

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE 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

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : TELECOMMUNICATION

Spécialité : SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS

Par

DJEBRANI ZAHOUA

IZEM REKAIA

Intitulé

Etude et conception d'antennes à polarisation circulaire pour les récepteurs GNSS

le : 20/09/2021

Par la commission d'évaluation composée de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Dr. ASBAI Nassim</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Dr. ATIA Salim</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Pr. AIDEL Salih</i>		<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

En premier lieu, je remercie ALLAH le tout puissant pour la force, la santé et la sagesse qu'il m'a toujours donnée et que sans lui rien n'aurait été accompli.

Nous aimerions exprimer notre immense gratitude et notre plus profond respect à notre maître et encadreur Dr. ATTIA SALIM. Il a été pour nous un guide, un exemple et un mentor pendant notre cursus et durant l'accomplissement de ce mémoire. Les valeurs qu'il nous a inculqués et le savoir qu'il nous a transmis ont été inestimables.

Nous adressons nos sincères remerciements aux Docteurs MESSAOUDENE Idriss, BELAZZOUG Massinissa et HAMMACHE BOUALAME. Nous leur exprimons notre sincère reconnaissance pour leur disponibilité, leurs conseils toujours judicieux et pour leurs qualités scientifiques, pédagogiques et humaines.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour avoir pris le temps d'examiner et juger ce travail. Nous tenons aussi à remercier nos chères familles pour leur soutien, leur engagement et leur amour inconditionnel.

Dédicaces

C'est avec une joie que je dédie ce travail à ceux qui m'ont été une source d'inspiration et de volonté. A ma mère et mon père et à mes grands-parents.

*Je le dédie à mes très chers frères : Abd
ALHalim, Lawnis, Hawas, Nabil et
Mohammed.*

A tous ceux que j'aime.

A toute ma grande famille.

Une dédicace spéciale à tous mes amis.

Djebrani zahoua

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail : A mes parents,
aucun hommage ne pourrait être à la hauteur
du soutien qu'ils m'ont donné.*

A mes chers frères : híchem et faícel

A mon mari :abd el basset

*A ma famille et à mes amis qui ont contribué
de près ou de loin pour que ce travail se
réalise, Je vous dis merci.*

Izem rekaía

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude et la conception d'antennes patch à polarisation circulaire compacte pour les applications GNSS. Après avoir introduit les antennes imprimées, y compris les caractéristiques de ce type d'antennes, un état de l'art sur quelques antennes à (CP) et les différents types existants ont été discutés.

Le troisième chapitre, pour la première étape, nous commencerons par l'étude des antennes patch, nous allons faire une simulation pour trouver des paramètres internes (paramètres S..., bande passante) et des caractéristiques externes (gain, directivité et modèle de rayonnement) en utilisant le logiciel CST Microwave Studio. Pour diminuer la fréquence de résonance, nous suggérons la deuxième étape, qui est la miniaturisation avec RIS à notre première antenne patch étudié dans la première étape.

Abstract

The work presented in this dissertation concerns the study and design of compact circular polarization patch antennas for GNSS applications. After having introduced the printed antennas, including the characteristics of this type of antennas, a state of the art on some antennas at (CP) and the different existing types were discussed. The third chapter, for the first step, we will start by studying patch antennas, we will do a simulation to find internal parameters (S. parameters..., bandwidth) and external characteristics (gain, directivity and radiation model) using CST Microwave Studio software. To decrease the resonant frequency, we suggest the second step, which is the miniaturization with RIS to our first patch antenna studied in the first step.

ملخص:

يتعلق العمل المقدم في هذه الأطروحة بدراسة وتصميم هوائيات رقعة استقطاب دائرية مدمجة لتطبيقات GNSS. بعد إدخال الهوائيات المطبوعة، بما في ذلك خصائص هذا النوع من الهوائيات، تمت المناقشة على بعض الهوائيات في (CP) والأنواع المختلفة الموجودة.

الفصل الثالث، للخطوة الأولى، سنبدأ بدراسة هوائيات التصحيح، وسنقوم بمحاكاة للعثور على المعلمات الداخلية (المعلمات... S، عرض النطاق الترددي) والخصائص الخارجية (الكسب والاتجاهية ونموذج الإشعاع) باستخدام CST Microwave برنامج الاستوديو. لتقليل تردد الطنين، نقترح الخطوة الثانية، وهي التصغير باستخدام RIS لهوائي التصحيح الأول الذي تمت دراسته في الخطوة الأولى.

Table des matières

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Récepteurs GNSS

I.1.Introduction au GNSS :.....	3
I.2.Définition de GNSS.....	3
I.3.Principe du positionnement :.....	4
I.4.Principe de Trilatération :.....	5
I.5.Retard de code :	6
I.6.Les différents systèmes GNSS :.....	7
I.6.1. GPS: Global Positioning System:.....	7
I.6.1.1.Signaux GPS :.....	7
I.6.2.Galileo :.....	8
I.6.2.1.Signaux Galileo :.....	8
I.6.3.Comparaisons entre les Orbites GPS et Galileo :	9
I.7. signaux GNSS.....	10
I.7.1.Bandes de fréquences GNSS :.....	10
I.7.2.Technique d'accès multiple :	10
I.7.2.1.Code d'épandage C/A :.....	10
I.7.2.2.La technique de CDMA :	11
I.7.3.Technique de modulation :.....	12
I.7.3.1.La fonction d'autocorrélation idéale:.....	12
I.7.3.2.Densité spectrale de puissance:	13
I.8.Les récepteurs GNSS :.....	13
I.8.1.Principes de fonctionnement et d'architecture :	13
I.8.2.Réception des signaux :.....	14
I.8.3.Traitement des signaux	15
I.8.4.Calcul de navigation :.....	16
I.9.Conclusion	16

Chapitre II : Antennes pour les systèmes de navigation par satellites

II.1. Introduction	18
II.2. Antennes GNSS.....	18
II.2.1. Choix de l'antenne.....	18
II.2.2. Miniaturisation.....	19
II.2.2.1 Miniaturisation par structuration	20

II.2.2.2. Miniaturisation par ondes lentes	23
II.3. Etat de l'art :	24
II.4. Conclusion :	33
Chapitre-III : Etude et conception d'antennes à polarisation circulaire pour les récepteurs GNSS	
III.1.Introduction :	35
III.2.Description du Logiciel de Simulation CST :	35
III.2.1.Description générale de l'interface CST :	35
III.3.Caractéristiques pratiques d'une antenne patch :	36
III.4. Validation des travaux de la publication [7] :	36
III.4.1. Structures des deux antennes (tronquée et proposée) :	36
III.4.2. Résultats et discussions :	39
III.4.2.1. Coefficient de réflexion (S₁₁) :	39
III.4.2.2. Gain et rapport axial:	40
III.4.2.3. Diagramme de rayonnement :	45
III.5. Miniaturisation de l'antenne proposée :	47
III.5.1. Structure du RIS :	47
III.5.2. Miniaturisation avec RIS :	48
III.5.3. Résultats et discussions :	49
III.5.3.1 Coefficient de réflexion (S ₁₁) :	49
III.5.3.2 Rapport axial et gain :	50
III.5.4. Etude comparative :	50
III.6. Conclusion :	52
Conclusion générale :	54
Références Bibliographiques	55

Liste des figures :

Figure I.1 : Principe de positionnement [4].	4
Figure I.2 : Principe de Trilatération [5].	5
Figure I.3 : la triangulation par satellites [2].	6
Figure I.4 : Mesure du retard de code dans le récepteur [2].	6
Figure I.5 : les orbites GPS et Galileo.	9
Figure I.6 : Bandes de fréquences GNSS [5].	10
Figure I.7 : Code d'épandage.	11
Figure I.8 : le schéma bloc du système de transmission.	11
Figure I.9 : le principe d'étalement spectral du CDMA.	11
Figure I.10 : la modulation BPSK.	12
Figure I.11 : signal BPSK idéal ACF.	12
Figure I.12 : DSP de signal BPSK.	13
Figure I.23 : Architecture d'un récepteur GNSS [6].	14
Figure I.34 : Fonctions d'un canal de réception.	15
Figure II.1 : Exemple des courants dans une antenne : a) sans fentes ; b) avec fentes.	22
Figure II.2 : Dipôle avec des méandres.	22
Figure II.3 : Un exemple de la corrugation.	23
Figure II.4 : l'interdigitation.	23
Figure II.5 : Un exemple de fractales avec 3 itérations.	24
Figure II.6 : Géométrie de l'antenne proposée dans [7] : (a) vue en coupe (b) vue de dessus.	25
Figure II.7 : Géométrie CPMA proposée : (a) vue en coupe ; (b) radiateur à micro ruban asymétrique.	27
Figure II.8 : Géométrie d'antenne CP double bande proposée : (a) vue en coupe transversale, (b) radiateur patch inférieur et (c) radiateur patch supérieur.	29
Figure II.9 : Antenne à fentes à double bande proposée	33
Figure III.4 : Interface du CST.	36
Figure III.2 : structure de l'antenne patch tronquée.	38
Figure III.3 : structure de l'antenne patch proposée.	39
Figure III.3 : Variation de S11 en (dB) en fonction de la fréquence.	41
Figure III.5 : Variation de l'AR et du gain en fonction de la fréquence.	45
Figure III.6 : Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plan ($\phi=0^\circ$ et $\phi=90^\circ$).	46
Figure III.7 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne tronquée.	47
Figure III.8 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne proposée.	48
Figure III.9 : Structure du RIS.	49
Figure III.10 : structure de l'antenne composite améliorée.	50
Figure III.11 : S11 en (dB) en fonction de la fréquence de l'antenne composite.	50
Figure III.12 : Variation de l'AR et du gain en fonction de la fréquence.	51
Figure III.13 : comparaison de S11 des trois antennes simulées.	52

Liste des tableaux :

Tableau II-1 : comparaison des antennes GNSS CP double bande.	31
Tableau III-1 : Dimensions de l'antenne patch tronquée.	38
Tableau III-2 : Dimensions de l'antenne proposée.	40

Liste des abréviations :

AR : rapport axial.

BPSK: Binary Phase Shift Keying.

C/A: Code civil.

CDMA: accès multiple par division de code.

CNAV: message de navigation civil.

CP: polarisation circulaire.

CPMA: circularly polarized microstrip antenna.

DSP: La densité spectrale de puissance.

ESA: European Space Agency.

FAC: La fonction d'autocorrélation.

F/NAV: message de navigation d'accès libre.

G/NAV: message réglementé.

GNSS: Global Navigation Satellite System.

GPS : Global Positioning System.

HIS: High impedance surface.

I/NAV: message d'intégrité.

LHCP: Left Hand Circular Polarization.

MNAV: message de navigation réservé aux militaires.

NAVSTAR: Navigation System by Timing And Ranging.

NGA: National Geospatial Intelligence Agency.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

RHCP : right Hand Circular Polarization.

RIS: reactive impedance surface.

SA: Selective Availability.

SS-CDMA: Spread Spectrum CDMA.

UE : Union Européenne.

USAF : US Air Force.

US DOD : United States Department of Defense.

VSWR : voltage standing wave ratio



Introduction générale

Introduction Générale

Les systèmes de communication par satellite constituent actuellement l'un des marchés industriels à la croissance la plus rapide. Habituellement, les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) sont utilisés pour la navigation, le positionnement, la sécurité/surveillance publique, les levés géographiques, les normes de temps, la cartographie, la météo et les informations atmosphériques [1]. Dans ce travail on s'intéresse plus spécifiquement à l'antenne du récepteur GNSS dont la petite taille recommandée nécessite l'utilisation d'antennes patch compactes à polarisation circulaire (CP) avec des spécifications appropriées qui permettent d'établir une connexion fiable entre le satellite et les appareils mobiles sans fil. Parmi ces spécification : bande passante adéquate, petite taille, multi/double bande, large largeur de faisceau CP, gain moyen.

Notre travail est réparti en trois chapitres. Le premier chapitre définit les GNSS et détaille les principes de fonctionnement et l'architecture des récepteurs tout en décrivant leurs principales caractéristiques ainsi que les grandes catégories d'équipements utilisés.

Le deuxième chapitre, présente l'état de l'art sur les antennes patch à polarisations circulaire compacte pour les applications GNSS. Il traite plusieurs techniques d'obtention des antennes compactes mono-bande et bi-bande pour les GNSS à travers l'exposition de travaux parmi les plus récents liés à cette problématique.

Le troisième chapitre présente la validation des travaux de conception d'une antenne patch à polarisation circulaire pour GNSS dans la référence [7], ainsi que notre contribution qui consiste à améliorer cette antenne en utilisant la miniaturisation avec la technique RIS [20]. On utilisera le logiciel CST Microwave Studio comme outil de simulation.

En fin, le travail se termine par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre I : Récepteurs GNSS

Chapitre I : Récepteurs GNSS

I.1.Introduction au GNSS :

L'ensemble de tous les systèmes mondiaux de navigation par satellites est désigné par le sigle GNSS (Global Navigation Satellite System) que nous allons introduire dans ce premier chapitre. A partir des années 2000, ces systèmes sont devenus accessibles par tout le monde. Notre intérêt focalisera sur le segment utilisateur et plus spécifiquement sur l'antenne du récepteur GNSS. Ces systèmes utilisent une technologie de pointe permettant la géolocalisation de tout objet à tout moment et sur n'importe quel endroit du globe terrestre avec une précision très acceptable. Etant données les contraintes aérodynamiques des applications visées l'antenne GNSS doit avoir une structure compacte sur une surface haute impédance. Dans ce chapitre un aperçu général sur les différentes composantes des GNSS et plus précisément sur le récepteur GNSS est donné. Une attention particulière sera donnée au principe de fonctionnement ainsi qu'aux caractéristiques des différents signaux GNSS et aux bandes de fréquences utilisées [3].

I.2.Définition de GNSS :

Le système de positionnement est basé sur des signaux transmis par des satellites en orbite autour de la terre et offre une couverture mondiale.

I.2.1. Objectif :

- Positionnement en temps réel, avec une précision allant jusqu'à quelques centimètres, à tout moment, n'importe où, quelle que soit la météo.
- Fournir au récepteur sa position, sa vitesse et son heure.
- Faible coût et minimum de complexité.

I.2.2.Technologie satellitaires existantes :

- GPS (États-Unis).
- GLONASS (Russie).
- Galileo (Union européenne).
- BeiDou (Chine).

Le GNSS se compose de trois composants principaux :

- Segment spatial —→ Constellation satellite
- Segment terrestre —→ Contrôle et production de données
- Segment utilisateur —→ Récepteur

I.3.Principe du positionnement :

Le fonctionnement des GNSS repose sur la mesure du temps de propagation du signal émis par un satellite jusqu'à sa mesure par un récepteur. La mesure du temps de propagation du signal en provenance de plusieurs satellites permet par intersection de déterminer la position du récepteur.

Pour un positionnement standard par GNSS, 4 inconnues doivent donc être déterminées :

- Trois inconnues de position, dans un repère géocentrique, lié à un système de référence propre au GNSS.
- Une inconnue de temps, liée à la désynchronisation du récepteur avec le temps GNSS [4].

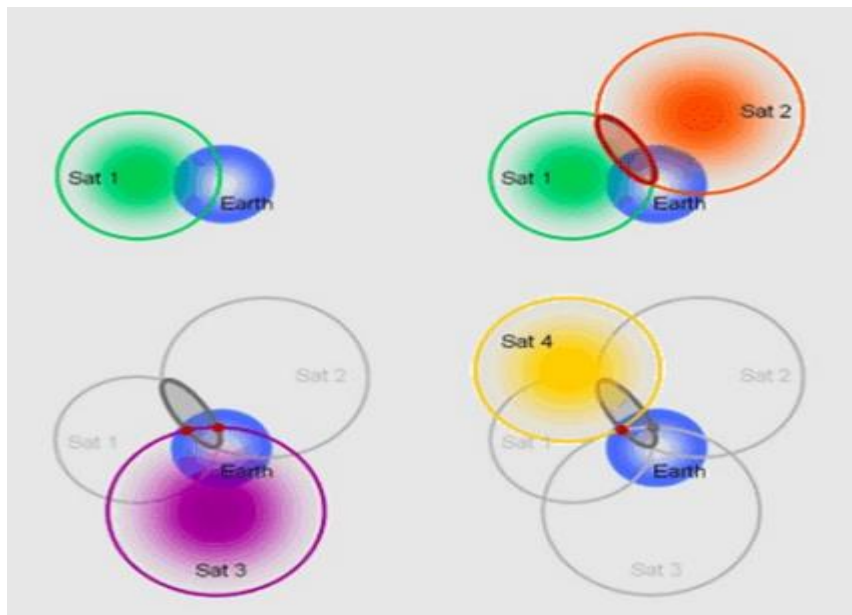


Figure I.1 : Principe de positionnement [4].

Chaque système contient une constellation de satellites en orbite autour de la terre sur des positions choisies pour assurer une couverture mondiale. Chaque satellite diffuse en permanence un signal vers la terre à travers lequel il envoie sa position.

La constellation communique avec un nombre illimité de récepteurs utilisateur. La réception des signaux par chaque satellite doit provenir d'au moins 4 satellites afin de réaliser correctement les tâches suivantes avec des performances homogènes sur l'ensemble du globe:

- Mesure des distances récepteur-satellites
- Calcul de la position et du temps récepteur
- Calcul de la vitesse du récepteur.

I.4.Principe de Trilatération:

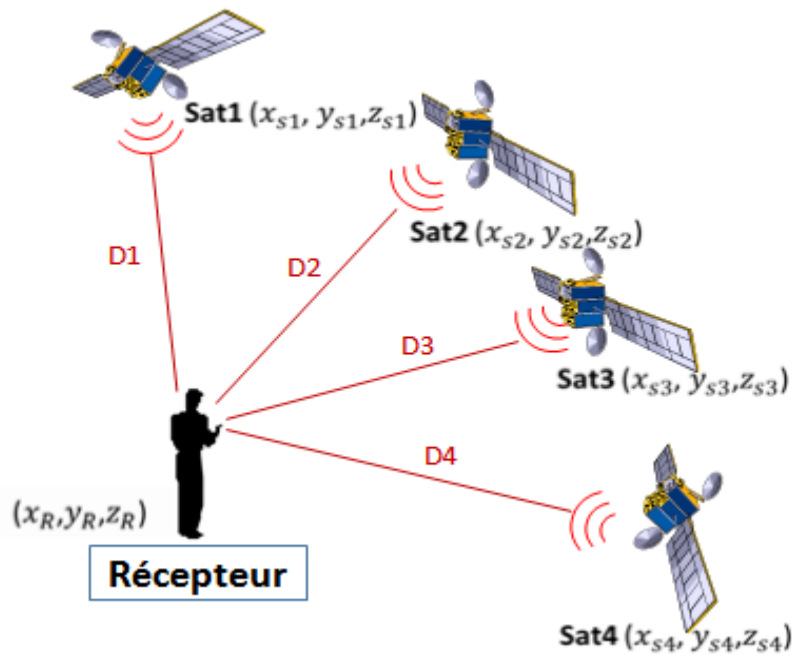


Figure I.2 : Principe de Trilatération [5].

Pour déterminer la position exacte du récepteur, il faut résoudre le système d'équations suivant :

$$D_1^2 = (x_{s1} - x_R)^2 + (y_{s1} - y_R)^2 + (z_{s1} - z_R)^2 + (c \Delta t)^2 \quad (1-1)$$

$$D_2^2 = (x_{s2} - x_R)^2 + (y_{s2} - y_R)^2 + (z_{s2} - z_R)^2 + (c \Delta t)^2 \quad (1-2)$$

$$D_3^2 = (x_{s3} - x_R)^2 + (y_{s3} - y_R)^2 + (z_{s3} - z_R)^2 + (c \Delta t)^2 \quad (1-3)$$

$$D_4^2 = (x_{s4} - x_R)^2 + (y_{s4} - y_R)^2 + (z_{s4} - z_R)^2 + (c \Delta t)^2 \quad (1-4)$$

Δt :Facteur de correction utilisé pour mettre à jour l'horloge du récepteur.

D_i ($i = 1, \dots, 4$): Les distances respectives entre le récepteur et les quatre satellites.

c : vitesse de la lumière.

I.5.Retard de code :

Les récepteurs GNSS mesurent par corrélation le décalage temporel entre le code reçu par l'antenne, c'est-à-dire celui qui est émis par le satellite et qui est passé par le canal de propagation, et le code généré par le récepteur, comme présenté sur la figure I.4. La structure du code incorpore des pilotes ce qui permet de savoir exactement le décalage entre les codes, nous avons ainsi l'équation :

$$p = c\tau = c(t_r - t_e) \quad (1-5)$$

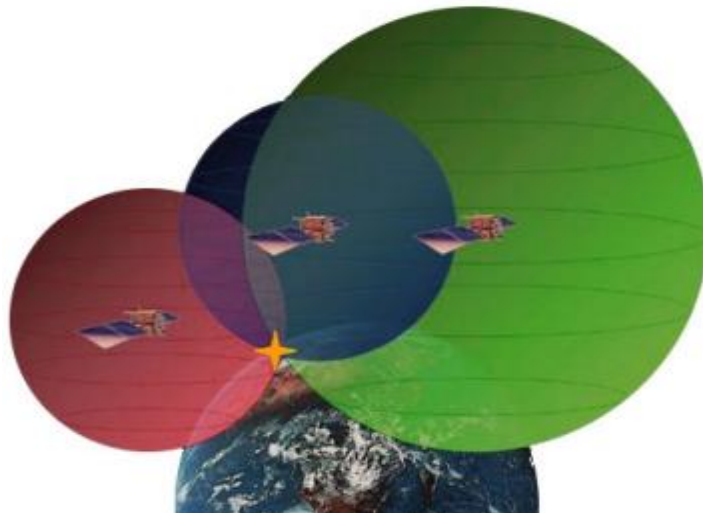


Figure I.3 : la triangulation par satellites [2].

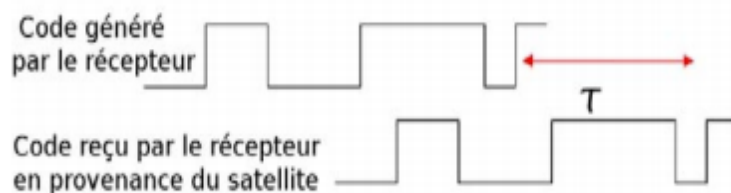


Figure I.4 : Mesure du retard de code dans le récepteur [2].

Avec P la mesure de code, c la vitesse de la lumière et τ le retard de code. t_r est le temps correspondant au code reçu par le récepteur en provenance du satellite et t_e le temps du code généré par le récepteur qui correspond aussi au temps du code au moment de l'émission par le satellite. Cette mesure est aussi appelée mesure de pseudo-distance ou de range. L'erreur de mesure associée est de l'ordre de quelques dizaines de cm [2].

I.6. Les différents systèmes GNSS :

I.6.1. GPS: Global Positioning System:

Le GPS, appelé officiellement NAVSTAR (Navigation System by Timing And Ranging) est le système militaire américain de radio positionnement par satellite conçu et mis en service par la NGA (National Geospatial Intelligence Agency), service de l'US DoD (United States Department of Defense) ; il est géré par l'USAF (US Air Force). C'est le premier système global de positionnement par satellite opérationnel.

- Conception : entre 1973 et 1978
- Phase pré-opérationnelle : entre 1978 et 1985 :
- Phase d'opérationnalité atteinte en décembre 1993.
- Système déclaré opérationnel en avril 1995 avec 28 satellites en orbites.
- Mai 2000 : désactivation de la dégradation volontaire SA (Selective Availability)
- 2005 : nouveaux satellites émettant un nouveau signal civil
- Dernier lancement d'un satellite GPS : le 23 décembre 2018[4].

I.6.1.1. Signaux GPS :

Ondes porteuses :

- L1 (1 575,42 MHz).
- L2 (1 227,60 MHz).
- L5 (1 176,45 MHz).

Code :

- Code civil (le C/A-code).
- Code destiné aux militaires (le P(Y)-code).
- Nouveau code civil L2C.
- Nouveau code militaire M-code.

- Nouveaux codes L5C et L1C.

Message de navigation :

Avec la modernisation du GPS, des nouveaux messages de navigation sont émis : CNAV est un message de navigation civil, transmis sur L2 ; MNAV est un message de navigation réservé aux militaires. Un dernier message, CNAV2, sera émis sur L1 avec le nouveau code L1C. Ces messages contiennent des données plus précises que le message de navigation standard [4].

I.6.2.Galileo :

- Galileo est le futur système européen de navigation par satellite, lancé par l'UE (Union Européenne) et l'ESA (EuropeanSpace Agency, l'agence spatiale européenne). L'objectif pour l'Europe est donc de disposer de son propre système global de navigation par satellite et donc d'être indépendant vis à vis des systèmes GPS et GLONASS.
- Notons qu'une différence majeure de Galileo vis à vis de GPS et Glonass est son placement sous le contrôle d'autorités civiles et non militaires.
- 1999 : début du projet.
- 2001 : premier développement.
- 2005 : premier satellite d'essai en orbite, GIOVE-A (Galileo In-Orbit Validation Élément).
- 2008 : Un second satellite, GIOVE-B a été lancé.
- Octobre 2011 : lancement des deux premiers satellites.
- Octobre 2012 : lancement de deux nouveaux satellites.
- Août 2014 : lancement de deux satellites, n'ont pas atteint l'orbite cible.
- Dernier lancement : 25 juillet 2018 [4].

I.6.2.1.Signaux Galileo :

Ondes porteuses :

- E1 (1 575,42 MHz).
- E5 : E5a (1176,45 MHz), E5b (1201,5 MHz).
- E6 (1278,75 MHz).
-

Code :

Chapitre I : Récepteurs GNSS.....

Galileo propose un grand nombre de codes de positionnement en raison de la variété des services existants.

Message de navigation :

On distingue 4 types de messages de navigation :

- F/NAV : le message de navigation d'accès libre, contenant toutes les informations nécessaires au positionnement. Il faudra 20 minutes pour disposer des informations de l'ensemble de la constellation.
- I/NAV : le message d'intégrité, assurant la fiabilité du système. Il contient également les informations nécessaires au positionnement.
- C/NAV : le message commercial, contenant les corrections nécessaires à un positionnement submétrique.
- G/NAV : le message réglementé, contenant les informations d'intégrité, de positionnement ainsi que des informations actuellement peu documentées, relatives au positionnement via le service public réglementé [4].

I.6.3.Comparaisons entre les Orbites GPS et Galileo :

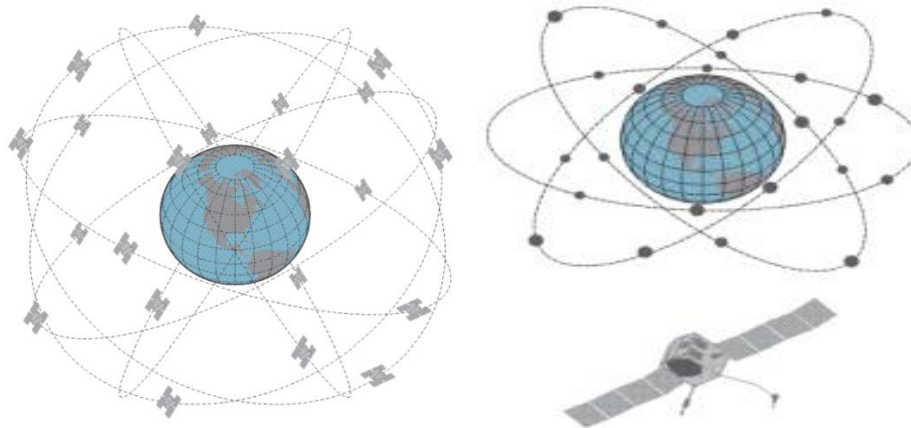


Figure I.5 :les orbites GPS et Galileo.

GPS

- 6Plans orbitaux.
- 24 Satellites + 1 de rechange.
- 55°Angle d'inclinaison.
- Altitude 20 200 km.

Galileo

- 3Plans orbitaux.
- 27 Satellites + 3 de rechange.
- 56° Angle d'inclinaison.
- Altitude 23 222 km.

I.7.signaux GNSS

I.7.1.Bandes de fréquences GNSS :

Tous les systèmes GNSS utilisant la bande de fréquence L entre 1164 et 1610 MHz. La figure I.6 montre les bandes de fréquences des différents signaux GNSS existants.

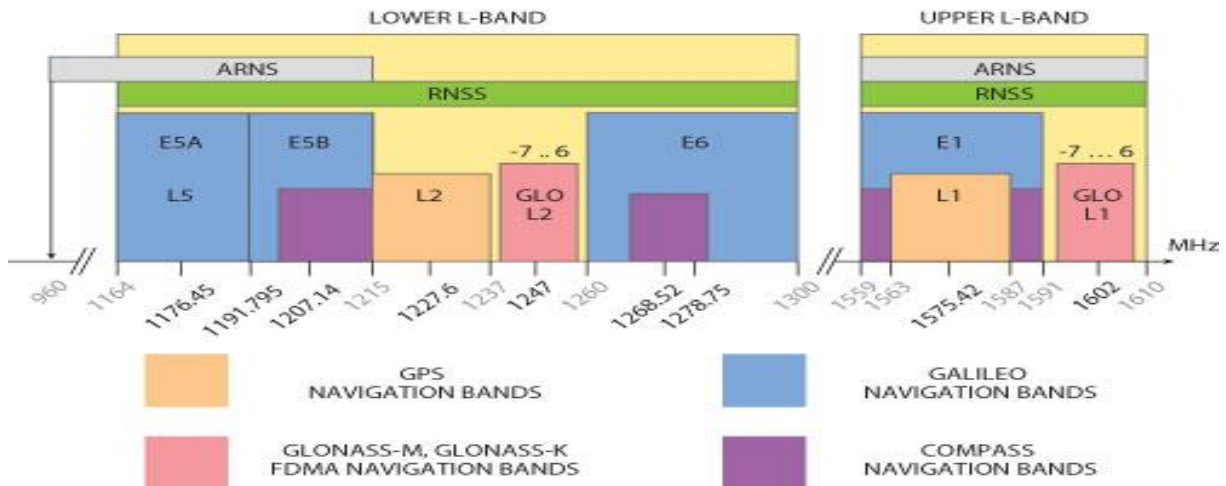


Figure I.6 : Bandes de fréquences GNSS [5].

I.7.2.Technique d'accès multiple :

Les systèmes GNSS utilisent le CDMA (accès multiple par division de code) comme technique de multiplexage. Le CDMA est caractérisé par :

- Des codes différents pour chaque satellite.
- Utilisation de codes PRN de type de bruit pseudo-aléatoire.
- Un signal émis à spectre étalé (SS-CDMA pour Spread Spectrum CDMA).
- Résistance aux interférences.

I.7.2.1.Code d'épandage C/A :

Le code C/A, tel que présenté sur la figure I.7 est constitué de séquences périodiques de durée 1ms. Chaque séquence contient 1023 chips, disposés aléatoirement avec une amplitude de +1 ou -1 [5].



T_c :durée d'un chip

$$f_c = 1/T_c = 1023\text{MHz}$$

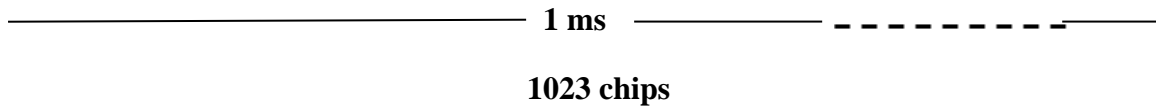
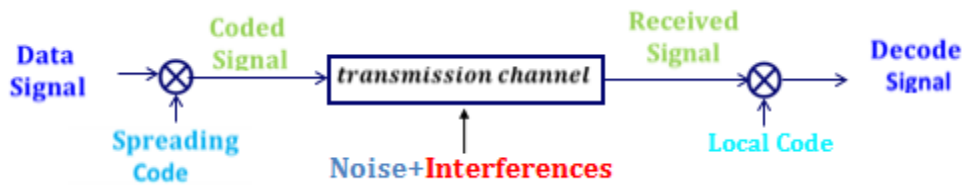


Figure I.7 :Code d'épandage.

I.7.2.2.La technique de CDMA :

Le CDMA est caractérisé par sa forte résistance aux interférences et son niveau de sécurité élevé. Les figures I.8et I.9, présentent, respectivement, le schéma bloc du système de transmission d'un GNSS et le principe d'étalement spectral du CDMA [5].



FigureI.8 :le schéma bloc du système de transmission.

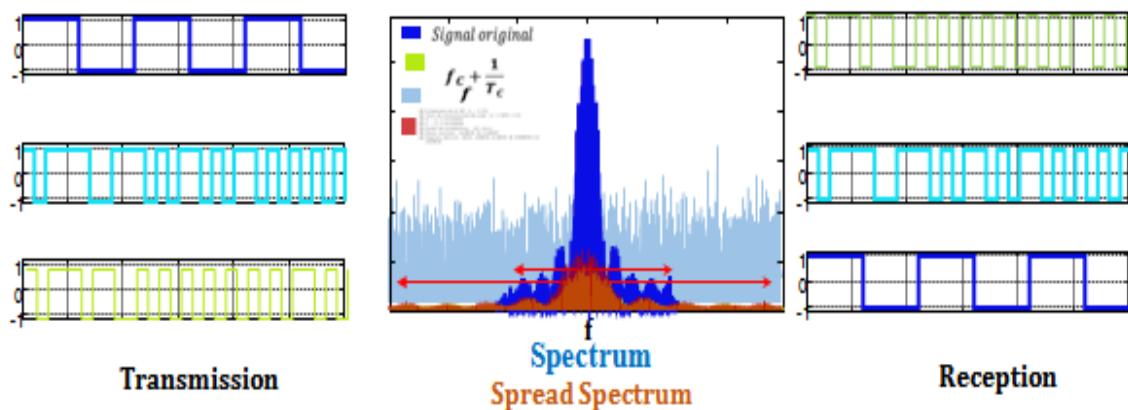


Figure I.9 : le principe d'étalement spectral du CDMA.

I.7.3. Technique de modulation :

Les GNSS utilisent la BPSK comme technique de modulation. L'application de cette technique est illustrée dans la figure I.10.

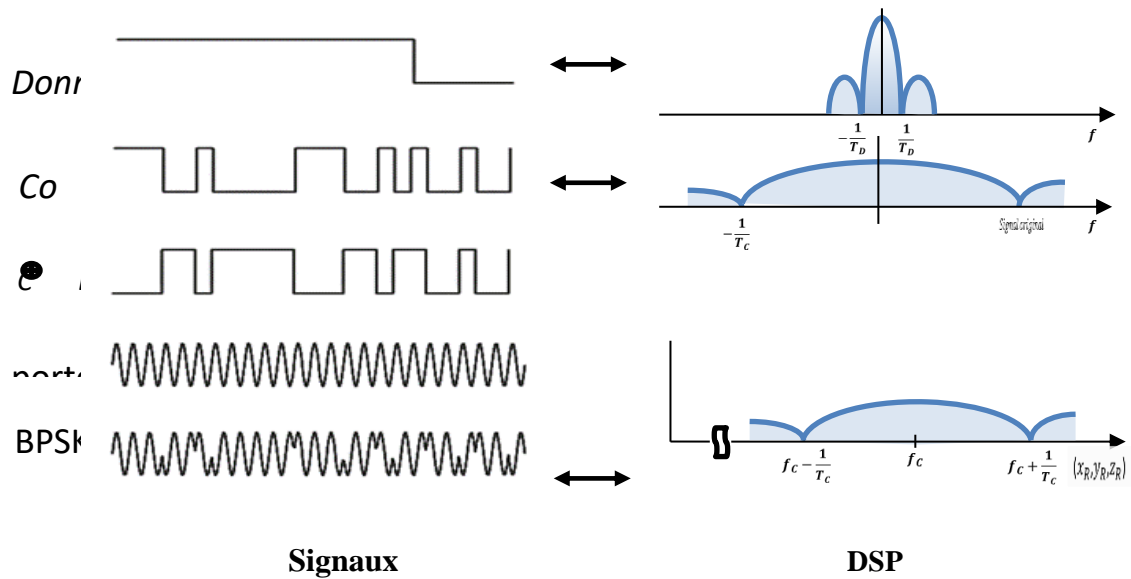


Figure I.10 : la modulation BPSK.

I.7.3.1. La fonction d'autocorrélation idéale :

La fonction d'autocorrélation (FAC) idéal du code du signal GNSS et sa forme d'onde sont donnée, respectivement par l'équation (I.6) et la figure I.11 :

$$R_{BPSK}(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{T_c}, & |\tau| \leq T_c \\ 0, & \text{ailleurs} \end{cases} \quad (\text{I.6})$$

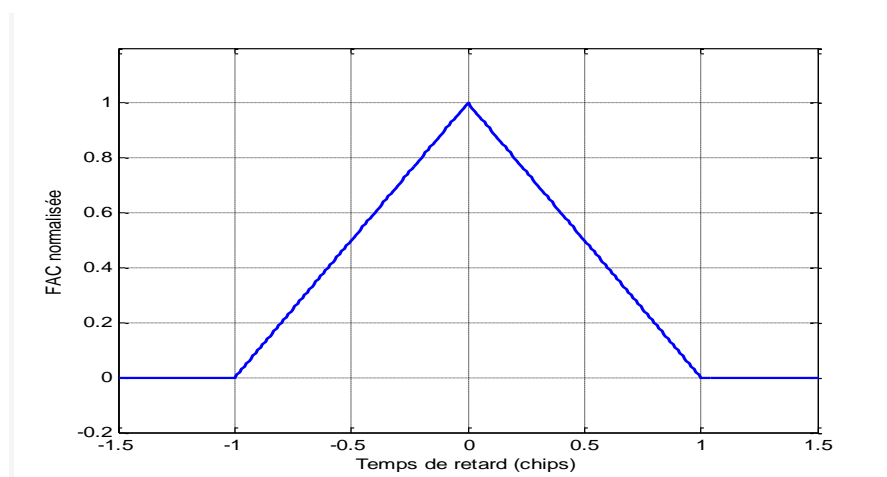


Figure I.11 :signal BPSK idéal ACF.

I.7.3.2. Densité spectrale de puissance :

La densité spectrale de puissance (DSP) du signal BPSK(α) et sa forme d'onde sont données, respectivement par l'équation (I.7) et la figure I.12 :

$$G_{BPSK}(f) = A^2 T_C \text{sinc}^2(\pi f T_C) \quad (\text{I.7})$$

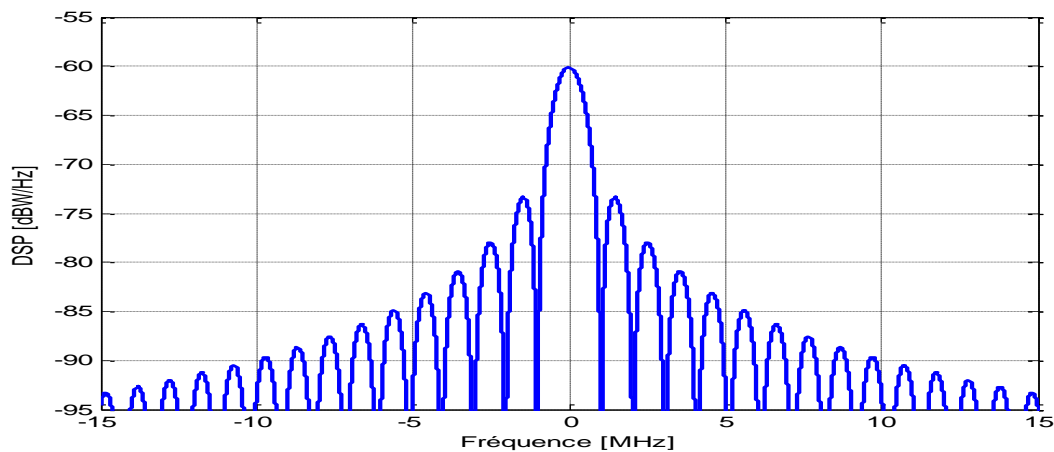


Figure I.12 : DSP de signal BPSK.

I.8. Les récepteurs GNSS :

Les utilisateurs de systèmes GPS et Galileo utilisent le récepteur pour accéder aux services de positionnement et de datation et aux applications associées. Ces récepteurs sont les seuls appareils visibles par l'utilisateur, et leurs caractéristiques sont déterminantes pour le type d'utilisation recherché. Il existe une très grande variété de récepteurs, adaptés à des besoins spécifiques. Certains privilégient la miniaturisation, pour s'intégrer, par exemple, dans des téléphones mobiles, les engins volant légers ou les animaux surveillés [6].

I.8.1. Principes de fonctionnement et d'architecture :

Les récepteurs implémentent quatre fonctions principales : la réception des signaux, le traitement des signaux, l'oscillateur local et le calcul de position. Leur schéma de fonctionnement est illustré à la figure I.13.

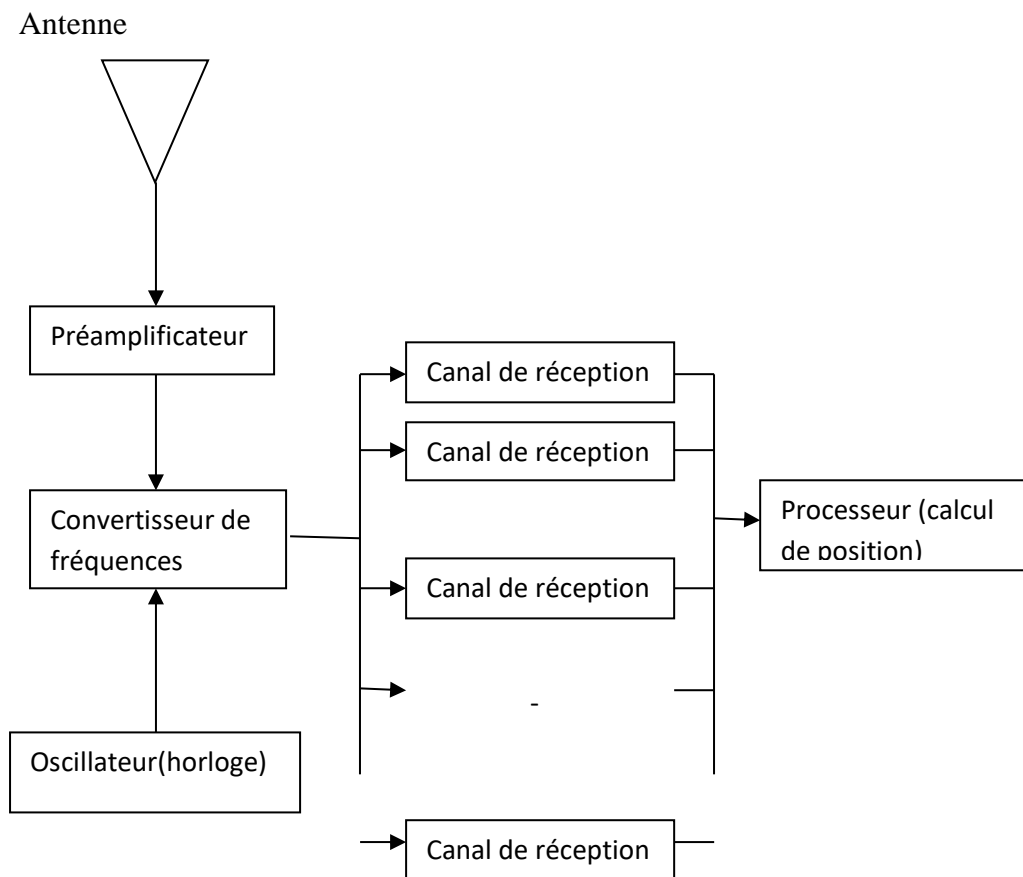


Figure I.13 : Architecture d'un récepteur GNSS [6].

I.8.2. Réception des signaux :

La réception des signaux est réalisée par une chaîne de réception, qui comprend l'antenne, le préamplificateur et le convertisseur :

Antenne: Le récepteur reçoit plusieurs signaux de plusieurs satellites (au moins quatre). Par conséquent, la première tâche consiste à utiliser l'antenne pour capturer ces signaux. Ce dernier convertit l'ondulation électromagnétique d'un signal se propageant dans l'espace en une ondulation de courant qui se propage le long du câble de sortie de l'antenne. Le signal peut provenir de n'importe quelle direction au-dessus de l'horizon. Afin d'optimiser les performances de réception, certaines antennes sont conçues pour recevoir uniquement des signaux provenant de directions situées au-dessus de l'horizon, éliminant ainsi les signaux parasites provenant de directions situées au-dessous de l'horizon (antennes de champ de réception hémisphériques).

Préamplificateur: La puissance du signal reçu au sol est très faible (le signal reçu n'est pas plus fort que le niveau de bruit électromagnétique environnant), et il doit être amplifié avant le traitement. C'est la fonction du préamplificateur, qui est directement intégré dans la base de l'antenne de réception.

Convertisseur : La fréquence du signal reçu (plus d'un milliard d'oscillations par seconde) est trop élevée pour traiter directement le signal afin d'extraire les mesures de distance et les données. La fonction du convertisseur est de réduire ces oscillations à une fréquence plus basse, généralement appelée fréquence intermédiaire.

I.8.3. Traitement des signaux

De nos jours, la majorité des récepteurs disposent de suffisamment de canaux pour traiter simultanément les signaux provenant de tous les satellites en visibilité. La mesure de distance entre le satellite et le récepteur s'effectue en exploitant soit le code, soit la phase, La mesure de distance la plus élémentaire consiste à exploiter le code du signal. Chaque canal génère le code associé au satellite qu'il doit traiter puis, à l'aide de sa fonction de corrélateur, mesure l'instant de réception des séquences de code et extrait le signal provenant du satellite qu'il considère [6].

En résumé, chaque canal assure les fonctions suivantes pour le satellite qu'il poursuit (voir Figure I.14).

- réalisation des mesures de distance, à partir des mesures du temps de propagation effectuées par rapport à la datation fournie par l'horloge locale du récepteur.
- extraction des données du message de navigation.

Selon le niveau de complexité et de performance du récepteur et l'application visée, chaque canal peut en outre produire d'autres données, comme la mesure de phase du signal,

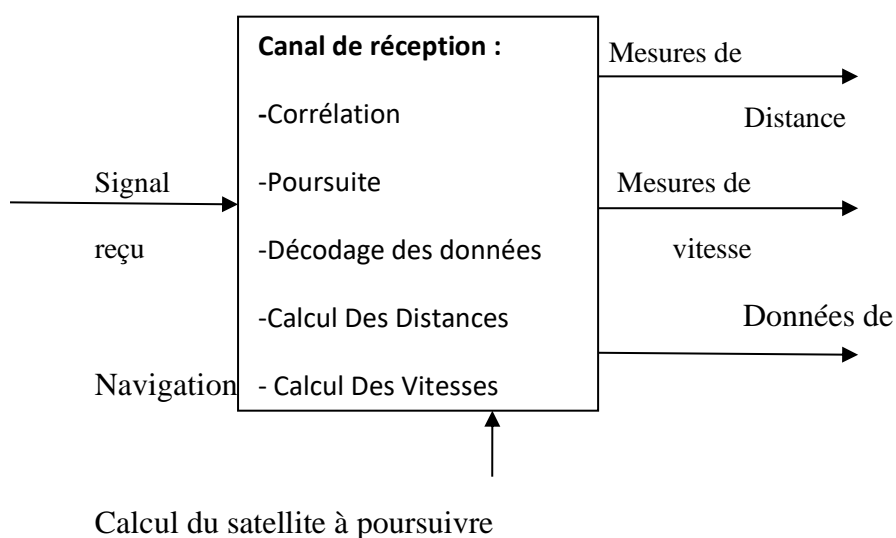


Figure I.14 : Fonctions d'un canal de réception.

qui désigne le décompte des oscillations du signal reçu, permettant d'accéder à une mesure de distance plus précise que la mesure de code en remplacement ou en combinaison avec celle-ci, ou des indications sur les caractéristiques des signaux reçus (niveau de la puissance reçue, détection de sauts de phase, etc.) afin de détecter et éliminer les mesures erronées.


I.8.4.Calcul de navigation :

Une fois les mesures et données de navigation extraites de chaque signal satellite, les récepteurs utilisent ces informations pour élaborer leur calcul de navigation et fournir la position (P), la vitesse (V) et le temps (T).

La position (trois paramètres) et le temps (un paramètre) sont calculés à l'aide de la résolution de quatre équations. Chacune de ces équations est associée à un satellite. Elle établit la relation qui existe entre la position du récepteur, la position du satellite, l'écart de synchronisation de l'horloge locale du récepteur par rapport au temps système (GPS ou Galileo) et le temps de transmission du signal satellite mesuré par l'horloge du récepteur. Le processeur intégré dans le récepteur résout alors ces quatre équations et en déduit la position du récepteur et le temps [6].

I.9.Conclusion

Les systèmes de navigation par satellite GNSS permettent à un utilisateur disposant d'un récepteur de se positionner dans l'espace et dans le temps. Chaque système GNSS (GPS, Galileo, GLONASS...) dispose d'une constellation de satellites dont les positions sont connues avec précision. A partir du principe de la triangulation, l'utilisateur estime grâce aux signaux envoyés par chacun des satellites les pseudos distances le séparant de chacun d'eux. A partir de cette estimation des pseudos distances sur un minimum de 4 satellites, les coordonnées de l'utilisateur et la date (temps) sont déterminées.



**Chapitre II : Antennes
pour les systèmes de
navigation par satellites**

Chapitre II : Antennes pour les systèmes de navigation par satellites

II.1. Introduction

Durant ces dernières années, grâce aux succès en termes de réduction d'encombrement sur les semi-conducteurs, tous les systèmes électroniques grands publics sont devenus plus compacts, plus légers et plus maniables. Il suffit d'en citer comme exemple le déploiement farouche des téléphones portables. Les systèmes GNSS sont très concernés par la miniaturisation et l'amélioration des performances des antennes à l'entrée du récepteur. Les applications de positionnement précis du GNSS nécessitent une polarisation RHCP en espace dégagé pour supprimer les multi-trajets et un fonctionnement bi-bandes pour avoir des précisions de localisation de l'ordre du centimètre. Bien que la polarisation circulaire soit facilement réalisable, l'obtention d'un fonctionnement bi-bandes reste délicate sans augmenter l'épaisseur de la structure. Dans cette partie du mémoire, seront établis, dans un premier temps, les différents paramètres intervenant dans le cahier des charges de l'antenne GNSS à concevoir ainsi que les différentes techniques de miniaturisation utilisées. Par la suite, certains travaux, parmi les plus récents, qui visent la conception d'antennes compactes plus performantes pour les systèmes GNSS, aussi bien mono-bande que bi-bande, ont été rapportés. Une attention plus particulière sera donnée à la méthode dans la référence [7] dont l'étude, la validation et l'amélioration constituent l'objectif de notre travail.

II.2. Antennes GNSS

Les antennes des récepteurs GNSS sont développées pour une intégration maximale. Ainsi leur taille, leur poids et leur coût sont réduits au maximum. Le choix d'antennes minces minimisant ces paramètres s'avère alors un objectif pertinent.

II.2.1. Choix de l'antenne

La bande principale utilisée pour le positionnement gratuit (service ouvert) est la bande autour de la fréquence 1,575GHz (L1 GPS, E1 GALILEO). D'un point de vue uniquement GPS, la deuxième bande généralement choisie est la bande L2, autour de 1,228GHz ; cette bande a des caractéristiques très proches de la bande L1 (bande passante, niveau de bruit, type de modulation QPSK), sauf que aucune autre constellation ne fonctionne sur cette bande ; aucune interopérabilité n'est donc envisageable avec le choix de ces deux bandes (L1 et L2). Si l'interopérabilité est souhaitée, on peut envisager la combinaison GALILEO/GPS sur la bande

autour de 1,176GHz qui correspond à L5 pour le GPS et à E5a pour Galileo. Cette bande est cependant plus large en bande-passante que celle autour de 1,575GHz et n'a pas le même type de modulation (BPSK), le traitement des données qu'elle fournit est donc plus compliqué et nécessite une capacité de calcul plus élevée. On devrait donc choisir entre interopérabilité et simplicité de traitement des données. Pour les antennes multifréquences une antenne multi-bande ou large bande avec un dispositif de filtrage est préférée à une antenne large bande seule afin de minimiser les interférences et alléger le traitement de filtrage spectral. Compte tenu de cette discussion, il est clair que le choix se confine aux deux options basic : mono-bande ou bi-bande.

La conception d'une antenne miniature pour le GNSS est étroitement conditionnée par le type d'application choisi. Par conséquent, la réalisation de l'antenne nécessite un cahier des charges établissant minutieusement les paramètres suivants :

- Fréquence centrale
- Bande-passante minimale
- Polarisation
- Diagramme de rayonnement
- Ouverture du diagramme
- Efficacité
- Gain Maximal
- Impédance d'entrée

Les antennes satellitaires sont directionnelles et pointent constamment leurs signaux vers la terre. Ce sont généralement des paraboles en polarisation RHCP. Afin de ne pas avoir des pertes de dépolarisation liées à la traversée des couches ionosphériques et atmosphériques il est nécessaire que l'antenne du récepteur soit elle aussi en polarisation RHCP. De plus, comme les satellites visibles ne se trouvent pas tous au zénith, il est intéressant d'avoir un diagramme d'antenne réceptrice demi-omnidirectionnel, afin de capter les signaux de tous les satellites avec le même niveau quel que soit leur angle d'élévation. D'un autre côté l'intérêt de la conservation d'une bonne RHCP diminue considérablement l'effet de multi trajet pour les faibles élévations.

II.2.2. Miniaturisation

Le développement faramineux de la téléphonie mobile et des applications sans fil embarquées ont conduit à la miniaturisation et à l'intégration non seulement de l'électronique, mais aussi des antennes. La miniaturisation d'une antenne consiste dans un premier temps à réduire ses

dimensions, sa surface, son volume pour une fréquence de résonance donnée, et dans un second temps, à miniaturiser et intégrer au plus près de l'antenne les structures d'adaptation et de polarisation. L'enjeu de cette miniaturisation consiste donc à réduire la taille de l'antenne tout en gardant ses caractéristiques électromagnétiques optimales (bande passante et gain). Le critère qui limite le domaine de validité des petites antennes est le facteur de qualité et par conséquent la bande passante (le facteur de qualité est inversement proportionnel à la bande passante). Il existe, donc un facteur de qualité limite pour une taille d'antenne donnée [14] [15]. Les techniques de miniaturisation peuvent être scindées en deux grandes classes : la miniaturisation par structuration et la miniaturisation par modification du substrat

II.2.2.1 Miniaturisation par structuration

Dans cette technique, qui est loin d'être la plus utilisée, la structuration d'antennes consiste à travailler un des paramètres physiques de l'antenne afin de réduire sa taille tout en conservant le mode propre et sans exciter de modes supérieurs. La forme de l'antenne est changée. Par conséquent les courants parcourant celle-ci subissent une modification. Il existe une grande variété de structuration possible.

II.2.2.1.1 Ajout de fentes ou d'entailles

Cette technique, utilisée pour la miniaturisation d'antennes planaires, consiste à placer des fentes dans les parties métalliques de ce type l'antenne. Les courants qui circulent d'un bout à l'autre de ces parties métalliques seront donc bloqués par les fentes et pour les contourner devront emprunter un chemin plus long que celui sans les fentes, comme présenté sur la figure II.1. La longueur électrique est donc augmentée ainsi que la capacité et l'inductance de l'antenne. En conséquence on peut dire qu'une fente est équivalente à une capacité, et qu'une ligne à une inductance. L'antenne est alors miniaturisée. Dans [16] [17] des études ont montrées que plus une fente est grande plus la fréquence de résonance diminue et que si les fentes s'adaptent correctement à la forme de l'antenne planaire, sa taille peut être réduite d'environ 30%. Cependant, il faut noter que cette technique cause une augmentation du facteur de qualité et par conséquent la diminution de la bande passante de l'antenne.

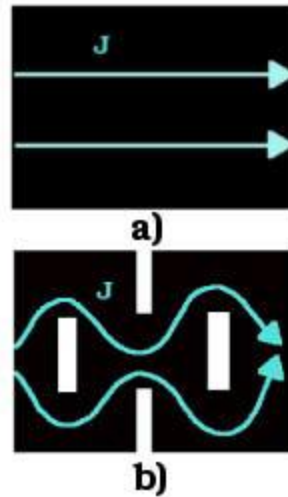


Figure II.1 :Exemple des courants dans une antenne : a) sans fentes ; b) avec fentes.

II.2.2.1.2 Méandres

Les méandres sont une succession de courbures constituant l'équivalent d'inductances localisées. Elle permet de cette façon d'augmenter la longueur électrique d'une ligne, tout en gardant le même sens global des courants rayonnants. La FigureII.2 montre un dipôle avec des méandres qui possède désormais une fréquence de résonance plus basse que celle d'un dipôle sans méandre de même dimension.

L'inconvénient majeur de cette technique est l'augmentation des pertes métalliques qui va causer la diminution de l'efficacité de l'antenne.



Figure II.2 : Dipôle avec des méandres.

II.2.2.1.3 Corrugation

La corrugation est le plissement périodique de surfaces (i.e. méandres en 3D). La Figure II.3montre un exemple de la corrugation. Cette technique, par l'utilisation d'une troisième dimension complique la réalisation de l'antenne et d'augmente la longueur électrique tout en présentant, comme les méandres, l'inconvénient de causer des pertes métalliques non négligeables qui vont diminuer l'efficacité de l'antenne.

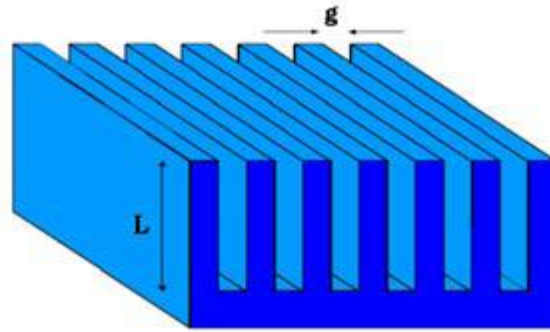


Figure II.3 : Un exemple de la corrugation.

II.2.2.1.4 Ajout de composants discrets

L'idée ici consiste à réaliser des capacités et des inductances localisées sans avoir recours à la déformation de certaines parties de l'antenne mais plutôt à l'aide de l'ajout de composants localisés. Par exemple si on ajoute des inductances sur une ligne sa longueur électrique est augmentée tout en gardant sa longueur physique. Le même principe s'applique aux capacités dans les fentes. Sur la figure II.4 est présentée l'inter digitation comme exemple de capacités localisées qui consiste à réaliser l'engrènement de replis. Comme pour les méandres. Cette technique permet d'augmenter la capacité de vis à vis sans souder d'éléments. L'inconvénient de l'ajout de composants discrets est l'augmentation du facteur de qualité et par conséquent la diminution de la bande passante de telles antennes.

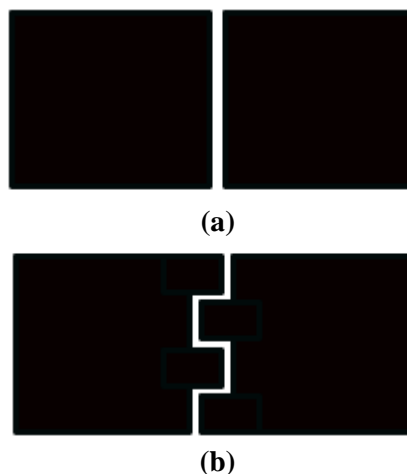


Figure II.4 : l'inter digitation.

II.2.2.1.5 Les fractales

Ce sont des courbes de remplissage de formes mathématiques fragmentées utilisées pour la conception d'antennes [18] [19]. Leur grand intérêt réside dans l'utilisation de leur facteur d'échelle pour augmenter la bande passante de l'antenne. La Figure II.5 montre un exemple de fractales avec 3 itérations. Là aussi, cette technique augmente la longueur électrique pour une dimension donnée et diminue ainsi la fréquence de résonance de l'antenne structurée.

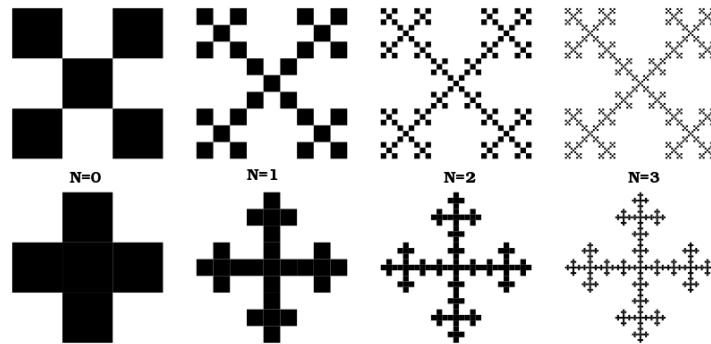


Figure II.5 :Un exemple de fractales avec 3 itérations.

II.2.2.2. Miniaturisation par ondes lentes

Une onde lente est une onde dont la vitesse de phase est inférieure à la vitesse de phase d'une onde monochromatique dans le vide (célérité). Une variation de cette vitesse de phase aura une incidence directe sur la fréquence de l'onde associée et donc sur la miniaturisation de l'antenne. D'une manière générale, en diminuant la vitesse de phase l'antenne est miniaturisée en créant une onde lente. Puisque les performances d'une antenne ainsi que sa fréquence de résonance sont dépendantes du substrat sur lequel elle est fabriquée, la réalisation d'ondes lente peut-être réalisé en jouant sur la permittivité et la perméabilité du substrat. En effet, La vitesse de phase des courants dans l'antenne est proportionnelle à :

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (\text{II.1})$$

Et l'impédance du substrat est elle aussi proportionnelle à

$$\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (\text{II.2})$$

De nombreux matériaux ont donc été conçus pour permettre la miniaturisation d'antennes, notamment les matériaux naturels (matériaux diélectriques ou magnéto-diélectriques disponibles dans la nature) et les matériaux artificiels.

II.3. Etat de l'art :

Dans la référence [7], une antenne micro ruban à polarisation circulaire (CP) est proposée pour les systèmes mondiaux de navigation par satellite. Afin d'optimiser l'antenne en terme de miniaturisation et d'assurer un rayonnement CP grand angle quatre fentes carrées en forme d'anneau sont découpées symétriquement le long des diagonales d'un radiateur patch carré. Le rayonnement CP est obtenu en imposant une légère différence entre les rayons des patchs aux coins du radiateur carré qui va inciter l'antenne à générer deux modes orthogonaux de même amplitude et d'une différence de phase de 90° . La taille de l'antenne est en plus réduite en mettant à la terre les patchs centraux entourés par les fentes en forme d'anneau carré. Le plan de masse du prototype ainsi obtenu est d'une taille globale de 60 mm x 60 mm x 5 mm.

Le sens du rayonnement (CP) peut également être inversé en échangeant les rayons de la variation des taches circulaires intégrées du plus grand au plus petit ou du plus petit au plus grand.

La Figure II-6 montre la vue en coupe transversale de l'antenne proposée dans [7].

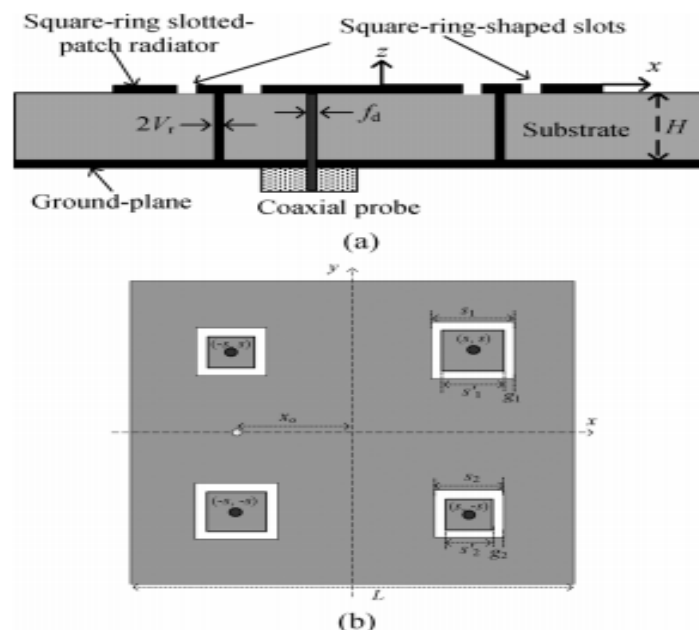


Figure II.6 : Géométrie de l'antenne proposée dans [7] : (a) vue en coupe (b) vue de dessus.

Chapitre II : Antennes pour les systèmes de navigation par satellites

Les dimensions de l'antenne optimisée à la fréquence de fonctionnement de 1,6 GHz pour le rayonnement RHCP avec un faisceau large bande et une taille compacte sont, $L = 40,9$ mm, $s_1 = 8,65$ mm, $s_2 = 6,35$ mm, $g_1 = g_2 = 0,5$, $s'_1 = s_1 - 2g_1 = 7,65$ mm, $s'_2 = s_2 - 2g_2 = 5,35$ mm, $x_0 = 8,5$ mm, $H = 5,0$ mm, la constante diélectrique du substrat, $\epsilon_r = 3,4$, la tangente de perte $= 0,0027$, le diamètre d'alimentation coaxiale, $f_d = 1,27$ mm, et $V_r = 0,75$ mm.

L'antenne proposée est simulée à l'aide du « CST Microwave Studio » et les mesures réalisées ont abouti aux résultats suivants :

- La largeur de bande de perte de retour mesurée à -10 dB est de 90 MHz (1,57-1,66 GHz).
- La bande passante AR mesurée à -3 dB est de 35 MHz (1,57-1,61 GHz), ce qui est capable de couvrir la bande GPS L1 à la fréquence centrale de 1575,42 MHz avec une bande passante de 20,46 MHz.
- Le gain de visée maximum mesuré est de 4,65 dBic à 1,62 GHz.
- La largeur de faisceau AR de -3 dB à 1,578 GHz est supérieure à 140° dans les deux plans xy et yz.

En conclusion on peut dire que les performances de l'antenne proposée sont sensibles à la largeur/longueur de la fente en forme d'anneau carré et au diamètre du via et que l'antenne proposée présente une taille compacte, un gain moyen et un faisceau large bande qui sont prometteurs pour les applications GNSS.

Dans la référence [1], les auteurs ont proposé une antenne microruban asymétrique polarisé circulairement (CPMA pour « circularly polarized microstrip antenna » en anglais) à large faisceau utilisant quatre patchs circulaires inégaux qui est destinée aux systèmes mondiaux de navigation par satellite. Les quatre patchs circulaires inégaux sont intégrés symétriquement sur les coins d'un radiateur carré microruban pour rayonnement CP à large faisceau. Une taille globale de l'antenne est de $0,373\lambda_0 \times 0,373\lambda_0 \times 0,016\lambda_0$ à 1,6 GHz.

La Figure II.7, montre la vue en coupe de l'antenne microruban proposée avec des patchs circulaires intégrés aux coins du radiateur microruban carré. La longueur du radiateur carré et celle du plan de masse carré est noté L et G_p , respectivement. Une alimentation coaxiale est positionnée le long de l'axe x à une distance x_0 du centre du radiateur microruban. Quatre patchs circulaires sont situés le long des lignes diagonales aux points d'angle $[(\pm p, \pm p)]$, où $p = L/2$ du radiateur microruban comme illustré sur la figure 1(b). En variant légèrement les rayons des patchs circulaires intégrés ($r_1 > r_2 > r_3 > r_4$), l'antenne proposée est capable de générer un

rayonnement CP. L'antenne proposée présente un rayonnement polarisé linéaire, lorsque tous les rayons de patch circulaire sont égaux ($r_1 = r_2 = r_3 = r_4$).

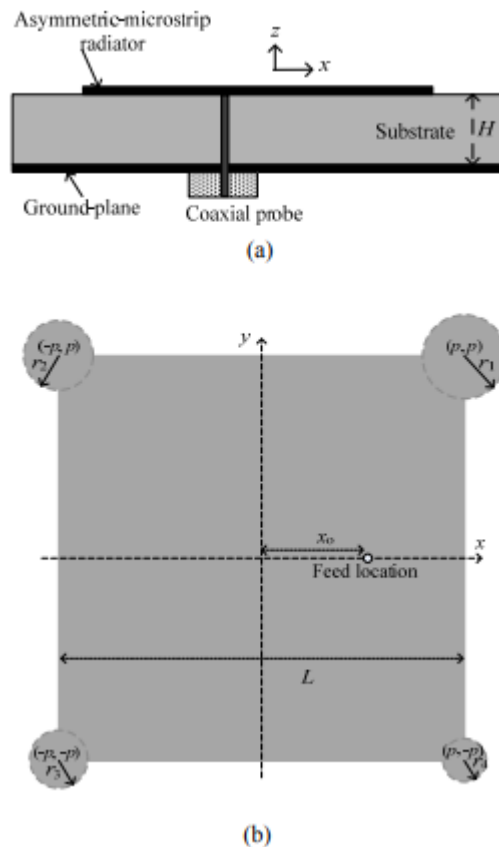


Figure II.7: Géométrie CPMA proposée : (a) vue en coupe ; (b) radiateur à micro ruban asymétrique.

L'antenne est RHCP avec une alimentation coaxiale située le long de l'axe x et LHCP le long de l'axe y. Le sens du rayonnement CP peut également être inversé en échangeant les rayons de la variation des patchs circulaires intégrés du plus grand au plus petit ou le du plus petit au plus grand. Les dimensions de l'antenne optimisée à la fréquence de fonctionnement de 1,578 GHz pour le rayonnement CP avec des largeurs de faisceau larges sont $L = 43,15$ mm, $G_p = 70$ mm, $r_1 = 5,4$ mm, $r_2 = 5,15$ mm, $r_3 = 4,0$ mm, $r_4 = 3,0$ mm, $x_o = 10$ mm, $H = 3,048$ mm, une constante diélectrique du substrat, $\epsilon_r = 3,4$ et une tangente diélectrique de perte de substrat = 0,0027. Une longueur efficace du radiateur patch peut être obtenue en $L_{eff} = \pi/8 \times (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + L$ (1) Sur la base de la longueur effective du radiateur patch, la fréquence de fonctionnement de l'antenne peut être calculée.

L'antenne proposée a été fabriquée et testée pour valider la conception de la simulation et les résultats suivants ont été obtenus :

- La performance CP de l'antenne proposée est sensible aux rayons de patch circulaire intégrés.
- La bande passante de perte de retour mesurée de 10 dB est de 56,0 MHz (1,556–1,612 GHz) et que la bande passante AR de 3 dB est de 24,0 MHz (1,568–1,592 GHz), ce qui est capable de couvrir la bande GPS L1 à la fréquence centrale de 1575,42 MHz avec une bande passante de 20,46 MHz
- Le gain de visée maximal mesuré est 5,25 dBic à 1,62 GHz.
- Le gain est de plus de 5,0 dBic à travers la bande passante AR de 3 dB.
- La largeur de faisceau AR de -3 dB est supérieure à 180° dans les deux plans.
- Les résultats mesurés concordent très bien avec les résultats simulés. Cependant, le gain mesuré est légèrement inférieur par rapport au gain simulé.
- Une étude comparative effectuée dans [1] avec d'autres techniques d'antennes GNSS ont montrées la supériorité de l'antenne proposée en termes de largeur du faisceau de radiation CP et de complexité.

En conclusion, on peut dire que l'antenne micro ruban asymétrique à rayonnement CP à faisceau large avec patches circulaires intégrés proposée dans [1] a un rayonnement CP grand angle de 180° avec profil bas et est utile pour les applications GNSS/GPS.

Par ailleurs, dans la référence [8], les auteurs ont proposé une antenne double bande pour les applications GPS qui se compose de radiateurs empilés à microruban asymétrique avec une alimentation coaxiale. Les radiateurs, inférieur et supérieur, sont conçus pour les bandes L2 et L1, respectivement. L'antenne proposée est conçue à l'aide du CST Microwave Studio. Le rayonnement CP bi-bande est obtenu par des patches circulaires inégaux intégrés aux coins des radiateurs micro ruban carrés inférieurs et supérieurs.

La vue en coupe de l'antenne proposée dans [8] est montrée sur la figure II-8. Celle-ci est conçue avec une surface de plan de masse carrée de 75 mm × 75 mm.

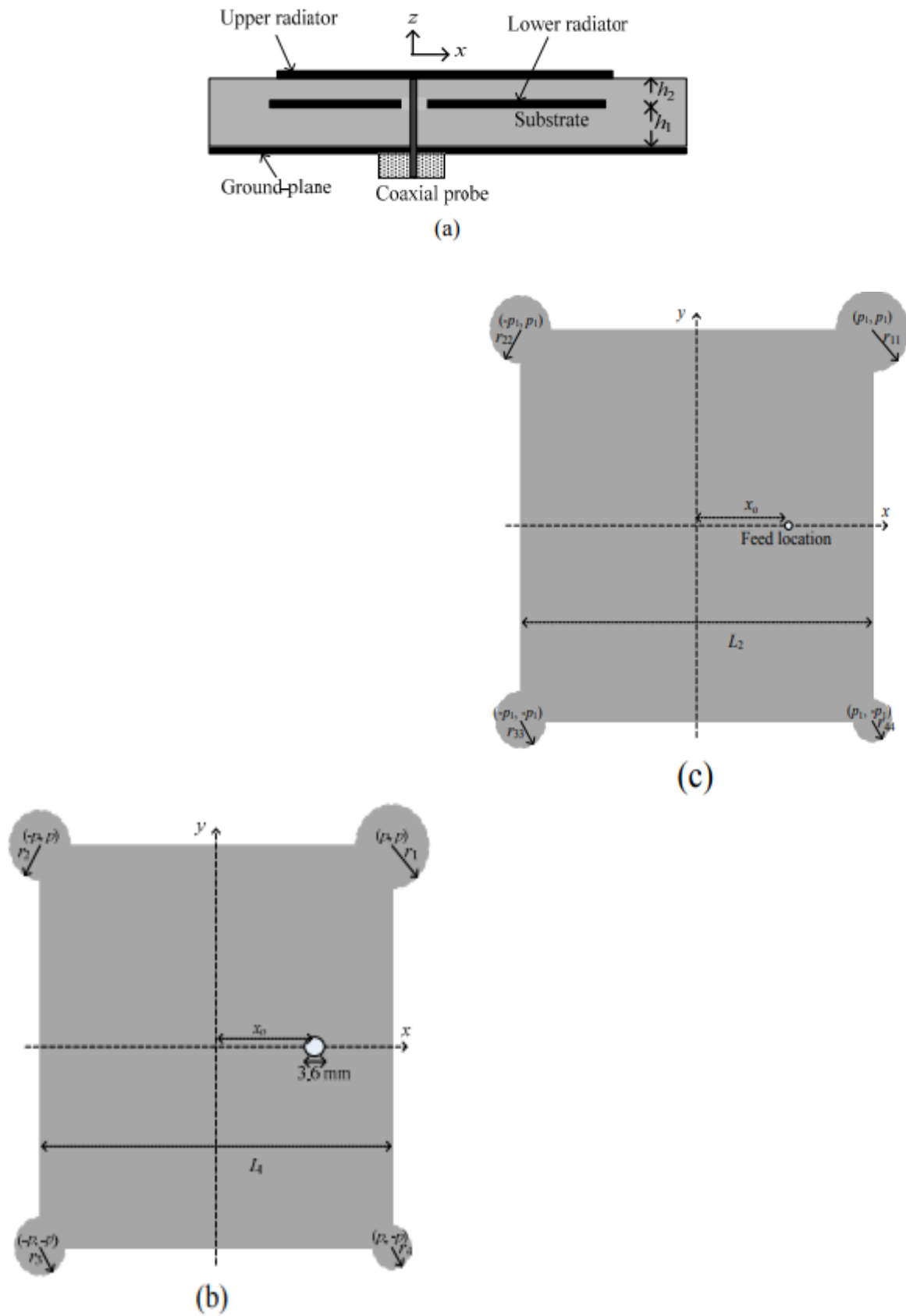


Figure II.8 : Géométrie d'antenne CP double bande proposée : (a) vue en coupe transversale, (b) radiateur patch inférieur et (c) radiateur patch supérieur.

La longueur du radiateur carré inférieur et du radiateur carré supérieur est désignée par $L1$ et $L2$, respectivement. Une alimentation coaxiale est située le long de l'axe x à une distance x_0 du centre du radiateur microruban supérieur. Quatre petits patches circulaires inégaux sont situés le long des lignes diagonales aux angles $[(\pm p, \pm p), (\pm p_1, \pm p_1)]$, où $p = L1/2$, et $p_1 = L2/2$ du radiateur microruban inférieur et radiateur microruban supérieur comme illustré à la Fig. 1(b) et à la Fig. 1(c), respectivement pour atteindre le rayonnement CP double bande. Ceux-ci ont des rayons $r1, r2, r3$ et $r4$ pour les patches circulaires intégrés du radiateur inférieur et $r11, r22, r33$ et $r44$, pour les patches circulaires intégrés du radiateur microruban supérieur.

En modifiant légèrement les rayons des patches circulaires intégrés ($r1 > r2 > r3 > r4$ pour radiateur inférieur et $r11 > r22 > r33 > r44$ pour radiateur supérieur radiateur), l'antenne empilée proposée est capable de générer le rayonnement CP double bande.

L'antenne est RHCP avec une alimentation coaxiale située le long de l'axe des x et LHCP si l'alimentation est située le long de l'axe des y . Le sens du rayonnement CP peut également être modifié en échangeant les rayons de la variation des patches circulaires intégrés du plus grand au plus petit ou du plus petit au plus grand. Pour éviter un éventuel contact entre l'alimentation coaxiale et le radiateur inférieur, une fente circulaire est noyée dans le radiateur inférieur d'un diamètre de 3,6 mm. Les dimensions de conception de l'antenne CP double bande pour les applications GPS sont $L1 = 57,0$ mm, $L2 = 46,0$ mm, $r1 = 5,25$ mm, $r2 = 4,92$ mm, $r3 = 4,05$ mm, $r4 = 3,0$ mm, $r11 = 4,8$ mm, $r22 = 4,65$ mm, $r33 = 3,5$ mm, $r44 = 2,5$ mm, $x_0 = 11,5$ mm, $h1 = 3,2$ mm, $h2 = 1,6$ mm, constante diélectrique du substrat, $\epsilon_r = 3,4$ et tangente de perte diélectrique du substrat = 0,0027.

Dans [8], L'antenne proposée a été fabriquée et mesurée pour valider la conception d'antenne simulée. Les résultats suivants ont été montrés :

- Le VSWR mesuré est inférieur à 2 dans les deux Bande $L1$ et $L2$.
- La qualité CP mesurée (rapport axial minimum) est inférieure à 1 dB dans les deux bandes.
- Le gain de visée mesuré est supérieur à 5,0 dBic pour les bandes $L1$ et $L2$; bien que, le gain dans la bande $L1$ est légèrement supérieur à celui de la bande $L2$ car la bande $L1$ a une grande taille électrique d'antenne.
- Les rendements totaux simulés sont respectivement de 85 % et 77 %, pour la bande $L1$ et la bande $L2$.

- Les diagrammes de rayonnement de l'antenne ont été mesurés à l'aide d'une méthode d'antenne à cornet d'émission rotative polarisée linéairement. La largeur de faisceau du rapport axial de 3 dB est supérieure à 180° dans les deux plans.
- Les résultats de l'antenne simulée sont comparés aux résultats mesurés. En général, les résultats de simulation sont en assez bon accord avec les données mesurées.

Pour conclure on peut dire que dans [8] une antenne microruban asymétrique empilée CP double bande à profil bas a été conçue, étudiée et réalisée pour les applications GPS. Les résultats ont montré que l'antenne dispose d'un rayonnement CP double bande de bonne qualité et couvre à la fois les bandes L1 et L2 avec un rapport axial inférieur à 3 dB. De plus l'antenne double bande proposée à un rayonnement CP grand angle de 180° avec un profil bas et utile pour les petites applications de récepteur GPS.

En plus, diverses antennes microruban CP à double bande pour GNSS ont été proposées dans [1-6], telles qu'un patch carré avec des fentes en forme de L intégrées sur les bords [1], une fente en forme de S sur un radiateur de patch carré [2], une fente annulaire avec F ligne d'alimentation en forme de microruban [3], radiateur à fente annulaire avec un plan de masse de surface à haute impédance (HIS) [4], patch annulaire empilé [5] et patches microruban carrés tronqués en coin empilés [6]. Les performances de toutes les antennes mentionnées ci-dessus sont comparées dans le Tableau I. L'antenne indiquée dans [1] est compacte tandis que le gain d'antenne dans les deux bandes est inférieur à 1 dBic. Toutes ces antennes ont fait l'objet d'une étude comparative dans la référence [9] dont les résultats sont rassemblés dans le tableau **II-1**.

Réf	Volume global de l'antenne	BP- $ S_{11} $ à 10dB (GHz)	AR à 3dB (GHz)	Gainmax (dBic)
[1]	$0,286\lambda_0 \times 0,286\lambda_0 \times 0,02\lambda_0$	1,550-1,625 / 1,202-1,252	1,575-1,595 / 1,226-1,241	0,51/-0,42
[2]	$0,469\lambda_0 \times 0,469\lambda_0 \times 0,088\lambda_0$	1,444-1,636 / 1,103-1,297	1,568-1,577 / 1,195-1,128	5,0/7,0
[3]	$0,408\lambda_0 \times 0,408\lambda_0 \times 0,088\lambda_0$	1,565-1,585 / 1,190-1,235	1,572-1,581 / 1,220-1,231	1,45/1,1
[4]	$0,612\lambda_0 \times 0,612\lambda_0 \times 0,074\lambda_0$	1,500-1,660 / 1,175-1,335	1,555-1,605 / 1,210-1,250	7,5/8,0
[5]	$0,571\lambda_0 \times 0,571\lambda_0 \times 0,049\lambda_0$	1,2-1,6 / 1,2-1,6	1,550-1,620 / 1,210-1,250	7,0/6,0

[6]	$0,408\lambda_0 \times 0,408\lambda_0 \times 0,015\lambda_0$	1,557-1,601/ 1,195-1,248	1,567-1,583/ 1,220-1,234	4,5/1,5
-----	--	-----------------------------	-----------------------------	---------

Tableau II-1 : comparaison des antennes GNSS CP double bande.

Dans la même référence [9], les auteurs ont également proposé une nouvelle antenne patch à fentes à polarisation circulaire (CP) double bande compacte pour les systèmes GNSS. L'antenne se compose d'un radiateur patch principal, un radiateur patch parasite et d'une sonde d'alimentation coaxiale. Quatre fentes annulaires circulaires sont découpées sur les radiateurs de patch circulaires respectivement pour le rayonnement CP et la miniaturisation de l'antenne. Le radiateur patch parasite est connecté à la terre à l'aide de quatre vias pour réduire davantage la taille de l'antenne qui est alors de $0,306\lambda_0 \times 0,306\lambda_0 \times 0,02\lambda_0$ (λ_0 est la longueur d'onde en espace libre à 1,227 GHz).

La Figure II-9(a) montre le croquis de la fente circulaire empilée de l'antenne patch. Le rayon du radiateur principal à patch circulaire, ou le patch supérieur, est R_u et le patch circulaire parasite radiateur, ou le patch inférieur, est R_l . Une sonde d'alimentation coaxiale est située le long de la ligne à 45° de l'axe des x avec un emplacement de (x_0, y_0) et connecté au radiateur patch principal. Un trou avec diamètre de 3,6 mm est découpé sur le patch circulaire inférieur pour la sonde d'alimentation la traversant. Le radiateur patch inférieur est excité par couplage électromagnétique. Comme le montre la figure II-9 (b), deux paires de fentes circulaires avec des rayons r_{1l} et r_{2l} respectivement sont coupées sur le radiateur inférieur pour le rayonnement CP, les fentes sont positionnées à $(\pm R_l/2, 0)$, $(0, \pm R_l/2)$, respectivement. L'intérieur des patches des fentes annulaires sont connectés à la terre à l'aide de vias avec un diamètre d_r , qui est capable de miniaturiser davantage le radiateur. La figure II-9 (c) montre la pièce supérieure fendue, dans laquelle quatre fentes annulaires inégales avec des rayons r_{1u} , r_{2u} , r_{3u} et r_{4u} sont situés respectivement à $(\pm R_u/2, 0)$ et $(0, \pm R_u/2)$. la largeur de toutes les fentes annulaires est de 0,5 mm. Pour exciter deux ondes de champ électrique orthogonales d'égale magnitude mais en quadrature de phase pour le rayonnement CP, les rayons des fentes de l'anneau circulaire doivent être comme suit

Pour radiateur inférieur : $r_{1l} < r_{2l}$

Pour radiateur supérieur : $r_{1u} > r_{2u} > r_{3u} > r_{4u}$

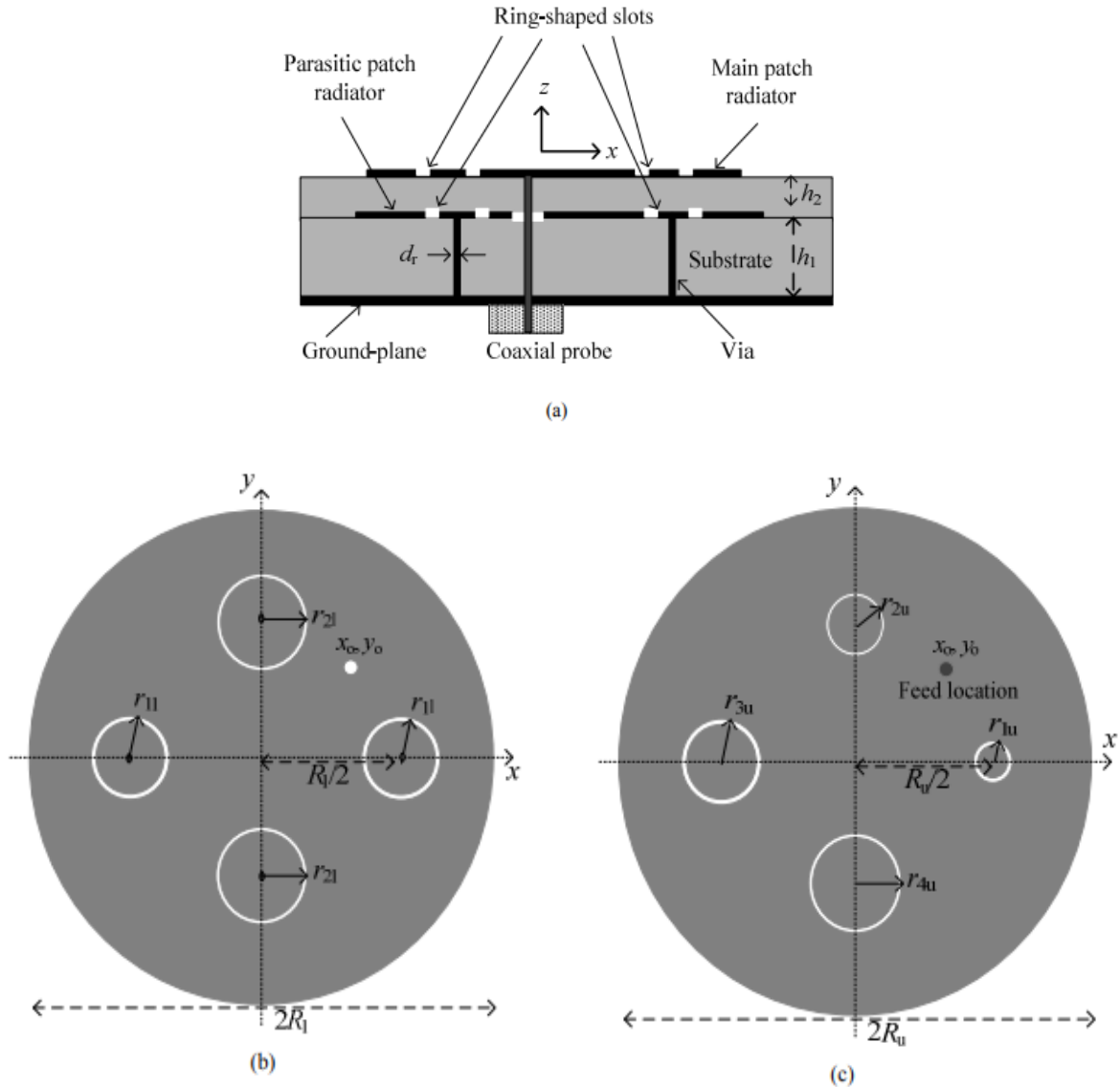


Figure II.9 :Antenne à fentes à double bande proposée :

(a) vue en coupe transversale, (b) radiateur à fentes à anneau circulaire parasite avec vias, et (c) radiateur principal à anneau circulaire à fentes.

L'antenne proposée illustrée à la figure II-9.génère un RHCP. Le rayonnement LHCP peut être généré en déplaçant le point de recharge à $(-x_0, y_0)$. Par ailleurs, l'échange des positions des fentes des anneaux circulaires peut également modifier le sens du rayonnement CP. Les dimensions du prototype d'antenne CP double bande proposée est :

$R_l = 34,0$ mm, $R_u = 28,15$ mm, $r_{1l} = 3,1$ mm, $r_{2l} = 4,33$ mm, $r_{3l} = 3,1$ mm, $r_{4l} = 4,33$ mm, $r_{1u} = 2,0$ mm, $r_{2u} = 4,0$ mm, $r_{3u} = 5,0$ mm, $r_{4u} = 5,55$ mm, $d_r = 1,0$ mm, $y_0 = x_0 = 9,5$ mm. Deux morceaux de substrats Roger 4003C ($\epsilon_r = 3,4$, perte tangente = 0,002) avec une épaisseur de h_1

= 3,2 mm et $h_2 = 1,504$ mm respectivement sont utilisés pour la conception d'antenne ; la taille du plan de masse est de 75 mm × 75 mm.

Les auteurs dans [9] ont abouti aux résultats suivants :

- L'antenne ainsi proposée atteint les performances mesurées souhaitées dans les bandes L1/L2 :
- Une bande passante du coefficient de réflexion à -10dB de 2,0% dans la bande L2 (1,221 GHz–1,246 GHz) et 2,5 % dans la bande L1 (1,533 GHz 1,572 GHz).
- Une bande passante du rapport axial (AR) à 3 dB de 1,0 % (1,22–GHz 1,231 GHz) et 0,84 % (1,552 GHz 1,565 GHz).
- Un gain de visée maximal de 4,0 dBic à 1,227 GHz (bande L2) et 5,6 dBic à 1,555 GHz (bande L1).
- La largeur de faisceau AR à -3 dB est supérieure à 145 ° sur la largeur de bande AR à 3 dB pour les deux bandes.

En résumé, dans [9] les auteurs ont réalisé une étude comparative entre plusieurs antennes patch GNSS bi-bandes compactes et ont conçu, parallèlement, une antenne CP à double bande à fentes annulaires empilées développée pour les systèmes satellitaires. L'antenne proposée est d'une taille compacte, un gain moyen et une largeur de faisceau de plus à 145° dans les deux plans principaux dans les bandes L1 et L2, ce qui la rend adapté aux applications GNSS mobiles. L'antenne proposée est réalisée à l'aide du CST Microwave Studio et validée par des mesures.

II.4. Conclusion :

L'antenne du récepteur GNSS, comme tous les systèmes électroniques de télécommunication modernes, est très concerné par la miniaturisation. Cette miniaturisation est, d'un côté, étroitement liée à un certain nombre de paramètres qui définissent l'objectif et le fonctionnement de l'antenne ; d'un autre côté, les performances de l'antenne miniaturisée sont hypothéquées par la technique de miniaturisation utilisée. Ces paramètres d'antennes et certaines techniques de miniaturisation ont été soigneusement présentés dans ce chapitre. De plus, afin d'investiguer les efforts des chercheurs sur cette problématique, un état de l'art sur certaines antennes GNSS proposées dans la littérature récente a été effectué.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The interior of the scroll is white, and the unrolled portion is shaded light gray. The text is centered within the scroll.

Chapitre-III:

**Etude et conception d'antennes
à polarisation circulaire pour
les récepteurs GNSS**

Chapitre-III : Etude et conception d'antennes à polarisation circulaire pour les récepteurs GNSS

III.1.Introduction :

Comme il a été déjà énoncé dans le deuxième chapitre, ce chapitre présente notre contribution qui consiste, dans un premier temps en la validation des travaux de la référence [7], notamment la détermination des paramètres internes (paramètres S..., bande passante) et des caractéristiques externes (gain, directivité et diagramme de rayonnement) de l'antenne GNSS proposée. Par la suite, en utilisant le même logiciel, on appliquera la technique de miniaturisation RIS [20] pour l'amélioration des résultats trouvés dans [7] en basculant vers une antenne bi-bande, plus compacte et adapté aux GNSS.

III.2.Description du Logiciel de Simulation CST :

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structures passives en 3 dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales finies. Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3 dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle [10].

III.2.1.Description générale de l'interface CST :

Une fois le projet est créé, on accède à l'interface d'utilisateur du CST telle que présenté sur la figure III.1.

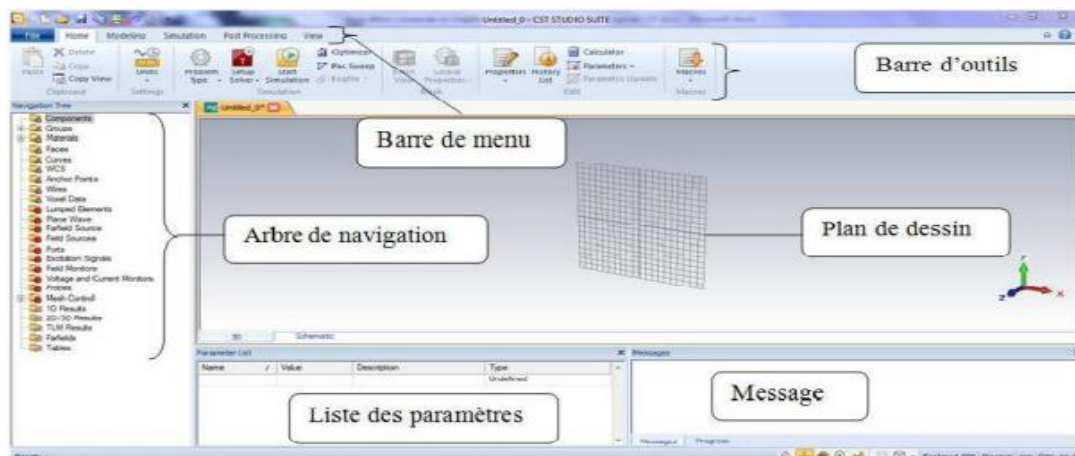


Figure III.1: Interface du CST.

- A l’entête de l’interface, on trouve la barre d’outils qui est un ensemble de raccourcis de la barre de menu.
- A gauche de l’interface, nous avons l’arbre de navigation d’où on peut accéder aux éléments structuraux et aux résultats de simulation.
- Au corps de l’interface se trouve le plan de travail sur lequel la structure est en 3D.
- Au pied de l’interface, nous avons :
 - ✓ la liste des paramètres d’où on trouve les variables utilisées pendant la simulation.
 - ✓ le message qui informe si chaque étape est simulée avec succès. Dans le cas contraire, un message d’erreur apparaît [11].

III.3.Caractéristiques pratiques d’une antenne patch :

Actuellement, les antennes imprimées deviennent de plus en plus importantes en raison des grandes variétés des formes géométriques (rectangulaire, circulaire, à fente, ou formes plus élaborées). Ces éléments rayonnants sont réalisés par des circuits imprimés double face, substrat, caractérisés par leur faible coût de fabrication. Ils peuvent être intégrés aisément sur un volume réduit tout en se conformant à différents types de surfaces. Tout ceci les rend favorable à une production industrielle. Les antennes planaires de ce type sont utilisées lorsqu'on veut réduire l'encombrement d'une antenne, notamment sa hauteur au-dessus d'un plan de masse, par exemple sur les émetteurs-récepteurs portables de radiocommunications, sur les récepteurs GPS.

III.4. Validation des travaux de la publication [7] :

Dans la référence [7], on propose une antenne patch CP à fente à anneau carré avec vias qui permet une réduction de taille de 20% par rapport à une antenne patch CP tronquée dont la structure est présentée sur la figure III.2. La réduction de la taille de l'antenne proposée s'explique par le trajet de courant plus long sur le radiateur et la charge capacitive supplémentaire des fentes en forme d'anneau carré ainsi que la charge inductive des vias.

III.4.1. Structures des deux antennes (tronquée et proposée) :

Les structures des deux antennes tronquée et proposée sont illustrées, respectivement, après simulation et sous plusieurs angles, sur les deux figures III.2 et III.3 ; leurs dimensions sont aussi présentées, respectivement et en détail, sur les tableaux III.1 et III.2. Le substrat des deux

antennes est un TMM3 de Rogers (lossy), qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 3.4$ et une tangente de perte diélectrique, $\tan \delta = 0,0027$.

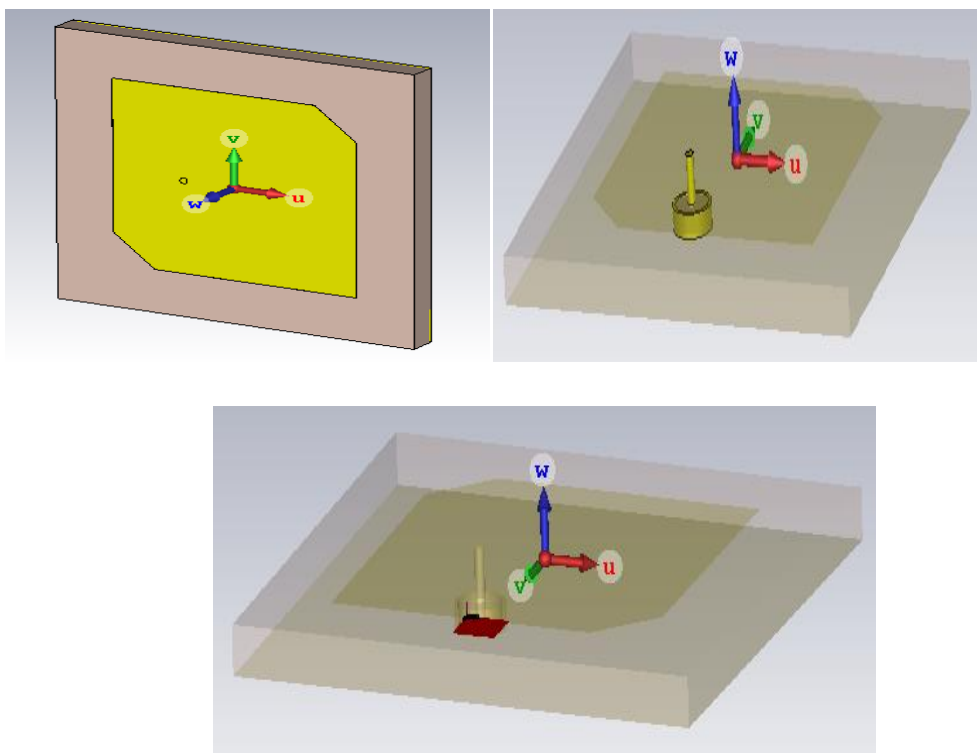
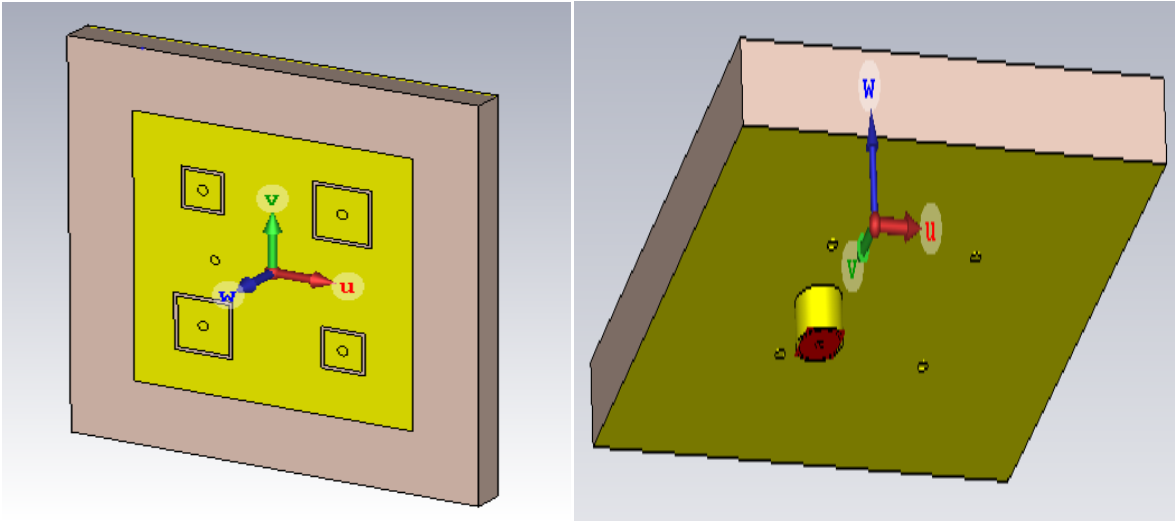


Figure III.2 : structure de l’antenne patch tronquée.

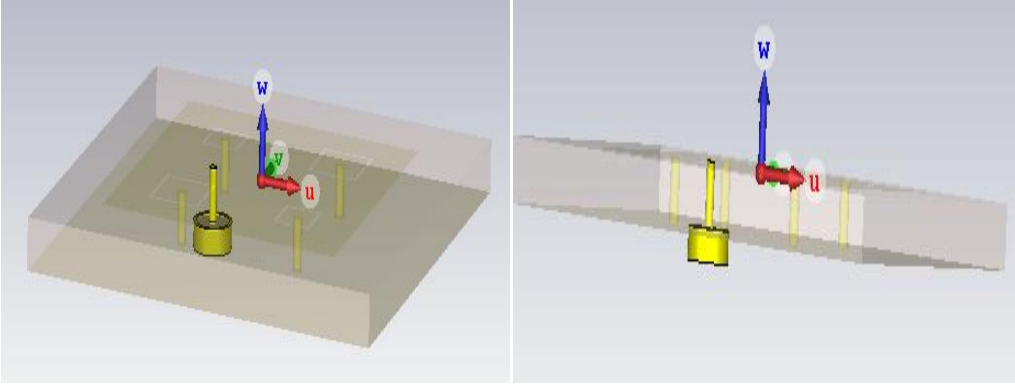
Les dimensions de l’antenne patch tronquée sont illustrées dans le tableau III-1.

Paramètres	Description	Valeur (mm)	Paramètres	Description	Valeur (mm)
Ls	Longueur du substrat et du plan de masse	60	C	Epaisseur de plan de masse et de patch	0.017
Ls	Largeur du substrat et du plan de masse	60	X₀	Position de l'excitation	9
L	Longueur du patch	40.9	Fde	Diamètre Extérieur de câble	3
L	Largeur de patch	40.9	Fd	Diamètre intérieur du câble	1.27
H	Epaisseur de substrat	5	Hd	Épaisseur du conducteur extérieur de câble	0.4

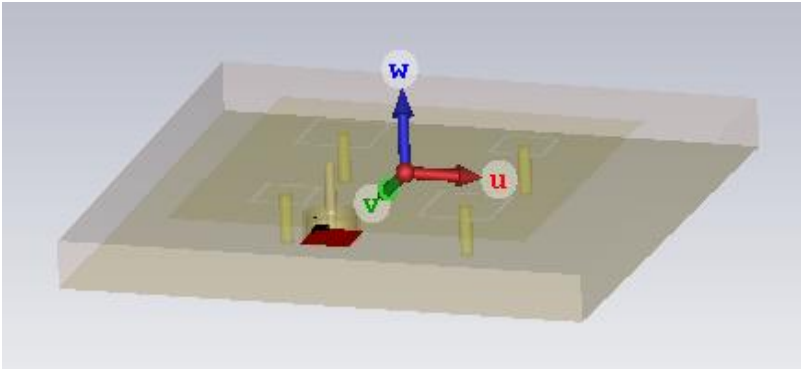
Tableau III-1 : Dimensions de l’antenne patch tronquée.



(a)



(b)



(c)

Figure III.3 : structure de l'antenne patch proposée.

Les dimensions de l’antenne proposée sont illustrées dans le tableau **III-2**.

Paramètres	Description	Valeur (mm)	Paramètres	Description	Valeur (mm)
Ls	Longueur du substrat et du plan de masse	60	Fd	Diamètre intérieur du câble	1.27
Ls	Largeur du substrat et du plan de masse	60	Fde	Diamètre Extérieur	5.5
H	Épaisseur de substrat	5	Hd	Épaisseur du conducteur extérieur de câble	0.45
L	Longueur du patch et Largeur de patch	40.9	S1	Longueur de1 ^{er} fente carrée	8.65
C	Épaisseur de plan de masse et de patch	0.017	g1	Largeur de1 ^{er} fente carrée	0.5
X₀	Position de l'excitation	8.5	S2	Longueur de2 ^{eme} fente carrée	6.35
V_r	Diamètre du vias	0.75	g2	Largeur de2 ^{eme} fente carrée	0.5

Tableau III-2 : Dimensions de l’antenne proposée

III.4.2. Résultats et discussions :

En utilisant les paramètres mentionnés ci-dessus, les valeurs de S_{11} , les diagrammes de directivité 3D, le rapport axial et le gain sont déterminés pour chaque antenne via CST MWS.

III.4.2.1. Coefficient de réflexion (S_{11}) :

La figure III.4, montre le coefficient de réflexion d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à -10 dB. Les paramètres de dispersion S_{11} de l’antenne patch tronquée et de l’antenne proposée sont présentés respectivement sur les figures III.1(a) et III.1(b). On remarque que l’antenne tronquée résonne à la fréquence (1,91 GHz) avec une largeur de bande passante à -10dB de 115 MHz dans l’intervalle (1,846 – 1,962) GHz, alors que l’antenne proposée présente une largeur de bande passante à -10dB de 90 MHz autour de

la fréquence de résonance (1,59 GHz) dans l’intervalle (1,53 – 1,62) GHz avec un comportement adéquat, répondant ainsi à l’exigence de la conception.

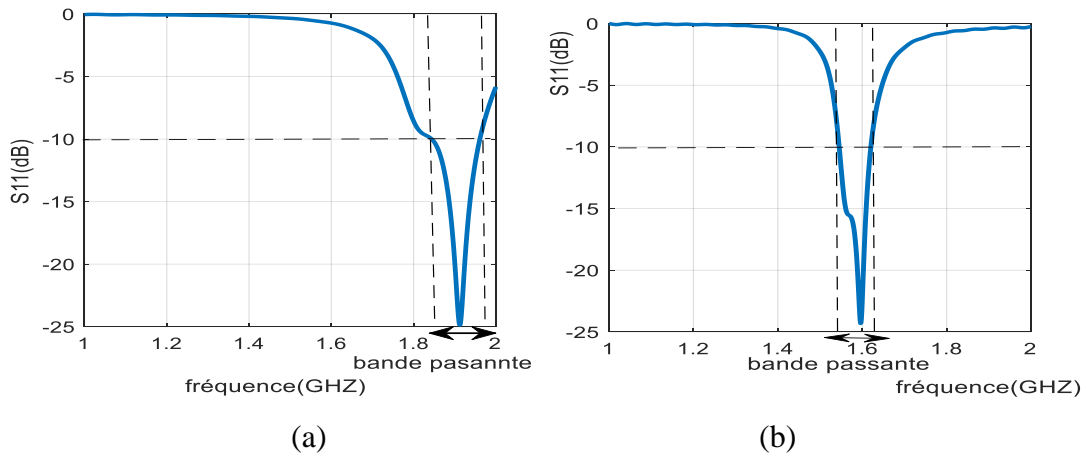


Figure III.3 : Variation de S11 en (dB) en fonction de la fréquence.

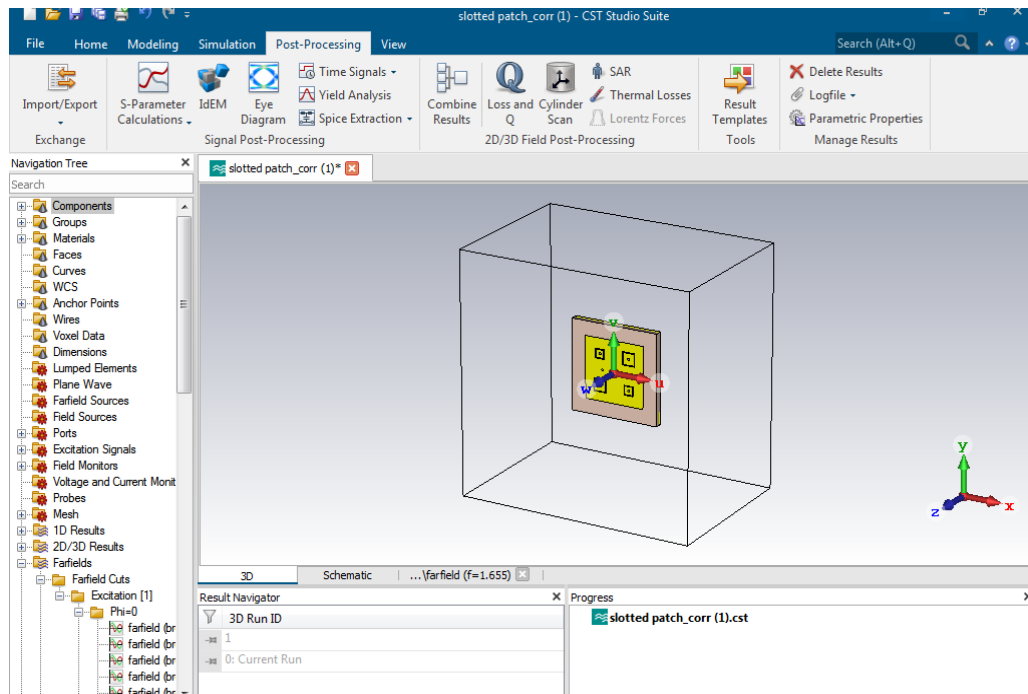
(a) Antenne tronquée. (b) antenne proposée

III.4.2.2. Gain et rapport axial :

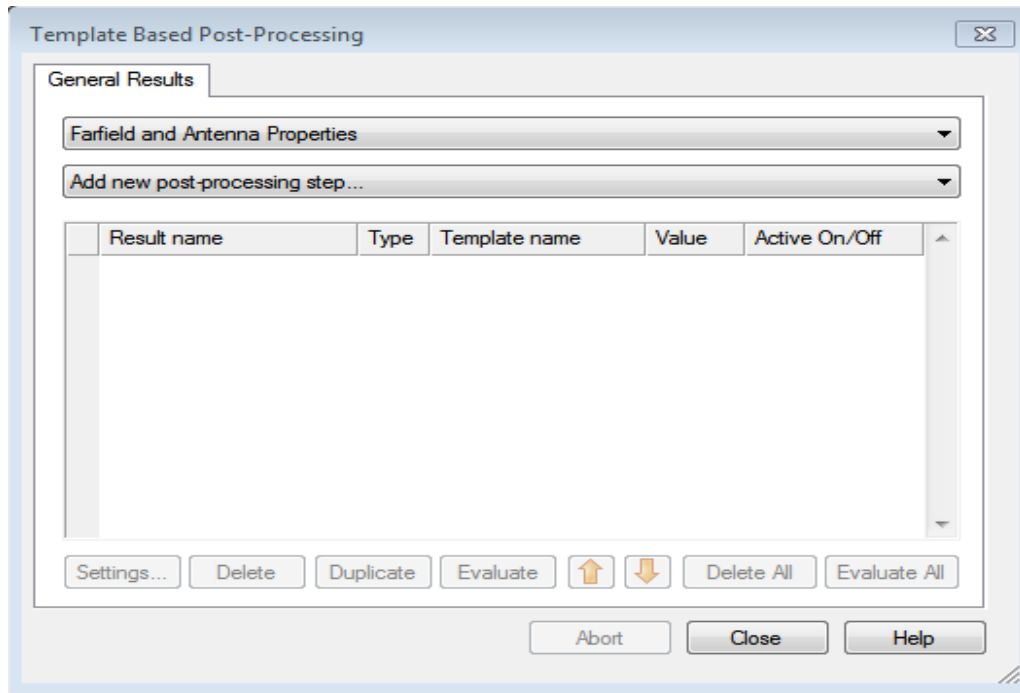
Dans ce qui suit nous allons, dans un premier temps, établir les différentes étapes du logiciel permettant de déterminer le gain et le rapport axial d’une antenne patch. Par la suite, on présentera les résultats obtenus.

1) Etapes de calcul du gain

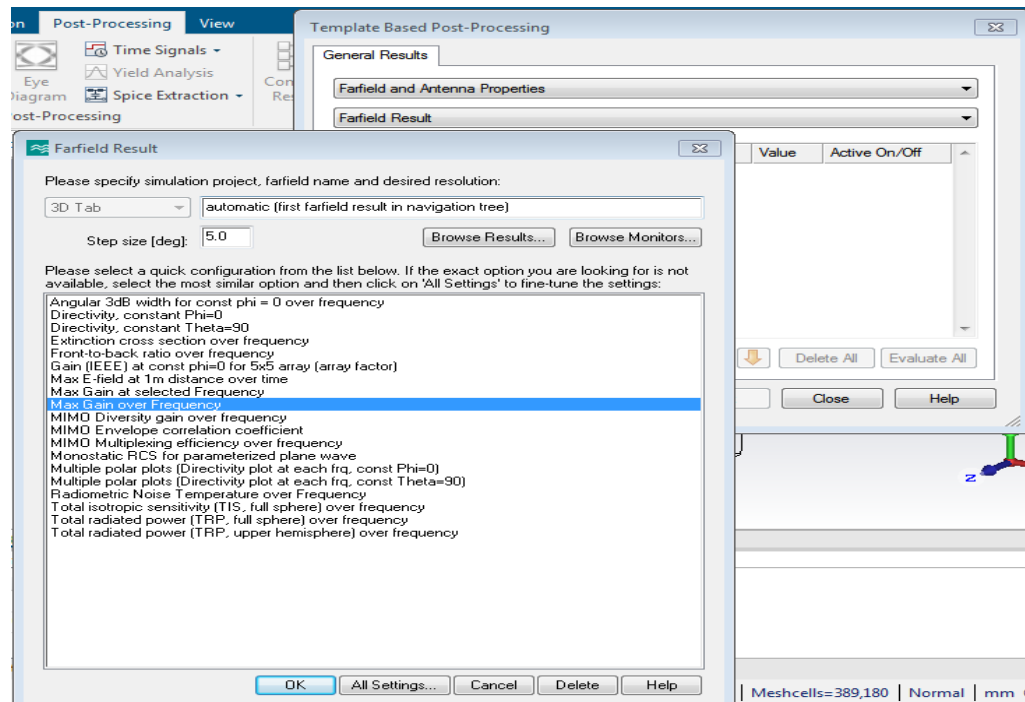
- On clique sur "post processing".



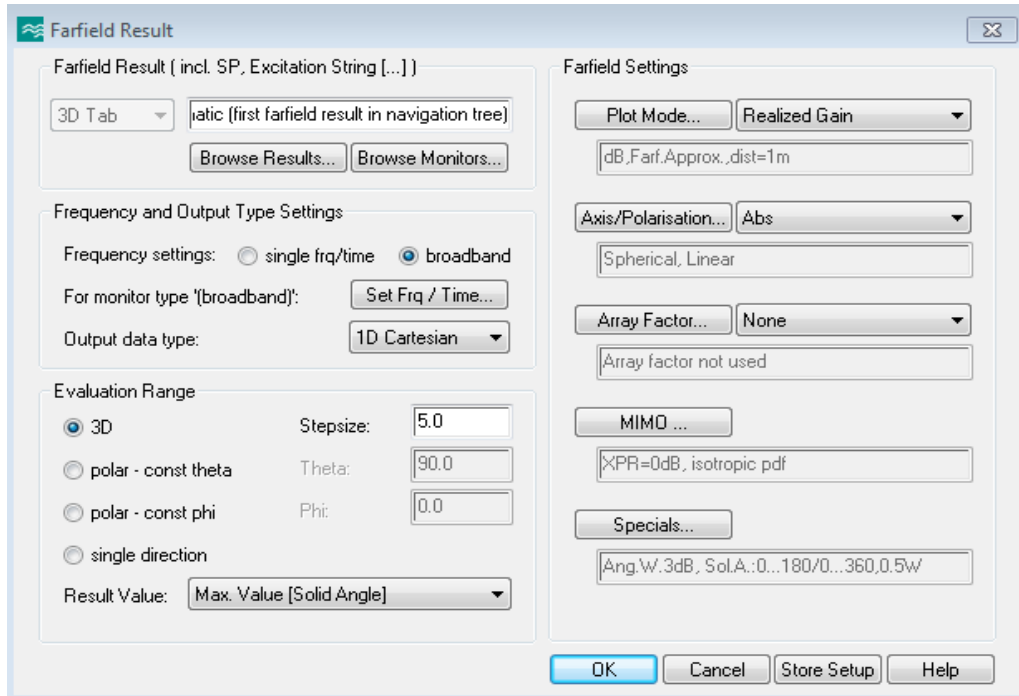
- On clique sur l’icône “ ResultTemplates ” et on choisit “ FarfieldResult” de “Add new post-processingstep” .



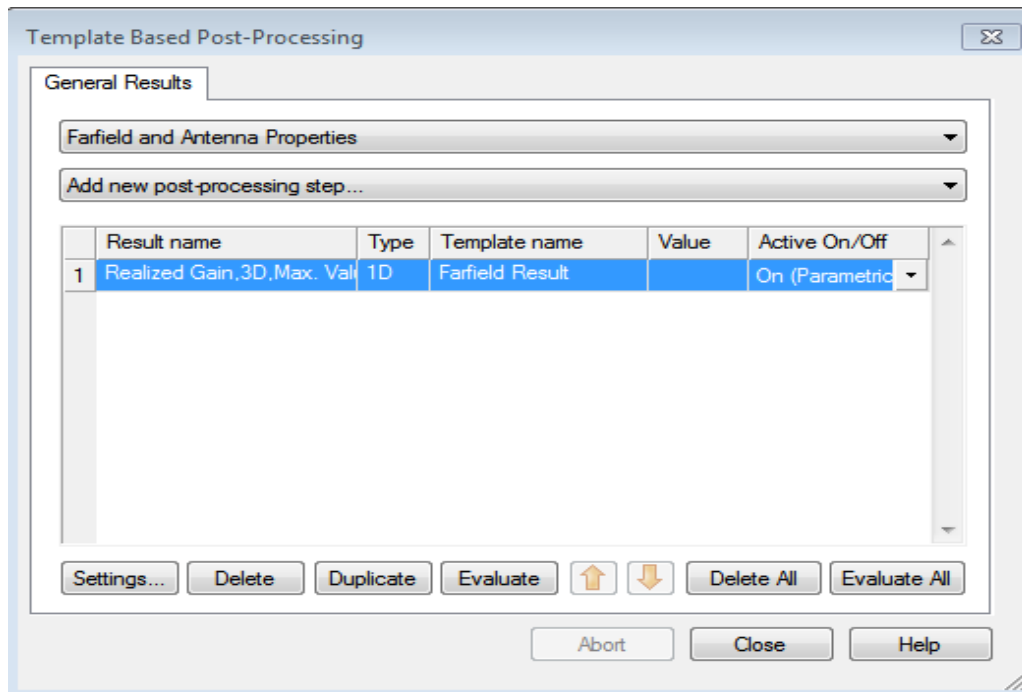
- On sélectionne “Max gain over frequency”, puis “all settings”.



- Après avoir sélectionné “all settings”, on doit effectuer le mode “ realized Gain ” pour tracer le gain puis cliquer sur “ ok”.

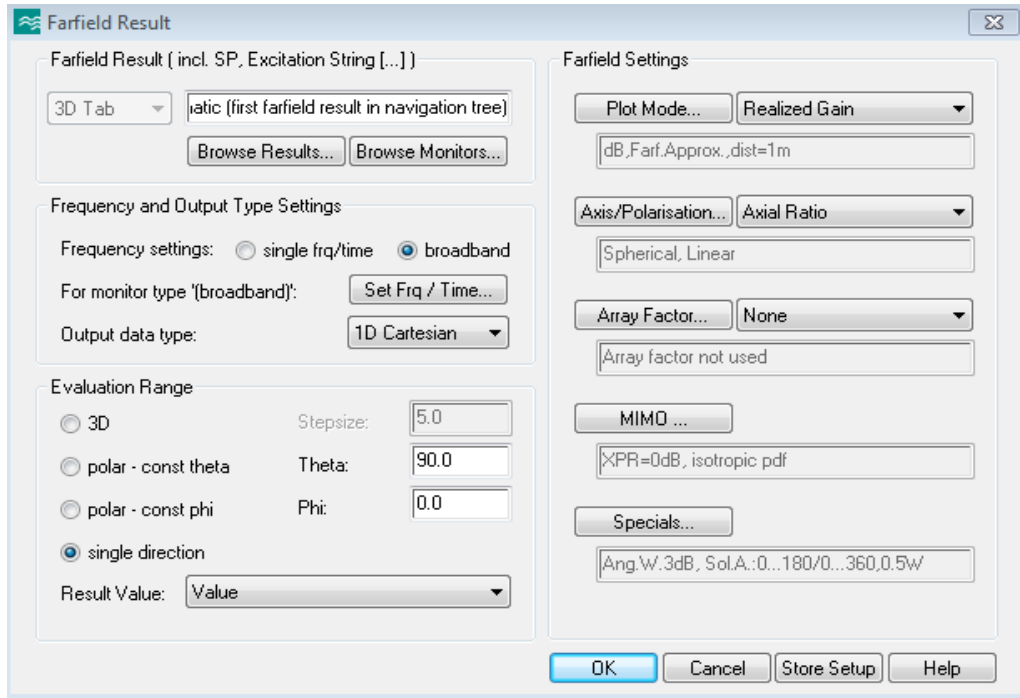


- En fin, la fenêtre suivante apparait et on clique sur “ Evaluate All ” pour terminer l’opération puis on clique sur “ close ”.

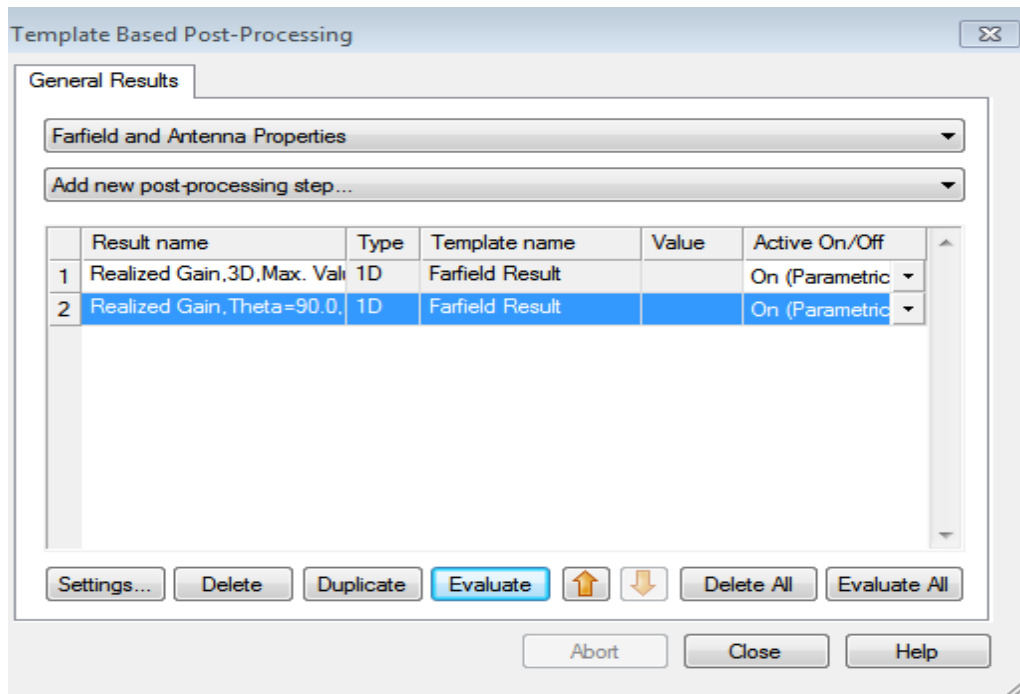


2) Etapes de calcul du rapport axial :

- Après avoir sélectionné “all settings”,on doit effectuer le mode “realized Gain” pour tracer leAR puis sélectionner “Axial Ratio” et “ single direction” et enfin cliquer sur “ ok ”.



- En fin, la fenêtre suivante apparait et on clique sur ‘Evaluate All’ pour terminer l’opération puis on clique sur “close ”.



3) Résultats de simulation de l’AR et du gain

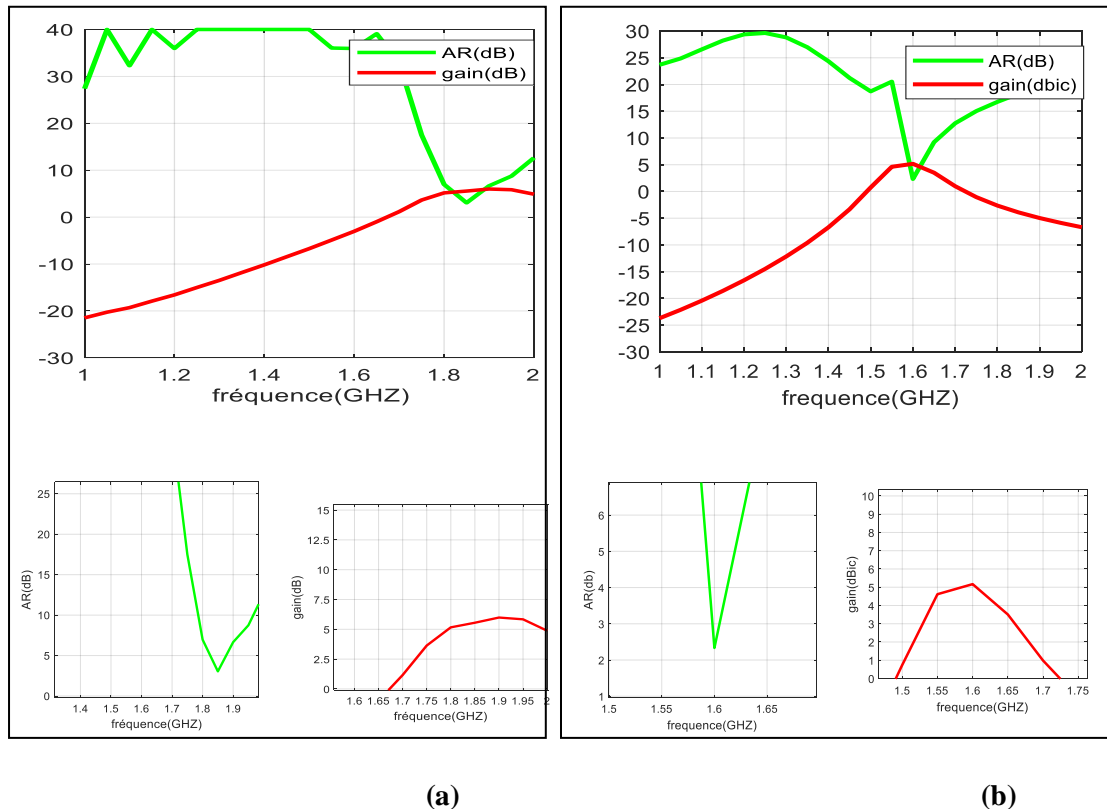


Figure III.5 :Variation de l’AR et du gain en fonction de la fréquence.

(a) Antenne tronquée. (b) antenne proposée

Les figures III.5(a) et III.5(b), présentent, respectivement, le gain et le rapport AR pour l’antenne tronquée et l’antenne proposée.

La figure III.5(a), montre que la bande passante AR à 3 dB mesurée pour l’antenne tronquée est de 35 MHz (1,833-1,868 GHz) et que le gain atteint sa valeur maximale 6.02 dB à la fréquence $f=1.9$ GHz.

Sur la figure III.5(b),on constate que la largeur de bande d'affaiblissement d'adaptation mesurée à -10 dB est de 90 MHz (1,53 – 1,62GHz) et que La bande passante AR à 3 dB mesurée est de 35 MHz (1,59-1,63 GHz), ce qui est capable de couvrir la bande GPS L1 à la fréquence centrale de 1575,42 MHz. On remarque aussi sur cette même figure que le gain de visée maximal mesuré est de 5 dBic à la fréquence 1,6 GHz et que le gain est supérieur à 4,0 dBic sur la bande passante AR de 3 dB.

III.4.2.3. Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l’antenne dans les différentes directions de l’espace. Les diagrammes de rayonnement du champ lointain de la structure finale dans les plans $\phi = 0^\circ$ et $\phi = 90^\circ$ ont été calculés aux fréquences $f_1 = 1.852 \text{ GHz}$ et $f_2 = 1.6 \text{ GHz}$; les résultats et la clarification sont indiqués pour l’antenne tronquée et celle proposée, respectivement sur les figures III.6(a) et III.6(b).

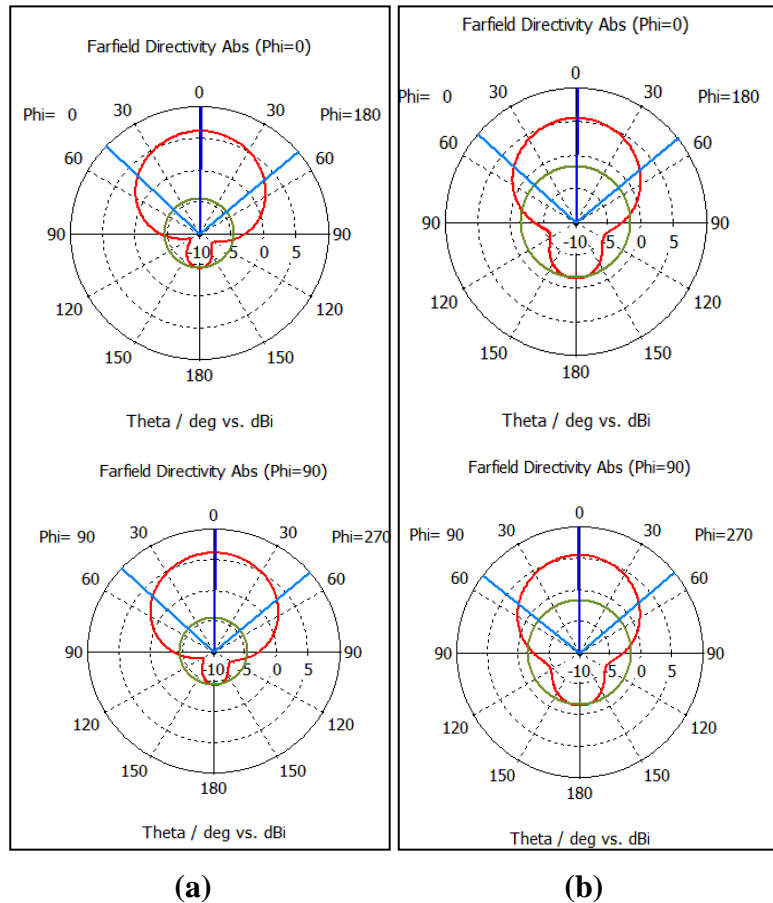
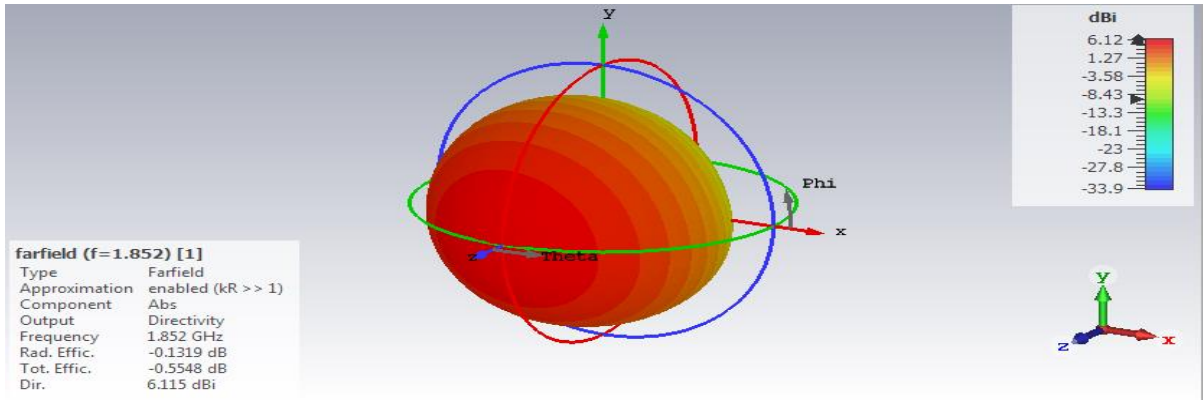
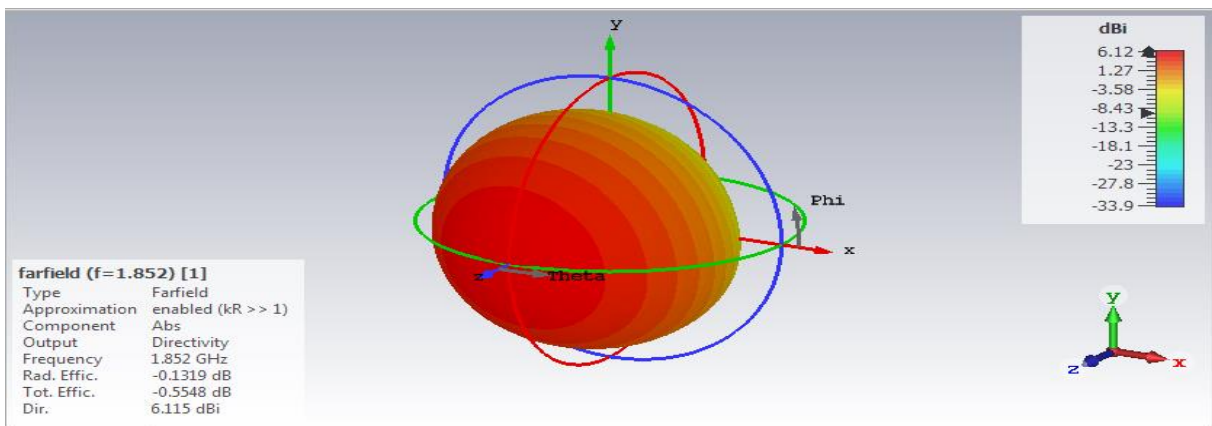


Figure III.6 : Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plan ($\phi=0^\circ$ et $\phi=90^\circ$)
 (a) Antenne tronquée, (b) Antenne proposée

Les résultats des diagrammes de rayonnement en 3D des deux antennes tronquée et proposée sont, respectivement, montrés sur les figures III.7 et III.8 pour les deux plans $\phi=0^\circ$ et $\phi=90^\circ$.



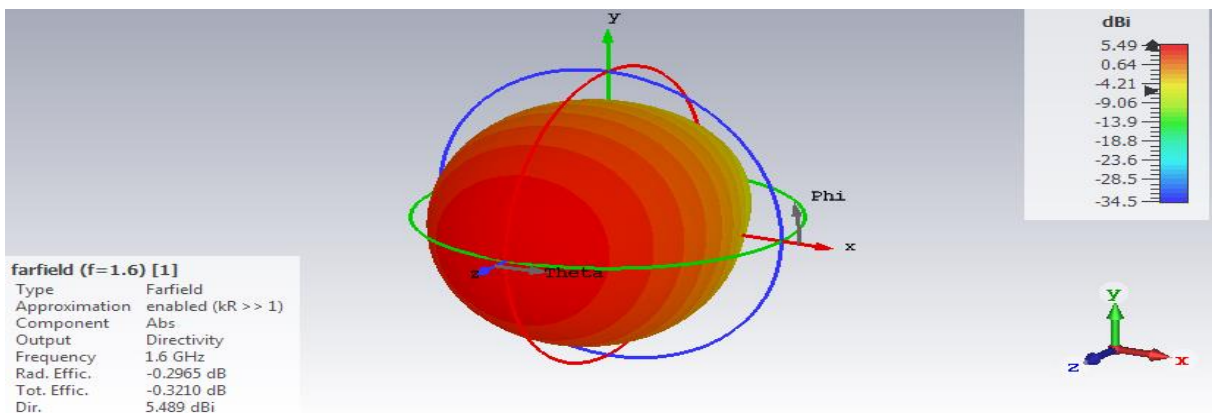
(a)



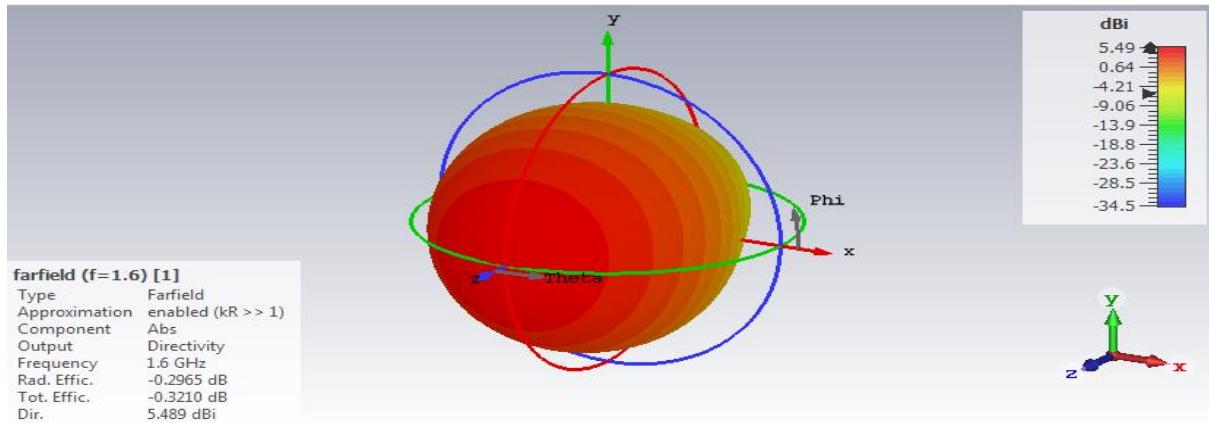
(b)

Figure III.7 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne tronquée.

(a) plan $\phi=0^\circ$, (b) plan $\phi=90^\circ$



(a)



(b)

Figure III.8 :Diagramme de rayonnement en 3D de l’antenne proposée.

(a) plan $\phi=0^\circ$, (b) plan $\phi=90^\circ$

Les diagrammes de rayonnement des deux antennes sont, comme prévu, omnidirectionnelles. Les résultats de simulation trouvés sont très en accord avec ceux de la référence [7]. Les diagrammes sont omnidirectionnels, à 1.6GHz. La largeur de faisceau AR de -3 dB est supérieure à 140 ° dans les deux plans.

III.5. Miniaturisation de l’antenne proposée :

Ces derniers temps, les méta matériaux électromagnétiques ont été intensément étudiés et utilisés pour améliorer les propriétés de rayonnement des antennes telles que la bande passante de fréquence et la direction du rayonnement d'antenne pour les conceptions CPMA (circularly polarized microstrip antenna) à faible coût, légères et miniatures.

L’une des techniques utilisée pour réaliser cet objectif est l’utilisation des surfaces d’impédance réactive [21] [22] (RIS pour ‘reactive impedance surface’ en anglais), comprenant des patches périodiques carrés sur un substrat diélectrique élevé mis à la terre. Dans ce qui suit, nous allons présenter le RIS proposé dans la référence [20] que nous allons appliquer par la suite dans la structure de l’antenne proposée dans [7] et étudier son effet sur la miniaturisation et l’amélioration de performance.

III.5.1. Structure du RIS :

La vue de dessus du réseau de patches métalliques 5x5 formant le RIS proposé dans [20] est montrée dans la figure III.9. Il est composé de structures de patch en métal carré bidimensionnel qui sont périodiquement imprimées sur le substrat diélectrique dans le but de miniaturiser la

taille de l'antenne et d'améliorer à la fois la bande passante et les caractéristiques de rayonnement.

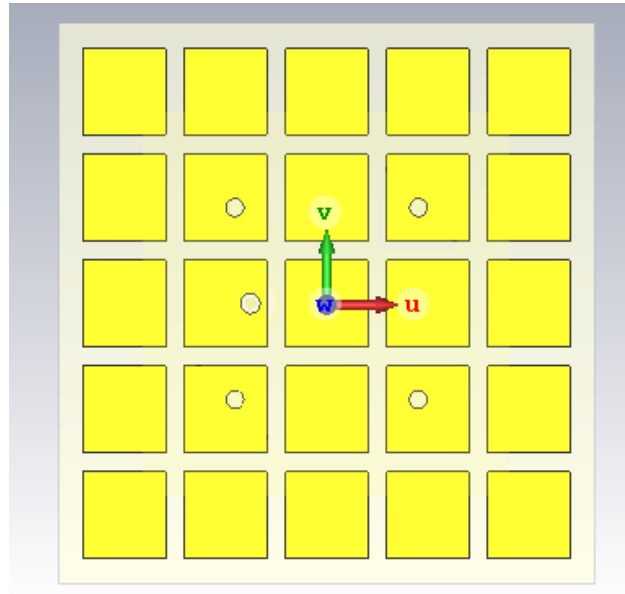
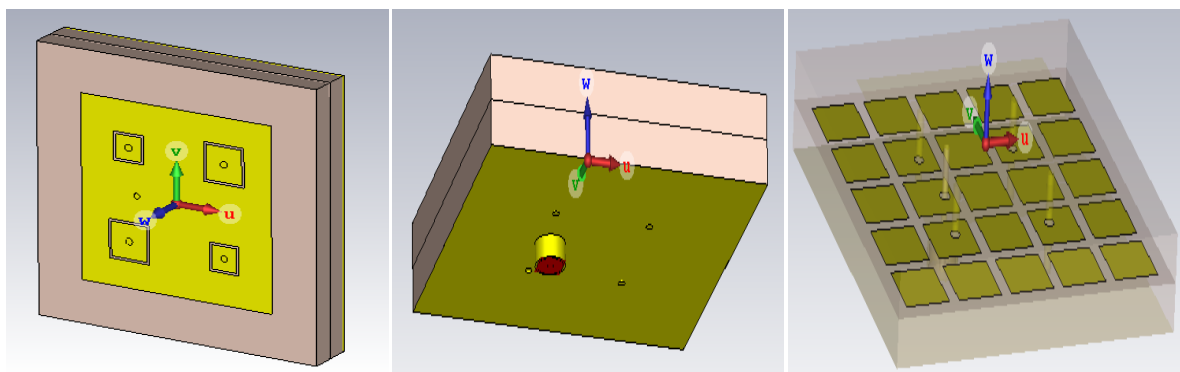


Figure III.9: Structure du RIS.

III.5.2. Miniaturisation avec RIS :

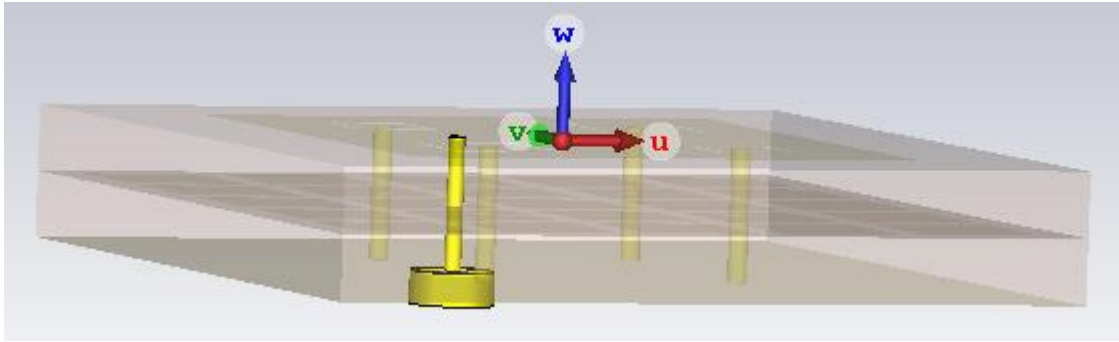
Dans cette partie, la structure du RIS est appliquée à l’antenne proposée dans [20] afin de réaliser la miniaturisation de sa taille et d'améliorer ses performances. La vue de la nouvelle structure composite obtenue est montrée sous plusieurs angles sur la figure III.10. Elle se compose d'un radiateur patch carré sur lequel quatre fentes en forme d'anneaux carrés sont coupées symétriquement le long de ses diagonales et qui est imprimé sur le dessus d’un substrat TMM3 de Rogers (lossy) ($\epsilon_r=3,4$, la tangente de perte=0,0027) FR4 à double couche avec des épaisseurs de ($h_1=0,5\text{mm}$ et $h_2=0,5\text{mm}$). Le plan de masse se trouve au bas de la structure et le RIS ; celui-ci est imprimé à l'interface entre les deux couches diélectriques.



(a) Vue de dessus

(b) Vue de dessous

(c) Emplacement du RIS



(e) Vue en coupe de la structure composite

Figure III.10 : structure de l’antenne composite améliorée.

III.5.3. Résultats et discussions :

III.5.3.1 Coefficient de réflexion (S11) :

La figure III.11 montre les résultats de simulation du coefficient de réflexion de l’antenne composite en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante a -10dB. On remarque que l’antenne est à double bande résonnant aux deux fréquences différentes $f_1 = 1.23 \text{ GHz}$ et $f_2 = 1.32 \text{ GHz}$ sur les deux bandes passantes respectives [1.22GHz à 1.24GHz] et [1.31 GHz à 1.33 GHz].

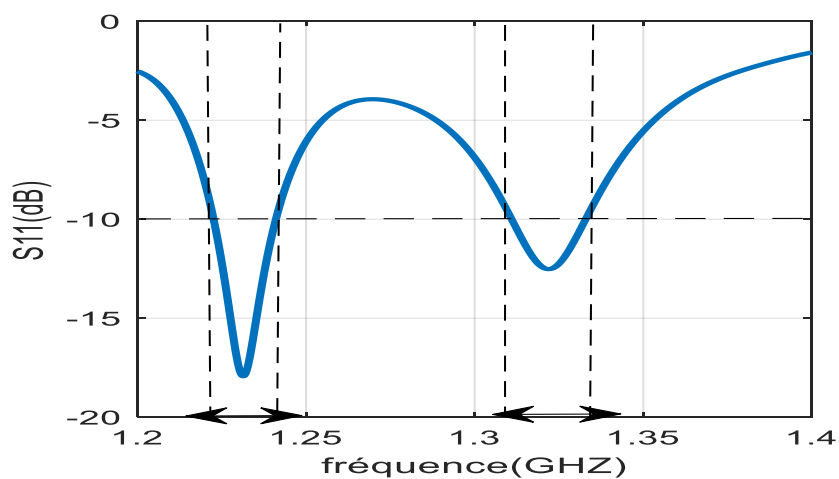


Figure III.11 :S11 en (dB) en fonction de la fréquence de l’antenne composite.

La première bande passante [1.22GHz à 1.24GHz] mesurée à -10 dB est de 20 MHz, ce qui lui permet de couvrir la bande GPS L2 à la fréquence centrale de 1227,6 MHz.

III.5.3.2 Rapport axial et gain :

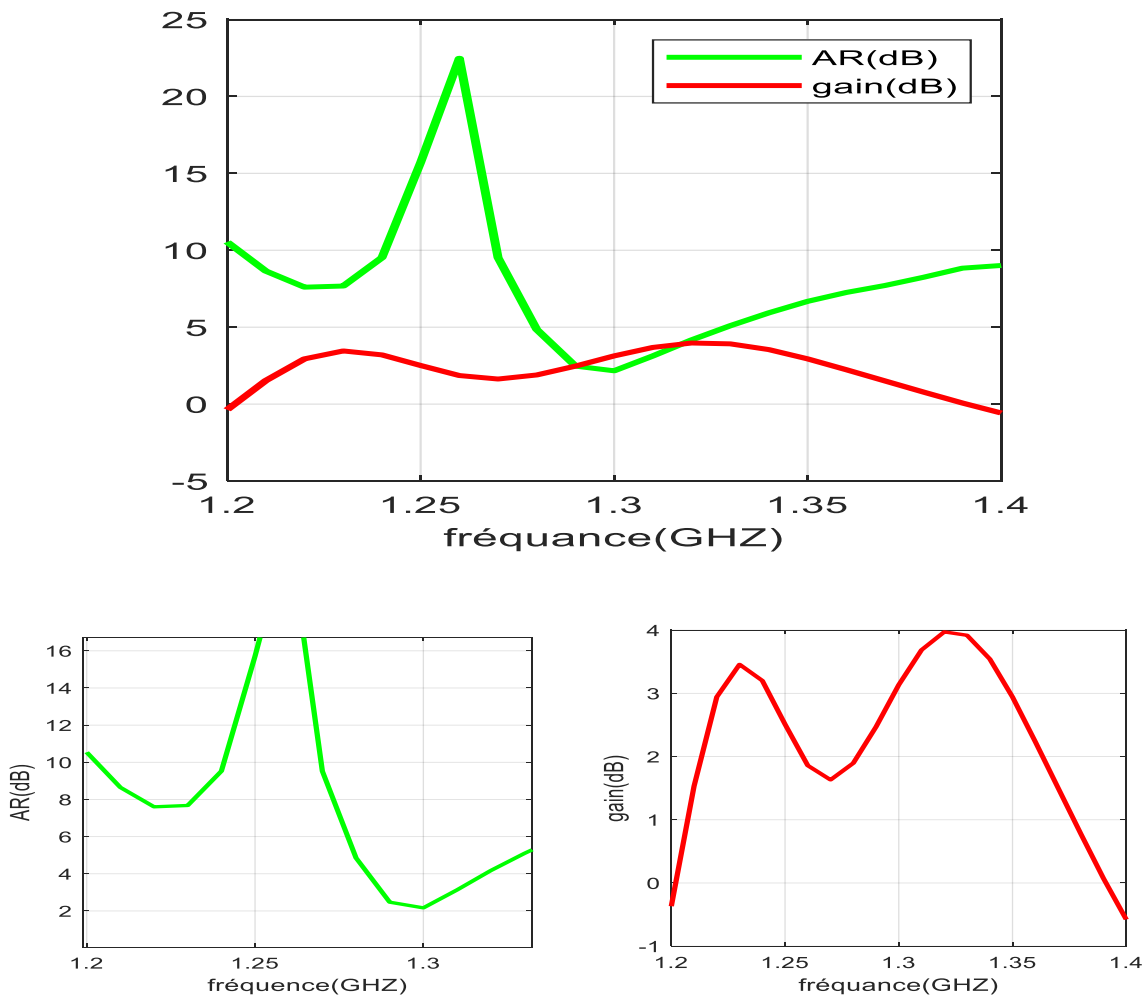


Figure III.12: Variation de l’AR et du gain en fonction de la fréquence.

La figure III.12 montre la variation du gain réalisé de l’antenne à ouverture en fonction de la fréquence dans la direction $\varphi = 0^\circ$ et $\theta = 0^\circ$. On remarque, d’après cette figure, que le niveau du gain est supérieur à 3.5 dB sur la fréquence de 1.23 GHz avec un maximum égal à 4dB (pour une fréquence égale à 1.31GHz).

III.5.4. Etude comparative :

La figure III.13 montre un aperçu comparatif global entre les trois types d’antennes étudiées et simulées dans ce mémoire notamment l’antenne patch tronquée, l’antenne patch à fentes avec vias proposée dans [7] et l’antenne composite (RIS).

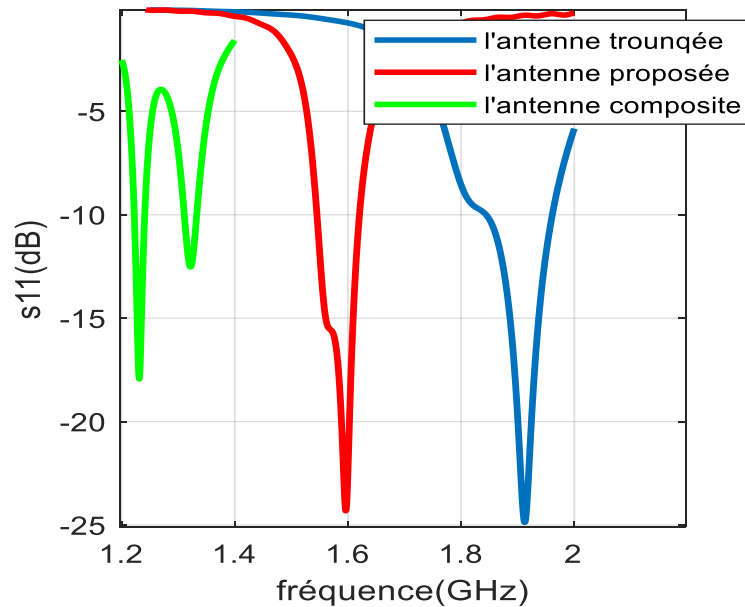


Figure III.13 : comparaison de S11 des trois antennes simulées.

On remarque, d'après cette figure que :

- ✓ L'antenne patch tronquée résonne dans la fréquence de 1,91 GHz dans l'intervalle (1,846 – 1,962) GHz.
- ✓ l'antenne patch à fente avec vias résonne dans la fréquence de (1,6GHz) dans l'intervalle (1,53 – 1,62) GHz, ce qui est capable de découvrir la bande GPS L1.
- ✓ l'antenne composite (RIS) résonne dans la fréquence de (1,23GHz) dans l'intervalle [1,22 GHz à 1,24 GHz] et la fréquence de (1.32 GHz) dans [1.31 GHz à 1.33 GHz].

On peut, d'après ces résultats, conclure que :

- Grâce à la miniaturisation avec RIS on a pu descendre la fréquence de résonance de 1,6 GHz dans l'intervalle (1,53 – 1,62) GHz à 1.23 GHz dans l'intervalle (1,22 – 1,24) GHz tout en gardant la polarisation circulaire. Cette nouvelle structure composite ainsi proposée est donc souhaitable pour les signaux GNSS de la bande GPS L2.
- Il est nécessaire de noter que l'antenne composite offre une polarisation circulaire sur une seule bande [1,22 GHz à 1,24 GHz]. L'adaptation de la deuxième bande [1,31 GHz à 1,33 GHz] aux GNSS pourrait faire l'objet d'une future étude dans le cadre de la préparation d'une thèse de Doctorat ou par d'autres étudiants en master.

III.6.Conclusion :

Dans ce chapitre, les travaux de la référence [7] ont été validés. Dans cette dernière, une antenne patch à fentes à anneau carré et à polarisation circulaire compacte avec des vias a été proposée pour les GNSSs. Le logiciel CST Microwave a été utilisé comme outil de simulation. Les résultats obtenus confirment bien que l'antenne proposée dispose d'une taille compacte, un gain moyen et une large largeur de faisceau et qu'elle s'avère prometteuse pour les applications GNSS. Une deuxième contribution dans ce travail consiste en l'application du RIS à l'antenne proposée dans [20] ce qui a permis de concevoir et de simuler une antenne patch composite compacte double bande avec deux fréquences de résonances réduites dont celle de 1.23 GHz sur l'intervalle (1,22 – 1,24) GHz s'est avérée applicable à la bande GPS L2.



Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur l'étude et la conception d'antennes patch compactes à polarisation circulaire pour les récepteurs GNSS.

Nous avons présenté, dans un premier temps des généralités sur les systèmes GNSS, leurs principes de fonctionnement, leurs signaux et leurs récepteurs.

Par la suite nous avons établi un état de l'art sur les antennes GNSS, où ont été exposées différentes méthodes de conception de ce type d'antennes avec diverses caractéristiques : mono-bande et bi-bande, sans vias et avec vias etc

Enfin nous avons effectué la validation des travaux de la référence [7] où les auteurs ont étudié et conçu une antenne patch compact avec vias à polarisation circulaire, à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. Les résultats de simulation des caractéristiques de l'antenne telles que le AR, le coefficient de réflexion et la bande passante confirme que l'antenne proposée [7] est à polarisation circulaire et résonne à la fréquence 1.6GHz dans la bande de fréquence de 1.53GHz à 1.62 GHz. La bande passante AR mesurée à -3 dB est de 35 MHz (1,57-1,61 GHz), ce qui est capable de couvrir la bande GPS L1 à la fréquence centrale de 1575,42 MHz avec une bande passante de 20,46 MHz. Le gain de visée maximum mesuré est de 4,65 dBic à 1,62 GHz et la largeur de faisceau AR de -3 dB à 1.578 GHz est supérieure à 140° dans les deux plans xy et yz.

Pour diminuer la fréquence de résonance et basculer vers une antenne bi-bande GNSS compacte, la technique de miniaturisation avec RIS a été utilisée. Les résultats de simulation ont montrés que l'antenne patch composite ainsi réalisée est compacte bi-bande. Sur la première bande dans l'intervalle (1,53 – 1,62) GHz l'antenne résonne à 1,23 GHz et assure une polarisation circulaire avec un gain supérieur à 3,5dB, ce qui est, par conséquent, attrayant pour les signaux GNSS de la bande GPS L2. La deuxième bande [1.31 GHz à 1.33 GHz] avec sa fréquence de résonance de 1,32 GHz n'est pas adaptée au GNSSs et n'assure pas une polarisation centrale.

Comme perspective on propose de rechercher une solution pour la deuxième bande [1.31 GHz à 1.33 GHz] en termes de CP, de bande passante et de gain, afin que l'antenne composite bi-bande ait des performances totalement dédiées aux GNSSs.

Références Bibliographiques

- [1] NASIMUDDIN, Y. S. ANJANI, AND A. ALPHONES "A Wide-Beam Circularly Polarized Asymmetric-Microstrip Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(8), 3764–3768. doi:10.1109/tap.2015.2438397 .
- [2] PR. MOHAMED H, DR. CHRISTOPHE D, "Etude et réalisation d'antennes ultra-compactes à base de métamatériaux Application à la réalisation d'une antenne GNSS miniature," Thèse de doctorat, université de TOULOUSE, novembre 2011.
- [3] J. H. Wang, "Antennas for global navigation satellite system (GNSS)," *Proc. IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2349–2355, Jul. 2012.
- [4] Thomas Donal " Système de positionnement par satellite", Avril 2019.
- [5] Dr. ATIA Salim "Global Navigation Satellite Systems « GNSS » Signals & Problematics", novembre 2018.
- [6] Jean-Marc Piéplu, " GPS et GALILEO Système de navigation par satellite".
- [7] Nasimuddin, Xianming Qing, and ZhiNing Chen, " A Compact Circularly Polarized Slotted Patch Antenna for GNSS Applications" *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, VOL. 62, NO. 12, DECEMBER 2014.
- [8] Nasimuddin , Muhammad Faeyz Karim and A. Alphones, " A Low-profile Dual-band Circularly Polarized GPS Antenna" *2016 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*. doi:10.1109/apmc.2016.7931484.
- [9] Nasimuddin, Xianming Qing, " A Compact Dual-band Circularly Polarized Antenna for Satellite Systems", *Proc. of the 2017 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, Malaysia, November 5-8, 2017.
- [10] BOUAKA. A , TEMMAR. L, " Simulation d'un réseau d'antennes pour les mobiles 5G avec CST Microwave Studio "Mémoire MASTER, UNIVERSITE de OUARGLA, Juin 2018.
- [11] Mr H.KANANE ,BELABAS .L ,CHEMMOUN. L, " Miniaturisation de l'antenne PATCH sous CST ", Mémoire MASTER, Université de Tizi-Ouzou, 2018.

- [12] Hossein Mosallaei, and Kamal Sarabandi, "Antenna Miniaturization and Bandwidth Enhancement Using a Reactive Impedance Substrate", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 52, NO. 9, SEPTEMBER 2004.
- [13] Namrta Rastogi, Rakhi Kumari, "Improved Characteristics of Microstrip Patch Antenna using Reactive Impedance Surface", 3rd IEEE International Conference on "Computational Intelligence and Communication Technology" (IEEE-CICT 2017).
- [14] R. F. Harrington. "Effect of antenna size on gain, bandwidth, and efficiency." Journal of Research of the National Bureau of Standards, 64D: 1_12, January- February 1960.
- [15] A. D. Yaghjian and S. R. Best. "Impedance, bandwidth, and Q of the antennas". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-53:1298_1324, April 2005.
- [16] H. T. Nguyen, S. Noghianian, and L. Shafai. "Microstrip patch miniaturization by slots loading". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pages 215_218, 2005.
- [17] J. Huang. "Miniaturized uhf microstrip antenna for a mars mission". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pages 486_489, 2001.
- [18] B. B. Mandelbrot. "The Fractal Geometry of Nature". W. H. Freeman, New York, 1983.
- [19] J. M. Gonzales-Arbesu, S. Blanch, and J. Romeu. "Are space-filling curves efficient small antennas". IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2 :147_150, 2003.
- [20] Kush Agarwal, Nasimuddin and Arokiaswami Alphones "RIS-Based Compact Circularly Polarized Microstrip Antennas" IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 61, No. 2, February 2013
- [21] H. Mosallaei and K. Sarabandi, "A novel artificial reactive impedance surface for miniaturized wideband planar antenna design: Concept and characterization," in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, 2003, pp. 403–406
- [22] H. Mosallaei and K. Sarabandi, "Antenna miniaturization and bandwidth enhancement using a reactive impedance substrate," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 9, pp. 2403–2414, Sep. 2004