

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique



Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A -

Mémoire



Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A -

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

Par

BELAKHDAR MOUCHIRA

Intitulé

**Etude Comparative Sur les différentes Méthodes de
Poursuite GNSS Basés Sur Les Fonctions De Pseudo
Corrélations**

Évalué le :25 /06/2024

Par la commission d'évaluation composée de:

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mme. MELLIZI Noura</i>	<i>MAA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. BELGUIDOUM Khaoula</i>	<i>MAB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. MESSAI Zitouni</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mlle. FENENICHE Wafa</i>	<i>MAB</i>	<i>Co-Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024



Remercîment

Je remercie Dieu, le tout-puissant, qui ma donnée la force et le courage pour suivre mes études.

Je tiens à remercier chaleureusement mon encadreur de mémoire **Messai Zitouni** et Co-Encadreur **wafa feneniche**, pour avoir dirigé ce travail avec beaucoup d'efforts et de patience. Ses qualités pédagogiques et surtout humaines remarquables m'ont permis de profiter de ses connaissances et ont contribué à l'avancement et à l'aboutissement de mon travail et ont fait de cette mémoire une expérience enrichissante pour moi.

Également à remercie toutes les personnes qui ont participé, à titre professionnelle ou personnel à la réalisation de ce travail.

Je remercie aussi le président du jury, ainsi que ces membres, d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Je veux remercier particulièrement toute ma famille et mes amis.



Abstract

The Global Navigation Satellite System (GNSS) adopts Binary Offset Carrier (BOC) modulated signals for spectral resource sharing. Due to the sharp central peak in the autocorrelation function (ACF) of BOC modulated signals, they exhibit better performance compared to older GNSS signal versions, particularly signals modulated with Binary Phase Shift Keying (BPSK). However, the ACF of BOC signals also includes secondary peaks that directly affect positioning accuracy. In this Master's thesis, I studied various methods: USS-RCF, SCS-CBOC, PUDLL, and SRSA. After studying and implementing these methods in the MATLAB environment, I demonstrated that the USS-RCF method effectively eliminates secondary peaks in the ACF of BOC modulated signals under ideal conditions. A comparative study among the proposed methods was conducted to evaluate their efficacy.

Résumé

Le système mondial de navigation par satellite GNSS (Global Navigation Satellite System) adopte les signaux modulés par porteuse à décalage binaire BOC (Binary Offset Carrier) pour le partage des ressources spectrales. En effet, à cause du pic central très pointu présent au niveau de la fonction d'autocorrélation (FAC) des signaux modulés en BOC, ce type de signal présente de meilleures performances par rapport à l'ancienne version des signaux GNSS, plus particulièrement les signaux à modulation par changement de phase binaire BPSK (Binary Phase Shift Keying). Néanmoins, la FAC des signaux modulés en BOC possède des pics secondaires qui influent directement sur la précision de positionnement. Dans ce travail de Master, j'ai étudié le principe de différentes méthodes (USS-RCF, SCS-CBOC, PUDLL, SRSA). En effet, après leur étude et leur implémentation sous l'environnement MATLAB, j'ai démontré que la méthode USS-RCF est efficace, dans des conditions idéales, pour éliminer les pics secondaires dans les FAC des signaux modulés en BOC. Une étude comparative entre les méthodes proposées a été réalisée pour évaluer leur efficacité.

ملخص

يعتمد النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) على الإشارات المُعدلة بواسطة الناقل المنزاح الثنائي (BOC) لتقاسم الموارد الطيفية. في الواقع، بسبب الذروة المركزية الحادة الموجودة في دالة التغيرات الذاتي (FAC) للإشارات المُعدلة بواسطة BOC، فإن هذا النوع من الإشارات يقدم أداءً أفضل مقارنةً بالإصدارات القديمة من إشارات GNSS، وخاصةً الإشارات المُعدلة بواسطة تغيير الطور الثنائي (BPSK). ومع ذلك، فإن دالة التغيرات الذاتي للإشارات المُعدلة بواسطة BOC تحتوي على ذروات ثانوية تؤثر مباشرة على دقة تحديد المواقع. في هذا العمل لنيل درجة الماجستير، تم دراسة طرق مختلفة (USS-RCF، SCS-CBOC، PUDLL، SRSA) في الواقع، بعد دراستها وتطبيقها في بيئة MATLAB، أثبتت طريقة USS-RCF فعالية ملحوظة، في الظروف المثالية، في إزالة الذروات الثانوية في دوال التغيرات الذاتي للإشارات المُعدلة بواسطة BOC. تم إجراء دراسة مقارنة بين الطرق المقترحة لتقييم فعاليتها.

Table des matières

Table des figures.....	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations.....	
Introduction Générale.....	1
I.1.Introduction.....	3
I.2. Signaux GNSS	3
I.2.1. Modulation BPSK.....	5
I.2.2. Modulation BOC.....	5
I.2.2.1 Signal MBOC.....	6
1. La CBOC (Composite BOC).....	7
2. La TMBOC (Time-Multiplexed BOC).....	7
I.3. Réception des signaux GNSS.....	8
I.3.1. Architecture d'un récepteur GNSS.....	8
I.3.2. Acquisition du signal GNSS.....	9
I.3.3. Poursuite du signal GNSS.....	9
I.4.1. Les multi-trajets.....	10
I.4.2. Le bruit.....	10
I.5. Conclusion	10
II.1. Introduction	12
II.2.1. Méthode USS-RCF.....	13
II.2.2. Méthode SCS-CBOC.....	15
II.2.2.1 Fonctions de corrélation et de discrimination de la méthode SCS-CBOC.....	16
II.2.3. Méthode PUDLL.....	17
II.2.3.1. Fonctions de corrélation et de discrimination de la méthode PUDLL.....	17
II.2.4. Méthode SRSA.....	18
II.2.4.1. Génération des séquences des sous-codes PRN.....	18

TABLEAU DE MATIERE

II.2.4.2. Caractéristiques de la FC de la méthode SRSA.....	19
II.2.4.3. Combinaison des fonctions des corrélations.....	19
II.5. Conclusion.....	19
III.1. Introduction.....	21
III.2. Résultats de performance par le critère de l'enveloppe d'erreur.....	21
III.3. Conclusion.....	25

Table des figures

CHAPITRE I : signaux et réception GNSS

FigureI.1.Principe de modulation BOC	6
FigureI.2.Schéma bloc des opérations réalisées par le récepteur	8
FigureI.3.Illustration du phénomène de MTs	10

CHAPITRE II : État de l'art sur les fonctions de pseudo corrélation

Figure II.1. Composition de fonction d'autocorrélation du signal BOC (1,1)	14
Figure II.2.Le processus reconstruit des signaux BOCs(1,1), BOCc(2,1).....	15
Figure II.3.Formes des FPCs de la méthode SCS-CBOC pour différentes valeurs de x	16
Figure II.4. Formes des FPCs du signal BOCs(2,1) pour différentes valeurs de μ	18

CHAPITRE III : Résultats des Simulations Et Comparaison entre Deux méthodes.

Figure III. 1 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (1,1).....	22
Figure III. 2 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (2,1).....	22
Figure III. 3 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (1,1) (le cas le plus adéquat).....	23
Figure III. 4 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (2,1) (le cas le plus adéquat).....	24

Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristique des signaux GNSS [6]	3
Tableau 2 Conditions de simulation.....	21

Liste des abréviations

BOC	Binary Offset Carrier
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CF	Correlation Function
CBOC	Composite Binary Offset Carrier
CDMA	Code Division Multiple Access
FAC	Fonction d'autocorrélation
FC	Fonction de Corrélacion
GLONAS	GLObalnaya Navigatsionnaya Spoutnikovaya Sistema.
GNSS	Global Navigation Satellite System.
GPS	Global Positioning System.
MBOC	Multiplexed Binary Offset Carrier
PRN	Pseudo-Random Noise
PCF	Pseudo Correlation Function
FIC	Fonction d'Intercorrélation
FD	Fonction Discriminatrice
DLL	Delay Locked Loop
PUDLL	Pcf-based Unambiguous DLL.
PLL	Phase Locked Loop
MTs	Multi Trajets
SCS	Step-Shape Code Symbol
SRSA	Sub-function Reconstruction Synchronization Algorithm
TMBOC	Time-Multiplexed Binary Offset Carrier
USS-RCF	Unambiguous Synchronization Scheme Reconstructed Correlation Function
ESRSA	SRSA améliorer

Introduction générale

Introduction Générale

L'histoire de la navigation par satellites a débuté dans les années 70 avec le développement du système GPS américain, et a considérablement évolué jusqu'à nos jours avec l'apparition et le déploiement d'autres systèmes de navigation, permettant à un récepteur GNSS de calculer sa position à tout moment et en tout lieu. Le fonctionnement d'un système GNSS (GPS, Galileo, etc.) repose sur trois segments : le segment spatial, le segment de contrôle et les segments utilisateurs équipés de récepteurs GNSS.

Le segment spatial est composé de l'ensemble de la constellation de satellites répartis sur un certain nombre d'orbites pour assurer une couverture globale de la surface du globe terrestre. La maintenance et la mise à jour de la constellation sont assurées par les segments de contrôle au sol. Ces derniers sont également responsables de la mise à jour des corrections d'horloge ainsi que des éphémérides [1].

Les satellites de la constellation émettent en permanence des signaux à destination des utilisateurs, modulés par différentes techniques de modulation. Par exemple, le système GPS utilise l'ancienne modulation BPSK pour transmettre les signaux, caractérisés par une séquence connue (code PRN). Cependant, avec le développement du système européen GALILEO, de nouvelles techniques telles que la modulation BOC, TMBOC et CBOC ont été introduites, offrant de meilleures performances à la réception et une meilleure résistance à certaines sources d'erreurs telles que les multitrajets et le bruit [2, 3].

Lors de la réception d'un signal provenant d'un satellite, un dispositif est mis en place au niveau du récepteur pour extraire le signal reçu du bruit. Cela implique d'effectuer à chaque fois le produit de corrélation entre le signal reçu et une réplique générée localement par le récepteur [4]. Si la présence du signal associé au satellite est confirmée, le signal est ensuite traité dans chaque canal pour initialiser les processus d'acquisition et de poursuite par les boucles DLL et PLL. Ces processus visent à estimer le retard temporel du code et le déphasage fréquentiel du signal reçu dus au déplacement du satellite, afin d'extraire les informations utiles [5].

Notre travail est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre présente les différentes techniques de modulation utilisées dans les systèmes GNSS, ainsi que l'architecture d'un récepteur GNSS, les opérations d'acquisition et de poursuite, ainsi que l'effet des sources de perturbation telles que le bruit et les multitrajets (MTs).

Le deuxième chapitre on présente les différentes méthodes de poursuite GNSS (USS-RCF, SCS-CBOC, PUDLL, SRSA).

Dans le troisième chapitre, présente la partie simulation, où les résultats des simulations sont exposés. Les différentes méthodes En plus, une étude comparative de cette par rapport à les méthodes classiques.

·
Finalement, ce mémoire sera clôturé par une conclusion d'ordre général.

CHAPITRE I

Signaux et réception GNSS

CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes des navigations GNSS

I.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement le principe de fonctionnement des systèmes GNSS ainsi que la structure de leurs signaux, en mettant l'accent sur le nouveau système Galileo. Ensuite, je décrirai les signaux BPSK et BOC, ce dernier ayant permis l'existence du système Galileo, ainsi que la diversité et la séparation spectrale entre plusieurs signaux partageant la même bande de fréquence. Par la suite, nous détaillerons l'architecture et le principe des mesures des récepteurs Galileo, ainsi que leurs principales tâches. Enfin, nous aborderons les notions de bruit et de multitrajets, qui constituent l'une des principales sources d'erreurs affectant les signaux satellitaires.

I.2. Signaux GNSS

Le tableau suivant présente les caractéristiques des signaux GNSS (GPS, Galileo, GLONASS et COMPASS) tel que le type de modulations, la bande de fréquence etc.

*Tableau 1.1.*Caractéristique des signaux GNSS [6]

GNSS	Bande F [MHz]	Modulation	Fc [MHz]	Bande Passante [MHz]	T. d'accès		
GPS	L1	1575.42	BPSK(10)		10.23	20.460	CDMA
			BPSK(1)		1.023	2.046	CDMA
			MBOC(6,1,1/11)	BOCSin(1,1)	1.023	4.092	CDMA
				TMBOC (6,1,4/33)		14.322	
	BOCSin(10,5)		5.115	30.690	CDMA		
	L2	1227.6	BPSK(10)		10.23	20.460	CDMA
BPSK(1) résultat du multiplexage de 2 flux à 511,5 kHz			0.5115	2.046	CDMA		

Galileo	L5	1176.45	BOCSin(10,5)		5.115	30.690	CDMA
			BPSK(10)		10.23	20.460	CDMA
			BPSK(10)		10.23	20.460	CDMA
	E1	1575.42	BOCCos(15,2.5)		2.55575	35.805	CDMA
			CBOC(6,1,1/11)	BOCSin(1,1)	1.023	4.092	CDMA
				BOCSin(6,1)		14.322	
	E6	1278.75	BOCCos(10,5)		5.115	30.690	CDMA
			BPSK(5)		5.115	10.23	CDMA
			BPSK(5)		5.115		CDMA
	E5	1191.795	AltBOC(15,10)		10.23	51.150	CDMA

GLONASS	G1	1602	BPSK(5.11)		5.11	-	-	FDMA
			BPSK(0.511)		0.511	-	-	FDMA
	G2	1246	BPSK(5.11)		5.11	-	-	FDMA
			BPSK(0.511)		0.511	-	-	FDMA
GLONASS (Futur)	G1	1600,995	BOCSin(1,1)		1.023	1.023	4.092	CDMA
	G2	1248.06	BPSK(10)		10.23	-	20.460	CDMA
	G3	1202.025	BPSK(10)		10.23	-	20.460	CDMA
COMPASS	B1	1561.098	QPSK(2)		2.046	-	4.092	CDMA
		1589.742	QPSK(2)		2.046	-	4.092	CDMA
	B2	1207.14	BPSK(2)		2.046	-	4.092	CDMA
			BPSK(10)		10.23	-	20.460	CDMA

	B3	1268.52	QPSK(10)	10.23	-	20.460	CDMA
COMPASS (Futur)	B1	1575.42	MBOC(6,1,1/11)	BOCS(1,1)	1.023	4.092	CDMA
				BOCS(6,1)	6.138	14.322	CDMA
			BOC(14,2)		2.046	14.32 2	28.644
	B2	1191,79 5	AltBOC(15,10)	10.23	15.34 5	51.150	CDMA
	B3	1268.52	BPSK(10)		10.23	-	20.460
BOC(15,2.5)			2.5575	15.34 5	35.805	CDMA	

I.2.1. Modulation BPSK

Dans un système GNSS, les signaux de base modulés en Binary Phase Shift Keying (BPSK) et présentant une variation continue dans le temps, peuvent être défini comme suit [7]:

$$S_{BPSK}(t) = D(t) \cdot C(t) \cdot P(t) \quad (I.1)$$

Avec :

$D(t)$: Signal des données de navigation.

$C(t)$: est le code pseudo aléatoire PRN (Pseudo Random Noise) .

$P(t)$: est la sous porteuse du signal BOC.

I.2.2. Modulation BOC

Les signaux Galileo et GPS modernisé présentent des performances améliorées par rapport aux signaux GPS de génération précédente. Parmi ces signaux, la modulation à double décalage fréquentiel, également connue sous le nom BOC pour Binary Offset Carrier en anglais [8]. Les signaux BOC peuvent être représentés par BOC (x, y), où x et y désignent les paramètres de modulation. Dans cette notation, x représente la fréquence de la sous-porteuse (F_{sc}) et y le débit de code (F_c), tous deux étant des entiers positifs. Ces paramètres peuvent être exprimés par l'équation suivante [4].

$$\begin{cases} f_s = x \times R_c \\ f_c = y \times R_c \end{cases} \quad (\text{I.2})$$

En général, le signal BOC est noté par BOC (m, n) ou BOC (f_s, f_c) où f_s est la fréquence de la sous-porteuse et f_c est la fréquence du code d'étalement tel que [9] :

$$f_s = m \times 1.023 \text{ MHz} \quad (\text{I.3})$$

$$f_c = n \times 1.023 \text{ MHz} \quad (\text{I.4})$$

Par définition, le signal BOC peut être donné comme suit [7] :

$$S_{Boc}(t) = d(t) \cdot c(t) \cdot s_p(t) \quad (\text{I.5})$$

$D(t)$: Signal des données de navigation.

$C(t)$: est le code pseudo aléatoire PRN (Pseudo Random Noise).

$s_p(t)$: signal de sous porteuse de fréquence f_{sc} .

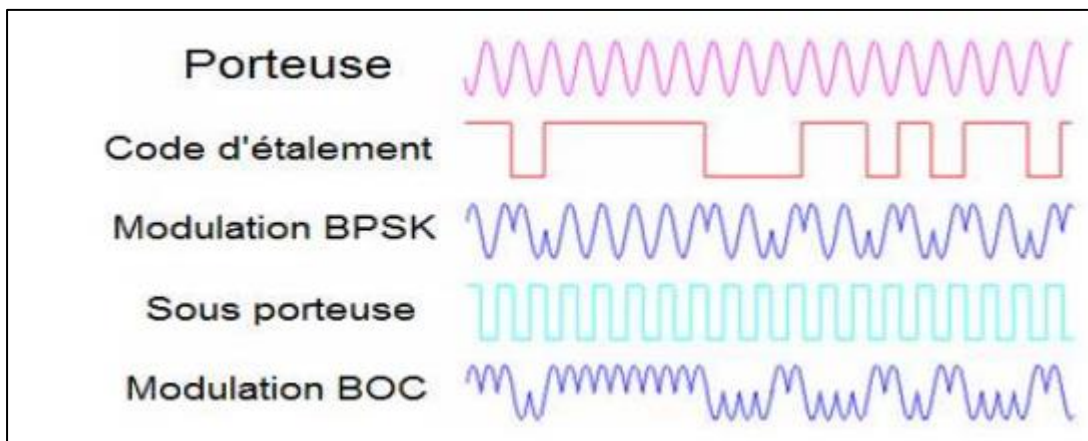


Figure 1.1. Principe de modulation BOC [10].

I.2.2.1 Signal MBOC

MBOC (Multiplexed BOC) est proposée pour les futurs signaux GPS et Galileo. Elle offre deux approches d'implémentation, comme mentionné dans [9]:

1. La CBOC (Composite BOC)

Le signal CBOC, ou Composite Binary Offset Carrier, est une modulation utilisée dans les systèmes de navigation par satellite, notamment dans le système de navigation par satellite Galileo. Il est basé sur la combinaison linéaire de deux signaux BOC (Binary Offset Carrier) : BOC (1,1) et BOC (6,1). Le signal CBOC peut être défini par les deux formes suivantes [2][11] :

$$CBOC(6,1,\beta,'+')(t) = \sqrt{(1-\beta)} x(t) + \sqrt{\beta} y(t) \quad (I.6)$$

$$CBOC(6,1,\beta,'-')(t) = \sqrt{(1-\beta)} x(t) - \sqrt{\beta} y(t) \quad (I.7)$$

Ou :

β : est le facteur de pondération réel qui est lié à la répartition de puissance entre les deux canaux donnés et pilote.

Les valeurs $1 - \beta$: sont les coefficients de puissance qui définissent l'allocation de puissance de chaque composante.

Il est important de noter que dans l'approche CBOC (6,1,1/11), le signe de la sous-porteuse BOC (6,1) diffère entre les deux canaux, données et pilote. Cela signifie que la phase de la sous-porteuse BOC (6,1) est inversée entre les deux canaux, ce qui peut être crucial pour la cohérence et la précision du système de navigation par satellite Galileo.

2. La TMBOC (Time-Multiplexed BOC)

L'implémentation du signal TMBOC (Time Multiplexed Binary Offset Carrier) repose sur le multiplexage des symboles d'étalement de deux signaux : BOC (1,1) et BOC (6,1). Le TMBOC combine ces deux signaux en les multiplexant dans le domaine temporel.

La forme du signal TMBOC est définie par une séquence temporelle où les symboles d'étalement de BOC (1,1) et de BOC (6,1) sont multiplexés selon un schéma prédéfini. Cette séquence temporelle peut être spécifiée en détail dans les références [7], [12].

$$TMBOC(6,1,P)(t) = \begin{cases} x(t) & \text{si } t \in S_1, \text{ avec: } S_1 = \cup S_p \text{ de } BOC(1,1). \\ y(t) & \text{si } t \in S_2, \text{ avec: } S_2 = \cup S_p \text{ de } BOC(6,1). \end{cases} \quad (I.8)$$

$x(t)$: Représente la sous-porteuse de BOC (1, 1)

$y(t)$: Représente la sous-porteuse de BOC (6, 1)

Les segments de temps S_1 et S_2 représentent l'union des intervalles de temps où les sous-porteuses BOC (1,1) et BOC (6,1) sont utilisées respectivement.

P : Représente la distribution de la puissance du signal BOC (6,1) par rapport au signal BOC (1,1).

I.3. Réception des signaux GNSS

Un récepteur GNSS est une combinaison de matériels et de logiciels capable de recevoir les signaux GNSS de plusieurs satellites, puis de les traiter afin d'obtenir des informations telles que la position, la vitesse et la synchronisation.

I.3.1. Architecture d'un récepteur GNSS

Un utilisateur situé à n'importe quel point de la surface de la Terre peut se localiser grâce aux systèmes GNSS. En effet, c'est à travers d'un récepteur que l'utilisateur accède aux services de localisation, que ce soit pour des utilisations civiles ou militaires. Le récepteur GNSS est composé de plusieurs éléments (étages), chacun chargé d'accomplir une tâche spécifique. La Figure I.2 représente l'architecture générale d'un récepteur GNSS.

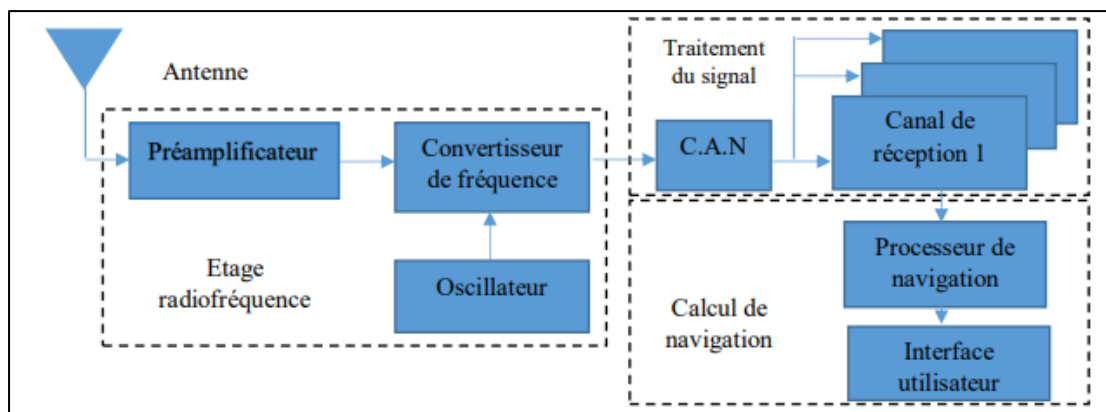


Figure I.2 Schéma bloc des opérations réalisées par le récepteur [4].

I.3.2. Acquisition du signal GNSS

Pour démarrer le processus de poursuite du signal de navigation, le récepteur effectue une étape d'acquisition essentielle. Cette opération vise à détecter la présence du signal d'un satellite parmi ceux reçus par l'antenne du récepteur. L'acquisition permet également de déterminer le décalage du code et l'écart de fréquence causés par la propagation du signal et l'effet Doppler. Ces informations sont ensuite utilisées pour initialiser les boucles de poursuite [9].

De manière générale, l'acquisition constitue une recherche temps-fréquence qui consiste à calculer les corrélations entre le signal reçu et une réplique locale, tout en tenant compte d'un délai et d'un Doppler spécifiques. Cette opération a deux objectifs principaux :

- Détecter la présence d'un satellite parmi les signaux captés par l'antenne du récepteur ;
- Déterminer, une fois la présence d'un satellite confirmée, le retard sur le code et la fréquence Doppler associés au signal reçu, afin d'initialiser correctement les boucles de poursuite.

I.3.3. Poursuite du signal GNSS

Effectivement, la précision du retard sur le code, de la phase et de la fréquence est cruciale pour le processus de désétalement du spectre et l'accès aux données de navigation dans un récepteur GNSS. Ces paramètres doivent être continuellement affinés en raison des mouvements relatifs entre le satellite et le récepteur [5][13].

Le rôle de l'étape de poursuite est donc de suivre et d'ajuster en temps réel l'évolution du retard, de la fréquence et de la phase induite par ces mouvements.

Les circuits chargés de la poursuite du code sont appelés DLL (Delay Lock Loops), tandis que ceux chargés de la poursuite de la phase sont appelés PLL (Phase Lock Loops).

Lorsque les boucles PLL et DLL sont verrouillées, il devient possible de décoder le message de données de navigation.

Les DLL maintiennent le verrouillage avec le code PRN émis par le satellite, tandis que les PLL assurent la cohérence de phase avec le signal de porteuse.

I.4. Sources d'erreurs

I.4.1. Les multi-trajets

Le phénomène de multi-trajets (MTs) est causé par la réflexion des signaux GNSS sur diverses surfaces réfléchissantes telles que le sol, la mer, les toits, les bâtiments, les arbres, etc., ainsi que par des obstacles environnants qui perturbent leur propagation. Ces signaux peuvent subir des réflexions, des diffractions ou même être complètement bloqués.

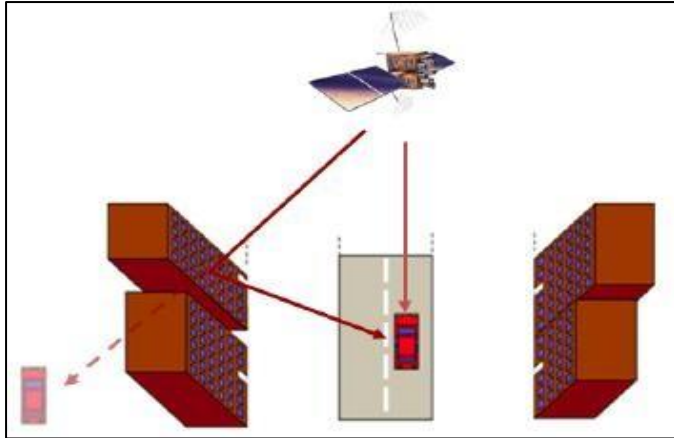


Figure 1.3. Illustration du phénomène de MTs [4].

I.4.2. Le bruit

Le bruit blanc gaussien additif (AWGN) est un élément courant qui perturbe les signaux utiles dans de nombreux systèmes de communication. L'équation classique qui décrit cette situation est:

$$x(t) = s(t) + b(t) \quad (\text{I.9})$$

Où:

$x(t)$: représente le signal reçu.

$s(t)$: représente le signal utile ou le signal transmis.

$b(t)$: représente le bruit blanc gaussien additif.

I.5. Conclusion

J'ai exploré dans la première partie de ce chapitre le principe de fonctionnement du système de navigation par satellite Galileo, ainsi que la structure des signaux GNSS, en mettant particulièrement l'accent sur le système Galileo qui repose principalement sur l'implémentation du signal BOC. J'ai également examiné le fonctionnement du système de réception, qui analyse

les signaux reçus pour estimer leur temps de vol, tout en tenant compte des erreurs dues principalement aux MTs et au bruit.

CHAPITRE II

**État de l'art sur les fonctions
de pseudo corrélation**

Chapitre II : État de l'art sur les fonctions de pseudo corrélation

II.1. Introduction

Dans le domaine des systèmes GNSS, malgré les avantages des signaux BOC, les chercheurs continuent de faire face à des défis importants, notamment la présence de pics secondaires dans les fonctions d'autocorrélation (FAC) des signaux modulés en BOC. Pour résoudre ce problème, plusieurs techniques ont été proposées dans la littérature scientifique. Une approche novatrice de synchronisation non ambiguë, présentée dans la référence [1] sous le nom de USS-RCF, est particulièrement prometteuse. Cette méthode est basée sur la reconstruction d'une FAC non ambiguë, exploitant deux configurations principales décrites analytiquement.

Dans une autre approche, décrite dans la référence [4], l'approche SCS-CBOC repose sur l'utilisation de symboles de code en forme de marches (Step-shape Code Symbol, SCS) pour la réception de signaux modulés en CBOC. Bien que cette méthode montre de bonnes performances en conditions idéales, elle présente des limitations significatives en environnement réel. Le bruit introduit par la suppression d'une partie du signal reçu constitue une première limitation, tandis que l'effet des signaux multitrajets altère également les FAC, constituant une deuxième limitation.

Dans le même domaine, l'algorithme PUDLL (PCF based Unambiguous DLL), présenté dans la référence [7], est spécifiquement conçu pour les signaux modulés en BOCs (kn, n). Cette méthode propose une solution efficace à l'ambiguïté du récepteur GNSS en ajustant un paramètre spécifique pour optimiser la plage linéaire de la fonction de démodulation (FD). Cependant, l'augmentation de l'ordre de modulation des signaux BOCs (kn, n) peut entraîner une dégradation des performances en présence de bruit et d'effet de multi trajet.

Ces avancées seront examinées de manière comparative dans le dernier chapitre de ce mémoire, afin d'évaluer leur efficacité respective dans les conditions réelles d'utilisation des systèmes GNSS.

II .2. Les Méthodes proposées

II.2.1. Méthode USS-RCF

Les auteurs de la référence [14] ont proposé l'introduction d'un format matriciel pour la Fonction d'Autocorrélation de Fréquence (FAC) des signaux modulés en BOC. En utilisant une combinaison de plusieurs formes triangulaires, chacune caractérisée par un décalage temporel et un coefficient d'amplitude spécifiques, ils ont réussi à représenter de manière précise le FAC des signaux BOCs (x,y) à l'aide de cette matrice.

$$R = \sum \begin{bmatrix} d_0 d_0 \wedge T_{sc} & d_1 d_0 \wedge (\tau - T_{sc}) d_2 d_0 \wedge (\tau - 2T_{sc}) & \dots & d_N d_0 \wedge (\tau - NT_{sc}) \\ d_0 d_1 \wedge (\tau + T_{sc}) & d_1 d_1 \wedge T_{sc} d_2 d_1 \wedge (\tau - T_{sc}) & \dots & d_N d_1 \wedge (\tau - (N-1)T_{sc}) \\ d_0 d_2 \wedge (\tau + 2T_{sc}) & d_0 d_1 \wedge (\tau + T_{sc}) & d_2 d_2 \wedge T_{sc} & \dots d_N d_2 \wedge (\tau - (N-2)T_{sc}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_0 d_N \wedge (\tau + NT_{sc}) & d_1 d_N \wedge (\tau + (N-1)T_{sc}) d_2 d_N \wedge (\tau + (N-2)T_{sc}) & \dots & d_N d_N \wedge T_{sc} \end{bmatrix} \quad (\text{II-1})$$

Il convient de noter que l'équation (II-1) a été dérivée à partir de l'équation (I-1) présentée dans le premier chapitre. Cette dernière est composée de plusieurs fonctions trigonométriques qui définissent $\Lambda_{T_{sc}}$. Chaque paire de triangles adjacents satisfait à la propriété de perpendicularité. Cela signifie que la valeur maximale de toute fonction trigonométrique $\Lambda(\tau - kT_{sc})$ est alignée avec la valeur nulle de la fonction du triangle adjacent. $\Lambda(\tau - (k-1)T_{sc})$.

En prenant la FAC BOCs (1,1) comme exemple, D'après l'équation (I.II), ses vecteurs de code de forme sont :

$$d_{j1} = [1, -1] \quad (\text{II-2})$$

$$d_{j2} = [1, -1] \quad (\text{II-3})$$

Les ensembles de corrélations correspondants sont présentés dans la figure II-1 et sont définis par les équations suivantes [14] : L1, L2, L3 et L4.

$$L1 = d_{j10} - d_{j20} - \Lambda_{T_{sc}} \quad (\text{II-4})$$

$$L2 = d_{j11} - d_{j21} - \Lambda_{T_{sc}} \quad (\text{II-5})$$

$$L3 = d_{j10} - d_{j21} - \Lambda(\tau + T_{sc}) \quad (\text{II-6})$$

$$L4 = d_{j11} - d_{j20} - \Lambda(\tau - T_{sc}) \quad (\text{II-7})$$

Dans la référence [14], les auteurs ont proposé une combinaison de formes C1 et C2, qui ont des amplitudes égales et peuvent s'exprimer comme suit.

$$C1 = L1 + L3 \quad (\text{II-8})$$

$$C2 = L2 + L4 \quad (\text{II-9})$$

Les deux formes C1 et C2 représentent deux fonctions de corrélation notées respectivement « R_{C1} » et « R_{C2} ». La relation entre ces deux fonctions est donnée par:

$$R_{C1}(-\tau) = R_{C2}(\tau) \quad (\text{II-10})$$

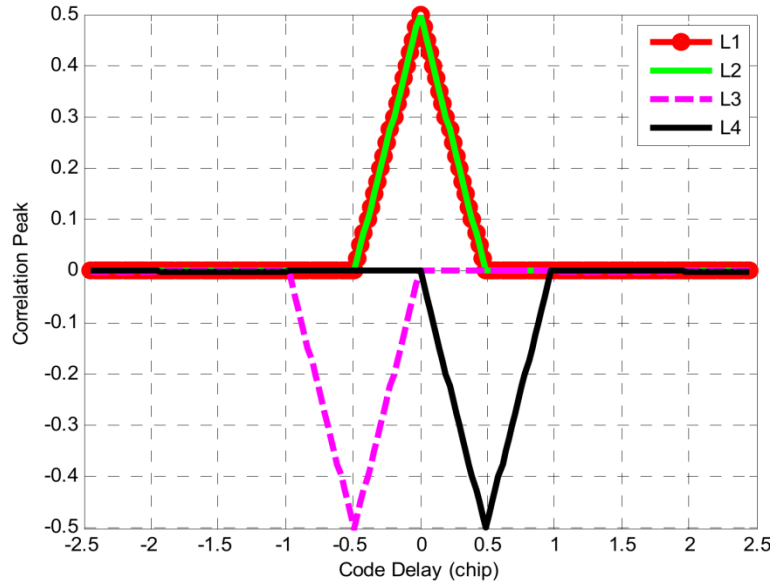


Figure II.1. Composition de fonction d'autocorrélation du signal BOC (1,1) [14].

La fonction de corrélation explicite proposée dans la référence [14], représentée par " $R_{Non_ambigüe}$ " peut être reconstruite par un ensemble de fonctions de corrélation " R_{C1} " et " R_{C2} ", exprimées par l'équation suivante :

$$R_{Non_ambigüe} = |RC1|Rp = |RC1| + |RC2| - |RC1 - RC2| \quad (\text{II.11})$$

Les fonctions de corrélation combinées C1 et C2 de BOCs(1,1), BOCc(1,1) et BOCs(2,1) sont présentées dans la Figure II.2 ou (a) est La fonction de combinaison de sous-corrélation ; (b) La simple combinaison de fonctions de sous-corrélation ; (c) La reconstruction de la fonction de corrélation [14].

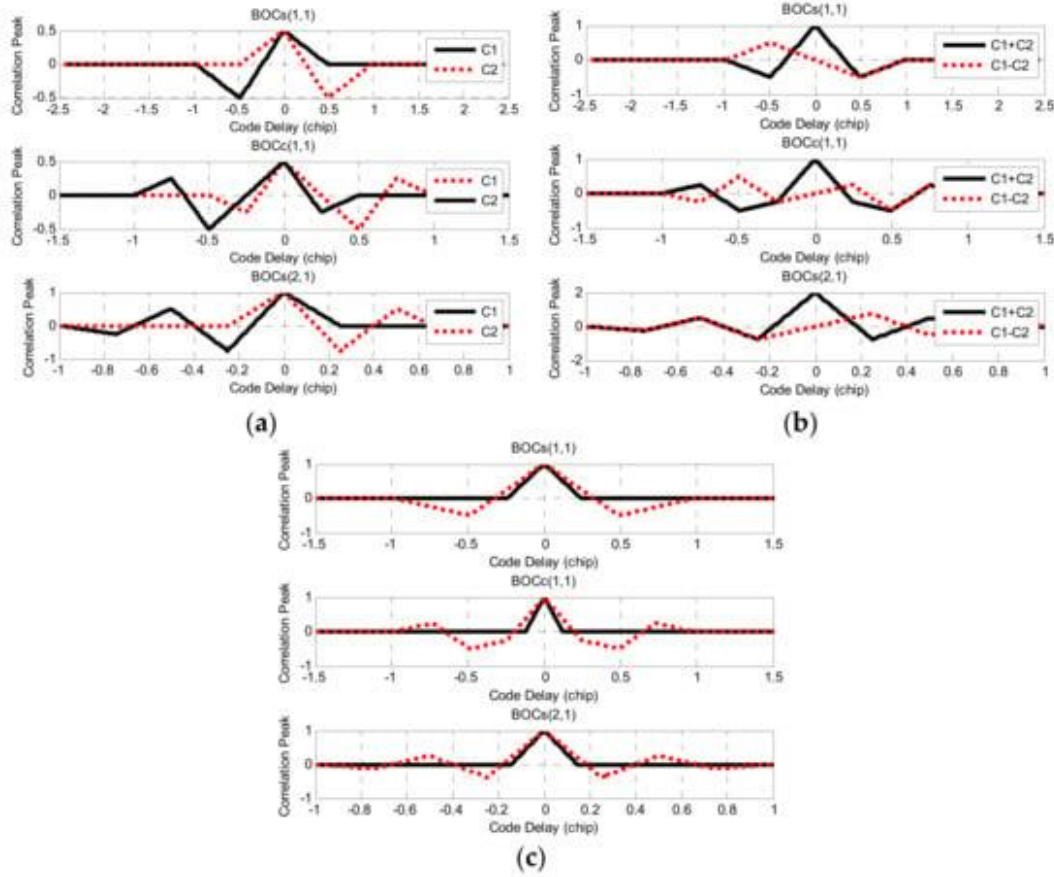


Figure II.2. Le processus reconstruit des signaux BOCs(1,1), BOCc(2,1)

II.2.2. Méthode SCS-CBOC

Dans la référence [16], un nouveau suivi est proposé, qui vise à supprimer le pic secondaire de FAC du signal CBOC tout en conservant le pic principal. L'idée de base de cette méthode est d'utiliser la combinaison FPC dans le discriminateur. Ici, deux signaux SCS : $S_1(t)$ et $S_2(t)$ sont générés localement en utilisant respectivement les symboles $p_1(t; x)$ et $p_2(t; x)$ qui peuvent être exprimés comme suit [16] :

$$p_n(t; x) = \sqrt{\frac{12}{x}} \sum_{k=q_n}^{q_n-1+x} \psi_k(t), \quad n = 1,2 \quad (\text{II.12})$$

Le signal CBOC reçu doit être lié aux deux signaux locaux $S_1(t)$ et $S_2(t)$ respectivement. Les résultats obtenus sont combinés pour obtenir le FPC donné par [16] :

$$R(\tau; x) = |R_{CBOC/S_1}(\tau)| + |R_{CBOC/S_2}(\tau)| - |R_{CBOC/S_1}(\tau) + R_{CBOC/S_2}(\tau)| \quad (\text{II.13})$$

Où, $R_{CBOC/S_1}(\tau)$ et $R_{CBOC/S_2}(\tau)$ sont respectivement la corrélation du signal CBOC reçu avec $S_1(t)$ et celle du même signal avec $S_2(t)$.

La FPC proposée par la méthode SCS-CBOC remplace la FAC à l'entrée de la DLL non cohérente dont le modèle de la FD est donné par [16]:

$$D(\tau; x) = R^2\left(\tau - \frac{\delta}{2}; x\right) - R^2\left(\tau + \frac{\delta}{2}; x\right) \quad (\text{II.14})$$

Où, δ est l'espace E-L du discriminateur

II.2.2.1 Fonctions de corrélation et de discrimination de la méthode SCS-CBOC

Pour différentes valeurs de "x", le FPC (Corrélateur de Poursuite Fréquentielle) de la méthode SCS-CBOC est illustré dans la figure (II.3). Chaque FPC montre un pic principal distinct, ce qui se traduit par un gain élevé dans la boucle DLL, atteignant un maximum à $x=7$ [17]. De plus, contrairement à la forme conventionnelle de la FAC (Fonction d'Autocorrélation) du signal CBOC, le FPC obtenu ne présente aucun pic secondaire.

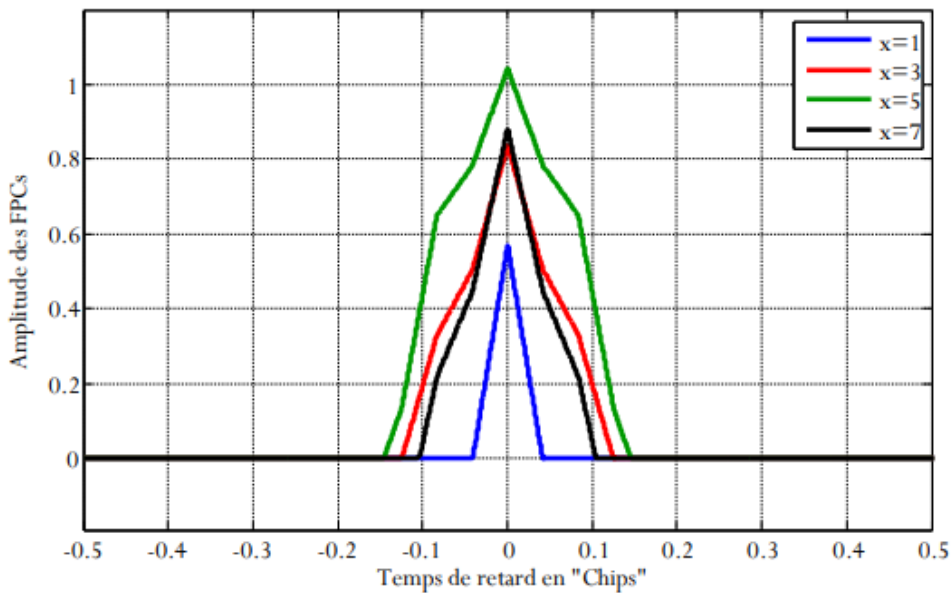


Figure II.3. Formes des FPCs de la méthode SCS-CBOC pour différentes valeurs de x [7].

II.2.3. Méthode PUDLL

Dans la référence [18], les auteurs ont proposé un algorithme de suivi spécifiquement pour les signaux modulés en BOC (kn), appelé PUDLL. Dans cette méthode, les auteurs proposent l'utilisation de deux signaux locaux SCS, $S_1(t)$ et $S_2(t)$, ayant la même fréquence f_X . Les vecteurs de forme de ces deux signaux sont respectivement donnés par [18][19]:

$$d_1 = [d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{M-1}^{(1)}]^{T_{imp}} \quad (\text{II.15})$$

$$d_2 = [d_0^{(2)}, d_1^{(2)}, \dots, d_{M-1}^{(2)}]^{T_{imp}} \quad (\text{II.16})$$

Les symboles SCS pour $S_1(t)$ et $S_2(t)$ seront représentés respectivement par " $p_1(t; d_1; f_X)$ " et " $p_2(t; d_2; f_X)$ ". Le FPC de la méthode PUDLL est obtenu grâce à une combinaison non cohérente, comme décrit dans [18] :

$$R_{PUDLL}(\tau) = |R_{BOCs/S_1}(\tau)| + |R_{BOCs/S_2}(\tau)| - |R_{BOCs/S_1}(\tau) + R_{BOCs/S_2}(\tau)| \quad (\text{II.17})$$

Le FIC du signal reçu BOCs (kn, n) avec $(t; d_1, f_X)$ est noté $R_{BOCs/S_1}(\tau)$, tandis que le FIC du même signal avec $p_2(t; d_2, f_X)$ est représenté par $R_{BOCs/S_2}(\tau)$.

L'expression de la FPC non ambiguë de la PUDLL sera donc la suivante [18]:

$$\hat{R}_{PUDLL}(\tau; \mu) = \begin{cases} \frac{M(2\mu - 4)|\tau| + 2(1 - \mu)T_X}{\sqrt{M(1 + \mu^2)T_X}}, & |\tau| < \frac{(1 - \mu)T_X}{M(2 - \mu)} \\ 0, & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

Avec:

M : représente l'ordre de modulation.

μ : représente le facteur de pondération ($\mu = d_{M-1}/d_0$).

II.2.3.1. Fonctions de corrélation et de discrimination de la méthode PUDLL

D'après les observations des figures (II.4), la méthode PUDLL parvient à supprimer complètement les pics secondaires de la fonction d'autocorrélation (FAC) des signaux BOCs (kn). Cela indique que la corrélation implémentée par PUDLL est conçue pour offrir une

réponse claire et non ambiguë, permettant une détection précise du signal souhaité sans confusion avec d'autres signaux ou bruits.

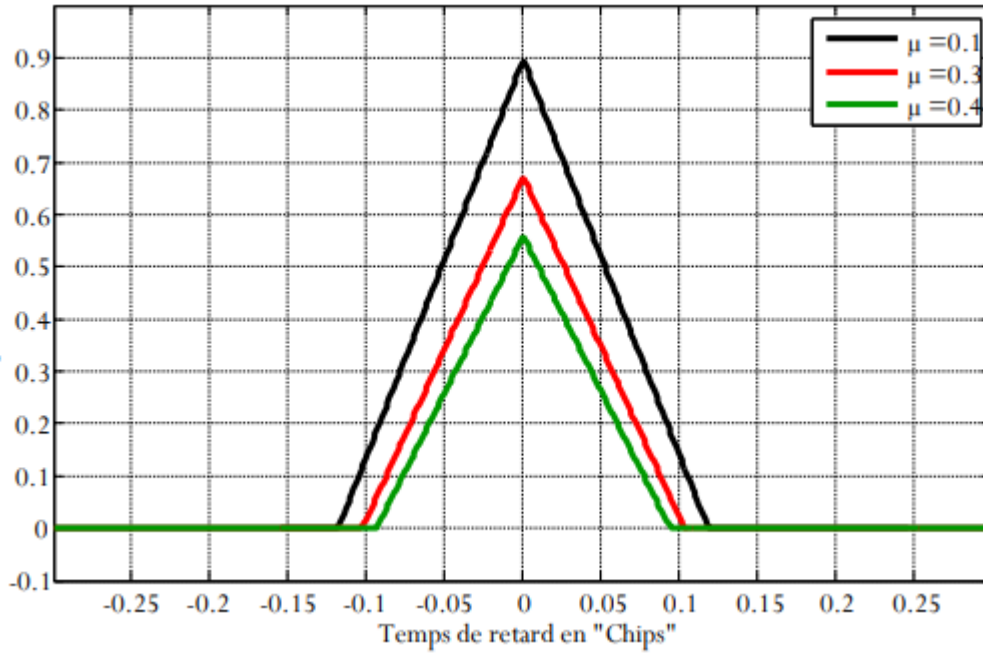


Figure II.4. Formes des FPCs du signal BOCs(2,1) pour différentes valeurs de μ [6].

II.2.4. Méthode SRSA

Cette méthode semble utiliser une approche de division et de corrélation pour générer des codes auxiliaires qui facilitent l'acquisition et le suivi du signal.

Les détails des étapes de l'algorithme SRSA seront présentés dans les sections suivantes [20] :

II.2.4.1. Génération des séquences des sous-codes PRN

Il est clair que les codes BOC et les codes PRN peuvent être représentés sous forme d'impulsions, comme suit :

$$S_{PRN}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_i P_{T_c}(t - iT_c) = \sum_{i=0}^M S_{PRN,i}(t) \quad (\text{II.19})$$

$$S_{BOC}(t) = \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} C_i (-1)^j P_{T_c}(t - iT_{c-j} - jT_{sc}) \quad (\text{II.20})$$

Où :

P_{T_C} : Impulsion rectangulaire d'une période T_C et d'une amplitude unité ;

$P_{T_{SC}}$: Impulsion rectangulaire d'une période T_{SC} et d'une amplitude unité ;

C_i : Symbole du chip (-1,1) ;

II.2.4.2. Caractéristiques de la FC de la méthode SRSA

En tenant compte du temps d'intégration T_{coh} , les fonctions d'intégration cohérente (FIC) du code BOC et du code PRN sont exprimées comme suit :

$$\begin{aligned}
 S_{PRN}(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_i P_{T_C}(t - iT_C) = \sum_{i=0}^M S_{PRN,i}(t) R_{B/P}(\tau) \\
 &= \frac{1}{T_{coh}} \int_0^{T_{coh}} S_{BOC}(t) \cdot S_{PRN}(t + \tau) dt \\
 &= \frac{1}{T_{coh}} \frac{T_{coh}}{T_c} \int_{-\tau}^{T_{coh}} S_{BOC}(t) \cdot S_{PRN}(t + \tau) dt \\
 &= \sum_{i=1}^M \frac{R_B}{P_i}(\tau)
 \end{aligned} \tag{II.21}$$

$$R_{B/P_i}(\tau) = \frac{1}{T_{coh}} \int_0^{T_{coh}} S_{BOC}(t) \cdot S_{PRN,i}(t + \tau) dt \tag{II.22}$$

II.2.4.3. Combinaison des fonctions des corrélations

En analysant les sous-fonctions de corrélation du signal BOC (m,n) pour différentes valeurs de l'ordre de modulation, on observe que la position du pic principal de la fonction de corrélation du premier segment correspond à celle du pic principal de la fonction de corrélation du dernier segment. De plus, le pic latéral correspond aux zéros. Indépendamment de la valeur de N, il est clair que le produit R_{B/P_1} avec R_{B/P_N} e donne une valeur non-nulle qu'en (0,0). On peut également obtenir R_{B/P_N} en décalant R_{B/P_1} par une quantité égale à $(N - 1)T_c/N$ et en le multipliant par -1. En combinant ces fonctions de corrélation, on obtient la fonction R_0 donnée par :

$$R_0 = -R_{B/P_1} \cdot R_{B/P_N} \tag{II.23}$$

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons débuté par une étude théorique des méthodes décrites dans les références [1] et [7]. Cette étude a commencé par l'examen du processus de transformation de la

fonction d'autocorrélation (FAC) des signaux modulés en BOC en une matrice, et par la génération de la FAC reconstruite non ambiguë. Ensuite, tous ces modèles mathématiques ont été implémentés et simulés sous Matlab afin de vérifier la validité des raisonnements théoriques de la méthode proposée. Les résultats de cette implémentation ont démontré que cette méthode résout théoriquement le problème d'ambiguïté au niveau du processus d'acquisition. Pour permettre une comparaison des performances, une autre méthode visant à annuler les pics secondaires, également basée sur le principe d'une reconstruction de la FAC, a été présentée dans la seconde partie de ce chapitre.

CHAPITRE III

Résultats des Simulations Et Comparaison entre les méthodes

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les résultats de simulation de certain algorithme basée sur les PCFs pour les signaux BOC et CBOC. A cet effet, on va tout d’abord utilisée le critère de mesure des performances à s’avoir l’enveloppe d’erreur. Postérieurement, on va présenter et discuter les résultats en termes de performances de ces algorithmes à partir de ce critère. De ce fait, une étude comparative de la méthode SRSA, la méthode PUDLL, la méthode CBOC-SCS, la méthode SRSA amélioré (ESRSA), et les méthodes classiques sera analysée et discutée. Ici, on va montrer le cas le plus bienséant des résultats des performances qui devraient être normalement obtenus par la méthode ERSSA dans les normes standards.

III.2. Résultats de performance par le critère de l’enveloppe d’erreur

Une méthode plus fiable pour évaluer les performances en présence de MTs consiste à calculer l’enveloppe d’erreur causée par ces MTs. Cette enveloppe représente l’erreur de poursuite maximale produite lorsque la différence de phase entre les signaux direct et réfléchi est de 0 ou 180 degrés. Une bonne performance en présence de MTs se caractérise par une faible amplitude de cette enveloppe et une plage de variation réduite.

Tableau 2 Conditions de simulation

Structure de réception	Retard relatif du MT en chips	Amplitude relative du MT par rapport au LOS	SNR	Phase relative du MT par rapport au LOS en degrés
SRSA SCM ($w=5/w=1$)	De 0 à 1.5	0.5	-30 dB	0 et 180

Les figures (III.1) et (III.2) montrent les performances de l’algorithme SRSA par rapport à celles obtenues par la méthode classique pour deux valeurs de l’ordre de modulation N .

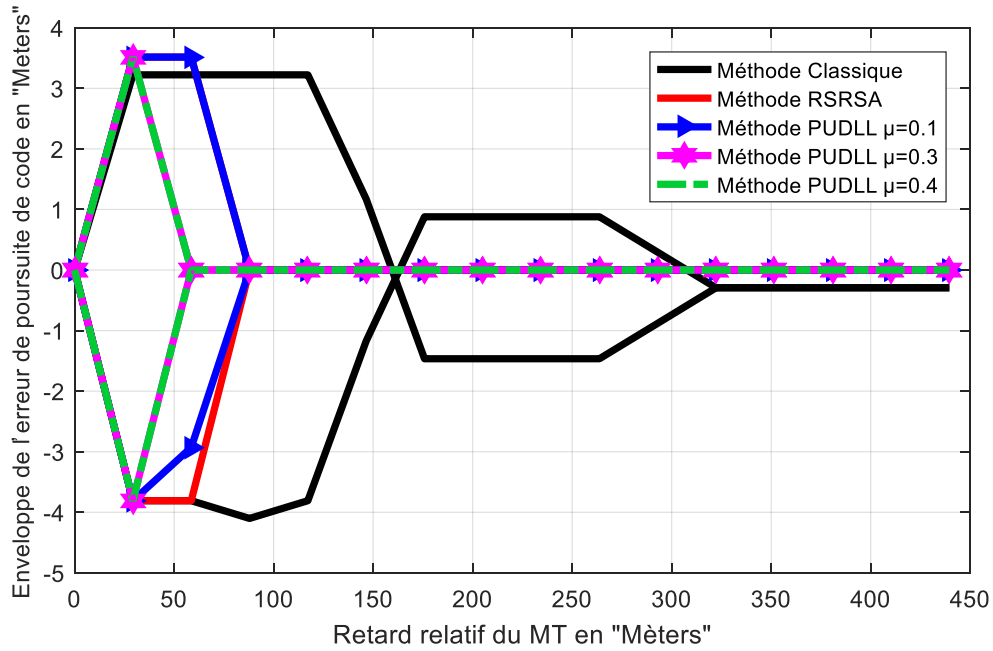


Figure III. 1 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (1,1).

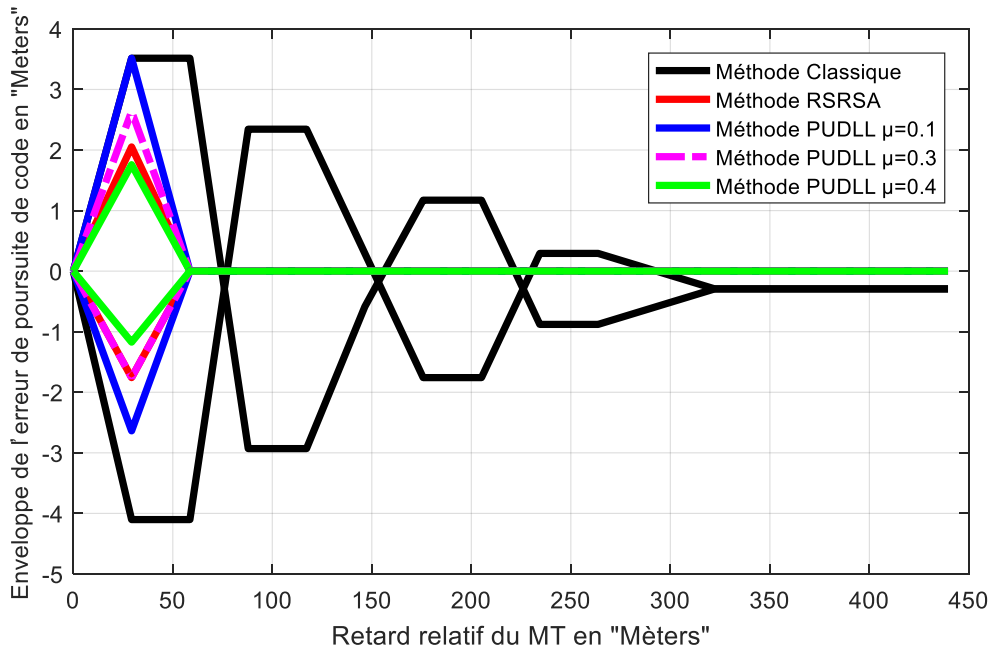


Figure III. 2 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (2,1).

Comme le montrent les figures (III.1) et (III.2), on ne constate que l'algorithme ESRSA présente de meilleures performances par rapport à les méthodes classiques. En effet, pour un signal BOC (1,1) reçu, l'algorithme ESRSA présente pratiquement les mêmes performances que celles des méthodes classiques sur la plage du retard de MT allant de 0 à 28 mètres. En outre, il présente les meilleures performances sur la plage du retard de MT allant de 28 mètres jusqu'à 90 mètres. De plus, quand le retard du MT dépasse 90 mètres, l'erreur présentée par l'algorithme ESRSA est nulle. Par conséquent, l'algorithme ESRSA, appliqué au signal BOC (1,1), est plus résistant aux MTs en comparaison avec les méthodes classiques.

Pour le signal BOC (2,1) reçu, l'algorithme ESRSA présente aussi les mêmes performances que celles des méthodes classiques sur la plage du retard du MT allant de 0 à 28 mètres. En outre, il présente les meilleures performances sur la plage du retard de MT allant de 28 mètres à 60 mètres.

De plus, quand le retard du MT dépasse 60 mètres, l'erreur présentée par l'algorithme ESRSA est complètement nulle.

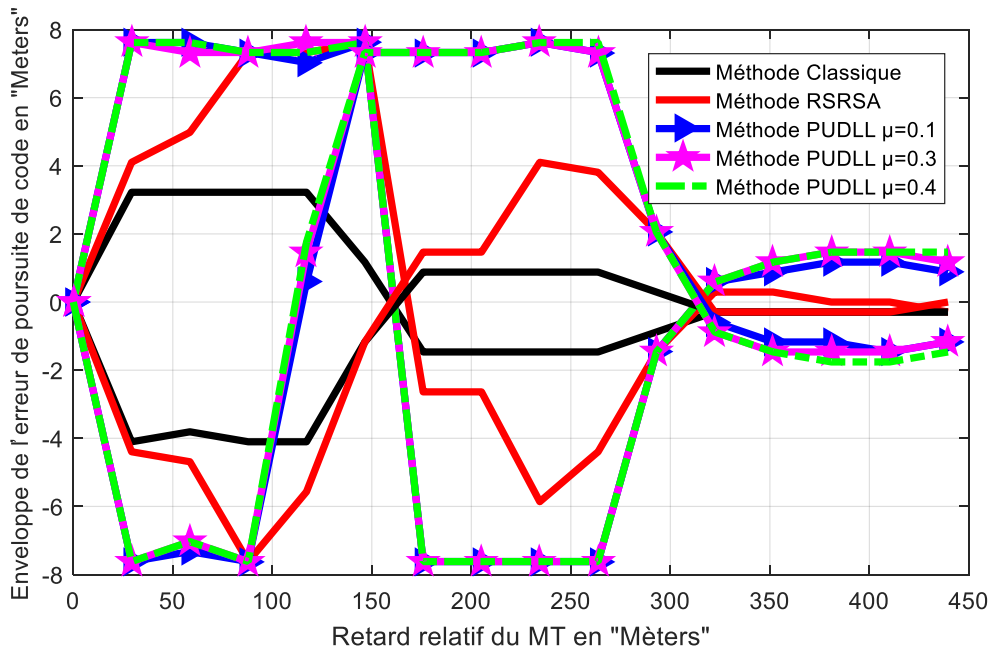


Figure III. 3 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (1,1) (le cas le plus adéquat).

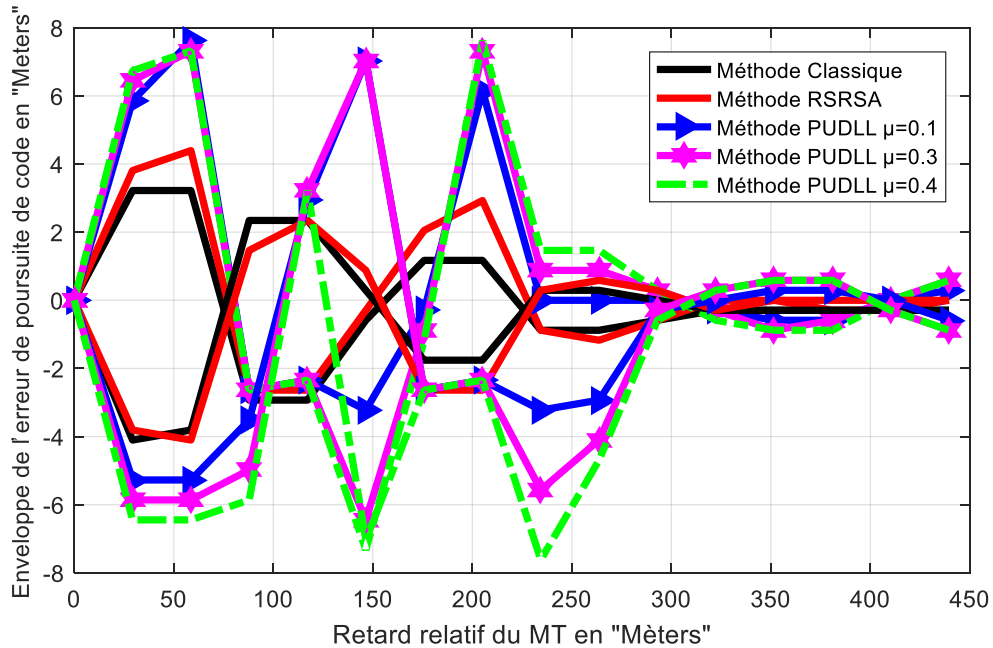


Figure III. 4 Enveloppes d'erreur en fonction du retard relatif du MT pour la réception classique et la réception par la méthode ESRSA du signal BOC (2,1) (le cas le plus adéquat).

Les figures (III.3), (III.4), montrent les résultats de simulations des performances de l'algorithme ESRSA adéquats à la formule de calcul de la FC non ambiguë. Ces résultats sont comparés, dans les mêmes figures, à ceux de la méthode classique. Ici, on utilise les mêmes conditions de simulations que celles utilisées plus haut. D'après ces figures, on remarque que la méthode ESRSA appliqué aux signaux BOC (1,1), BOC (2,1), n'ajoute aucune amélioration dans les performances de la méthode classique. Au contraire, Il provoque une dégradation des performances pour certains retards du MT.

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre, J'ai commencé par l'étude des performances des MTs des méthodes classiques et de la méthode ESRSA comme montré dans l'article [21]. Cette étude a montré la supériorité des performances que la méthode ESRSA peut apporter aux signaux BOC et CBOC en présence des MTs. On vu que la méthode de SRSA dans la référence [22] travaille sur les signaux BOC seulement alors que la méthode ESRSA travaille sur les signaux BOC et CBOC. Les résultats obtenus ont montré une dégradation des niveaux des performances. En plus les résultats obtenus nous confirment que la méthode ESRSA développée dans la référence [21] n'est pas applicable pour le cas de la présence du bruit et des signaux MTs.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Un système de positionnement par satellites, également connu sous l'acronyme GNSS (Global Navigation Satellite System), est constitué d'une constellation de satellites artificiels. Son objectif est de fournir à un utilisateur, à l'aide d'un récepteur de petite taille, des informations précises sur sa position géographique.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour but d'étudier le principe des différentes méthodes de poursuite GNSS. De même, effectuer une étude les différents signaux modulés (BPSK, BOC, MBOC...). En effet, les progrès en termes de performances que peut apporter cet algorithme ont été présentés et étudiés dans les cas où il y a absence ou présence de phénomènes perturbateurs, notamment le bruit et MTs.

Le premier chapitre sera consacré à donner un petit rappel sur les signaux GNSS et Les modulation GNSS et sur leurs principes. On montre ainsi architecture de récepteur GNSS. Nous avons vu aussi le principe de système de réception qui réalise le processus d'acquisition et de poursuite et l'effet des sources de perturbation tels que le bruit et les MTs.

Dans le chapitre deux, on présente le principe théorique de chacune des méthodes USS-RCF et SCS-CBOC, PUDLL, SRSA.

Dans le dernier chapitre, on discute les résultats de simulation et voir les performances que peut apporter cet algorithme et fait une comparaison entre les résultats de l'algorithme ESRSA par rapport à les méthodes classiques.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Références Bibliographiques

1. B. Parkinson and J. Spilker, "Global Positioning System: Theory and Applications," Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 1, 1996.
2. J. B. W., "Binary offset carrier modulations for radionavigation," Journal of the Institute of Navigation, vol. 48, 2002.
3. J. Ángel and Á. Rodríguez, "On Generalized Signal Waveforms for Satellite Navigation," Munich, June 2008
4. S. Roche, " Méthodes de poursuite de phase pour signaux GNSS multifréquence en environnement dégradé.," Toulouse, 2013.
5. S. Zitouni, "Développement de Techniques d'Amélioration de Précision de localisation dans les Systèmes de navigation par satellites en Appliquant des Méthodes de Modulation Efficaces," Thèse Doctorat. Université. Abderrahmane Mira-Bejaia, 2015.
6. M. CHEBIR Saifeddine « Acquisition et Poursuite des Signaux GNSS Multifréquences et MultiConstellations dans un milieu Outdoor ». université de bordj Bou Arreridj 2019.
7. Feneniche, w. "Amélioration des Performances de Positionnement GNSS par Exploitation de la Sous porteuse des Signaux modulés en BOC." Mémoire de doctorat, Université Mohammed Elbachir El-Ibrahimi BBA, 2015.
8. Betz, J. and D. Goldstein. Modulation designs for a fourth signal within L1 and L2 bands. in Proceedings of ION 2002 National Technical Meeting. 2002
9. BOUTANKIKET Mounia et TITOUNI Salem « Application des algorithmes du maximum de vraisemblance pour les signaux GNSS modulés en BOC(m,n), et en MBOC » université Bordj Bou Arreridj.2013/2014
10. J. K. Rouabah, "Etude et Amélioration des Performances des boucles de poursuite de code dans les Récepteurs de Navigation Galileo en Présence de Trajectoires Multiples," FARHAT ABBAS – SETIF, 2010
11. O. Julien, C. Macabiau, J.-L. Issler, et L. Ries, "Two for one: tracking Galileo CBOC signals with TMBOC," Insid. GNSS, vol. 2, no. 3, 2007
12. G. W. Hein et al., "MBOC: The New Optimized Spreading Modulation Recommended for GALILEO L1 OS and GPS L1C," in 2006 IEEE/ION Position, Location, And Navigation Symposium, 2006, pp. 883–892, doi: 10.1109/PLANS.2006.1650688.
13. Rouabah.Khaled, "Etude et Amélioration des Performances des boucles de poursuite de

Bibliographie

- code dans les Récepteurs de Navigation Galileo en Présence de Trajectoires Multiples,"
Thèse Doctorat. Université Farhat Abbas-Setif.
14. Sun, X., Song, S., Ji, Y., Gan, X., Yan, S., & Jia, X. . An Unambiguous Synchronization Scheme for GNSS BOC Signals Based on Reconstructed Correlation Function. *Sensors*, 21(6), 1982. 2021.
 15. K. Myint Mon, P. Thu Tun, et M. A. P. Shukla, "Study and Analysis on Binary Offset Carrier (BOC) Modulation in Satellite Navigation Systems," *IOSR J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 11, no. 05, pp. 115–123, 2016, doi: 10.9790/2834-110501115123.
 16. Zheng Yao, Mingquan Lu, et Zhenming Feng, "Unambiguous Technique for Multiplexed Binary Offset Carrier Modulated Signals Tracking," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 7, pp. 608–611, Jul. 2009, doi: 10.1109/LSP.2009.2020462.
 17. J. Wu et A. G. Dempster, "Galileo GIOVE-A Acquisition and Tracking Analysis with a New Unambiguous Discriminator," *Proceedings of the International Global Navigation Satellite Systems Society (IGNSS Symposium 2007)*, no. December 2005, Sydney, Australia, pp. 1–15, 2007.
 18. G.-S. Jeong et S.-H. Kong, "Pseudo-Correlation-Function Based Unambiguous Tracking Technique for CBOC (6,1,1/11) Signals," *J. Positioning, Navig. Timing*, vol. 4, no. 3, pp. 107–114, Sep. 2015, doi: 10.11003/JPNT.2015.4.3.107.
 19. Z. Yao et M. Lu, "Side-peaks cancellation analytic design framework with applications in BOC signals unambiguous processing," *Inst. Navig. - Int. Tech. Meet. 2011, ITM 2011*, vol. 2, pp. 775–785, 2011.
 20. Hao, F., Yu, B., Gan, X., Jia, R., Zhang, H., Huang, L. and Wang, B., 2020. Unambiguous Acquisition/Tracking Technique Based on Sub-Correlation Functions for GNSS Sine-BOC Signals. *Sensors*, 20(2), p.485.
 21. Ji, Y.; Zhang, Y.; Sun, X.; Jia, X.; Li, J. Enhanced Synchronization Algorithms for BOC Signals Based on Reconstructed Sub-Correlation Functions. *Electronics* 2023, 12, 2839.
 22. A.zaidi, Y.boukhelif, «Etude et implémentation d'un algorithme de poursuite des Signaux BOCsin basé sur l'utilisation de nouvelles formes de sous-corrélations,» mémoire de master, université mouhammed el-bachir el-ibrahimi , 2021.

Bibliographie