

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique et d'Informatique
Département de Télécommunications



Mémoire de Fin d'Etudes de
MASTER ACADEMIQUE

Réseaux & Télécommunications

Par
Ryma CHABI
Thileli TOUATI

Thème

L'effet de la topologie des satellites sur
l'acquisition des signaux

Devant le jury :

Président : Mr. Mohammed Chamse Eddine OUADAH MCA

Promoteur : Mr. Salem TITOUNI MCB

Examineurs : Mme. Nora ZIANI MCB

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donnés la santé, la patience, et le courage pour mener à ce modeste travail,

Je tiens à remercier monsieur OUADAH Mohammed Chamse Eddine Professeur à l'université de l'UMMTO pour avoir accepté de présider notre jury.

Madame ZIANI Nora Professeur à l'université de l'UMMTO, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant d'être examinatrice de notre thèse.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadrant Mr TITOUNI Salem, professeur à l'université de l'UMMTO, pour m'avoir accueilli au sein de son équipe et pour avoir dirigé ce travail de thèse avec autant de dévouement. Je le remercie très sincèrement pour la qualité de ses conseils, sa disponibilité, sa patience et son aide tout au long de ma thèse.

Je tiens à remercier particulièrement tout le personnel de département de télécommunication que pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants et les responsables de notre département, qui ont veillé sur notre formation,

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à ma famille et à mes amies pour leur soutien inconditionnel tout au long de la réalisation du mémoire,

Enfin, nous exprimons notre remerciement à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace 1

Je dédie ce travail à mes chers parents, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en quitterai jamais assez.

A ma chère sœur, Sarah.

A mon cher frère, Abdou.

A ma meilleure amie, Iméne .

A ma binôme Thileli.

A mes proches et tous les gens qui m'aiment.

Ryma C.

Dédicace2

À mes chers parents,

Pour votre amour, votre soutien éternel et votre encouragement tout au long de ce parcours. Vos sacrifices et votre dévouement ont été ma lumière dans les moments sombres. Ce mémoire est le fruit de vos valeurs inculquées et de votre foi inébranlable en moi.

À mon encadreur,

Pour votre patience, vos conseils avisés et votre inspiration constante. Votre expertise et votre bienveillance m'ont guidé à travers les défis académiques et professionnels, me permettant de grandir et d'atteindre de nouveaux sommets.

À mes amis et à ma famille,

Pour votre compréhension, votre encouragement et votre amour inconditionnel. Vos encouragements et votre soutien moral ont été essentiels pour maintenir ma motivation et ma détermination jusqu'à la réalisation de ce mémoire.

À toutes les personnes qui ont croisé mon chemin,

Pour les leçons apprises, les échanges enrichissants et les moments partagés. Chacune de vos contributions a façonné mon parcours et a enrichi mes réflexions.

Merci à vous tous pour avoir été les piliers de mon succès.

Thileli T.

Sommaire

<i>Remerciements</i>	<i>t</i>
<i>Dédicace 1</i>	<i>t</i>
<i>Dédicace 2</i>	<i>t</i>
<i>Liste des tables</i>	<i>t</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>t</i>
<i>LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES :</i>	<i>t</i>
<i>Résumé</i>	<i>t</i>
<i>Abstract</i>	<i>t</i>
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	<i>2</i>
<i>CHAPITRE 1 : Multi-constellation des Systèmes</i>	
<i>GNSS et acquisition classique</i>	<i>3</i>
<i>1 Introduction</i>	<i>4</i>
<i>2 Présentation des systèmes GNSS</i>	<i>4</i>
<i>3 Architecture du système GNSS</i>	<i>4</i>
<i>3.1 Segment spatial (Constellation GNSS)</i>	<i>5</i>
<i>3.2 Segment de contrôle</i>	<i>6</i>
<i>3.3 Le segment utilisateur</i>	<i>6</i>
<i>4 Acquisition du signal GNSS</i>	<i>6</i>
<i>4.1 Principe de l'acquisition</i>	<i>7</i>
<i>5 Techniques d'acquisition des signaux GNSS</i>	<i>8</i>
<i>5.1 Acquisition par recherche en série</i>	<i>8</i>
<i>5.2 Décalage temporel et fréquentiel</i>	<i>9</i>
<i>5.3 Acquisition par recherche en parallèle</i>	<i>10</i>
<i>6 Acquisition classique des Nouveaux signaux GNSS</i>	<i>12</i>
<i>7 Conclusion</i>	<i>14</i>
<i>CHAPITRE 2 : Nouvelle structure d'acquisition des</i>	
<i>signaux GNSS</i>	<i>15</i>
<i>1 L'introduction</i>	<i>16</i>
<i>2 Nouvelle Structure D'acquisition A Base D'algorithme FFT</i>	<i>16</i>
<i>2.1 Longueur FFT</i>	<i>16</i>

3	<i>Algorithme FFT Radix-2</i>	17
4	<i>Algorithme FFT Radix-3</i> :	19
5	<i>Algorithme FFT Radix-4</i> :	20
6	<i>Algorithme FFT radix-5</i> :	21
7	<i>Nouvelle solution d'acquisition</i> :	23
7.1	<i>Algorithme de Jérôme leclère</i> :	23
7.2	<i>Utilisation avec le FFT radix-2</i> :	24
8	<i>Acquisition avec la méthode de double block zéro-padding(DBZP)</i>	26
9	<i>Conclusion</i> :	27
CHAPITRE 3 : Résultats et discussion		28
1	<i>Introduction</i> :	29
2	<i>Les topologies des satellites</i> :	29
2.1.	<i>GPS topologie</i> :	29
2.2.	<i>GALILEO topologies</i>	30
2.3.	<i>GLONASS topologie</i>	31
2.4.	<i>BEIDOU topologie</i>	32
3.	<i>L'effet de la topologie des satellites</i> :	33
4.	<i>Combinaison des constellations</i> :	37
4.1.	<i>Combinaison GPS /GALILEO</i> :	38
4.2.	<i>Combinaison GPS/GALILEO/GLONASS/BEIDOU</i> :	38
4.3.	<i>L'effet du facteur de puissance des satellites</i> :	39
5	<i>Conclusion</i> :	41
CONCLUSION GENERAL		42
<i>Références bibliographique</i>		45.

Liste des tables

<i>Tableau 1. Les différents paramètres des constellations GNSS. [16]</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 2. Propriétés des signaux GPS L5 et Galileo E5a, E5b et E1. [31]</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 3. Longueur de corrélation possible (N) et longueur FFT radix-2 (L) de l'algorithme proposé avec deux sous-corrélations pour l'impairs. L'algorithme proposé avec deux sous-corrélations pour l'impairs. [44].....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 4. Radix-2 Longueur FFT pour les algorithmes traditionnels et proposés avec deux sous-corrélations en fonction de la fréquence d'échantillonnage en considérant un code de 1 ms. Pour un code de 4 ms, multipliez la fréquence d'échantillonnage réelle par4. [44]</i>	<i>25</i>

Liste des figures

Figure 1	Structure d'un système de navigation par satellite .[21]	5
Figure 2	La constellation des satellites autour de la terre.[21]	5
Figure 3	Le principe de la recherche bidimensionnelle (le satellite est visible).[20]	8
Figure 4	Acquisition lorsque le satellite n'est pas visible (pas de détection).[20]	8
Figure 5	Schéma bloc de la recherche en série.[22]	9
Figure 6	La recherche série de code.[25]	9
Figure 7	Décalage fréquentiel & Temporel.[26]	10
Figure 8	Schéma bloc de la recherche parallèle sur le code par FFT .[27]	11
Figure 9	Technique de recherche par corrélation circulaire .[28]	12
Figure 10	Diagramme de l'opération Papillon radix-2.[42]	19
Figure 11	Diagramme de l'opéraion Papillon radix -4.[44]	20
Figure 12	Diagramme de l'opération Papillon radix -5.[44]	22
Figure 13	Double-Block zero-padding search acquisition. "Les cases noires sont pleines de zeros". [45]	27
Figure 14	Les différentes topologies du système GPS	30
Figure 15	Diverses topologies du système GALILEO	31
Figure 16	Les topologies suggérer du système GLONASS	32
Figure 17	Différentes topologies du système BEIDOU	33
Figure 18	L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système GPS	34
Figure 19	L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système GALILEO	35
Figure 20	L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système GLONASS	36
Figure 21	L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système BEIDOU	37
Figure 22	L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour la combinaison GPS/GALILEO	38
Figure 23	L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour la combinaison GPS, GALILEO, GLONASS et BEIDOU	39
Figure 24	L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour effet de puissance dans la topologie GPS	40
Figure 25	L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour effet de puissance dans la topologie GALILEO	40

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES :

BOC	<i>Binary offset carrier.</i>
BPSK	<i>Binary phase-shift keying</i>
CBOC	<i>Composite binary offset carrier</i>
CDMA	<i>Code division multiple access</i>
C/A	<i>Coarse/acquisition</i>
DBZP	<i>Double block zero-padding</i>
DFT	<i>Discret fourrier transform</i>
DIFFT	<i>Discret inverse fast fourier transforming</i>
Eq	<i>Equation</i>
FFT	<i>Fast fourier transform.</i>
GNSS	<i>Global navigation satellite systems.</i>
GPS	<i>Global navigation system</i>
IFFT	<i>Inverse fast fourier transform</i>
PSK	<i>phase-shift keying</i>
PRN	<i>Code de bruit pseudo-aléatoire</i>
PCS	<i>Parallel code search</i>
PCPS	<i>Parallel code-phase search</i>
SNR	<i>Rapport signal sur bruit</i>

Résumé :

Ce mémoire étudie en détail le fonctionnement et les performances des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS), qui fournissent des données de localisation, de navigation et de synchronisation pour de nombreuses applications. Il présente les différentes constellations de satellites qui composent ces systèmes, telles que GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU. Une partie importante du mémoire est consacrée à l'analyse des algorithmes utilisés pour évaluer les performances des systèmes GNSS multi-constellations. Différentes méthodes d'acquisition sont examinées, notamment les techniques traditionnelles et les nouvelles structures d'acquisitions basées sur l'algorithme FFT. Ces algorithmes permettent de détecter et de synchroniser les signaux émis par les satellites pour calculer la position du récepteur. L'étude compare l'efficacité et la robustesse de ces différentes méthodes dans un environnement multi-constellations, en tenant compte des interférences et des obstacles. L'étude met en évidence l'importance de la configuration des satellites pour obtenir un positionnement précis et fiable. La topologie des constellations de satellites et leurs puissances sont analysées en détail pour chaque système GNSS. Les résultats obtenus après avoir simulé des programmes sous Matlab montrent que la répartition spatiale des satellites et la combinaison de ces systèmes ont un impact direct sur la précision du positionnement, la couverture géographique et la fiabilité des services de navigation.

Mot clés : GNSS, Multi-constellation, Acquisition, topologies des satellites.

Abstract:

This study in detail the operation and performance of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), which provide location, navigation and synchronization data for many applications. It presents the different constellations of satellites that make up these systems, such as GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU. An important part of this is devoted to the analysis of the algorithms used to evaluate the performance of multi-constellation GNSS systems. Different acquisition methods are examined, including traditional techniques and new acquisition structures based on the FFT algorithm. These algorithms make it possible to detect and synchronize the signals emitted by the satellites to calculate the position of the receiver. The study compares the effectiveness and robustness of these different methods in a multi-constellation environment, taking into account interferences and obstacles. The study highlights the importance of satellite configuration to achieve accurate and reliable positioning. The topology of the satellite constellations and their powers are analysed in detail for each GNSS system. The results obtained after simulating programs in Matlab show that the spatial distribution of satellites and the combination of these systems have a direct impact on positioning accuracy, geographic coverage, and reliability of navigation services.

Keywords : GNSS, Multi-constellation, Acquisition, satellite topologies.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les systèmes GNSS, acronyme de Global Navigation Satellite System, est une infrastructure sophistiquée à l'échelle planétaire [1], composée d'une constellation de satellites orbitaux destinée à fournir des données de localisation, de navigation et de synchronisation temporelle à une variété d'applications terrestres, aériennes et maritimes [2]. Cette infrastructure est composée de nombreuses constellations satellitaires [3], parmi lesquelles émergent des piliers tels que le GPS (Global Positioning System) des États-Unis, GLONASS de la Fédération de Russie, Galileo de l'Union européenne et Beidou de la République populaire de Chine [4].

Chaque système GNSS est composé d'une constellation de satellites situé stratégiquement en orbite terrestre [5], ce qui permet une couverture globale et une continuité de service ininterrompue [6]. Les récepteurs GNSS déterminent leur position avec une grande précision en se basant sur la technique de triangulation [5] et [6].

La configuration géométrique des satellites, appelée topologie est un facteur clé pour obtenir un positionnement précis et fiable dans un système GNSS [7]. Une bonne topologie, avec une répartition optimale des satellites dans le ciel [8], présente plusieurs avantages tels que l'amélioration de la précision du positionnement [7] en réduisant les erreurs au niveau du récepteur [9], elle assure une couverture uniforme sur toute la surface terrestre et elle accroît la fiabilité du système de navigation par satellites [10].

Le but de notre étude est d'analyser en profondeur les caractéristiques des systèmes GNSS [11] ainsi que d'examiner de manière approfondie l'acquisition traditionnelle de ces signaux [12]. De plus, nous nous pencherons sur l'étude des nouvelles structures d'acquisition en mettant en œuvre l'algorithme FFT [13]. L'objectif principal est d'évaluer comment la topologie, la combinaison de satellites issus de différents systèmes GNSS, et leur puissance respective influent sur le calcul de positionnement. Nous procéderons à une comparaison des résultats afin de tirer des conclusions éclairantes.

Le document est organisé en trois parties :

- La première porte sur une introduction à la navigation par satellite par des Multi-constellation des systèmes GNSS [5] et acquisition classique [12].
- La deuxième partie présente les algorithmes d'acquisition performants pour les systèmes Multi-constellation [13] qui traite en détail les différents algorithmes et mécanismes mis en œuvre pour optimiser la réception en présence de signaux faibles puissances [14].
- Le troisième chapitre est axé sur l'effet de la topologie des satellites pour chaque système de positionnement (GPS, GALILEO, GLONASS et BEIDOU), la combinaison des constellations ainsi que l'effet du facteur de puissance des satellites. Les simulations ont été effectuées en utilisant Matlab. Nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE 1 :

Multi-constellation des Systèmes GNSS et acquisition classique

Plan de travail :

1. Introduction
2. Présentation du système GNSS
3. Architecture du système GNSS
 - 3.1. Segment spatial (constellation GNSS)
 - 3.2. Segment de control
 - 3.3. Segment d'utilisateur
4. Acquisition du signal GNSS
 - 4.1. Principe de l'acquisition
5. Techniques d'acquisition des signaux GNSS
 - 5.1. Acquisition par recherche en série
 - 5.2. Décalage temporel et fréquentiel
 - 5.3. Acquisition par recherche en parallèle
6. Acquisition classique des nouveaux signaux GNSS
7. Conclusion

1 Introduction

La navigation par satellites est devenue un outil essentiel utilisé quotidiennement dans de nombreux secteurs comme le transport, la navigation aérienne et maritime, l'agriculture, la défense, et l'ingénierie.

Les systèmes de navigation offrent des services de positionnement disponibles en permanence dans le monde entier pour un nombre illimité d'utilisateurs.

Ce chapitre donne une description des systèmes de positionnement ainsi que le principe de fonctionnement de la navigation par satellites GNSS. Il se termine par la présentation des signaux GNSS nouvelle génération et les méthodes d'acquisition code-porteuse classiques.

2 Présentation des systèmes GNSS

On définit par "GNSS" l'ensemble des systèmes de positionnement par satellites offrant la possibilité à un récepteur de déterminer, à n'importe quel moment et à n'importe quel endroit, sa position en trois dimensions sur l'ensemble de la Terre [15]. Le système le plus connu est le système américain GPS qui est actuellement le système le plus utilisé [16]. Depuis les années 2000, l'Europe développe son propre système de positionnement, appelé Galileo. Il y'a aussi GLONASS qui est un système russe de positionnement conçu par le ministère de la défense russe au milieu des années 1970 et fut déclaré opérationnel en 1993 [17].

Le déploiement des nouveaux systèmes de navigation a suscité l'obligation de maitre en pratique une intra réaction entre ces différents systèmes [18]. Ceci exige le développement d'une nouvelle génération de récepteurs hybrides qui combine les informations de la navigation reçu à partir de différentes constellations [19].

3 Architecture du système GNSS

L'architecture du système GNSS représente l'un des éléments principaux contribuant à assurer à l'utilisateur la détermination de sa position, de sa vitesse et du temps à n'importe quel moment et quel que soit sa position, tout en garantissant ainsi un certain niveau de performance [20]. Comme illustré dans la figure 1, les systèmes de navigation par satellites peuvent se décomposer en trois segments fondamentaux : le segment spatial, le segment de contrôle, et le segment utilisateur [21].

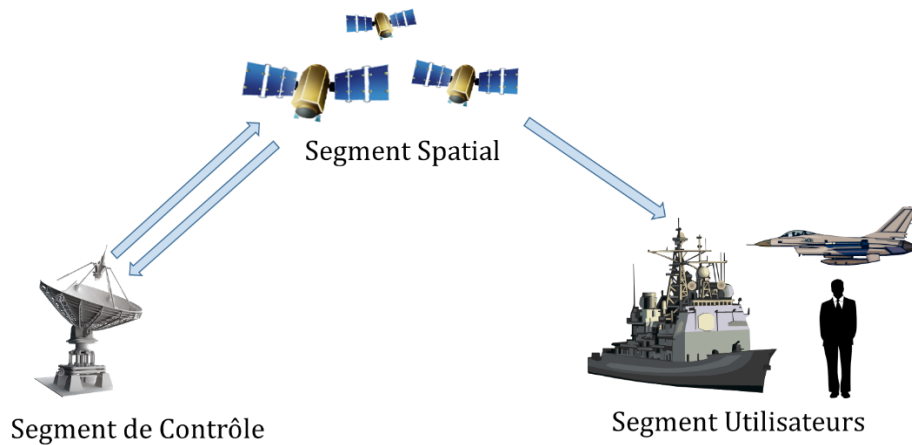


Figure 1 Structure d'un système de navigation par satellite. [21]

3.1 Segment spatial (Constellation GNSS)

Le segment spatial est le cœur du système GNSS. Il est composé d'un ensemble de satellites appelé constellation tel que présenté dans la figure 2 [16]. Nous nous attendons à toute une famille de systèmes GNSS qui peuvent être constitués d'environ 120 satellites en 2020 et diverses structures de signal sur une large plage de fréquences pour améliorer la couverture spatiale à presque tout endroit géographique [16].

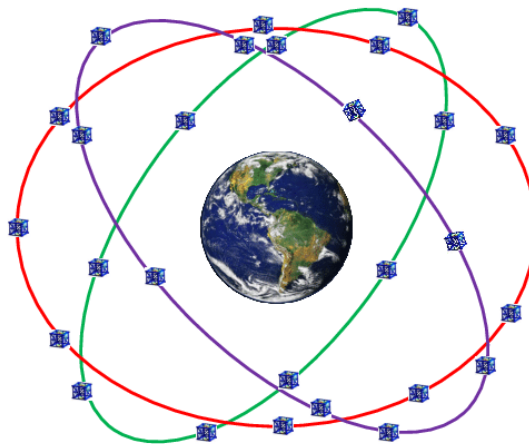


Figure 2 La constellation des satellites autour de la terre. [21]

Lorsque tous les systèmes GNSS seront opérationnels, on aura une augmentation de satellites visibles à chaque instant ce qui implique une augmentation de la disponibilité et la précision de positionnement [16]. Donc Un nombre plus important de satellites offre de meilleures performances, en particulier dans les zones urbaines, où certains satellites peuvent être masqués

par des immeubles ce qui se traduit par une dégradation du signal. Tableau 1, présente les différents paramètres des constellations GNSS.

Tableau 1. Les différents paramètres des constellations GNSS. [16]

	GPS	Galileo	GLONASS	COMPASS
Nombre de satellites	32	30	31	35
Plans orbitaux	6	3	3	3
Inclination (°)	55	56	64,9	55
Altitude (Km)	20200	23222	19100	21528
Période	11h58m	11h15m	14h05m	12h35m
Temps de système	GPST	GST	UTC(SU)	BDT

3.2 Segment de contrôle

Le segment de control est l'infrastructure au sol du système GNSS qui a pour fonctions principales de contrôler les satellites au cours de leur durée de vie, de maintenir leurs positions dans les orbites, de surveiller l'état de santé de ces satellites, ainsi que l'état de leurs panneaux solaires et le niveau des batteries [17].

3.3 Le segment utilisateur

Le secteur des utilisateurs inclut toutes les personnes se servant d'un récepteur GNSS. Les applications les plus courantes au sein du secteur utilisateur sont la localisation de véhicule, la topographie, la navigation maritime et la navigation aérienne [17].

4 Acquisition du signal GNSS

L'étape de l'acquisition est une étape primordiale pour la navigation, elle permet de chercher et de détecter les satellites visibles et les signaux des satellites présents en évaluant leur fréquence Doppler et leur décalage sur le code [18]. Pour cela, chaque couple de valeurs possibles de la fréquence Doppler et du décalage de code doit être testé ; on forme ainsi toutes les combinaisons possibles pour générer la matrice de corrélation permettant la recherche sur les deux axes (temps, fréquence) [18]. Le module d'acquisition détermine en fin de compte la

présence d'un maximum de corrélation. Ces informations serviront par la suite d'initialisation pour le processus de poursuite [18] et [19].

4.1 Principe de l'acquisition

L'acquisition du signal au niveau du récepteur est réalisée par la corrélation entre le signal reçu et une réplique locale affectée par un délai et un Doppler. Le récepteur doit ainsi réaliser les tâches suivantes [20] :

➤ Détecter la présence d'un satellite dans l'ensemble des signaux captés par l'antenne du récepteur.

➤ À déterminer, quand le satellite est présent (détecté), le retard du code et le décalage de la fréquence porteuse. On peut modéliser le signal à la réception comme suite :

$$s(t) = P_e C(t - \tau) e^{i2\pi(f_d + f_c)t} + n(t) \quad (1)$$

Où τ et f_d sont respectivement le décalage du code et la fréquence Doppler, est la fréquence de porteuse, et $n(t)$ un bruit blanc gaussien additif.

Le récepteur doit créer une réplique de la forme :

$$R(t) = C(t - \tau_{est}) e^{2\pi(f_{dest} + f_c)t} \quad (2)$$

Avec τ_{est} et f_{dest} sont respectivement le décalage de code estimé et la fréquence Doppler estimée sur un espace de recherche temps/fréquence donné comme suit :

$$E = [\tau_{min}, \tau_{max}] \times [f_{min}, f_{max}] \quad (3)$$

Pour que le récepteur détecte les satellites, il fait un balayage sur l'espace E . Lorsque le récepteur teste les différents décalages de code et les différents décalages Doppler [20], on dit qu'il est en phase d'acquisition. Chaque possibilité de décalage du code et de décalage Doppler est appelée cellule et l'ensemble de ces cellules forme l'espace de recherche présenté dans les figures (6_7) [20].

Il existe deux scénarios. Dans le premier scénario, le récepteur détecte la présence de satellite comme montre la figure 3.

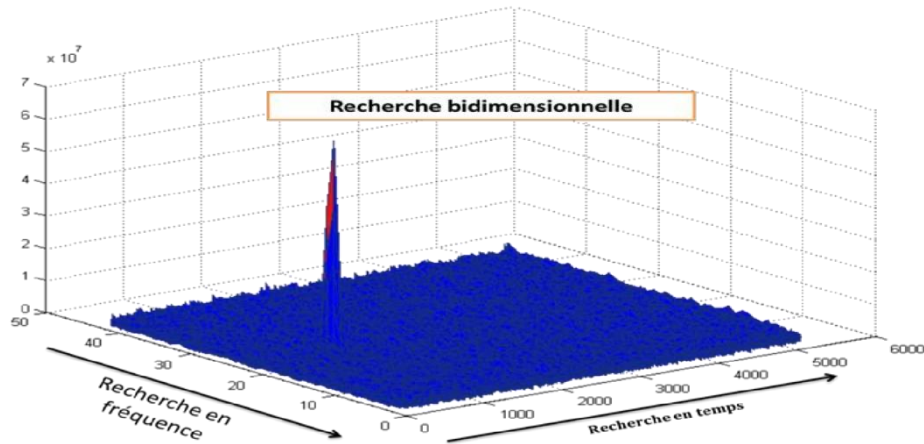


Figure 3 Le principe de la recherche bidimensionnelle (le satellite est visible). [20]

En contrepartie, comme l'illustre la figure 4 le deuxième scénario consiste en l'absence totale de satellites visibles.

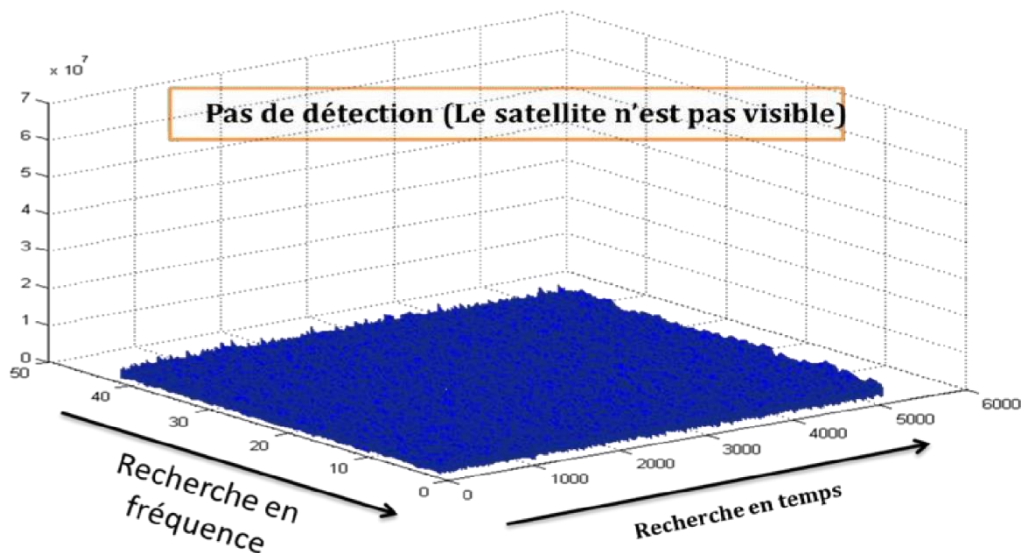


Figure 4 Acquisition lorsque le satellite n'est pas visible (pas de détection). [20]

5 Techniques d'acquisition des signaux GNSS

5.1 Acquisition par recherche en série

L'acquisition par recherche série est une méthode souvent utilisée pour l'acquisition dans les systèmes basés sur la CDMA [21].

Dans cette méthode le circuit d'acquisition essaie de changer progressivement la phase de la séquence du code local et de tester toutes les phases possibles une par une jusqu'à la détection d'un alignement avec le code reçu. Les décalages de code et de fréquence sont évalués en série jusqu'à ce que les valeurs correctes soient trouvées [20] et [22]. La figure 5, présente le schéma bloc de la recherche en série.

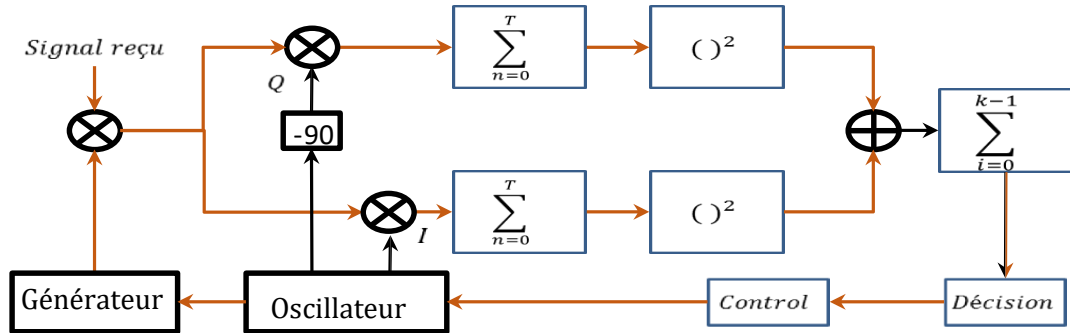


Figure 5 Schéma bloc de la recherche en série. [22]

L'inconvénient de cette méthode est le grand nombre d'opérations exécutées qui constitue un point faible pour l'algorithme et qui peut atteindre [23] :

$$N_{combinaison} = 1023 \left(\frac{20000}{500} + 1 \right) = 41943 \tag{4}$$

5.2 Décalage temporel et fréquentiel

La méthode de recherche série permet de faire la recherche à la fois sur toutes les phases de code pour un seul pas de fréquence [24]. L'entrée $x[n]$ est multipliée avec un code généré localement $C/A [n+m]$ où n est le n ème échantillon et m représente le nombre d'échantillons décalés par le code local C/A . Le décalage est fait avec un pas égal à une fraction ΔT_c de la durée T_c d'une bribe (Chip) du code. Le nombre de positions à tester K est donné par [18] :

$$k = \frac{T}{\Delta T_c} \tag{5}$$

La Figure 6, présente le mécanisme de la recherche série de code.

Dans l'acquisition numérique, le décalage se fait avec un échantillon par opération. Pour une

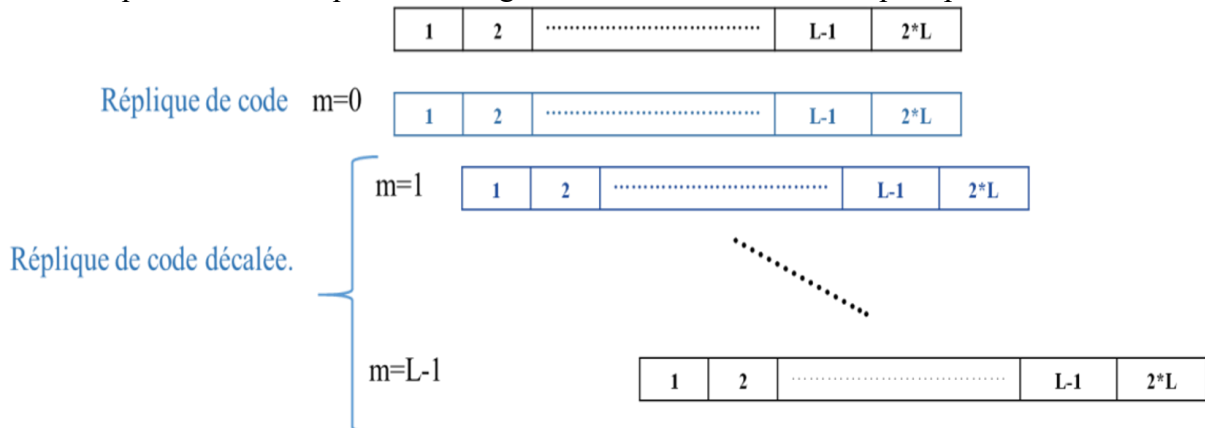


Figure 6 La recherche série de code.[25]

fréquence d'échantillonnage de 5MHz, un échantillon correspond approximativement à $T_c/5$, ce qui implique que 5000 phases du code vont être testées [25]. Par conséquent, 10000 échantillons du signal reçu sont corrélés par glissement de la réplique du code local sur 10000 échantillons [26].

La figure 7, illustre le principe de balayage temps-fréquence

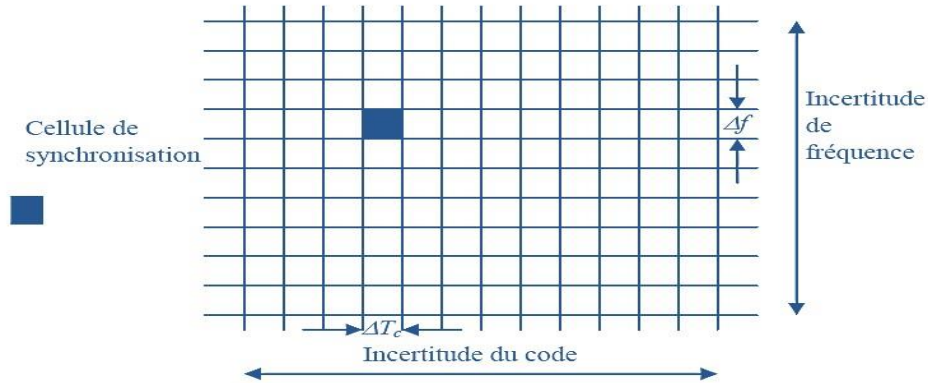


Figure 7 Décalage fréquentiel & Temporel. [26]

Cette figure présente les incertitudes sur le décalage temporel et sur le décalage Doppler par respectivement des cellules d'une largeur ΔT_c et d'une hauteur Δf . En effet, le processus d'acquisition consiste en la recherche de la bonne cellule qui donne une corrélation maximale [27].

5.3 Acquisition par recherche en parallèle

La méthode de recherche parallèle sur la phase de code (PCPS) est la méthode la plus efficace pour effectuer l'acquisition, car grâce à l'utilisation de la FFT, la corrélation est calculée pour toutes les phases du code et en même temps [27]. L'idée de cette méthode est que la corrélation dans le domaine temporel se traduit par une multiplication dans le domaine spectral [26].

$$Y(t) = x(t) * h(t) \quad \text{Domaine temporel} \quad (6)$$

$$Y(F) = F^{-1}\{X(F)H(F)\} \quad \text{Domaine fréquentiel} \quad (7)$$

La figure 8, montre le schéma de principe du procédé PCPS.

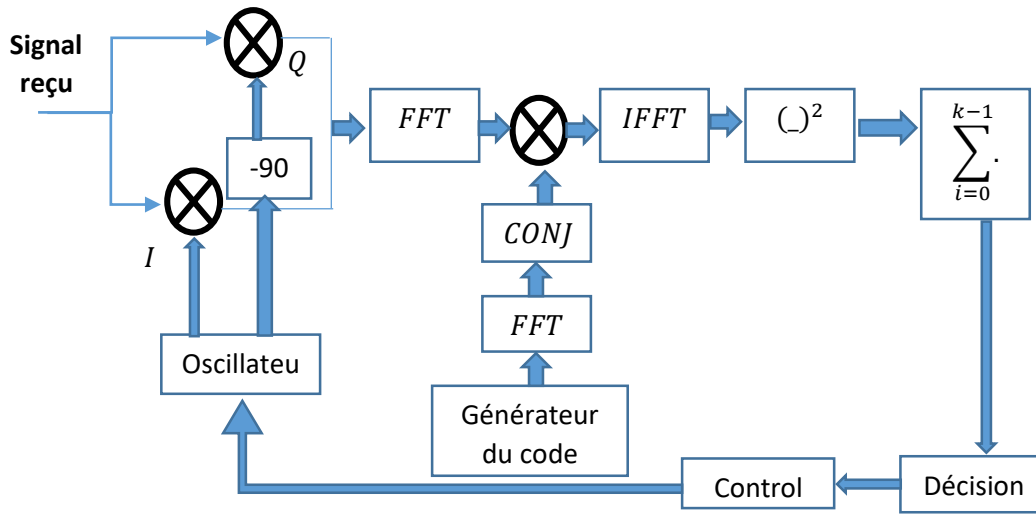


Figure 8 Schéma bloc de la recherche parallèle sur le code par FFT .[27]

La méthode de recherche parallèle, grâce aux optimisations de la FFT, permet d'économiser un grand nombre d'opérations offrant ainsi un gain très important du temps de recherche [28]. En contrepartie, le nombre de ressources matériels devient très excessif pour des codes longs.

On peut modéliser cette technique d'acquisition comme suit :

$$R = FFT^{-1}(FFT (C_R). FFT * (C_l)) \tag{8}$$

Où : C_R est Le code reçu et C est le code généré localement.

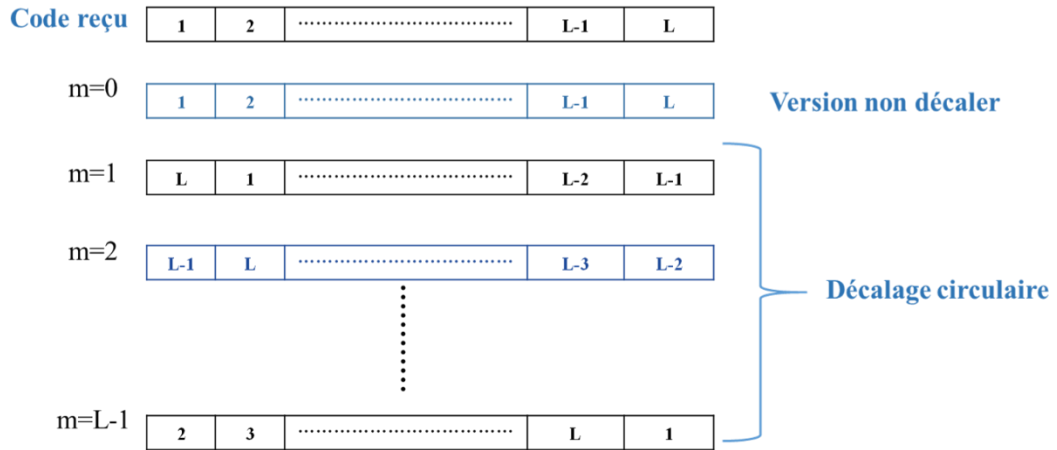


Figure 9 Technique de recherche par corrélation circulaire. [28]

6 Acquisition classique des Nouveaux signaux GNSS

Les signaux L5 GPS, E5a et E5b Galileo se composent chacun de deux composantes en quadrature (modulation PSK en quadrature). La 1^{ère} composante contient les codes PRN et les données (canal I) et l'autre qui contient uniquement les codes PRN (canal Q) [29] et [30]. Le signal reçu d'un satellite peut être modélisé comme suit :

$$s(t) = \sqrt{P}c_{cpi}(t - \tau)c_{si}(t - \tau)d(t - \tau) \cos(2\pi(f_L + f_d)t + \varphi_r) + \sqrt{P}c_{cpq}(t - \tau)c_{sq}(t - \tau) \sin(2\pi(f_L + f_d)t + \varphi_r) \tag{9}$$

Où

P = la puissance totale reçue en Watt

c_{cpi}, c_{cpq} = les codes primaires pour les canaux I et Q,

c_{si}, c_{sq} = sont les codes secondaires pour les canaux I et Q,

d = les données

τ = le retard de propagation en seconde

f_L = la fréquence porteuse dans la bande L en hertz

f_d = la fréquence Doppler en hertz

φ_r = la phase en radian

t = est le temps en seconde.

Après le passage dans l'étage radiofréquence, qui convertit le signal en une fréquence intermédiaire et le numérise, le signal est le suivant :

$$s(t) = \sqrt{P}c_{cpi} [n - \tau/T_s]c_{si}[n - \tau/T_s]d[n - \tau/T_s] \cos(2\pi(f_\pi n + \varphi)t + \varphi_r) + \sqrt{P}c_{cpq} [n - \tau/T_s]c_{sq}[n - \tau/T_s] \sin(2\pi(f_\pi n + \varphi)t + \varphi_r) \tag{10}$$

Où :

T_s = la période d'échantillonnage en secondes

$F_r = (f_{if} + f_{offset} + f_d) T_s$ = la fréquence de réception normalisée

f_{if} = la fréquence intermédiaire

f_{offset}, f_d sont respectivement le décalage dû à l'offset de l'oscillateur local et la fréquence Doppler,

ϕ = une phase en radian

Le signal Galileo E1 est légèrement plus complexe parce qu'il comprend deux sous-porteuses, ce qui fait que la modulation devient une modulation CBOC (6.1,1/11) [31]. Cependant, le signal E1 peut aussi être traité comme un signal BOC (1,1) [13] ou un signal BPSK [32] pour réduire la complexité du récepteur.

Les propriétés de ces signaux sont résumées dans le Tableau suivant :

Tableau 2. Propriétés des signaux GPS L5 et Galileo E5a, E5b et E1. [31]

Signal	GPS L5		Galileo E5a		Galileo E5b		Galileo E1	
	I	Q	I	Q	I	Q	I	Q
Fréquence de porteuse (MHZ)	1176.45		1176.45		1207.14		1575.42	
Code primaire (Mchip/s)	10.23		10.23		10.23		10.23	
Longueur du code primaire	10230		10230		10230		4092	
Code secondaire (Mchip/s)	1000		1000		1000		250	
Longueur du code secondaire	10	20	20	100	4	100	X	25
Débit de données	100	x	X	250	X	250	X	X

On peut voir d'après ce tableau, que les longueurs des codes primaires sont identiques pour les signaux L5, E5a et E5b, c'est pourquoi ils sont équivalents du point de vue du problème d'acquisition discuté dans ce qui suit.

Comme nous l'avons vu plus haut, le processus d'acquisition consiste en trois étapes

- 1) Multiplication avec un complexe exponentiel de la même fréquence que la fréquence Doppler [31];
- 2) Multiplication par le code primaire du satellite recherché avec la même phase que le code entrant ;
- 3) Accumulation sur une ou plusieurs périodes de code, pour augmenter le rapport signal/bruit (SNR). Puisque F_d et τ ne sont pas connus, des possibilités différentes doivent être testées

jusqu'à ce que le signal soit détecté. Pour le signal E1 traité comme BOC (1,1), la réplique locale contient le code et la sous-porteuse, le reste est identique [32].

Pour un utilisateur statique, la fréquence Doppler se situe entre $\pm 4,2 \text{ kHz}$ pour le signal GPS L1 C/A [33]. En faisant un ajustement pour la fréquence porteuse (le Doppler étant proportionnel à celle-ci) et la constellation (les satellites Galileo sont plus lents car ils ont une altitude plus élevée que les satellites GPS), la fréquence Doppler est d'environ $\pm 3,1 \text{ kHz}$ pour le signal L5, $\pm 2,7 \text{ kHz}$ pour les signaux E5a et E5b, et $\pm 3,6 \text{ kHz}$ pour le signal E1. Le décalage à cause de l'oscillateur local est généralement compris entre 0 et quelques kHz [33]. Le pas entre deux fréquences à tester dépend du temps d'intégration utilisé. Deux règles empiriques peuvent être trouvées dans la littérature, $1/(2T)$ et $2/(3T)$, où T est le temps d'intégration en seconde, qui fournit une perte maximale de $0,91 \text{ dB}$ et $1,65 \text{ dB}$, respectivement [33]. En ce qui concerne les codes primaires, la plage est leur longueur, par exemple 10230 chips pour les signaux L5, E5a et E5a. E5b, et l'étape habituelle entre deux phases testées est $1/2 \text{ chip}$ pour une modulation BPSK et $1/6 \text{ chip}$ pour une modulation BOC (1,1), ce qui donne une perte maximale et moyenne de $2,50 \text{ dB}$ et $1,16 \text{ dB}$, respectivement [34].

Par exemple, avec le signal GPS L5, en utilisant un temps d'intégration de 1ms (qui correspond à une période de code primaire) et un pas de fréquence de 500 Hz , il y a 265980 possibilités. $\left(\left\lceil \frac{2 \times 3100}{500} \right\rceil \times \frac{10230}{1/2}\right)$ À tester [31]. De plus, Ce processus est répété pour chaque satellite recherché (environ 30 par constellation). Cela montre la complexité de l'acquisition et motive l'utilisation de méthodes d'acquisition rapide, comme la recherche en phase code parallèle [35]

7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la Multi-constellation des systèmes GNSS et l'acquisition classique. Ce chapitre donne une vision sur le principe de fonctionnement de la navigation par satellites. Les systèmes GNSS sont composés de satellites en orbite autour de la terre fournissant une couverture quasi globale et qui émettent des signaux contenant diverses informations de navigation. Une étude détaillée de l'étape d'acquisition classique a été présentée conjointement avec une étude comparative entre les deux alternatives de recherche série et parallèle.

CHAPITRE 2 :

Nouvelle structure d'acquisition des signaux GNSS

Plan de travail :

1. Introduction
2. Nouvelle structure d'acquisition à base d'algorithme FFT
 - 2.1. Longueur FFT
3. Algorithme FFT radix-2
4. Algorithme FFT radix-3
5. Algorithme FFT radix-4
6. Algorithme FFT radix-5
7. Nouvelle solution d'acquisition
 - 7.1. Algorithme de Jérôme leclère
 - 7.2. Utilisation avec la FFT radix-2
8. Acquisition avec la méthode de double bloc zero-padding (DZBP)
9. Conclusion

1 L'introduction

Avec l'arrivée du nouveau système de navigation par satellite GNSS, tel que le système européen Galileo, le chinois Beidou et le GPS modernisé, de nouveaux signaux et de nouvelles modulations ont été conçus afin de garantir la coexistence et l'interopérabilité avec les systèmes existants, comme le système américain GPS, et exploiter entièrement les technologies actuellement disponibles. La présence des nouvelles modulations et le milieu de réception exigent l'adoption de techniques spéciales spécifiques pour l'acquisition et la poursuite de ces nouveaux signaux. Dans ce chapitre on présente les nouvelles méthodes d'acquisition répondant à ces exigences. En effet, comme ces dernières sont basées sur l'algorithme de recherche par FFT, nous présentons en premier lieu les différentes configurations FFT. Ensuite, nous exposons dans une deuxième partie, les techniques d'acquisition spécifiques à des réceptions dans des conditions les plus pénalisantes.

2 Nouvelle Structure D'acquisition A Base D'algorithme FFT

2.1 Longueur FFT

Il existe plusieurs algorithmes FFT, qui ont une complexité de $O(L \log L)$ au lieu de $O(L^2)$, L étant la longueur FFT. Cependant, ils ont des performances différentes selon la valeur de L . L'algorithme le plus courant est l'algorithme de Cooley-Tukey, qui exige que L soit un nombre composite [36]. Cet algorithme est plus efficace lorsque L a de petits facteurs premiers. La forme la plus simple et la plus courante de cet algorithme est le fameux FFT radix-2, dans lequel le seul facteur premier est deux, c'est-à-dire que L est une puissance de deux. Il y a aussi des algorithmes qui peuvent exécuter la FFT quand L est un nombre premier [36].

Dans le PCS, la FFT est effectuée sur une période du code primaire, la longueur de la FFT est donc $L = N = f_s \times T_p$, où f_s est la fréquence d'échantillonnage en hertz et T_p la longueur d'une période du code primaire en seconde (1 ms pour les signaux L5, E5a et E5b, et 4 ms pour le signal E1) [37]. Avec le PCS, le pas de code correspond à un échantillon, puisque le décalage minimum est d'un échantillon. Ainsi, pour avoir un pas de code de $\frac{1}{2}$ chip, la fréquence d'échantillonnage doit être le double du taux de chip du code ; la longueur FFT est alors le double du nombre de chips dans une période du code primaire, c'est-à-dire $f_s = 20,46$ MHz et $L = 20460$ pour les signaux L5, E5a et E5b, et $f_s = 2,046$ MHz et $L = 8184$ pour le signal E1 traité en BPSK [37]. Pour avoir un pas de code de $1/6$ chip, la fréquence d'échantillonnage doit être six fois supérieure au taux de chip du code, c'est-à-dire $f_s = 6,138$ MHz et $L = 24552$ pour le signal E1 avec la modulation BOC (1,1) [38]. Il est à noter que ces fréquences d'échantillonnage conviennent pour l'acquisition, mais pas pour le positionnement. En effet, il est bien connu que la fréquence d'échantillonnage ne doit pas être un multiple du taux de chip du code car une version décalée d'un code peut générer la même séquence, ce qui implique une mauvaise résolution de positionnement [39]. Compte tenu de ce qui précède, la valeur minimale pour L devrait être augmentée d'au moins un échantillon ce qui provoque la déformation de la forme de la fonction de

corrélation. Dans ce qui suit, nous allons présenter d'autres formes de la FFT permettant de lutter contre ce problème [39] [40].

3 Algorithme FFT Radix-2

Commençons tout d'abord par présenter l'algorithme le plus répandu, l'algorithme FFT radix-2 comme l'avait démontré Carl Friedrich Gauss en 1805 [41].

Soit la transformée de Fourier discrète, définie comme :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-2i\pi\frac{nk}{N}} \quad (11)$$

Nommons par commodité les coefficients trigonométriques de la façon suivante :

$$\omega_N = e^{-2i\frac{\pi}{N}} \quad (12)$$

L'équation de la transformée de Fourier discrète devient alors :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \omega_N^{nk} \quad (13)$$

L'algorithme FFT radix-2, quant à lui est construit autour de deux propriétés de ces Coefficients :

$$\omega_N^{2nk} = \omega_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (14)$$

$$\omega_N^{n(k+\frac{N}{2})} = (-1)^n \omega_N^{nk} \quad (15)$$

La première propriété met en évidence le lien entre les coefficients invoqués dans le calcul de la transformée de Fourier pour un signal de N échantillons avec ceux de la même transformée d'un signal de N/2 échantillons.

La deuxième propriété montre une certaine périodicité des coefficients de par leur nature trigonométrique.

Ainsi, dans le cas où N est un multiple de deux, si l'on réécrit la transformée de Fourier discrète en deux sommes indépendantes tout en distinguant les échantillons d'indice pair de ceux d'indice impair, nous obtenons :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)\omega_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)\omega_N^{(2n+1)k} \quad (16)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)\omega_N^{2nk} + \omega_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)\omega_N^{2nk} \quad (17)$$

En réinjectant la première propriété dans l'équation précédente, celle-ci devient :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)\omega_N^{\frac{nk}{2}} + \omega_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n)\omega_N^{\frac{nk}{2}} \quad (18)$$

Ainsi pour $k \in [0, N/2-1]$, le calcul d'une transformée de Fourier de N échantillons revient à calculer deux transformées de Fourier sur $N/2$ échantillons :

$$X(k) = DFT(x_{2n})(k) + \omega_N^k DFT(x_{2n+1})(k) \quad (19)$$

Concernant la deuxième moitié des calculs, c'est à dire pour $k \in [N/2, N-1]$, ceci revient à écrire l'équation toujours pour $k \in [0, N/2-1]$ de la façon suivante :

$$X\left(k + \frac{N}{2}\right) = DFT(x_{2n})\left(k + \frac{N}{2}\right) + \omega_N^{k+\frac{N}{2}} DFT(x_{2n+1})\left(k + \frac{N}{2}\right) \quad (20)$$

Le spectre d'un signal de N échantillons étant périodique de période N , et en appliquant la deuxième propriété énoncée concernant les coefficients, l' (devient:

$$X\left(k + \frac{N}{2}\right) = DFT(x_{2n})(k) - \omega_N^k DFT(x_{2n+1})(k) \quad (21)$$

Calculer une transformée de Fourier d'un tel signal revient à calculer deux transformées de Fourier sur deux signaux de $N/2$ échantillons [36].

$$X(k) = DFT(x_{2n})(k) + \omega_N^k DFT(x_{2n+1})(k) \quad (22)$$

$$X\left(k + \frac{N}{2}\right) = DFT(x_{2n})(k) - \omega_N^k DFT(x_{2n+1})(k) \quad (23)$$

De cette écriture, est tiré le diagramme du célèbre opérateur papillon de l'algorithme FFT radix-2 montré dans la Figure 10.

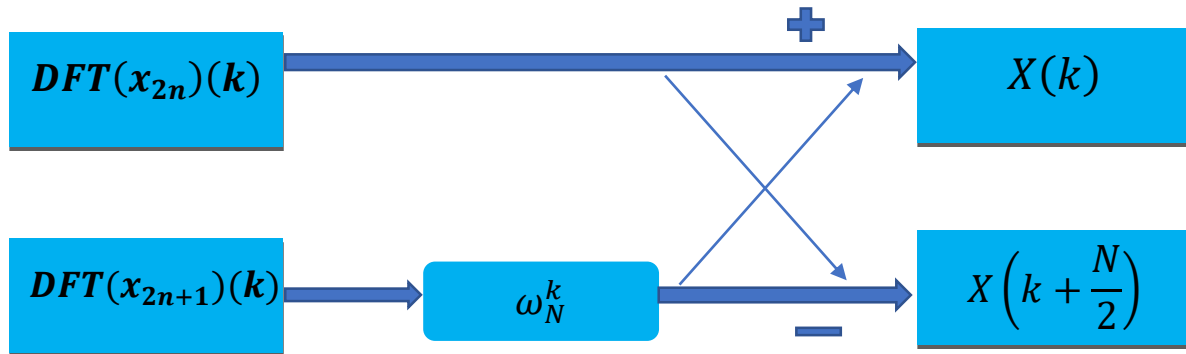


Figure 10 Diagramme de l'opération Papillon radix-2. [42]

L'intérêt de cette opération est de réduire le nombre d'opérations à effectuer pour le calcul de la transformée de Fourier. Cette propriété étant récursive, il en est de même pour les deux DFT de taille $N/2$ [41]. Ainsi, dans le cas où le nombre d'échantillons constituant le signal est égal à une puissance de deux, $N = 2^m$, cette propriété est applicable m fois jusqu'à obtenir des DFT sur 2 échantillons qui se traduisent par une addition complexe et une soustraction complexe. Les m étages des $N/2$ papillons sont alors à calculer, ce qui donne une complexité de calcul de :

- $m \cdot N/2 = \log_2(N) \cdot N/2$ multiplications complexes
- $m \cdot N = \log_2(N) \cdot N$ additions complexes

La multiplication complexe représente quatre multiplications flottantes et deux additions flottantes. L'addition complexe, quant à elle, représente deux additions flottantes. Ainsi cet algorithme diminue le nombre d'opérations flottantes à $5N \cdot \log_2(N)$, soit une complexité de calcul en $O(N \cdot \log_2(N))$ [42].

4 Algorithme FFT Radix-3

Il existe différentes factorisations possibles dans la répartition du calcul de la transformée de Fourier discrète. Cette décomposition donne alors la valeur du radix. Ainsi grâce aux propriétés des fonctions trigonométriques qui composent l'algorithme de la transformée de Fourier discrète, il est démontré que les trois radix les plus efficaces dans l'optimisation du calcul de la FFT sont les radix 2, 3 et 4 [43]. De la même manière que le radix 2, il est possible d'exprimer la transformée de Fourier comme étant le calcul de 3 ou 4 transformées de Fourier indépendantes suivant que le nombre d'échantillons constituant le signal soit multiple de 3 ou de 4.

Le Radix-3 DIF FFT peut être dérivé comme indiqué dans l'équation suivante [43]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\omega_N^{nk} \tag{24}$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n)\omega_N^{3nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n+1)\omega_N^{(3n+1)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n+2)\omega_N^{(3n+2)k} \tag{25}$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n)\omega_N^{3nk} + \omega_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n+1)\omega_N^{3nk} + \omega_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n+2)\omega_N^{3nk} \tag{26}$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n)\omega_{\frac{N}{3}}^{nk} + \omega_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n+1)\omega_{\frac{N}{3}}^{nk} + \omega_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{3}-1} x(3n+2)\omega_{\frac{N}{3}}^{nk} \tag{27}$$

$$X(k) = P(k) + \omega_N^k Q(k) + \omega_N^{2k} R(k) \tag{28}$$

Chacune des sommes P et Q et R dans l'équation est reconnue comme étant un facteur DFT N/3-points.

5 Algorithme FFT Radix-4

L'algorithme FFT radix-4 est une décomposition de l'algorithme de transformée de Fourier discrète en 4 transformées indépendantes de taille N/4. Ainsi le papillon caractéristique de cet algorithme se présente sous la forme (figure 11) [44] :

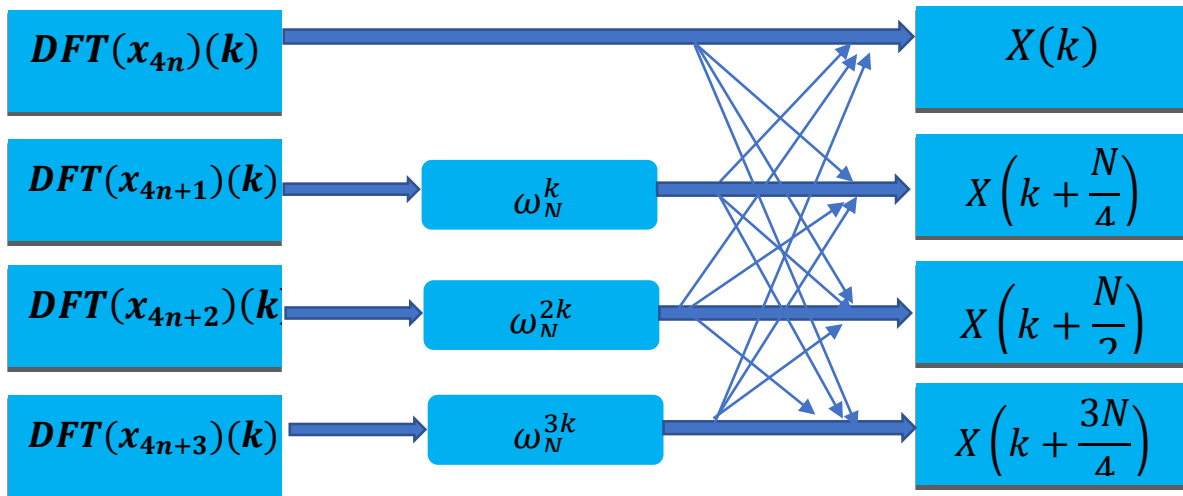


Figure 11 Diagramme de l'opération Papillon radix -4. [44]

Le Radix-4 DIF FFT peut être dérivé comme indiqué dans l'équation suivante [44]:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\omega_N^{nk} \quad (29)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n)\omega_N^{4nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+1)\omega_N^{(4n+1)k} \\ + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+2)\omega_N^{(4n+2)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+3)\omega_N^{(4n+3)k} \quad (30)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n)\omega_N^{4nk} + \omega_N^{nk} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+1)\omega_N^{4nk} \quad (31)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n)\omega_N^{\frac{nk}{4}} + \omega_N^{nk} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+1)\omega_N^{\frac{nk}{4}} \\ + \omega_N^{2nk} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+2)\omega_N^{\frac{nk}{4}} + \omega_N^{3nk} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+3)\omega_N^{\frac{nk}{4}} \quad (32)$$

$$X(k) = P(k) + \omega_N^k Q(k) + \omega_N^{2k} R(k) + \omega_N^{3k} S(k) \quad (33)$$

Chacune des sommes P(k), Q(k), R(k), R(k) et S(k) de cette équation est reconnue comme un DFT N/4 points. Bien que l'indice k varie sur N valeurs, k=0, 1, 2,... N-1, chacune des sommes ne peut être calculée que pour k=0,1,2,...N/4-1, puisqu'ils sont périodiques avec la période N/4 [44].

6 Algorithme FFT radix-5

L'algorithme FFT radix-5 est une décomposition de l'algorithme de transformée de Fourier discrète en 5 transformées indépendantes de taille N/4. Ainsi le papillon caractéristique de cet algorithme se présente sous la forme [44] :

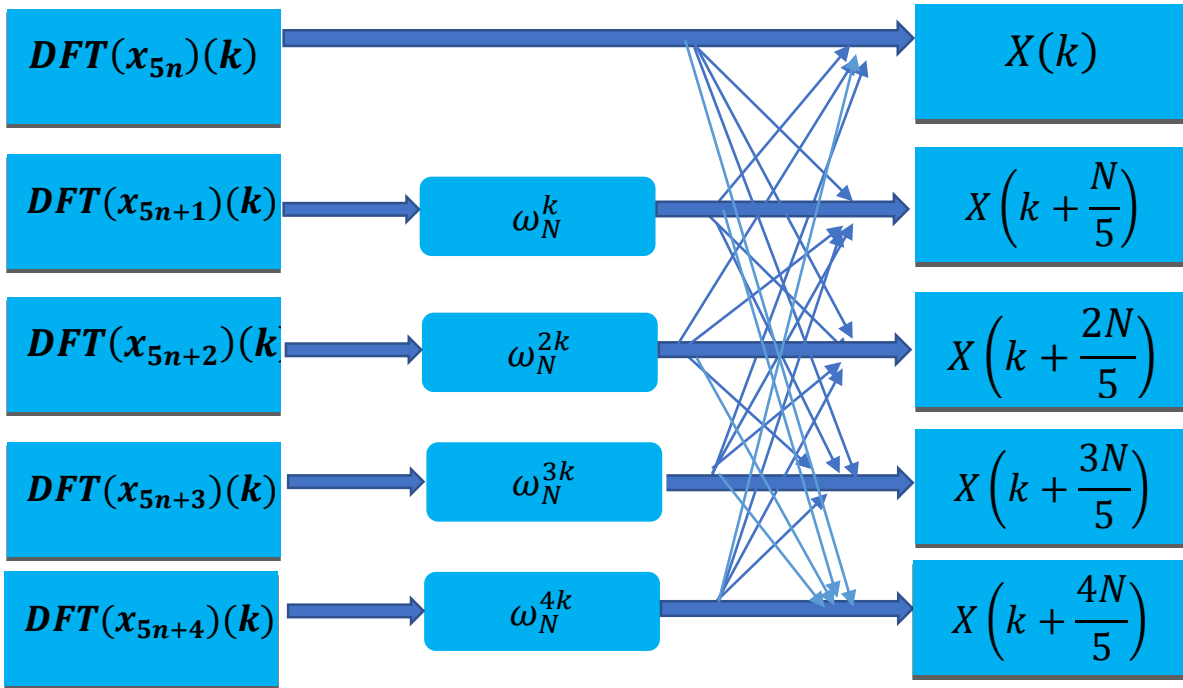


Figure 12 Diagramme de l'opération Papillon radix -5. [44]

Le Radix-5 DIF FFT peut être dérivé comme indiqué dans l'équation suivante :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)\omega_N^{nk} \quad (34)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n)\omega_N^{5nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+1)\omega_N^{(5n+1)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+2)\omega_N^{(5n+2)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+3)\omega_N^{(5n+3)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+4)\omega_N^{(5n+4)k} \quad (35)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n)\omega_N^{5nk} + \omega_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+1)\omega_N^{(5n)k} + \omega_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+2)\omega_N^{(5n)k} + \omega_N^{3k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+3)\omega_N^{(5n)k} + \omega_N^{4k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+4)\omega_N^{(5n)k} \quad (36)$$

$$\begin{aligned}
 X(k) = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n)\omega_N^{\frac{nk}{5}} + \omega_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+1)\omega_N^{\frac{nk}{5}} + \omega_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+2)\omega_N^{\frac{nk}{5}} \\
 & + \omega_N^{3k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+3)\omega_N^{\frac{nk}{5}} + \omega_N^{4k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{5}-1} x(5n+4)\omega_N^{\frac{nk}{5}}
 \end{aligned} \tag{37}$$

$$X(k) = P(k) + \omega_N^k Q(k) + \omega_N^{2k} R(k) + \omega_N^{3k} S(k) + \omega_N^{4k} T(k) \tag{38}$$

Chacune des sommes P(k), Q(k), R(k), R(k) ,S(k) et T(k) de cette equation est reconnue comme un DFT N/5 points. Bien que l'indice k varie sur N valeurs, k = 0, 1, 2, .. N – 1, chacune des sommes ne peut être calculée que pour k=0,1,2,...N/5-1, puisqu'ils sont périodiques avec la période N/5. Nous présenterons dans la partie simulation les résultats et les impacts obtenus par l'application de ces différentes formes de la FFT pour l'acquisition des codes GNSS de différentes tailles [43] et [44].

7 Nouvelle solution d'acquisition

7.1 Algorithme de Jérôme leclère

- Algorithme proposé :

L'idée de cet algorithme est de transformer la corrélation initiale en deux ou plusieurs sous-corrélations de plus petites tailles. C'est un algorithme qui exploite deux faits :

- 1) la moitié des points de l'un des signaux sont des zéros.
- 2) la moitié des points de la corrélation de sortie sont ignorés.

Un troisième fait, qui est l'utilisation du zero-padding, sera exploité pour le gain d'efficacité [42].

- Algorithme pour obtenir deux sous-corrélations :

La forme la plus simple de cet algorithme consiste à transformer la corrélation initiale de N points en deux sous-corrélations de 3N/4 points. L'opération effectuée est donnée par l'eq39. En utilisant la propriété de linéarité de l'IFFT, l'algorithme réalise ainsi quatre FFTs et un IFFT de 3N/4 points , alors que l'algorithme traditionnel réalise deux FFTs et un IFFT de N points. Les premiers N/2 points du résultat sont identiques à ceux de la corrélation initiale, tandis que les autres points sont différents, ce qui n'est pas important puisqu'ils seront par la suite ignorés [42].

$$y_M = IFFT(\overline{FFT(h_0)}FFT(x_0) + IFFT(\overline{FFT(h_1)}FFT(x_1)) \tag{39}$$

$$= IFFT(\overline{FFT(h_0)FFT(x_0)} + \overline{FFT(h_1)FFT(x_1)})$$

Avec

$$h_0 = \left[h[0]h[1] \dots \dots \dots h\left[\frac{N}{4} - 1\right] \overbrace{0 \dots \dots 0}^{\frac{N}{2}} \right]$$

$$h_1 = \left[h\left[\frac{N}{4}\right] h\left[\frac{N}{4} + 1\right] \dots \dots \dots h\left[\frac{N}{2} - 1\right] \overbrace{0 \dots \dots 0}^{\frac{N}{2}} \right]$$

$$x_0 = \left[x[0]x[1] \dots \dots \dots h\left[\frac{3N}{4} - 1\right] \right]$$

$$x_1 = \left[x\left[\frac{N}{4}\right] x\left[\frac{N}{4} + 1\right] \dots \dots \dots x[N - 1] \right]$$

- Complexité de l'algorithme :

Considérant qu'une FFT de N points nécessite environ N log(N) multiplications, l'algorithme traditionnel nécessite environ 3N log (N) +N multiplications, alors que l'algorithme proposé nécessite 5 multiplications. Le nombre approximatif de multiplication est donc plus grand pour l'algorithme proposé [42].

Cela signifie que même si l'objectif initial de trouver un nouvel algorithme était diminuer la complexité de l'algorithme traditionnel en calculant moins points, l'algorithme proposé nécessite en fait plus d'opérations lorsque la même longueur de corrélation N est utilisée. Cependant, pour les cas où N doit être augmenté de manière significative en utilisant le remplissage nul pour obtenir une longueur FFT spécifique (notamment pour l'obtention de puissances de deux), l'algorithme proposé peut être très avantageux comme le montrent les sections suivantes [43].

7.2 Utilisation avec le FFT radix-2

L'algorithme effectue des FFT sur 3N/4 points. Si l'utilisation des FFTs radix-2 est exigée, il y a la contrainte donnée par l'eq 40. Malheureusement, cette équation n'a pas de solutions entières [44].

$$\frac{3N}{4} = 2^l \Leftrightarrow N = \frac{4}{3} 2^l \tag{40}$$

Cependant, il a été démontré que la longueur des signaux pourrait également être de $\frac{3N}{4} - 1$. Dans ce cas, la contrainte est donnée par l'eq 41 :

$$\frac{3N}{4} - 1 = 2^l \Leftrightarrow N = \frac{4}{3}(2^l + 1) \tag{41}$$

Cette équation a des solutions entières si « l » est impair, et le résultat pour une plage de valeurs appropriées est fourni dans le tableau suivant :

Tableau 3. Longueur de corrélation possible (N) et longueur FFT radix-2 (L) de l'algorithme proposé avec deux sous-corrélations pour l'impairs. L'algorithme proposé avec deux sous-corrélations pour l'impairs. [44]

<i>l</i>	5	7	9	11	13	15	17	19
$L = 2^l$	32	128	512	2048	8192	32768	131072	824288
N	44	172	684	2732	10924	43692	174764	699052

Il a été démontré que la longueur des signaux pourrait également être de taille $\frac{3N}{4} + p$. Pour $p = 1$, la contrainte est donnée par l'eq 42 :

$$\frac{3N}{4} + 1 = 2^l \Leftrightarrow N = \frac{4}{3}(2^l - 1) \tag{42}$$

Cette équation a des solutions entières si « L » est pair, et le résultat pour une plage de valeurs appropriées est fourni dans le tableau 3. L'intérêt d'ajouter des zéros aux signaux est maintenant plus clair ; cela donne plus de flexibilité en ce qui concerne la longueur des signaux [44].

Pour faire le lien avec les signaux GNSS, la longueur de l'FFT pour les algorithmes traditionnels, est présentée en fonction de la fréquence d'échantillonnage dans le tableau suivant [44]:

Tableau 4 . Radix-2 Longueur FFT pour les algorithmes traditionnels et proposés avec deux sous-corrélations en fonction de la fréquence d'échantillonnage en considérant un code de 1 ms. Pour un code de 4 ms, multipliez la fréquence d'échantillonnage réelle par 4. [44]

Fréquence d'échantillonnage (MHZ)	Gamme (MHZ)	Longueur FFT pour l'algorithme traditionnel	Longueur FFT de l'algorithme proposé
1.023 - 1.024	0.001	2048	2048
1.025 - 1.366	0.341	4096	2048
1.367 - 2.048	0.681	4096	4096
2.049 - 2.730	0.618	8192	4096
2.731 - 4.096	1.365	8192	8192

4.097 - 5.462	1.365	16384	8192
5.463 - 8.192	2.729	16384	16 384
8.193 - 10.922	2.729	32 768	16 384
10.923 - 16.384	5.461	32 768	32 768
16.385 - 21.846	5.461	65 536	32 768
21.847 - 32.768	10.921	65 536	65 536
32.769 - 43.690	10.921	131 072	65 536

En considérant un code de taille 1 ms, on peut voir qu'il y a deux possibilités. En effet, soit la longueur de l'FFT de l'algorithme de Jérôme Léchère est la moitié de la longueur FFT de l'algorithme traditionnel, soit les longueurs FFT sont identiques. Par exemple, avec une fréquence d'échantillonnage de 21 MHz, l'algorithme traditionnel utilise des FFT de 65 536 points et l'algorithme de Jérôme Léchère utilise des FFT de 32 768 points [42]. En effet, deux périodes du code correspondent à 42 000 échantillons et par conséquent, l'algorithme traditionnel nécessite un ajout de zéros pour obtenir jusqu'à 65 536, alors que l'algorithme de Jérôme Léchère nécessite un ajout de zéros pour atteindre uniquement 43 692, en utilisant des FFT de 32 768. Cependant, avec une fréquence d'échantillonnage de 24 MHz, l'algorithme traditionnel utilise toujours des FFTs de 65 536, mais l'algorithme proposé utilise maintenant des FFTs de 65 536 points. Il est clair que lorsque les longueurs des FFTs sont identiques, l'algorithme de Jérôme Léchère n'est pas intéressant puisqu'il calcule plus d'FFT [43]. Dans l'autre cas, la complexité est réduite puisque l'algorithme proposé requiert $5 \frac{N}{2} \log \left(\frac{N}{2} \right) + 2 \frac{N}{2}$ des multiplications, ce qui signifie une réduction d'au moins 20 % dans la charge de calcul [44].

8 Acquisition avec la méthode de double block zéro-padding (DBZP)

DBZP est une méthode plus appropriée pour l'acquisition des signaux faibles puissance. Le concept de la DBZP repose sur l'utilisation de corrélations partielles avec une durée d'intégration courte et un minimum d'opérations. Cette méthode présente une forte sensibilité en comparaison avec les autres méthodes d'acquisition basées sur la FFT [45]. Pour réaliser l'acquisition par la méthode DBZP, le signal reçu doit être converti en bande de base. Les échantillons du signal en bande de base sont ensuite divisés en N_C blocs avec N_A échantillons dans chaque bloc, où N_C est le nombre des bines Doppler. Chaque couple de blocs adjacents ayant N_A échantillons chacun, va être combiné dans un seul bloc de taille double $2N_A$ avec N_C chevauchement entre les nouveaux blocs. C'est à dire à chaque fois, on va utiliser les dernier N_A échantillons du bloc précédent comme des échantillons du bloc suivant ; par exemple (les blocs 1 et 2 dans le 1^{er} bloc, et les blocs 2 et 3 dans le 2^{ème} bloc suivant et ainsi de suite) [42]. La même chose pour le code généré localement qui est également partitionné de la même manière mais avec un remplissage de N_A zéros devant chaque bloc du code (Les cases noires sont remplies des zéros). Chaque bloc du code reçu est corrélé circulairement avec le bloc correspondant du code local ; seulement les premiers N_A

échantillons sont conservés et sont disposés sous forme de colonnes dans une matrice de corrélation. Cette procédure est répétée N_C fois et chaque fois avec un décalage circulaire du code local par double blocs ($2N_A$) jusqu'à l'obtention d'une matrice de corrélation ($N_C \times N$), avec N le nombre d'échantillons correspondant à 1ms de donnée. La figure 13, montre un schéma de principe de l'algorithme d'acquisition DBZP [45].

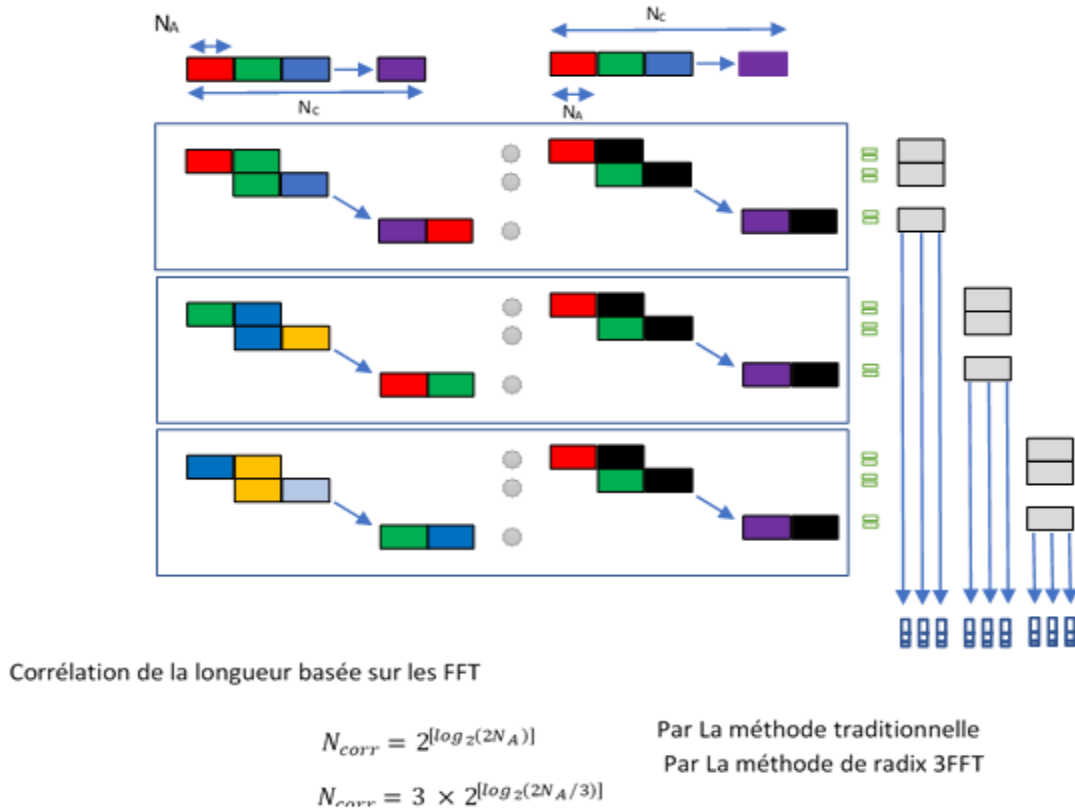


Figure 13 Double-Block zero-padding search acquisition. "Les cases noires sont pleines de zeros". [45]

9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré de nouvelles structures d'acquisition basées sur différents algorithmes FFT. Les nouvelles solutions d'acquisition ont également été examinées. Pour conclure, les architectures d'acquisition utilisant les algorithmes FFT constituent une innovation majeure dans le domaine de l'acquisition de données, combinant une performance, une précision et une souplesse pour répondre aux besoins grandissants des applications contemporaines.

CHAPITRE 3 :

Résultats et discussion

Plan de travail :

1. Introduction
2. La topologie des stellites
 - 2.1. GPS topologie
 - 2.2. Galileo topologie
 - 2.3. Glonass topologie
 - 2.4. Beidou topologie
3. L'effet de la topologie des satellites
4. Combinaison des constellations
 - 4.1. GPS/Galileo
 - 4.2. GPS/Galileo/Glonass/Beidou
5. L'effet du facteur de puissance des satellites
6. Conclusion

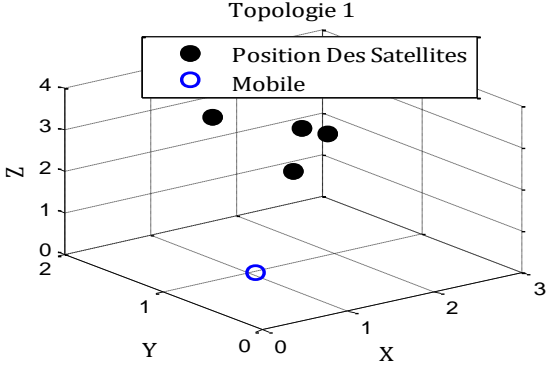
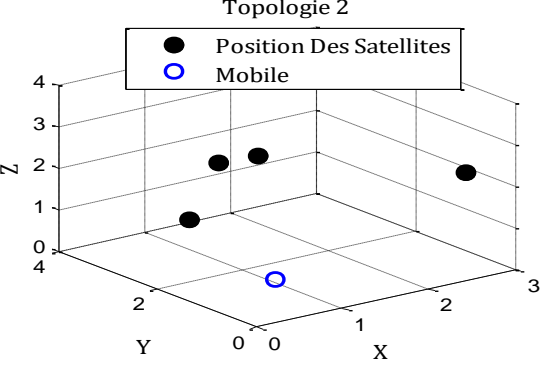
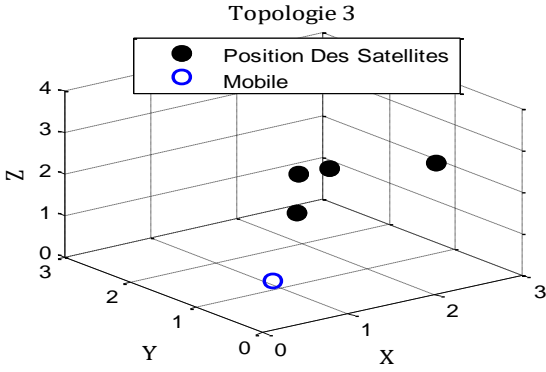
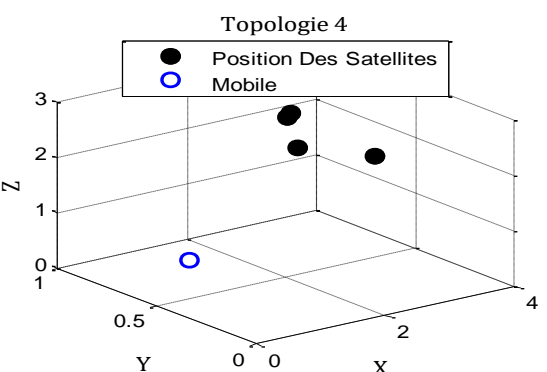
1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons deux aspects essentiels dans le domaine de la navigation. Tout d'abord, nous étudierons les différentes topologies de chaque système GNSS et leur erreur moyenne ; à savoir le GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU. Ensuite, nous aborderons le calcul de l'erreur moyenne associée à chaque topologie choisie pour chaque système. Enfin, nous calculerons en présentant l'erreur moyenne résultat de la combinaison de satellites provenant de différents systèmes. Cette approche permettra de comprendre comment l'utilisation conjointe de multiples constellations peut améliorer la précision et la fiabilité de la navigation par satellite.

2 Les topologies des satellites

2.1. GPS topologie

Les différentes topologies du système GPS sont illustrées dans les figures ci-dessus :

<p>Topologie 1 : Deux satellites rapprochés et deux autres distants sont observés.</p>	<p>Topologie 2 : Deux satellites légèrement rapprochés et deux autres éloignés sont repérés.</p>
 <p>Topologie 1</p> <p>● Position Des Satellites ○ Mobile</p>	 <p>Topologie 2</p> <p>● Position Des Satellites ○ Mobile</p>
<p>Topologie 3 : Trois satellites voisins et l'autre espacé sont remarqués.</p>	<p>Topologie 4 : Deux satellites congestionnés et deux autres sont légèrement éloignés.</p>
 <p>Topologie 3</p> <p>● Position Des Satellites ○ Mobile</p>	 <p>Topologie 4</p> <p>● Position Des Satellites ○ Mobile</p>
<p>Topologie 5 : Chaque deux satellites sont éloignés.</p>	

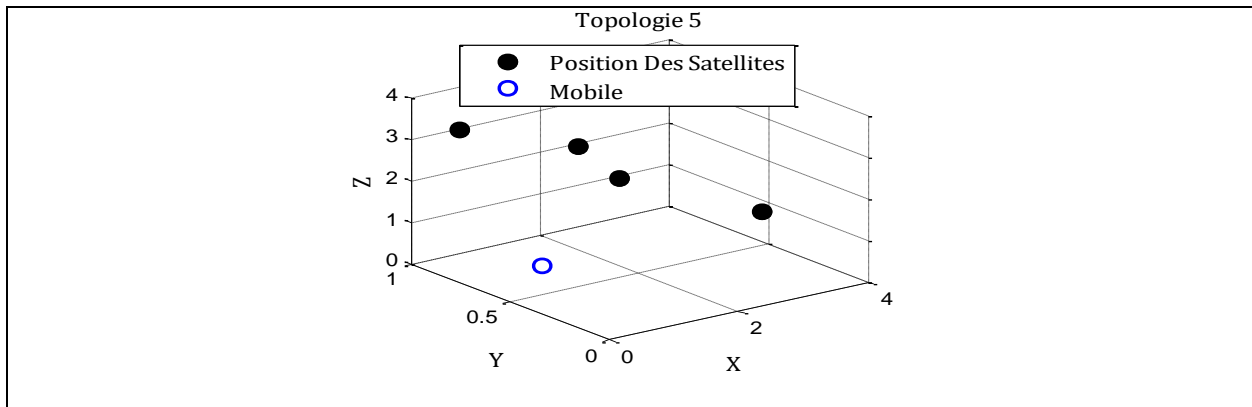


Figure 14 Les différentes topologies du système GPS

2.2. GALILEO topologies

Dans les figures suivantes on peut voir diverses topologies du système GALILEO.

<p>Topologie 1 : Il est possible de voir que les quatre satellites sont un peu écartés.</p>	<p>Topologie 2 : On distingue deux satellites proximités et d'autres éloignés.</p>
<p>Topologie 3 : On remarque qu'on a deux satellites sont rapprochés et d'autres sont distants.</p>	<p>Topologies 4 : On repère Trois satellites rapprochés et un autre éloigné.</p>
<p>Topologie 5 : On capte trois satellites qui sont très proches et un satellite qui est un peu éloigné</p>	

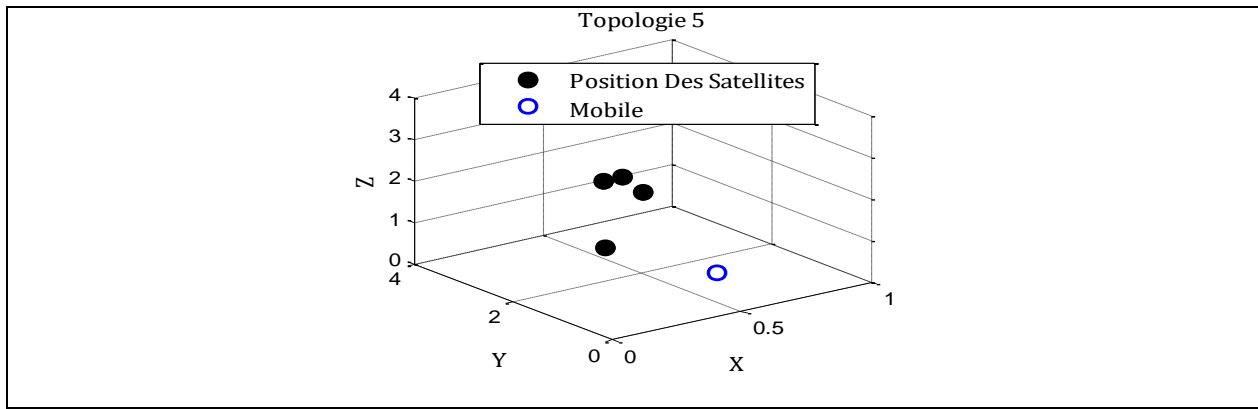


Figure 15 Diverses topologies du système GALILEO

2.3. GLONASS topologie

Les figures ci-dessus dépeintes une variété de topologies du système GLONASS.

<p>Topologie 1 : l'observation a permis d'identifier quatre satellites sont écartés.</p>	<p>Topologie 2 : Trois satellites congestionnés et un satellite éloigné de ces derniers.</p>
<p>Topologie 3 : Deux satellites rapprochés et deux satellites éloignés ont été repérés par l'observation.</p>	<p>Topologie 4 : Une distribution uniforme avec un satellite éloigné.</p>
<p>Topologie 5 : On remarque une distribution uniforme.</p>	

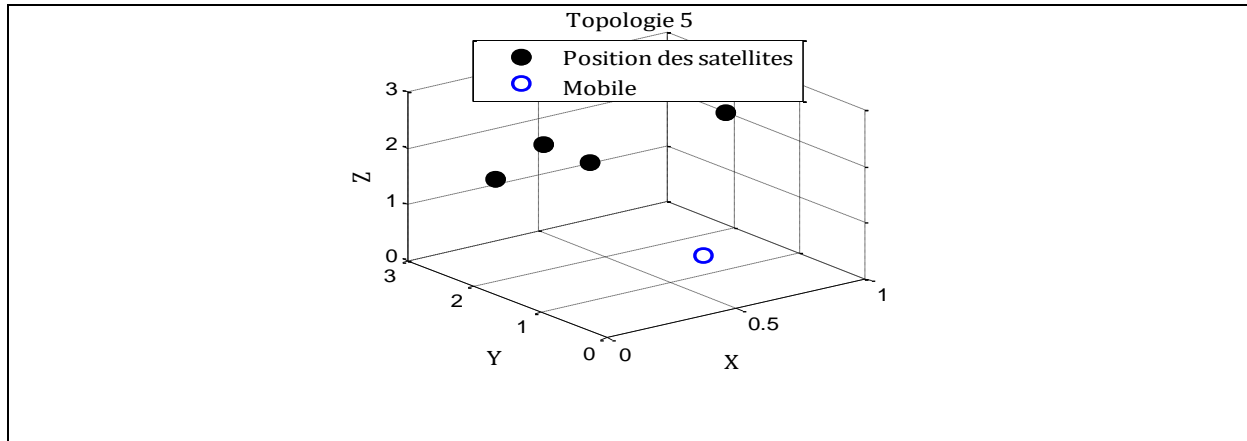


Figure 16 Les topologies suggérer du système GLONASS

2.4. BEIDOU topologie

On observe différentes topologies du système BEIDOU dans les figures suivantes.

<p>Topologie 1 : Deux satellites se trouve proximité l'un de l'autre tant dis que deux autres sont à distance.</p>	<p>Topologie 2 : Deux satellites sont situés à proximité l'un de l'autre tant dis que deux autres sont très éloignés.</p>
<p>Topologie 3 : Trois satellites se trouvent à proximité l'un des autres, tant dis qu'un autre est à distance.</p>	<p>Topologie 4 : Deux satellites sont congestionnés et les autres sont éloignés</p>
<p>Topologie 5 : Chaque deux satellites sont distants</p>	

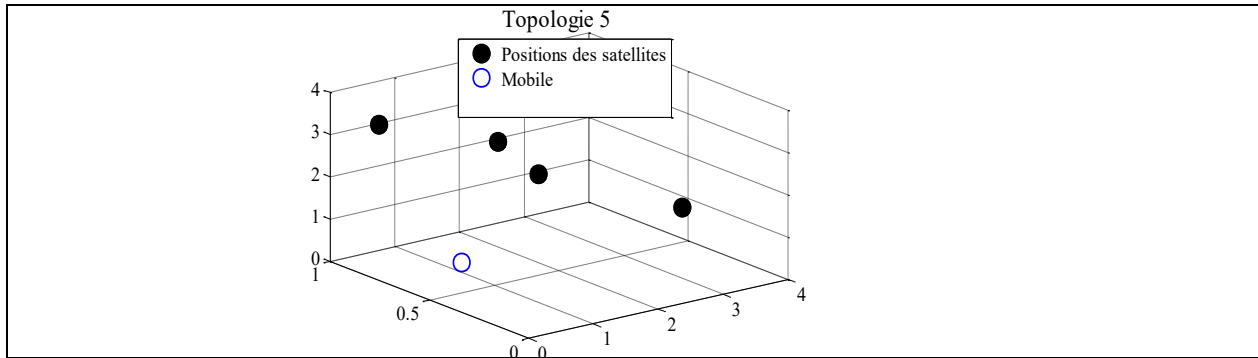
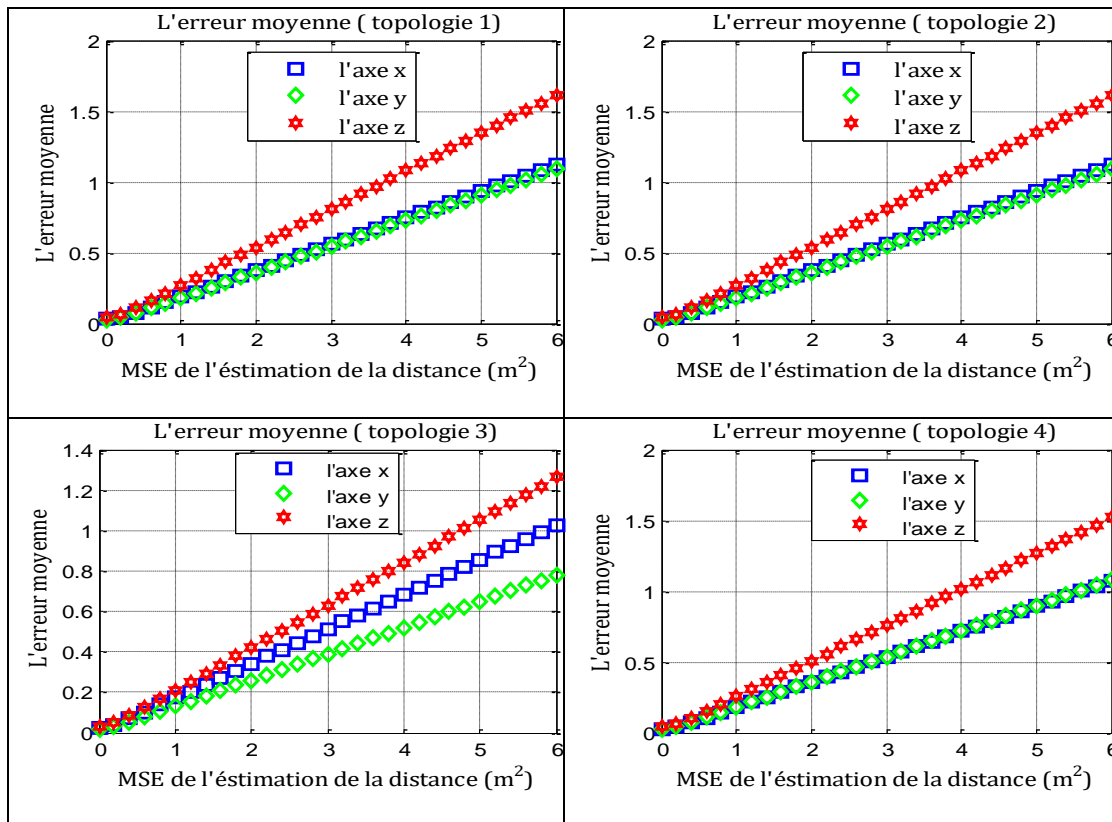


Figure 17 Différentes topologies du système BEIDOU

3. L'effet de la topologie des satellites

Une fois que plusieurs topologies auront été identifiées, nous procéderons au calcul des erreurs moyennes pour chaque système GNSS comme l'illustrent les figures suivantes :



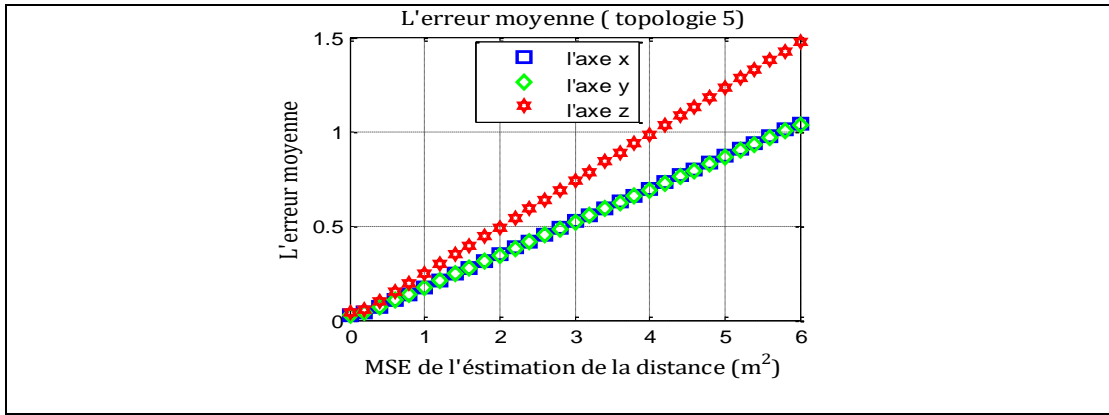
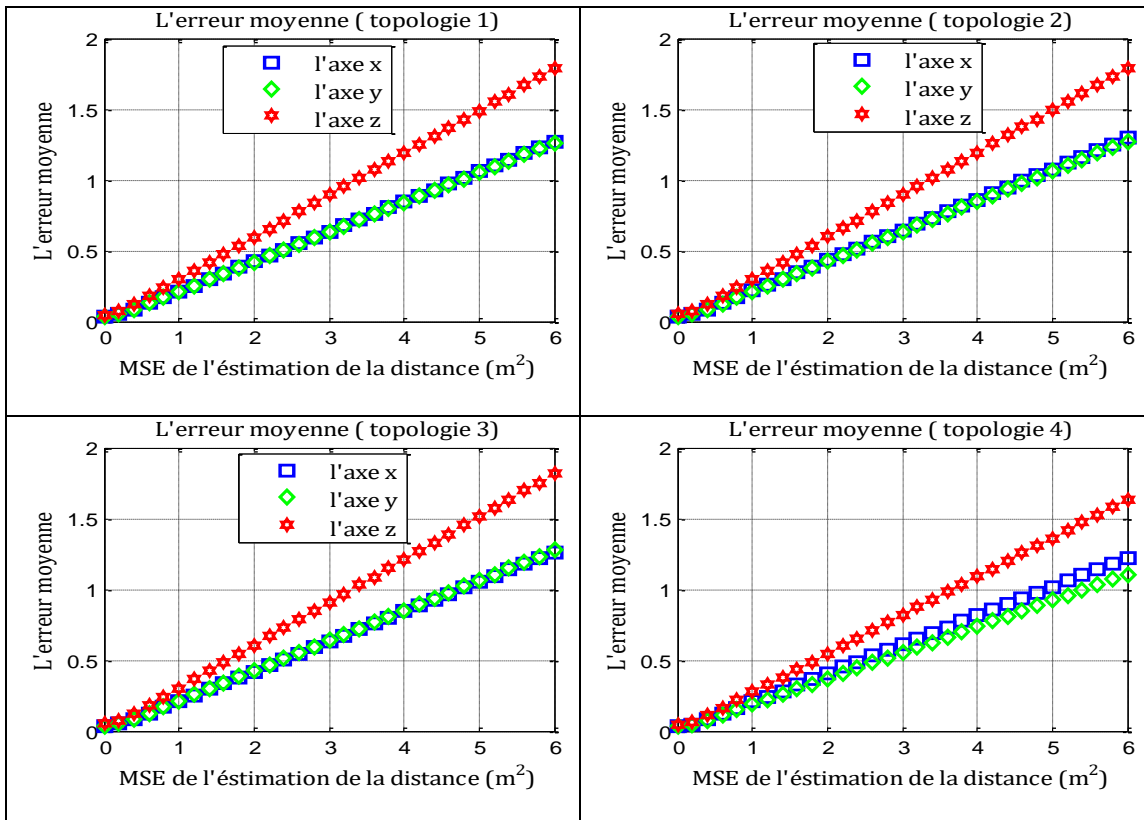


Figure 18 L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système GPS



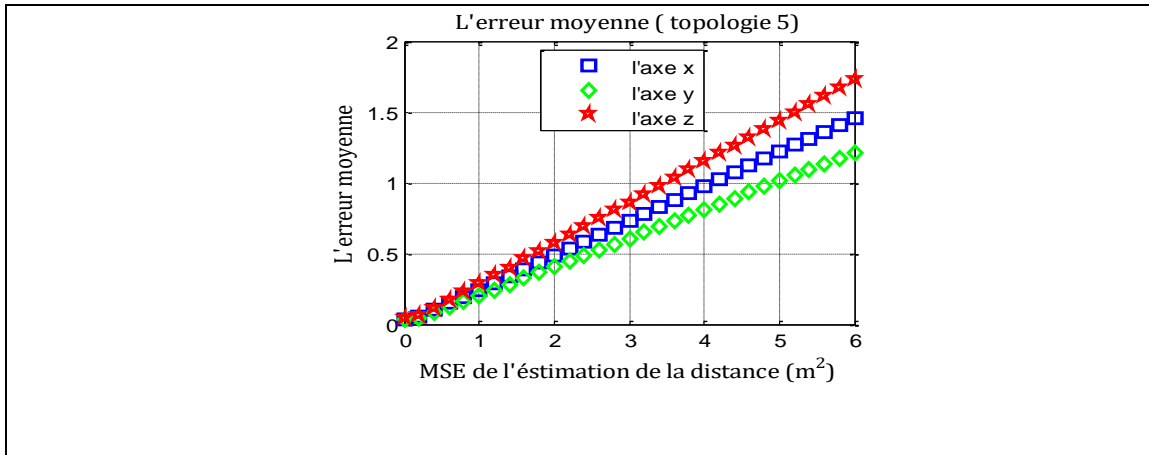
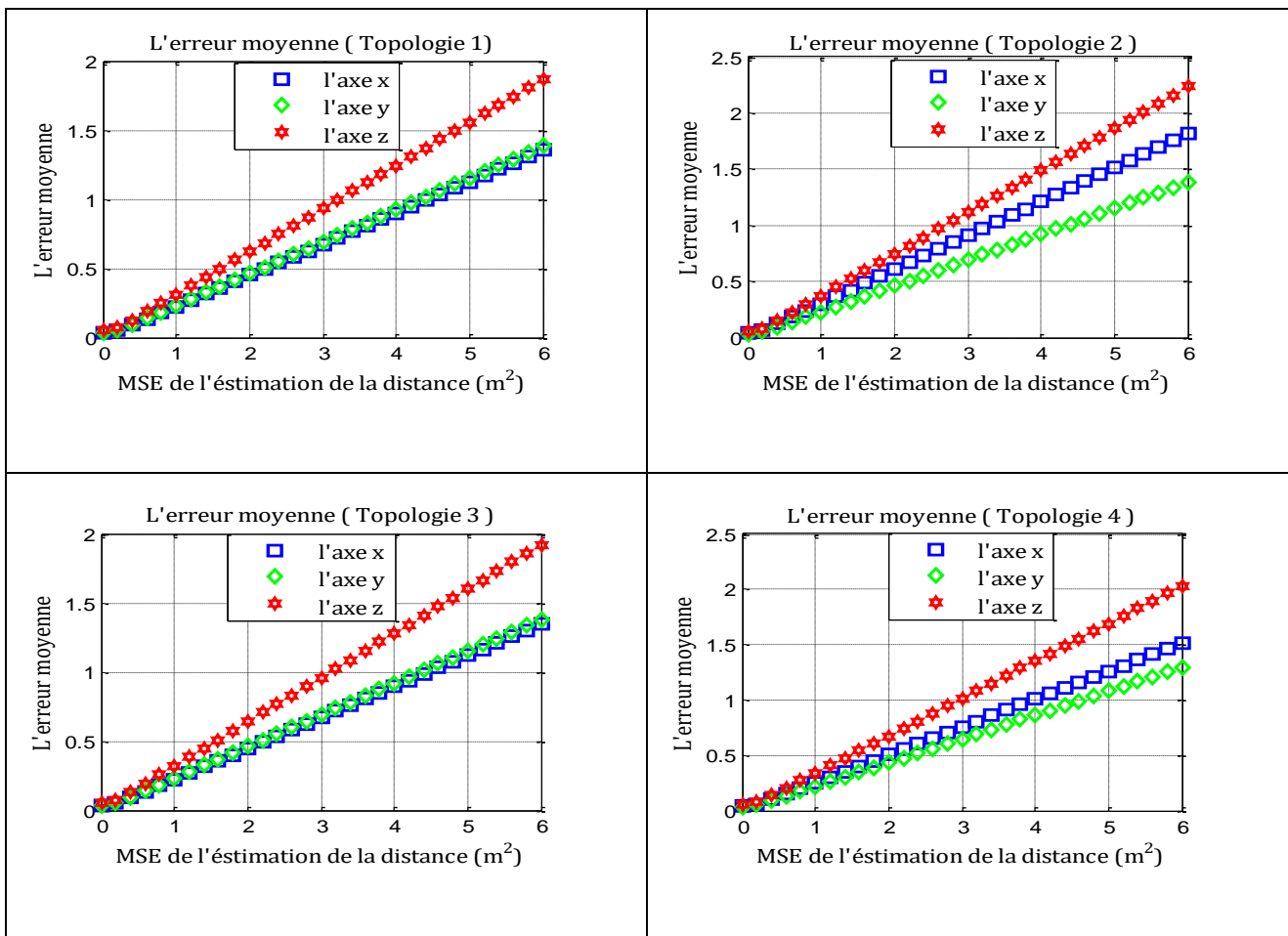


Figure 19 L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système GALILEO



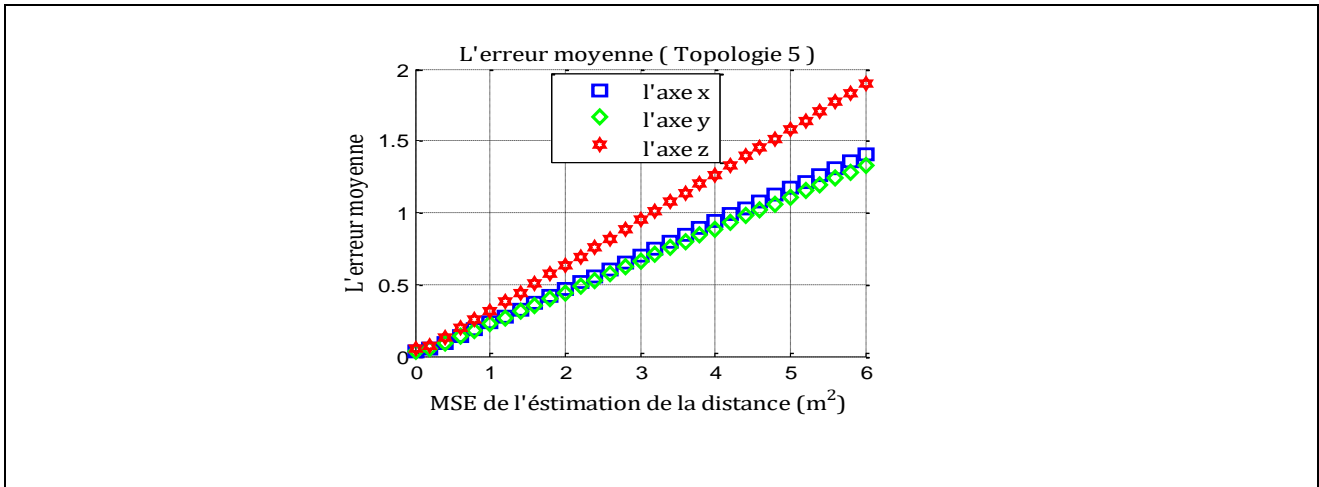
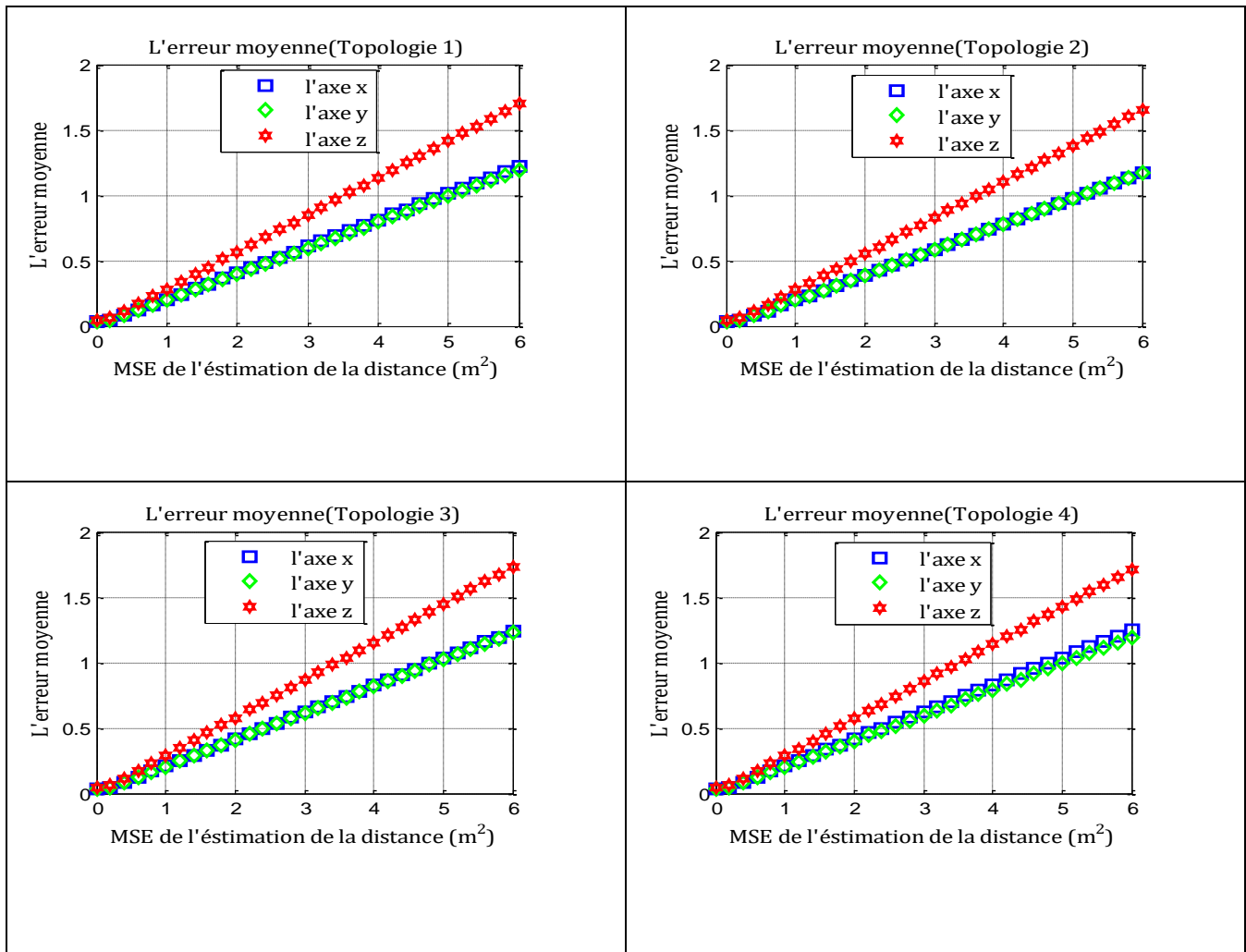


Figure 20 L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système GLONASS



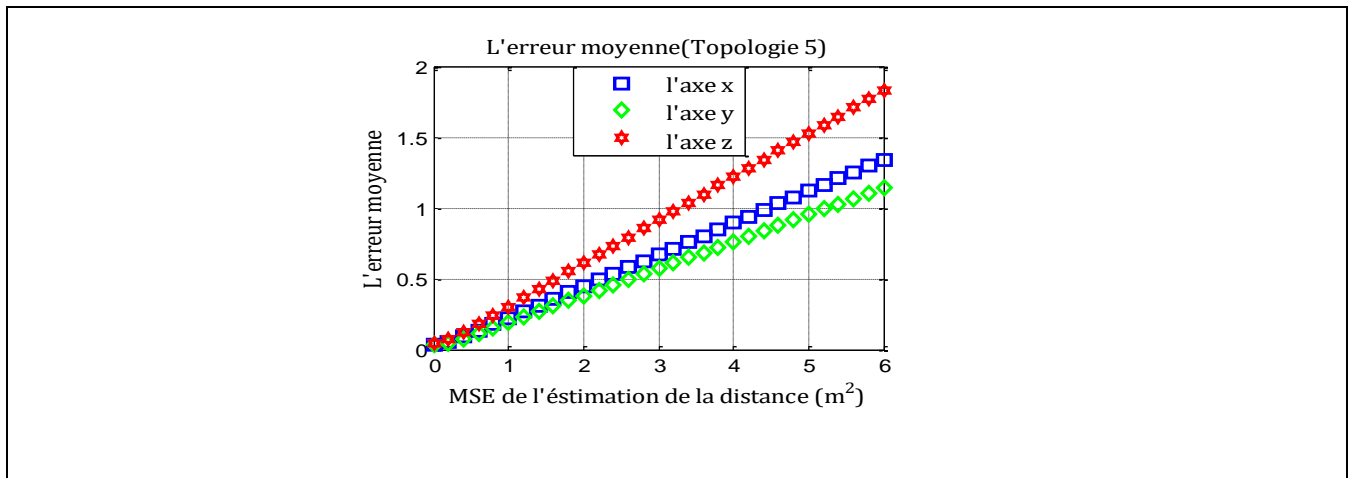


Figure 21 L'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour le système BEIDOU

Les Figures (14, 15, 16, 17) Représentent l'erreur moyenne sur chaque axe en fonction du MSE de l'estimation de la distance. Comme le montre ces figures l'erreur moyenne sur chaque axe dépend de la position des satellites. Par conséquent, la topologie des satellites a un grand impact sur la précision de positionnement. En effet, malgré que le nombre de satellites utilisés est toujours 4, le positionnement par différentes constellations présente différentes plages des erreurs. Ces résultats montrent que dans un récepteur GNSS hybride, les satellites multi constellation devront être sélectionnés d'une façon la plus optimale.

4. Combinaison des constellations

Dans cette section, nous nous attèlerons au calcul de l'erreur moyenne suite à la fusion initiale du système GPS avec Galileo, puis à la combinaison des quatre systèmes GNSS.

4.1. Combinaison GPS /GALILEO

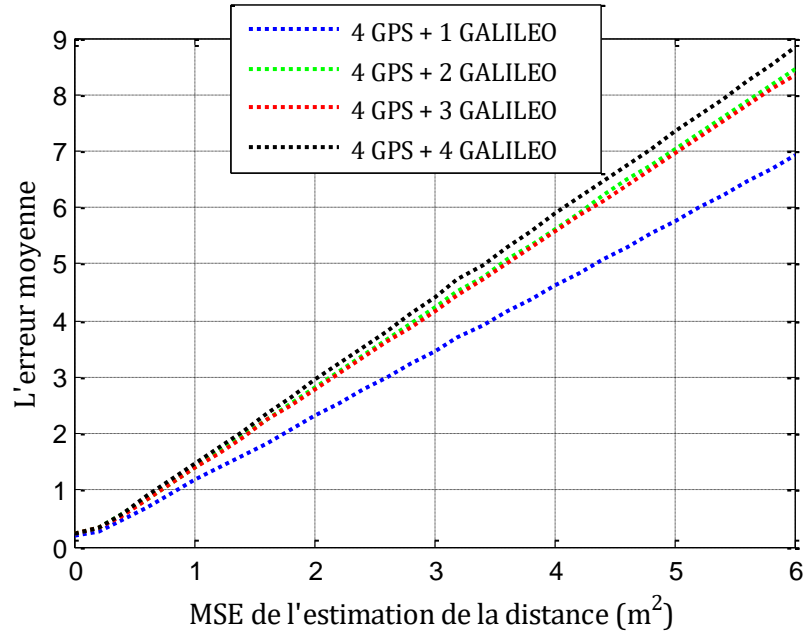
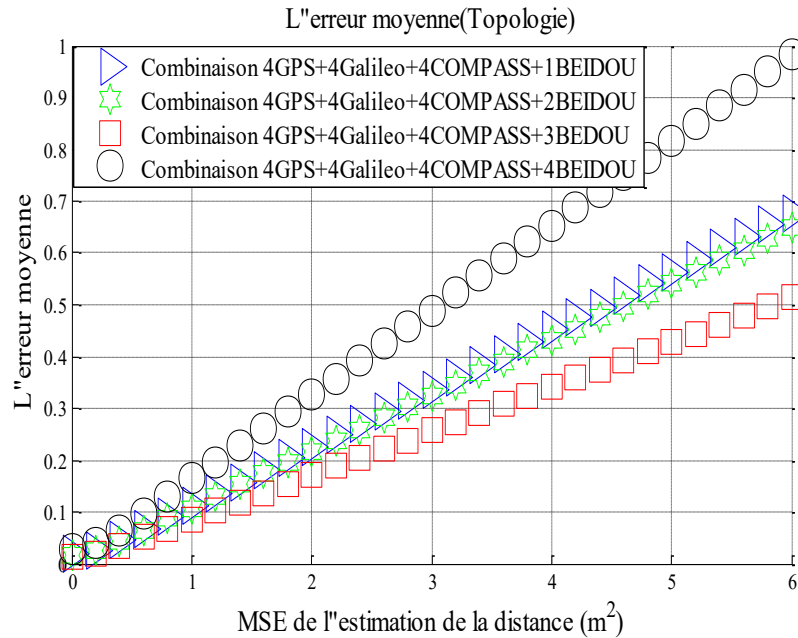


Figure 22 L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour la combinaison GPS/GALILEO

Dans cette figure nous avons représenté la combinaison des deux constellations GPS et GALILEO. Le cas de la présence de 4 satellites GPS et un seul satellite GALILEO présente une meilleure performance par rapport aux autres cas car les autres satellites GALILEO ne donnent aucune contribution dans le processus de calcul de position. Ce résultat est causé par un mauvais choix de la topologie de réception.

4.2. Combinaison GPS/GALILEO/GLONASS/BEIDOU

La géométrie des satellites simulés a été réalisée selon un placement prédéfini tenant compte du bruit et du facteur environnemental MP. Dans cette topologie, les satellites sont placés au hasard puisque le cas normal ne reflète pas les conditions du monde réel.



Le récepteur sélectionne, parmi les satellites visibles, ceux dont les SNR sont les meilleurs possibles. Parmi les différentes possibilités de ce processus de sélection, quatre cas sont choisis. Dans le premier, neuf signaux sont sélectionnés (4 GPS+4 GALILEO+1 GLONASS). Dans le

Figure 23 *L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour la combinaison GPS, GALILEO, GLONASS et BEIDOU*

deuxième cas, 10 signaux sont sélectionnés (4 GPS+4 GALILEO+2 GLONASS). Dans le quatrième cas, 11 signaux sont sélectionnés (4 GPS+4 GALILEO+2 GLONASS+ 1 BEIDOU). Les signaux sélectionnés dans chacun des quatre cas sont utilisés pour effectuer des mesures en fonction du MSE du temps d'arrivée (TOA). Ce dernier varie, pour chaque signal, de 0 à 6 m. Dans cette simulation, l'estimation de la position du récepteur, basée sur la méthode des moindres carrés, est répétée pour 1000 itérations. Les résultats représentés sur la figure ci-dessus montrent que l'augmentation du nombre de signaux multi-constellations différentes (avec les meilleures topologies) implique une réduction de l'erreur moyenne et, par conséquent, une amélioration des performances.

4.2. L'effet du facteur de puissance des satellites

Dans ce scénario, nous avons montré l'effet d'un choix de satellites ne prenant pas en compte les puissances des signaux reçus. Pour cela, nous avons tracé l'erreur moyenne en utilisant la même topologie mais avec un facteur de puissance différent en fonction du MSE de l'estimation de la distance.

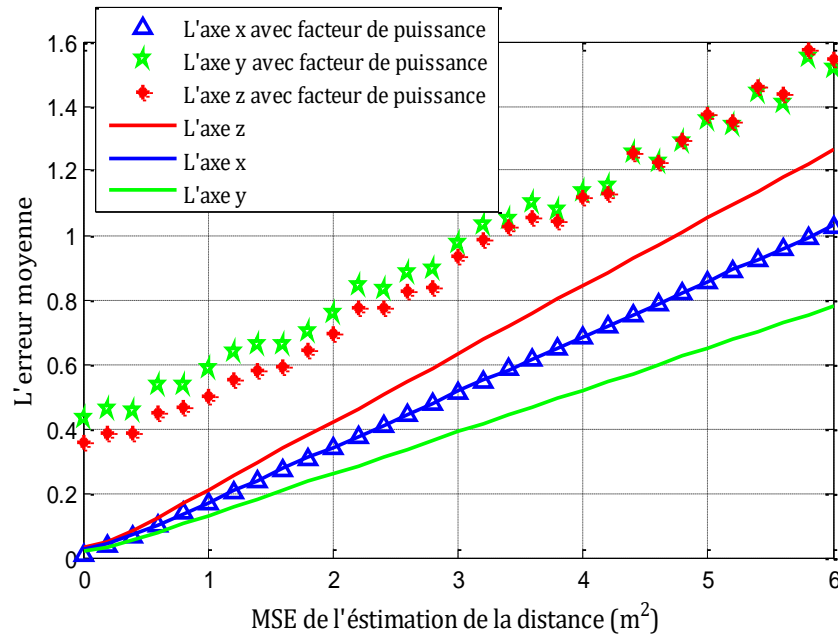


Figure 24 L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour effet de puissance dans la topologie GPS

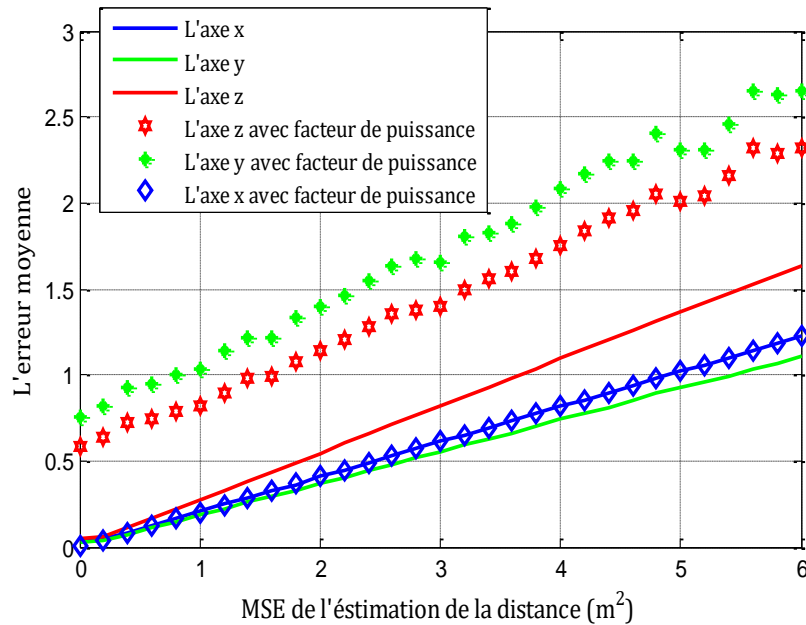


Figure 25 L'erreur moyenne maximale en fonction du MSE de l'estimation de la distance pour effet de puissance dans la topologie GALILEO

D'après ces deux figures, on voit clairement l'augmentation de l'erreur pour le cas où l'un des satellites sélectionnés a une faible puissance en comparaison avec les autres.

5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par identifier les différentes topologies du système GNSS, ensuite nous avons simulé en premier l'erreur moyenne pour chaque topologie et pour chaque système.

En second lieu, Nous nous concentrerons sur le calcul de l'erreur moyenne de la combinaison des systèmes GPS avec Galileo, puis à la combinaison des quatre systèmes GNSS et les résultats montrent qu'il est important de choisir des satellites multi-constellations dans un récepteur GNSS hybride pour avoir une performance meilleure. Enfin nous avons montré l'effet du facteur de puissance des satellites. A la fin du chapitre en conclu que les satellites ne prennent pas en compte les puissances des signaux reçus.

CONCLUSION GENERAL

Conclusion générale

Comme nous l'avons vu tout au long de ce mémoire, l'utilisation de systèmes mondiaux de navigation par satellite GNSS est rapidement devenue une des nécessités de notre vie quotidienne. Etant considérés comme des outils spécialisés ou articles de luxe, les dispositifs qui sont capables de manipuler ces systèmes pour la fourniture d'informations en temps et en position à des utilisateurs civils sont, aujourd'hui, libre pour utilisation. Bien que ces dispositifs semblent omniprésents, la disponibilité de l'information en temps et en position, ne fonctionne pas correctement. Confronté aux problèmes posés par l'environnement urbain, dans lequel nous passons la grande majorité de notre temps, le fonctionnement de ces dispositifs est entravé, au mieux, et est souvent totalement contrecarré. En effet, ces milieux atténuent les signaux GNSS, et, par conséquent, les signaux reçus deviennent très faibles. De plus, les récepteurs GNSS conventionnels ne sont pas conçus pour fonctionner normalement avec ce type de signaux.

Dans ce mémoire. La première partie a posé les bases des systèmes GNSS en introduisant les concepts fondamentaux de la navigation par satellite et en mettant en lumière l'importance des systèmes multi-constellation pour améliorer la précision et la disponibilité. Une bonne répartition des satellites sur l'horizon, avec des élévations suffisantes, est essentielles pour garantir une acquisition rapide et fiable des signaux, même dans des environnement difficiles comme les zones urbaines denses. Ce travail a permis de présenter de manière détaillée les principaux éléments relatifs aux systèmes GNSS. L'acquisition du signal GNSS a été abordée, en exposant les principes fondamentaux et les différentes techniques d'acquisition. De plus, une analyse de l'acquisition classique des nouveaux signaux GNSS a été réalisée pour comprendre les défis et les opportunités liés à ces évolution technologiques.

La deuxième partie a été consacrée à l'analyse des algorithmes d'acquisition performants, mettant en avant les mécanismes clés utilisés pour optimiser la réception des signaux faibles dans un environnement complexe. L'étude approfondie de la nouvelle structure d'acquisition basée sur des algorithmes FFT a permis d'explorer en détail les différentes approches, notamment les algorithmes FFT. En outre, une nouvelle solution d'acquisition a été présentée, incluant l'algorithme de Jérôme Leclère et son utilisation conjointe avec la FFT radix-2. L'acquisition avec la méthode de double bloc zero-padding (DZBP) a également été abordée pour enrichir les possibilités d'optimisation de l'acquisition des signaux GNSS. Cette recherche a mis en lumière l'importance des avancées en matière d'algorithme FFT pour améliorer l'efficacité et la précision de l'acquisition des signaux GNSS. Ces nouvelles solutions offrent des perspectives prometteuses pour optimiser les performances des systèmes de navigation par satellite, ouvrant la voie à des applications plus robustes et fiables dans des environnements variés.

Le troisième chapitre a exploré en détail l'effet de la topologie des satellites sur les différents systèmes de positionnement. Les simulations réalisées ont permis de visualiser concrètement l'effet de la topologie des satellites sur l'acquisition des signaux GNSS qui ont permis de mettre en évidence l'importance cruciale de la configuration géométrique des constellations pour optimiser les performances des systèmes de navigation par satellite. L'analyse détaillée des topologies des différentes constellation (GPS, Galileo, Glonass, Beidou) a révélé leurs spécificités et leurs impacts

Conclusion générale

respectifs sur la qualité de l'acquisition. La combinaison des constellations, notamment GPS/Galileo et GPS/Galileo /Glonass/Beidou ,a été étudiée pour évaluer les bénéfices en termes de disponibilité ,de précision et de robustesse du positionnement .De plus , l'influence du facteur de puissance des satellites a été prise en compte pour affiner l'évaluations des performances d'acquisition.

REFERNECES
BIBLIOGRAPHIQUE

Référence bibliographique

- [1] H. E. W. B. Hofmann-Wellenhof, Livre Springer Science GNSS-global navigation satellite systems, Business Media, 2008.
- [2] J. B. Parkinson, Global positionning system : theory and applications, American institute of aeronautics and astronautics, 1996.
- [3] M. C. Saifeddine, Thèse Doctorat : Acquisition et Poursuite des Signaux GNSS Multifréquences et Multi- Constellations dans un milieu Outdoor, Bordj Bou Arréridj: Université Mohamed El-Bachir EL-Ibrahimi, 2019.
- [4] S. ROCHE, Thèse Doctorat : Méthodes de poursuite de phase pour signaux GNSS multifréquence en environnement dégradé, Université de Toulouse Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE), 2013.
- [5] E. Kaplan, Understanding GPS: Principles and Applications, Norwood: ARTECH HOUSE, INC., 2005.
- [6] P. E. Pratap Misra, Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance, Revised Second Edition (Paperback), Ganga-Jamuna Press, 2001.
- [7] L. R. D. T. ALFRED LEICK, GPS SATELLITE SURVEYING, Hoboken, New Jersey: y John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [8] M. LONCHAY, Mémoire Master : PRÉCISION DU POSITIONNEMENT, LIÈGE : UNIVERSITÉ DE LIÈGE Faculté des Sciences Sciences Géographiques, 2009.
- [9] D. M. A. N. B. P. R. S. H. J. Kai Borre, A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach, Springer Science & Business Media, 2007.
- [10] A. El-Rabbany, Introduction to GPS: The Global Positioning System, Artech House, 2006.
- [11] C. H. Elliott D. Kaplan, Understanding Gps/Gnss Principles (Gnss Technology and Applications Series) 3rd ed. Edition, Artech House, 2017.
- [12] Z. A. Khezzar, Acquisition rapide des signaux GNSS par un récepteur logiciel, Thèse de magister en électronique Université El Hadj Lakhder de Batna, 2008.
- [13] B. Nassima et O. Rima, Technologie de positionnement pour systèmes de navigation GNSS, Mémoire Master recherche en Télécommunication Université Abderrahmane MIRA Bejaia, 2015.
- [14] C. Charbonnieras, Mesure d'intégrité par l'exploitation des signaux de navigation par satellites, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE THÈSE DOCTORAT, 2017.
- [15] A. Giremus, Apports des techniques de filtrage non linéaire pour la navigation avec les systèmes de navigation inertielle et le GPS, ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE THESE DOCTORAT , 2005.

Référence bibliographique

- [16] S. Peng, A Multi-Constellation Multi-Frequency GNSS Software Receiver Design for Ionosphere Scintillation Studies, Virginia Tech, 2012.
- [17] F. Faurie, Algorithmes de contrôle d'intégrité pour la navigation hybride GNSS et systèmes de navigation inertielle en présence de multiples mesures satellitaires défailtantes, Université de Bordeaux Thèse de Doctorat, 2011.
- [18] J. Á. Á. Rodríguez, On Generalized Signal Waveforms for Satellite Navigation, UNIVERSITY FAF MUNICH THÈSE DOCTORAT, 2008.
- [19] R. KHALED, Etude Et Amélioration Des Performances Des Boucles De Poursuite De Code Dans Les Récepteurs De Navigation Galileo En Présence De Trajectoires Multiples, Université Ferhat ABBAS Sétif 1 Thèse Doctorat, 2018.
- [20] B. Mohamed et Z. Walid, Étude comparative des méthodes d'acquisition du signal E1 OS, Université Saâd Dahlab de Blida, Mémoire Master Académique en Aéronautique , 2015.
- [21] M.Sahmoudi, Advanced techniques of signal acquisition in GNSS receivers, Thèse de Doctorat, 2008.
- [22] A. Polydoros et C. L. Weber, A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisition. Part 2. A Matched Filter Receiver, UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA LOS ANGELES DEPT OF ELECTRICAL ENGINEERING, 1984.
- [23] D. Siham, Contribution à l'amélioration des systèmes d'acquisition et de synchronisation d'un signal GNSS par CFAR, Université SAAD DAHLEB Blida, Thèse de Doctorat, 2019.
- [24] Y. Wang, A Novell acquisition schème for weak GNSS signals, 2015.
- [25] P. A. F. ESTEVES, Techniques d'acquisition à haute sensibilité des signaux GNSS, Université de Toulouse Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE), Thèse Doctorat, 2014.
- [26] RTKLIB pour la conception d'un récepteur GNSS centimétrique bas cout, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE Département d'Electronique Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electronique, 2017.
- [27] S. Zheng, Signal Acquisition and Tracking for a Software Gps Receiver, Virginia Tech, 2005.
- [28] S. Tay, Analyse et modélisation de l'utilisation de signaux GNSS en environnement marin, l'Université européenne de Bretagne, Thèse de Doctorat , 2012.
- [29] J. a. A. J. V. D. J. J. Spilker, PROPOSED NEW L5 CIVIL GPS CODES, NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation, Volume 48, Number 3 , 2001.
- [30] Navstar GPS Space Segment / User Segment L5 Interfaces INTERFACE SPECIFICATION IS-GPS-705, GLOBAL POSITIONING SYSTEM WING (GPSW), 2010.

Référence bibliographique

- [31] EUROPEAN GNSS (GALILEO) OPEN SERVICE SIGNAL-IN-SPACE INTERFACE CONTROL DOCUMENT, Publications Office of the European Union, 2021.
- [32] C. M. J.-L. I. L. R. Olivier Julien, Galileo E1 OS/SoL acquisition, tracking and data demodulation performances for Civil Aviation, Noordwijk, Netherlands: NAVITEC, 2010.
- [33] V. L. G. G. V. H. N. Martin, BOC(x,y) Signal Acquisition Techniques and Performances, Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS/GNSS), 2003.
- [34] F. S. T. V. Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS, Artech House, 2009.
- [35] W. D. Wilde, J.-M. Sleewaegen, A. Simsky, J. V. Hees, C. Vandewiele, E. Peeters, J. Grauwen et F. Boon, Fast signal acquisition technology for new GPS/Galileo receivers, IEEE/ION Position, Location, And Navigation Symposium, 2006.
- [36] N. Thiery, FFT Transformée de Fourier Rapide, Cours DSP principe de la FFT méthode de J.W.Cooley et J.W.Tuckey, 1965.
- [37] J.Debord, La transformée de Fourier rapide ,Mémoire d'taillant les algorithmes et la théorie mathématique de la FFT, avec des programmes en C pour le calcul scientifique.
- [38] E. G. M, Thèse de l'ecole de technologie superieure (ETS),les algorithmes de transformée rapide de Fourier (FFT), 2017.
- [39] E. G. M, these de l'université du Québec a Trois-Rivières,Etude des algorithmes FFT et leur implémentation, 2013.
- [40] D. D. Eddine, Amelioration of Acquisition of a Degraded Signal in a GNSS Receiver Embeded in an Observation Satellite by Using Double Bloc Zero Padding Method (DBZP), Journal of Asian Scientific Research, 2017.
- [41] C. F. Gauss, l'algorithme FFT radix-2, 1805.
- [42] J. Leclère, Acquisition of modern GNSS signals using a modified parallel code-phase search architecture, Signal Processing ELSEVIER, 2014.
- [43] J.-R. Vlimant, La transformée de Fourier en algorithme : Discrète et efficace, Présentation de conférence , 2011.
- [44] M.-E. Grandmaison, les algorithmes de transformée de fourier, Thèse de l'ecole de technologie superieure.
- [45] M. Murty, Radix-3 Algorithm for Realization of Discrete Fourier Transform, American journal of Engineering Research (AJER), 2016.