



À ma famille

Je voudrais dédier ce Modest travail à ma famille qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

À toi mon père Mohammed Abed el Monème pour l'effort que tu as fait pour moi quand je demande ton service et ton soutien je ne pourrai jamais assez te remercier pour tout ce que vous avez fait et continuez de faire pour moi, je suis très fière d'être ta fille.

Et ma chère maman, la personne la plus spéciale dans ma vie, Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir donné les bases solides sur lesquelles je construis ma vie. Je suis reconnaissante pour tout ce que tu as fait et continues de faire pour moi.

Et un merci spécial à ma sœur Lamia et son mari Najib, Je te remercie pour tout l'amour et le soutien que tu m'apportes. Je t'aime énormément, ma chère sœur.

Et aussi Mes frères et soeur Houssam, Abd el ouahab, Louai, Nihad.

À mes Chers amis

Cette dédicace est pour mes chers amis Nour, Chorouk, Manel, Roufaïda, Loubna, Nour Aouni. Vous êtes des personnes exceptionnelles qui ont apporté tant de joie, de rires et de précieux souvenirs dans ma vie. Votre amitié est un cadeau précieux que je chéris chaque jour. Merci d'être là pour moi, de me comprendre et de me soutenir à travers les hauts et les bas. Je vous aime tous énormément.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont été à mes côtés tout au long de ce parcours.

Korichi Serine



Je dédie humblement mon travail

À ma chère mère, qui veille, élève et m'a enseigné. Que Dieu la préserve et prolonge sa vie.

À mon tendre père, qui a travaillé dur et s'est sacrifié pour prendre soin de moi.
Que Dieu le protège et le guide.

À mes frères et sœurs : Rania, Mounia, Mohamed Djilali, Ahmed Elouazan,
Mohamed Aymen.

À mes coupines et compagnes de route : Sirine, Hanaa, , Manal, Mariam, Nour
El Houda, Wissal, et bien d'autres.

Mes amis : Yazid , Abderrazak.

À tous ceux qui m'ont conseillé et encouragé tout au long de ce projet, même
avec un simple mot aimable et motivant. Que Dieu vous récompense
abondamment.

Mes chers aimés.

Belkhira Nour el Houda





REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous voulons remercier **ALLAH** pour nous avoir donné la capacité de persévérer et de surmonter les obstacles tout au long de ce projet. Chaque fois que nous avons rencontré des difficultés, Allah nous a rappelé que rien n'est impossible avec Sa volonté et Sa guidance.

Nous tenons tout d'abord à remercier sincèrement notre co-encadreur de mémoire **Mr.HASSANI MOHAMMED FOUAD** pour son expertise et sa précieuse guidance, sa patience et ses conseils avisés et aussi leur soutien inconditionnel tout au long de cette recherche.

Un merci tout particulier est dédié à notre promotrice **Mme. BENKRINAH SABRA** pour la disponibilité et son dévouement exceptionnel.

Nous tenons également à remercier les membres du jury **Mr. AOUNALLAH Naceur** et **Mr. MOAD Mohamed Sayah** pour leur précieuse évaluation et leurs commentaires constructifs. Leurs suggestions et leurs éclaircissements ont contribué à améliorer la qualité de notre mémoire.

Enfin, nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude à nos parents, pour leur amour, leur soutien et leur dévouement inconditionnels. Leur présence dans nos vies a été une source constante de soutien et d'inspiration, et nous sommes très reconnaissants pour tout ce qu'ils font pour nous. Nous attendions depuis longtemps avec impatience de partager ce moment avec eux.



RÉSUMÉ

Dans ce mémoire, nous avons donné un aperçu général sur les GNSS (systèmes de navigation globale) qui comprennent plusieurs types, parmi lesquels nous avons choisi le système GPS. GPS est l'abréviation de (Global Positioning System), c'est un système qui utilise des satellites pour localiser un récepteur GPS n'importe où sur la surface de la terre. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines tels que la navigation, la cartographie, la géodésie, la recherche et le sauvetage, et même dans les applications grandes publiques, telles que la navigation automobile et les Smartphones.

L'objectif de ce projet est d'améliorer la détection des GPS dans des environnements homogènes et non homogènes en utilisant des détecteurs CFAR. Afin d'améliorer les performances des systèmes de détection et de surveillance, nous avons étudié un groupe de détecteurs CFAR afin de déterminer ceux qui offrent les meilleures performances en terme de probabilité de détection. Nous avons pris en compte les détecteurs CMLD-CFAR et OS-CFAR. Nous les avons fusionnés en utilisant les règles de fusion AND et OR, et nous avons également apporté quelques modifications telles que le changement du nombre et de la puissance des interférences dans le système utilisé.

La comparaison que nous avons effectuée pour déterminer la meilleure façon d'améliorer la détection dans le système GPS que nous avons choisi démontre clairement que l'OS CFAR est le meilleur détecteur dans un environnement homogène, tandis que le détecteur CMLD CFAR utilisant la règle des règles de fusion AND et OR fournit la probabilité de détection la plus efficace dans un environnement non homogène.

Mots clés :GPS, CMLD-CFAR, OS-CFAR.

ABSTRACT

In this memory, we have provided a general overview of GNSS (Global Navigation Satellite Systems), which include several types, among which we have chosen the GPS system. GPS stands for Global Positioning System is a system that uses satellites to locate a GPS receiver anywhere on the surface of the earth. It is widely used in many fields such as navigation, mapping, geodesy, search and rescue, and even in consumer applications such as automotive navigation and smartphones.

The objective of this project is to improve the detection in GPS in homogeneous and non-homogeneous environments using CFAR detectors. In order to improve the performance of detection and surveillance systems, we studied a group of CFAR detectors to determine which ones offer the best performance in term of detection probability. We considered CMLD-CFAR and OS-CFAR detectors. We merged them using the AND et OR fusion rules, and we also made some modifications such as changing the number and the power of interferences in this system.

The comparison that we made to determine the best way to improve detection in GPS system, which we have chosen, demonstrates clearly that the OS-CFAR is the best detector in homogeneous environment, while the CMLD-CFAR detector using the AND and OR fusions rule provides the most effective probability of detection in non-homogeneous environment.

Key words: GPS, CMLD-CFAR, OS-CFAR.

ملخص

في هذا المذكرة، قدمنا نظرة عامة على أنظمة الملاحة الفضائية العالمية (GNSS) ، والتي تشمل عدة أنواع، من بينها نظام الـ GPS.GPS تعنياختصارًا نظام تحديد المواقع العالمي، وهو نظام يستخدم الأقمار الصناعية لتحديد موقع مستقبل GPS في أي مكان على سطح الأرض. يستخدم على نطاق واسع في العديد من المجالات مثل الملاحة والرسم البياني وعلم الجيوديسيا والبحث والإنقاذ، وحتى في التطبيقات الاستهلاكية مثل الملاحة في السيارات والهواتف الذكية.

الهدف من هذا المشروع هو تحسين عملية الكشف في نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) في البيئات المتجانسة وغير المتجانسة باستخدام أجهزة الكشف CFAR. من أجل تحسين أداء أنظمة الكشف والمراقبة، قمنا بدراسة مجموعة من أجهزة CFAR لتحديد أيها يقدم أفضل أداء من حيث احتمالية الكشف. قمنا باعتبار أجهزة الكشف CMLD-CFAR و OS-CFAR وقمنا بدمجهما باستخدام قواعد الدمج AND و OR ، وأجرينا أيضًا بعض التعديلات مثل تغيير عدد وقوة التداخلات في هذا النظام.

توضح المقارنة التي أجريناها لتحديد أفضل طريقة لتحسين الاكتشاف في نظام GPS الذي اخترناه بوضوح أن OS-CFAR هو أفضل كاشف في بيئة متجانسة، بينما يوفر لكاشف CMLD-CFAR باستخدام قاعدتي الدمج OR و AND احتمال الكشف الأكثر فعالية في بيئة غير متجانسة.

Table des matières

REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ	V
ABSTRACT	VI
ملخص	VII
Introduction générale	1
CHAPITRE 1 :	3
Généralité sur GNSS	3
I.1 Introduction	4
I.2 Historique	4
I.3 Principe de fonctionnement	5
I.4 Principe de positionnement	6
I.4.1 Qu'est-ce qu'une position ?	6
I.4.2 Temps de transmission d'un signal Dans les systèmes de navigation par satellite	6
I.4.3 Détermination de la position	7
I.5 Comment fonctionne la géolocalisation	9
I.6 GPS	10
I.6.1 Bref historique	10
I.6.2 Description	11
I.6.3 Segment spatial	11
I.6.4 Segment de contrôle	11
I.6.5 Segment utilisateur	12
I.7 GALILEO	12
I.7.1 Bref historique	12
I.7.2 Description	12
I.7.3 Segment spatial	12
I.7.4 Segment sol et contrôle	13
I.7.5 Les services GALILEO	13
I.8 GLONASS	14

Table des matières

I.8.1	Bref historique.....	14
I.8.2	Description	14
I.8.3	Segment spatial.....	14
I.8.4	segment de contrôle	14
I.8.5	Segment utilisateur	15
I.9	<i>Comparaison entre les trois systèmes</i>	15
I.10	<i>Fonctionnement d'un récepteur GNSS</i>	16
I.11	<i>Conclusion</i>	17
	CHAPITRE 2 :	19
II.1	<i>Introduction</i>	20
II.2	<i>modèle du signal</i>	20
II.3	<i>Canal à atténuation Rayleigh</i>	22
II.4	CFAR DETECTION	23
II.5	OS-CFAR	24
II.6	CMLD-CFAR	25
II.6.1	<i>Description du système</i>	26
II.7	CONSTANT FALSE ALARM RATE FUSION	28
II.8	<i>Conclusion</i>	29
	Chapitre 3:	30
III.1	<i>Introduction</i>	31
III.2	<i>Résultats et discussions</i>	31
A.	<i>Environnement Homogène</i>	32
B.	<i>Environnement Non homogène</i>	38
III.3	<i>Conclusion</i>	42
	Conclusion générale	43

Liste des figure

Figure	Page
Figure (I-1) : Détermination du temps de transmission d'un signal	07
Figure (I-2) : La position du récepteur à l'intersection des deux cercles	08
Figure (I-3) : Le positionnement par trilatération	09
Figure (I-4) : Représentation schématique du principe de trilatération	09
Figure (I-5) : Représentation schématique d'une constellation : l'exemple du GPS.	10
Figure (I-6) : Architecture de système GPS	11
Figure (I-7) : Constellation satellitaire du système GALILEO	13
Figure (I-8): Architecture d'un récepteur GNSS	17
Figure (II-1) : Schéma de récepteur GNSS	20
Figure (II-2) : Schéma générale d'acquisition	21
Figure (II-3) : Schéma fonctionnel du détecteur OS-CFAR	24
Figure (II-4) : Schéma fonctionnel du détecteur CMLD-CFAR	26
Figure (II-5) : Deux détecteurs CFAR avec un centre de fusion	28
Figure (III.1) : Probabilité de détection en fonction du SNR pour les détecteurs CMLD-CFAR, OS-CFAR et seuil fixe dans un milieu homogène	33
Figure (III.2) : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur CMLD-CFAR utilisant les règles de fusions AND et OR dans un milieu homogène.	33
Figure (III.3) : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur OS-CFAR utilisant les règles des fusions AND et OR dans un milieu homogène.	34
Figure (III.4) : Probabilité de détection en fonction du SNR des deux détecteurs CMLD-CFAR et OS-CFAR utilisant les règles de fusions AND et OR dans un milieu homogène.	34
Figure (III.5) : Probabilité de détection en fonction du SNR pour les deux détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle de fusion AND dans un milieu homogène	35
Figure (III.6) : Probabilité de détection en fonction du SNR des deux détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle fusion OR dans un	35

Liste des figure

milieu homogène.	
Figure(III.7): Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur CMLD-CFAR pour différentes valeurs de M et une $P_{FA}=10^{-4}$ dans un milieu homogène.	36
Figure (III.8) : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur OS-CFAR pour différentes valeurs de M et une $PFA=10^{-4}$ dans un milieu homogène.	36
Figure (III.9) : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur CMLD-CFAR pour différentes valeurs de PFA avec $M=16$ dans un milieu homogène.	37
Figure (III.10): Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur OS-CFAR pour différentes valeurs de PFA avec $M=16$ dans un milieu homogène.	37
Figure(III.11) : Influence des interférences sur la probabilité de détection des détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle de fusion OR, pour $O=3$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.	39
Figure (III.12) : Influence des interférences sur la probabilité de détection des détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle de fusion AND, pour $O=3$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.	39
Figure(III.13) : Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion AND, pour $I=0.5$, $O=6$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.	40
Figure(III.14) : Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion OR, pour $O=6$, $I=0.5$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.	40
Figure(III.15): Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion AND, Pour $O=6$, $I=1$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.	41
Figure (III.16): Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion OR, pour $O=6$, $I=1$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.	41

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison entre les trois systèmes GPS, GLONASS,GALILEO.....16

Tableau III.1 : les paramètres desimulation.....32

Beidou:Beidou Navigation Satellite System

BPSK:Binary Phase Shift Keying.

C/A:Code civil.

CDMA: accès multiple par division de code.

CNAV:message de navigation civil.

Galileo:Galileo Positioning System.

GLONASS: Global Navigation Satellite System.

GNSS:Global Navigation Satellite System.

GPS:Global Positioning System.

PRN: Pseudo Random Noise.

RFI:Radio Frequency Interference.

SNR :Signal-to-noise ratio.

Introduction générale

Les systèmes de navigation par satellite (GNSS : Global Navigation Satellite System) font partie des technologies modernes utilisées dans le domaine de la navigation et du guidage. Ces systèmes reposent sur la réception d'un signal provenant d'un groupe de satellites en orbite autour de la terre pour déterminer avec précision la position de l'utilisateur. Les systèmes GNSS comprennent des systèmes tels que le GPS (Global Positioning System), le GLONASS (Russian Positioning System), le Galileo (European Positioning System) et le Beidou (Chinese Positioning System) [1]. La technologie GNSS est utilisée pour faciliter les déplacements, l'orientation et la vitesse des navires, des avions, des voitures et d'autres moyens de transport, ainsi que pour localiser les caméras à bord des drones pendant la prise de vue.

De nombreuses personnes utilisent le GNSS dans leur vie quotidienne, mais cette technologie est également confrontée à des défis, tels que l'interférence du signal avec d'autres appareils dans la même zone. L'onde RF (Radio Frequency) est une catégorie d'ondes qui peut se déplacer dans un milieu de propagation comme le vide ou l'air. Il est possible que l'onde RF rencontre différents types d'obstacles. Avant qu'elle atteigne l'antenne réceptrice, l'onde émise emprunte plusieurs trajets. En général, le signal reçu dans le canal est la somme de ces trajets multiples. Il existe quatre phénomènes connus pour la propagation de l'OEM (onde électromagnétique) : la réflexion, la diffraction, la diffusion et la dispersion. Par ailleurs, le problème du Doppler est une considération essentielle dans la détection GPS. En raison du mouvement relatif entre les satellites GPS, les récepteurs et les utilisateurs, il se produit un effet Doppler sur les signaux GPS. L'effet Doppler provoque un décalage de fréquence dans les signaux reçus, ce qui peut entraîner des erreurs de mesure de la distance et de la position [2].

Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé la technique CFAR. Cette technologie est utilisée dans les radars pour détecter la présence de cibles dans des environnements bruyants. Elle est utilisée pour détecter des cibles en mouvement telles que des avions, des navires, des voitures ...etc., où les signaux radar sont utilisés pour créer une image tridimensionnelle des cibles. La technologie CFAR est également utilisée dans d'autres domaines, tels que l'imagerie médicale, où cette technologie est utilisée pour éliminer le bruit des images à ultrasons et pour la reconnaissance vocale afin d'améliorer la qualité des signaux de microphone. Elle est utilisée aussi pour analyser les données afin d'éliminer le bruit des grandes quantités de données [3]. La technique CFAR permet de détecter le niveau du bruit dans les signaux GNSS et de déterminer la taille de la fenêtre CFAR. Grâce à cette technique, les instruments utilisés en GNSS peuvent

Introduction générale

efficacement identifier et contourner les obstacles, en améliorant ainsi la précision et la qualité du signal reçu.

Il existe plusieurs types de détecteur CFAR, notamment l'OS-CFAR et le CMLD-CFAR, que nous avons choisis pour aider à réduire les effets négatifs de la turbulence et des signaux GNSS instables dans les environnements bruyants. Nous avons utilisé des simulations dans des environnements homogènes et hétérogènes pour déterminer le meilleur choix.

CHAPITRE 1 :

Généralités sur GNSS

I.1 Introduction

Aujourd'hui, le GNSS est le système le plus répandu au monde, avec un nombre remarquable d'applications qui dépendent de ces signaux. Il comprend quatre systèmes de base de navigation par satellite. Dans ce travail, nous choisirons le système de positionnement global (GPS) qui est la technique la plus connue et la plus utilisée de tous les systèmes mondiaux de navigation GNSS.

Dans ce chapitre, nous fournissons une brève description du concept d'un système global de positionnement par satellite et de son principe de fonctionnement. Nous expliquerons également les principes les plus importants de positionnement, les différents systèmes GNSS et les comparerons.

I.2 Historique

Les militaires américains furent les pionniers dans le développement d'un tel système avec le GPS (Global Positioning System) en 1995 [4]. Les Russes ont suivi avec le GLONASS (Global Navigation Satellite System) qui est entré en fonction en 1996 [4]. Toutefois, en raison des contraintes liées à l'éclatement de l'URSS, le système GLONASS a connu des difficultés opérationnelles, mais il est redevenu pleinement opérationnel en 2010 [4]. Plus récemment, l'Europe a lancé le système Galileo, tandis que la Chine a développé le système Beidou-2. Depuis le début du XXI^e siècle, le système GPS s'est démocratisé, permettant un accès aux populations civiles avec une précision de l'ordre du mètre. Aujourd'hui, n'importe qui peut se géo localiser facilement et rapidement à condition de disposer d'un terminal approprié. Aujourd'hui, ces systèmes sont largement utilisés dans une multitude de services, offrant une grande variété d'applications. Parmi les exemples les plus connus, on retrouve la navigation automobile, la randonnée, ainsi que des domaines émergents tels que l'agriculture de précision et les sports de plein air. De plus, ces systèmes ont également ouvert la voie au développement d'applications mobiles, comme le célèbre jeu Pokémon GO, qui tire parti de la géolocalisation pour offrir une expérience de réalité augmentée.

I.3 Principe de fonctionnement

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 précise. Pour déterminer la position d'un utilisateur situé sur ou près de la Terre, les systèmes de radionavigation par satellite utilisent le principe de multilatération. Ce principe repose sur la mesure du temps de propagation d'un signal émis par un satellite, permettant de calculer la distance géométrique entre le récepteur au sol et l'émetteur à bord du satellite. Les quatre principaux systèmes de positionnement par satellites (GPS, Glonass, Galileo et Beidou) fonctionnent selon le même principe : chaque satellite émet en continu un signal contenant des informations sur sa position et l'heure précise d'émission, qui est déterminée par une horloge atomique ultraprécise embarquée dans le satellite. L'utilisateur est équipé d'un récepteur qui mesure les instants de réception des signaux provenant des satellites visibles depuis sa position. En utilisant les informations de plusieurs satellites, le récepteur est capable de calculer sa propre position en effectuant des calculs de triangulation ou de trilatération. La précision de la position dépend du nombre de satellites visibles et de la qualité du récepteur. Cette technologie a révolutionné la géolocalisation, offrant des possibilités d'orientation et de navigation précises à de nombreux domaines d'application. La détermination de la position du récepteur repose sur la résolution d'une équation à quatre inconnues : la latitude, la longitude, l'altitude et le biais de l'horloge du récepteur. Ainsi, pour obtenir une position précise, il est nécessaire que le récepteur puisse "voir" en permanence au moins quatre satellites visibles, en plus de fournir une mesure précise du temps. Pour garantir le bon fonctionnement du récepteur sur l'ensemble de la surface terrestre, y compris dans les avions et les satellites, il est essentiel que le récepteur ait une visibilité constante sur un minimum de quatre satellites, et que la répartition géométrique de ces satellites soit aussi uniforme que possible. C'est la raison pour laquelle un nombre important de satellites doivent être positionnés en orbite : actuellement, le GPS, Galileo et le GLONASS nécessitent un minimum de 24 satellites, tandis que les futurs systèmes (Beidou, etc.) exigeront un minimum de 30 satellites [5]. Avoir un nombre suffisant de satellites permet de garantir une couverture globale et une meilleure précision dans la détermination de la position du récepteur, en utilisant des techniques de triangulation ou de trilatération.

I.4 Principe de positionnement

Les systèmes de positionnement par satellites reposent sur le principe de la trilatération, qui se base sur l'hypothèse selon laquelle les ondes émises par les satellites se propagent à une vitesse constante (proche de la vitesse de la lumière) dans l'espace. En utilisant un récepteur synchronisé, il est possible de calculer le temps de propagation du signal et d'en déduire la distance qui le sépare du satellite, dont la position est connue.

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

Une position est définie comme un ensemble de trois paramètres qui permettent de localiser un lieu dans l'espace par rapport à une référence connue. Par exemple, la longitude, la latitude et l'altitude sont utilisées pour repérer n'importe quel endroit à la surface terrestre. De même, dans un espace intérieur, les distances par rapport à un mur de gauche, un mur de devant et le sol permettent de positionner un objet. Nous comprenons intuitivement que nous avons besoin de trois mesures par rapport à des références dont la position est connue pour déterminer la position d'un objet quelconque. Pour mieux comprendre cette définition, il est important de s'intéresser à la manière dont la mesure de distance entre le récepteur et un satellite est obtenue.

I.4.2 Temps de transmission d'un signal Dans les systèmes de navigation par satellite

La distance géométrique entre un satellite d'une constellation GNSS (Global Navigation Satellite System) et un récepteur au sol est déterminée en mesurant le temps de propagation d'un signal émis par le satellite. Pour garantir une couverture efficace, il est nécessaire d'avoir une visibilité directe avec au moins quatre satellites. Chaque satellite de la constellation GNSS est équipé d'une horloge atomique précise à bord, qui permet une mesure précise du temps et qui ne perd qu'une seconde au maximum tous les 30 000 à 1 000 000 d'années. Les satellites GNSS transmettent leurs positions exactes et l'heure de leur horloge à la Terre. Ces signaux sont transmis à la vitesse de la lumière (environ 300 000 km/s), ce qui signifie qu'ils mettent environ 67,3 millisecondes pour atteindre une position sur la surface de la Terre directement sous le satellite. Pour établir la position, les signaux nécessitent ensuite 3,33 microsecondes supplémentaires pour chaque kilomètre de voyage [6]. Tout ce dont on a besoin donc un récepteur et une horloge précise. En comparant l'heure d'arrivée du signal du satellite avec l'heure de l'horloge à bord au moment où le signal a été transmis, il est possible

de déterminer, comme dans l'exemple de la voiture, la distance D jusqu'au satellite. Cette distance peut être calculée à partir du décalage temporel connu ($\Delta\tau$) en utilisant la formule $D = \Delta\tau \times c$, où c représente la vitesse de la lumière.

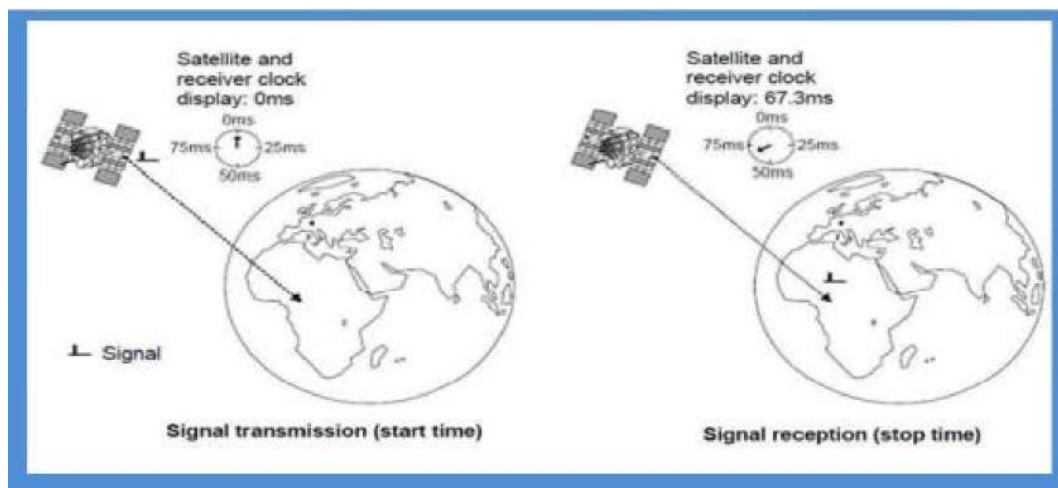


Figure I.1 : Détermination du temps de transmission d'un signal.

I.4.3 Détermination de la position

Dans le cas où un utilisateur se déplace dans un vaste plateau et qu'il y a deux satellites en orbite au-dessus de lui, le principe de positionnement par satellite permet de déterminer sa position en utilisant les informations de temps de transmission des signaux émis par ces satellites. Le récepteur va utiliser les temps de transmission des signaux provenant des deux satellites pour tracer 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. En interceptant ces deux cercles, le récepteur peut déterminer sa position en tant qu'intersection des deux distances mesurées [7]. Cette méthode de positionnement par intersection de cercles permet de calculer la position du récepteur sur le plan (X/Y) du plateau en utilisant les distances entre le récepteur et les satellites. Il est important de noter que cette méthode est différente du principe de triangulation, qui utilise les angles mesurés plutôt que les distances pour déterminer la position.

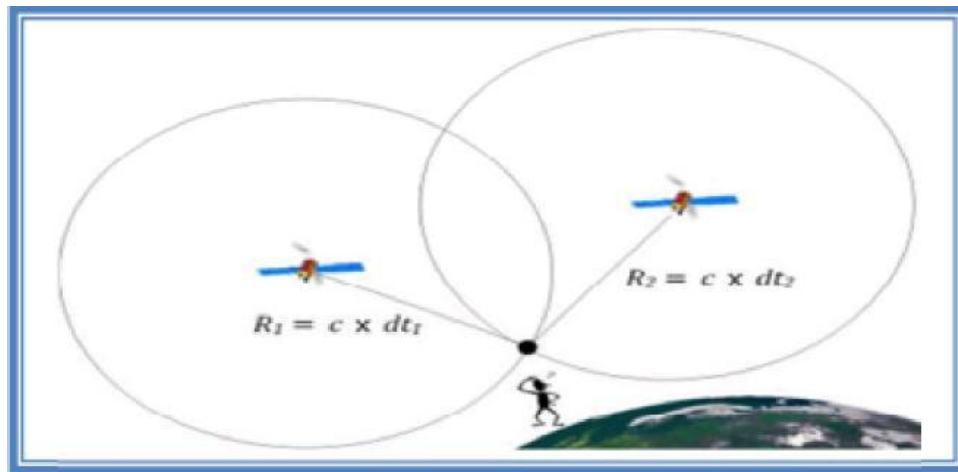


Figure I.2 : La position du récepteur à l'intersection des deux cercles.

La position du récepteur se trouve à l'intersection exacte des deux cercles sous les satellites. Cependant, dans un scénario réel, la position doit être déterminée dans l'espace en trois dimensions plutôt que sur un plan. Cela signifie qu'une troisième dimension (Z) est ajoutée, et donc un troisième satellite supplémentaire est nécessaire pour calculer la position précise. Lorsque les distances des trois satellites sont connues, toutes les positions possibles du récepteur se situent à la surface de trois sphères dont les rayons correspondent aux distances calculées. En pratique, le biais de l'horloge du récepteur est considéré comme une inconnue à estimer, tout comme les trois composantes de la position (latitude, longitude et altitude). Par conséquent, pour pouvoir calculer sa position, un récepteur a besoin de recevoir le signal d'un quatrième satellite. La mesure des distances à partir de ce quatrième satellite permettra d'intercepter les sphères précisément en trois points, déterminant ainsi la position tridimensionnelle du récepteur.

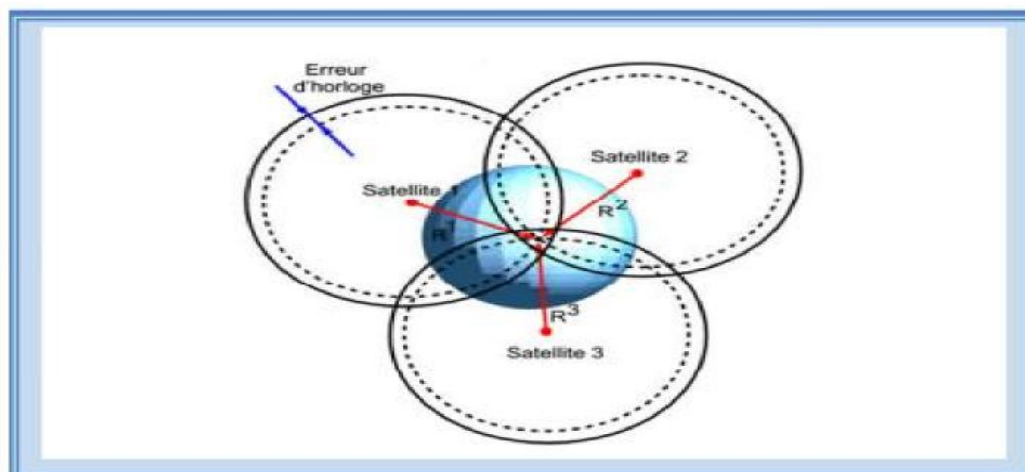


Figure I.3 : Le positionnement par trilatération.

I.5 Comment fonctionne la géolocalisation

La géolocalisation repose sur le principe mathématique de la trilatération, illustré dans la figure I.4 Ce principe permet de déterminer la position d'un point en utilisant la géométrie des triangles, tout comme la triangulation. Cependant, contrairement à la triangulation qui utilise des angles et des distances, la trilatération se base sur la mesure des distances entre au moins deux points.

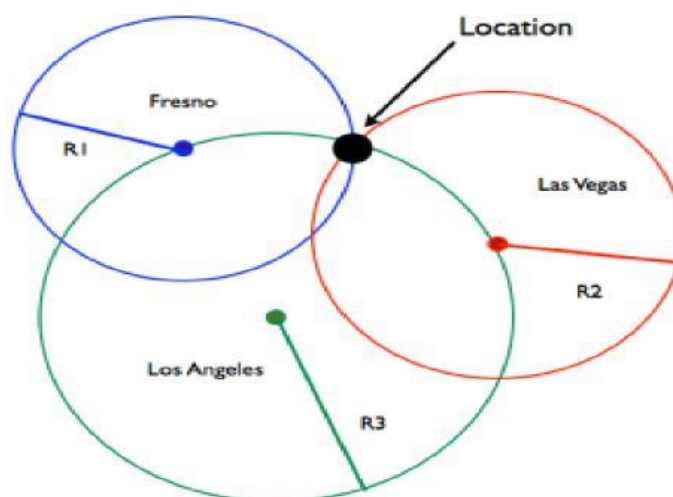


Figure I.4 : Représentation schématique du principe de trilatération.

Grâce à ce principe, un système de positionnement par satellite envoie des coordonnées géographiques (latitude, longitude) ainsi que la vitesse de déplacement à un récepteur. Ces informations sont obtenues en mesurant la distance entre le récepteur (l'utilisateur) et un

satellite artificiel géostationnaire dont la position dans l'espace est précisément connue. Toutefois, pour garantir la fiabilité du positionnement avec une précision d'environ +/- 10 mètres, il est nécessaire d'avoir un minimum de quatre satellites. Ces satellites forment une constellation qui constitue un système de référence géodésique, comme illustré dans la figure I.5 [1].

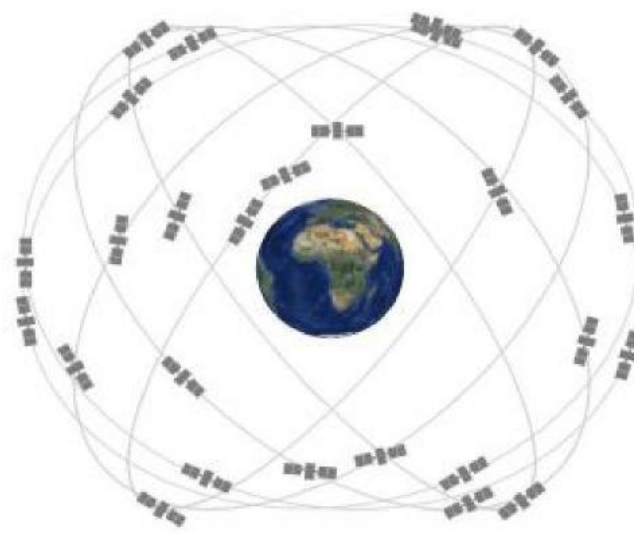


Figure I.5 : Représentation schématique d'une constellation : l'exemple du GPS.

I.6 GPS

I.6.1 Bref historique

Après le lancement du programme Transit par l'US Navy, l'histoire de la navigation par satellite a débuté. Transit était un système utilisant une constellation de sept satellites en orbite basse à une altitude de 1100 km. Malheureusement, le nombre de satellites n'était pas suffisant, ce qui signifiait que les utilisateurs devaient parfois attendre plusieurs minutes pour calculer leur position. Malgré cela, l'idée était très prometteuse, ce qui a encouragé le département de la Défense américain à développer un système de localisation beaucoup plus performant offrant une couverture mondiale. Ce système est officiellement connu sous le nom de NAVSTAR (Navigation System with Time And Ranging), plus communément appelé GPS. L'architecture de base du GPS a été adoptée en 1973, et le premier satellite a été lancé en 1978. Le système a été déclaré opérationnel en 1995 [3].

I.6.2 Description

Le GPS permet de fournir des services de positionnement, de navigation et de référence temporelle, également appelés "services PNT" (Positionnement, Navigation et Timing) [1]. L'architecture de base du système GPS est constituée de trois segments : le segment spatial, le segment de contrôle et le segment utilisateur, comme illustré dans le schéma ci-dessus.

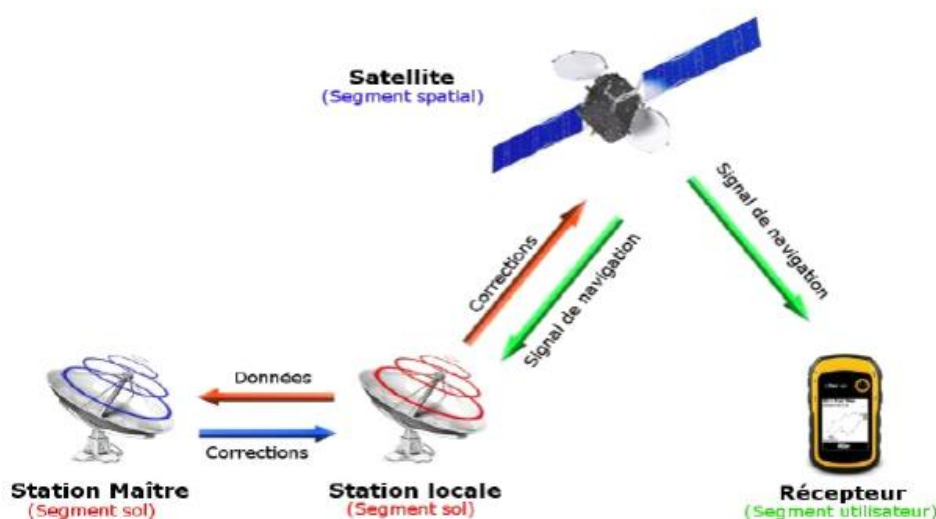


Figure I.6 : Architecture de système GPS.

I.6.3 Segment spatial

Il est composé d'une constellation de 30 satellites répartis sur 3 orbites. Chaque orbite est positionnée à une altitude de 23 222 km, ce qui permet à chaque satellite de compléter une révolution en 14 heures et 21 minutes. Chaque orbite compte 9 satellites opérationnels et 1 satellite de secours. Les plans orbitaux sont inclinés de 56 degrés par rapport à l'équateur terrestre. Cette inclinaison a été choisie dans le but d'assurer une couverture étendue pour les zones qui bénéficient d'une faible couverture par le système GPS [3].

I.6.4 Segment de contrôle

Le segment de contrôle du système GPS est composé de 5 stations solaires situées à Hawaï, Ascension, Diego Garcia et Kwajalein [8]. Ces stations sont responsables de la construction, du lancement, du positionnement orbital et de la surveillance de chaque satellite du système ainsi que de la constellation. La gestion de l'ensemble de ces stations est assurée par une station principale qui envoie les corrections d'horloge et les éphémérides nécessaires à

transmettre aux satellites de la constellation, garantissant ainsi le bon fonctionnement du système.

I.6.5 Segment utilisateur

Le segment utilisateur est composé de tout utilisateur muni d'un récepteur GPS qui reçoit les signaux provenant des satellites dans le but de mesurer les distances qui le sépare des satellites en visibilité afin de calculer avec précision sa position.

I.7 GALILEO

I.7.1 Bref historique

Le contrôle militaire du système GPS peut représenter un risque stratégique pour l'Europe, ce qui a conduit à son développement d'un système autonome appelé GALILEO. Le nouveau projet GALILEO est le fruit d'une collaboration entre l'Agence spatiale européenne (ASE) et la Communauté européenne (CE), lancé en 1990. Les premiers satellites de test, Giove "A" et Giove "B", ont été lancés en 2005 et 2008 respectivement [3]. GALILEO repose sur une technologie similaire à celle du GPS, offrant un degré de précision comparable, voire supérieur, grâce à la configuration de sa constellation et à ses systèmes terrestres de contrôle.

I.7.2 Description

GALILEO s'appuie effectivement sur une technologie similaire à celle du GPS, notamment en utilisant trois segments performants qui offrent des services de positionnement multiples, sécurisés, confidentiels et précis. De plus, GALILEO est conçu pour fonctionner de manière indépendante des autres systèmes de navigation.

I.7.3 Segment spatial

Il y a un total de 30 satellites répartis sur 3 orbites [4], comme illustré dans la figure 1.4. Ces orbites sont positionnées à une altitude de 23222 km, et chaque satellite effectue une révolution en 14h21min. Ainsi, chaque orbite est équipée de 9 satellites opérationnels et 1 satellite de secours. Les plans orbitaux sont inclinés de 56° par rapport à l'équateur terrestre. Cette inclinaison a été choisie dans le but d'assurer une couverture pour les zones qui sont moins bien desservies par le système GPS.[8]



Figure I.7 : Constellation satellitaire du système GALILEO.

I.7.4 Segment sol et contrôle

Le segment de contrôle du système GALILEO est constitué des éléments suivants [9]:

- Deux centres de contrôle GCC (Galileo Control Center) qui assure le contrôle de la constellation Galileo et la gestion du système de navigation.
- Cinq stations TTC (Telemetry Tracking and Command) et dix stations de transmission de données vers les satellites.
- Quarante stations de réception et de transmission des signaux vers les centres de contrôle.

I.7.5 Services GALILEO

Contrairement au GPS, GALILEO peut fournir de nombreux services tels que [8]:

- Le service OS (Open Service) : service gratuit offert à tous les utilisateurs civils.
- Le service CS (Commercial Service) : service payant à accès contrôlé et garantie de services pour les applications commerciales.
- Le service SoL (Safety of Life) : service de sûreté de la vie est un service destiné aux groupes d'utilisateurs spécifiques tels que les hôpitaux, les pompiers.
- Le service PRS (Public Regulated Service) : ce service est crypté est destiné aux applications gouvernementales.
- Le service SAR (Search And Rescue) : service d'aide à la recherche et au sauvetage permet d'identifier et de localiser les signaux de détresse.

I.8 GLONASS

I.8.1 Bref historique

GLONASS (GLObalnayaNavigatsionnayaSpoutnikovayaSistema en russe) est un système de positionnement global par satellite développé par l'URSS dans le but de fournir la position et la vitesse pour les applications militaires et le guidage des missiles balistiques pendant la guerre froide. Depuis la chute du bloc soviétique, la Russie est chargée de sa maintenance. Le projet GLONASS a été lancé en 1976, et le premier satellite de la constellation a été lancé le 12 octobre 1982 [3]. La constellation était complète avec 24 satellites en orbite en novembre 1995. Malheureusement, en raison de la faible durée de vie des satellites et de la situation économique de la Russie, seuls 6 satellites restaient en orbite en octobre 2000. En 2001, le projet GLONASS a été relancé avec la conception de nouveaux satellites plus fiables et d'une durée de vie plus longue. À la fin de l'année 2011, GLONASS a été déclaré opérationnel avec une constellation complète de 31 satellites, dont 24 sont opérationnels [3].

I.8.2 Description

Tout comme les autres systèmes de navigation, GLONASS est composé également de trois segments qui ont pour but d'assurer le bon fonctionnement du système.

I.8.3 Segment spatial

Le segment spatial est constitué de 24 satellites positionnés sur des orbites quasi-circulaires à une altitude de 19 100 km, avec une période de révolution de chaque satellite de 11 heures, 15 minutes et 44 secondes. Les plans orbitaux sont inclinés de $64,8^\circ$ par rapport au plan équatorial. Cette constellation garantit la visibilité d'au moins 5 satellites sur 99% de la surface terrestre [3].

I.8.4 segment de contrôle

Il comprend actuellement trois stations [4] :

- Une station de contrôle située en banlieue de Moscou.
- Une station de synchronisation temporelle chargée d'assurer la synchronisation des horloges des satellites avec l'échelle de temps GLONASS.
- Quatre stations de suivi qui permettent la surveillance et le suivi des satellites de la constellation.

I.8.5 Segment utilisateur

Tout comme pour le GPS, le segment utilisateur de GLONASS regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires. GLONASS permet à tous les utilisateurs équipés de récepteurs de bénéficier de deux types de services équivalents, à savoir les services SPS et PPS, qui sont comparables aux services offerts par le système GPS.[8]

I.9 Comparaison entre les trois systèmes

Le tableau suivant montre une comparaison entre GPS, GALILEO et GLONASS.

À travers ce tableau, il est clair que le GPS est le système de localisation le plus précis et couvre généralement des zones plus vastes. De plus, la consommation d'énergie des appareils GPS est la plus faible parmi les trois systèmes. D'autre part, Galileo se distingue par une précision élevée en termes de positionnement vertical et temporel, mais il rencontre des défis en termes de couverture dans les zones urbaines et montagneuses. Quant à GLONASS, il se distingue par une bonne couverture des zones urbaines et montagneuses, mais sa précision n'est pas au même niveau que celle du GPS ou de Galileo.

Tableau I.1 : Comparaison entre les trois systèmes GPS, GLONASS, GALILEO [10].

Caractéristiques	GPS	GLONASS	Galileo
Premier lancement	Février 22. 1978	Octobre 12. 1982	Décembre 28. 2005
Pleine capacité opérationnelle	Juillet 17. 1995	Janvier 18. 1996	2012/2013
Financement	Public	Public	Public & privé
Nombres nominaux de SV	24	24	27
Avions orbitaux	6	3	3
Inclinaison de l'orbite	55°	64.8°	56°
Demi-grand axe	26 560 Km	25 508 Km	29 601 Km
Plan en orbite sa parution	60°	120°	120°
Avions Phase Witham	Irrégulier	±30°	±40°
Période de révolution	11 h 57.96 min	11h 15.73 min	14h 4.75 min
Période de répétition de la piste au sol	~1 journées latérales 2	~8 journées latérales 17	~10 journées latérales
Orbites de répétition de piste au sol	Éléments de Kepler.	Position. Rapidité.	17 Éléments de Kepler
Données Ephémérides	Correction coefficients	Accélération vectorisé	Correction coefficients

Système de référence géodésique	WGS-84	PE-90	GTRE
Système horaire	GPS temps. UTC USNO)	GLONASS temps. UTC (SU)	Temps du système Galileo
Secondes au tour	NO	OUI	NO
Séparation des signaux	CDMA	FDMA	CDMA
Nombre de fréquences	3 –L1. L2. L5.	One per two antipodal SV	3<4>-E1.E6.E5(E5a. E5b)
Fréquence [MHZ]	L1: 1 575.420 L2: 1 227.600 L5: 1 176.450	L1: 1 602.000 L2: 1 24.000 L3: 1 204.704	E1: 1 575.420 E6: 1 278.750 E5: 1 191.795
Nombre de codes de télémétrie	11 No (GPS III: OUI)	6 No (GLONASS-K:oui)	10 OUI

I.10 Fonctionnement d'un récepteur GNSS

Le principe de positionnement par trilatération peut sembler simple en théorie, mais la difficulté réside dans la mesure précise des distances entre le récepteur et les satellites visibles. Afin de réaliser cette mesure, les signaux GNSS ont été conçus avec des propriétés particulières qui permettent au récepteur d'estimer leur temps de vol, c'est-à-dire le temps qu'ils ont mis pour parcourir la distance entre le satellite et le récepteur.

Le récepteur GNSS est composé de plusieurs étages ayant des missions spécifiques pour calculer la position. La structure typique d'un récepteur GNSS est divisée en plusieurs étages, comme illustré dans la Figure I.8. L'antenne et le module de prétraitement captent les signaux de l'environnement et les prétraitent avant de les envoyer à l'étage d'acquisition. L'étage d'acquisition a pour rôle de détecter les signaux GNSS parmi tous les signaux numérisés, avec une première estimation de leurs caractéristiques en termes de fréquence et de retard. Ces signaux détectés sont ensuite transmis à l'étage de suivi, qui suit et mesure précisément les caractéristiques des signaux GNSS. Cela permet de déterminer les temps de vol des signaux et d'estimer les distances entre le récepteur et les satellites. Une fois que les distances sont connues, l'étage de calcul de position effectue les calculs nécessaires pour déterminer la position tridimensionnelle du récepteur en utilisant les principes de

Chapitre 1 : Généralités sur GNSS

trilatération. En résumé, le récepteur GNSS est conçu avec plusieurs étages qui travaillent ensemble pour mesurer les distances entre le récepteur et les satellites, permettant ainsi le calcul précis de la position du récepteur.[10]

Lorsqu'un signal est détecté par l'étage d'acquisition, les informations sont ensuite transmises à l'étage de poursuite, dont le rôle est de maintenir le verrouillage sur ce signal. En raison du mouvement rapide des satellites, qui se déplacent à une vitesse d'environ 4 km/s, les caractéristiques en termes de fréquence et de retard de chaque signal évoluent rapidement. Si ces caractéristiques ne sont pas régulièrement réestimées, le récepteur risque de perdre le signal. L'étage de poursuite a également pour mission de décoder le message de navigation contenu dans le signal et d'estimer la distance parcourue par chaque signal pour atteindre le récepteur, c'est-à-dire la distance entre le satellite émetteur et le récepteur. Ces mesures de distance sont ensuite transmises à l'étage de navigation, qui les utilise pour calculer la position du récepteur. En plus de déterminer la position, le récepteur doit également estimer une autre inconnue à l'étage de navigation, qui est le biais de son horloge interne par rapport au système de référence. Chaque étage du récepteur joue un rôle spécifique dans le processus de positionnement par satellite, et dans la section suivante, nous examinerons plus en détail le fonctionnement de chaque étage.

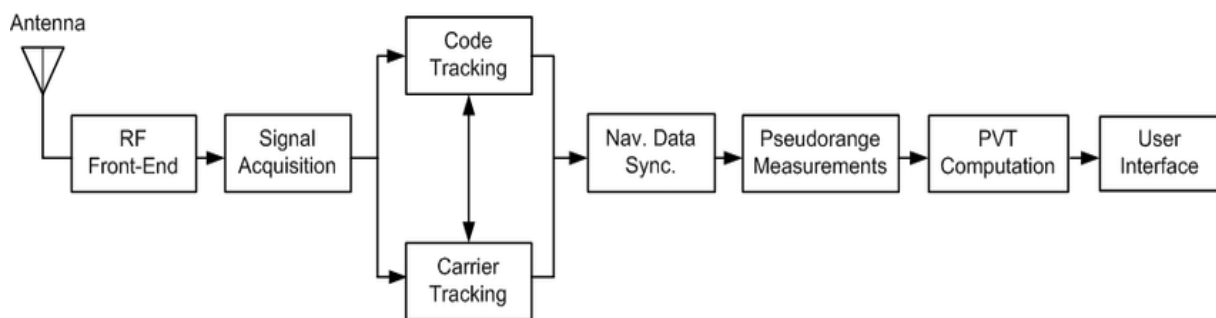


Figure I.8 : Architecture d'un récepteur GNSS.

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous donnons les notions de base du système global de positionnement par satellite et comment déterminer la position d'un utilisateur situé sur ou près de la terre de plusieurs manières. Nous avons présenté les différents types de système de positionnement par satellites et détaillé le fonctionnement de chacun d'eux. Finalement, ce chapitre nous aidera à comprendre le fonctionnement d'un récepteur GNSS et les étages qu'il contient et nous mettons la lumière à l'acquisition.

CHAPITRE 2 :

*Notions sur le récepteur GNSS les
détecteurs CFAR*

II.1 Introduction

Nous commençons ce chapitre par présenter les parties qui composent le récepteur GNSS et les caractéristiques de ces signaux. Cela est réalisé en fournissant de brèves définitions pour tous les éléments constitutifs du signal. Aussi, nous examinons les différentes équations nécessaires. Les systèmes de navigation par satellite GPS est basé sur la technique DS-SS qui consiste à « étaler le spectre » au moyen d'un code alloué à chaque communication. Le récepteur utilise ce même code pour démoduler le signal qu'il reçoit et extraire l'information utile. Le code lui-même ne transporte aucune information. Lorsque CFAR est utilisé dans un scénario multi-cibles, la technologie CFAR est appliquée à chaque cible individuellement. Cela se fait en sélectionnant le niveau de probabilité requis pour chaque cible séparément.

II.2 Modèle du signal

Le récepteur GNSS se compose de quatre parties principales : le RF (radiofréquence), l'acquisition, le suivi et le traitement des données, comme la montre la Figure II.1. Notre contribution se situe dans la deuxième partie (les parties d'acquisition). Le bloc d'acquisition reçoit un signal du front-end RF. Le modèle du signal peut être exprimé comme suit [11] :

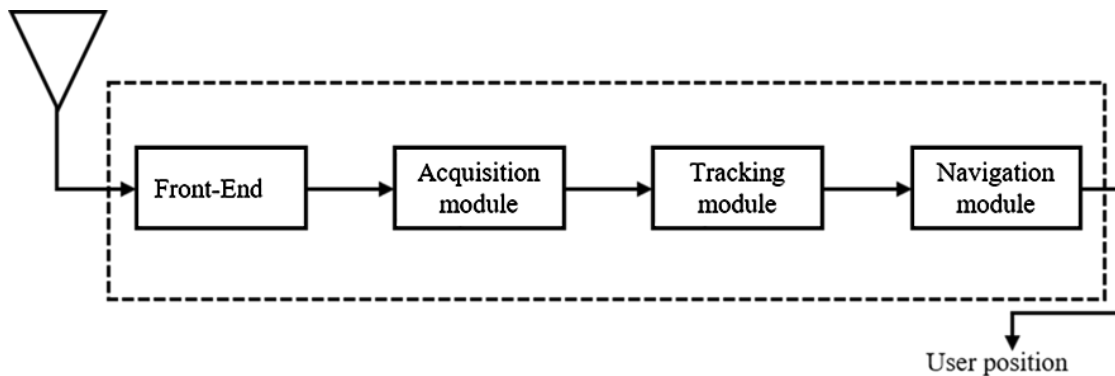


Figure II.1 : Schéma de récepteur GNSS

$$R_{RF}(t) = \sum_{i=1}^k y_i(t) \eta_{RF}^*(t) + \eta_{RF}(t) \quad (\text{II.1})$$

Où η_{RF}^* représente le bruit multiplicatif et η_{RF} est le bruit gaussien additif. Le η_{RF}^* est généré par une densité élevée de trajets multiples et par la présence abondante d'électrons dans l'ionosphère. De plus, le bruit additif est généralement considéré comme étant induit par le

matériel du récepteur. Ce travail se concentre sur le cas où le multiplicateur de bruit est suffisamment faible[2]. Ainsi, l'expression (1) devient :

$$R_{RF}(t) = \sum_{i=1}^k y_i(t) + \eta_{RF}(t) \quad (\text{II. 2})$$

Où $y_i(t)$ est le signal du satellite visible, il peut être exprimé comme suit :

$$y_i(t) = \sum_{i=1}^k \sqrt{2C} c(t - \tau_i^\alpha) d(t - \tau_i^\alpha) \cos(2\pi(f_{RF} + f_d^i)t + \varphi_i) \quad (\text{II. 3})$$

Dans cette équation, k est le nombre de satellites visibles ; C est la puissance du signal. $c(t)$, $d(t)$, τ_i^α et f_d^i représentent respectivement le code de propagation, la composante de données, le retard de code et la fréquence Doppler. En raison de l'orthogonalité du code, le signal du satellite peut être traité individuellement en considérant $\tau_i = \tau_i^\alpha / T_s$ et $F_D = (f_{IF} + f_d^i) T_s$. Dans ces conditions, l'équation (II.3) peut être simplifiée comme suit :

$$y(t) = \sqrt{2C} c(t - \tau_i) \cos(2\pi F_D t + \varphi_i) + \eta(t) \quad (\text{II.4})$$

Le signal est multiplié par la porteuse locale et le code généré, comme la montre la Figure II.2. Ensuite, le résultat obtenu est sommé lors d'une intégration non cohérente. Enfin, la valeur absolue au carré est utilisée pour former la statistique de la variable de décision, et elle est

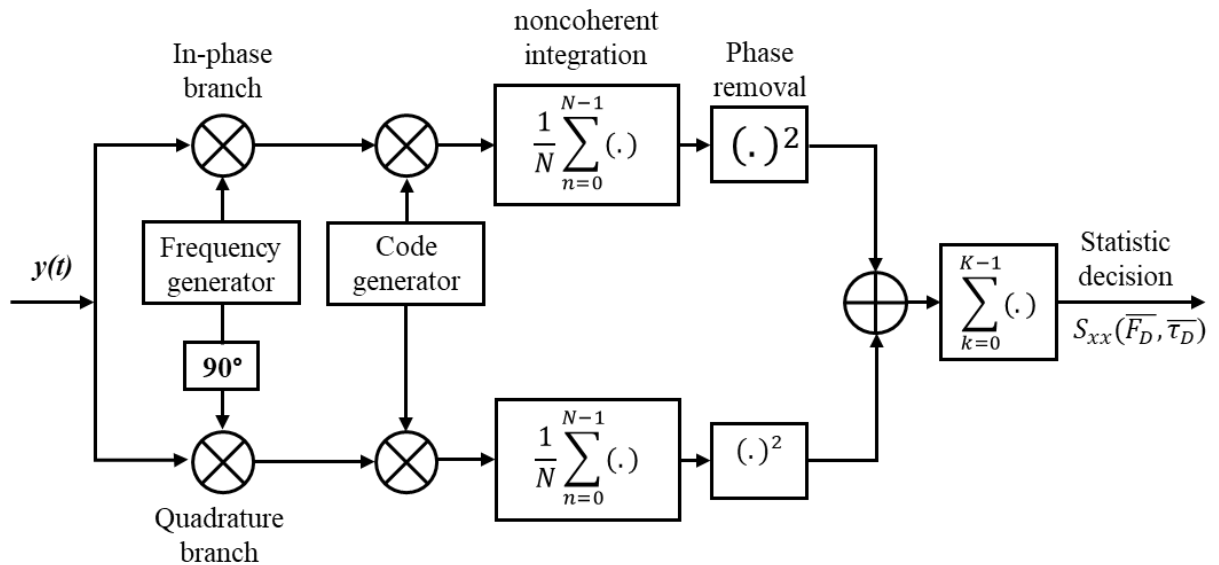


Figure II.2 : Schéma générale d'acquisition.

donnée par :

$$S(\tau, F_D) = \left| \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} r(n)c(n-\tau)e^{-j2\pi F_D n} \right|^2 \quad (\text{II.5})$$

En tenant compte de :

$$Y_I = \text{Re}\{S(\tau, F_D)\} \quad (\text{II.6})$$

$$Y_Q = \text{Im}\{S(\tau, F_D)\} \quad (\text{II.7})$$

Dans ces conditions, l'acquisition des signaux GNSS devient un problème de détection binaire. Deux hypothèses H_0 et H_1 sont considérées, correspondant respectivement à l'absence et à la présence du signal. La fonction de densité de probabilité (pdf), avant le carré, est donnée par :

$$Y_{I,Q}(\tau, F_D)/H_0 \sim N(0, \delta_n) \quad (\text{II.8})$$

Où $\delta_n = \delta_{IF}^2 / 2R$ et R est la longueur du code. Nous considérons que Y_I et Y_Q ne sont plus centrés en zéro, donc le résultat est :

$$Y_I(\tau, F_D)/H_1 \sim N\left(\frac{A}{2} \cos \varphi_0, \delta_n\right) \quad (\text{II.9})$$

Et

$$Y_Q(\tau, F_D)/H_1 \sim N\left(\frac{A}{2} \sin \varphi_0, \delta_n\right) \quad (\text{II.10})$$

Où N représente le symbole de la distribution normale.

II.3 Canal à atténuation Rayleigh

L'environnement a une grande influence sur le niveau de puissance du signal. La mobilité du récepteur et la réflexion du signal par des obstacles sont les deux principales raisons du phénomène de propagation à trajets multiples. Les canaux à atténuation peuvent être modélisés à l'aide de différentes distributions. Dans ce travail, le canal à atténuation Rayleigh est considéré. Le modèle du signal, dans ce cas, sera le suivant [12]:

$$y_i(t) = \alpha_i A_i c(t - \tau_i^\alpha) d(t - \tau_i^\alpha) \times \cos(2\pi(f_{RF} + f_d^i)t + \varphi_0) \quad (\text{II.11})$$

Où, α_i est distribué selon :

$$f_\alpha(\alpha) = \frac{\alpha}{\delta_m^2} e^{-\frac{\alpha^2}{2\delta_m^2}} \quad (\text{II.12})$$

Où, $2\delta_m^2$ est la puissance moyenne du signal. Dans ce cas, la fonction de densité de probabilité sous l'hypothèse H_1 , $f(x/H_1)$ est donnée par :

$$f(x/H_1) = \int_0^\infty f(x/\alpha, H_1) f_\alpha(\alpha) d\alpha \quad (\text{II.13})$$

Après intégration, on obtient l'expression suivante :

$$f(x/H_1) = \frac{1}{2\delta_n^2(1+\lambda\frac{\delta_m^2}{\delta_n^2})} \exp\left(-\frac{x}{2\delta_n^2(1+\lambda\frac{\delta_m^2}{\delta_n^2})}\right) \quad (\text{II.14})$$

Selon [13]

$$\lambda \frac{\delta_m^2}{\delta_n^2} = \frac{C}{N_0} T_c \quad (\text{II.15})$$

C/N_0 est défini comme le rapport entre la puissance du porteuse et la puissance du bruit, et l'intégration temporelle cohérente T_c est généralement égale à la période du code de bruit pseudo-aléatoire PRN.

La statistique de $S(\tau, F_D)$ donnée par l'équation (II.5) sous l'hypothèse nulle (H_0), suit une distribution exponentielle avec le paramètre $1/2\delta_n^2$:

$$f(x/H_0) = \frac{1}{2\delta_n^2} \exp\left(-\frac{x}{2\delta_n^2}\right) \quad (\text{II.16})$$

Dans ce cas, la probabilité de détection est obtenue comme suit :

$$P_D = \int_\beta^\infty f(x/H_1) dx = \exp\left(-\frac{\beta}{2\delta_n^2(1 + \frac{1}{2} \frac{C}{N_0} T_c)}\right) \quad (\text{II.17})$$

Où β correspond au seuil prédéterminé. La probabilité de fausse alarme est obtenue comme suit :

$$P_{FA} = \int_\beta^\infty f(x/H_0) dx = \exp\left(-\frac{\beta}{2\delta_n^2}\right) \quad (\text{II.18})$$

II.4 DETECTION CFAR

Ce travail utilise la technique du taux de fausses alarmes constant (CFAR) pour améliorer les performances de détection, en particulier en présence de propagation à trajets multiples. La technique CFAR est utilisée dans le bloc de décision de l'étape d'acquisition, offrant un avantage grâce à sa capacité à s'adapter aux niveaux de puissance du bruit variables de l'environnement. La technique CFAR est bien connue dans le domaine des radars, mais elle est limitée à quelques articles dans le domaine des GNSS [12].

II.5 OS-CFAR

L'OS-CFAR est une technique de taux de fausses alarmes constant qui est relativement insensible aux interférences présentes dans les cellules de référence. Dans notre analyse, nous étudions l'exécution des processeurs OS-CFAR dans des canaux à propagation Rayleigh avec et sans interférences. Dans le détecteur OS-CFAR, les sorties des M cellules de référence sont enregistrées dans l'ordre croissant : $Z_1 \leq Z_2 \leq \dots \leq Z_{M-1} \leq Z_M$.

Le seuil est obtenu en choisissant la k-ième cellule ordonnée pour représenter le niveau d'estimation du bruit Z, puis en multipliant cette valeur par le facteur scalaire T, obtenu en fixant la probabilité de fausse alarme du détecteur OS-CFAR[13].

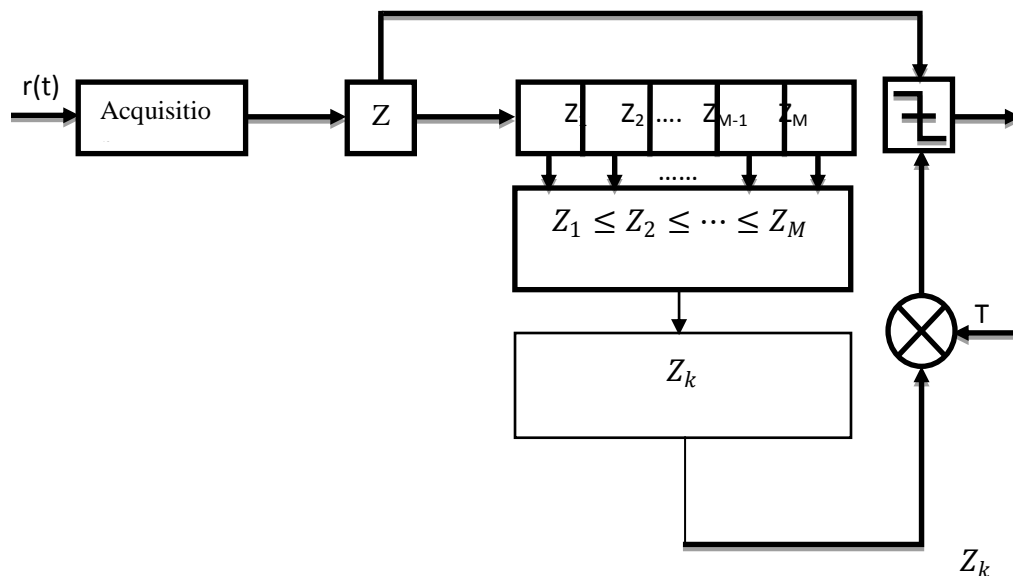


Figure II.3: Schéma fonctionnel du détecteur OS-CFAR.

Dans cette condition, $f_Z(Z)$ est donné par :

$$f_Z(Z) = k \binom{M}{k} (1 - e^{-z})^{k-1} e^{-(M-k+1)z} \quad (\text{II.19})$$

La probabilité de fausse alarme est alors donnée par :

$$P_{fa} = k \binom{M}{k} \int_0^\infty f_Z(Z) \int_{T_s}^\infty f_X(x/H_0) dx dz \quad (\text{II.20})$$

Après la première intégration, l'équation (II.20) devient :

$$P_{fa} = k \binom{M}{k} \int_0^\infty (1 - e^{-z})^{k-1} e^{-\left(M-k+1+\frac{T}{2\delta_n^2}\right)z} dz \quad (\text{II.21})$$

La solution de cette intégrale est :

$$P_{fa} = \prod_{i=1}^k \left(1 - \frac{T}{M-i+1}\right) \quad (\text{II.22})$$

La probabilité de détection est déterminée à partir de l'équation (II.22), en remplaçant T par $T/(1 + \mathbb{Q})$ [15].

$$P_D = \prod_{i=1}^k \left(1 - \frac{T}{(M-i+1)(1 + \mathbb{Q})}\right) \quad (\text{II.23})$$

II.6 CMLD-CFAR

Le système CMLD (Constant False Alarm Rate and OrderStatistic-Level CFAR Detector) a été proposé par Rickard et Dillard en 1977 et est une généralisation du détecteur traditionnel CA CFAR avec des modifications qui offrent des performances robustes dans des environnements à cibles multiples. Cela est réalisé en censurant un certain nombre d'échantillons d'entrée du groupe ordonné. Comme la famille CMLD, CMLD obtient son estimation des informations de bruit à partir des cellules de résolution voisines. Cette combinaison de concepts OS et CA utilise une moyenne de tous les échantillons de référence de bruit, sauf les deux plus grands (c'est-à-dire que les entrées les plus grandes sont censurées dans la routine de calcul de la

moyenne). Le résultat de ce système de combinaison est une architecture avec des propriétés robustes qui offre des performances supérieures dans des environnements à cibles multiples [14].

II.6.1 Description du système

La figure II.4 Représente le schéma du système CMLD. Comme toujours, la fenêtre de référence peut contenir du bruit et/ou des échos de retour provenant d'un échantillon interférant. L'écho de retour principal de l'échantillon est observé dans la cellule en cours de test. Les sorties des cellules de référence $Z_i, i = 1, 2, \dots, M$ sont envoyées à un dispositif de classement qui trie les échantillons par ordre croissant en fonction de leur magnitude, ce qui donne les M échantillons ordonnés : $Z_1 \leq Z_2 \leq \dots \leq Z_{M-1} \leq Z_M$.

À ce stade, les K plus grands échantillons sont censurés (1 ou 2). Les M échantillons restants sont combinés pour former une estimation du niveau de bruit selon une procédure identique à celle de CA-CFAR. L'estimation est ensuite multipliée par une constante T (multiplicateur de seuil) pour obtenir le seuil adaptatif par rapport auquel la cellule en cours de test sera comparée.

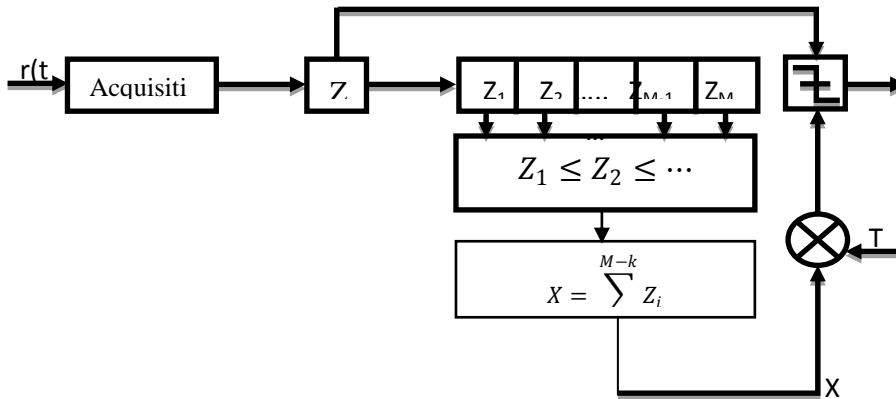


Figure II.4 : Schéma fonctionnel du détecteur CMLD-CFAR.

Où M_U est la fonction de génération de moments (MGF) de l'estimation U et $a = 2\sigma_0^2 M$. Les échantillons d'ordre Z_1, Z_2, \dots, Z_{M-k} ne sont pas des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d.) même lorsque les échantillons originaux $Z_i, i = 1, 2, \dots, M$ sont i.i.d. Cependant, étant donné que les échantillons Z_i i.i.d. sont distribués exponentiellement, la transformation suivante des variables aléatoires en $W_{(1)}, W_{(2)}, \dots, W_{(N_c-K)}$ conduit à des quantités indépendantes.

$$W_1 = Z_{(1)} \quad (II.25)$$

$$W_2 = Z_{(2)} - Z_{(1)} \quad (II.26)$$

...

$$W_{(N_c-K)} = Z_{(N_c-K)} - Z_{(N_c-K-1)} \quad (II.27)$$

Il est connu que la fonction de densité de probabilité (pdf) des statistiques d'ordre $X_{(j)}$ des variables aléatoires X_1, \dots, X_N est donnée par :

$$f_{X_{(j)}}(x) = \frac{N!}{(j-1)!(N-j)!} f_X(x) [F_X(x)]^{j-1} [1 - F_X(x)]^{M-j} \quad (II.28)$$

La fonction de densité de probabilité (pdf) de W_1 est:

$$f_{W_1}(z) = \frac{M}{a} e^{-\frac{z}{a}} \quad (II.29)$$

La fonction de densité de probabilité (pdf) des variables aléatoires $W_1, \dots, W_{(M-k)}$ est :

$$f_{W_i}(z) = \frac{M-i+1}{a} e^{-\frac{z(M-i+1)}{a}}, \quad i = 1, \dots, M-k \quad (II.30)$$

Permettez-nous de définir une autre transformation :

$$V_i = (M-k-i+1)W_i, \quad i = 1, \dots, M-k \quad (II.31)$$

U est donné par $U = \sum_{j=1}^{M-k} V_j$.

Les V_j sont des fonctions des variables aléatoires W_i sous la forme $V_j = c_j W_j$. (II.32)

La fonction de densité de probabilité (PDF) est donnée par : $f_{V_i}(z) = \frac{1}{c_i} f_{W_i}\left(\frac{z}{c_i}\right)$ (II.33)

À partir des équations (II.17), (II.18) et (II.21) :

La PDF de V_j est donnée par : $f_{V_i}(z) = \frac{M}{a(M-k)} e^{-\frac{z}{a(M-k)}}$ (II.34)

La fonction génératrice des moments (MGF) de U est simplement le produit des MGF individuelles de V_j . Par conséquent, la probabilité de fausse alarme est [15]

$$M_{V_i}\left(\frac{T}{a}\right) = \frac{M}{(M-k)\left(T + \frac{M}{M-k}\right)} \quad (II.35)$$

$$M_{V_i} \left(\frac{T}{a} \right) = \frac{g_i}{T + g_i} \quad i = 2, \dots, M - k \quad (II.36)$$

$$g_i = \frac{M - i + 1}{M - k - i + 1} \quad (II.37)$$

La probabilité de détection est déterminée à partir de l'équation (II.24), en remplaçant T par $T / (1 + \frac{1}{g_i})$ [13].

II.7 CONSTANT FALSE ALARM RATE FUSION

Les performances de détection peuvent être améliorées lorsque la décision de détection est réalisée par la fusion de détecteurs CFAR distincts. Cela permet d'augmenter la probabilité de détection tout en maintenant la probabilité de fausse alarme constante. Pour tirer parti de cette idée et profiter de la coexistence des canaux pilote et données, nous introduisons un centre de fusion des deux détecteurs CFAR, l'un fonctionnant sur le canal pilote et l'autre sur le canal de données. La structure proposée est illustrée à la Figure II.5. Deux règles de fusion, "AND" et "OR", sont utilisées. Ces deux règles sont largement utilisées dans de nombreuses applications qui nécessitent l'utilisation de données provenant de différentes sources dans de nombreux problèmes réels.

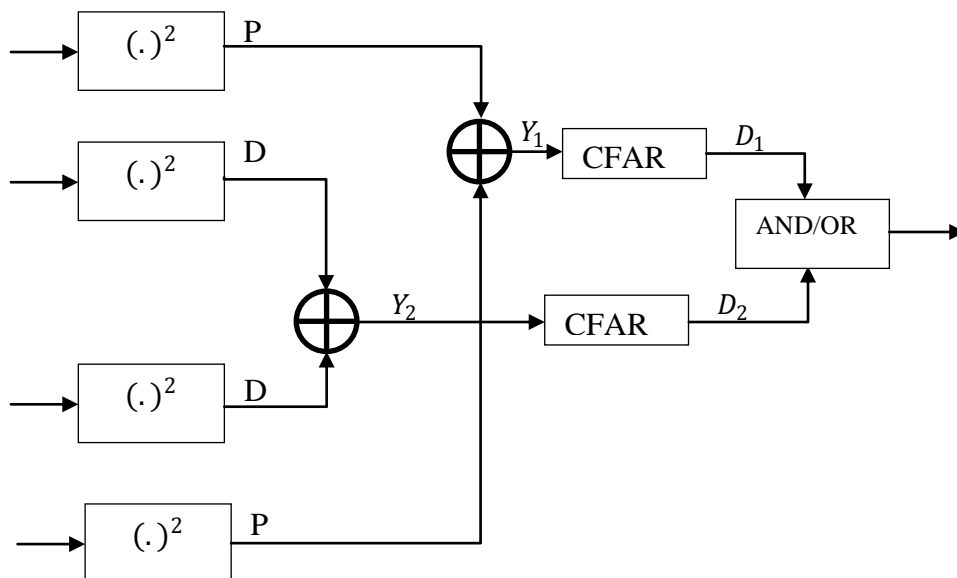


Figure II.5 : Deux détecteurs CFAR avec un centre de fusion.

Chapitre 2 : Notions sur le récepteur GNSS et les détecteurs CFAR

Dans le cas de la règle de fusion " AND ", les probabilités de détection et de fausse alarme sont données par :

$$P_{d_ANDfusion} = P_{dP} \times P_{dD} \quad (II.38)$$

$$P_{fa_ANDfusion} = P_{faP} \times P_{faD} \quad (II.39)$$

Dans le cas de la règle de fusion " OR ", les probabilités de fausse alarme et de détection sont données comme suit :

$$P_{d_ORfusion} = 1 - (1 - P_{dP}) \times (1 - P_{dD}) \quad (II.40)$$

$$P_{fa_ORfusion} = 1 - (1 - P_{faP}) \times (1 - P_{faD}) \quad (II.41)$$

Dans ce cas, P_{dP} et P_{dD} représentent les probabilités de détection du canal pilote et du canal de données, respectivement. P_{faP} et P_{faD} représentent les probabilités de fausse alarme du canal pilote et du canal de données, respectivement [14].

II.8 Conclusion

Ce chapitre introduit en bref la base théorique du récepteur GNSS et ses parties, alors que la deuxième partie du chapitre expose la description détaillée du système proposé. Nous avons ensuite expliqué le principe des algorithmes CMLD-CFAR et OS-CFAR. À la fin de ce chapitre, l'analyse du système étudié est présentée avec les expressions des probabilités de détection et de fausse alarme.

Chapitre 3 :

Discussion des résultats

Chapitre 3 :Discussion des résultats

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, les résultats sont produits en employant la méthode de simulation Monte-Carlo dans le cadre du programme MATLAB. Un des deux critères de performance les plus importants qui est la probabilité de détection est analysé et présenté en fonction de différents paramètres, tels que le nombre de cellules de référence, le taux de fausse alarme, le nombre de cellules d'interférence. L'objectif de notre travail est de comparer les performances des détecteurs suivants : CMLD et CMLD-CFAR, le détecteur OS et OS-CFAR et le détecteur CMLD et OS-CFAR et le détecteur OS et CMLD-CFAR, afin de voir qui est le plus performant entre eux.

III.2 Résultats et discussions

Analyser et comparer les performances du CMLD et de l'OS, en environnement de Rayleigh, le taux de fausses alarmes est égal à 10^{-4} et tous les paramètres de simulation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Paramètres de simulation.

Les paramètres	Les valeurs
Fréquence d'échantillonnage f_s	40.92 MHz
$B_{if} = f_s/2$	20.46 MHz
$f_{if} = f_s/4$	10.23 MHz
Longueur du code N	10230 chip
Temps d'intégration avant détection	1 ms

Les résultats présentés ci-dessous ont été extraits en plaçant une cellule sous observation et en faisant un registre contient M cellules ou M=16 dans ce cas. On considère le milieu homogène, lorsque la cellule sous observation est remplie d'un signal, et le registre n'est rempli que du bruit. Dans le milieu non homogène, nous avons rempli le registre de bruit et des interférences. Ensuite, nous implémentons la méthode OS-CFAR et CMLD-CFAR. L'algorithme OS-CFAR détermine la valeur du seuil en multipliant le contenu de la cellule ordonnée (K) par le paramètre numérique T, obtenu en fixant la probabilité de fausse

alarme du détecteur OS-CFAR. Le détecteur CMLD additionne les contenues de la première cellule jusqu'à la cellule M-k pour améliorer la détection dans le GPS.

A. Environnement Homogène

Notre travail dans ce milieu est divisé en cinq parties. Premièrement, les résultats représentent une comparaison entre les détecteurs à seuils fixe et adaptatif. Pour le seuillage adaptatif, les deux détecteurs CMLD-CFAR et OS-CFAR sont considérés. Nous avons montré que la technique du seuillage adaptatif a donné les meilleures performances par rapport au seuil fixe comme la montre la figure III.1. D'autre part, la comparaison entre CMLD et OS-CFAR montre que l'OS-CFAR surpasse le CMLD-CFAR dans des environnements homogènes. Donc, l'OS-CFAR est le meilleur algorithme dans ce cas. Deuxièmement, Nous avons fusionné les deux détecteurs CFAR (OS-CFAR et CMLD-CFAR) dans un milieu non homogène. Les figures III.2, III.3 et III.4 représentent les fusions AND et OR des détecteurs CMLD-CMLD-CFAR, OS-OS-CFAR et OS-CMLD-CFAR, respectivement. D'après ces trois figures on a remarqué que la fusion OR est meilleure que la fusion AND.

Les figures III.5 et III.6 représentent la fusion des détecteurs en utilisant les règles de fusion AND et OR, respectivement, pour avoir qui est le meilleur de point de vue probabilité de détection. Nous avons remarqué une convergence entre les deux courbes de la probabilité de détection des deux algorithmes OS-CMLD-CFAR et OS-OS-CFAR. On a remarqué encore que le détecteur OS-CMLD-CFAR est le meilleur parmi les autres.

Les figures III.7 et III.8 représentent respectivement les détecteurs CMLD-CFAR et OS-CFAR pour différentes valeurs du nombre des cellules de référence M . Dans ces deux cas, la valeur de P_{FA} est égale à 10^{-4} . A partir de ces deux figures, nous avons remarqué que la courbe de P_D présente une supériorité lorsque le nombre de cellules de référence est 32. Cela indique que, lorsque le nombre de cellules de référence augmente, de la probabilité de détection devient meilleure.

Les figures III.9 et III.10 représentent, respectivement, la probabilité de détection en fonction du SNR des deux détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR pour différentes valeurs de P_{FA} . Le nombre des cellules de référence est fixé à la valeur $M=16$. La courbe où la valeur de P_{FA} était égale à 10^{-4} se démarque dans les deux figures. Cela signifie que plus la valeur de la P_{FA} augmente, meilleure est la probabilité de détection.

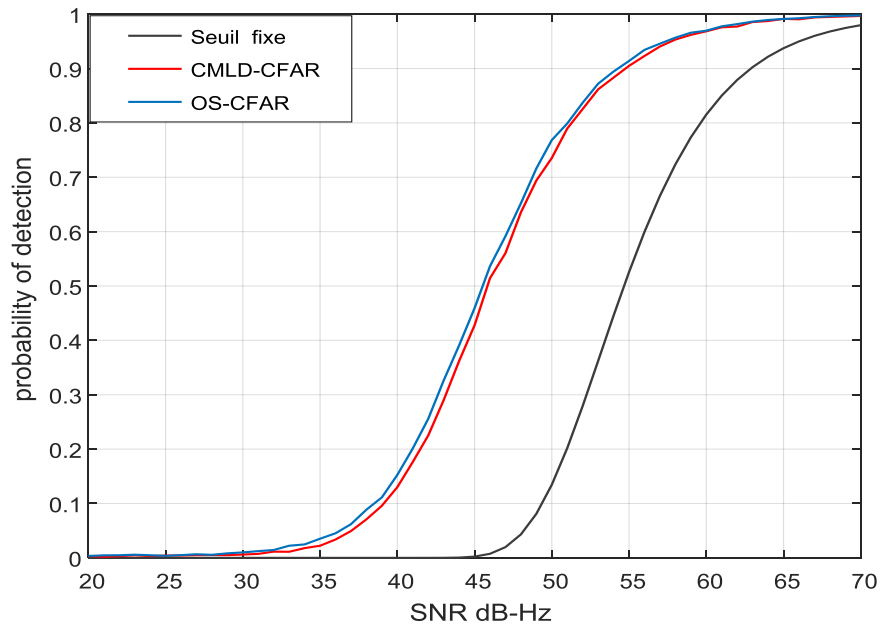


Figure III.1 : Probabilité de détection en fonction du SNR pour les détecteurs CMLD-CFAR, OS-CFAR et seuil fixe dans un milieu homogène.

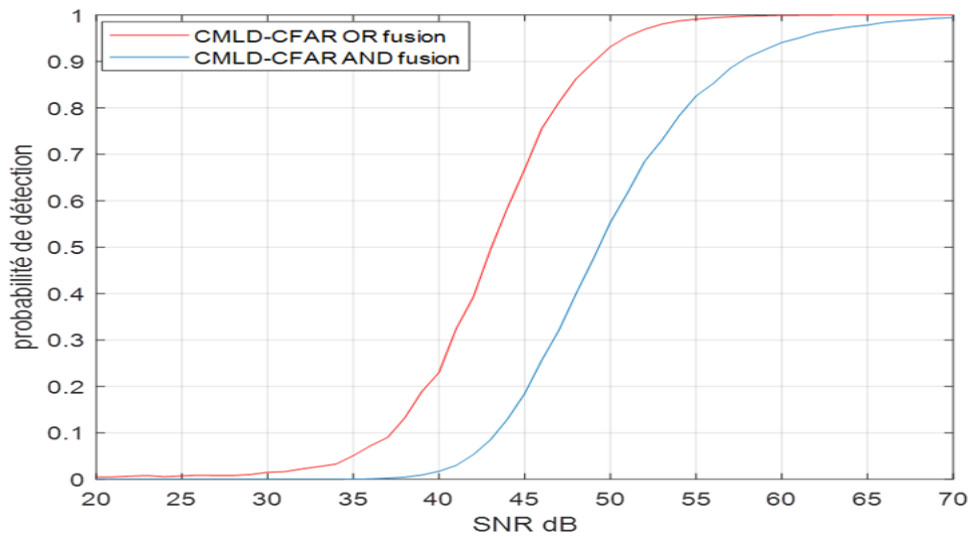


Figure III.2 : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur CMLD-CFAR utilisant les règles de fusions AND et OR dans un milieu homogène.

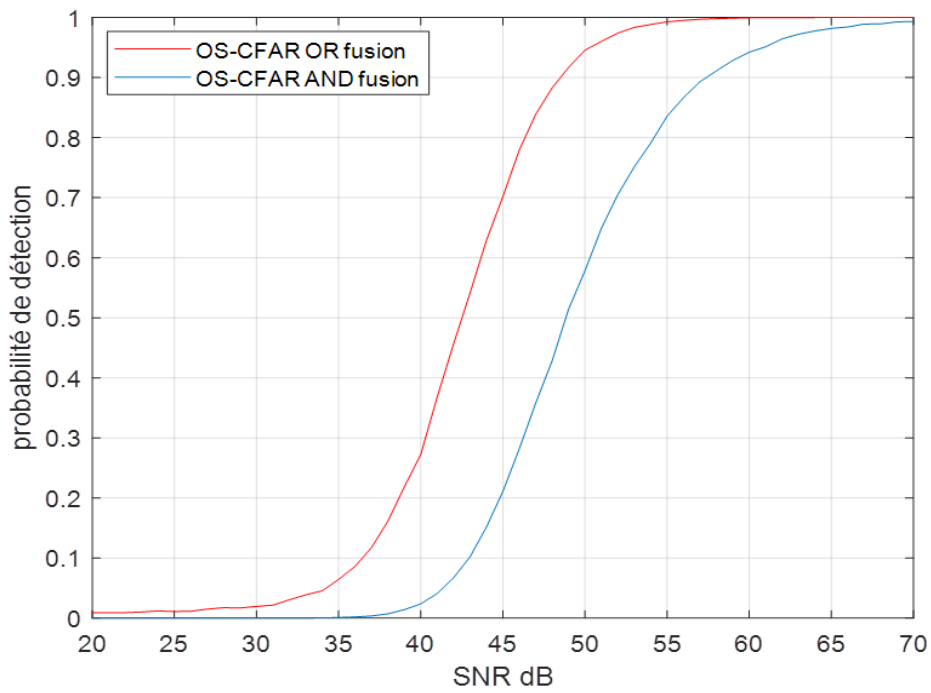


Figure III.3 : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur OS-CFAR utilisant les règles des fusions AND et OR dans un milieu homogène.

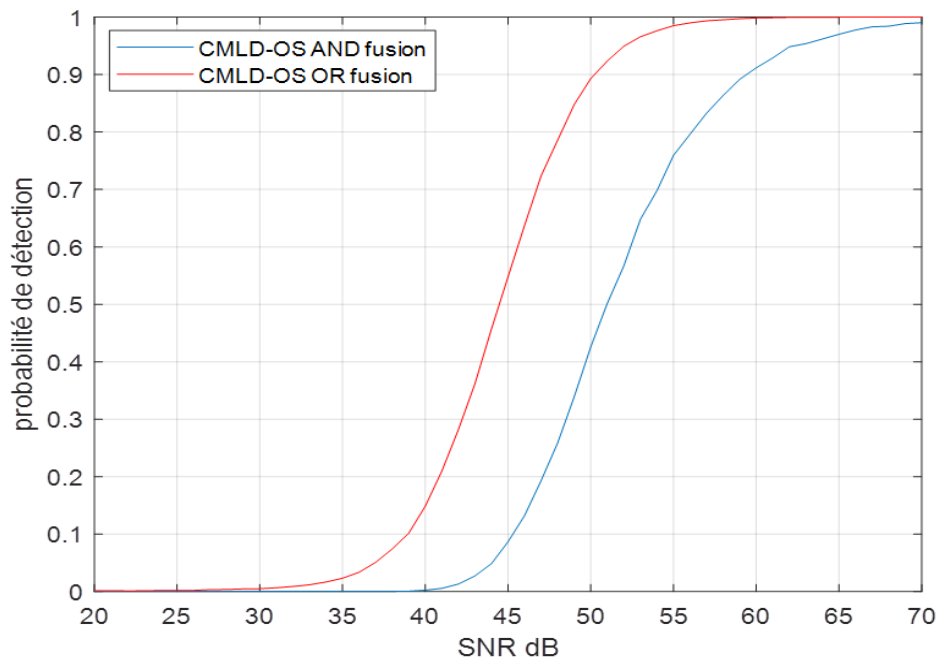


Figure III.4 : Probabilité de détection en fonction du SNR des deux détecteurs CMLD-CFAR et OS-CFAR utilisant les règles de fusions AND et OR dans un milieu homogène.

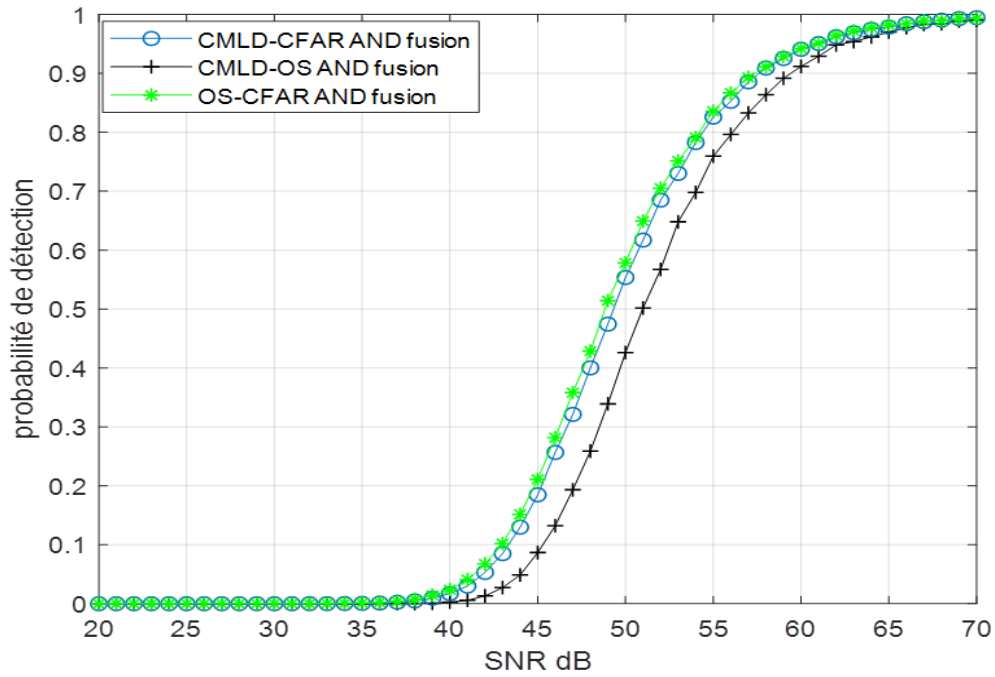


Figure III.5 : Probabilité de détection en fonction du SNR pour les deux détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle de fusion AND dans un milieu homogène.

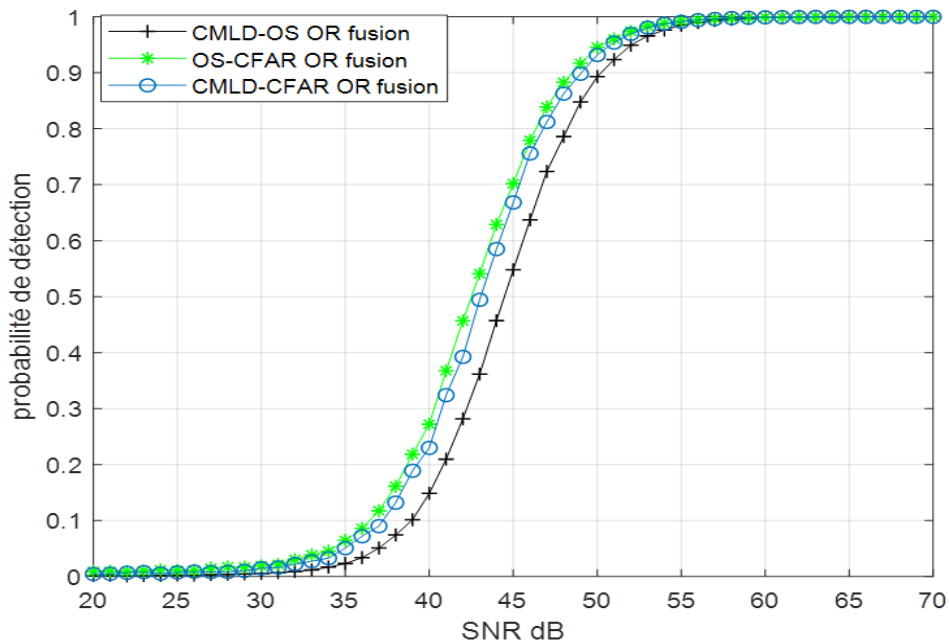


Figure III.6 : Probabilité de détection en fonction du SNR des deux détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle fusion OR dans un milieu homogène.

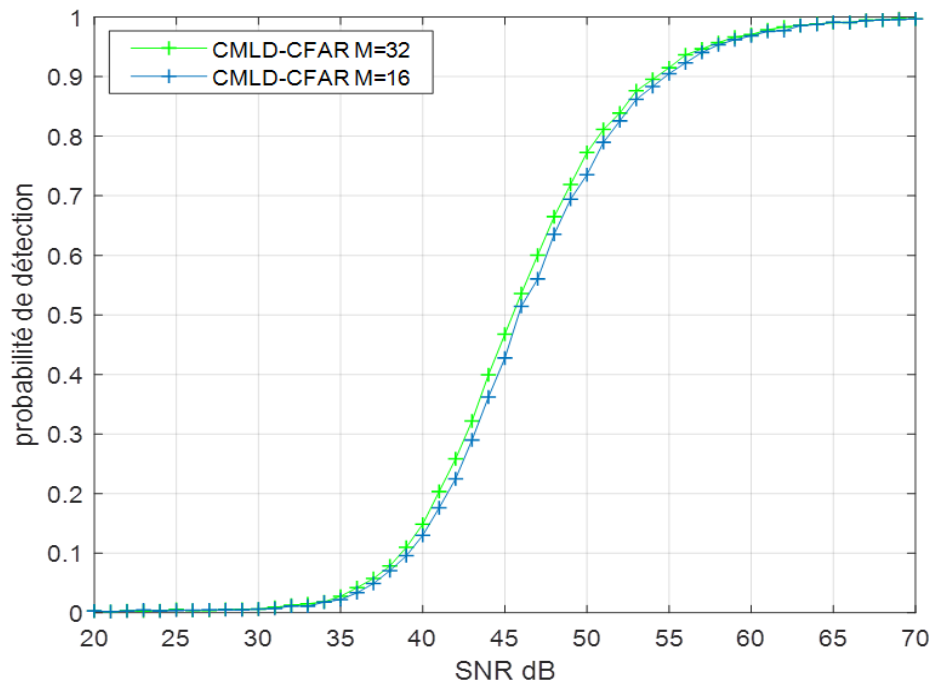


Figure III.7 : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur CMLD-CFAR pour différentes valeurs de M et une $P_{FA}=10^{-4}$ dans un milieu homogène.

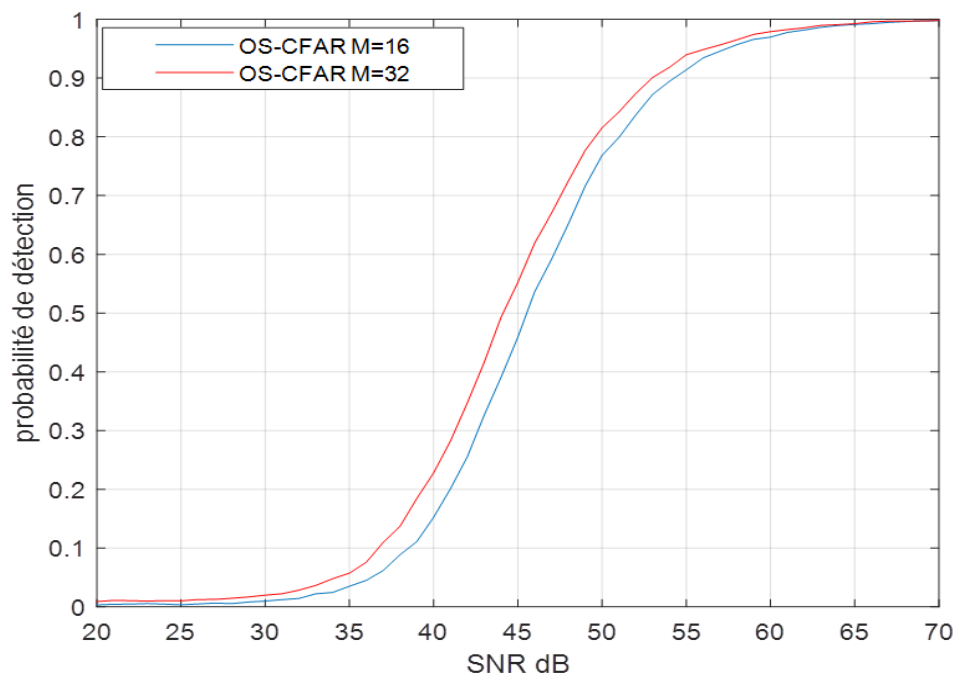


Figure III.8 : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur OS-CFAR pour différentes valeurs de M et une $P_{FA}=10^{-4}$ dans un milieu homogène.

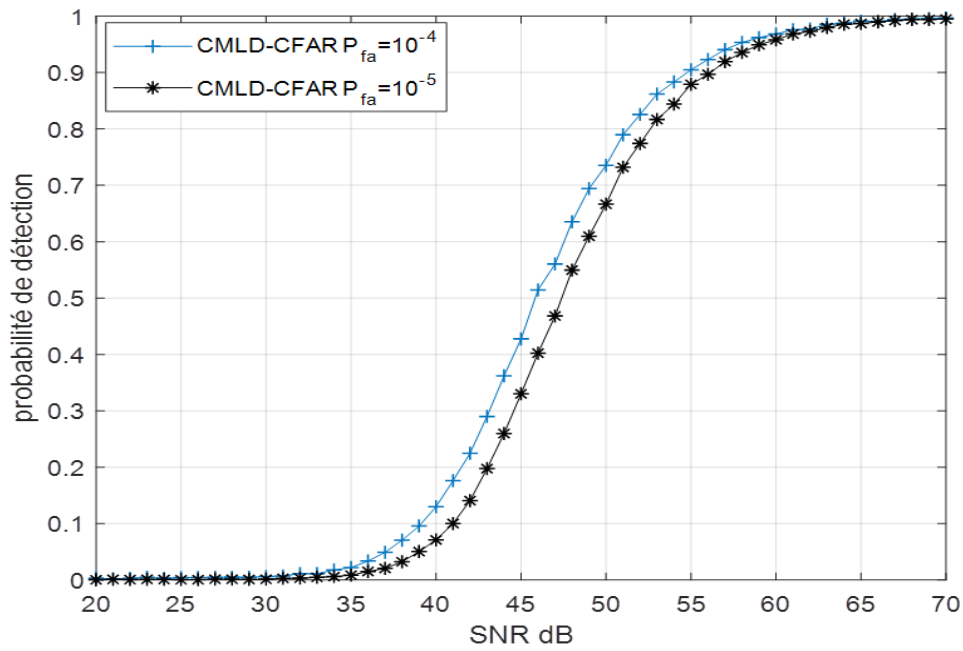


Figure III.9 : Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur CMLD-CFAR pour différentes valeurs de P_{FA} avec $M=16$ dans un milieu homogène.

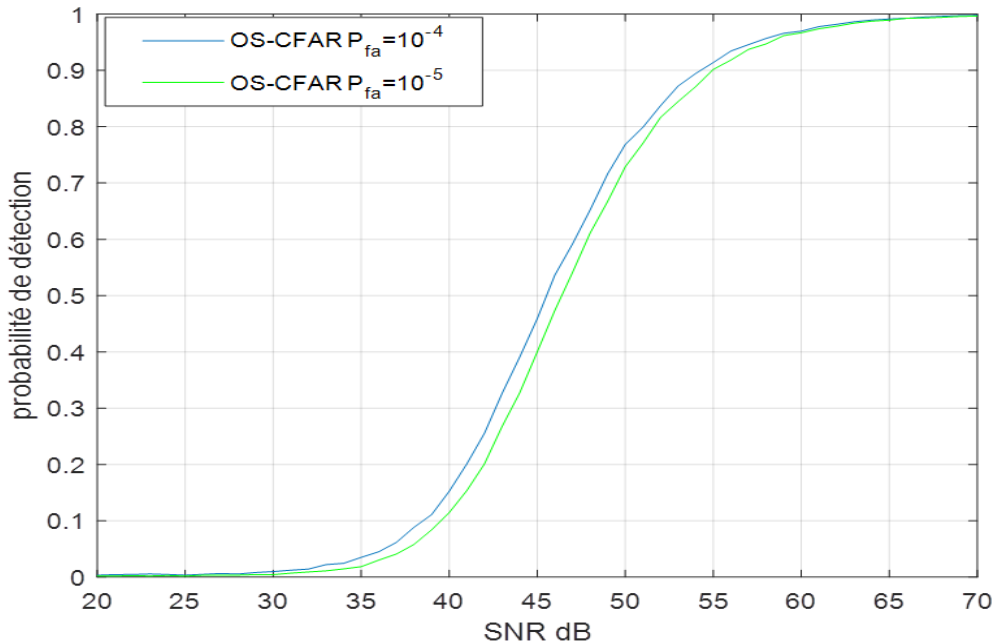


Figure III.10: Probabilité de détection en fonction du SNR du détecteur OS-CFAR pour différentes valeurs de P_{FA} avec $M=16$ dans un milieu homogène.

B. Environnement Non homogène

Dans ce milieu nous avons fusionné les deux détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR et inséré un certain nombre d'interférences (O) en changeant leur puissance par rapport la puissance du signal (I). Nous choisissons les valeurs suivantes pour ces paramètres : I est égal à 1 puis 1/2 pour O est égal à 3, en utilisant les règles de fusion AND et OR dans les figures III.11 et III.12, respectivement. Après la simulation nous observons les courbes de la probabilité de détection sont très proches. En plus, on a observé que les courbes où la puissance interférences est la moitié de puissance du signal sont toujours supérieures aux courbes ayant la même puissance d'interférences que celle de la puissance du signal. Cela nous permet de conclure que, plus la puissance des interférences augmente, plus la probabilité de la détection diminue.

Dans les figures III.13 et III.14 nous choisissons le nombre d'interférences O est égal à 6 et I est égal à 1/2 et utilisant les règles de fusion AND et OR, respectivement. Nous remarquons une convergence entre les courbes CMLD-CFAR et OS-CFAR mais la courbe CMLD-CFAR surpasse dans la règle de fusion AND et la courbe OS-CFAR surpasse dans la règle de fusion OR.

La figure III.15 qui représente la combinaison des détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR, nous avons introduit un grand nombre d'interférences, où leur puissance est égale à la puissance du signal. Nous remarquons que les courbes utilisant la règle de fusion AND étaient très faibles. Les courbes OS-CFAR et CMLD-OS-CFAR étaient presque négligeable et la courbe CMLD-CFAR atteint une valeur maximale d'environ 0.15 approximativement.

En ce qui concerne la figure III.16 qui utilise la règle de fusion OR, la courbe OS-CFAR atteint une valeur de P_D égale 0.2 et OS-CMLD atteint une valeur égale 0.5, avec le CMLD-CFAR étant le meilleur d'entre eux, atteint une valeur 0.7. Ainsi, nous concluons que le détecteur CMLD-CFAR est le meilleur lorsque le nombre des interférences augmente dans un environnement non homogène.

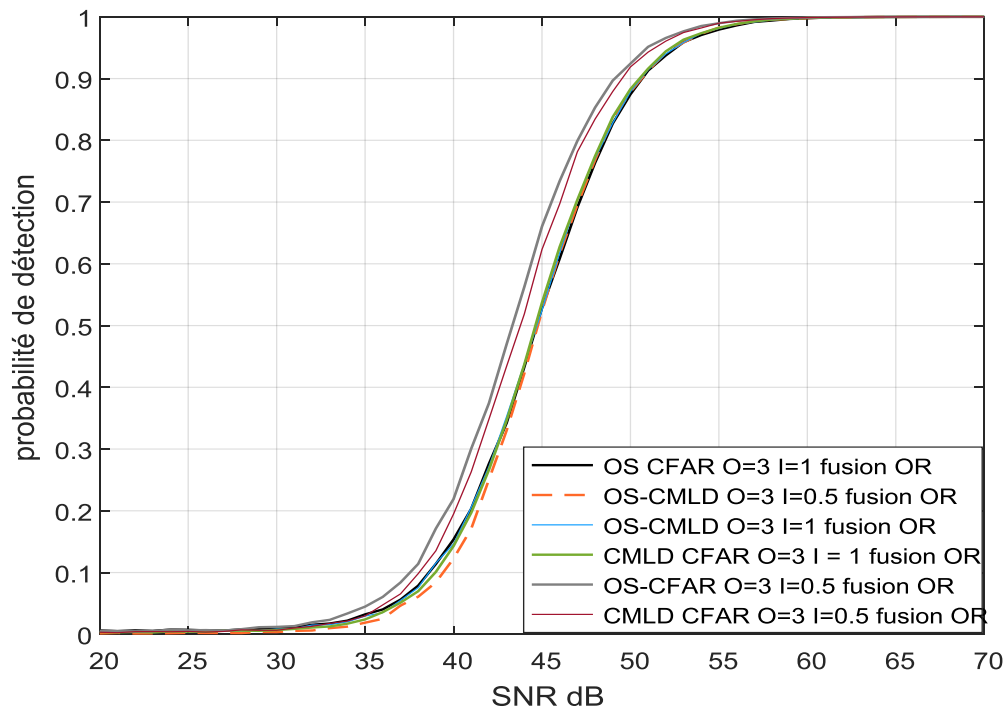


Figure III.11 : Influence des interférences sur la probabilité de détection des détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle de fusion OR, pour $O=3$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.

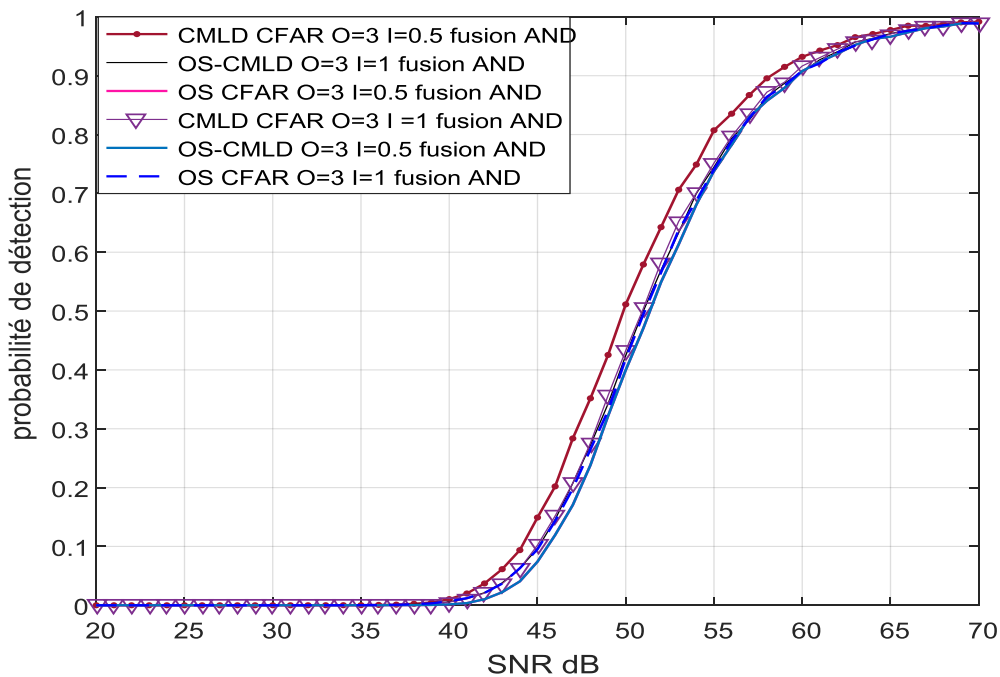


Figure III.12 : Influence des interférences sur la probabilité de détection des détecteurs OS-CFAR et CMLD-CFAR utilisant la règle de fusion AND, pour $O=3$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.

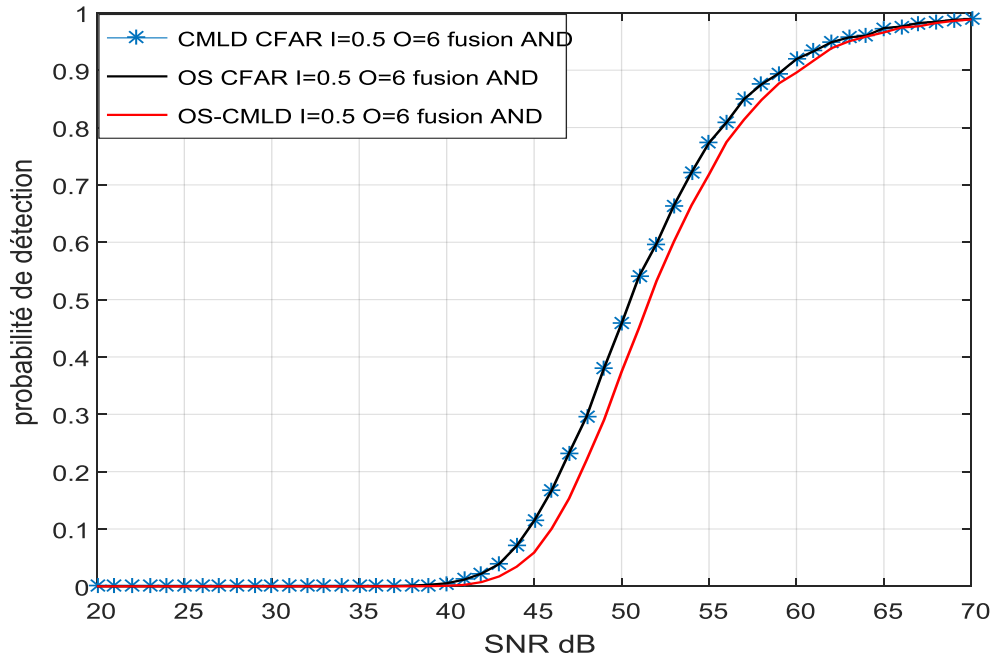


Figure III.13 : Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion AND, pour $I=0.5$, $O=6$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.

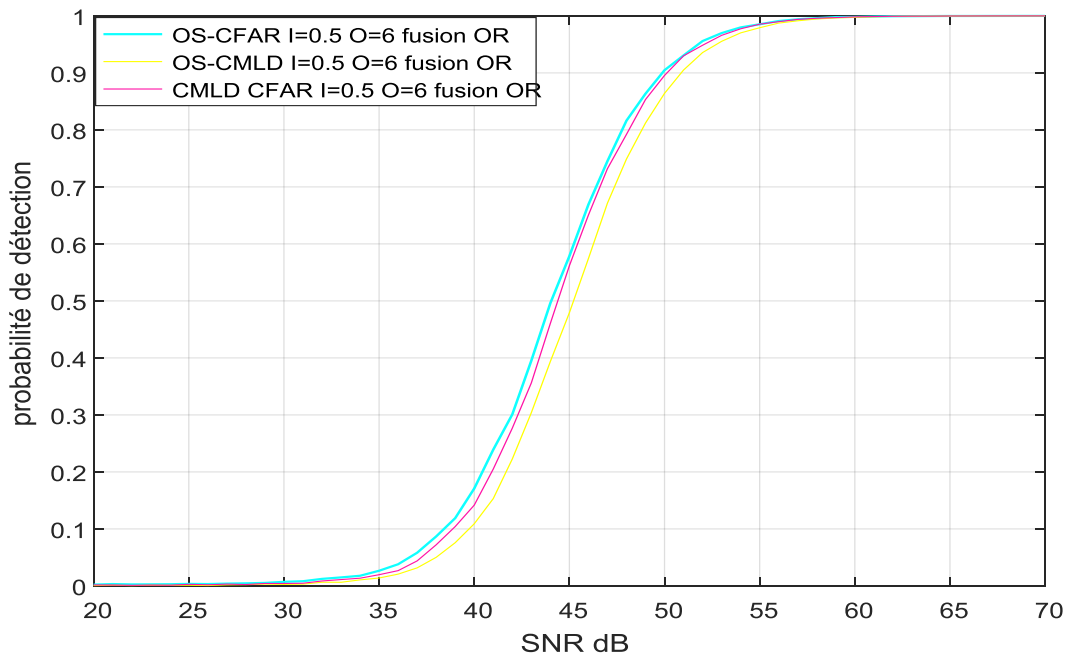


Figure III.14 : Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion OR, pour $O=6$, $I=0.5$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.

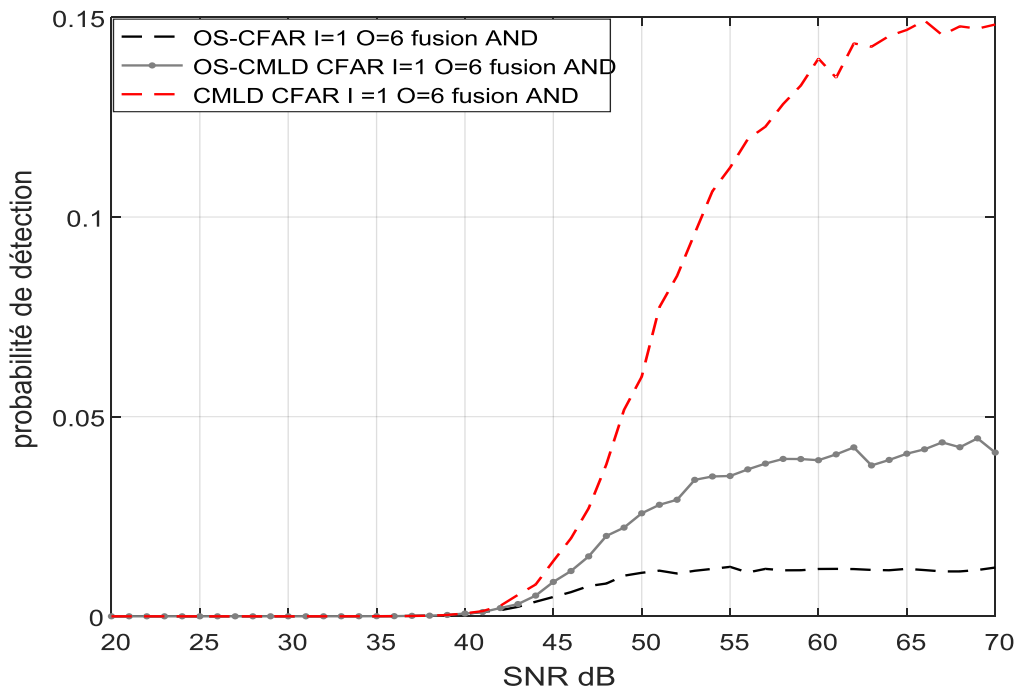


Figure III.15 : Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion AND, Pour $O=6$, $I=1$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.

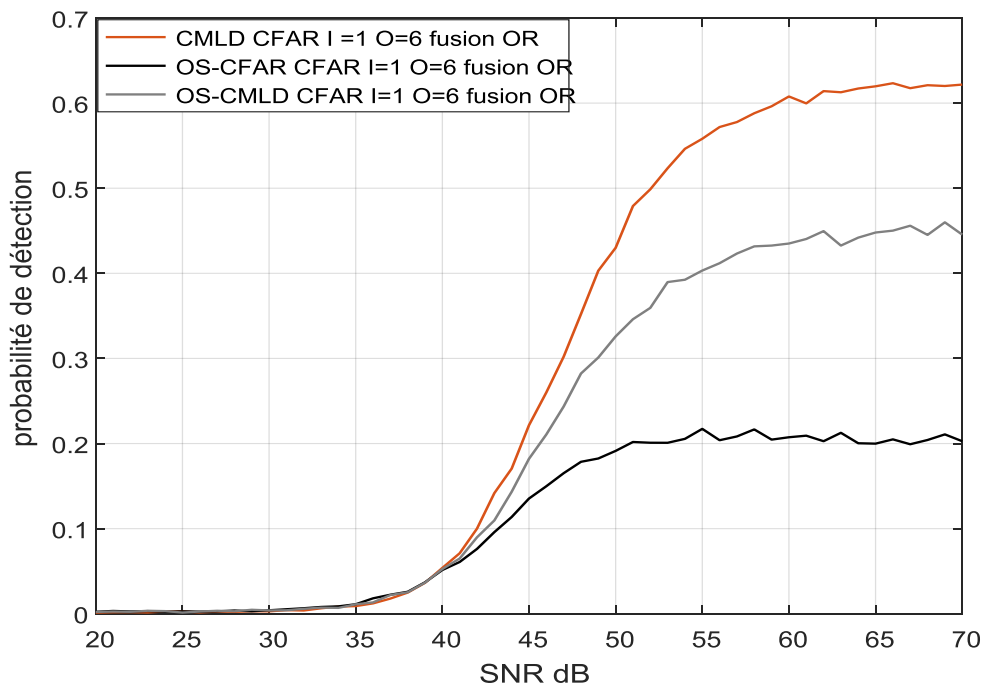


Figure III.16 : Influence des interférences sur la probabilité de détection des différents détecteurs utilisant la règle de fusion OR, pour $O=6$, $I=1$, $M=16$ et $P_{FA}=10^{-4}$.

III.3 Conclusion

Afin d'étudier l'amélioration de la détection et après avoir discuté et analysé les résultats de simulation obtenus, nous procédons à une comparaison des deux algorithmes OS-CFAR et CMLD-CFAR, en considérant les règles de fusions AND et OR, et les effets de divers paramètres fonctionnels, tels que la probabilité de fausse alarme, le nombre d'interférences et leur puissance, le nombre de cellule de référence. Les résultats obtenus montrent que le détecteur OS-CFAR dans un milieu homogène donne les meilleurs résultats. Le détecteur CMLD-CFAR est le meilleur lorsqu'on augmente le nombre de cellules d'interférence et leur puissance. Ce qui démontre son efficacité et robustesse.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, le logiciel Matlab est utilisé pour simuler la détection adaptative des signaux GPS. Pour améliorer la détection des signaux GPS dans différents environnements, nous avons constaté que l'utilisation de la technique CFAR (Constant False Alarm Rate) est la solution. Deux algorithmes CFAR sont considérés et comparés de point de vue probabilité de détection, dans différents environnements et pour différentes valeurs des paramètres du système. Ces algorithmes sont l'OS-CFAR (OrderStatistic Constant False Alarm Rate) et leCMLD-CFAR (CensoredMeanLevel Detector Constant False Alarm Rate).

L'algorithme OS-CFAR est plus efficace dans un environnement homogène. Cela est dû à sa capacité d'estimer précisément les niveaux du bruit, en utilisant des statistiques d'ordre. Ce qui, lui permet de détecter avec précision les signaux GPS dans un environnement sans perturbations majeures.

D'autre part, dans un environnement non homogène, où les perturbations et les interférences sont présentes, l'algorithme CMLD-CFAR avec les règles de fusion AND et OR se révèle plus performant, ce qui lui permet de maintenir une détection précise des signaux GPS même dans des conditions plus complexes.

Nous avons également conclu que, lorsque le nombre d'interférences dépasse $M/4$, où M représente le nombre de cellules de référence, la détection diminue jusqu'à disparaître complètement. Chaque augmentation de la probabilité de fausse alarme entraîne une augmentation de la probabilité de détection.

Il est important de choisir l'algorithme approprié en fonction de l'environnement dans lequel la détection de GPS est effectuée. L'utilisation de l'OS-CFAR dans un environnement homogène garantira une détection précise avec un minimum de fausses alarmes, tandis que le CMLD-CFAR sera plus adapté pour traiter les perturbations et les interférences présentes dans un environnement non homogène.

En conclusion, l'optimisation de la détection de GPS implique de choisir judicieusement l'algorithme de détection en fonction des caractéristiques de l'environnement, en utilisant l'OS-CFAR pour un environnement homogène et le CMLD-CFAR pour un environnement non homogène. Cela permettra d'améliorer la fiabilité et la précision de la détection des signaux GPS, quelque soient les conditions environnementales rencontrées.

Conclusion générale

Nous espérons à l'avenir de pouvoir faciliter la détection en présence des interférences importantes, en choisissant automatiquement une valeur de k à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle.

Références

- [1] Groves, Paul D. "Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems, [Book review]." *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 30.2 (2015): 26-27.
- [2] Progni, Ilir F., et al. "Indoor adaptive GNSS signal acquisition. Part 1: theory and simulations." *J. Geol. Geoinfo. Geointel 2016* (2016): 1-19.
- [3] Ziedan, Nesreen I. "GNSS receivers for weak signals. Artech House." Inc., Norwood, MA (2006).
- [4] Jin, Shuanggen, ed. *Global navigation satellite systems: signal, theory and applications*. BoD—Books on Demand, 2012.
- [5] Elbert, Bruce R. *Introduction to satellite communication*. Artech house, 2008.
- [6] Hofmann-Wellenhof, Bernhard, Herbert Lichtenegger, and Elmar Wasle. *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [7] Dawoud, Safaa. "GNSS principles and comparison." Potsdam University (2012).
- [8] Håkansson, Martin, et al. "Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning." *GPS Solutions* 21 (2017): 849-860.
- [9] Won, Jong-Hoon, Thomas Pany, and GünTeR W. HeiN. "GNSS software defined radio." *Inside GNSS* 1.5 (2006): 48-56.
- [10] Bhasin, Kul. *Satellite Networks: Architectures, Applications, and Technologies*. No. E-11274. 1998.
- [11] Benachenhou, Kamel, MhamedHamadouche, and AbdelmalikTaleb- Ahmed. "New formulation of GNSS acquisition with CFAR detection." *International Journal of Satellite Communications and Networking* 35.3 (2017): 215-230.
- [12] Benachenhou, Kamel, AbdelmalikTaleb-Ahmed, and MhamedHamadouche. "Performances evaluation of GNSS ALTB OC acquisition with CFAR detection in Rayleigh fading channel." *2013 Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference*. IEEE, 2013.

Références

- [13] Sabra, Benkrinah, Barkat Mourad, and Benslama Malek. "An Adaptive Hybrid double-dwell PN Code Acquisition in Rayleigh Fading Channels Using OS-CFAR algorithm." International conference on electronics & Oil: From Theory to Applications (ICEO'11). 2011.
- [14] Bouteldja, M. A., M. Baadeche, and F. Soltani. "Optimization of Distributed OS-CFAR and CMLD-CFAR Detectors using Differential Evolution Algorithm." Arabian Journal for Science and Engineering (2022): 1-11.