrogateur embarqué et d'un répéteur terrestre qui émet des signaux pulsés de grande puissance qui constituent une menace réelle pour les récepteurs GPS de Galileo. Le DME et le TACAN fournissent des mesures de la portée des aéronefs à partir d'un point de référence au sol. Le TACAN est un système militaire qui fournit des mesures de portée et d'azimut. Le système DME/TACAN fonctionne dans la bande de fréquences [38] de 960 MHz à 1215 MHz des AHNS, selon quatre modes différents : X, Y, W et Z, même si seul le mode X occupe la bande de fréquences de 1151 MHz à 1215 MHz qui interfère avec le signal GNSS E5a/L5 et E5b (Fig. 2.6).

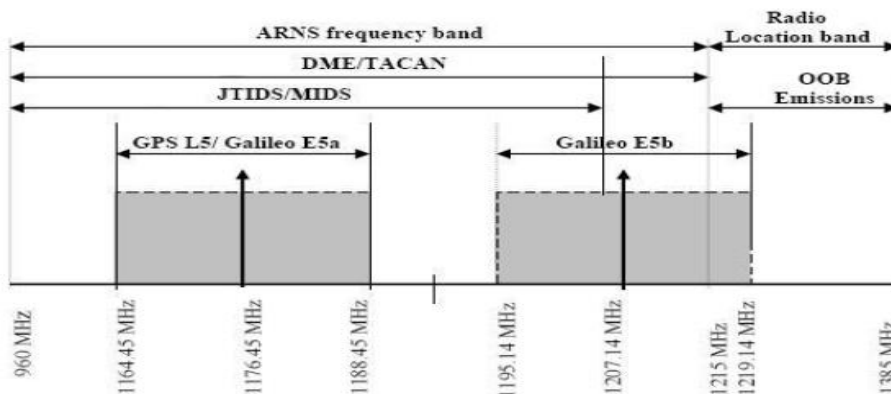


Figure 2.6. Plan de fréquences DME/TACAN et JTIDS/MIDS.

II.2.2.3. Signaux à bande ultra large

La définition de l'UWB englobe tout signal occupant plus de 500 MHz entre 3,1 et 10,6 GHz et répondant au gabarit du spectre qui définit les limites intérieures des systèmes de communication UWB. Les technologies basées sur l'UWB offrent simultanément une communication à haut débit, avec la possibilité d'offrir des débits de transmission de données de 100 à 500 Mbps à une distance de 2 à 10 mètres en utilisant une puissance rayonnée moyenne de quelques centaines de microwatts, et des capacités de positionnement de haute précision utilisées dans la technique de radar imageur grâce à leur capacité de pénétration des murs. En fait, pour cet aspect, ils ont été étudiés pour la localisation et la navigation à l'intérieur des bâtiments en raison de leurs performances dans un environnement à trajets multiples [40].

Plusieurs études [41], [42], [43] concluent que les signaux UW13 peuvent dégrader les performances des récepteurs GPS. Par conséquent, ils sont potentiellement dangereux pour un récepteur Galileo. D'autres études sont présentées dans [44] et dans [45] où il est démontré, respectivement dans une simulation et dans une étude du WPAN, que l'effet d'interférence de l'UWB peut être rétabli en choisissant opportunément les paramètres de modulation..." De nombreux travaux sur la coexistence entre l'I/CI du NM et l'UNVB ont été réalisés, mais aucun travail spécifique sur l'impact sur les récepteurs Galileo n'a été trouvé. Des études supplémentaires sont donc nécessaires pour déterminer l'impact de ce type d'interférence.

II.2.2.4. Harmoniques potentielles dans les bandes de fréquences de Galileo

Les nouveaux services prévus par le système Galileo exigent une grande précision et une grande fiabilité. C'est pourquoi une étude des sources d'interférence possibles qui pourraient affecter les récepteurs GALILEO est présentée ici pour comprendre quelles sont les menaces potentielles qui devraient être détectées et atténuées.

Le tableau 2.1 présente les principales interférences dues à la bande de source d'interférence, telles que décrites dans le tableau 04]. Il a été analysé si les harmoniques d'interférence Galileo/GNSS hors bande pouvaient être trouvées dans la bande Galileo/GPS habituelle/étroite. La figure 2.7 montre graphiquement les positions des harmoniques.

Usage	Bandwidth (MHz)	Order L1	Order E5a	Order E5b	Order E6
UHF TV	785.71 - 788.71	2 nd			
UHF TV	523.807 - 526.473	3 rd			
Mobile/Station	392.855 - 395.855	4 th	3 rd		
Mobile/Station	314.284 - 315.884	5 th			4 th
Mobile/Station	261.903 - 263.237	6 th			
Broadcasting	224.488 - 225.631	7 th			
VHF TV	196.427 - 197.428	8 th	6 th		
VHF TV	174.602 - 175.491	9 th			7 th
VHF Maritime	157.142 - 157.942	10 th			8 th
VHF Military	142.856 - 143.584	11 th			9 th
VHFCOM	130.952 - 131.618	12 th	9 th		
VHFCOM	120.878 - 121.494	13 th		10 th	
VOR/ILS	112.244 - 112.816	14 th			
FM	104.761 - 105.295	15 th			12 th
FM	98.214 - 98.714	16 th	12 th		13 th

Tableau 2.1. Principales sources de brouillage dans la bande

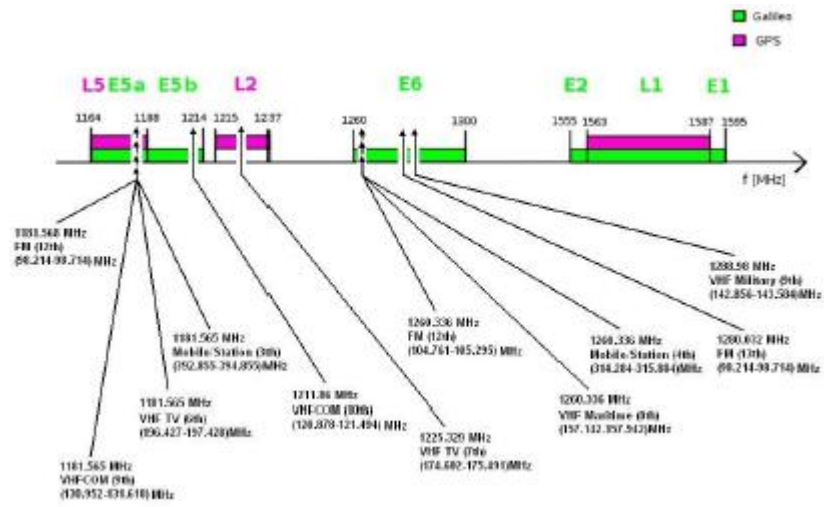


Figure 2.7. Harmoniques d'interférence dans les bandes E5a, E5b et E6

II.10. Conclusion

Ce chapitre la pertinence d'une évaluation de l'impact des interférences RF sur les systèmes de satellites de navigation (Global Navigation) et contient un aperçu des techniques de détection et d'atténuation de pointe. Tout d'abord, les niveaux de puissance du signal GNSS sont extrêmement faibles, en raison de la distance entre les signaux et leur déplacement. Ces faibles niveaux de puissance de signal motivent l'utilisation de techniques de spectre étendu. En outre, il a été démontré que l'interférence RF involontaire est omniprésente. Les services sont actifs pour les communications par satellite, la télédiffusion, le radar et d'autres applications. Ces services peuvent poser des problèmes de nature différente : émissions hors bande, harmoniques ou produits d'intermodulation. Enfin, malgré que l'environnement de signal est faible.

III.1. Introduction

Le signal GPS (Global Positioning System) L5 avec une bande de fréquence exclusive est spécialement utilisé pour le système de l'aviation civile comparé aux signaux L1 et L2, le signal L5 a une puissance plus élevée, une plus grande précision de positionnement, une plus grande capacité antibrouillage, et peut être mis en œuvre de manière plus pratique.

Cependant, de nombreux équipements d'interférence fonctionnent sur la bande de fréquences L5, parmi lesquels les signaux DME (équipement de mesure à distance) ont la plus grande influence sur le signal L5.

Sous forme d'impulsions d'interférences forcées de forte puissance, le signal DME va diminuer le SINR (rapport signal/interférence et bruit) au niveau du récepteur, réduire le nombre de satellites d'acquisition, déverrouiller la boucle de poursuite et enfin entraîner une erreur de décodage ou une défaillance des informations de navigation [1-4].

De nombreux organismes de recherche et des universités ont cherché des méthodes pour atténuer l'erreur provoquée par l'interférence du DME. Parmi les techniques anti-interférences développées, l'effacement d'impulsions, le filtre coupe-bande et la méthode hybride sont les plus souvent utilisés.

La méthode de suppression des impulsions atténue les interférences en fixant à zéro les signaux qui dépassent le seuil dans le domaine temporel [5, 6]. Elle est facile à mettre en œuvre avec moins de complexité de calcul et a déjà été vérifiée sur un récepteur matériel expérimental [7]. Cependant, il ne peut pas éliminer complètement l'impulsion d'interférence en forme de cloche, laissant les queues de l'impulsion enfouies sous le niveau de bruit. Le principal défaut de cette méthode est que certains signaux GPS utiles seront également éliminés lorsque les interférences seront supprimées.

En raison de la forte densité du signal DME, cette méthode éliminera une grande partie du signal GPS. Les erreurs d'acquisition et de suivi seront dues à l'absence d'une grande quantité de données.

III.2. Suppression conventionnelle des interférences d'impulsions

Le signal *DME* a une structure de paire d'impulsions [20], un signal de paire d'impulsions *DME* en bande de base peut être représenté comme :

$$s(t) = e^{-\frac{\alpha}{2}t^2} + e^{-\frac{\alpha}{2}(t-\Delta t)^2} \quad (1)$$

Où $\alpha = 4.5 \times 10^{11} s^{-2}$ peut garantir que les largeurs de bande de demi-amplitude des deux impulsions gaussiennes sont toutes deux de $3.5 \mu s$; Δt est l'intervalle interne entre la paire d'impulsions.

Pour le canal d'onde *X* qui chevauche la bande de fréquence du signal *GNSS*, $\Delta t = 12 \mu s$. Le modèle mathématique du signal *DME* après la modulation peut être représenté par la formule suivante :

$$s_m(t) = \left(e^{-\frac{\alpha}{2}t^2} + e^{-\frac{\alpha}{2}(t-\Delta t)^2} \right) e^{j(\omega t + \theta)} \quad (2)$$

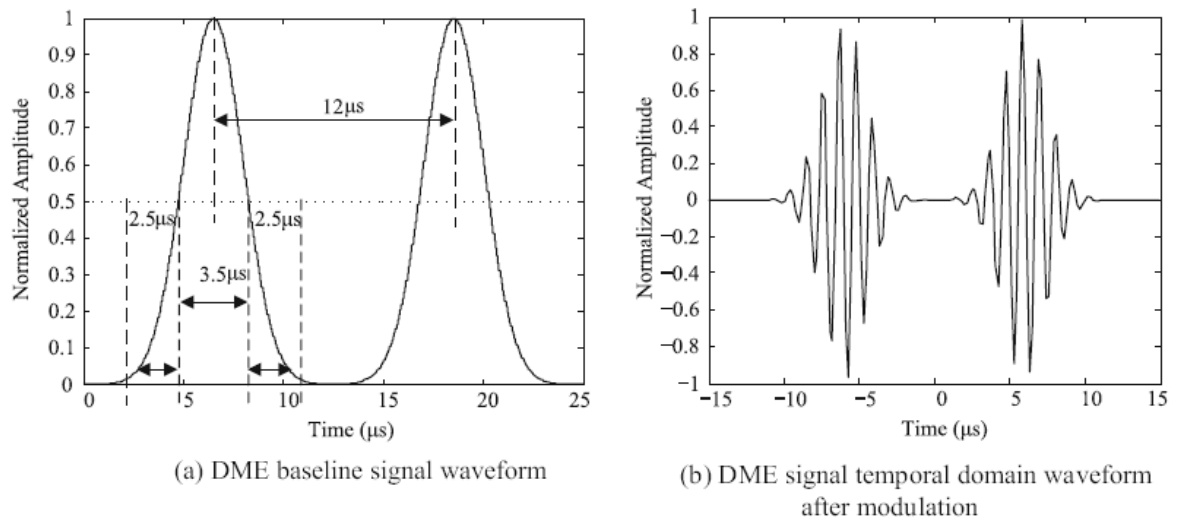


Figure 3.2. Forme d'onde du signal de la paire d'impulsions *DME*

Où ω et θ sont la fréquence angulaire et la phase de l'onde porteuse. La Figure 3.2 montre la forme d'onde du signal *DME* de base et la forme d'onde du signal *DME* après modulation.

En combinant les Figures 3.2a et (3.1), à l'intérieur de l'enveloppe de la forme d'onde *DME*, le temps nécessaire pour qu'elle passe de la bande passante de demi-amplitude au point où l'amplitude est de 0.017 de la crête d'amplitude est de $2.5 \mu s$. Nous pouvons calculer approximativement la durée de la paire d'impulsions *DME* comme suit :

$$2.5 + \frac{3.5}{2} + 12 + \frac{3.5}{2} + 2.5 = 20.5 \mu s. \quad (3)$$

Les queues des impulsions gaussiennes s'approchent asymptotiquement de zéro, et certaines parties des queues sont en dessous du niveau de bruit. Lors de la détection des interférences d'impulsions *DME*, pour s'assurer qu'une paire d'impulsions complète est contenue dans une fenêtre de détection, la longueur de la fenêtre de détection peut être choisie en $25 \mu s$.

Dans le domaine temporel, un signal *DME* est une paire d'impulsions gaussiennes avec une certaine queue, et dans le domaine fréquentiel, c'est un signal associé à une certaine largeur de bande lorsque 99% de l'énergie se concentre dans les 0,8 MHz [21]. La Figure 3.3 montre sa densité spectrale de puissance.

Le modèle mathématique du signal reçu sous l'impact des émetteurs Q *DME* peut être représenté comme

$$x(t) = s_{GNSS}(t) + \sum_{q=1}^Q \sum_{u=1}^{U_q} \sqrt{P_q} s(t - t_{q,u}) e^{j(\omega_{q,u}t + \theta_{q,u})} + e(t) \quad (4)$$

Où :

- $s_{GNSS}(t)$ est le signal *GNSS* reçu ;
- $s(t)$ est le signal *DME* en bande de base ;
- U_q est le nombre total de paires d'impulsions reçues pendant la durée d'observation transmise par le $q^{i\text{ème}}$ émetteur *DME* ;

- P_q est la puissance reçue du $q^{i\text{ème}}$ *DME* émetteur ;
- $t_{q,u}$ est le temps d'arrivée de la $u^{i\text{ème}}$ paire d'impulsions générée par le $q^{i\text{ème}}$ émetteur *DME* ;
- $\omega_{q,u}$ est la fréquence porteuse correspondante ;
- $\theta_{q,u}$ est la phase porteuse correspondante ;
- Et $e(t)$ est le bruit du récepteur, et nous pouvons supposer qu'il s'agit d'un bruit blanc gaussien.

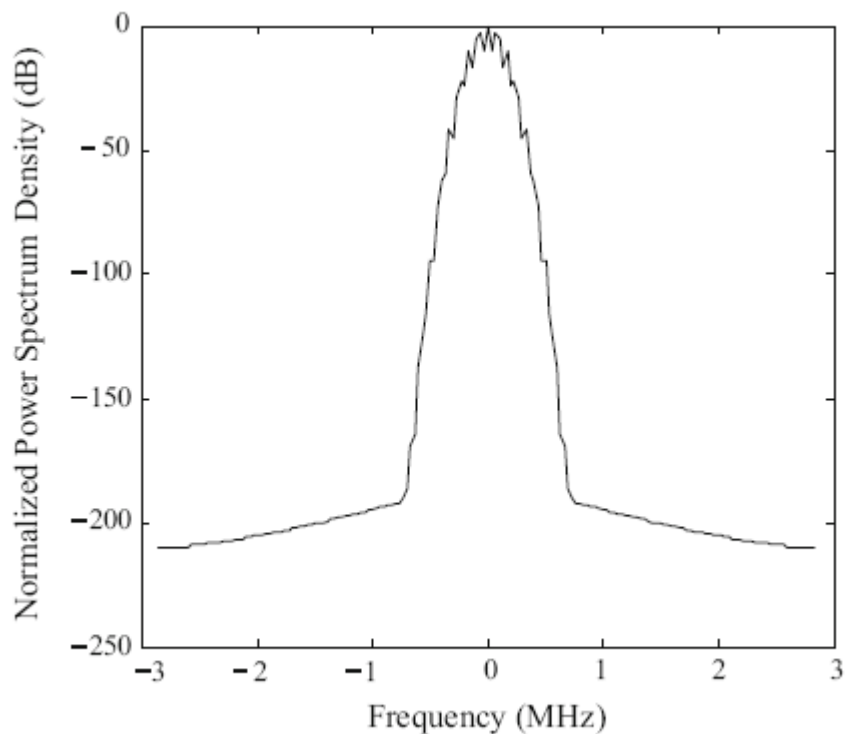


Figure 3.3. La puissance spectrale du signal *DME*

III.2.1. Méthode d'effacement des impulsions du domaine temporel

L'algorithme de suppression des interférences des impulsions le plus fréquemment utilisé est la méthode d'effacement des impulsions du domaine temporel.

L'approche de la méthode de suppression des impulsions du domaine temporel consiste à effectuer une détection d'amplitude à chaque point d'échantillonnage pour le signal *GNSS*

reçu. Si l'amplitude dépasse un seuil prédéfini (généralement lié à la puissance du bruit), un processus de mise à zéro peut être effectué, supprimant ainsi les interférences supérieures au seuil prédéfini.

La méthode de traitement de l'effacement des impulsions du domaine temporel peut également être utilisée pour calculer le cycle d'utilisation de l'interférence des impulsions (le rapport entre le nombre d'échantillons supérieurs au seuil et le nombre total d'échantillons observés).

Un cycle d'utilisation plus élevé signifie un plus grand nombre d'impulsions d'interférence *DME* dans une unité de temps, ou une densité plus élevée d'impulsions d'interférence *DME*. Le traitement du signal interférent par la méthode d'effacement des impulsions du domaine temporel est illustré à la Figure 3.4, où la Figure 3.4a est la forme d'onde du domaine temporel du signal reçu sous l'impact de cette interférence.

La Figure 3 représente la forme d'onde du signal après la suppression des interférences à l'aide de la méthode de suppression des impulsions du domaine temporel, et on peut voir que les signaux supérieurs au seuil ont tous été mis à zéro.

La méthode de suppression des impulsions du domaine temporel est facile à mettre en œuvre et présente une grande efficacité. Sous la condition d'un faible cycle de fonctionnement, elle peut également avoir de bonnes performances de suppression des interférences.

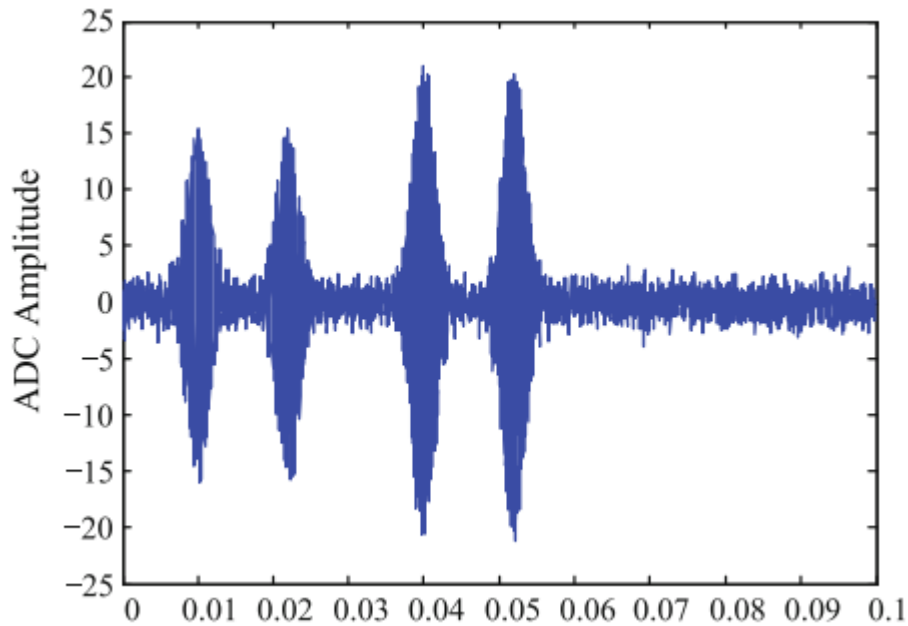


Figure 3. Méthode d'effacement des impulsions du domaine temporel pour la suppression des interférences *DME*

Mais lorsque le rapport cyclique est plus élevé, cette méthode peut entraîner une perte importante de signaux authentiques lorsqu'elle effectue un réglage du zéro sur l'interférence, dégradant ainsi les performances d'acquisition des signaux *GNSS* authentiques par le récepteur.

Le choix d'un seuil approprié est l'un des facteurs cruciaux pour la performance de la méthode d'effacement des impulsions du domaine temporel. La sélection est basée sur le niveau de bruit. Comme les signaux *GNSS* authentiques sont noyés dans le bruit, ce dernier et les signaux *GNSS* sont considérés comme des "signaux de bruit", et le paramètre *CFAR* (Constant False Alarm Rate) peut être utilisé pour calculer le seuil. Comme le niveau de bruit fluctue en permanence, lorsque l'amplitude du bruit dépasse le seuil de détection, le système de détection considère qu'une cible (ou un signal d'interférence) a été trouvée. Ce type d'erreur est défini comme une fautive alerte, et la probabilité de son occurrence est connue sous le nom de *CFAR*.

III.3. Formulation mathématique du problème

Étant donné les parties réelles et imaginaires d'un bruit gaussien complexe, $e(t)$ sont $e_r(t)$ et $e_i(t)$, les fonctions de densité de probabilité de $e_r(t)$ et $e_i(t)$ suivent toutes deux 'resp.' une distribution gaussienne avec une moyenne nulle et une variance σ^2 , alors nous avons :

$$e(t) = e_r(t) + je_i(t)$$

Par conséquent, l'enveloppe du bruit complexe suit une distribution de *Raleigh*.

Tout d'abord, nous présentons quelques caractéristiques de la distribution de *Raleigh* :

Étant donné la fonction de densité de probabilité d'une variable aléatoire w

$$f(w) = \begin{cases} \frac{w}{a^2} e^{-\frac{w^2}{2a^2}}, & w \geq 0 \\ 0, & w \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Où a ($a > 0$) est une constante, alors w suit une distribution de *Raleigh* avec le paramètre a , et son espérance est

$$E[w] = a \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (6)$$

Si le *CFAR* supérieur à w_0 est P_{fa} , alors

$$P_{fa} = \int_{w_0}^{\infty} \frac{w}{a^2} \exp\left(-\frac{w^2}{2a^2}\right) dw = \exp\left(-\frac{w_0^2}{2a^2}\right) \quad (7)$$

Le seuil w_0 calculé sur la base de (3.7) est

$$w_0 = a \sqrt{-2 \ln(P_{fa})} \quad (8)$$

En se basant sur (3.8), pour la distribution de *Raleigh*, compte tenu d'un certain *CFAR*, le seuil w_0 est lié au paramètre a . Si a peut être résolu, le seuil peut également être obtenu.

Dans l'exemple, l'enveloppe du bruit complexe $|e(t)|$ suit une distribution de Raleigh, et le paramètre correspondant a est σ .

Par conséquent, pour un bruit gaussien complexe de moyenne nulle, le seuil d'effacement des impulsions du domaine temporel Th_0 correspondant au CFAR P_{fa} est

$$Th_0 = \sigma \sqrt{-2 \ln(P_{fa})} \quad (9)$$

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudions principalement l'un des algorithmes de suppression d'interférence d'impulsion pour le GNSS. En utilisant l'interférence d'impulsion *DME* comme exemple, nous résumons d'abord la méthode conventionnelle de suppression d'interférence d'impulsion, c'est-à-dire la méthode de suppression d'impulsion du domaine temporel. Enfin, pour parvenir à un compromis entre la performance et la complexité de l'algorithme, nous proposons un algorithme intégré de suppression des interférences des impulsions.

L'algorithme sélectionne de manière adaptative un algorithme ayant de bonnes performances et une faible complexité de calcul en fonction de différentes densités d'interférence d'impulsion.

Il convient de souligner que même si l'interférence d'impulsion *DME* est utilisée comme exemple dans ce chapitre, des algorithmes connexes peuvent également être appliqués pour supprimer d'autres interférences d'impulsion.

Introduction

Dans ce chapitre, nous montrons les performances de la méthode d'atténuation proposée, les signaux reçus ont été combinés avec une interférence DME générée par un simulateur logiciel basé sur MATLAB. Comme mentionné précédemment, les nouveaux signaux GNSS comme *chinois biedu*, Galileo européen, et d'autres sont considérés comme des systèmes de communication DSSS. Pour cette raison, les méthodes d'atténuation des interférences conviennent à tous les systèmes de navigation par satellite. En conséquence, la méthode proposée sera appliquée sur les bandes de signaux Galileo E5 européennes

4.1 Caractéristiques des signaux simulés

Brève présentation du signal Galileo E5 La bande Galileo E5 comprend deux bandes, une bande E5a centrée à 1176,45 MHz et une bande E5b centrée à 1207,140 MHz. En outre, le signal Galileo E5 est un signal AltBOC(15,10) modulé

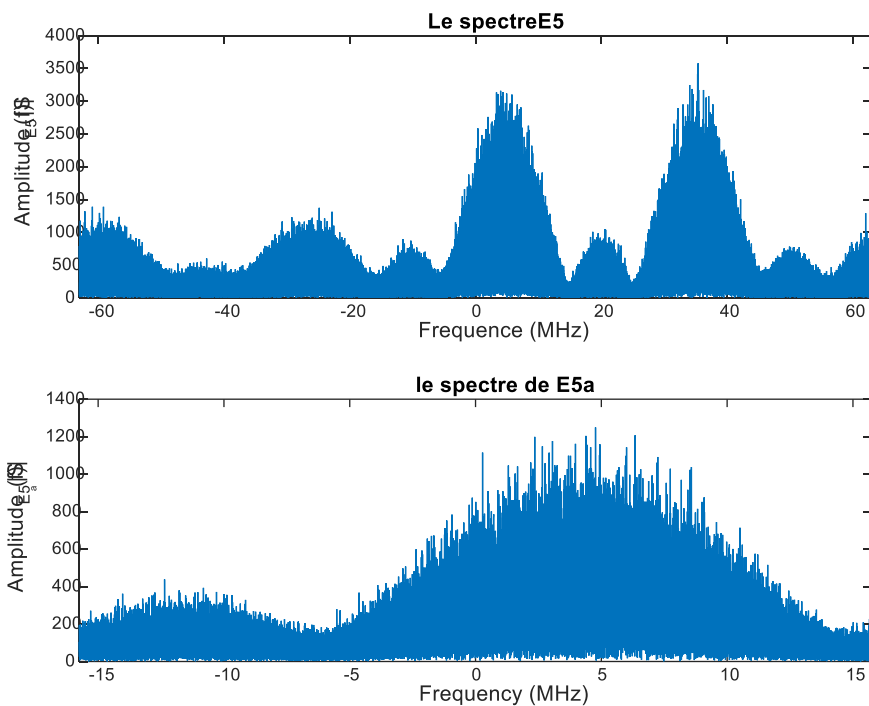


Figure 4.1 Le spectre de signal de Galileo E5a

La figure 4.2 présente le signal Galileo E5aI noyé dans le bruit gaussien. The Galileo E5aI signal has been chosen in our simulation scenarios. Details on signal parameters are reported in Table 1

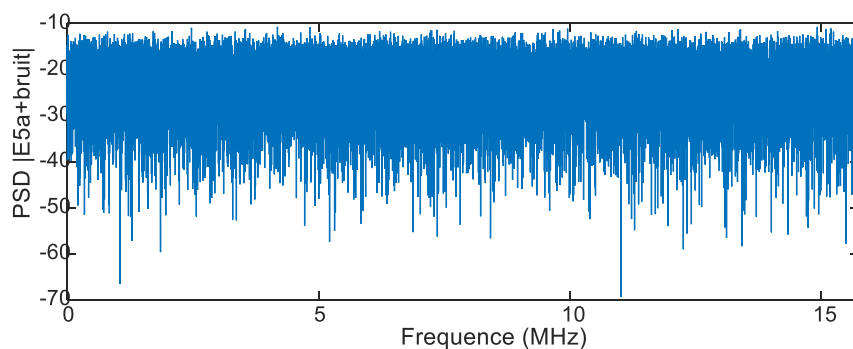


Figure 4.2 : Le PSD de signal E5aI+bruit

Tableau.1 : les paramètres de signale E5aI

Paramètres	Valeur
Signal souhaité	Galileo E5a-I
Fréquence d'échantillonnage fs	31.500 MHz
Fréquence intermédiaire fIF	4.655 MHz
Intégration cohérente	1ms
CNR	50 dB-Hz

La performance des algorithmes de brouillage est exprimée en termes de :

- L'état du signal avant l'acquisition, où une comparaison des PSD fournit des informations relatives au signal avant et après le rejet de l'interférence [3][5][17].
- La fonction d'ambiguïté $S(s,FD)$ est une mesure fiable pour évaluer la validité du système anti-brouillage. Dans $S(s,FD)$, s est le délai de la réplique locale du code C/A et $FD = fIF \cdot fD$, où fIF et fD sont respectivement la fréquence IF et Doppler.
- Le but de l'unité d'acquisition est de trouver les paramètres de signal pour tous les satellites disponibles. La fonction d'acquisition recherche un signal GPS par pas de fréquence de 0,5 KHz. La métrique d'acquisition est définie comme suit :
 $\alpha_{max} = R1/R2$

où α_{\max} représente le rapport entre le pic de corrélation R1 le plus élevé et le deuxième pic de corrélation R2 le plus élevé dans l'espace de recherche pour chaque canal. Ce rapport est comparé à la valeur de seuil qui est prédéfinie dans le récepteur.

Un scénario d'un récepteur GNSS corrompu par le signal composite pulsé provenant de stations 50DME/TACAN émettant des signaux fortement pulsés Les bandes de fréquences Galileo E5a ont été simulées.

La figure 4.3 montre 3 ms de données collectées à la fréquence intermédiaire (4,655 MHz) échantillonnée à 31500 MHz. Les caractéristiques spectrales du signal pulsé unique DME/TACAN sont indiquées dans le graphique en bas . Il apparaît comme une interférence à bande étroite avec une bande passante d'environ 800 kHz. Le spectre entier est bloqué en raison du fait que la balise au sol a été simulée impulsions de diffusion, les signaux sont affichés dans le graphique en bas. Il apparaît comme une interférence à bande étroite avec une bande passante d'environ 800 kHz. Le spectre entier est bloqué en raison du fait que la balise au sol a été simulée des impulsions de diffusion dans les bandes Galileo E5a.

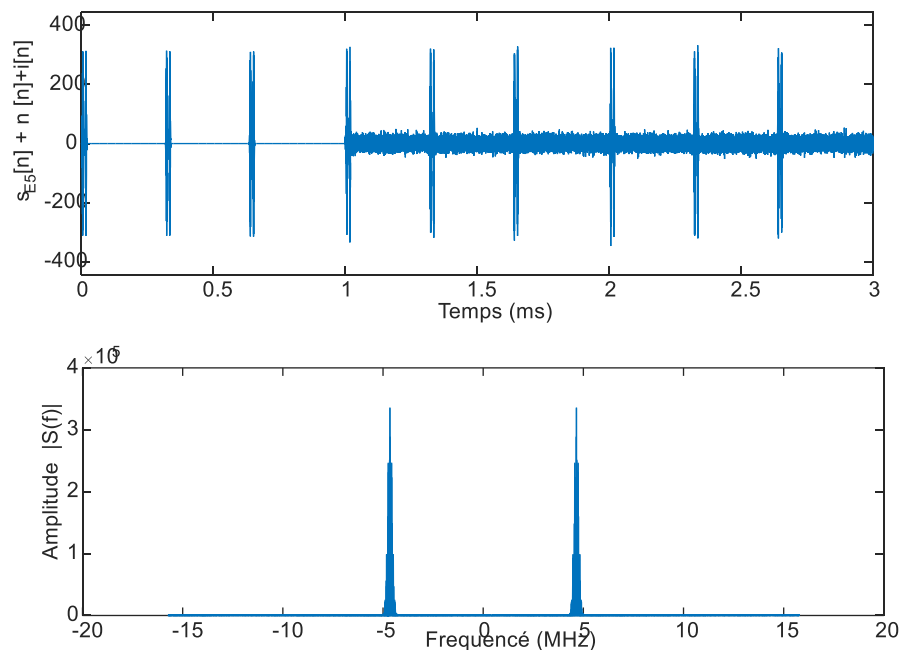


Figure 4.3 Signal Galileo E5a de 3 ms à la fréquence intermédiaire affecté par l'interférence pulsée DME/TACAN.

L'approche de la méthode d'effacement d'impulsions du domaine temporel consiste à effectuer une détection d'amplitude à chaque point d'échantillonnage pour le signal GNSS reçu. Si l'amplitude dépasse un seuil prédéfini (généralement lié à la puissance

de bruit), un processus de réglage de zéro peut être effectué, supprimant ainsi les interférences supérieures au seuil prédéfini.

Le traitement du signal d'interférence à l'aide de la méthode d'effacement d'impulsions de domaine temporel est montré à la Fig. 4.4, où la Fig. 4.4 Top est la forme d'onde de domaine temporel du signal reçu sous l'impact de l'interférence. La Fig. 4.4 ci-dessous est la forme d'onde du signal après la suppression des interférences en utilisant la méthode d'effacement d'impulsions du domaine temporel, et on peut voir que les signaux plus grands que le seuil ont tous été réglés à zéro.

La figure 4.5 donne une aperçu plus détaillé (un zoom sur la partie supprimé)sur les parties du signal GNSS contaminate qui supprimé par la méthode de seuillage.

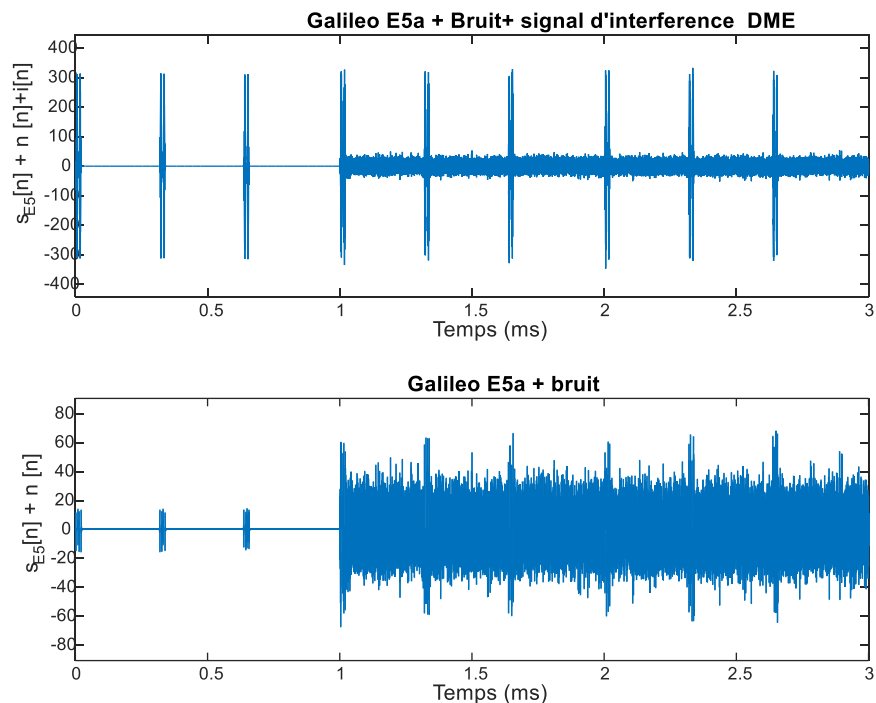


Figure 4.4 La Méthode de suppression des impulsions dans le domaine temporel pour la suppression des interférences DME

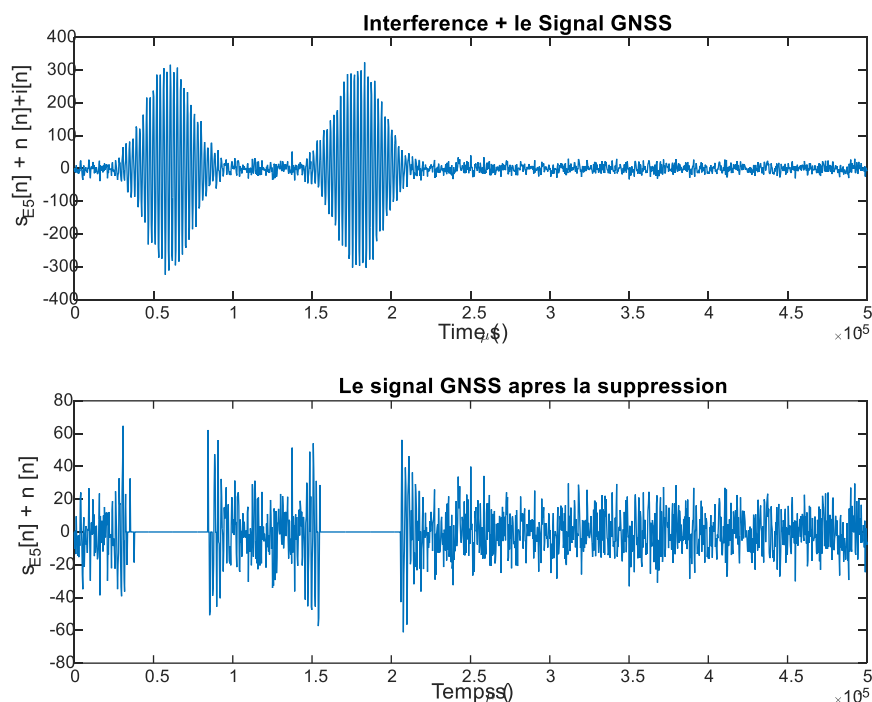


Figure 4.5 Une Opération zoom sur la partie supprimé

1 ms de temps d'intégration cohérent combiné à 2 accumulations non cohérentes a été adopté afin d'acquérir le canal Galileo E5a1 en présence de fortes interférences DME/TACAN (50 dB). L'incidence de la technique proposée sur la fonction d'ambiguïté est illustrée à la figure 4.4. Il est réalisé à partir de la figure que la fonction d'ambiguïté du signal contaminé n'a pas un pic détectable qui conduit à une estimation erronée de la fréquence Doppler et du retard de code. L'impact de la technique proposée sur La fonction d'ambiguïté est illustré à la Figure.4.6. On se rend compte à partir de la figure 3 que la fonction d'ambiguïté du signal contaminé n'a pas de pic détectable qui conduit à une mauvaise estimation de la fréquence Doppler et du retard de code.

La figure 4.7 La figure montre qu'en présence de système d'atténuation d'interférence proposée, un pic apparaitre clairement du bruit blanc additif et l'acquisition correcte du signal est accessible.

Les résultats d'un tel processus sont présentés à la figure 4.8, où une comparaison de la PSD avant la figure 4.8 (a) et après la figure 4.8 (b) est tracée pour l'élimination du brouillage à base de blanc d'impulsion. Les composants d'interférence DME sont fortement atténués après le processus de retrait sans aucune suppression significative des composants de signal GNSS utiles.

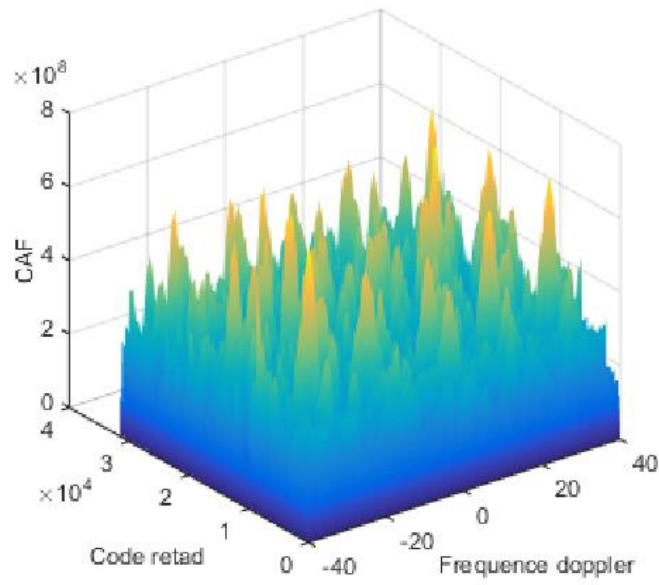


Figure 4.6 Ambiguity functions for contaminated signal (DMA 3000 pps, ISR = 50 dB)

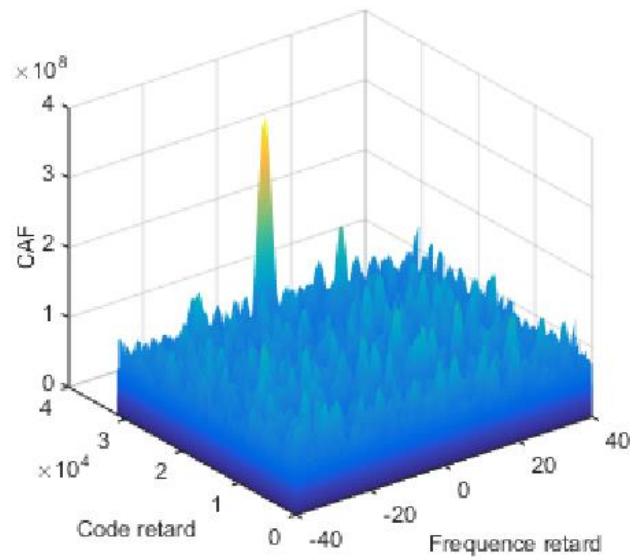
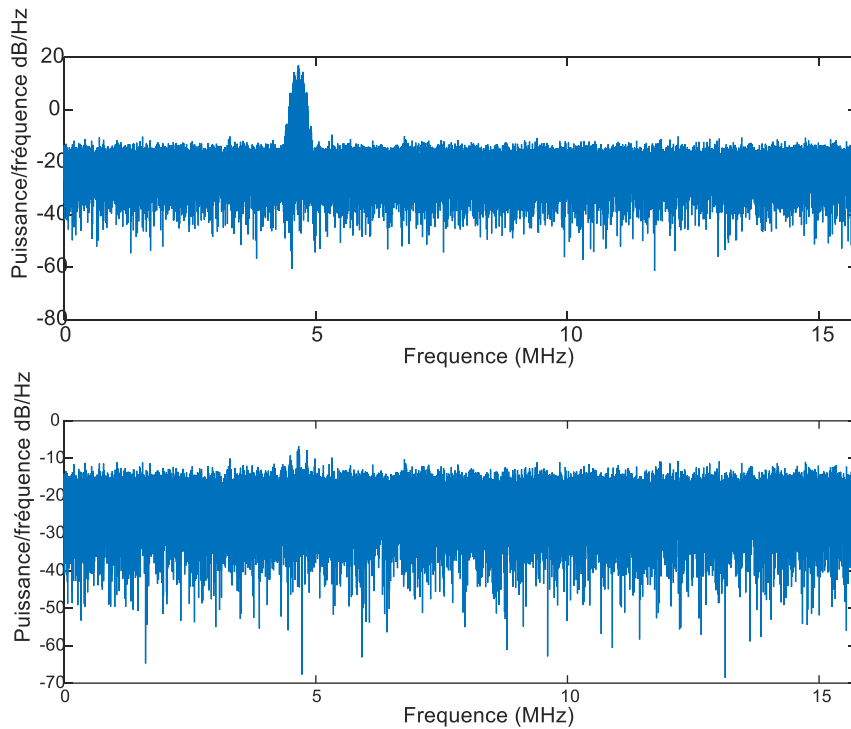


Figure 4.7 Fonctions d'amplification du signal contaminé (DMA 3000 pps, ISR = 50 dB) signal récupéré.



4.8 Les PSD , (a) le PSD du signal d'entrée contaminé, (b) le PSD du signal restauré après interférence DMA, de ISR=50 dB et 3000 pps rejet.

Conclusion

Un système d'atténuation d'interférence pulsé DME/TACAN mixte pré-corrélation pour les récepteurs GNSS s a été présenté. Le système proposé emploie un simple mécanisme de seuillage par la comparaison du signal reçu avec un seul prédéterminé. La sélection d'un seuil approprié est l'un des facteurs cruciaux pour la performance de la méthode de suppression d'impulsions dans le domaine temporel. Pour cela on utilise la variance bruit dans le récepteur pour sélectionné le seuil avec une modèle empirique.

CONCLUSION

Conclusion générale :

La navigation par satellite est une nouvelle technologie qui joue un rôle de plus en plus important dans la société moderne, avec les nouvelles applications dont les champs touchent pratiquement tous les domaines d'activité, non seulement le positionnement mais aussi la topographie, la géodésie et la détermination précise du temps. L'utilisation du GNSS sera de plus en plus étendue à l'espace pour un positionnement précis des satellites de télédétection terrestres, pour la détermination de l'attitude des engins spatiaux. Un énorme marché en développement très rapide à cause de l'intégration de ce système avec des autres systèmes, comme les systèmes de communication par l'utilisation des modules GNSS dans les mobiles téléphones.

Ce travail présente les techniques de traitement des signaux numériques la plus courantes actuellement mises en œuvre pour l'atténuation des interférences pulsé dans les récepteurs GNSS.

La contre-mesure la plus adoptée contre l'interférence pulsée est la technique de la suppression des impulsions (Pulse blanker) mises en œuvre au moyen d'un circuit dans une partie numérique la partie radio du récepteur. Cette technique effectue excision d'interférence dans le domaine temporel par un seuillage échantillon par échantillon à la sortie du convertisseur analogique au numérique (ADC).

Il a été démontré que l'application des méthodes proposées se traduisait par une amélioration des performances de l'acquisition des signaux GNSS en matière de α_{\max} et coefficient de corrélation estimé.

Références bibliographiques

- [1] Bilal BELDJILALI, Traitement des signaux GNSS pour optimiser les récepteurs de localisation, Thèse doctorat
- [2]
- [3] Hegarty C, Kim T, Ericson S, et al. Methodology for determining compatibility of GPS L5 with existing systems and preliminary results. In: *Proceedings of the Institute of Navigation annual meeting*. 1999. no 1, p. 1–10.
- [4] Gao GX, Heng L, Hornbostel A, et al. DME/TACAN interference mitigation for GNSS: *algorithms and flight test result*. *GPS Solut.* 2013;17 (4):561–73.
- [5] Grabowski J, Hegarty C. Characterization of L5 receiver performance using digital pulse blanking. In: *Proceedings of Institute of Navigation global positioning systems conference (ION GPS)*, Portland, OR. 2002. p. 1630–5.
- [6] Hegarty C, Van Dierendonck AJ, Bobyn D, et al. Suppression of pulse interference through blanking. In: *Proceedings of IAIN world congress in association with the US ION 56th annual meeting*, San Diego. 2000.
- [7] Bastide F. Analysis of the feasibility and interests of Galileo E5a/E5b and GPS L5 signals for use with civil aviation. In: *Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC)*. 2004.
- [8] Musumeci L, Samson J, Dovic F. Performance assessment of pulse blanking mitigation in presence of multiple distance measuring equipment/tactical air navigation interference on global navigation satellite systems signals. *Radar Sonar Navig IET*. 2014;8(6):647–57.
- [9] Gao GX. DME/TACAN interference and its mitigation in L5/E5 bands. In: *Proceedings of Institute of Navigation global navigation satellite systems conference (ION GNSS)*, Fort Worth, Texas, USA. 2007.
- [10] Denks H, Hornbostel A, Chopard V, et al. GNSS receiver testing by hardware simulation in an standardized pulsed and CW interference environment. In: *Proceedings of European navigation conference on global navigation satellite systems (ENC GNSS)*, Naples. 2009.
- [11] Palubinskas M, Gunther C. Interference mitigation in GNSS. *Technical University of Munich*;2011.
- [12] Raimondi M, Julien O, Macabiau C. Implementation issues and performance characterization of FDAF for a GNSS receiver. In: *European navigation conference on global navigation satellite systems (ENC GNSS)*. 2008.
- [13] Gao GX, De Lorenzo D, Chen A, et al. Galileo GIOVE-A broadcast E5 codes and their application to acquisition and tracking. In: *ION NTM conference*, San Diego, California. 2007.
- [14] Cuntz M, Heckler M, Erker S, et al. Navigating in the Galileo test environment with the first GPS/Galileo multi-antenna-receiver. In: *2010 5th ESA workshop on satellite navigation technologies and European workshop on GNSS signals and signal processing (NAVITEC)*. IEEE; 2010.

Bibliographie

- [15] Fang W, Wu RB, Wang WY, et al. DME pulse interference suppression based on NLS for GPS. In: International conference on signal processing proceedings. 2012. p. 174–8.
- [16] Anyaegbu E, Brodin G, Cooper J, et al. An integrated pulsed interference mitigation for GNSS receivers. *J Navig.* 2008;61(2):239–56.
- [17] Paonni M, Jang JG, Eissfeller B, et al. Innovative interference mitigation approaches: analytical analysis, implementation and validation. In: 2010 5th ESA workshop on satellite navigation technologies and European workshop on GNSS signals and signal processing (NAVITEC). IEEE; 2010. p. 1–8.
- [18] Musumeci L, Samson J, Dovis F. Experimental assessment of distance measuring equipment and tactical air navigation interference on GPS L5 and Galileo E5a frequency bands. In: 2012 6th ESA workshop on satellite navigation technologies and European workshop on GNSS signals and signal processing (NAVITEC). IEEE; 2012. p. 1–8.
- [19] Musumeci L, Dovis F. Use of the wavelet transform for interference detection and mitigation in global navigation satellite systems. *Int J Navig Obs.* 2014;1–14.
- [20] Wu R, Wang W, Li L, et al. Distance measuring equipment interference suppression based on parametric estimation and wavelet-packet transformation for global navigation satellite systems. *IEEE Trans Aerosp Electron Syst.* 2016;52(4):1607–17.
- [21] Hu T, Wang L, Wu R. Study on wideband and pulse interference mitigation techniques with RAW BD data. In: Proceedings of the 28th international technical meeting of the satellite division of the Institute of Navigation (ION GNSS+2015). 2015.
- [22] Zhang Q, Zheng YB, Wilson SG. Excision of distance measuring equipment interference from radio astronomy signals. *Astron J.* 2005;129:2933–9.
- [23] Yin T, Viberg M, Weber DIC. Simulator of pulsed interference environment of an airborne GNSS receiver. Chalmers University of Technology; 2007.
- [24] [3]. Luciano Musumeci and Fabio Dovis. A Comparison of Transformed Domain Techniques for Pulsed Interference Removal on GNSS Signals. In International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), pages 16, Starnberg, Germany, 25-27 June 2012
- [25] E. D. Kaplan and C. Hegarty. *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House, 2005.
- [24] Parkinson and Spilker. *Global Positioning System: Theory and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Washington DC, 1996.
- [25] J. A. Volpe. Vulnerability assessment of the transportation infrastructure relying on the global position system. In *National Transportation Systems*, January 2000.

Bibliographie

- [26] B. Motella, S. Savasta, D. Margaria, and F. Dovis. Assessing gps robustness in presence of communication signals. In International Workshop on Synergies in Communications and Localization, International.
- [27] E. Bakker, D. Van Willigen, and R. Rawlings. Technical and operational assessment of the suitability of gps to meet the brnav requirements. Delft University of Technology, Telecommunications and Tra- Control Systems Group, August 1997.
- [28] Beatrice Motella, Marco Pini, and Fabio Dovis. Investigation on the Effect of Strong Out-of-Band Signals on Global Navigation Satellite Systems Receivers. *GPS Solution*, 12:7786, 2008.
- [29] P. De Bakker, J. Samson, P. Joosten, M. Spelant, M. Holreiser, and B. Ambrosius. Effect of radio frequency interference on gnss receiver output. In in the Proceedings of 3rd ESA Workshop on Satellite Navigation User Equipment Technologies (NAVITEC 2006) , ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, De 2006.
- [30] A. T. Balaei, B. Motella, and A. G. Dempster. Gps interference detected in sydney-australia. In *IGNSS Conference*, Sydney, Australia, De ember 2007.
- [31] D. Borio. GNSS Acquisition in the Presence of Continuous Wave Interference. *Aerospace and Electronic Systems*, IEEE Transactions on, 46(1):46,70, January 2010.
- [32] Fabio Dovis, Luciano Musumeci, Nicola Linty, and Marco Pini. Recent Trends in Interference Mitigation and Spoofing Detection. *International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems*, 3:117, 2012.
- [33] R. J. Landry and A. Renard. Analysis of potential interference sources and assessment of present solutions for GPS/GNSS receivers. 4th SaintPetersburg on INS, May 1997.
- [34] G. R. Opshaug and P. Enge. Integrated gps and uwb navigation system (motivates the necessity of non-interference). In in Proceedings of IEEE Conference, 2002.
- [35] M. Hamalainen, V. Hovinen, R. Tesi, J. H. J. Linatti, and M. Lavta-aho. On the uwb system coexistence with gsm900, umts/w-dma, and gps.
- [36] D. A. Cummings. Aggregate ultra wideband impact on global positioning system receivers. *IEEE RAW-CON*, Aug 2001.
- [37] D. S. Andenon, E. F. Droella, S. K. Jones, and M. A. Settle. Assessment of compatibility between ultrawideband systems and global positioning system (gps) receivers. *NTIA Special Publication*, Feb 2001.
- [38] Y. T. Morton, M. P. Frenh, and Tsui Q. Zhou. A software approach to assess ultra-wide band interference on gps receivers. In in Proceedings of PLANS, Apr 2004.
- [39] Tsui, James Bao-Yen: *Fundamentals of Global Positioning System Receivers: A Software Approach*, John Wiley & Sons, Inc. 2000.

Bibliographie

- [40] Len Jacobson “GNSS Markets and Applications“ Artech House 2007 Northwestern University, ISBN159693042X, 9781596930421
- [41] Paul D. Groves “Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems” ISBN 1608070050, 9781608070053
- [42] Misra P, Enge P. Global positioning system: signals, measurements, and performance. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna Press; 2004.
- [43] [Livre_Navigation science and...]
- [44] G. Manoj Someswar, T. P. Surya Chandra Rao Dhanunjaya Rao. Chigurukota “Global Navigation Satellite Systems and Their Applications” International Journal of Software and Web Sciences (IJSWS), IJSWS 12-326; © 2013,

- [45] Ivan G, Petrovski “GPS, GLONASS, Galileo, and beidou for Mobile Devices: From Instant to Precise Positioning” Cambridge University Press, 2014 ISBN 1107035848, 9781107035843
- [46] Brian Harvey “China in Space: The Great Leap Forward” Springer Science & Business Media, 2013 ISBN 1461450438, 9781461450436
- [47] François Barlier “Galileo: un enjeu stratégique, scientifique et technique“ L'Harmattan, 2008 ISBN 2296051391, 9782296051393
- [48] Bernhard Hofmann-Wellenhof “GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo,And more” ISBN 978-3-211-73012-6 springerwiennewyork
- [49] JAMES BAO-YEN TSUI “Fundamentals of Global Positioning System Receivers” SECOND EDITION ISBN 0-471-70647-7
- [50] Kaplan, E. D., and C. J. Hegarty: Understanding GPS: Principals and Applications,(Second Edition), Norwood, MA: Artech House, 2006.
- [51] Jean Mark Pieplu : GPS et Galileo systèmes de navigation par satellites Eyrolles. 2009.

Résumé

Les signaux E5a / E5b de systèmes Galileo et le signal L5 du système Global de positionnement (GPS) se trouvent dans la bande des services de radionavigation (ARNS). Ils subissent des interférences des services qui existent dans cette bande de fréquences, notamment les signaux pulsés provenant à partir des équipements de mesure de distance (DME) et systèmes de navigation aérienne tactiques (TACAN). Pour maintenir la précision et l'intégrité du système, l'atténuation des interférences est bénéfique et nécessaire. Dans cette mémoire nous présentons technique la plus adoptée contre l'interférence pulsée qui connue sous le nom est suppression des impulsions « pulse blanker », elles sont mise en œuvre au moyen d'un circuit dans le numérique une partie du radio fréquence du récepteur. Cette technique effectue une excision d'interférence dans le domaine temporel par seuillage échantillon par échantillon la sortie de convertisseur analogique au numérique (ADC) dans le récepteur GNSS. Les résultats de simulation montrent les avantages de la méthode en matière d'amélioration de la qualité de signal reçu ainsi que le nombre de satellites en visibilité.

=