

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد حنبل بلية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Spécialité SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION

présenté par

CHERIET SID ALI

&

TOUDERT RIADH

CONCEPTION, SIMULATION ET RÉALISATION D'ANTENNE PATCH ULTRA LARGE BANDE

Proposé et encadré par : Professeur. MELIANI HAMZA

Année Universitaire 2018-2019

DEDICACE

JE DÉDIE CE MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE :

À MES CHERS PARENTS MA MÈRE MON PÈRE

POUR LEURS PATIENCES, LEURS AMOURS, LEURS SOUTIENS ET LEURS ENCOURAGEMENTS.

À MES FRÈRES

À TOUTE LA FAMILLE TOUDERT

À MES AMIS ET CAMARADES

SANS OUBLIER TOUT LES PROFESSEURS QUE SE SOIT PRIMAIRE, COLLÈGE, LYCÉE,

L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR.

MERCI D'ÊTRE TOUJOURS LÀ POUR MOI.

RIADH TOUDERT

DÉDICACE

JE DÉDIE CE MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE :

À MES TRÈS CHERS PARENTS,

À MON PÈRE, QUI M'A AIDÉ À CONSTRUIRE L'HOMME ET LA PERSONNE QUE JE SUIS AUJOURD'HUI.

SANS LUI TOUTE CES ANNÉES N'AURAIENT JAMAIS PU ABOUTIR, GRÂCE À SON SOUTIEN MORAL, ET À L'ÉDUCATION QU'IL M'A DONNÉE. TU N'ES PLUS DE CE MONDE MAIS LES VALEURS QUE TU M'AS APPRISES ET LES MOTS QUE TU ME DISAIS M'ACCOMPAGNERONT ÉTERNELLEMENT. JE PRIE LE DIEU DE T'ACCORDER SA SAINTE MISÉRICORDE ET DE T'ACCUEILLIR EN SON VASTE PARADIS.

À MA MÈRE, L'INCARNATION À CA DOUCEUR ET DE LA BIENVEILLANCE, CELLE QUI M'A APPRIS À AIMER CE TRAVAIL, AIMER LES AUTRES ET AIMER LA VIE, DANS LES MOMENTS DIFFICILES TU AS ÉTÉ LA LUMIÈRE QUI M'A GUIDÉ ET QUE J'AI SUIVIE SANS ME POSER DE QUESTIONS, JE TE DÉDIS TOUTE CES ANNÉES DE DUR L'ABEUR ET CE MÉMOIRE QUE J'AI FAÇONNÉ À TON IMAGE.

À MON FRÈRE KHALIL ET À MA SŒUR YASMIN POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS, ET LEUR SOUTIEN MORAL.

À MES AMIS, BRAHIM, CHIVO, NASSIBA, ... QUI M'ONT ACCOMPAGNÉ À CHAQUE PAS QUE JE MARCHAIS, LEURS RÉCONFORTS INCONDITIONNELS ET LEURS BONNES IDÉES.

À TOUS MES CAMARADES DE L'UNIVERSITÉ ET DU DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE AINSI QU'AUX PROFESSEUR QUI M'ONT ENSEIGNÉ TOUT AU LONG DE MON PARCOURS.

QUE CE TRAVAIL SOIT L'ACCOMPLISSEMENT DE VOS VŒUX TANT ALLÉGUÉS, ET LE FRUIT DE VOTRE SOUTIEN INFAILLIBLE.

MERCI D'ÊTRE TOUJOURS LÀ POUR MOI.

SID ALI CHERIET

Remerciement

Nous remercions tout d'abord "**ALLAH**" qui nous a donné la patience et le courage pour terminer notre travail.

Nos remerciements en deuxième lieu s'adressent à nos parents et tous les membres de nos familles qui nous ont encouragés durant les années d'études avec une grande patience et sacrifices.

Nous exprimons notre gratitude et nos grands remerciements à notre encadreur, **Professeur Meliani Hamza** pour son aide dans ce travail.

Nous remercions le président des jurys et tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail, et bien sur tous les enseignants qui ont contribués à notre formation (Université 8 Mai 1945-Guelma et Université Saad dahlab-Blida01).

Nous donnons un grand Merci à **Mr.Yekhlef** et son frère, bien sûr avec **Mr.Mokhtari, Mr Mansour** et tous les membres de l'équipe antenne de la CDTA qui nous ont permis de faire les mesures nécessaires pour notre étude. Enfin nous ne devons pas oublier de remercier tous les amies qui nous ont aidés de loin ou de près à réaliser ce travail.

Résumé :

Avec l'énorme progrès technologiques des systèmes de télécommunications sans fil, les bandes de fréquence disponibles sont maintenant rare, où la technologie ULB est devenue l'une des solutions utilisée pour palier à ce problème. Dans ce mémoire nous faisons une étude de conception, simulation et réalisation d'antenne Patch ULB sous forme d'une fourche alimentée avec une ligne micro ruban, et qui travaille sur une bande de fréquence très large [3.1_10.6GHz] utilisée pour les communications satellitaires et les communications à faible portée dans les réseaux locaux et personnels. Après l'étude de changement des paramètres de l'antenne fourche en utilisant le logiciel de simulation CST microwave studio, nous avons obtenu deux structures finales performantes, validées expérimentalement par les mesures de leurs bandes passantes réalisées au niveau du CDTA.

Mots clés : Antenne Patch, ULB, bandes passantes, communication satellitaires.

ملخص:

تزامنا مع التقدم التكنولوجي الهائل لأنظمة الاتصالات اللاسلكية، أصبحت نطاقات التردد المتاحة الآن نادرة، بحيث تظهر تكنولوجيا نطاقات الترددات الواسعة كواحدة من الحلول المتوفرة، في هذه المذكرة نجري دراسة تصميم ومحاكاة وتصنيع هوائي شريطي في شكل شوكة مدعومة بشريط ناقل صغير، والذي يعمل على مجال تردد واسع جدا من 3.1 جيجا هيرتز الى 10.6 جيجا هيرتز مخصص من اجل الاتصالات الساتلية والاتصالات قصيرة المدى في الشبكات المحلية بعد دراسة تغيير معالم الهوائي باستعمال برنامج محاكاة متطور، تحصلنا على اثنين من الهياكل النهائية والشخصية. الفعالة، بحيث اثبتت فعاليتها تجريبيا عن طريق اجراء قياسات عرض النطاق الترددي الخاص بهم على مستوى مركز تطوير التكنولوجيا المتقدمة.

الكلمات المفتاحية: هوائي شريطي، مجال التردد الواسع، الاتصالات الساتلية، النطاق الترددي

Abstract:

With the huge technological advances of wireless telecommunication systems, the available frequency bands are now rare, while UWB technology is now one of the major solutions. In this thesis we have undertaken a design study, simulation and realization of Ultra Wide Band Patch antenna with a fork shape, fed with a microstrip line. The antenna works on an extremely wide frequency band [3.1_10.6GHz], designed especially for satellite communications and low-range communications in local and personal area networks. After studying the changes of the fork antenna parameters using CST microwave studio simulation software, we obtained two efficient final structures, experimentally approved by measuring their bandwidths at CDTA.

Keywords: Patch Antenna, UWB, bandwidth, satellite communications.

Liste des abréviations

Bp : Bande Passante

CDTA : Centre de Développement des Technologies Avancées.

CST : Computer Simulation Technology.

EM : Electromagnétisme.

FCC: Federal Communication Commission (Fr=Commission Fédérale de la Communication).

FR-4 : Flame Resistant 4

GPR: Ground Penetrating Radar

GPS: Global Positioning System.

ISWR: Intensity standing wave ratio

LAN: Local Area Network (Fr= Réseaux Locaux).

OEM : Onde Electromagnétique.

PAN: Personal Area Network (Fr= Réseaux Personnels).

PIRE: Puissance Isotrope Equivalente Rayonnée

PCB : Printed circuit board (Fr=Circuit imprimé).

ROS: Rapport d'Onde Stationnaire

SHF : Super High Frequency

SMA: Sub miniature A

SWR : Standing Wave Ratio (Fr= TOS: Taux d'Onde Stationnaire).

TE : Transverse électrique

TM : Transverse Magnétique

TEM : Transverse ElectroMagnétique

ULB : Ultra Large Bande, en anglais UWB (Ultra Wide Band).

Table des Matières

Dédicace	i
Remercîment	ii
Résumé	iii
Liste d'abreviation.....	iiii
Table des matières	iiii
Liste des figures	iiiiii
Liste des tableaux	iiiiiii
Introduction Générale	01
Chapitre 01 : Généralités sur les antennes patch ULB.....	04
1.1 Introduction	05
1.2 Antenne patch micro ruban.....	05
1.2.1 Description des antennes patch micro ruban	05
1.2.2 Les types d'antennes patch	06
1.2.3 Les avantages et inconvénients des antennes patch	06
1.2.4 Principe de fonctionnement	07
1.2.5 Application.....	07
1.3 Techniques d'alimentation	08
1.3.1 Alimentation par ligne micro ruban.....	08
1.3.2 Alimentation par sonde coaxiale	09
1.3.3 Alimentation par couplage par fente.....	09
1.3.4 Alimentation par couplage de proximité	10
1.4 Méthode d'analyse (modèle de la ligne de transmission)	10
1.5 Caractéristiques de l'antenne Patch micro ruban	11
1.5.1 Impédance d'entrée	11
1.5.2 Le diagramme de rayonnement	12
1.5.3 Directivité et Gain	12
1.5.4 Coefficient de réflexion	13
1.5.5 Rapport d'onde stationnaire (ROS)	13

1.5.6	Bande Passante	13
1.5.7	Polarisation.....	14
	• Polarisation linéaire	14
	• Polarisation Circulaire	15
1.6	Les Antennes Ultra Large Bande (ULB)	17
1.6.1	Principe de la technologie ULB	17
1.6.2	Les avantages de la technologie ULB	18
1.6.3	Les applications des antennes l'ULB	19
1.7	Conclusion	20
Chapitre 02 : conception et Simulation d'une antenne ULB		21
2.1	Introduction	22
2.2	Cahier des charges de travail	22
2.3	Etude et simulation de l'antenne	23
2.3.1	Géométrie de l'antenne patch Rectangulaire ULB	23
	a. Résultats et discussion	25
	▪ Paramètre S11	25
	▪ Taux d'Ondes Stationnaires(TOS)	25
2.3.2	Géométrie de l'antenne patch fourche (U_shape) ULB	26
	a. Etude de l'effet de changement des paramètres géométriques de l'antenne	27
	▪ Effet du changement de la longueur L1	28
	▪ Effet de changement de la largeur W1	29
	▪ Effet de changement de la largeur du bras droit W2	30
	▪ Effet de changement de la largeur du bras gauche W3	31
	▪ Effet de changement de la longueur des deux bras L2 et L3	32
	▪ Effet de changement de la longueur du plan de masse partiel Lg	33
	▪ Effet de changement de X	34
	▪ Effet de changement de L3	35
	▪ Effet de changement de L2	36
2.3.3	Etude des antennes fourche ULB optimisées	37
	a. Géométrie des antennes fourche ULB optimisées	37
	b. Résultats et discussion	38

▪ paramètres S11	38
▪ Taux d'onde Stationnaire (TOS)	40
▪ Gain	40
▪ Diagrammes de rayonnement	41
▪ Directivité en 3D	43
2.4 Conclusion.....	45
Chapitre 03 : Réalisation et Mesures	46
3.1 Introduction	47
3.2 Réalisation des deux antennes ULB.....	47
3.3 Mesures	50
a) Appareil de mesure	50
b) Configuration de l'analyseur de réseau	51
c) Mesures	52
▪ Mesures de l'antenne B	52
▪ Mesures de l'antenne A	55
▪ Comparaison entre les résultats mesurés des antennes.....	57
3.4 CONCLUSION	57
Conclusion Générale	59
Références Bibliographique	60
Annexe01.....	i
Annexe02.....	ii
Annexe03.....	iii
Annexe04.....	iiii

Liste des figures

CHAPITRE 01:

Généralités sur les antennes patch ULB

Figure 1.1 : Antenne patch micro-ruban.....	05
Figure 1.2 : Formes d'Antenne patch.....	06
Figure 1.3 : principe de fonctionnement d'Antenne patch	07
Figure 1.4 : Alimentation par ligne micro ruban avec schéma équivalent.....	08
Figure 1.5 : position de la ligne micro ruban	08
Figure 1.6 : Alimentation par sonde coaxiale.....	09
Figure 1.7 : Alimentation par Couplage par Fente.....	10
Figure 1.8 : Alimentation par couplage de proximité.....	10
Figure 1.9 : modèle de la ligne de transmission.....	11
Figure 1.10 : Diagramme de rayonnement.....	12
Figure 1.11 : Polarisation Linéaire.....	14
Figure 1.12 : Polarisation Circulaire.....	15
Figure 1.13 : Alimentations par deux bords adjacentes et adjacentes hybrides pour avoir une polarisation circulaire.....	16
Figure 1.14 : obtention de la polarisation circulaire avec une structure presque carrée	16
Figure 1.15 : obtention de la polarisation circulaire par la création d'une fente ou avec des coins tronqués	17
Figure 1.16 : Spectre du signal ULB par rapport au signal a bande étroite.....	18
Figure 1.17 : les applications de l'ULB.....	19

Chapitre 02 :

conception et Simulation d'une antenne ULB

Figure 2.1 : Géométrie de l'antenne rectangulaire ULB.....	24
Figures 2.2 : Paramètre S11 de l'antenne rectangulaire.....	25
Figures 2.3 : Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne rectangulaire.....	26

Figure 2.4 : Géométrie de l'antenne fourche ULB	27
Figures 2.5 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de L1.....	28
Figures 2.6 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de W1.....	29
Figures 2.7 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de W2.....	30
Figures 2.8 : a) Paramètre S1,1, b) TOS , avec changement de W3.....	31
Figures 2.9 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de L1 et L2.....	32
Figures 2.10 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de Lg.....	33
Figures 2.11 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de X	34
Figures 2.12 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de L3.....	35
Figures 2.13 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de L2.....	36
Figure 2.14 : Géométrie des deux antennes fourche ULB.....	38
Figure 2.15 : Paramètre S11 des antennes fourche ULB A et B.....	39
Figure 2.16 : TOS des antennes fourche ULB.....	40
Figure 2.17 : Gain des antennes fourche ULB.....	41
Figure 2.18 : Diagrammes de Rayonnements des antennes fourche ULB.....	42
Figure 2.19 : Directivité en 3D des antennes fourche ULB.....	44

Chapitre 03 :

Réalisation et Mesures

Figure 3.1 : Typon de l'antenne fourche ULB (Antenne A).....	48
Figure 3.2 : Typon de l'antenne fourche ULB (Antenne B).....	48
Figure 3.3 : Prototype réalisé de l'antenne fourche A et B.....	49
Figure 3.4 : Plan de masse partiel des deux antennes	49
Figure 3.5 : L'analyseur de réseau N5224A PNA Microwave Network Analyzer, 43.5 GHz ..	50
Figure 3.6 : Calibration de l'analyseur de réseau	51
Figure 3.7 : Mesures de paramètre S11 de l'antenne B.....	53
Figure 3.8 : Mesures de paramètre S11 de l'antenne B après la correction de la soudure....	55
Figure 3.9 : Mesures de paramètre S11 de l'antenne A.....	56

Liste des Tableaux

Chapitre 02 :

conception et Simulation d'une antenne ULB

Tableau 2.1 : Cahier des charges de l'antenne ULB.....	22
Tableau 2.2 : paramètres de l'antenne patch rectangulaire.....	24
Tableau 2.3 : paramètres de l'antenne patch fourche ULB.....	26
Tableau 2.4 : paramètres des antennes fourche ULB A et B	38
Tableau 2.5 : variation du gain en fonction de la fréquence.....	41
Tableau 2.6 : variation de la directivité en fonction de la fréquence.....	43

Chapitre 03 :

Réalisation et Mesures

Tableau 3.1 : Comparaison entre les résultats mesurés des antennes A et B	57
--	----

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

Durant les dernières dizaines d'années, les systèmes de télécommunications sans fil ont connu des progrès technologiques énormes liés à la croissance d'utilisation personnelle et industrielle. Les chercheurs étaient intéressés par l'étude des antennes car ce sont les éléments essentiels et toujours présents dans la chaîne émission/réception. Un grand nombre de recherches étaient destinées aux antennes ULB (Ultra Large Bande), cette technologie qui était commercialisée par la FCC (Commission Fédérale des communications), ouvre les portes sur des nouvelles applications commerciales, scientifiques et médicales avec un débit qui peut atteindre plusieurs centaines de mégabits par seconde, un signal sous formes de courtes impulsions où sa largeur de bande lui donne une résistance contre le bruit et les trajets multiples. Sa faible densité spectrale de puissance permet d'introduire peu d'interférences sur d'autres systèmes. Les antennes patch sont généralement les meilleurs candidats dans les recherches sur la technologie ULB pour les communications satellitaires et les communications à faible portée. Elles présentent des avantages satisfaisants à l'industrie concernant le coût faible de la réalisation, le faible poids et la facilité de l'intégration dans les systèmes de communication intégrés modernes. En revanche leur bande passante étroite restent toujours des grands problèmes pour certaines applications [2].

L'objectif de notre projet de fin d'études est d'étudier, concevoir, simuler et réaliser une antenne ULB sous forme d'une fourche pouvant couvrir toute la bande ULB de [3.1_10.6 GHz]. L'antenne doit avoir une bonne adaptation d'impédance, une polarisation circulaire pour éviter le problème de son orientation dans les communications satellitaires.

Notre mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une description générale des antennes Patch, leurs principes de fonctionnement et leurs caractéristiques ainsi une petite description de la technologie ULTRA LARGE BANDE (ULB), son principe de fonctionnement et ses applications.

Dans le deuxième chapitre nous donnons le cahier des charges de l'antenne à réaliser. Ensuite nous présentons la simulation de l'antenne patch ULB en utilisant le logiciel CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio. Cette étape contient deux parties, la première concerne une antenne rectangulaire. Dans la deuxième partie nous présentons l'étude paramétrique de l'antenne fourche ULB à fin d'améliorer ses performances et arriver à une structure finale qui conforme le cahier des charges.

Le **troisième chapitre** concerne la réalisation de l'antenne ULB et les mesures réalisées au niveau du CDTA (Centre de développement des technologies avancées).

Le mémoire se termine par une **conclusion générale** suivie d'une **annexe** dans lequel est décrit le logiciel CST avec les étapes de la conception des antennes.

CHAPITRE 01

Généralités sur Les Antennes Patch ULB

1.1 Introduction

L'antenne est un dispositif permettant de capter ou de rayonner des ondes radioélectriques dans l'espace. Elle est généralement métallique (tel qu'un fil) pour recevoir ou émettre des ondes radio. Autrement dit, c'est un transducteur électromagnétique utilisé pour convertir en mode émission, les ondes guidées par une ligne de transmission en ondes rayonnées (non guidées) en espace libre, et convertir en mode réception, des ondes libres en ondes guidées. [1]

Dans les applications à hautes performances telles que les avions, les engins spatiaux, les satellites, les missiles, la radio mobile et les communications sans fil qui nécessitent l'utilisation des antennes à profil bas, les antennes patch sont les meilleurs candidats qui peuvent répondre aux exigences de ces applications en terme de taille, de poids, du coût, les performances et la facilité d'installation [1].

Les antennes à patch ont fait l'objet d'une attention considérable à partir des années 1970, alors que l'idée de cette antenne remonte à 1953 avec un brevet déposé en 1955 [1].

1.2 Antenne patch micro ruban

1.2.1 Description des antennes patch micro ruban

Une antenne patch micro-ruban se compose d'une bande métallique rayonnante (patch) montée sur un côté du substrat diélectrique, et un plan de masse de l'autre côté comme représenté sur la Figure 1.1. Ce type est très utile pour les applications de hautes performances [1].

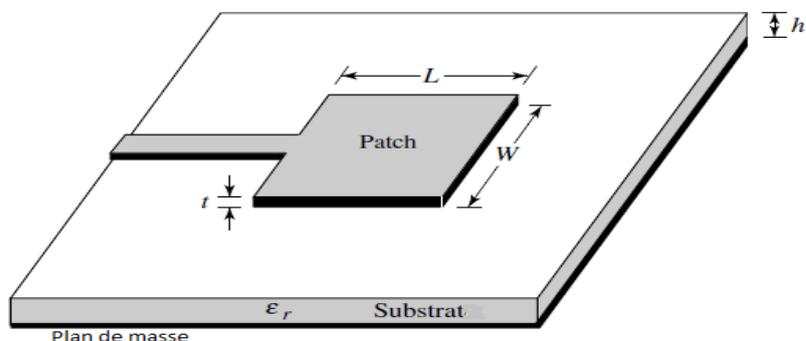


Figure 1.1 : Antenne patch micro-ruban [1]

1.2.2 Les types d'antennes patch

Il existe plusieurs formes d'antenne patch rectangulaire, carré, circulaire, Dipôle, Secteur d'anneau, Elliptique, Triangulaire, Anneau, Secteur de Disque comme présentées dans La figure1.2 [1]. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication.

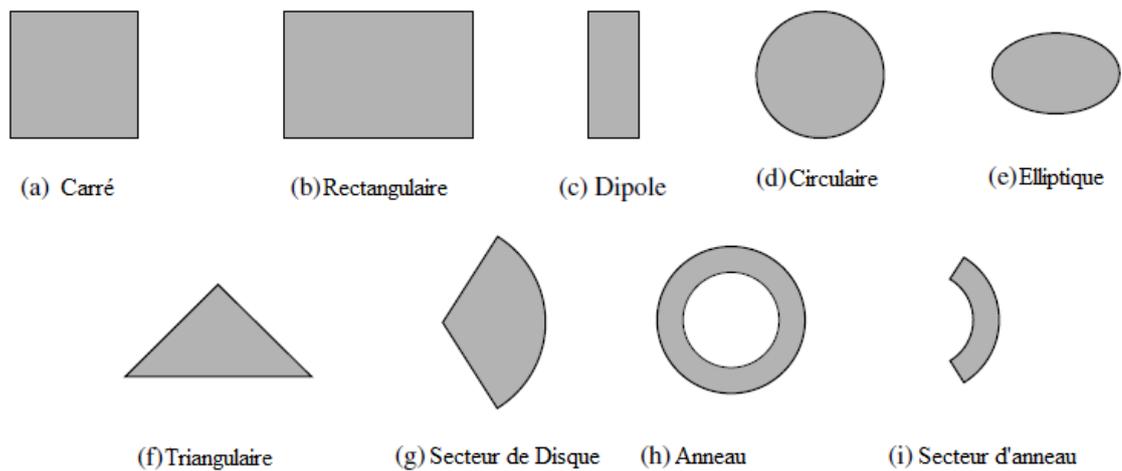


Figure 1.2 : Formes d'Antenne patch [1]

1.2.3 Les avantages et inconvénients des antennes patch

L'antenne patch présente de nombreux avantages par rapport à d'autres types d'antennes, nous citons [1] :

- Elle a un poids faible, petite épaisseur avec une structure plane.
- Facilité de fabrication.
- Facile à intégrer avec dans les appareils.
- Polarisation linéaire et circulaire possibles.
- Faible coût.
- Facilité de conception et d'optimisation.

En revanche elle a aussi des inconvénients limitant son performance :

- Bande passante étroite.
- Faible gain.
- Supporte uniquement des faibles puissances.

Plusieurs techniques ont été introduites par les chercheurs afin d'améliorer les performances de ces antennes

1.2.4 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de l'antenne patch micro ruban illustré dans la Figure 1.3, est basé sur la création des champs électrique et magnétique dans le substrat (entre le patch et le plan de masse). Ce phénomène permet le rayonnement des ondes qui se propagent dans l'air avec une vitesse de propagation dans le vide V_0 qui est égale à la vitesse de la lumière $V_0 = C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ [1].

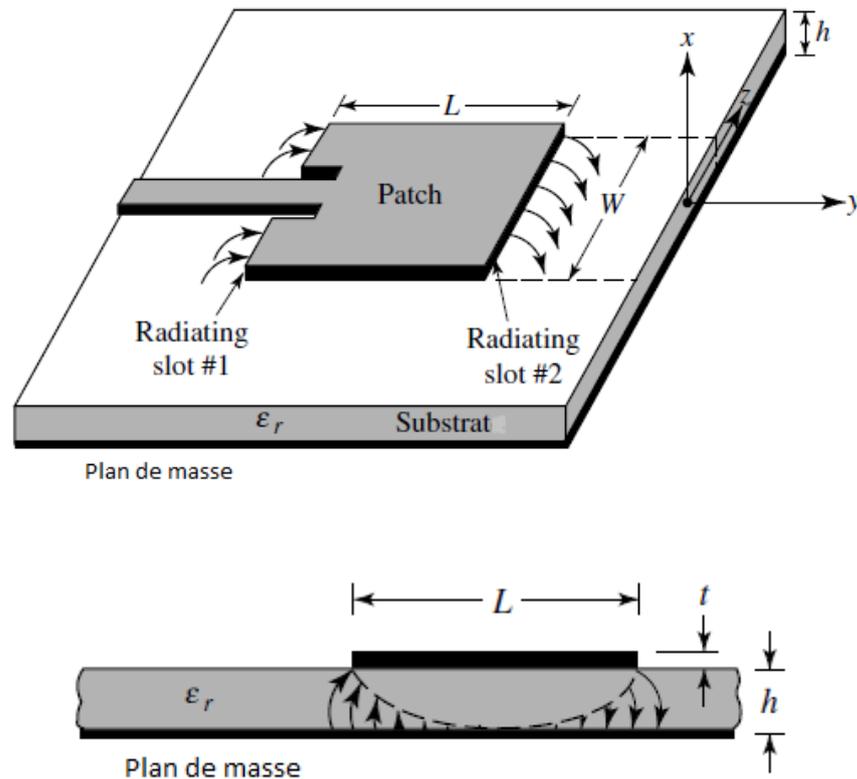


Figure 1.3 : principe de fonctionnement [1]

1.2.5 Application

Les applications des antennes patch sont nombreuses, nous citons :

- Les Communication Satellitaires.
- Communication Micro-ondes.
- Antennes des Téléphones mobiles.
- Antennes GPS.

1.3 Techniques d'alimentation

1.3.1 Alimentation par ligne micro ruban

D'abord la ligne micro ruban est directement connectée à l'élément rayonnant comme vue à la Figure 1.4, le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour permettre une meilleure adaptation d'impédance.

Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à modéliser, mais peut engendrer un rayonnement parasite [1].

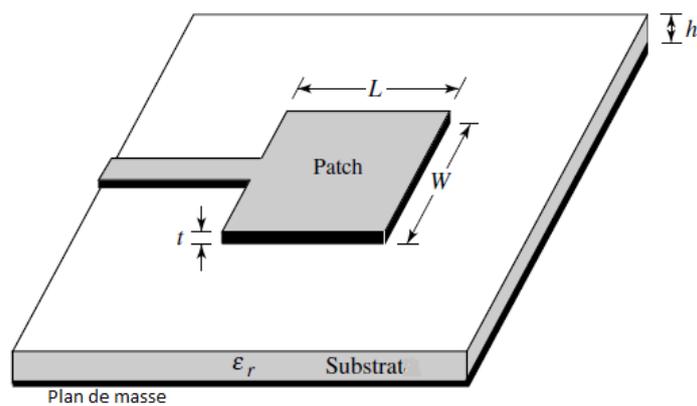


Figure 1.4 : Alimentation par ligne micro ruban [1]

Nous pouvons utiliser 3 techniques d'alimentation avec la ligne micro ruban comme présentées sur la Figure 1.5 :

- (a) : Le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément.
- (b) : Le point de jonction est décalé par rapport à cet axe et cela permet une meilleure adaptation d'impédance.
- (c) : Alimentation axiale avec une encoche.

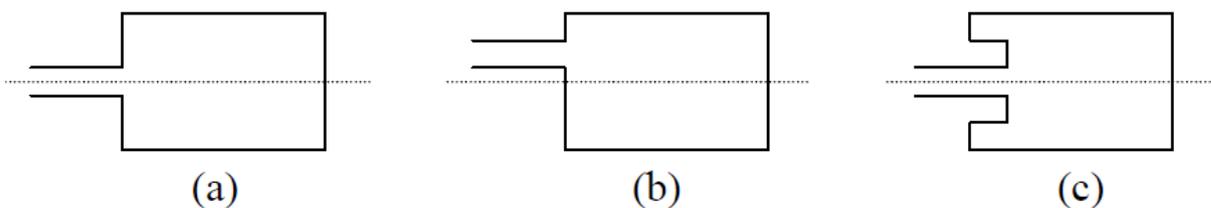


Figure 1.5 : position de la ligne micro ruban

1.3.2 Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation par sonde coaxiale est réalisée par un contact direct de l'élément rayonnant au conducteur central d'une ligne coaxiale, son conducteur externe est relié au plan de masse Figure 1.6. L'inconvénient de ce type d'alimentation réside dans la bande passante étroite et la difficulté de modélisation [1].

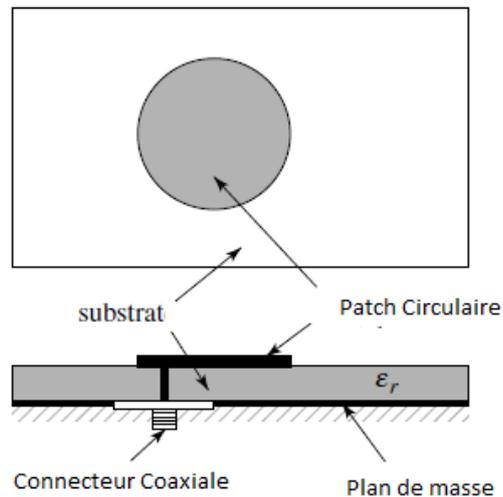


Figure 1.6 : Alimentation par sonde coaxiale [1]

1.3.3 Alimentation par couplage par fente

Un couplage électromagnétique est introduit à travers une petite fente réalisée dans le plan de masse qui sépare deux substrats l'un portant l'élément rayonnant et l'autre la ligne micro ruban comme illustré dans la Figure 1.7. Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et le patch, facile à modéliser et présente un rayonnement parasite [1].

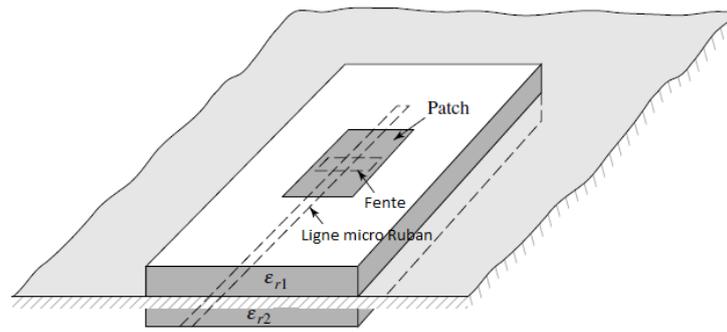


Figure 1.7 : Alimentation par Couplage par Fente [1]

1.3.4 Alimentation par couplage de proximité

La meilleure bande passante réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la Figure 1.8. L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Mais elle est très difficile à fabriquer [1].

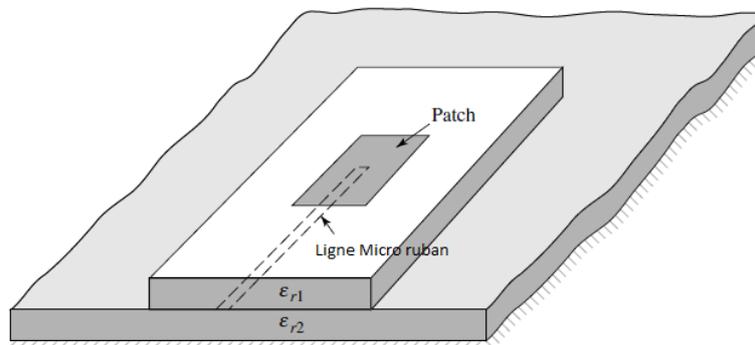


Figure 1.8 : Alimentation par couplage de proximité [1]

1.4 Méthode d'analyse (modèle de la ligne de transmission)

Il existe de nombreuses méthodes d'analyse pour les antennes micro ruban. Les modèles les plus populaires sont la ligne de transmission, modèle de la cavité et modèle pleine onde (comprenant principalement les équations intégrales / la méthode du moment) qui sont bien décrites dans [1].

Le modèle de ligne de transmission est le plus simple, il donne une bonne vision physique, mais il est moins précis et il est plus difficile à modéliser le couplage, moins précis et manque de polyvalence. Comparé au modèle de ligne de transmission, le modèle de cavité est plus précis mais en même temps plus complexe [1].

Le modèle de ligne de transmission représente l'antenne micro ruban par deux fentes séparées par une ligne de transmission à faible impédance Z_c de longueur L .

Pour cela une analyse de la ligne de transmission est utilisée pour résoudre le problème, où les inconnues sont la constante de propagation et l'impédance caractéristique [1].

Le calcul des dimensions de la ligne micro ruban se fait facilement en utilisant le site WEB[5].

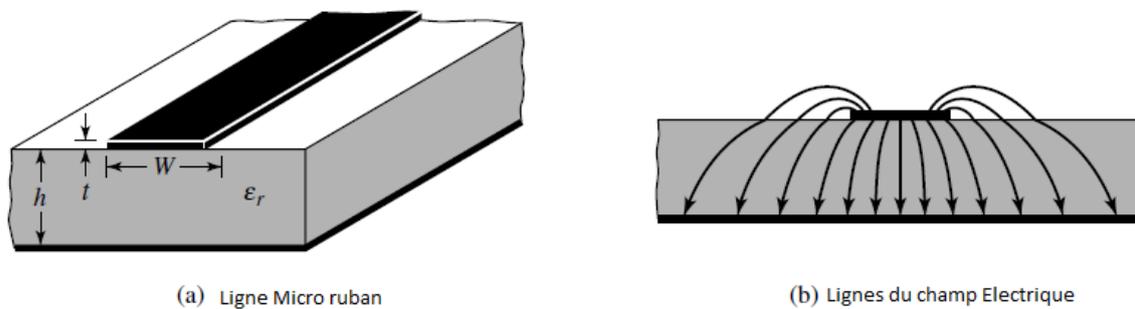


Figure 1.9 : modèle de la ligne de transmission [1]

1.5 Caractéristiques de l'antenne Patch micro ruban

1.5.1 Impédance d'entrée

Pour évaluer l'impédance d'une antenne, on considère une antenne à l'émission. L'antenne est équivalente à une charge à l'entrée de laquelle existent un courant I_{in} et une tension V_{in} [1]. Le rapport de ces deux quantités fournit l'impédance Z_{in} .

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in}$$

R_{in} : La partie active est reliée aux champs (puissance) rayonnés et à la puissance perdue par effet de joules. Elle est constituée de deux composantes, une résistance de rayonnement R_r et une résistance de perte R_p ($R_{in} = R_p + R_r$).

X_{in} : La partie réactive (réactance) de l'antenne, elle représente la puissance stockée dans les régions proches du champ rayonné.

1.5.2 Le diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation du rayonnement en 2D ou 3D du gain. D'une façon plus précise, le diagramme de rayonnement est relevé dans deux plans, le plan E (plan vertical $\varphi=0^\circ$) et le plan H (plan horizontal $\varphi=90^\circ$) (Figure 1.10) ceux sont respectivement les plans pour lesquels les champs électriques et magnétiques atteignent leurs valeurs maximales [1]. C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions.

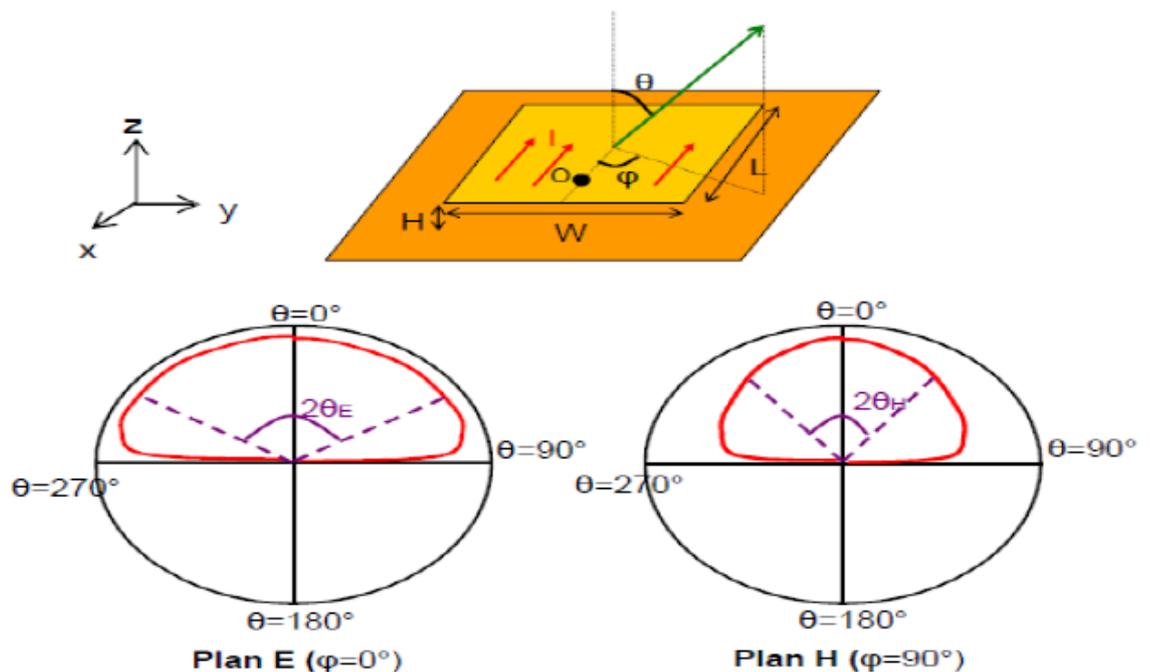


Figure 1.10 : Diagramme de rayonnement

1.5.3 Directivité et Gain

▪ Directivité

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction est le rapport entre l'intensité de puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et l'intensité puissance rayonnée de l'antenne isotrope [1].

$$D(\theta, \varphi) = P(\theta, \varphi) / P(\theta, \varphi)_{\text{iso}} = P(\theta, \varphi) / (P_r / 4\pi) = 4\pi * P(\theta, \varphi) / P_r$$

- **Gain**

Le gain est lié à la directivité et les pertes, il définit l'augmentation de la puissance émise ou reçue dans le lobe principal, il est dû au fait que l'énergie est focalisée dans plusieurs direction, il est généralement exprimé en dBi [1].

$$G = \eta D$$

Où η représente les pertes.

1.5.4 Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion S11 représente l'absorption de l'énergie par l'antenne, d'une manière générale c'est le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies [1]. Pour une antenne d'impédance Z, reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Zc (souvent égale à 50Ω) le coefficient S11 est donné par :

$$S11 = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c}$$

Le coefficient de réflexion peut être exprimé en dB :

$$|S11|_{dB} = 20 \log (S11)$$

1.5.5 Rapport d'onde stationnaire (ROS)

Le ROS ou le SWR en anglais (Standing Wave Ratio), doit être plus proche de la valeur 1 pour avoir une bonne adaptation d'impédance, il est défini par :

$$ROS = \frac{1 + |S11|}{1 - |S11|}$$

Une bonne conception d'antenne doit avoir un $1.5 \leq ROS \leq 1$

1.5.6 Bande Passante

La bande passante de l'antenne est l'intervalle de fréquence en lequel l'antenne peut fonctionner correctement en émission et réception des OEM. La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situées entre une valeur minimale F_{min} et une valeur maximale F_{max} [1].

Pour assurer un bon fonctionnement de l'antenne, les chercheurs ont pris la valeur du coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10$ dB comme une valeur minimale dans la mesure de la bande passante.

Par contre en industrie, ils peuvent travailler avec une valeur de $S_{11} \leq -6$ dB.

La bande passante relative $B_p(\%)$ est donnée par :

$$B_p(\%) = \frac{(F_{\max} - F_{\min})}{F_c} \cdot 100$$

Où F_c est la fréquence centrale.

1.5.7 Polarisation

- Polarisation linéaire

C'est l'orientation du champ électrique \vec{E} par rapport à l'horizon, avec une direction du vecteur champ électrique reste constante au cours du temps. Si \vec{E} est parallèle à l'horizontale on dit que l'onde a une polarisation horizontale. Si le champ \vec{E} est perpendiculaire alors la polarisation est dite verticale (Figure 1.11). L'antenne génère classiquement une "OEM" polarisée linéairement [1].



Figure 1.11 : Polarisation Linéaire

- **Polarisation Circulaire**

La polarisation est dite circulaire lorsque le vecteur du champ \vec{E} trace un cercle dans l'espace avec le temps (Figure 1.12). L'intensité du champ électrique \vec{E} a toujours la même amplitude avec une orientation dans l'espace qui change continuellement avec le temps [1].

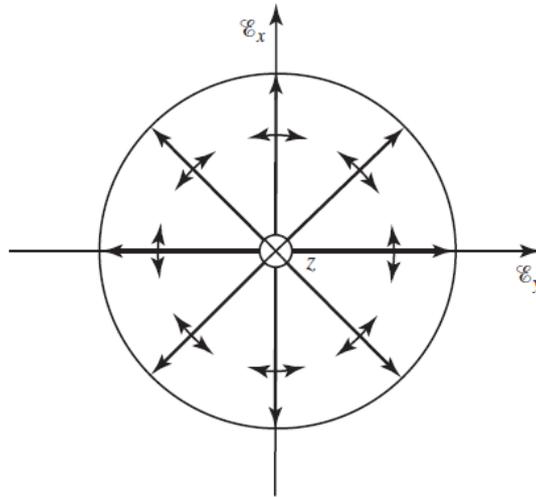


Figure 1.12 : Polarisation Circulaire

La polarisation circulaire d'une antenne patch peut être obtenue en utilisant divers arrangements d'alimentation ou de légères modifications apportées aux éléments expliquée dans [1].

La polarisation circulaire peut être obtenue si deux modes orthogonaux sont excités avec une différence phase de 90° entre eux. Cela peut être accompli en ajustant les dimensions physiques du patch et en utilisant un, deux ou plusieurs lignes d'alimentations. Certaines suggestions ont été faites et rapportées dans la littérature en utilisant des patches uniques. Pour un élément de raccordement carré, le moyen le plus facile d'exciter une polarisation circulaire idéale consiste à alimenter l'élément sur deux bords adjacents, comme indiqué sur les Figures 1.13 (a, b), afin d'exciter les deux modes orthogonaux, le TM_{010} avec l'alimentation sur un bord et le TM_{001} avec l'alimentation sur l'autre bord. La différence de phase en quadrature est obtenue en alimentant l'élément avec un diviseur de puissance à 90° ou un hybride à 90° [1].

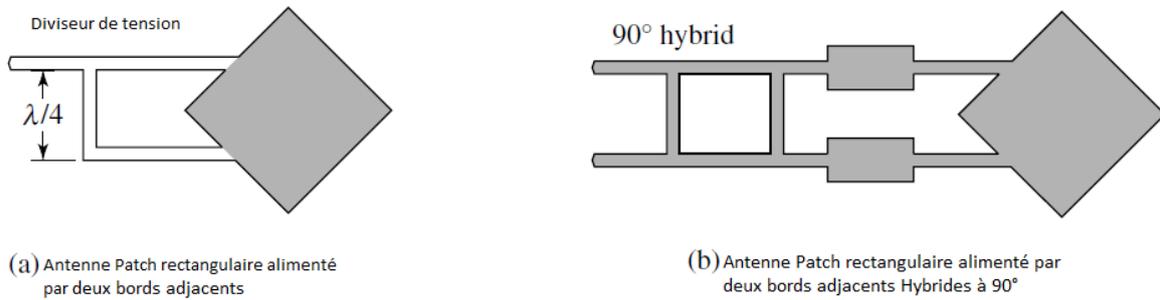


Figure 1.13 : Alimentations par deux bords adjacentes et adjacentes hybrides pour avoir une polarisation circulaire

Nous pouvons obtenir une polarisation circulaire en modifiant les dimension du patch pour avoir un patch presque carrée où $L \neq W$, les deux modes dominants TM_{010} et le TM_{001} sont excités avec une amplitude égale, mais avec une phase de 90° [1] (Figure 1.14):

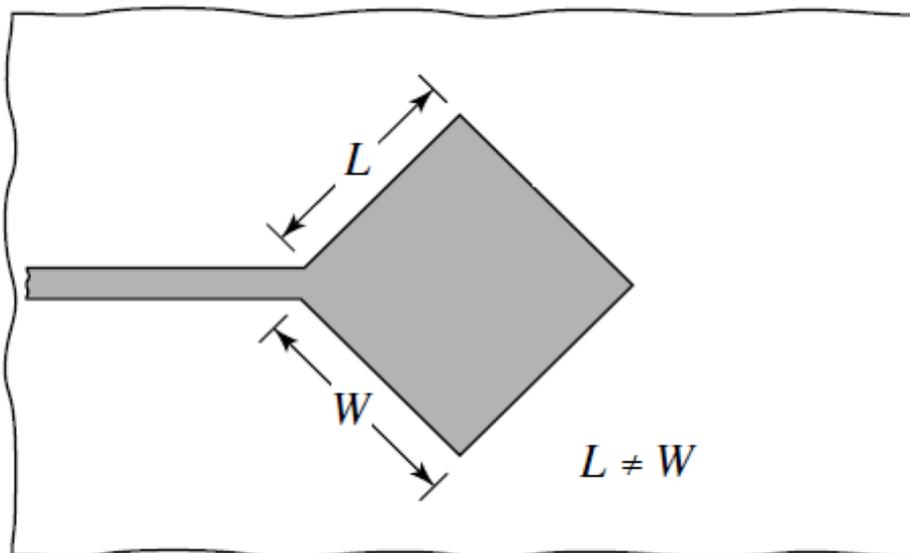
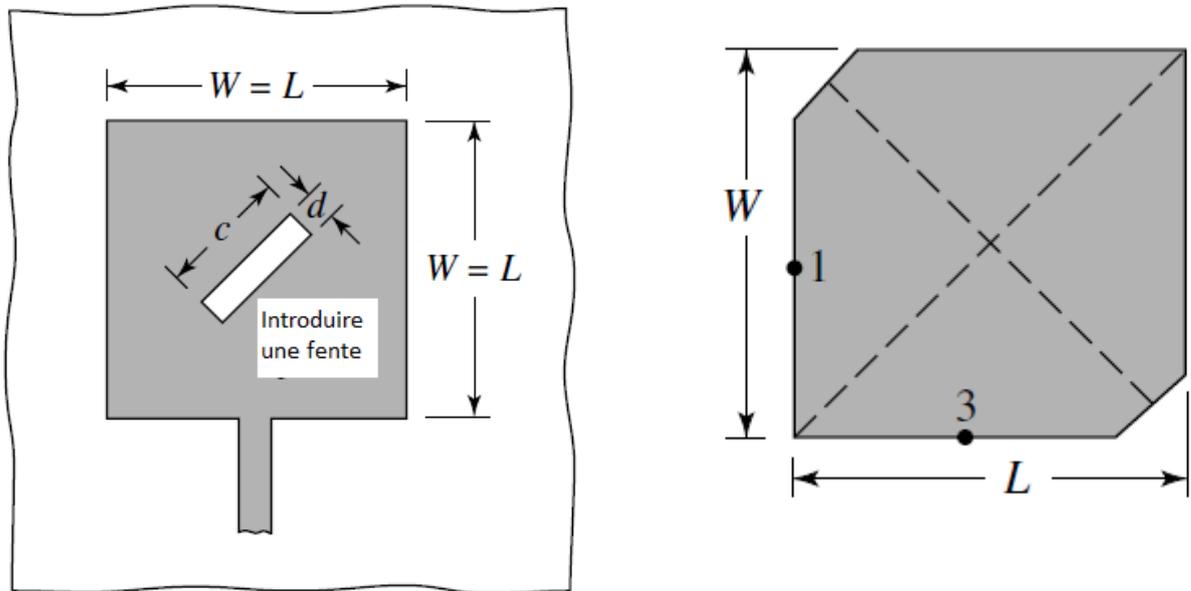


Figure 1.14 : obtention de la polarisation circulaire avec une structure presque carrée

Une autre méthode aussi simple pour avoir une polarisation circulaire, soit par la création d'une fente sur le patch, ou par tronquer les coins du patch comme présentées dans la figure 1.15 (a,b) [1]:



(a) Création d'une fente

(b) Des coins tronqués

Figure 1.15 : obtention de la polarisation circulaire par la création d'une fente ou avec des coins tronqués

1.6 Les Antennes Ultra Large Bande (ULB)

Le progrès des télécommunications en terme de débit de données restent freinés par un spectre des fréquences de plus en plus occupé. L'utilisation de la technologie ultra large bande pour transmettre l'information est l'une des solutions utilisées pour palier à ces problèmes.

La décision prise en 2002 par la Commission Fédéral des Communications aux Etats-Unis, d'autoriser l'utilisation de la bande de fréquence de 3,1 à 10,6 GHz, ouvre les portes sur les activités de recherches [2].

1.6.1 Principe de la technologie ULB

L'ULB peut atteindre des débits de plusieurs centaines de mégabits par seconde. Sa nature impulsionnelle et sa largeur de bande lui confèrent en outre une bonne résistance aux

brouillages et aux trajets multiples, ce qui la rend très adaptée à une utilisation dans les appareils de télécommunication. Sa faible densité spectrale de puissance lui permet de cohabiter avec les systèmes environnants en introduisant peu d'interférences (Figure 1.16). Enfin, les possibilités de codage offertes autorisent un grand nombre d'utilisateurs en font un candidat idéal pour de nombreuses applications [2].

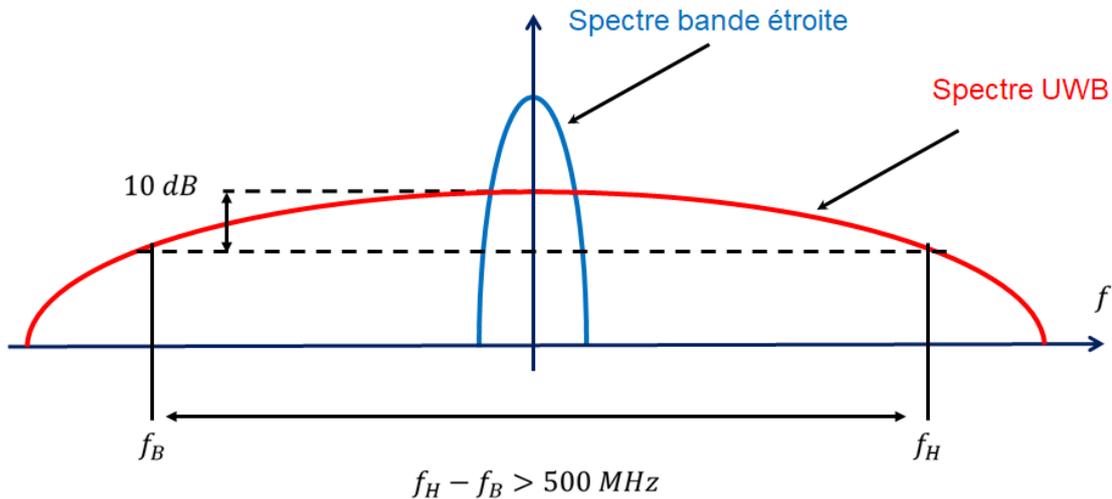


Figure 1.16 : Spectre du signal ULB par rapport au signal à bande étroite

1.6.2 Les avantages de la technologie ULB

Les premières caractéristiques intéressantes de la technologie ULB, son faible niveau de densité spectrale de puissance. L'ULB permet, par l'étalement de l'énergie totale du signal sur une très large bande de fréquences, de ne pas interférer avec d'autres systèmes à bande étroite pour lesquels elle apparaît à un niveau de densité spectrale de puissance assimilable au bruit (Figure 1.16). Elle permet ainsi d'améliorer l'utilisation d'un spectre des fréquences très occupé en permettant un partage de ce spectre avec d'autres systèmes.

D'autres avantages sont directement issus de la largeur de bande passante utilisée en ULB. Cette dernière offre une grande flexibilité car elle permet d'adapter les fréquences utilisées et leurs bandes passantes aux besoins des applications.

Ses performances multicanal large bande induisent également des hautes capacités de débit et de performances pour les communications sans fil et le radar. En effet, ses caractéristiques de large bande de fréquence permettent la pénétration des ondes dans les matériaux, les sols grâce aux fréquences basse du spectre ce qui est intéressant en communication indoor, en radar à pénétration de sol et dans le domaine médical [2].

Le caractère impulsionnel de la technologie ULB lui confère aussi une forte immunité aux trajets multiples, ce qui permet de maintenir un niveau convenable de performances dans des environnements très encombrés. Cette propriété est intéressante aussi bien en communications que pour maintenir une bonne précision dans les applications de localisation.

Enfin, un des avantages non négligeable des antennes ULB est d'ordre économique, du fait de leurs fabrications à base de circuit intégrés. Les émetteurs et récepteurs ULB sont de faibles coûts, ce qui permet de rendre ces équipements plus abordables pour les consommateurs. Les systèmes ULB impulsionnels présentent aussi une petite consommation d'énergie [2].

1.6.3 Les applications des antennes l'ULB

Il y'a trois grandes catégories d'applications principales pour les systèmes ULB, la détection, la géolocalisation, et les communications sans fil (Figure1.17). Les possibilités d'utilisation commerciales sont donc multiples [2].

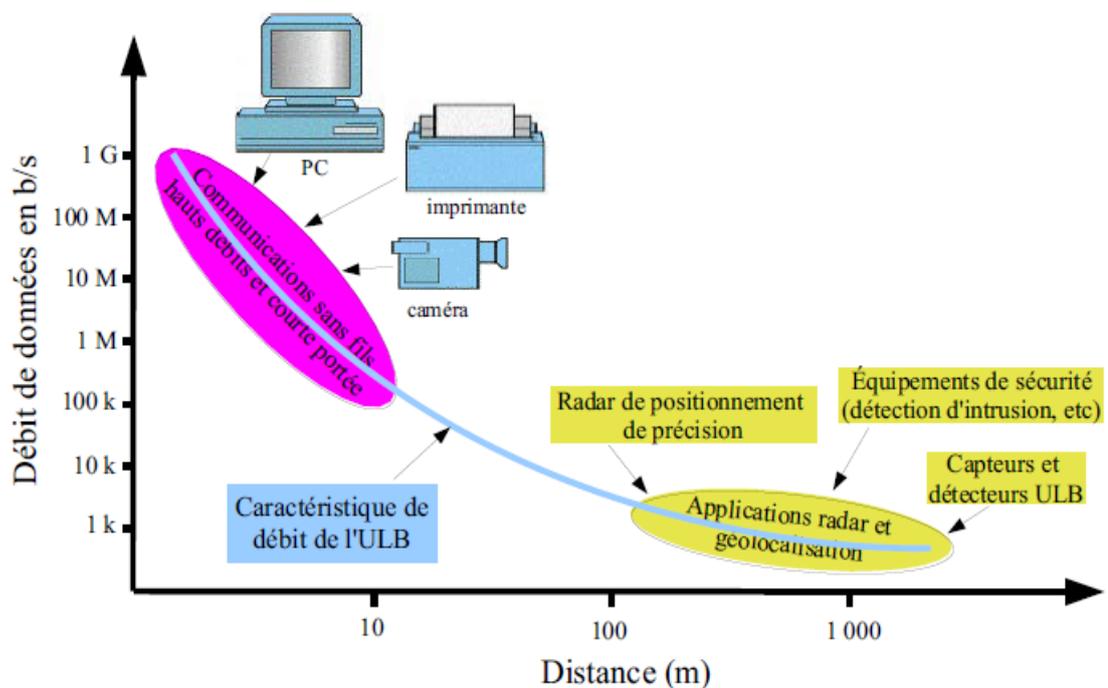


Figure 1.17 : les applications de l'ULB

D'abord Dans le domaine du radar, cette technologie est déjà largement éprouvée, notamment pour le radar à pénétration de sol (Ground Penetrating Radar GPR). [2].

Pour le domaine de la géolocalisation de précision, Il est essentiel dans nombreuses applications de connaître l'emplacement d'objet de petites dimensions, et ce parfois sur de très grandes distances [2].

Dans les communications sans fil, de nombreuses applications à courte portée comme la connexion entre les différents composants de systèmes multimédia, les systèmes embarqués en automobile, en aviation ou en robotique utilise la technologie ULB [4].

1.7 Conclusion

Plusieurs techniques existent pour réaliser les antennes en se basant sur ses propriétés et ses caractéristiques afin d'assurer un bon fonctionnement et choisir la plus adaptée à l'application envisagée.

Dans notre travail, le choix est porté sur les antennes patch ULB, leurs avantages sont nombreux dont ils nous permettent de les utiliser dans divers secteurs.

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'antenne patch en générale, ainsi que ses caractéristiques, principe de fonctionnement et avec ses différentes techniques d'alimentation. Une description des antennes patch ULB a été aussi donnée en citant ses avantages et ses différentes applications.

Après ce bref aperçu sur les bases des antennes patch, le chapitre suivant sera consacré pour la conception et la simulation de l'antenne patch ULB en utilisant le logiciel CST MICROWAVE STUDIO.

CHAPITRE 02

CONCEPTION ET SIMULATION D'UNE ANTENNE ULB

2.1 Introduction

Ce chapitre est consacré, à l'étude et la conception et simulation d'une antenne fourche ULB à polarisation circulaire qui utilise une bande passante Ultra Large pour des applications comme : communications satellitaires, GPS, Communication à faible portée, Géolocalisation....etc.

Les antennes à polarisation circulaire peuvent réduire les pertes dues aux désalignements entre le signal et l'antenne réceptrice [3]. Elle présente un bon coefficient de réflexion et une largeur de bande acceptables sur toute la bande de fréquences ULB.

Le logiciel utilisé pour la simulation de l'antenne s'appelle CST (Computer Simulation Technology). Il s'agit d'un outil qui étudie et simule des structures complexes en trois dimensions. Il est exploité notamment pour le calcul des paramètres S11, le gain ainsi que les champs électriques et magnétiques et la visualisation du diagramme de rayonnement en 2D ou 3D. Une brève description de ce logiciel est donnée en annexe01.

2.2 Cahier des charges de travail

Les caractéristiques de l'antenne à réaliser dans ce projet sont données dans le tableau 2.1 suivant :

Paramètres		Valeurs
La Bande Passante		ULB [3.1 GHz _10.6 GHz]
Adaptation	L'Industrie	$ S_{11} \leq -6$ dB
	La Recherche	$ S_{11} \leq -10$ dB
Taille		Plus compact possible
Alimentation		Ligne micro ruban avec $Z=50 \Omega$
Type de Substrat (existant sur le marché algérien)		FR4 époxy ($h_s= 1.6$ mm , $\epsilon_r = 4.4$, $\mu_r=1$, $\delta=0.02$)
Tableau 2.1 : Cahier des charges de l'antenne ULB		

2.3 Etude et simulation de l'antenne

Les étapes suivies lors de la simulation de l'antenne sont les suivantes :

- Dans un premier temps nous nous sommes intéressés à la simulation de l'antenne patch rectangulaire prise comme référence.
- Ensuite, pour améliorer les performances de l'antenne ULB nous avons choisi l'antenne fourche étudiée en [3]. La méthode d'alimentation par ligne micro ruban d'impédance caractéristique 50Ω est celle utilisée pour alimenter l'antenne.

Pour trouver les paramètres de rayonnements dans une zone lointaine (coefficient de réflexion, TOS, le gain et le diagramme de rayonnement) de l'antenne, les dimensions géométriques de celle-ci ont été déterminées à partir des dimensions de l'antenne rectangulaire prise comme référence et ceux de la référence [3].

2.3.1 Géométrie de l'antenne patch Rectangulaire ULB

La structure de l'antenne étudiée dans cette section est illustrée par la figure 2.1. Elle est constituée d'un patch rectangulaire de largeur $W1$ et de longueur $L2$ gravé sur un substrat de dimensions $32 \text{ mm} \times 28.1 \text{ mm}$ et d'épaisseur $h_s=1.6 \text{ mm}$.

Les paramètres $W1$ et $L2$ ont été prises comme la longueur et la largeur qui représentent la dimension de l'antenne fourche qu'on va étudier, cette étape est nécessaire pour comparer les performances des deux antennes, et expliquer la raison de notre choix de la structure de l'antenne.

La surface rectangulaire du patch de dimensions $12.5 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$, est situé sur un côté du substrat. Le plan de masse partiel de longueur $L_g=7.5 \text{ mm}$ est située de l'autre côté du substrat.

La plaque d'antenne est alimentée par une ligne d'alimentation micro ruban de 50Ω de largeur $W_f=3 \text{ mm}$ et centrée au milieu du substrat, la largeur de la ligne micro ruban est calculée simplement à l'aide du site Web [5] en donnant la permittivité et l'épaisseur du substrat.

L'épaisseur du cuivre utilisé pour le patch et le plan de masse partiel est $h=35 \mu\text{m}=0.035\text{mm}$.

Remarque: Les détails de la conception de l'antenne rectangulaire se trouve dans l'annexe02 (conception de l'antenne patch rectangulaire).

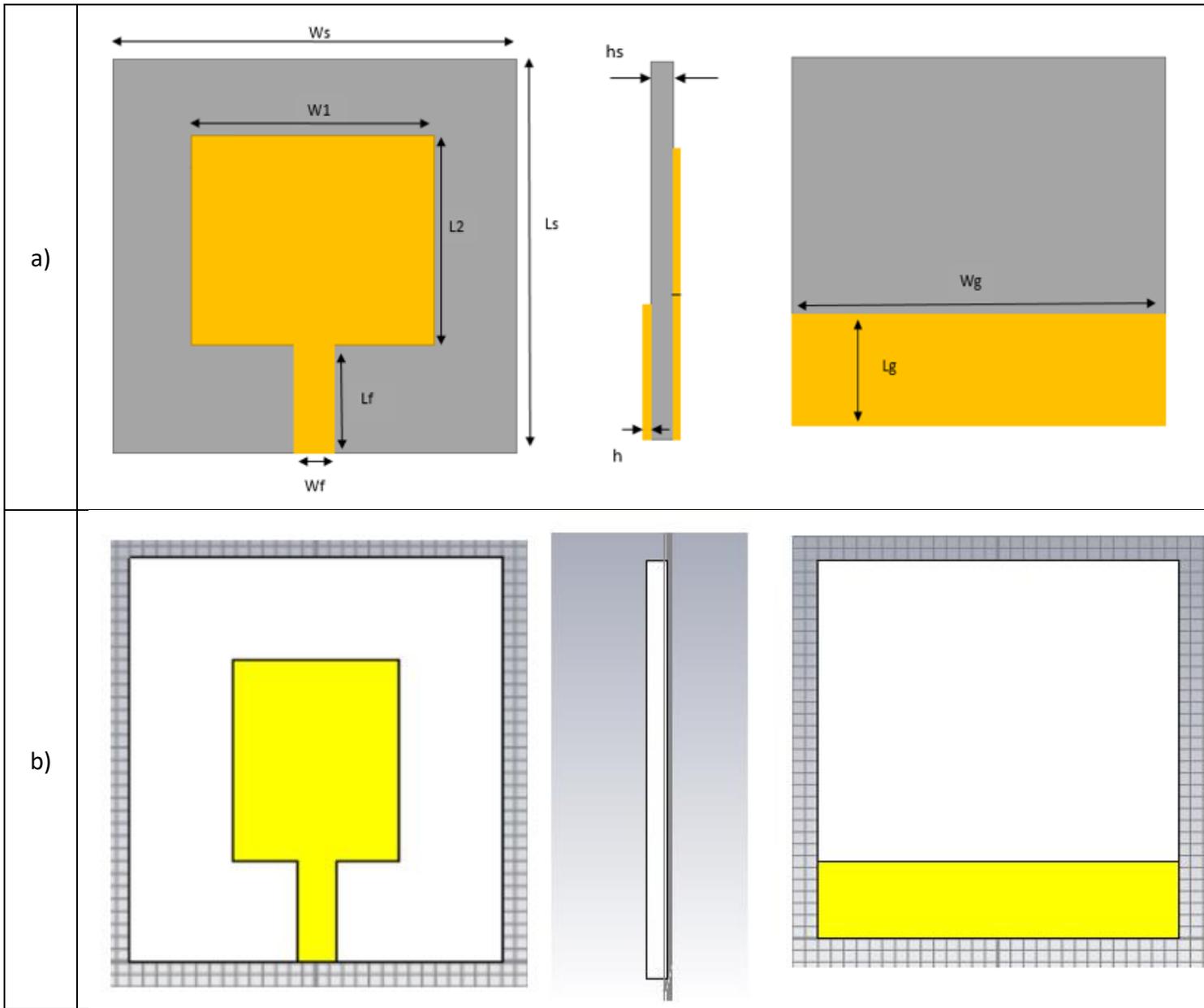


Figure 2.1 : Géométrie de l'antenne rectangulaire ULB
 a) paramètres géométriques, b) conception sur logiciel CST

Les différentes valeurs des paramètres géométriques de notre antenne sont données dans le tableau 2.2 comme suivant :

Parametres	Ws	Ls	W1	hs	h	Wf	Lf	L2	Wg	Lg
Longueur (mm)	28.1	32	12.5	1.6	0.035	3	8	16	28.1	7.5

Tableau 2.2 : paramètres de l'antenne patch rectangulaire

a) Résultats et discussion

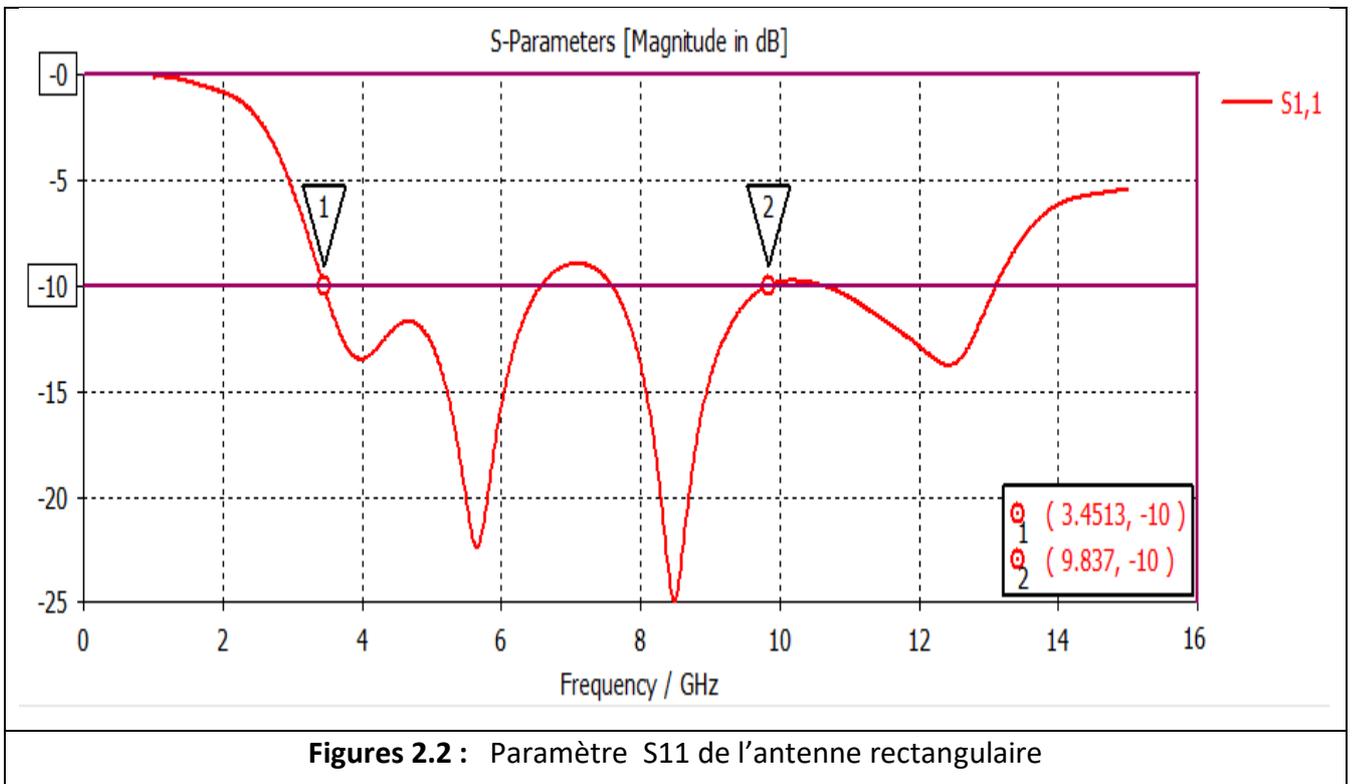
Les résultats des différents paramètres de la simulation de l'antenne rectangulaire sont donnés ci :

▪ Paramètre S11

La figure 2.2 représente les variations du coefficient de réflexion S11 de l'antenne rectangulaire en fonction de la fréquence f dans l'intervalle [1GHz _15 GHz].

Nous remarquons que l'antenne rectangulaire présente une bande passante large [3.45_9.83GHz] mais avec une bande rejetée d'environ [6.5_7.5GHz].

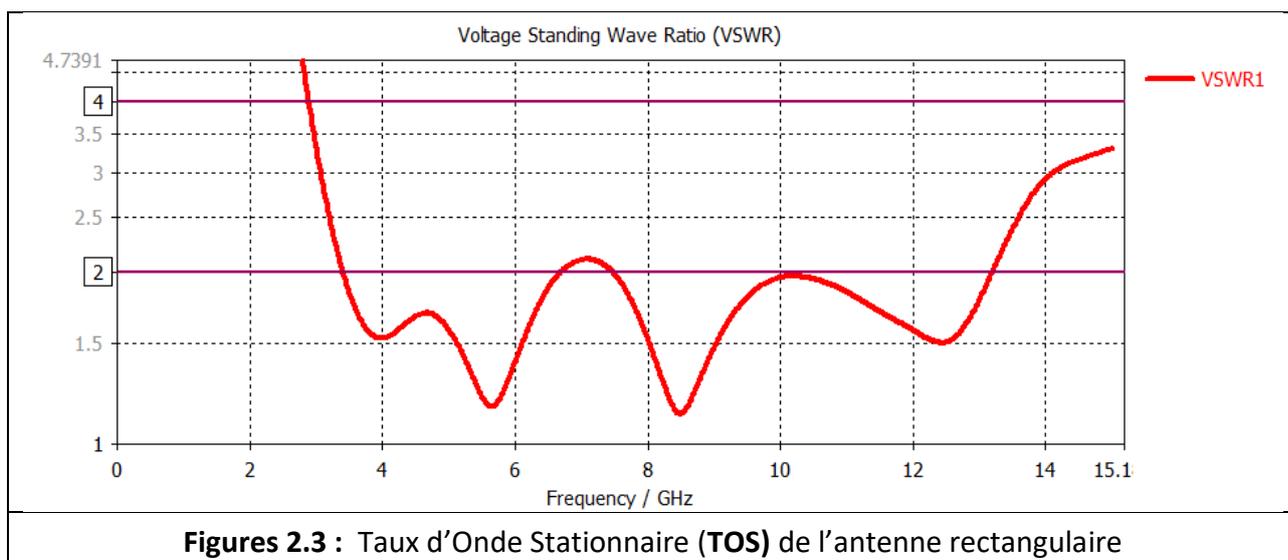
La bande passante de cette antenne ne peut pas couvrir toute la bande ULB [3.1GHz_10.6GHz] ce qui ne satisfait pas les exigences de ses applications ainsi que le cahier des charges.



▪ Taux d'Ondes Stationnaires(TOS)

La figure 2.3 représente les variations du Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne rectangulaire en fonction de la fréquence f dans l'intervalle [1GHz _15 GHz].

Nous remarquons que les valeurs du TOS sur toute la bande passante de l'antenne sont inférieures à 2 sauf sur la partie qui n'est pas bien adaptée autour de la fréquence f=7 GHz où le TOS>2.



2.3.2 Géométrie de l'antenne fourche (U_shape) ULB

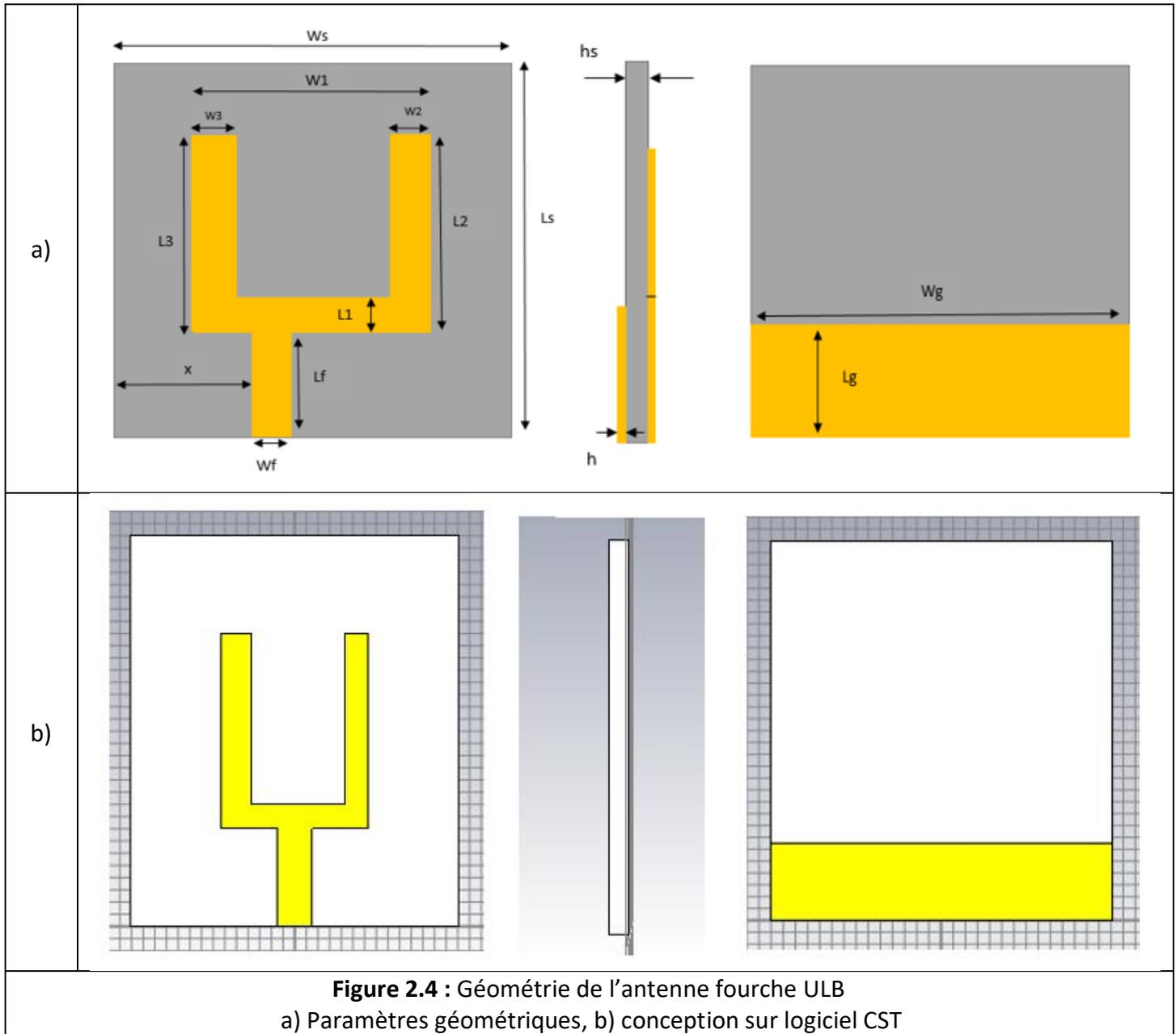
L'antenne patch fourche (U_shape patch antenna) étudiée dans cette section est inspirée de la référence [3]. Ce concept est le point du départ de l'optimisation des paramètres, tels que les deux bras de la fourche, la longueur et la largeur de la fourche, le plan de masse, la position de la ligne d'alimentation. La structure de l'antenne proposée est illustrée par la figure 2.4. Elle possède les mêmes dimensions du substrat que l'antenne rectangulaire étudiée auparavant ainsi que le plan de masse partiel. La plaque d'antenne est alimentée toujours par une ligne d'alimentation micro ruban de 50Ω de largeur $W=3$ mm et placée à une distance X du bord vertical gauche du substrat. Les paramètres $L1$, $L2$, $L3$, $W1$, $W2$, $W3$, X et Lg seront varier afin d'obtenir une structure de l'antenne fonctionnant dans la bande ULB exigée dans le cahier des charges.

La surface de l'antenne entre les bras de la fourche a une largeur de 8 mm et une longueur de 14 mm.

Les différents valeurs des paramètres géométriques de l'antenne fourche sont dans le tableau 2.3 suivant :

Parametres	W_s	L_s	$W1$	$W2$	$W3$	h_s	h	W_f	L_f	$L1$	$L2$	$L3$	W_g	L_g	X
Longueur (mm)	28.1	32	12.5	2	2.5	1.6	0.035	3	8	2	16	16	28.1	6.5	12.55

Tableau 2.3 : paramètres de l'antenne patch fourche ULB



a) Etude de l'effet de variation des paramètres géométriques de l'antenne

Cette section concerne l'étude de l'influence des différents paramètres sur le coefficient de réflexion S_{11} et le taux d'onde stationnaire (TOS) afin d'obtenir une antenne optimisée qui répond aux exigences du cahier des charges.

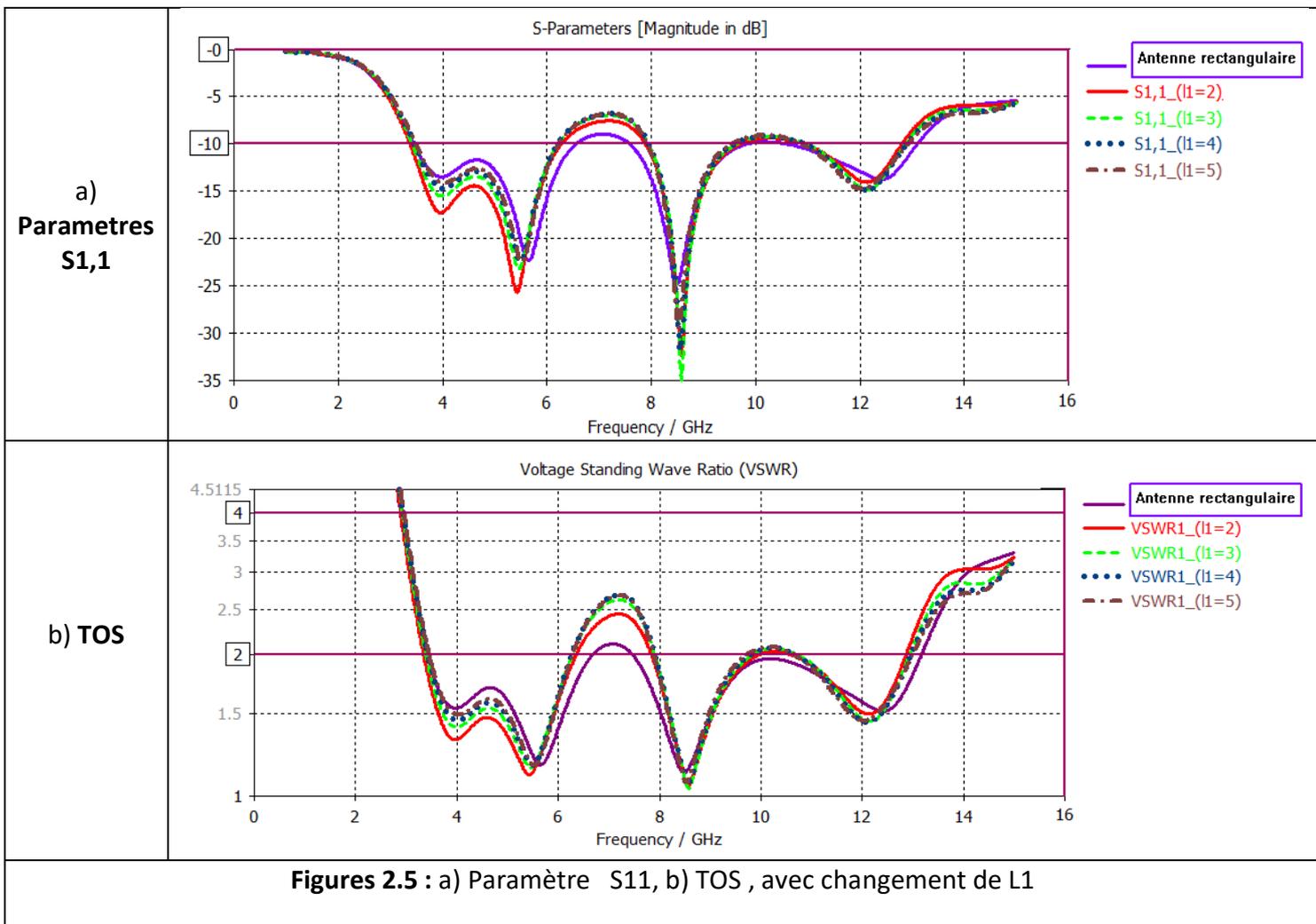
Pour ce faire, à chaque fois que nous faisons varier un paramètre et fixant les autres, la valeur du paramètre qui donne de meilleurs résultats est prise en compte dans la simulation qui suit.

▪ **Effet de variation de la longueur L1**

Les valeurs utilisées du paramètre L1 sont dans l'intervalle [2mm_5mm].

La figure 2.5 représente les variations du coefficient de réflexion S11 et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f dans la bande [1_15GHz] pour chaque valeur de L1.

Nous remarquons que La longueur **L1=2 mm** donne une meilleure bande passant de [3.37_9.71GHz] pour une valeur du paramètre S11 ≤ -10 dB, avec des bonnes valeurs du TOS ≤ 2 en comparaison avec l'antenne rectangulaire. Cependant elle est inférieure à celle du cahier des charges. Nous remarquons aussi l'existence d'une bande rejetée d'environ [6.5_8GHz] .Donc nous devons passer à la modification d'un autre paramètre.



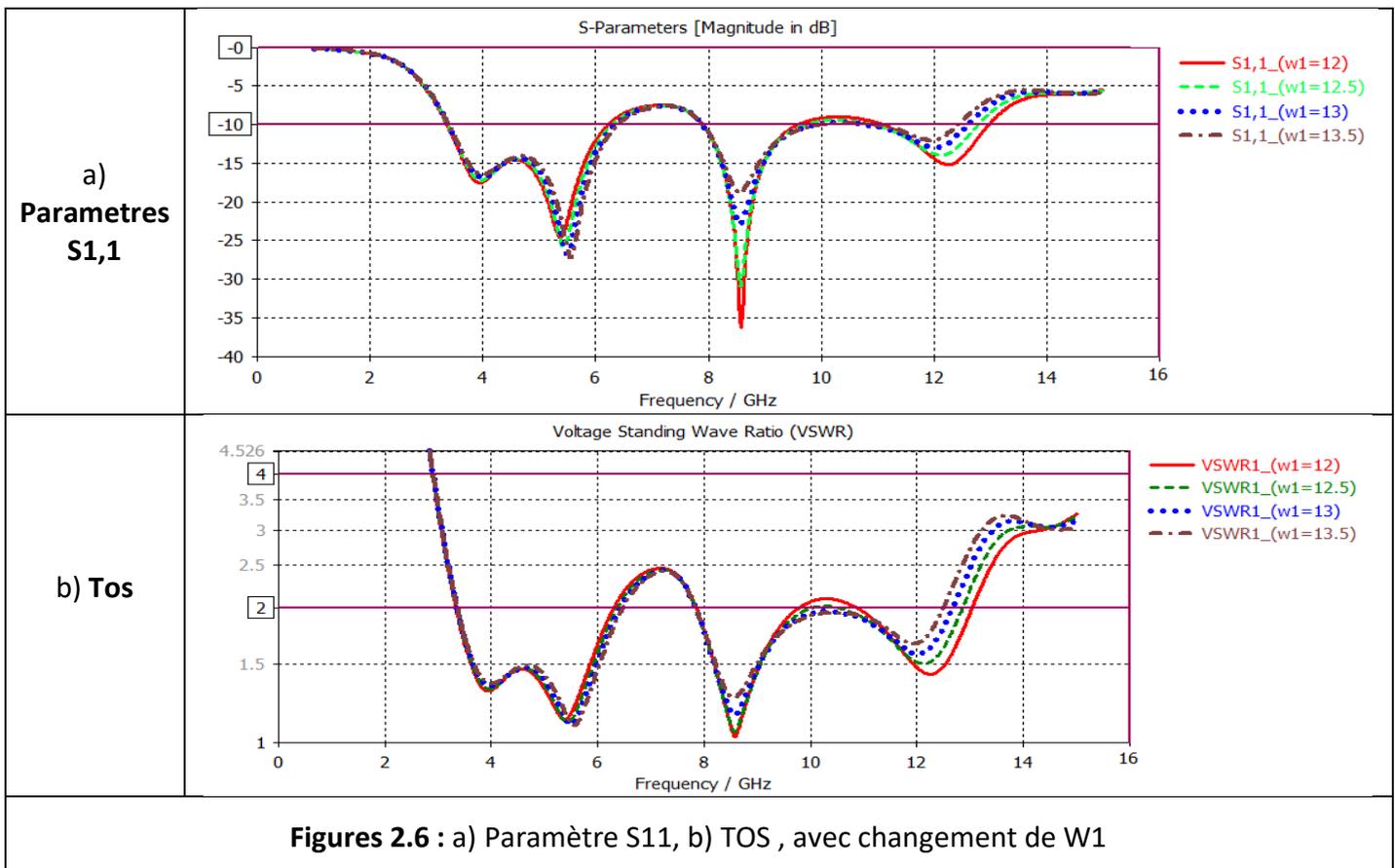
▪ **Effet de variation de la largeur de la fourche W1**

Dans cette simulation nous avons retenu la valeur de $L1 = 2 \text{ mm}$ avec les autres paramètres en faisant varier la largeur de la fourche $W1$ dans l'intervalle $[12\text{mm}_-13.5\text{mm}]$.

La figure 2.6 représente les variations du paramètre S_{11} et le TOS de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f dans la bande $[1\text{GHz}_-15 \text{ GHz}]$ pour chaque valeur $W1$.

Nous remarquons que La longueur $W1=12.5 \text{ mm}$ donne une meilleure bande passant de $[3.37_9.71\text{GHz}]$ pour une valeur du paramètre $S_{11} \leq -10\text{dB}$, et avec un TOS ≤ 2 sur la majorité de la bande passante. En revanche cette dernière est inférieure à celle du cahier des charges.

Nous remarquons aussi ici l'existence d'une bande rejetée d'environ $[6.5_8\text{GHz}]$.

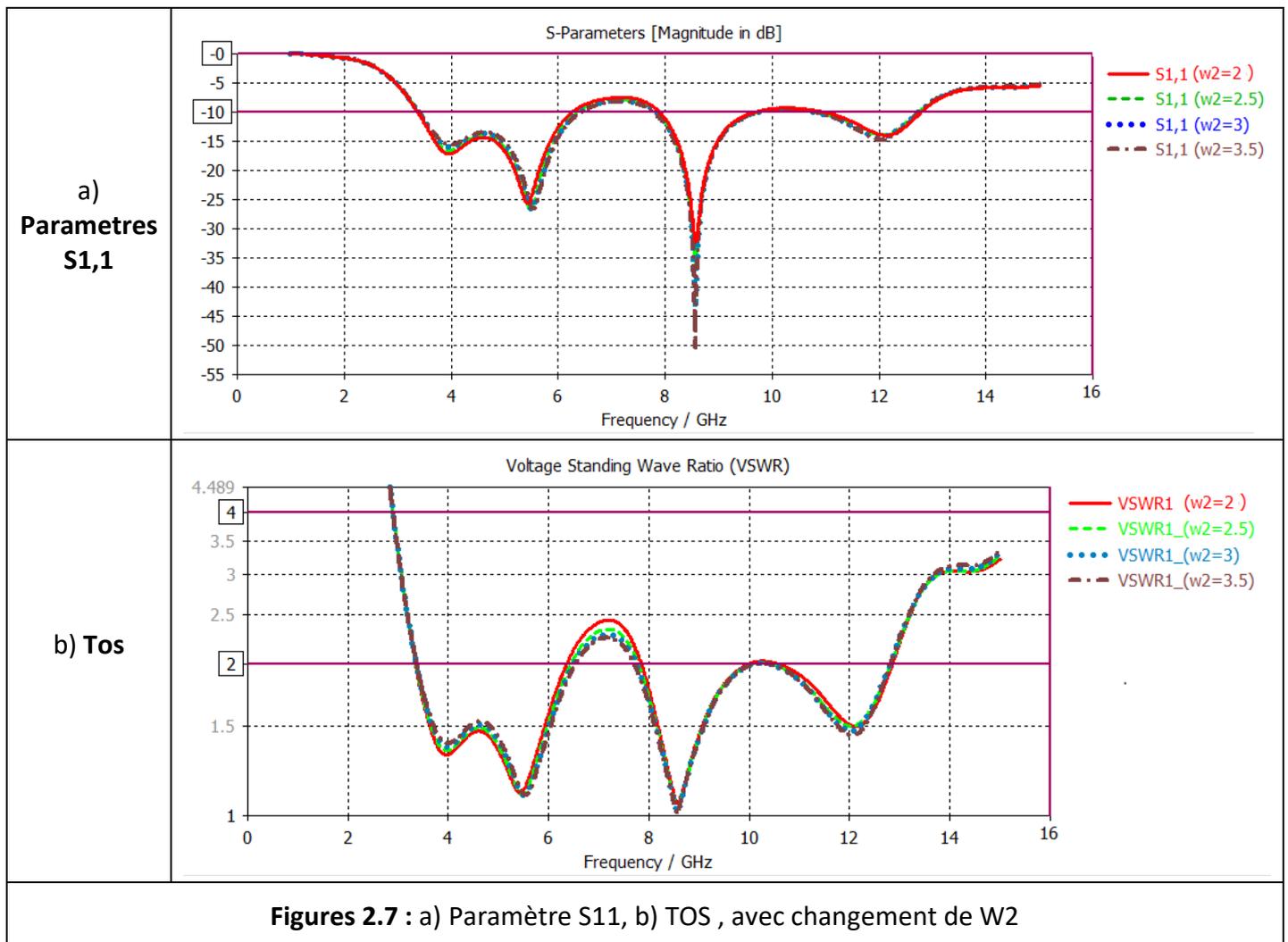


- **Effet de variation de la largeur du bras droit W2**

Dans cette simulation nous avons retenu la valeur de **W1=12.5 mm** avec les autres paramètres en faisant varier la largeur du bras droite de la fourche W2 dans l'intervalle [2mm_3.5mm].

La figure 2.7 représente les variations du paramètre S11 et le TOS de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f dans la bande [1GHz _15 GHz] pour chaque valeur **W2**.

Nous remarquons que La longueur **W2=2 mm** donne une meilleure bande passant de [3.37_9.71GHz] pour une valeur du paramètre S11 ≤ -10dB, et le TOS ≤ 2 en comparaison avec d'autres valeurs de W2. Mais elle reste toujours inférieure à celle du cahier des charges. Nous remarquons toujours une bande rejetée d'environ [6.5_8GHz].



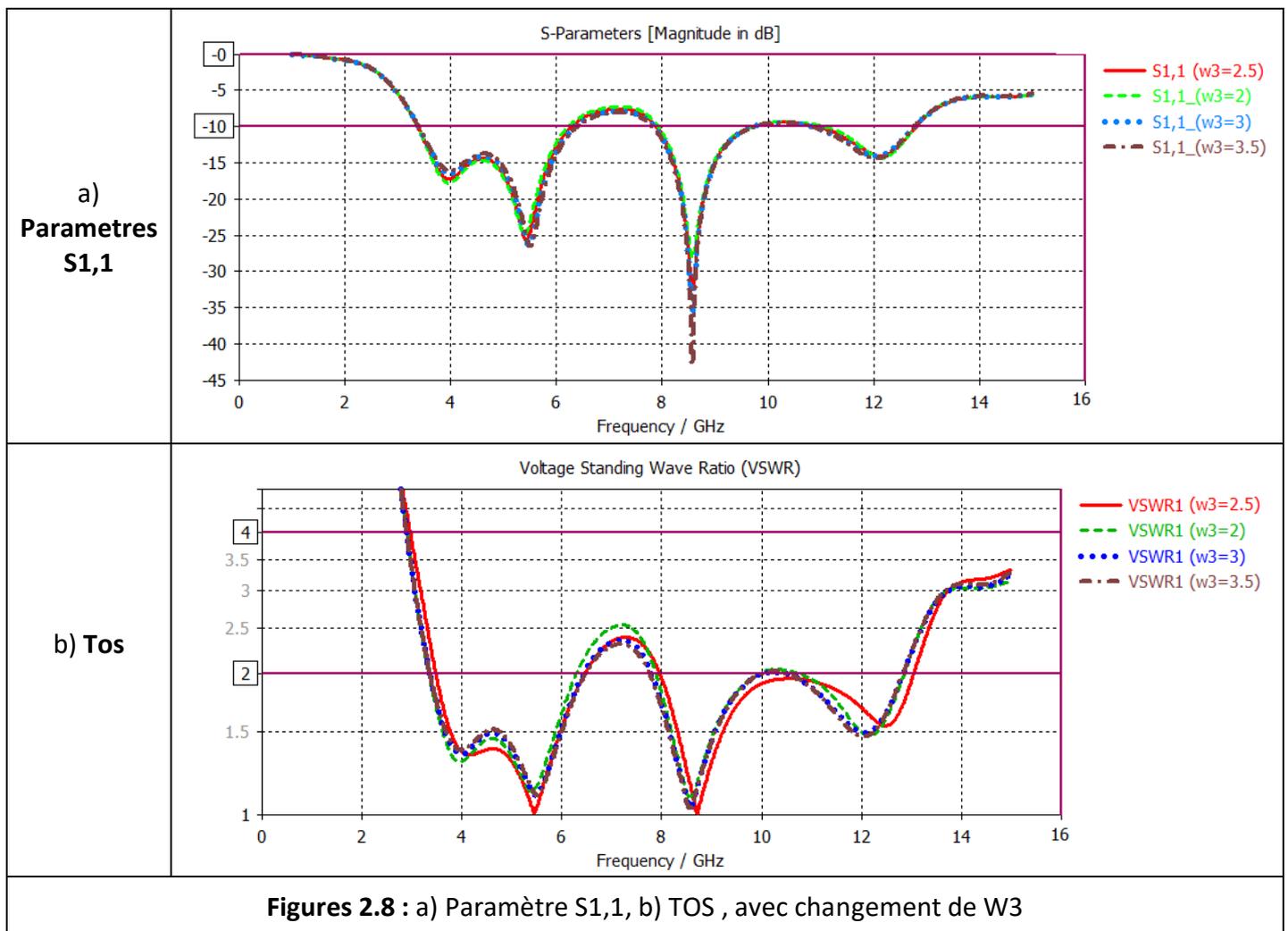
- **Effet de variation de la largeur du bras gauche W3**

Dans cette étape nous avons gardé la valeur de **W2=2 mm** avec les autres paramètres en faisant varier la largeur du bras gauche de la fourche W3 dans l'intervalle [2mm_3.5mm].

La **figure 2.8** représente la variation du coefficient de réflexion S11 et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f pour chaque valeur **W3**.

La bande passante n'est pas changée [3.37_9.71GHz] avec une bande rejetée [6.5_8GHz], mais la valeur **W3=2.5 mm** donne un meilleur Taux d'onde Stationnaire(TOS) environ [4_6GHz] et [9_10GHz].

La bande passante est incapable de couvrir toute la plage ULB [3.1GHz_10.6GHz] ce qui ne satisfait pas notre cahier des charges.



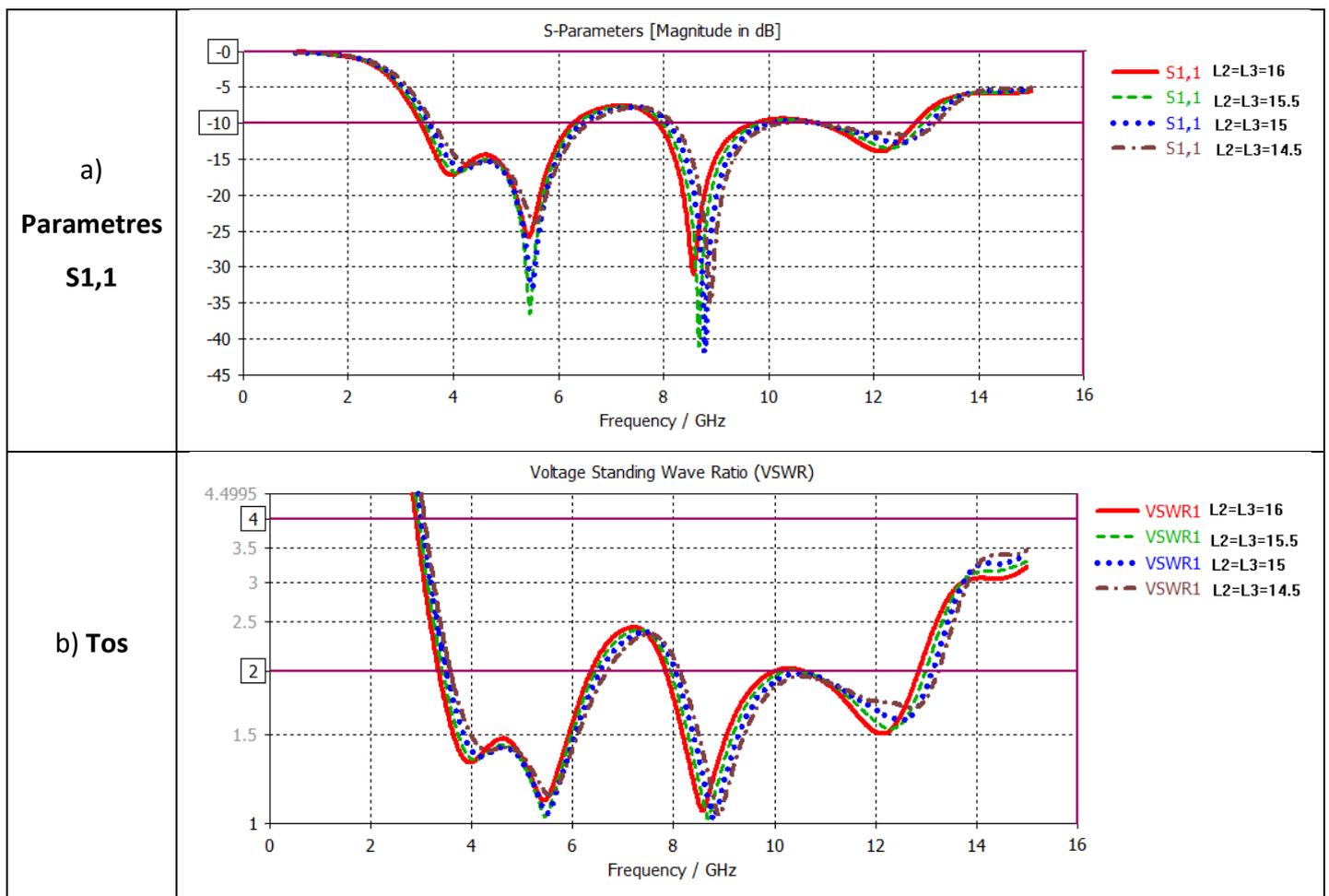
▪ **Effet de variation de la longueur des deux bras L2 et L3**

Nous avons gardé la valeur de **W3=2.5 mm** avec les autres paramètres en faisant varier cette fois la longueur des bras de la fourche L2 et L3 en même temps dans l'intervalle [14mm_16mm].

La **figure 2.9** représente la variation du coefficient de réflexion S11 et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f pour chaque valeur **L2 et L3**.

La valeur **L2=L3=16 mm** donne la meilleure bande passante [3.37_9.71GHz] pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$ et les meilleurs valeurs du Taux d'onde Stationnaire(TOS) sur toute cette bande.

Toujours avec une bande rejetée environ [6.5_8GHz], cette bande passante est inférieure à celle du cahier des charges.



Figures 2.9 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de L1 et L2

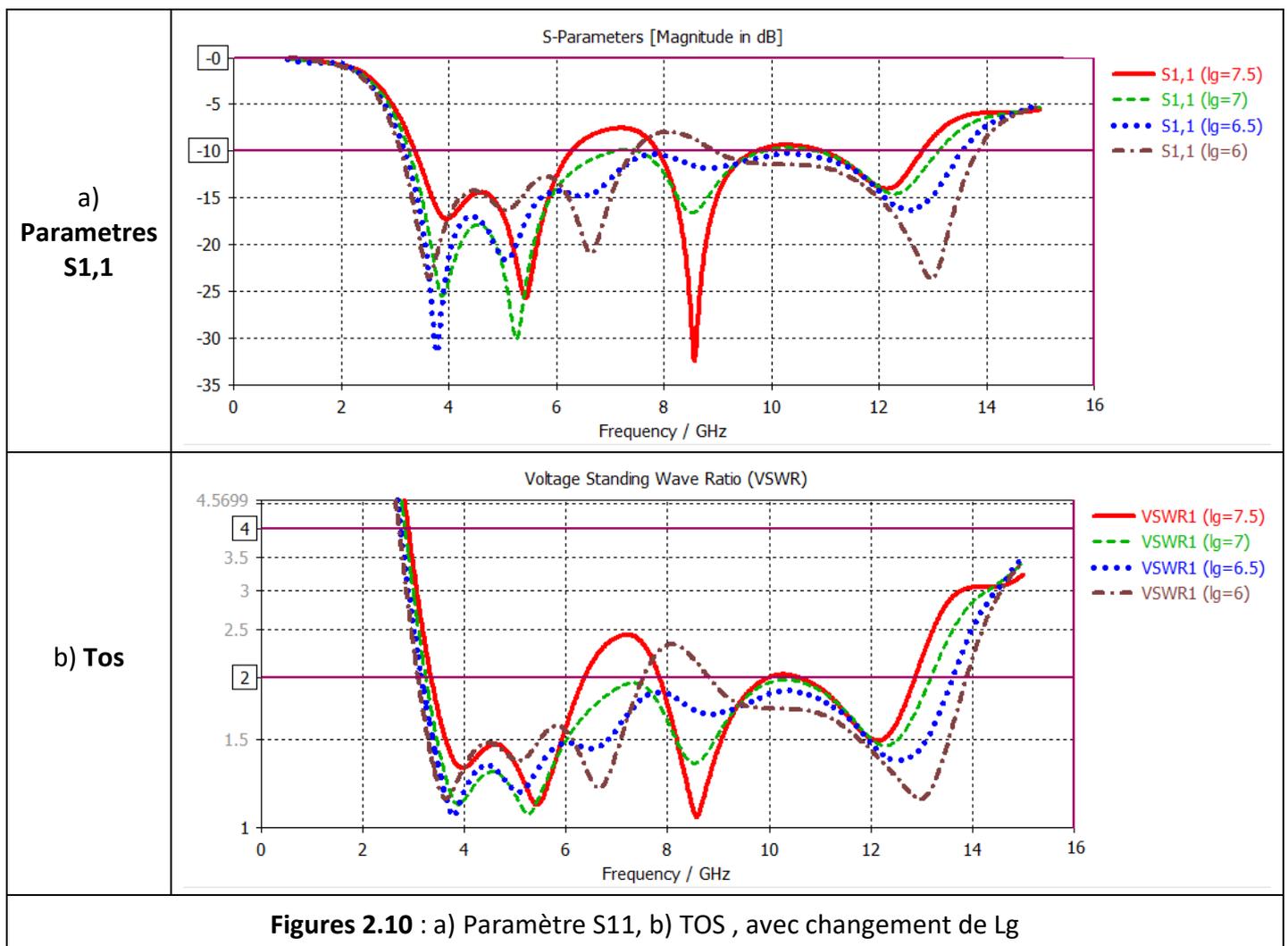
- **Effet de variation de la longueur du plan de masse partiel L_g**

Nous avons gardé la valeur de $L_2=L_3=16$ mm avec les autres paramètres en faisant varier la longueur du plan de masse partiel L_g dans l'intervalle [6mm_7.5mm].

La **figure 2.10** représente la variation du coefficient de réflexion S_{11} et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f pour chaque valeur L_g .

La valeur $L_g=6.5$ mm donne une meilleure bande passante [3.18_13.54GHz] pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10$ dB et de Taux d'onde Stationnaire(TOS ≤ 2), illustrées avec le graphe présenté par des points bleus.

A ce moment-là nous avons une bande passante assez large pour couvrir la plage ULB [3.1_10.6GHz], mais nous devons faire varier les autres paramètres restés pour avoir une meilleure adaptation.

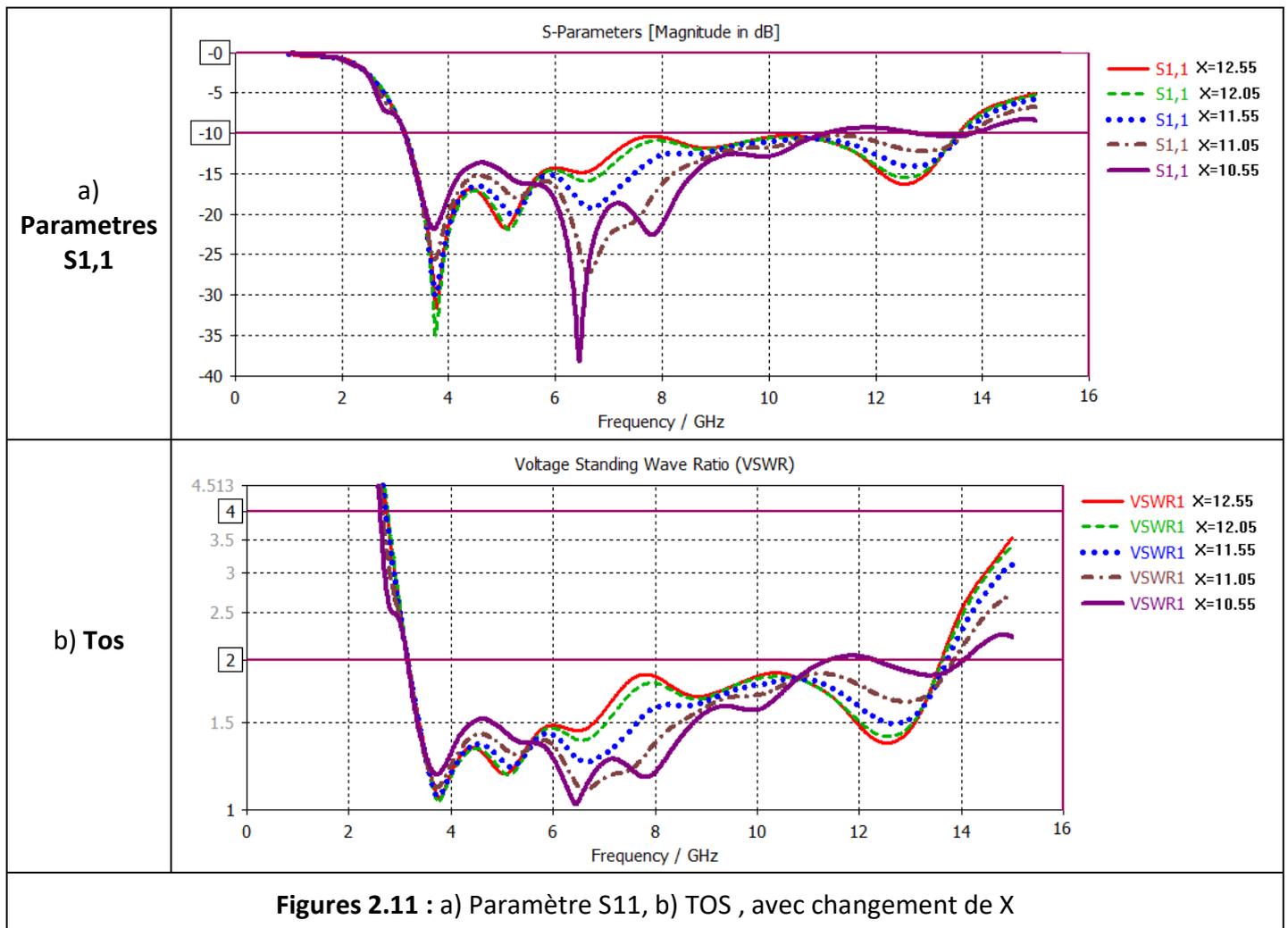


▪ **Effet de variation du paramètre X**

Nous avons gardé la valeur de $L_g=6.5$ mm avec les autres paramètres en faisant varier la longueur entre la ligne micro ruban et le cotée gauche du substrat X dans l'intervalle [10.55mm_12.55mm].

La **figure 2.11** représente variation du coefficient de réflexion S_{11} et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f pour chaque valeur X . La valeur $X=10.55$ mm donne une meilleure bande passante [3.16_11.05GHz] pour des valeurs de paramètre $S_{11} \leq -10$ dB et avec un Taux d'onde Stationnaire ($TOS \leq 2$) avec une meilleure adaptation sur toute la Bande passante illustrées dans la figure avec le graphe violet.

Nous remarquons que la bande passante de l'antenne [3.16_11.05GHz], couvre la totalité de la plage ULB ce qui satisfait les exigences de ses applications, et même notre cahier des charges.



Pour avoir une polarisation circulaire , nous devons varier un des deux bras de l'antenne [3], nous allons varier L_3 et L_2 en essayant d'avoir les meilleurs resultats.

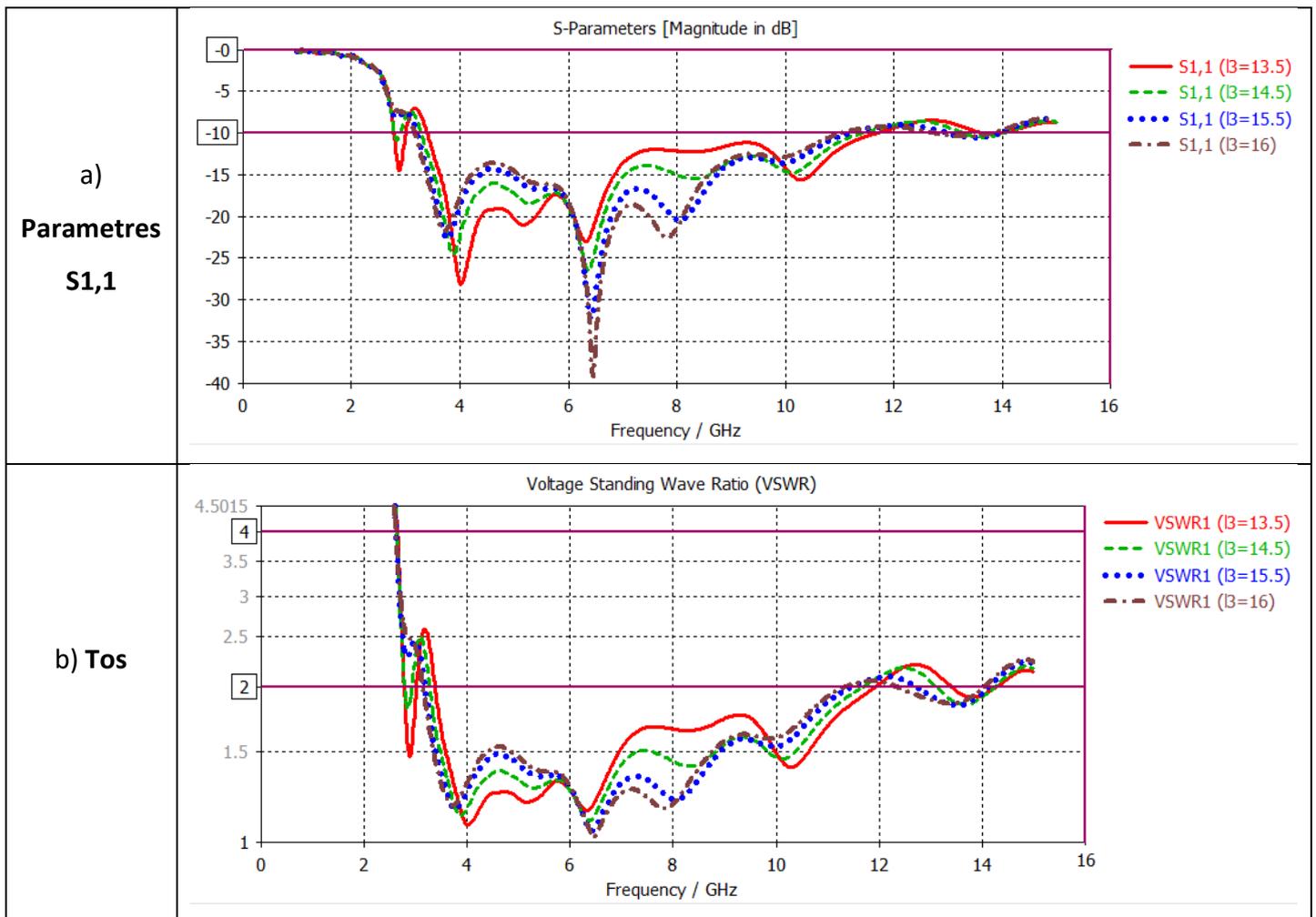
▪ **Effet de variation du paramètre L3**

Nous gardons la valeur de $X=10.55$ mm avec les autres paramètres en faisant varier la longueur du bras gauche de la fourche **L3** dans l'intervalle [13.5mm_16mm].

La **figure 2.12** représente variation du coefficient de réflexion S11 et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f pour chaque valeur **L3**.

La Longueur $L3=14.5$ mm et $L3=16$ mm donnent les meilleures bandes passantes [2.79_11.44GHz] et [3.16_11.05GHz] pour un coefficient de réflexion $S11 \leq -10$ dB illustrées avec les deux graphes (vert pour $L3=14.5$ mm, et marron pour $L3= 16$ mm), avec de bonnes adaptations et $TOS \leq 2$.

Nous constatons que la valeur $L3=14.5$ mm nous donne une bande passante [2.79_11.44GHz] couvre toute la plage ULB avec une polarisation circulaire pour diminuer les pertes due à l'alignement de l'antenne.



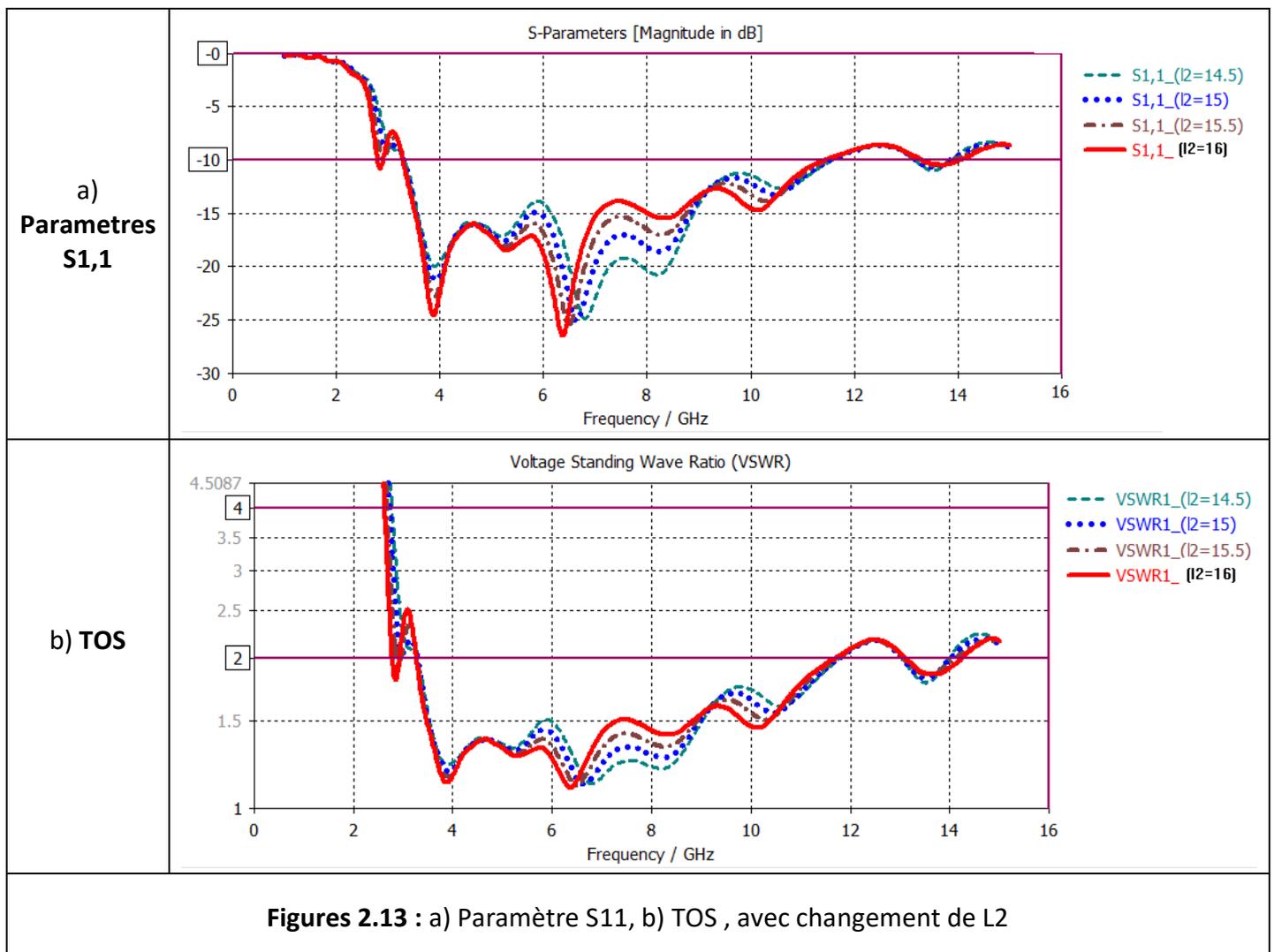
Figures 2.12 : a) Paramètre S11, b) TOS , avec changement de L3

▪ **Effet de variation du paramètre L2**

Nous fixons la valeur de **L3=14.5 mm** en faisant varier cette fois la longueur du bras droite de la fourche **L2** dans l'intervalle [14.5mm_16mm].

La **figure 2.13** représente variation du coefficient de réflexion S11 et le Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne fourche en fonction de la fréquence f pour chaque valeur **L2**. La Longueur L2=16 mm donne la meilleure bande passante [2.79_11.44GHz] pour des valeurs de paramètre $S_{11} \leq -10\text{dB}$, et des bonnes valeurs du Taux d'onde Stationnaire ($TOS \leq 2$) sur toute la Bande passante illustrée dans la figure avec le graphe rouge,

Donc la bande passante obtenue [2.79_11.44GHz] comme précédé, couvrent la totalité de la plage ULB ce qui confirme le cahier des charges.



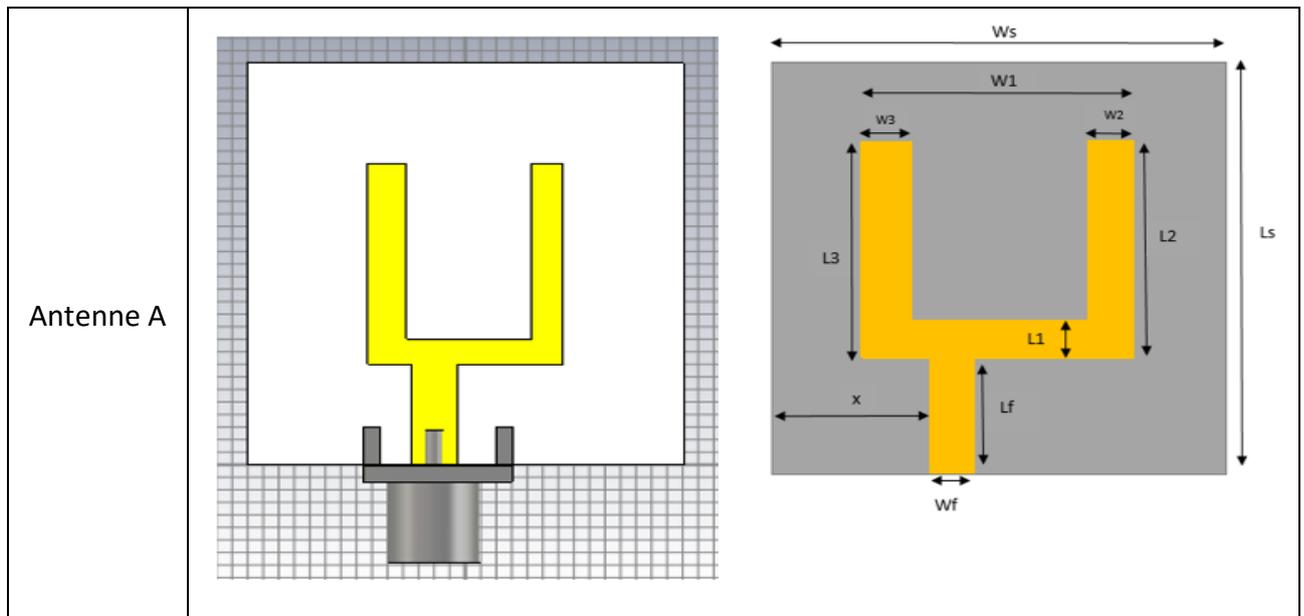
2.3.3 Etude des antennes fourche ULB optimisées

a) Géométrie des antennes fourche ULB optimisées

Après une étude paramétrique, nous présentons dans la figure 2.14 des deux structures finales des antennes fourche ULB obtenue par optimisation manuelle qui nous ont donnés les meilleures bande passantes satisfaisant le cahier des charges cité au début du chapitre.

Les deux antennes ne sont pas identiques, l'antenne B a une polarisation circulaire obtenue par la variation de la longueur du bras gauche de la fourche $L_3=14.5 \text{ mm}$ (voir section 2.3.2), donc elle sera convenable pour les communications satellitaires, GPS et la Radiolocalisation hyperfréquence [3][4].

Par contre l'antenne A a une polarisation linéaire, elle sera utile pour la transmission de données large bande sur les réseaux locaux LAN et personnels PAN, et même pour les Systèmes de sécurité transports intelligents [2].



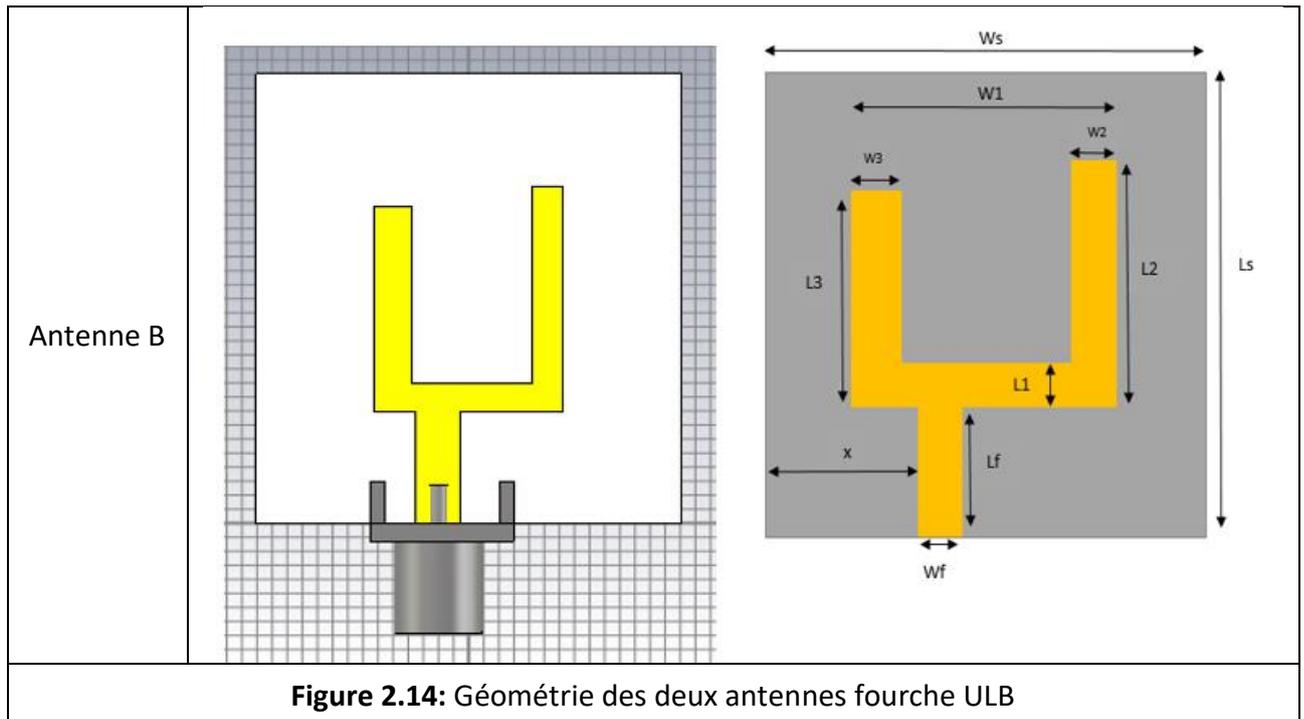


Figure 2.14: Géométrie des deux antennes fourche ULB

Le tableau 2.4 résume les différents paramètres des antennes optimisées :

Paramètres	Ws	Ls	W1	W2	W3	hs	h	Wf	Lf	L1	L2	L3	Wg	Lg	x
Antenne A	28.1	32	12.5	2	2.5	1.6	0.035	3	8	2	16	16	28.1	6.5	10.55
Antenne B	28.1	32	12.5	2	2.5	1.6	0.035	3	8	2	16	14.5	28.1	6.5	10.55

Tableau 2.4 : paramètres des antennes fourche ULB A et B

b) Résultats et discussion

▪ paramètres S11

Figure 2.15 illustre le coefficient de réflexion des deux antennes fourche A et B.

L'antenne A présente une très bonne adaptation dans la bande [3.16_11.05GHz], soit une bande passante relative de $B_p(\%)=111.12\%$ pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$. Et une bande extrêmement large [2.69_15GHz] ($B_p(\%)=139.25\%$) pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -6\text{dB}$. La valeur minimale du coefficient de réflexion est -38.23dB obtenue à la fréquence 6.44GHz.

Pour l'antenne B elle présente aussi une très bonne adaptation dans la bande [2.79_11.44GHz] ($B_p(\%)=121.65\%$), pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$. Et une bande extrêmement large [2.68_15GHz] ($B_p(\%)=139.36\%$) pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -6\text{dB}$. La valeur minimale du coefficient de réflexion obtenue est -26.16dB à la fréquence 6.32GHz.

Les deux antennes sont bien adaptées avec des bandes passantes suffisamment larges pour couvrir la totalité de la bande **ULTRA LARGE** [3.1_10.6GHz] et qui répond aux exigences de ses applications.

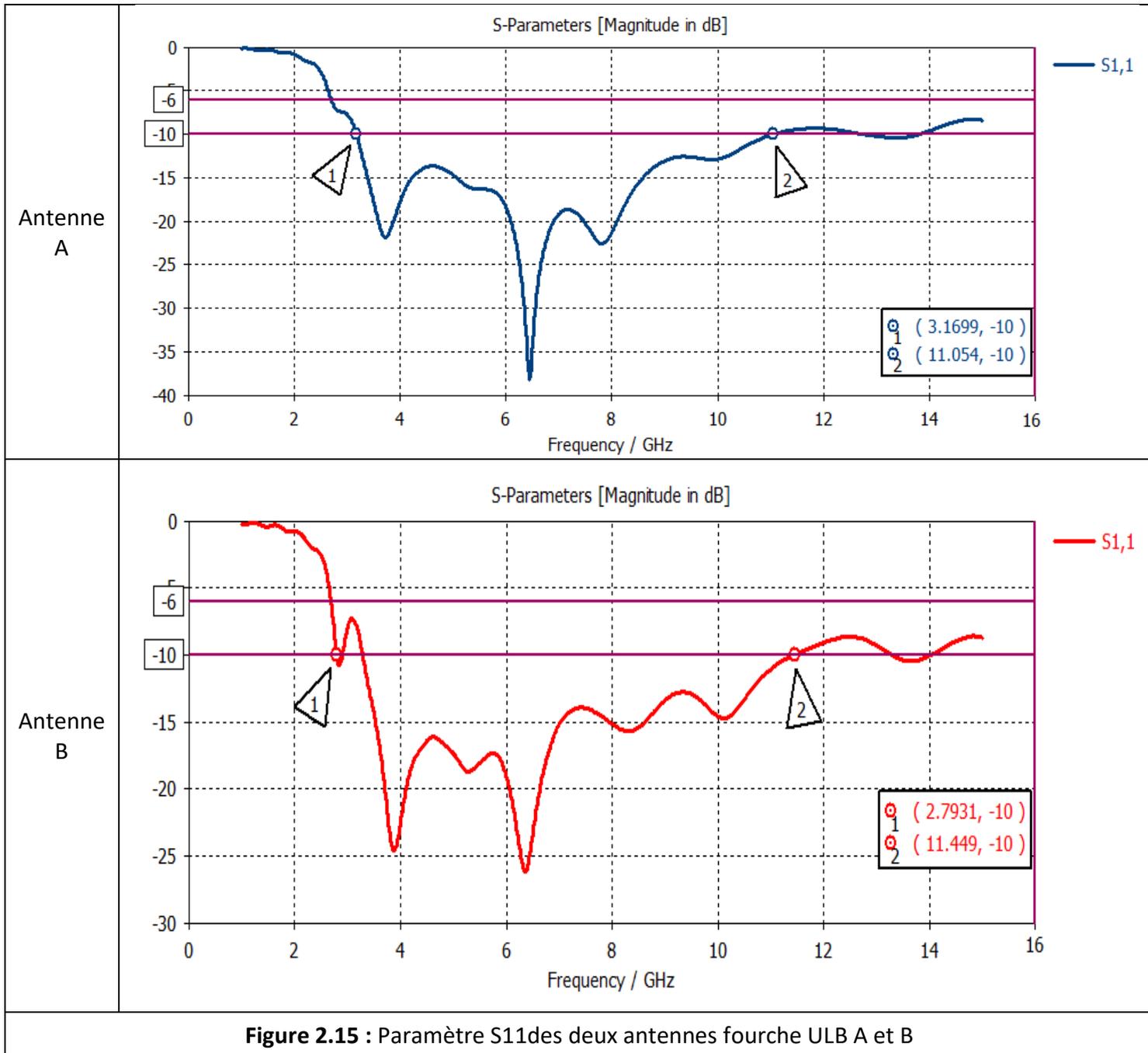


Figure 2.15 : Paramètre S11des deux antennes fourche ULB A et B

L'étude des performances des deux antennes sera faite sur quatre fréquences différentes $f_1=3.87$ GHz, $f_2=6.32$ GHz, $f_3=8.3$ GHz, $f_4=10.05$ GHz, ces fréquences représentent les points communs les plus adaptés entre l'antenne A et B.

▪ Taux d'onde Stationnaire (TOS)

La figure 2.16 présente le taux d'onde stationnaire (TOS) des antennes A et B sur le même graphe :

Nous remarquons que les deux antennes A et B présentent un TOS ≤ 2 sur toute leurs bande passantes, avec une très grande partie qui varie entre $[1 < \text{TOS} < 1.5]$ ce qui prouve une meilleure adaptation de celles-ci.

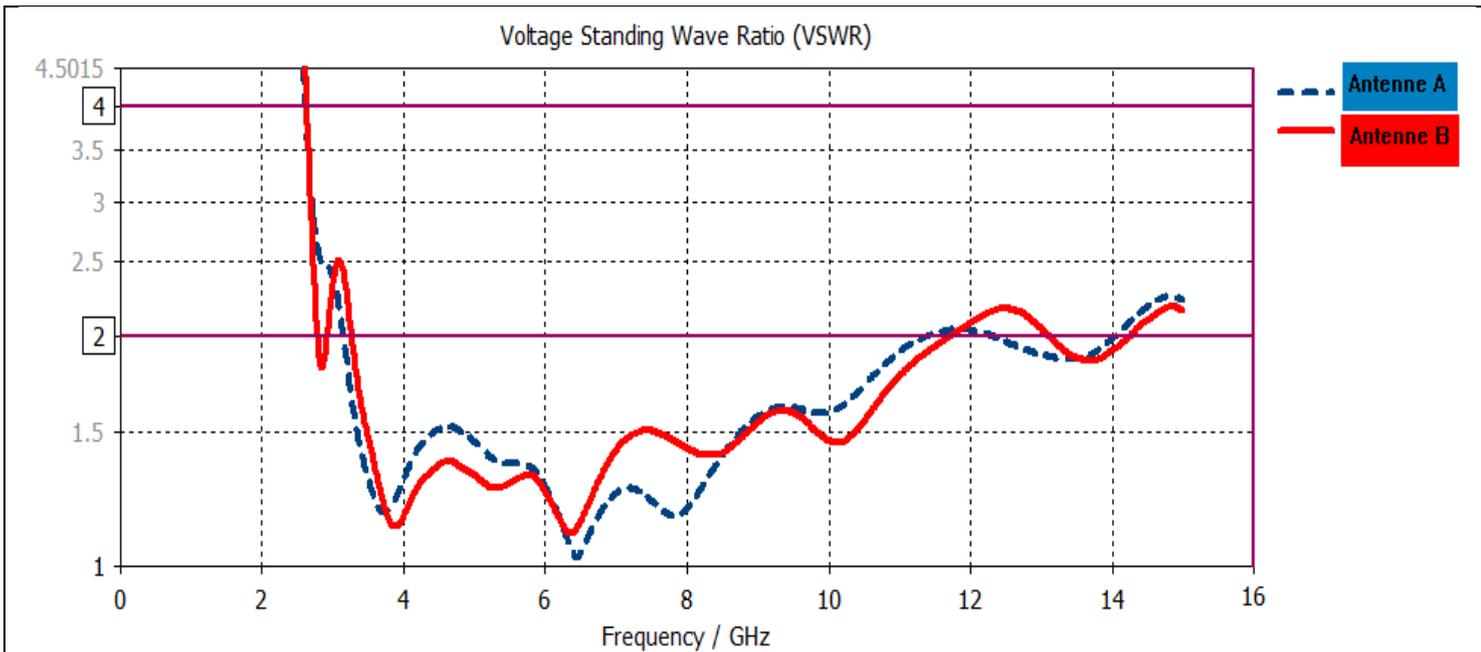


Figure 2.16 : TOS des deux antennes fourche ULB

▪ Gain

La Figure 2.17 présente le Gain des antennes A et B sur la bande de fréquence [3 GHz _ 15 GHz]

L'analyse de cette figure montre la variation du gain entre [1dBi _ 5dBi] sur la bande passante des deux antennes pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$.

L'antenne A commence avec un gain de 2.37dBi a $f=3.87$ GHz, et elle atteint un gain maximal de 4.18dBi pour $f=10.05$ GHz.

L'antenne B commence avec un gain de 2.3dBi a $f=3.87$ GHz, et elle atteint un gain maximal de 4.77dBi pour $f=10.05$ GHz

Les valeurs du gain des deux antennes sont presque les mêmes, ils sont très proches mais pour f_3 et f_4 l'antenne B présente un gain plus fort que l'antenne A.

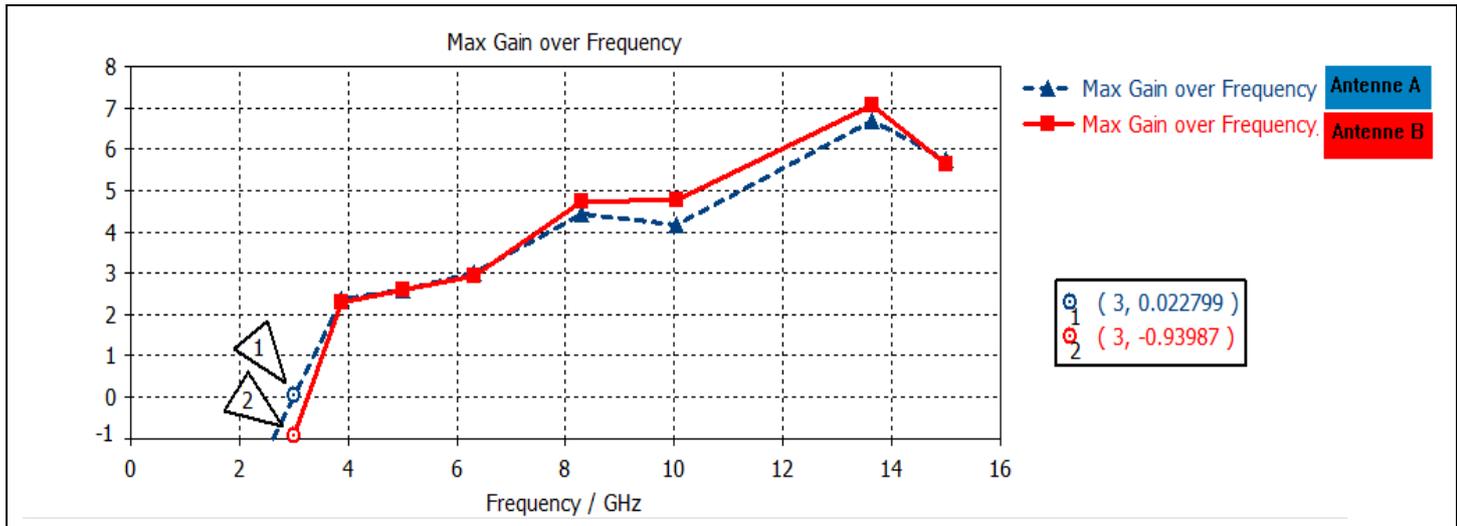


Figure 2.17 : Gain des deux antennes fourche ULB

Les gains max sont récapitulés dans le tableau 2.5 qui indique la variation du gain en fonction de la fréquence :

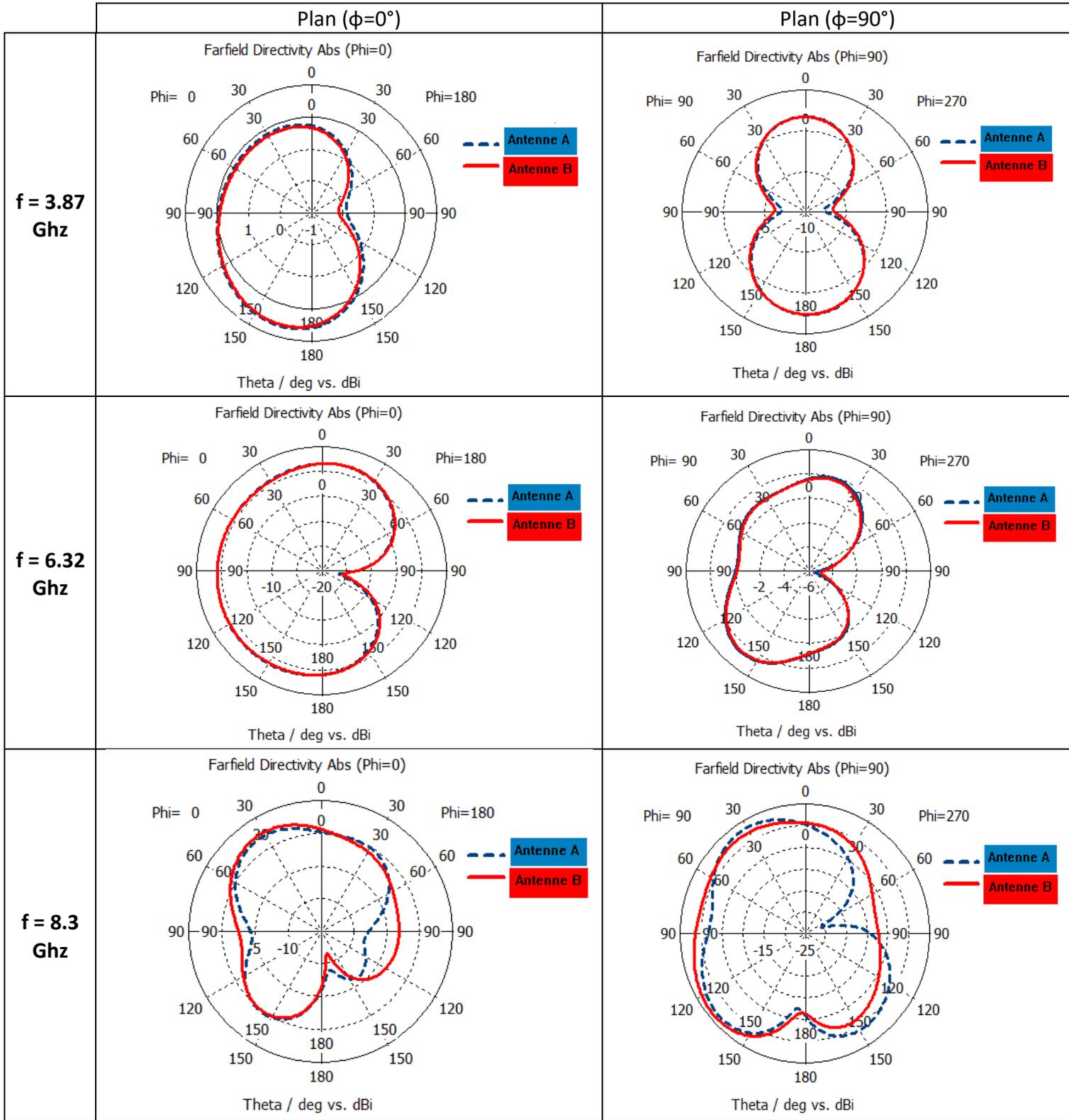
Fréquences (GHz)	f1= 3.87	f2= 6.32	f3= 8.3	f4= 10.05
Gain max (dBi) Antenne A	2.37	3	4.44	4.18
Gain max (dBi) Antenne B	2.3	2.95	4.72	4.77

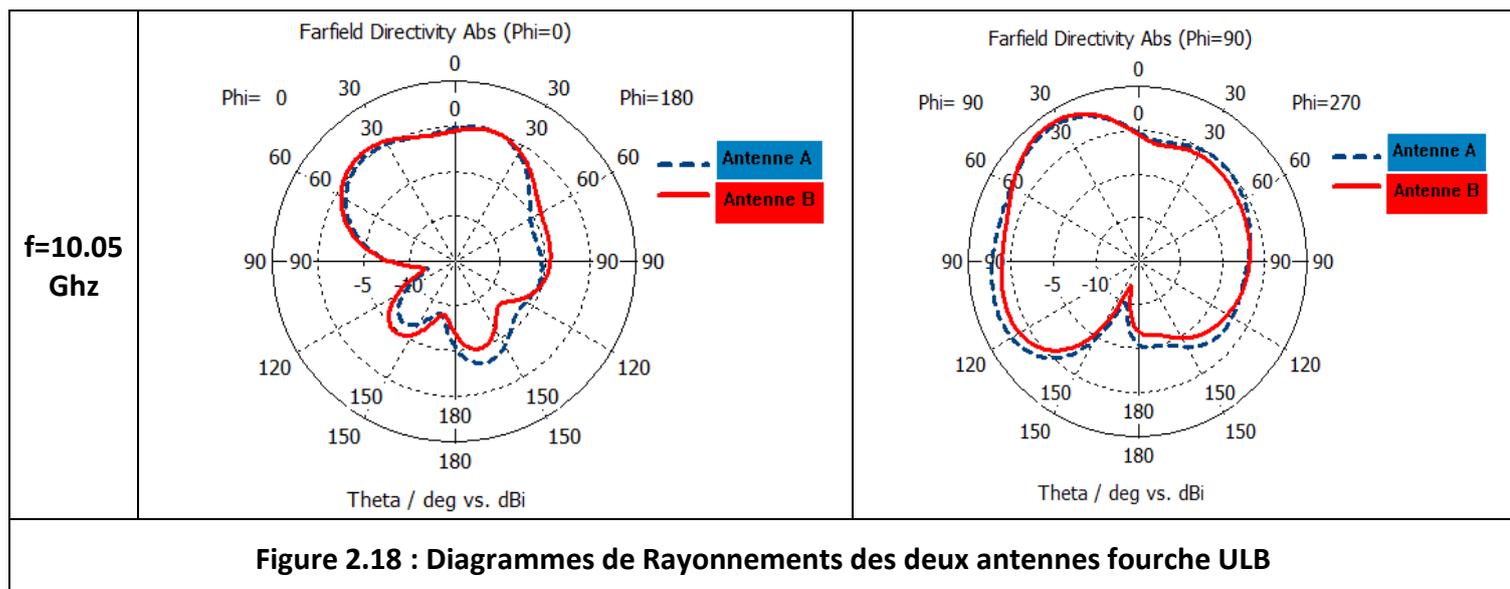
Tableau 2.5 : variation du gain en fonction de la fréquence

▪ Diagrammes de rayonnement

Dans cette partie Nous arrivons à étudier les caractéristiques de rayonnement des deux antennes fourche A et B. Les Figures 2.18 montrent que les diagrammes de rayonnement de l'antenne sont simulés dans les plans E et H à la fréquence $f=3.87$ GHz, $f= 6.32$ GHz, $f=8.3$ GHz et $f=10.05$ GHz.

Nous remarquons que le diagramme de rayonnement n'est pas vraiment stable sur toute la bande, il subit des petites déformations sur les deux plans si la fréquence augmente. Nous pouvons dire que les deux antennes A et B sont quasi omnidirectionnels.





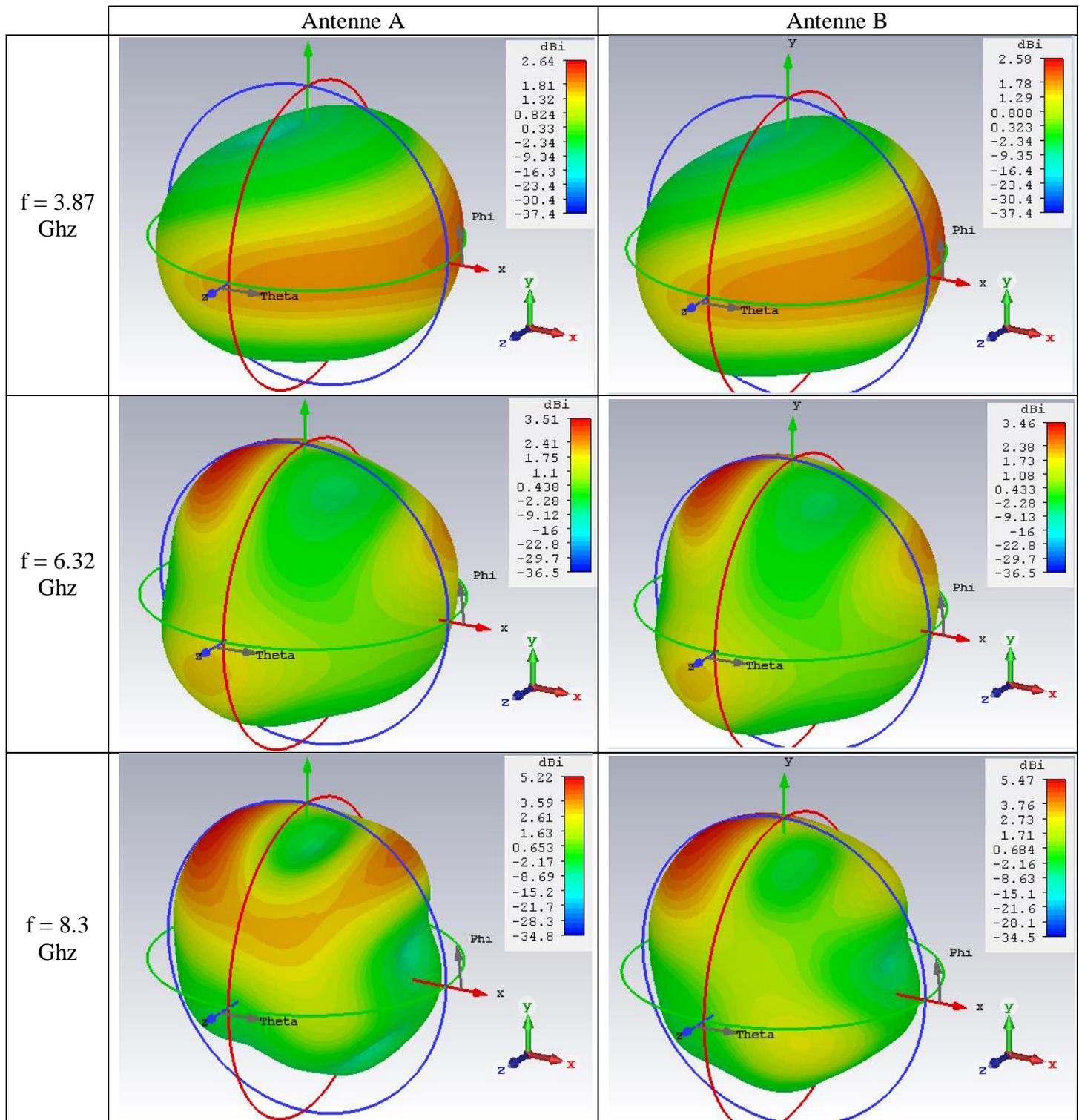
- **Directivité en 3D**

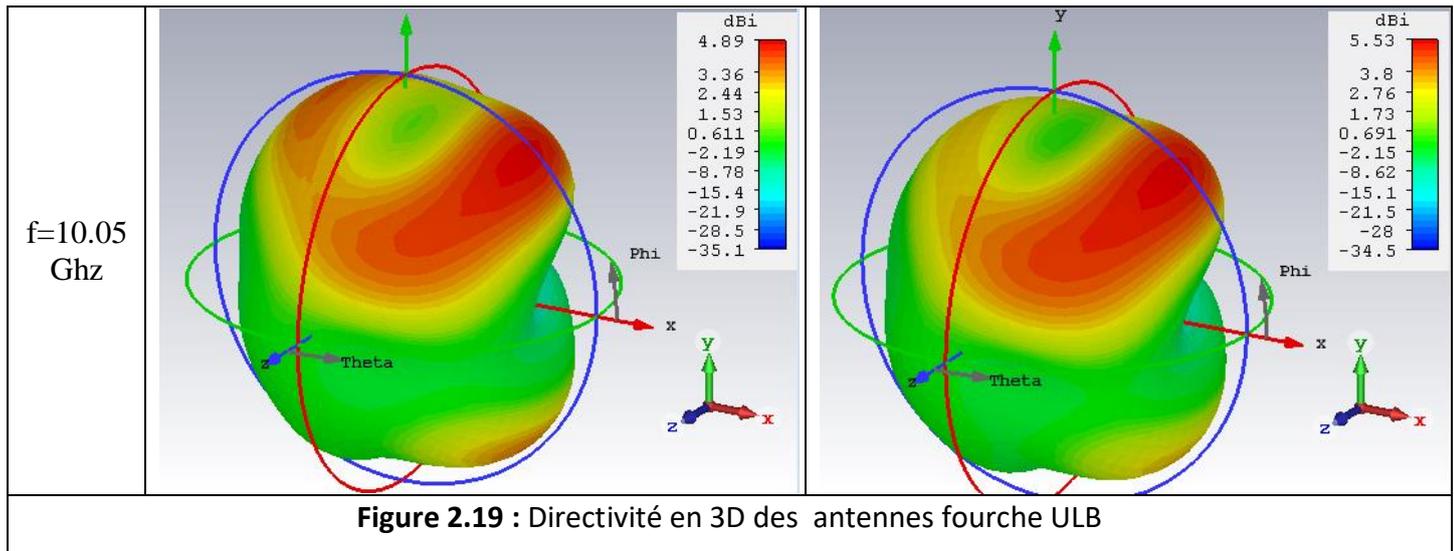
Les Figures 2.19 représente la directivité en 3D des antennes fourche A et B.

Nous constatons que lorsque la fréquence augmente la directivité se change selon les axes X et Z, les valeurs sont récapitulées dans le tableau 2.6 comme suivant :

Fréquences (GHz)	f1= 3.87	f2= 6.32	f3= 8.3	f4= 10.05
Directivité max (dBi) Antenne A	2.64	3.51	5.22	4.89
Directivité max (dBi) Antenne B	2.58	3.46	5.47	5.53

Tableau 2.6 : variation de la directivité en fonction de la fréquence





2.4 Conclusion

Les antennes patch ont des géométries très simples mais elles exigent des études approfondies théoriques et numériques pour une conception correcte d'antennes performantes.

Dans ce chapitre, nous avons commencé par une étude de performance de l'antenne rectangulaire, et ensuite l'étude paramétrique de l'antenne fourche pour comprendre les effets des divers paramètres afin de les optimiser et d'obtenir deux structures finales efficaces satisfaisant notre cahier des charges. L'antenne fourche (A) a une polarisation linéaire et l'antenne fourche (B) a une polarisation circulaire qui présente plus d'avantages en terme d'applications ULB, ce qui justifie notre choix de cette dernière comme la meilleure structure.

Le logiciel CST STUDIO SUITE nous a permis de simuler les performances des trois antennes. Les caractéristiques obtenues pour les deux antennes proposées A et B comme Bande passante, TOS, Gain et le diagramme de rayonnement confirment leurs aptitude dans les systèmes de communication ultra large bande (ULB).

Une fois le choix des structures d'antennes ULB fait, le chapitre suivant concernera la présentation de la réalisation et les mesures des caractéristiques de ces antennes.

CHAPITRE 03

Réalisation et Mesures

3.1 INTRODUCTION

Les résultats des caractéristiques des antennes A et B obtenues par simulations dans le chapitre 2 sont bien conformes au cahier des charges.

Dans ce chapitre qui concerne l'étape expérimentale, nous présentons la réalisation de ces antennes et la comparaison des résultats des différentes mesures prises avec ceux obtenues par simulation.

Généralement les résultats pratiques ne sont pas parfaitement identiques aux résultats des simulations à cause de certains facteurs, mais la mesure restera toujours le moyen efficace pour valider les résultats théoriques.

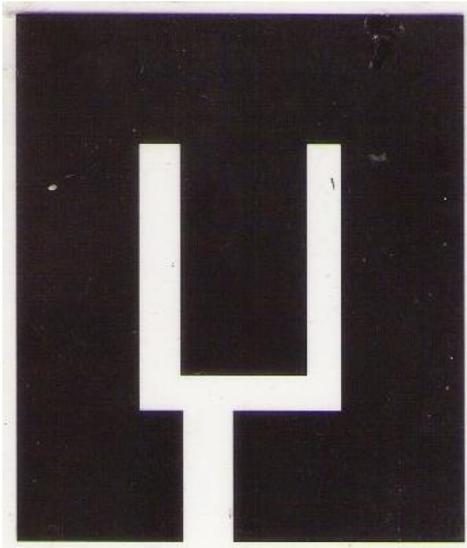
3.2 Réalisation des deux antennes ULB

Les Figures 3.1 et 3.2 représentent les Typons des deux antennes fourches à réaliser. Les prototypes des antennes réalisées sont présentés dans les figures 3.3 et 3.4.

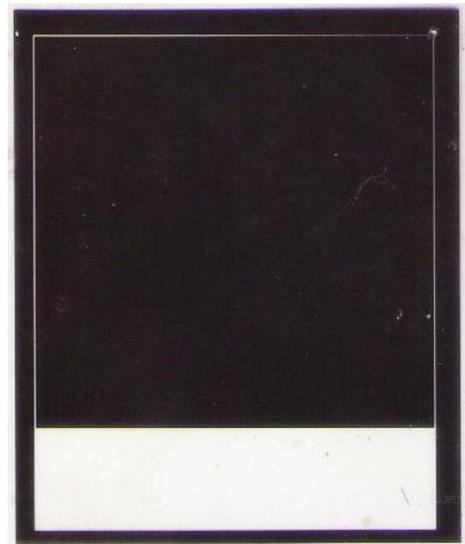
Les antennes fourche A et B, sont réalisées au niveau de la société Almitech qui se situe à Joli vu à Kouba Alger. C'est une société spécialisée dans la vente des appareils et matériaux électroniques et la réalisation des circuits imprimés. Nous avons choisi cette société à cause de sa qualité de service avec la rapidité de la fabrication.

La réalisation des deux antennes n'est pas coûteuse, elles sont réalisées avec un prix symbolique 250DA pour chacune, ce qui fait 500DA pour les deux.

Les dimensions des antennes A et B ont été obtenues par optimisation manuelle (voir le tableau 2.4 chapitre 02).

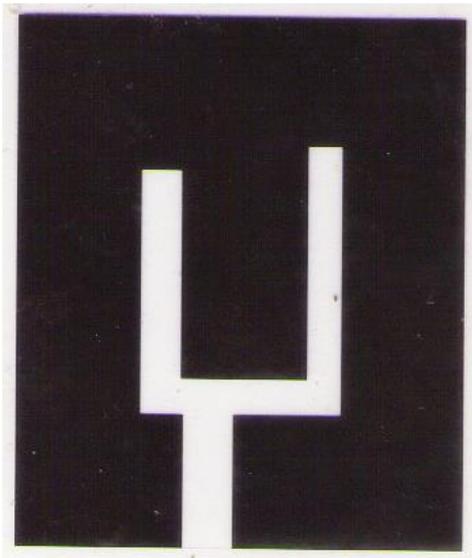


(a): Face supérieur (élément rayonnant)

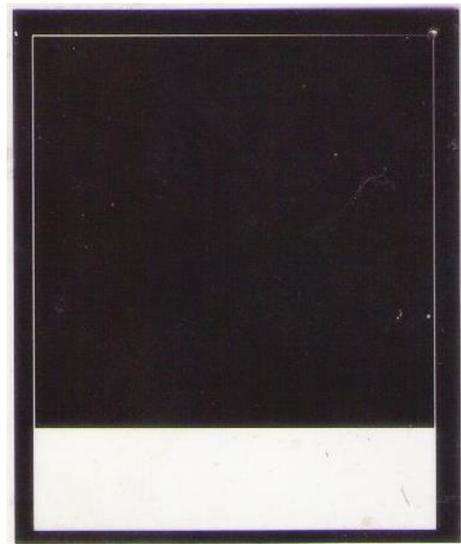


(b): Face inferieur (Plan de masse partiel)

Figure 3.1 : Typon de l'antenne fourche ULB (Antenne A)

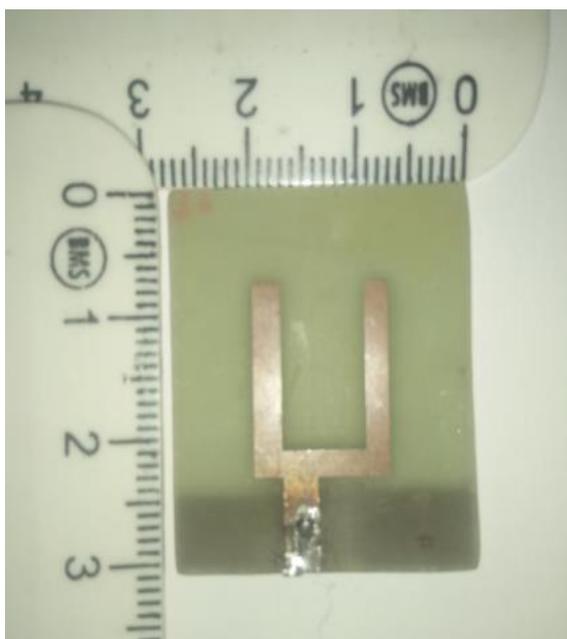


(a) :Face supérieur (élément rayonnant)

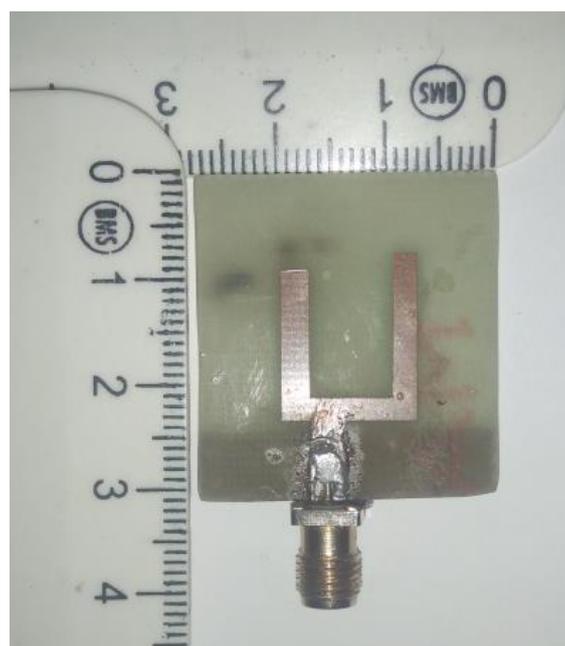


(b) : Face inferieur(Plan de masse partiel)

Figure 3.2 : Typon de l'antenne fourche ULB (Antenne B)



(a) Antenne A



(b) Antenne B

Figure 3.3 : Prototype réalisé des antennes fourche A et B



Figure 3.4 : Plan de masse partiel des deux antennes

3.3 Mesures

3.3.1 Appareil de mesure

Après la réalisation des antennes, des mesures nécessaires ont été effectuées au niveau du CDTA (Centre de Développement des Technologies Avancées) qui possède des équipements de hautes qualités pour ce genre de mesures et presque dans tous les domaines (électronique, télécommunication, mécanique, robotique, chimie...etc).

L'équipe antenne au CDTA utilise un analyseur de réseau à quatre ports de type **N5224A PNA Microwave Network Analyzer, 43.5 GHz** présenté dans la figure 3.5 et qui est Fabriqué et développé par **KEYSIGHT TECHNOLOGIES**. Cet analyseur de réseau peut mesurer jusqu'à la fréquence 18GHz, et il peut atteindre un maximum de 43.5GHz en utilisant un Kit externe de calibrage.



Figure 3.5 : L'analyseur de réseau **N5224A PNA Microwave Network Analyzer, 43.5 GHz**

3.3.2 Calibration de l'analyseur de réseau

La calibration de l'analyseur de réseau illustrée dans la figure 3.6 est une étape nécessaire avant de commencer les mesures car elle permet d'annuler les effets des câbles.

Le calibrage se fait automatiquement en utilisant le kit illustré dans la figure, dans le cas de mesures des hautes fréquences plus de 18 GHz on doit utiliser un autre kit avec une autre connectivité.

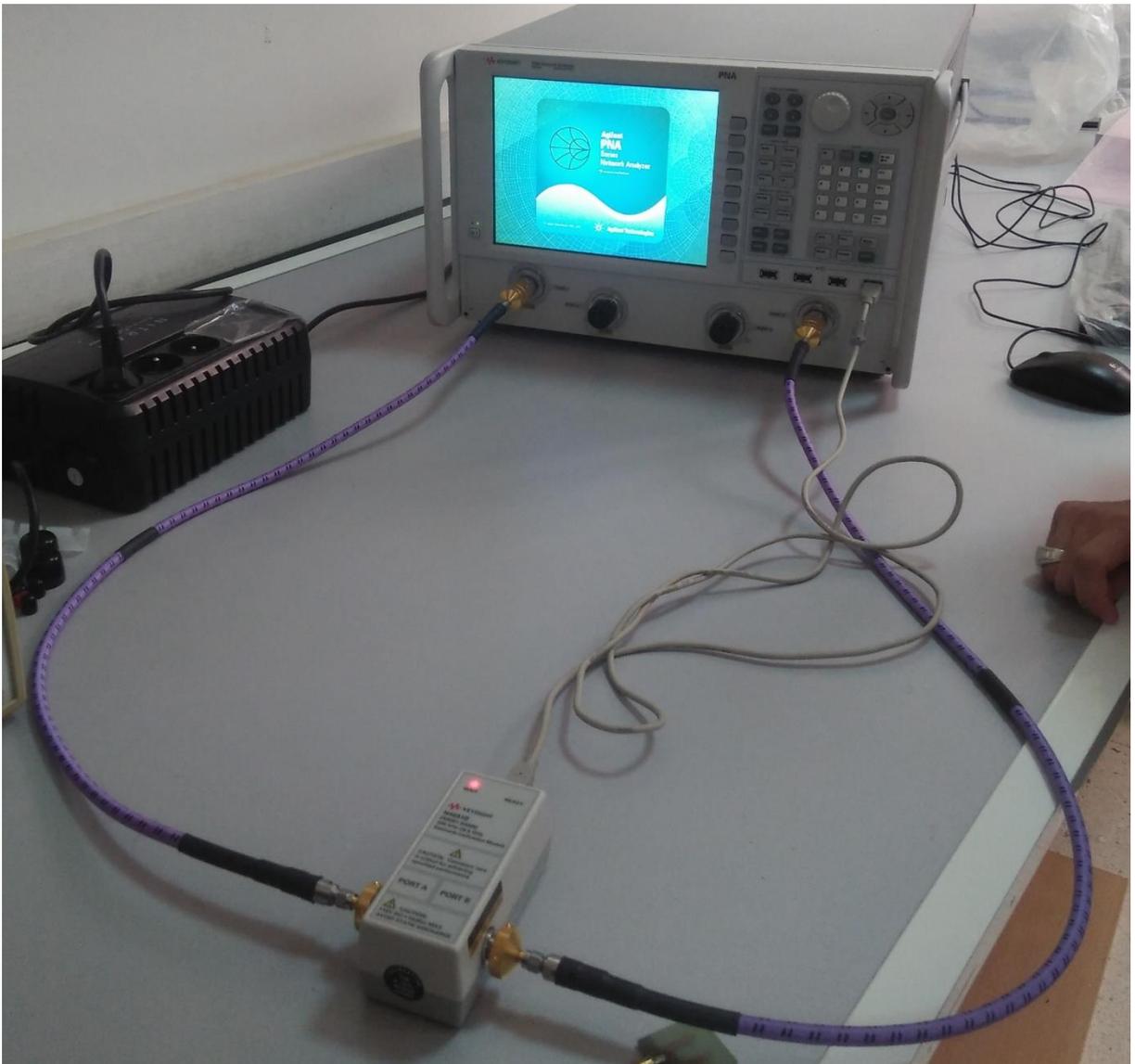


Figure 3.6 : Calibration de l'analyseur de réseau

3.3.3 Mesures

La mesure des antennes est basée sur une simulation de la communication entre deux antennes faite automatiquement par l'analyseur du réseau, ce dernier utilise le logiciel **Agilent PNA Series Network Analyser** et associé avec un ordinateur pour stocker les résultats et les convertir en format .csv fichier Excel.

Dans ce cas Nous devons extraire les résultats simulés par CST et les organiser dans un fichier Excel, puis nous utilisons Matlab pour superposer ces résultats avec les résultats des mesures (voir annexe03 : code Matlab utilisé).

- **Mesures de l'antenne B**

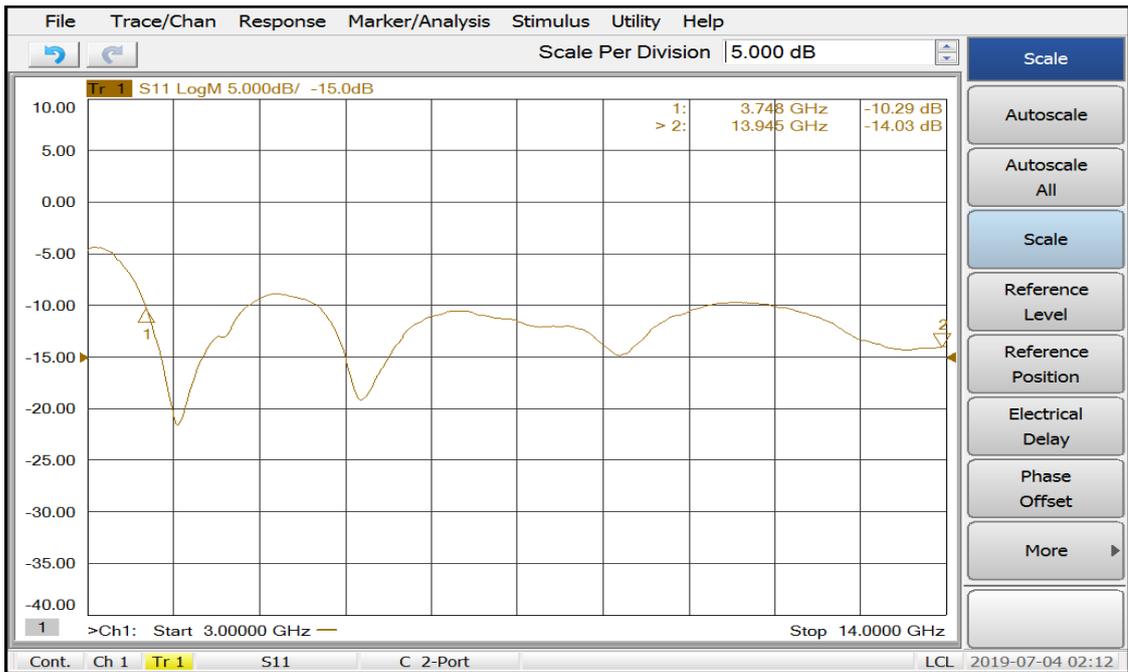
Nous avons commencé par l'antenne B pour une première mesure illustrée dans la figure 3.7 car l'antenne B était la première car elle présente les meilleures performances : La figure 3.7 (a) montre la capture d'écran de l'analyseur de réseau qui représente le résultat de la mesure.

La figure 3.7 (b) représente les résultats mesurés et simulés.

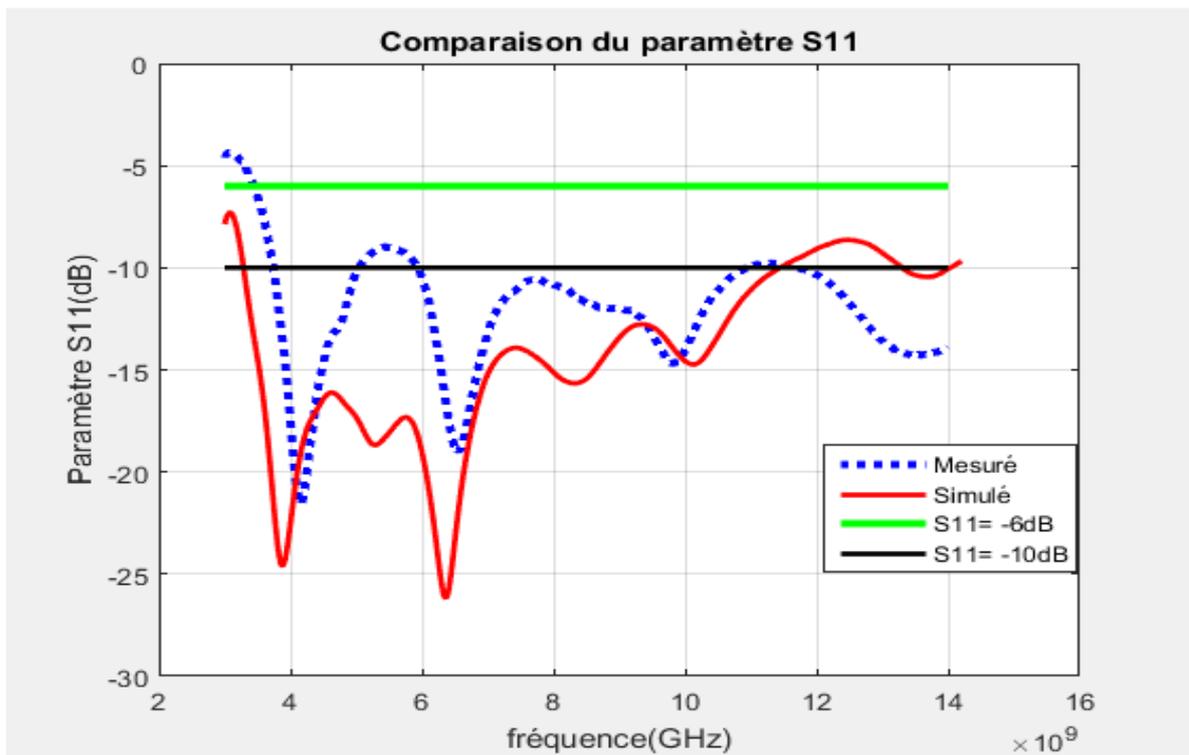
La bande passante simulée est exprimée en rouge, les points bleus représentent les résultats mesurés.

Pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$ le résultat mesuré présente une petite compression de la bande passante [3.74_10.93GHz], avec une désadaptation d'environ -5dB par rapport au résultat simulé, et une bande rejetée environ [5.5_6GHz]. La valeur minimale du paramètre S_{11} mesuré est -21.58dB à 4.15 GHz.

Cette mesure présente au même temps à $S_{11} \leq -6\text{dB}$ une adaptation totale avec une bande extrêmement large [3.45_14GHz].



(a)



(b)

Figure 3.7 : Mesures de paramètre S11 de l'antenne B

(a) : capture d'écran de l'analyseur de réseau, (b): comparaison des résultats

Afin de voir si on peut améliorer les résultats des mesures obtenus, nous avons refait la soudure du connecteur et refait l'expérience une deuxième fois.

La figure 3.8 représente le résultat de la deuxième expérience.

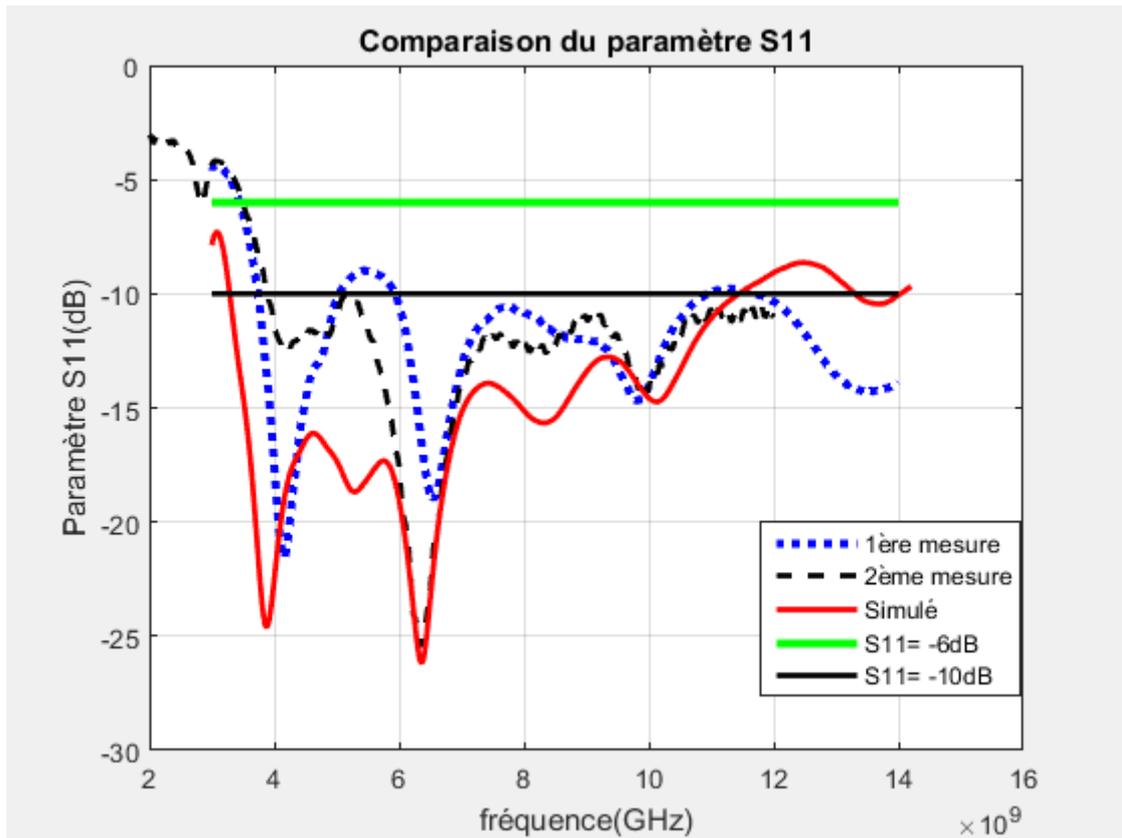
La bande passante simulée est exprimée en rouge, les points bleus représentent le résultat mesuré.

Pour $S_{11} \leq -10\text{dB}$ le résultat mesuré présente une bande passante plus large [3.88_12GHz] un peu décalée vers les hautes fréquences par rapport au premier résultat mesuré, avec une désadaptation d'environ -15dB à la fréquence 4GHz , et de -5dB à la fréquence 8GHz par rapport au résultat simulé. La valeur minimale du paramètre S_{11} mesuré est -25.42dB à 6.36 GHz .

Pour $S_{11} \leq -6\text{dB}$ nous avons obtenu une bande extrêmement large [3.5_12GHz] avec une très bonne adaptation d'impédance.



(a)



(b)

Figure 3.8 : Mesures de paramètre S11 de l’antenne B après la correction de la soudure

a) : capture d’écran de l’analyseur de réseau, (b) : comparaison des résultats

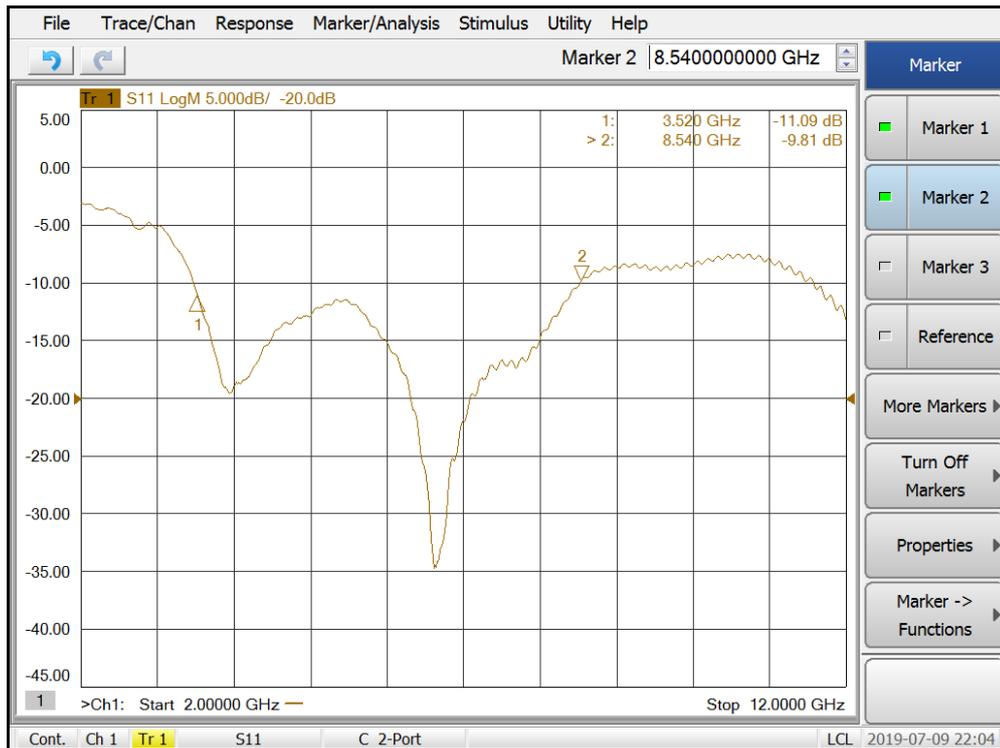
▪ **Mesure de l’antenne A :**

Les résultats de mesures de l’antenne fourche A sont présentés dans la figure 3.9

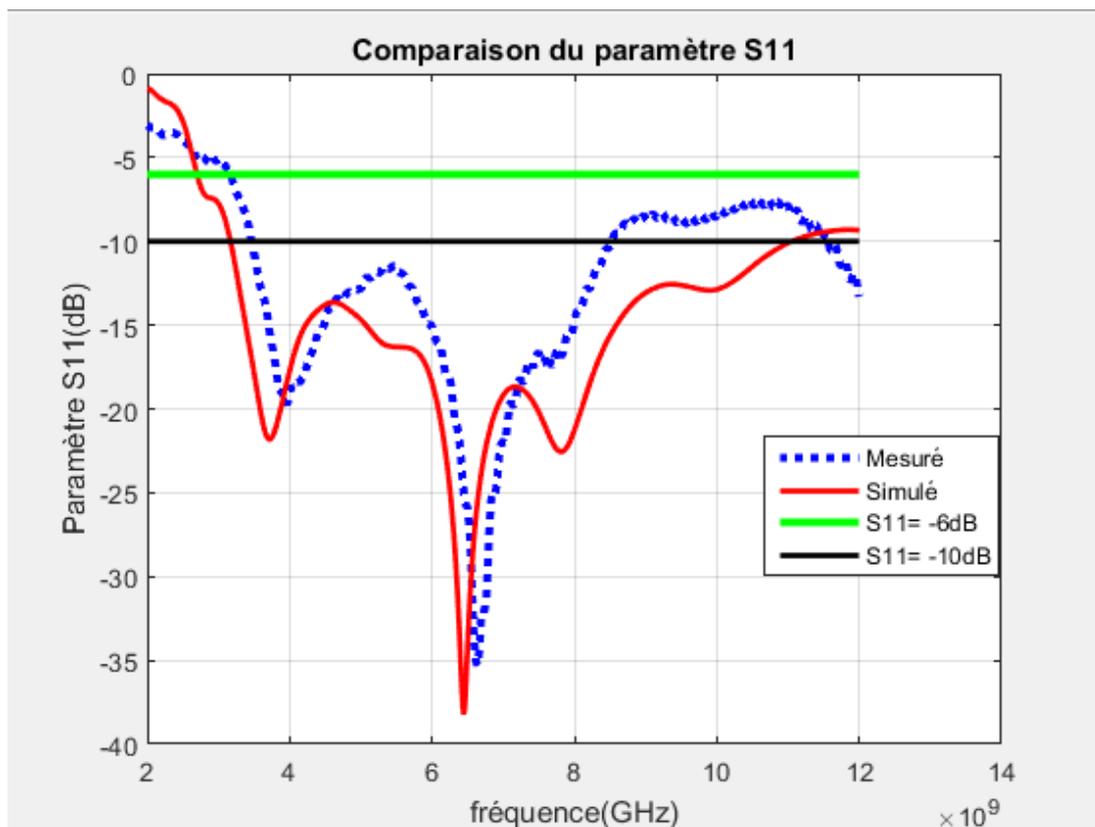
La bande passante simulée est toujours exprimée en rouge, et les points bleus représentent le résultat mesuré.

Pour un coefficient de réflexion $S_{11} \leq -10\text{dB}$ nous avons une bande passante de [3.47_8.52GHz] un peu décalée vers les hautes fréquences de 200 MHz avec une désadaptation d’environ [-3_ -5dB] par rapport au résultat simulé, avec une petite rejection de la bande environ [8.6_11.5GHz]. La valeur minimale du paramètre S11 mesuré est -35.29dB à 6.63 GHz.

Par contre, pour $S_{11} \leq -6\text{dB}$ nous remarquons une bande Ultra large [3.17_12GHz] avec une bonne adaptation d’impédance.



(a)



(b)

Figure3.9 : Mesures de paramètre S11 de l'antenne A

a): capture d'écran de l'analyseur de réseau, (b) : comparaison des résultats

- **Comparaison entre les résultats mesurés des antennes :**

Nous allons récapituler les différents résultats mesurés dans le Tableau 3.1 suivant

Mesures	Bande passante $S_{11} \leq -10\text{dB}$	Bande passante $S_{11} \leq -6\text{dB}$
1ère mesure antenne B	[3.74_10.93GHz]	[3.45_14GHz]
2ème mesure antenne B	[3.88_12GHz]	[3.5_12GHz]
Mesure antenne A	[3.47_8.52GHz]	[3.17_12GHz]
Tableau 3.1 : Comparaison entre les résultats mesurés des antennes A et B		

3.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, L'étude expérimentale des antennes fourches a été faite .Nous avons comparé les résultats des mesures du paramètre S_{11} avec celles des simulations.

D'après la comparaison nous pouvons dire que la bande passante de ces deux antennes fourche couvre la majorité de la plage ULB [3.1_10.6GHz] selon la spécification de la FCC (Commission Fédérale de la Communication), mais elles couvrent adéquatement la totalité de la bande ULB selon la spécification de l'industrie.

Les résultats des mesures ne sont pas identiques aux résultats simulés grâce à certains facteurs comme la permittivité relative de substrat (qui change entre 3.3 et 3.4), l'emplacement du connecteur (le connecteur doit être centrée au milieu de la ligne micro ruban), l'absence du connecteur SMA sur le marché, la qualité des soudures (il faut avoir une très bonne qualité du fer à souder), milieu de propagation (nous devons mesurer les antennes dans une chambre anéchoïque pour avoir des bonnes mesures) et les défauts de production.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion Générale

Depuis la commercialisation de la bande de fréquence [3.1_10.6GHz] dédiée aux systèmes ultra large bande par la FCC plus des dizaines d'années, La technologie ULB a connu un progrès considérable en termes d'applications dans plusieurs domaines. Dans notre mémoire de fin d'étude nous avons simulé et réalisé deux antennes patch sous forme de fourche travaillant sur une bande de fréquence assez large pour les applications ULB.

Nous avons commencé notre travail avec une présentation des généralités sur les antennes patch avec leurs différentes caractéristiques, puis la technologie ULB a été introduite en détaillant un peu son principe de fonctionnement et ses applications.

La deuxième étape était la conception de l'antenne fourche en utilisant le logiciel CST Microwave Studio, commençant par une structure proposée dans [3][4]. Nous avons fait une étude de changements de certains paramètres de l'antenne afin d'améliorer ses performances, en tenant compte de notre cahier de charge. Le choix du substrat (FR4-epoxy) est dicté par sa seule disponibilité sur le marché. Après une optimisation manuelle nous avons abouti à deux structures finales qui nous ont donné des meilleurs résultats concernant la couverture de la totalité de la bande ULB [3.1_10.6 Ghz], une bonne adaptation d'impédance, un gain maximale $\approx 5\text{dB}$ à $F=10.05\text{ GHz}$. L'antenne fourche à bras égaux possède une polarisation linéaire. Elle peut être utilisée pour les appareils de détection et la communication large bande utilisée généralement sur les réseaux LAN et PAN. La deuxième antenne caractérisée par ces bras de longueurs différentes, a une polarisation circulaire. Elle peut être utilisée pour les applications des radars et la radiolocalisation hyperfréquence et les communications satellitaires.

Les deux antennes simulées ont été bien fabriquées avec un tarif symbolique. Les mesures effectuées en utilisant l'analyseur de réseaux au niveau du CDTA ont validé expérimentalement la couverture de la majorité de la plage ULB pour des valeurs de paramètre $S_{11} \leq -10\text{dB}$, et la totalité de la plage pour des valeurs de paramètre $S_{11} \leq -6\text{dB}$.

Références Bibliographique

[1]: 'Constantine A. Balanis', '**Antenna Theory ANALYSIS AND DESIGN**', Third Edition
John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.

[2]: Nicolas Fortino. "**Conception et caractérisation d'antennes imprimées pour systèmes Ultra-Large-Bande impulsionnels**". Doctorat, Université Nice Sophia Antipolis, 2006.

[3]: Eman. A .F. Mohamed, and Darwish .A. E . Mohamed,'**Design of a circularly Polarized Tuning Fork Type UWB Patch Antenna**', '**The fifth Saudi Technical conference and Exhibition**', January 14/11/2009, King faical Hall for conferences , Riyadh.

[4]: A.H.M.Zahirul Alam, Rafiqul Islam, and Sheroz Khan, '**Design of a Tuning Fork type UWB Patch Antenna**', World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electronics and Communication Engineering Vol:1, No:8, 2007.

[5]: "<http://emtalk.com/mscalc.php>"

1. Introduction à logiciel CST Microwave Studio Suite

1.1 Présentation du logiciel

CST MICROWAVE STUDIO est un logiciel complet pour l'analyse et la conception électromagnétiques dans les hautes fréquences. Il simplifie le processus de création de la structure en fournissant un front de modélisation graphique solide, basé sur le noyau de modélisation ACIS. Une fois le modèle construit, une procédure de maillage entièrement automatique est appliquée avant le démarrage du moteur de simulation. Une des principales caractéristiques de ce logiciel est Method d'approche en Demande, qui permet de choisir le type de simulateur ou de maillage le mieux adapté à un problème particulier [A1].

Comme aucune méthode ne fonctionne aussi bien pour toutes les applications, le logiciel contient plusieurs techniques de simulation (solveur transitoire, solveur dans le domaine fréquentiel, solveur en équation intégrale, solveur multicouche, solveur asymptotique et solveur en mode propre) convient le mieux à diverses applications. Le solveur de domaine fréquentiel contient également des méthodes spécialisées pour analyser des structures hautement résonantes telles que des filtres [A1].

Chaque méthode prend à son tour en charge les types de maillage les mieux adaptés à sa technique de simulation. Les grilles hexaédriques sont disponibles en combinaison avec Perfect Boundary Approximation (PBA) et certains solveurs utilisant le maillage hexaédrique prennent également en charge l'extension TST (Thin Sheet Technique). L'application de ces techniques très avancées augmente généralement la précision de la simulation par rapport aux simulateurs classiques. En plus du maillage hexaédrique, le solveur du domaine fréquentiel prend également en charge un maillage tétraédrique. Des mailles surfaciques ou multicouches sont disponibles pour l'équation intégrale et le solveur multicouches, respectivement [A1].

L'outil le plus flexible est le solveur transitoires utilisant une grille hexaédrique, qui permet d'obtenir l'ensemble du comportement fréquentiel large bande du dispositif simulé à partir d'un seul calcul (contrairement à l'approche par pas de fréquence de nombreux autres simulateurs). Ce solveur est remarquablement efficace pour la plupart des applications haute fréquence telles que les connecteurs, les lignes de transmission, les filtres, les antennes, etc [A1].

Pour les grandes structures électriques, les méthodes de discrétisation volumétrique souffrent généralement d'effets de dispersion qui nécessitent un très bon maillage. CST MICROWAVE STUDIO contient donc un solveur basé sur l'équation intégrale qui convient particulièrement à résoudre ce type de problème. Le solveur d'équations intégrales utilise un maillage surfacique triangulaire qui devient très efficace pour les grandes structures électriques. La technologie du solveur MLFMM (multipolaire rapide multi-niveaux) assure une excellente mise à l'échelle des temps de résolution et des besoins en mémoire avec une fréquence croissante. Pour les basses fréquences où le MLFMM n'est pas aussi efficace, une méthode itérative des moments est disponible [A1].

Malgré son excellente évolutivité, même le solveur MLFMM peut devenir inefficace pour des structures extrêmement grandes électriquement. Ces problèmes de très haute fréquence sont mieux résolus en utilisant le solveur asymptotique de CST MICROWAVE STUDIO, basé sur la technique dite ray-tracing. Pour les structures principalement planaires, telles que les filtres micro ruban ou les cartes de circuit imprimé, cette propriété particulière peut être exploitée afin de gagner en efficacité. Le solveur multicouche, basé sur la méthode des moments, ne nécessite pas de discrétisation de l'empilement diélectrique et métallique infiniment transversal. Par conséquent, le solveur peut être plus efficace que les solveurs 3D d'usage général pour ce type d'application spécifique [A1].

1.2 Qui peut utiliser CST MICROWAVE STUDIO

Toute personne confrontée à des problèmes électromagnétiques dans les hautes fréquences doit utiliser CST MICROWAVE STUDIO. Le programme est particulièrement adapté à l'analyse et à la conception rapides et efficaces de composants tels que les antennes (notamment les matrices), les filtres, les lignes de transmission, les coupleurs, les connecteurs (à une ou plusieurs broches), les cartes de circuit imprimé, les résonateurs et bien d'autres. La méthode sous-jacente étant une approche 3D générale, CST MICROWAVE STUDIO peut résoudre pratiquement tous les problèmes des champs hauts fréquence.

2. Etapes de conceptions des antennes ULB

■ Création d'un nouveau projet

D'abord nous devons cliquer sur l'icône du logiciel CST sur le bureau .on obtient la fenêtre représentée dans la Figure A2.1 et on clique sur la cellule New and Recent et un autre clique sur New Template.

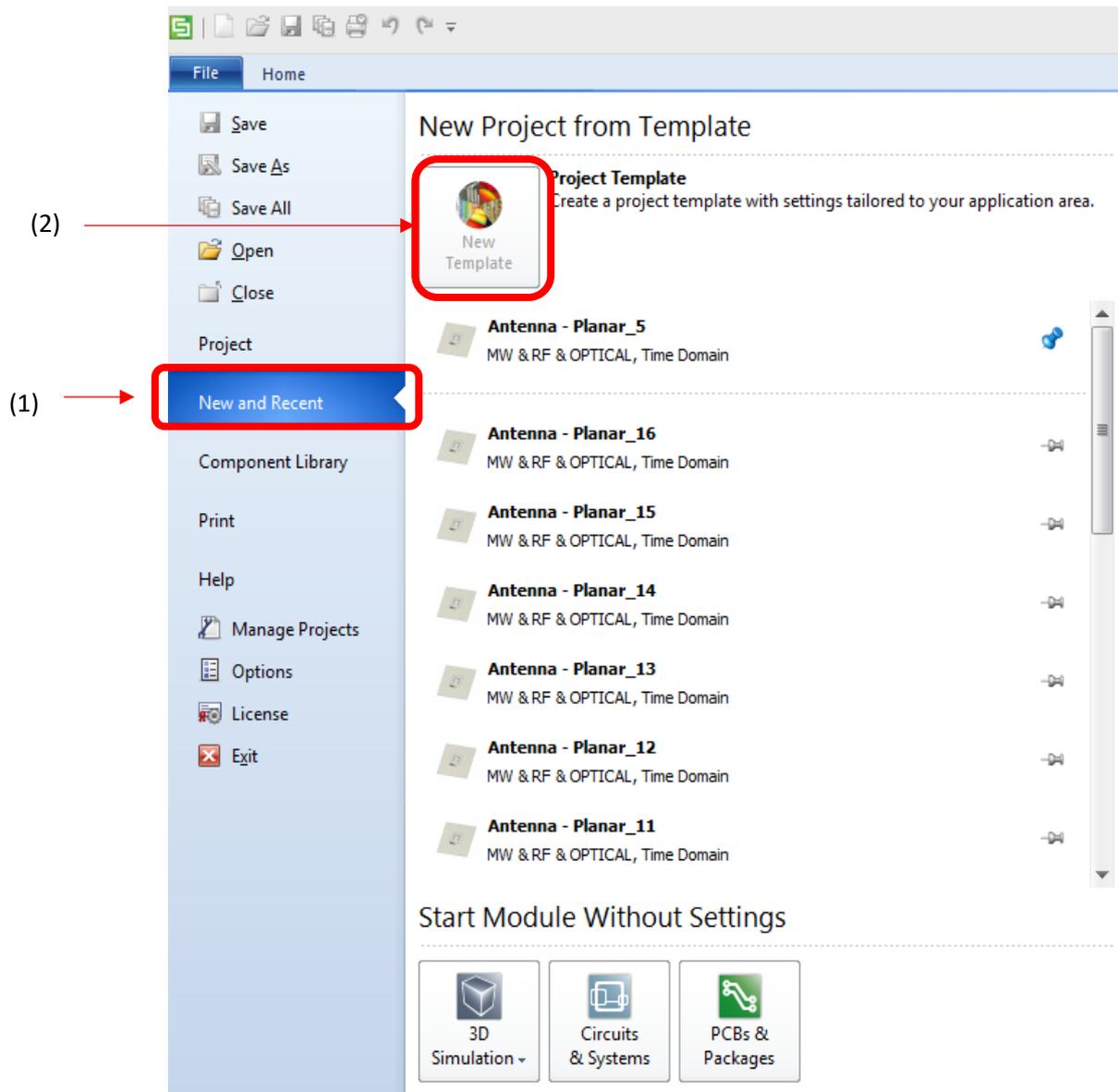


Figure A2.1: ouverture du nouveau projet

On obtient la fenêtre suivante qui affiche des choix multiples pour la simulation

FigureA2.2 et nous choisissons MW & RF & Optical ensuite Antennes et on clique sur Next :

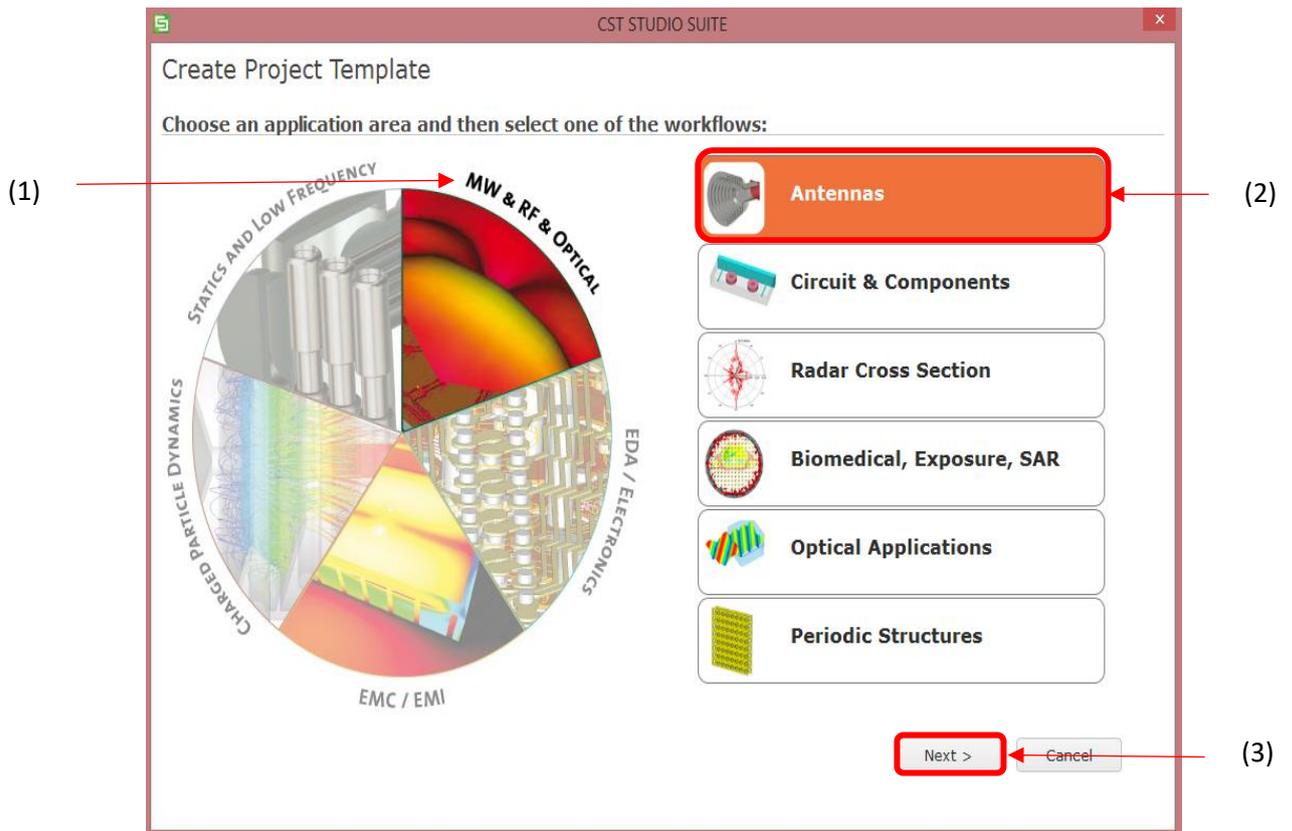


Figure A2.2: ouverture du nouveau projet suite

Ensuite nous cliquons sur Planar(Patch,Slot,etc...) dans la fenêtre suivante FigureA2.3

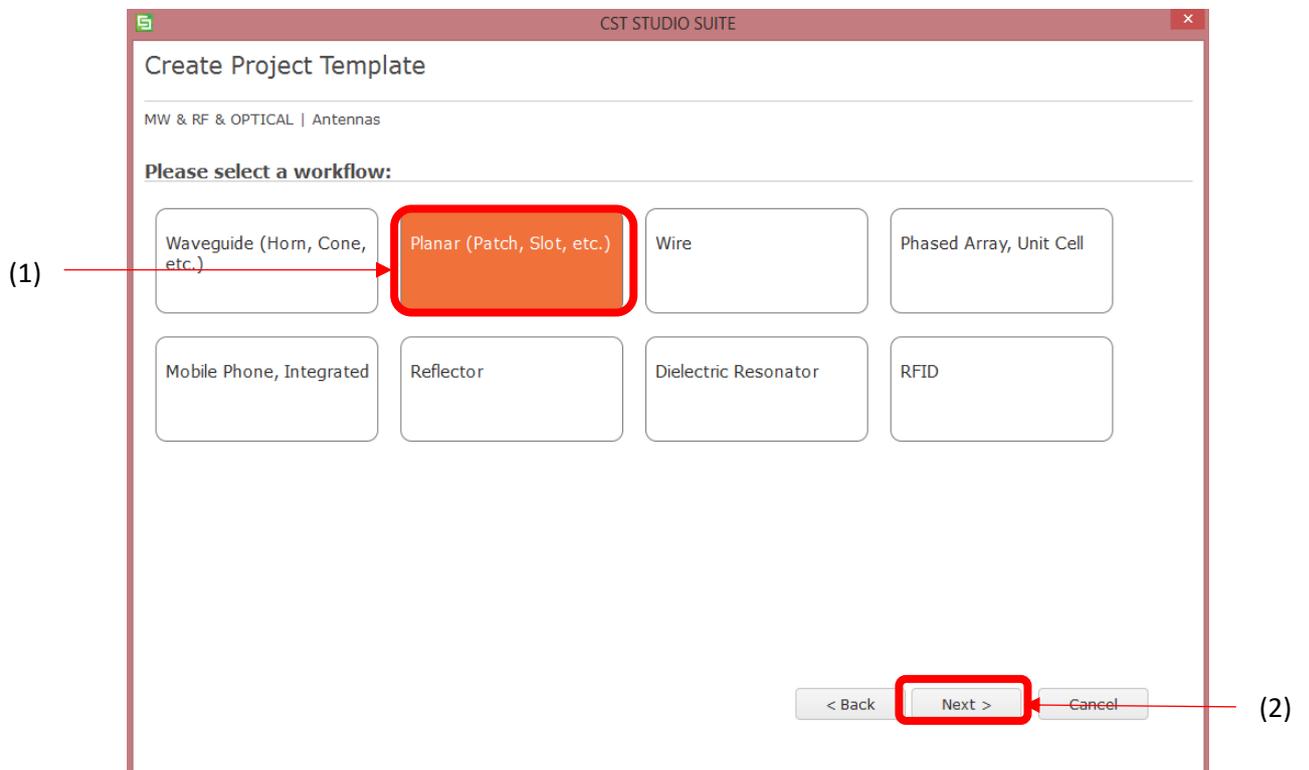


Figure A2.3: ouverture du nouveau projet suite

Nous choisissons ensuite Time domain comme suivant (Figure A2.4):

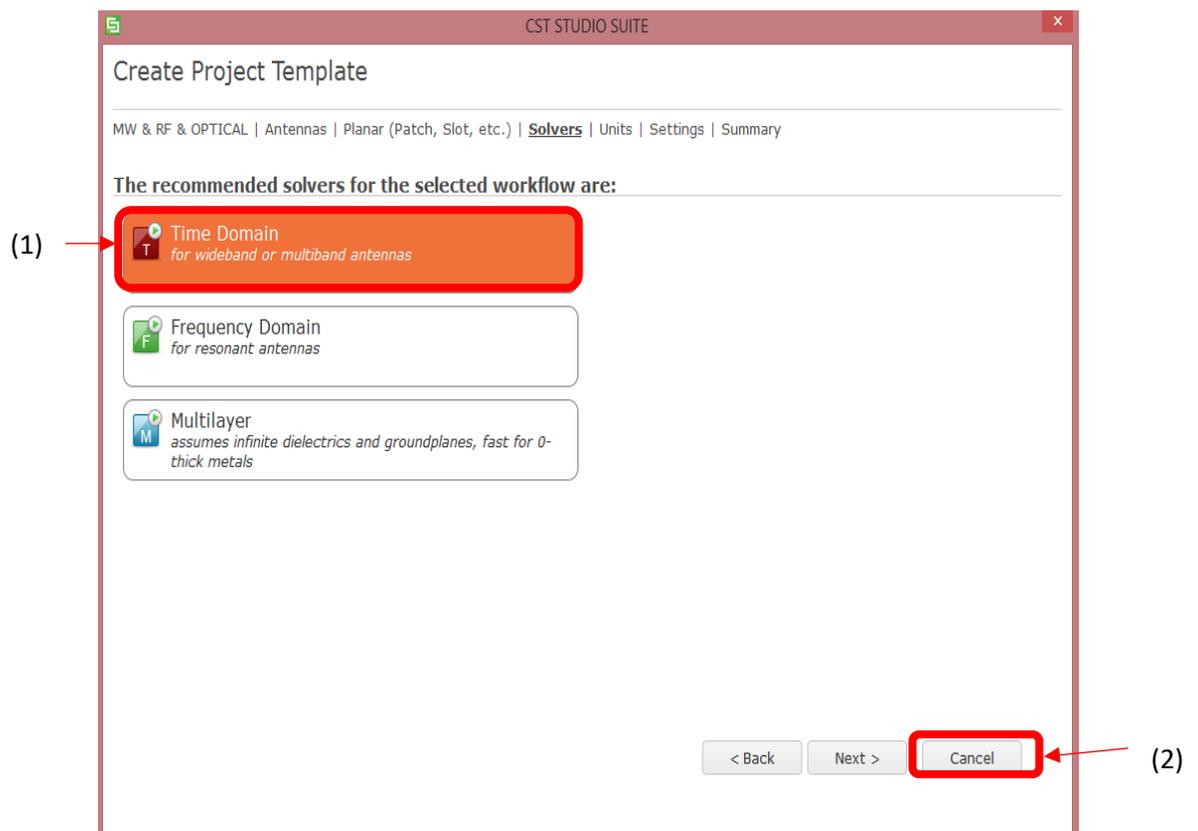


Figure A2.4: ouverture du nouveau projet suite (domaine d'étude)

Maintenant nous pouvons choisir les unités dans la fenêtre Units (Figure A2.5) comme suivant :

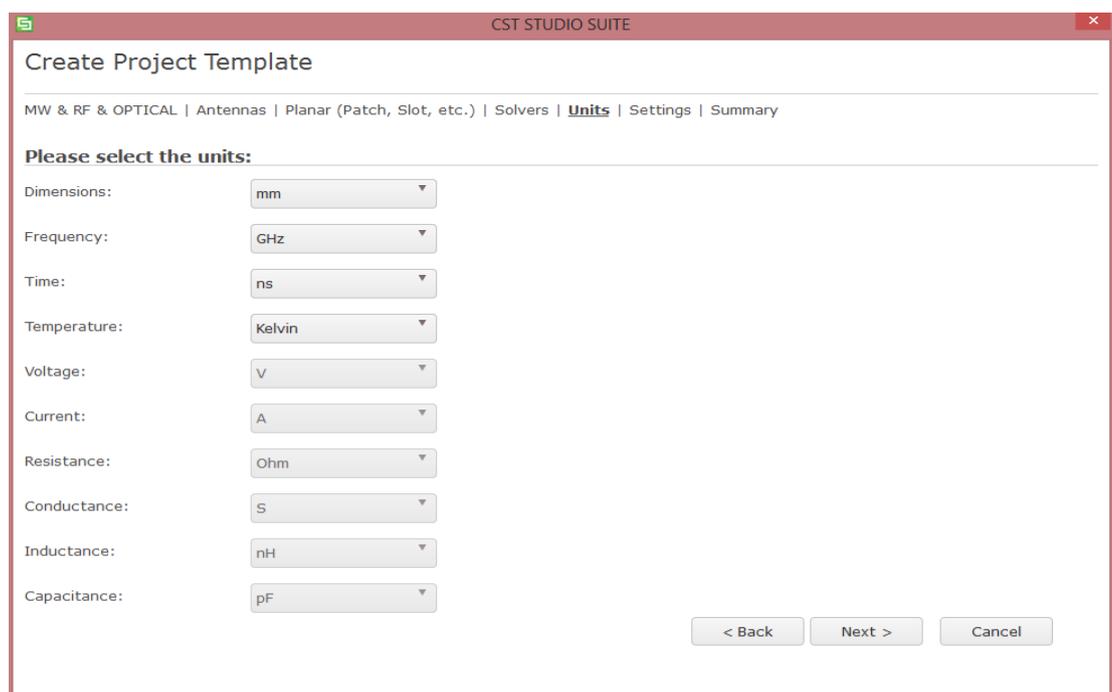


Figure A2.5 : ouverture du nouveau projet suite (choix des unités)

Nous devons aussi limiter la bande de fréquence qu'on doit étudier les performances de notre antenne de dans (Figure A2.6) :

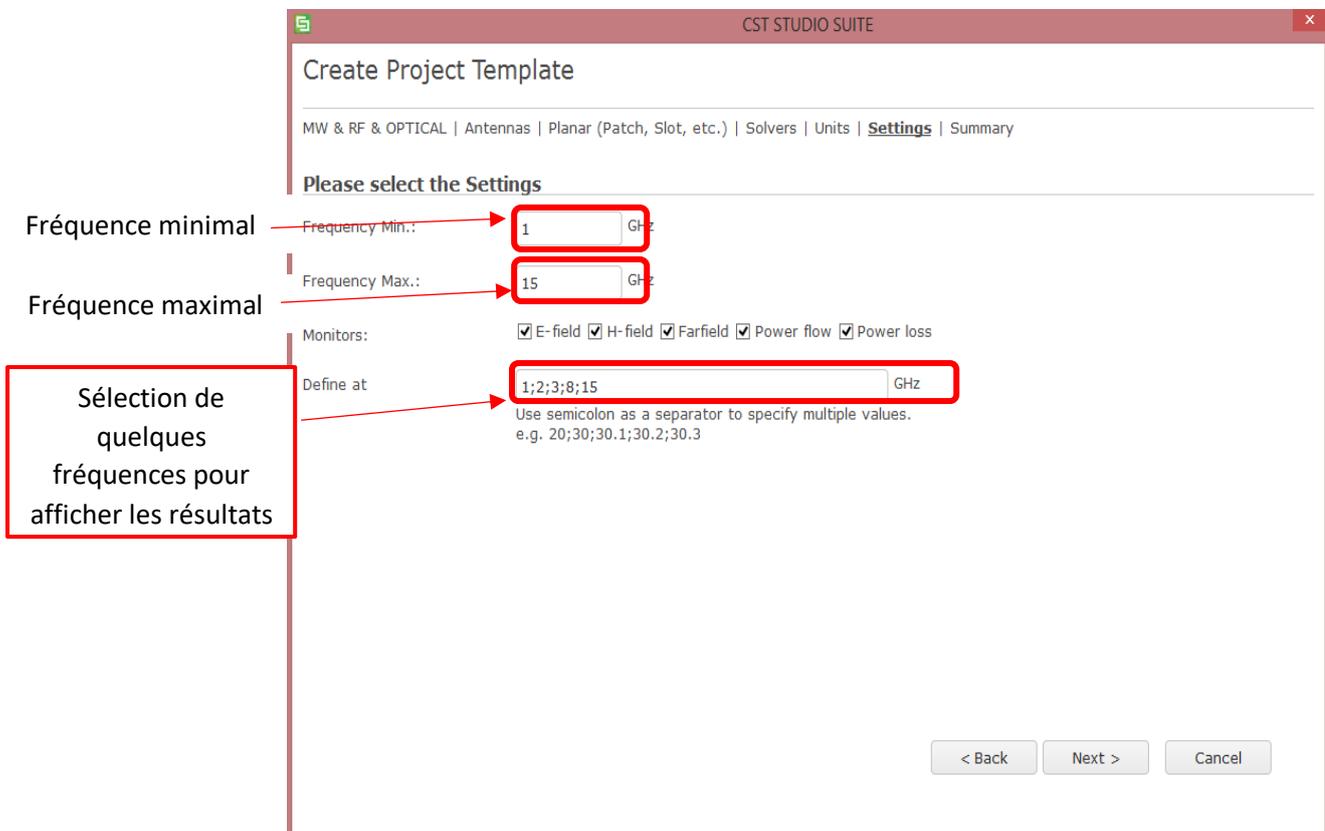


Figure A2.6: ouverture du nouveau projet suite (bande de fréquence d'étude)

Maintenant tous les paramètres sont bien réglés (Figure A2.7), et on est prêt pour commencer la conception :

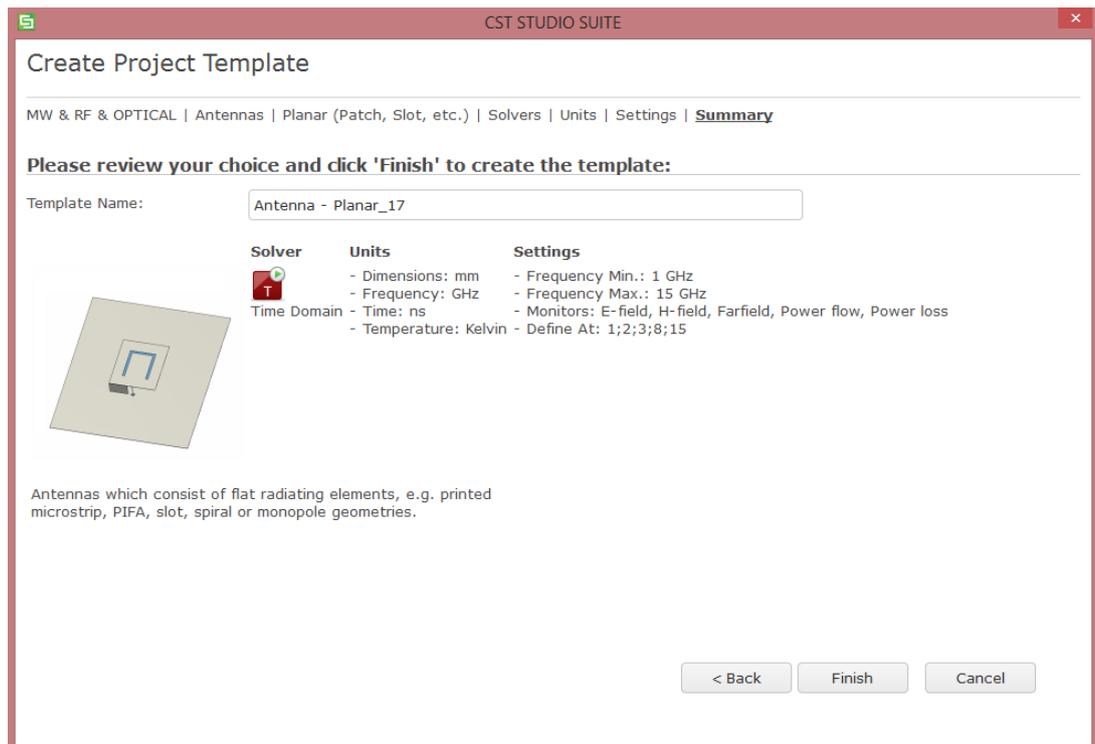


Figure A2.7: ouverture du nouveau projet suite

■ Conception de l'antenne Patch Rectangulaire ULB

Après qu'on termine le réglage des paramètres, on aura la fenêtre de travail suivante (Figure A2.8) sur laquelle nous allons faire la conception et la simulation .

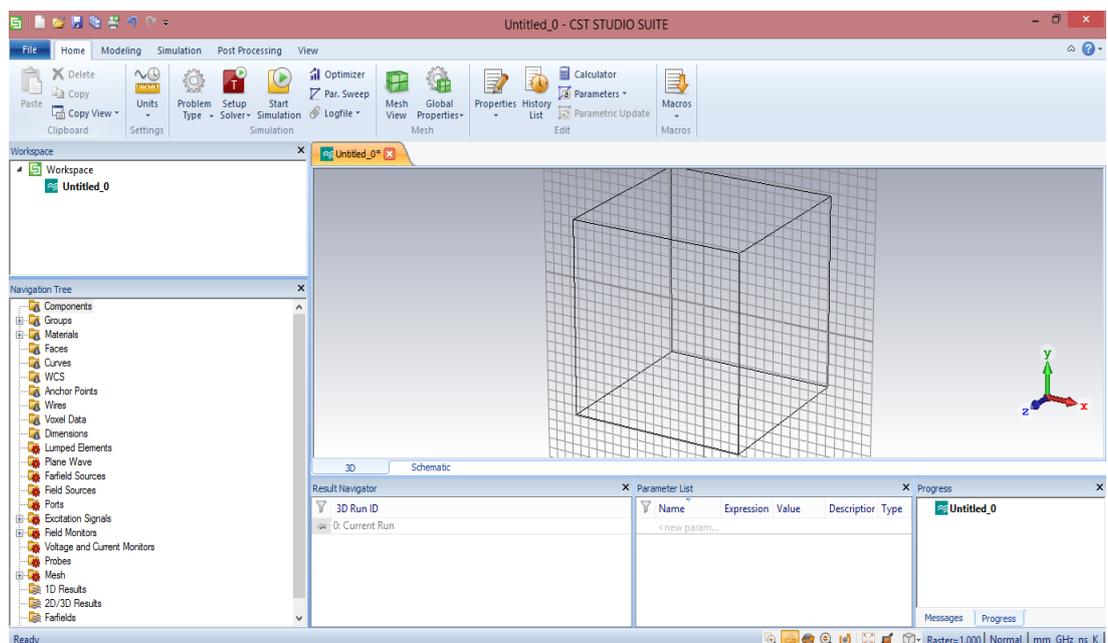


Figure A2.8: fenêtre de travail du logiciel CST

Nous commençons la conception en utilisant les outils shapes dans la case de Modeling comme suivant Figure A2.9:

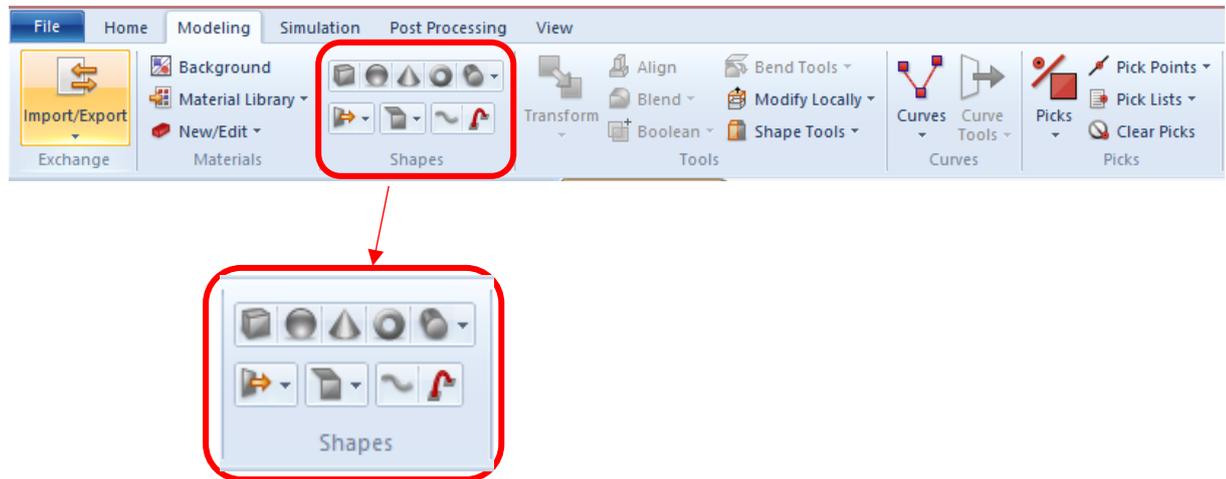


Figure A2.9: les outils de conception

Nous utilisons le cube pour tracer les dimensions des composants de notre antenne patch ensuite nous faisons entrer les longueurs nécessaires pour les dimensionner et les positionner(Figure A2.10).

Dans la petite fenêtre nous pouvons choisir le type de matériel utilisé dans la bibliothèque du logiciel, ce dernier contient tous les paramètres électriques des matériaux organisés par ordre alphabétique.

Dans ce cas on peut prendre le Cuivre (Copper annealed) qui représente la matière utilisée pour le patch comme illustré dans la figure A2.11.

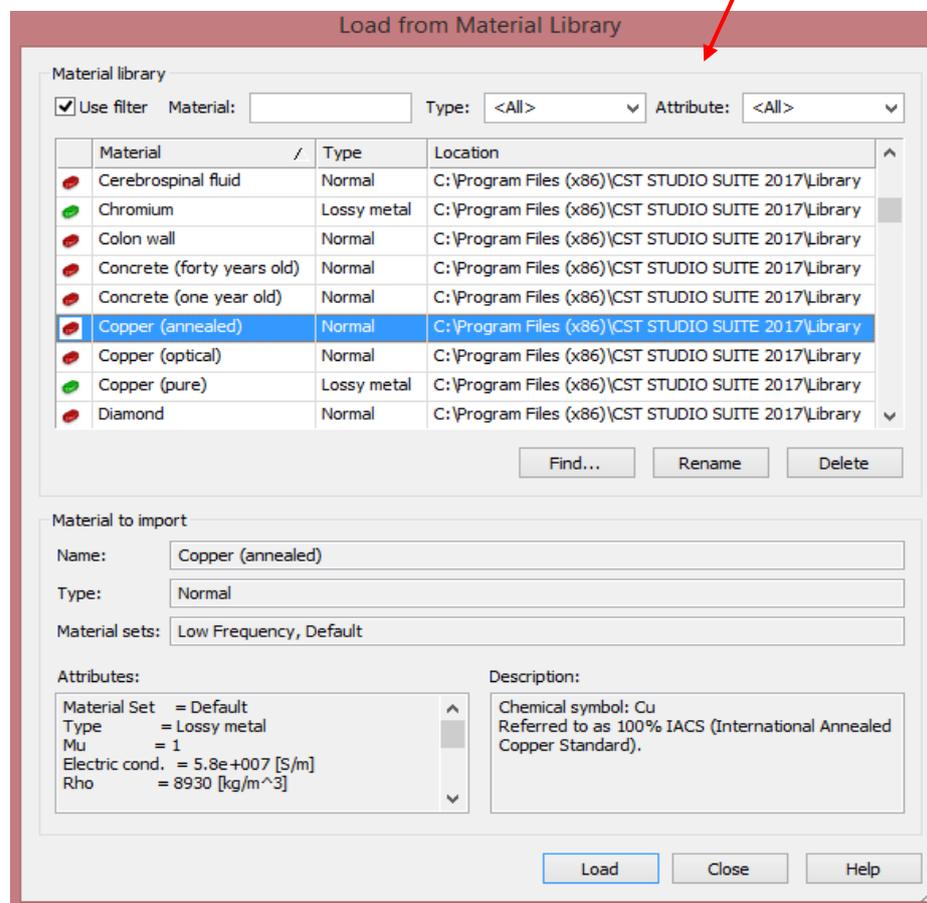
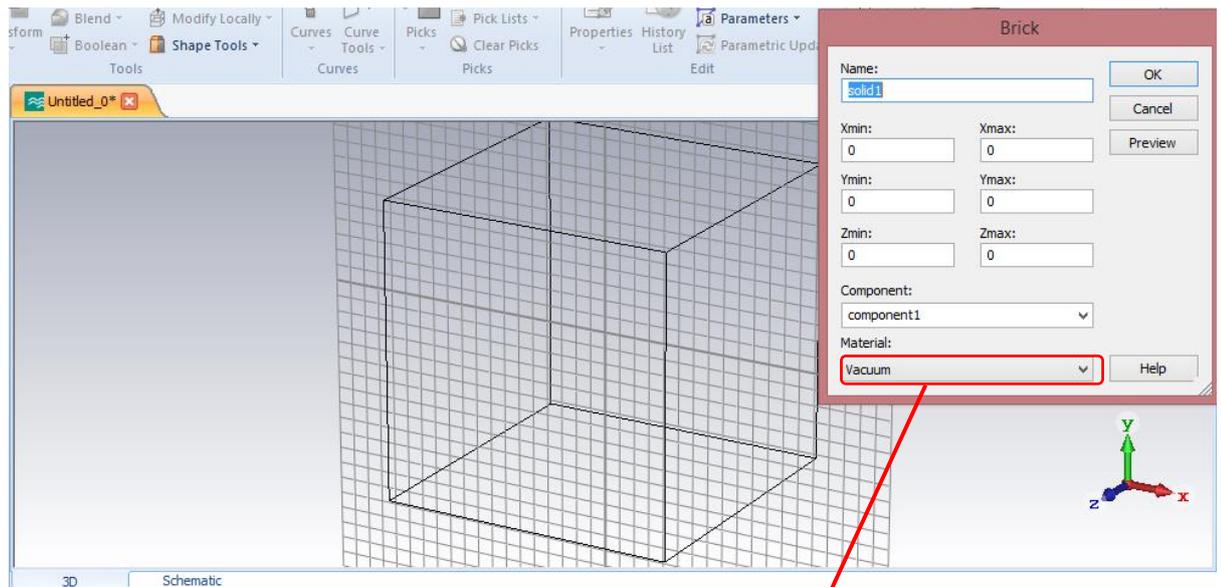


Figure A2.10: choix des matériaux

Après qu'on remplit tous les longueurs et type de matériaux nous cliquons sur ok et on commence à donner les valeurs des longueurs qui sont exprimées avec des lettres (Figure A2.12)

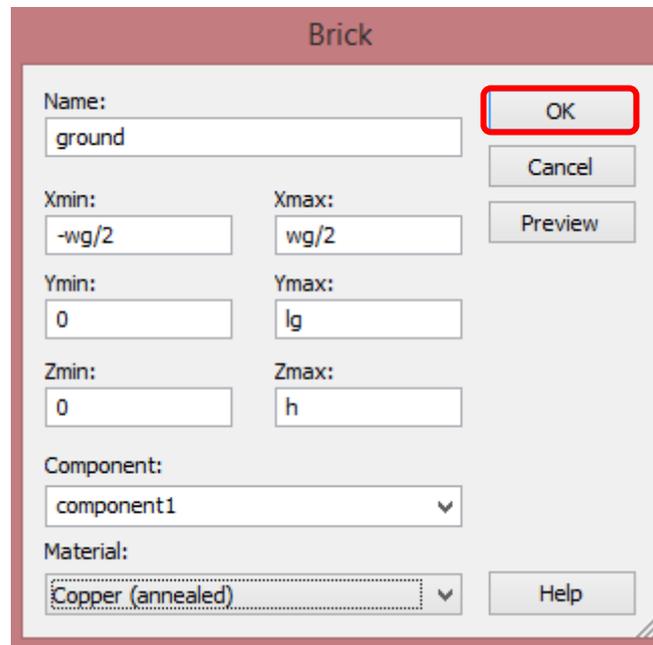
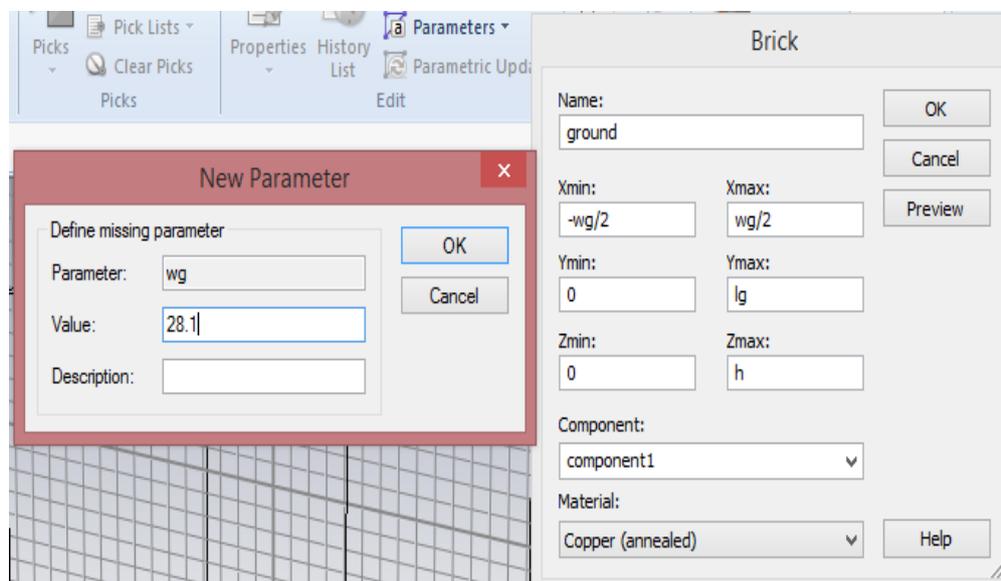


Figure A2.11: choix des matériaux suite



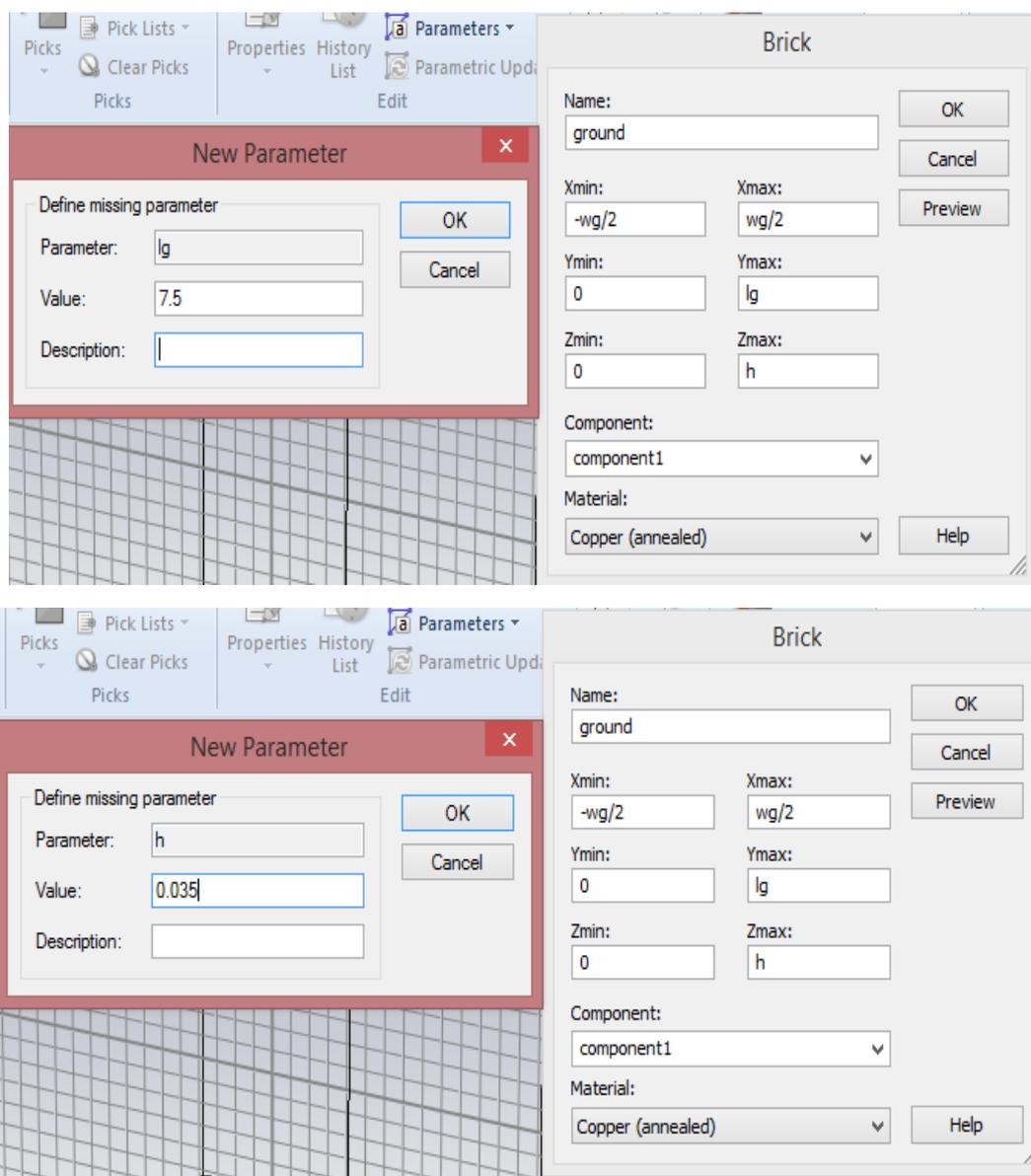


Figure A2.12: entrer les valeurs des paramètres de l'antenne

Après qu'on a terminé, le plan de masse partiel s'affiche dans la fenêtre du travail comme suivant (Figure A2.13) et nous pouvons changer l'angle de vision avec les outils de visions.

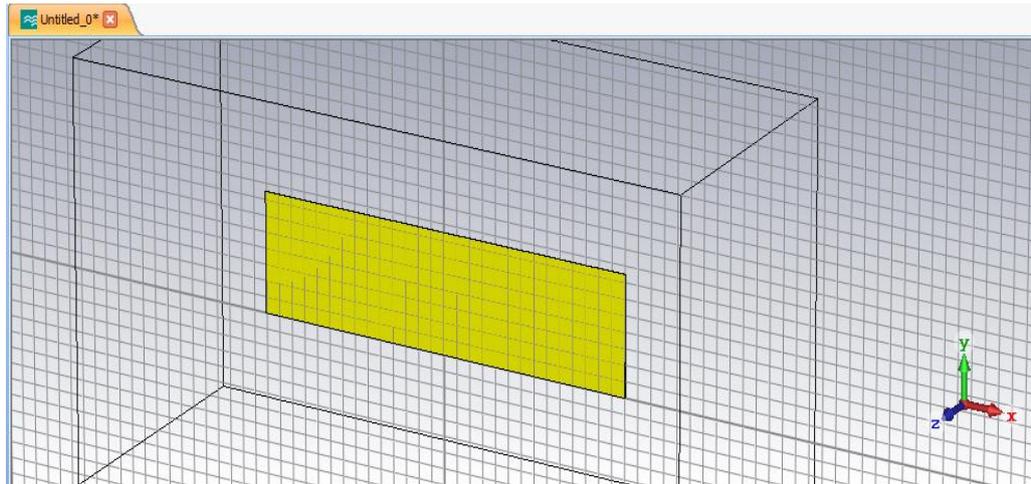


Figure A2.13: fin de conception du plan de masse partiel

La liste des paramètres garde tous les valeurs des longueurs utilisées dans la conception avec la possibilité de les modifier (Figure A2.14) , on a la liste de Result Navigator qui garde tous les résultats obtenue avant les changements des paramètres . La liste progress est réservée pour suivre le progrès de la simulation.

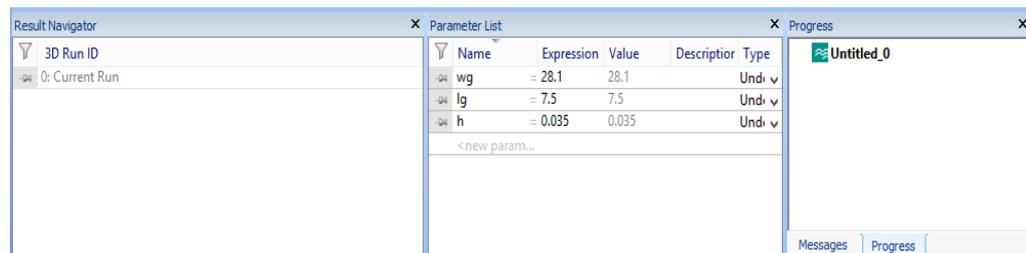


Figure A2.14: les tableaux de parameter list, progress et result navigator

Pour faire la conception du substrat nous devons refaire les mêmes étapes précédentes en changeant le type de matériel vers le FR-4(lossy) (Figure A2.15)

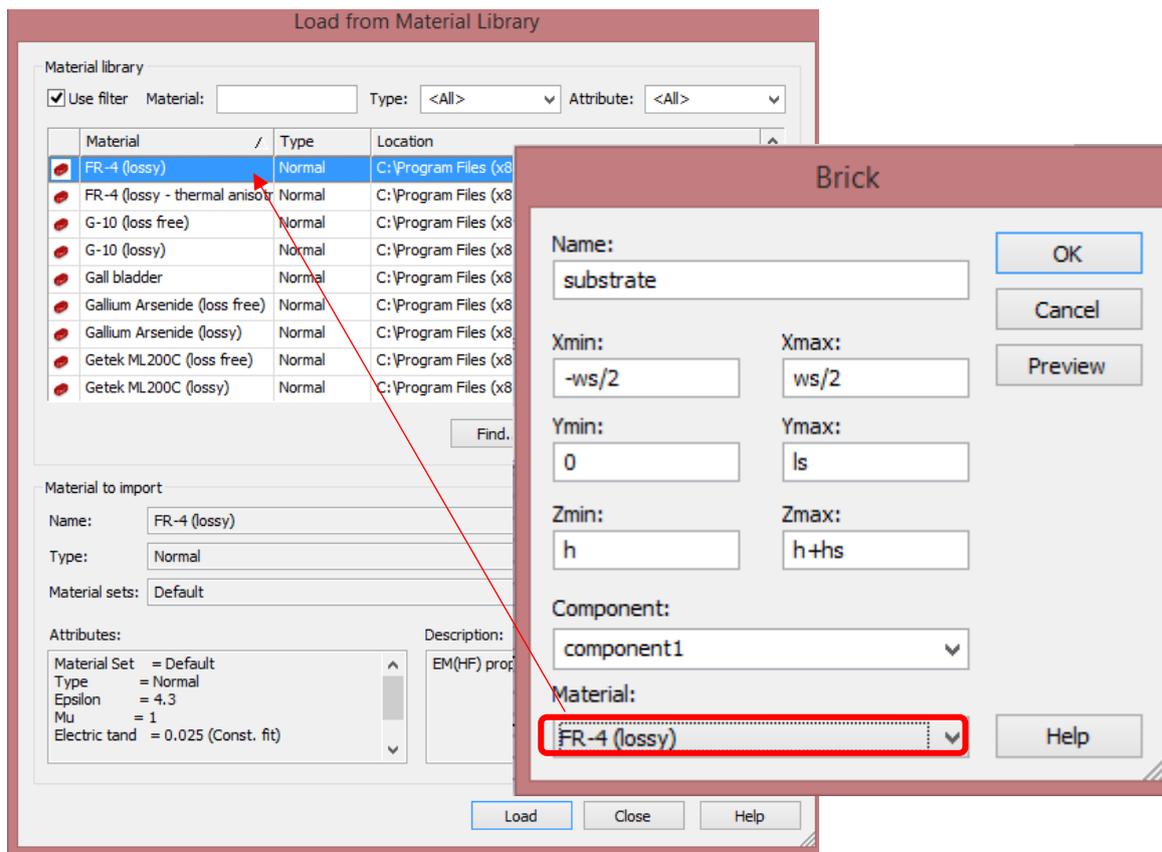


Figure A2.15: choix de matériel du substrat

Et Voilà Substrat FR4 bien alignée avec le plan de masse partiel (Figure A2.16)

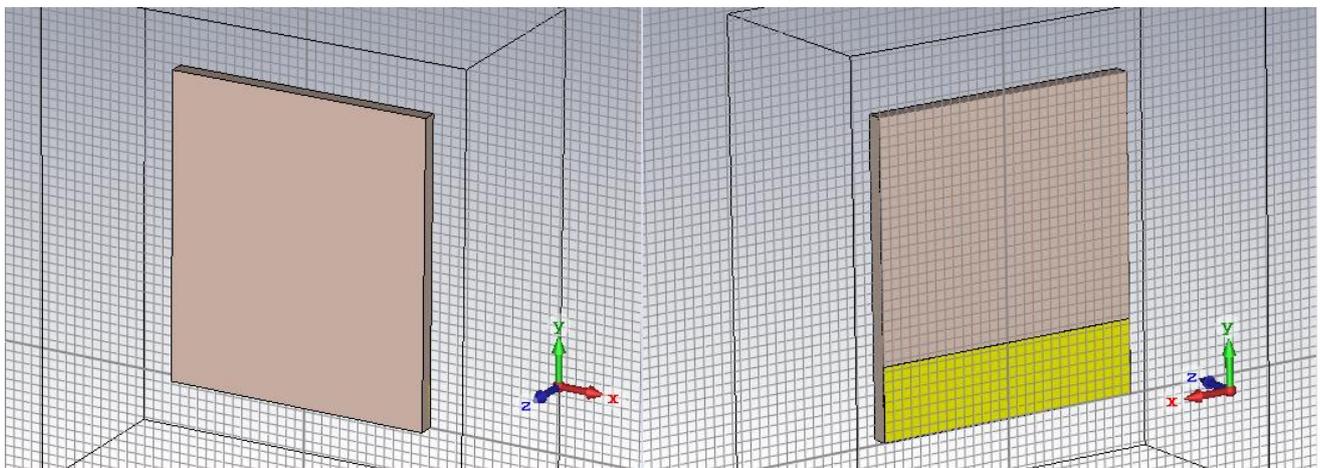


Figure A2.16: fin de conception du substrat

Nous devons refaire les memes etapes pour la ligne micro-ruban (feedline) (Figure A2.17)

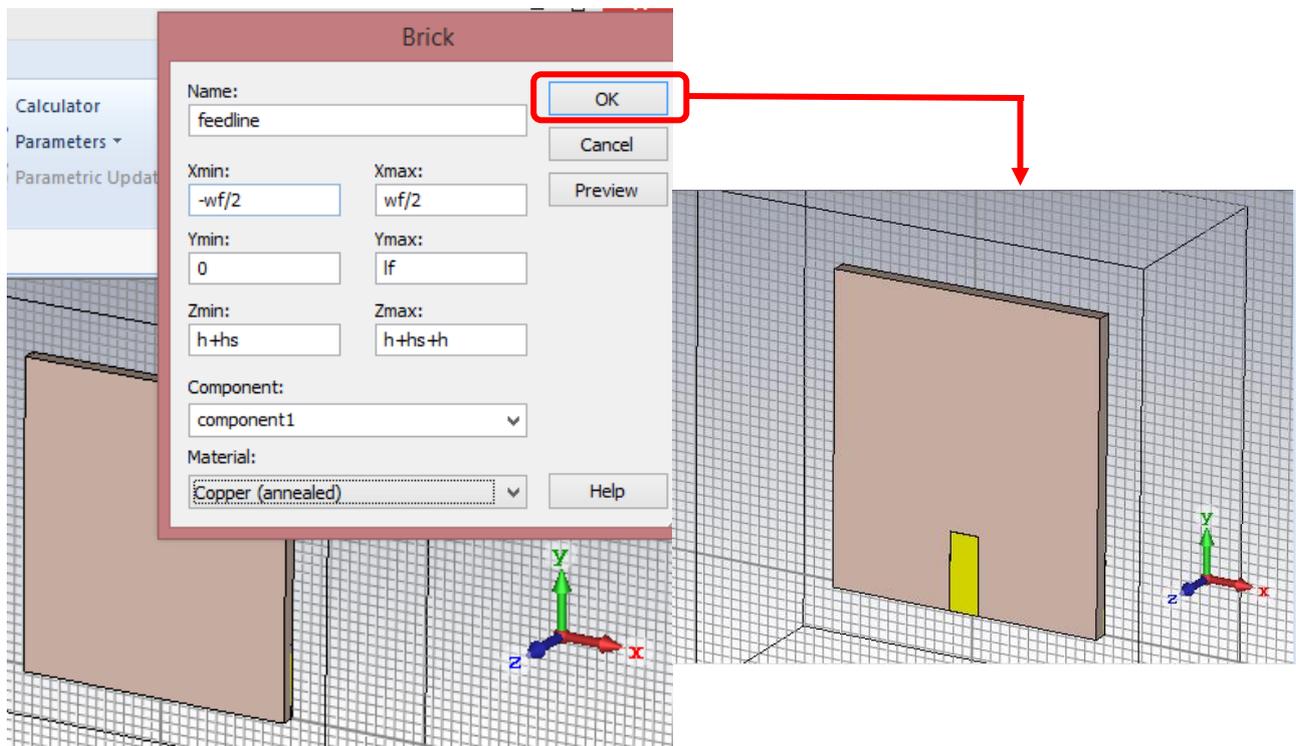


Figure A2.17: conception de la ligne micro ruban

La liste des paramètres sera rempli avec les paramètres utilisée dans la conception (Figure A2.18):

Name	Expression	Value	Descriptor	Type
ws	= 28.1	28.1		Undi
wg	= 28.1	28.1		Undi
wf	= 3	3		Undi
ls	= 32	32		Undi
lg	= 7.5	7.5		Undi
lf	= 8	8		Undi
hs	= 1.6	1.6		Undi
h	= 0.035	0.035		Undi
< new param...				

Figure A2.18: tableaux des parameter list

On répète les mêmes étapes avec le patch (Figure A2.19):

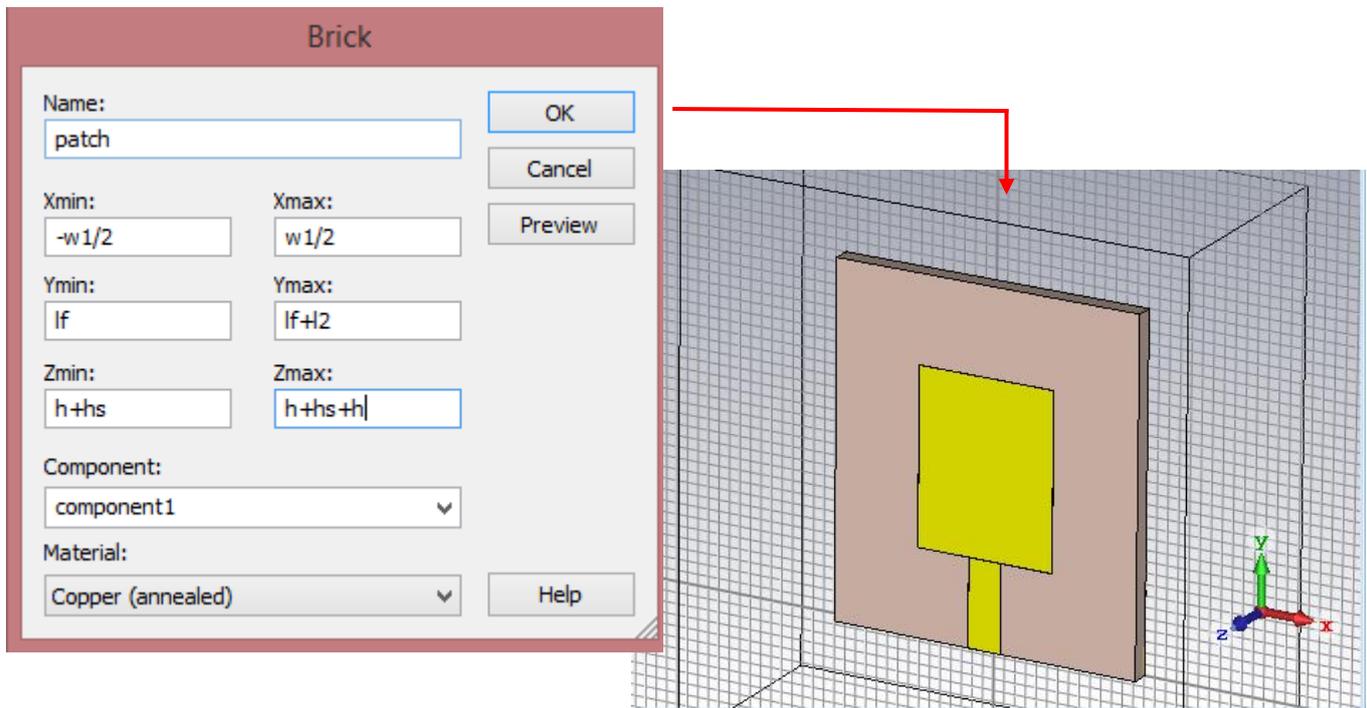


Figure A2.19: conception de l'élément rayonnant

Maintenant pour avoir une forme unie pour le patch et la ligne micro-ruban nous utilisons le paramètre add dans Boolean pour fusionner les 2 parties, avant tout nous devons sélectionner les deux composants patch et feedline dans la liste components trouvée à Navigation tree (Figure A2.20)

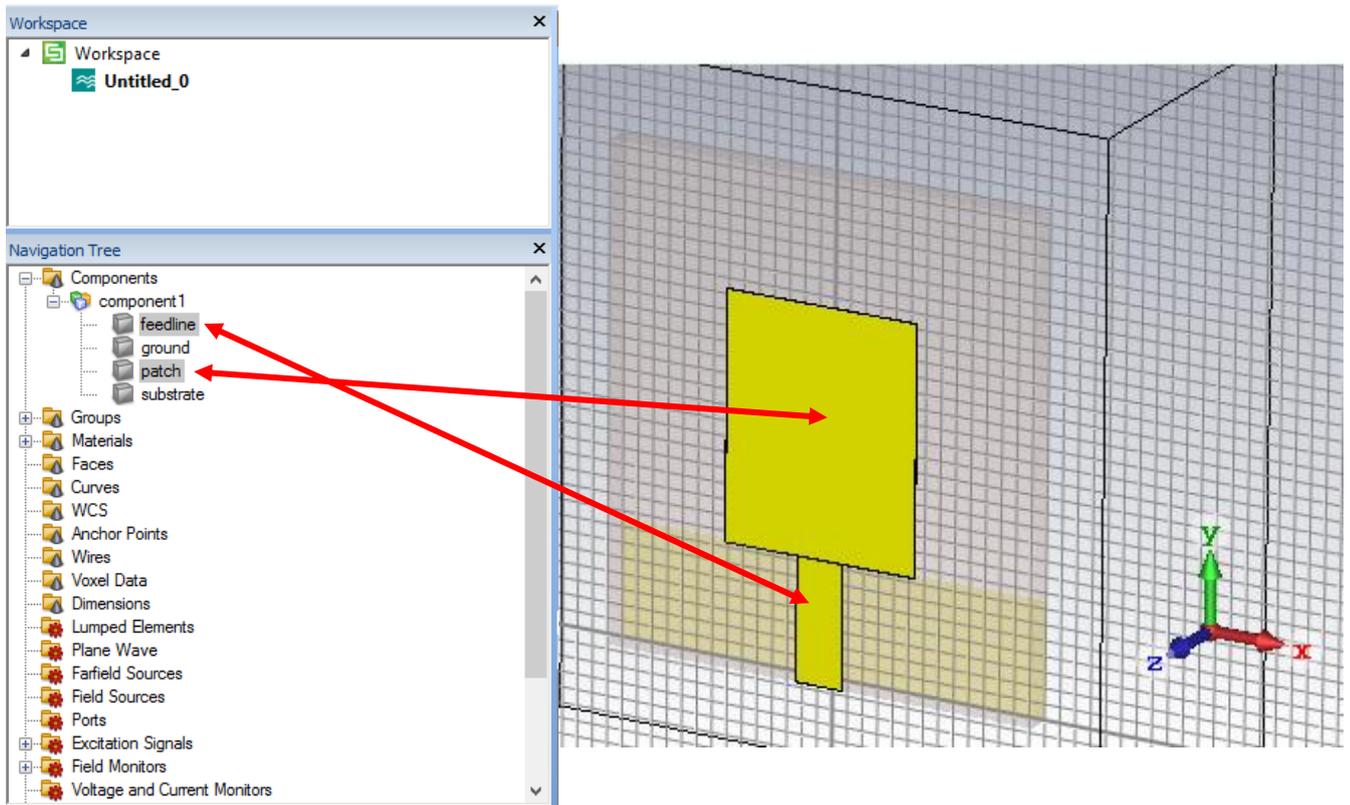


Figure A2.20: rassembler le patch avec la ligne micro ruban

En utilisant l'outil Boolean , nous choisissons add et on clique sur entrer (Figure A2.21):

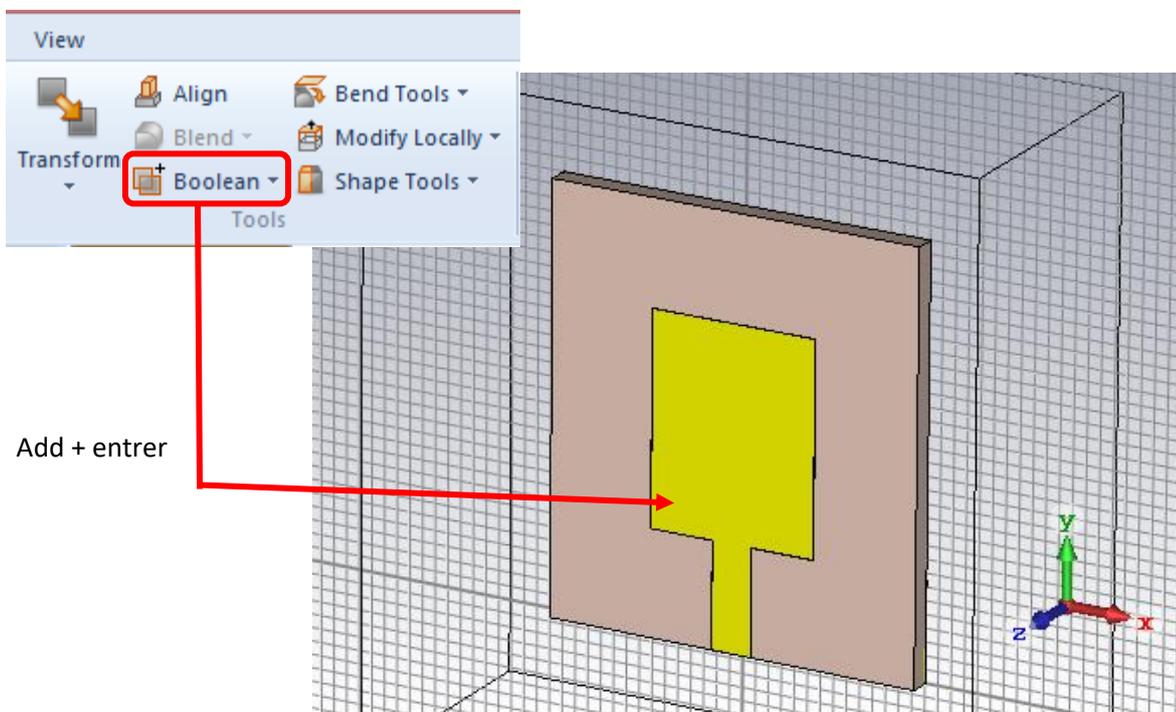


Figure A2.21: résultat finale de l'addition

Nous devons maintenant attacher le connecteur BNC donnée déjà (Figure A2.22) par Dr. Boumaza Kawtar avec notre antenne patch, donc on doit copier les composants du connecteur et les coller à la liste des composants de notre antenne(Figure A2.23), ensuite on doit positionner le connecteur pour qu'il soit au milieu de la ligne micro-ruban et on clique sur entrer pour terminer(Figure A2.24_ Figure A2.25).

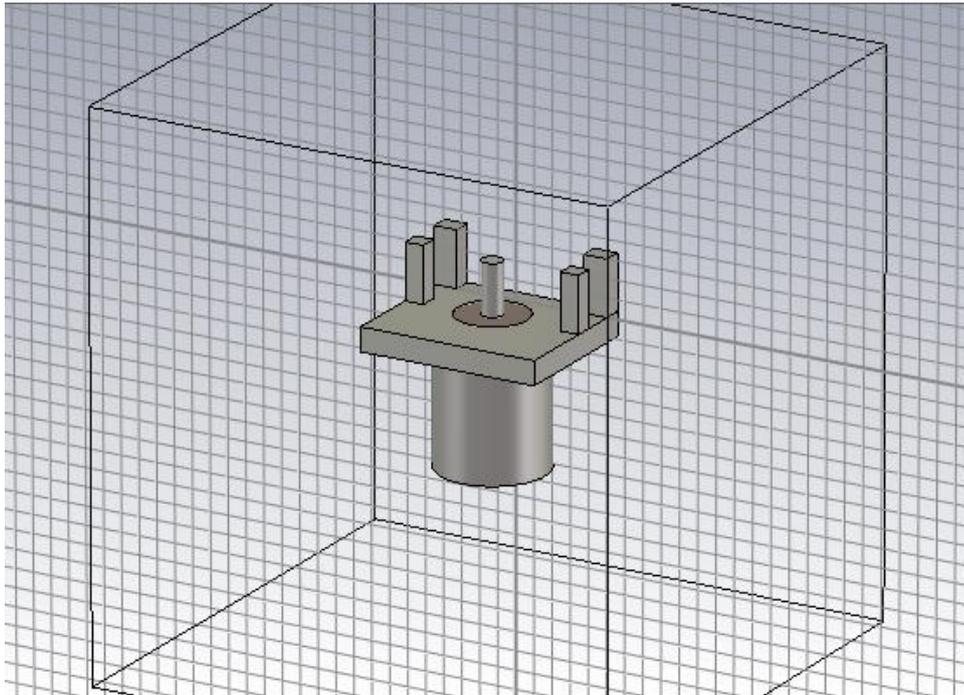


Figure A2.22: Connecteur SMA

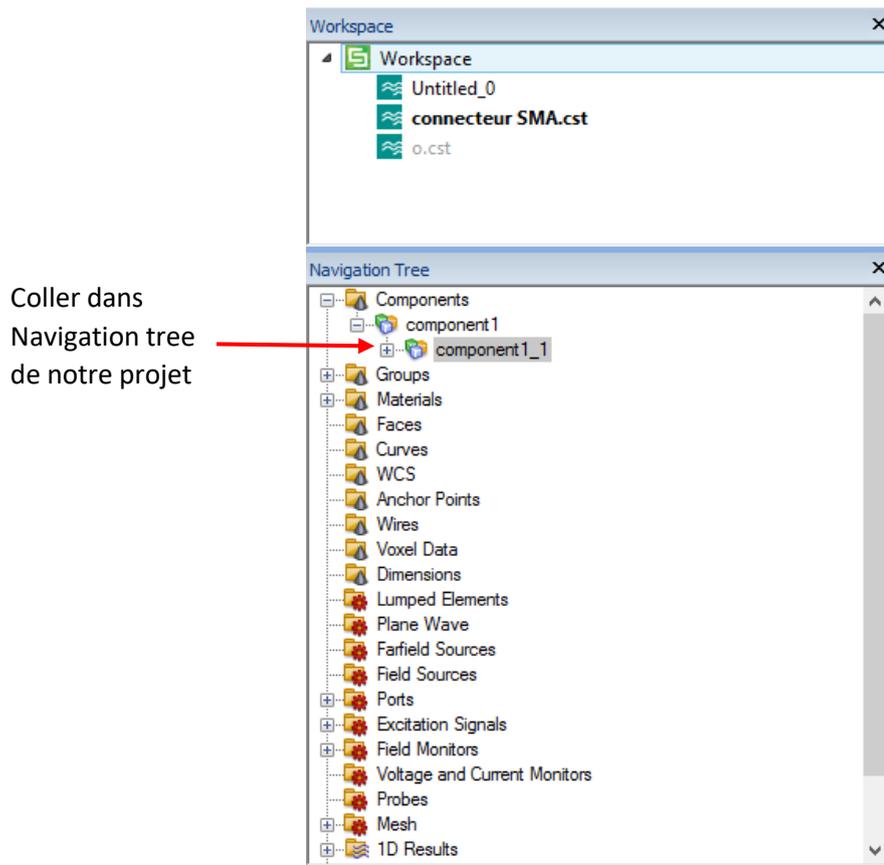


Figure A2.23: addition du connecteur

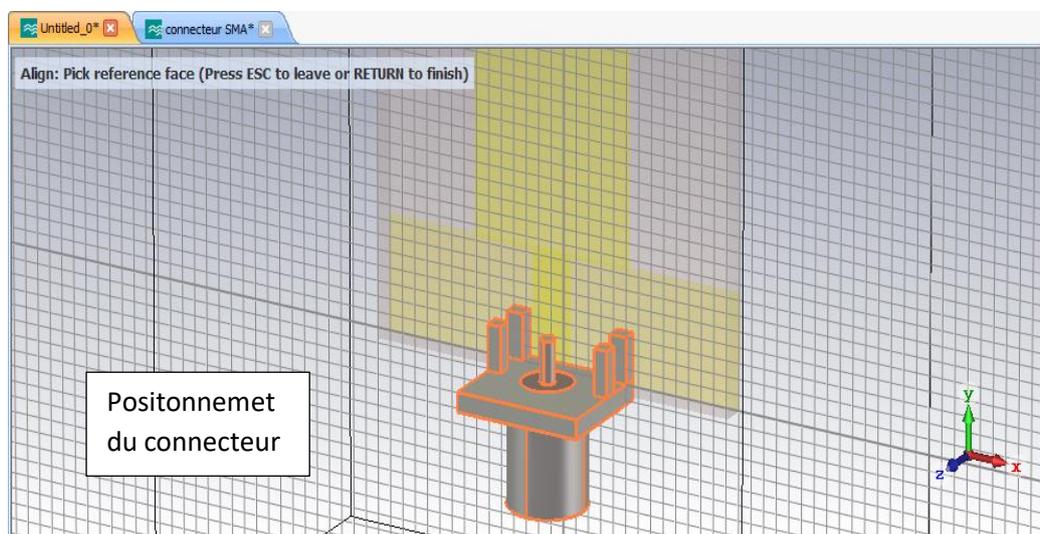


Figure A2.24: alignement du connecteur

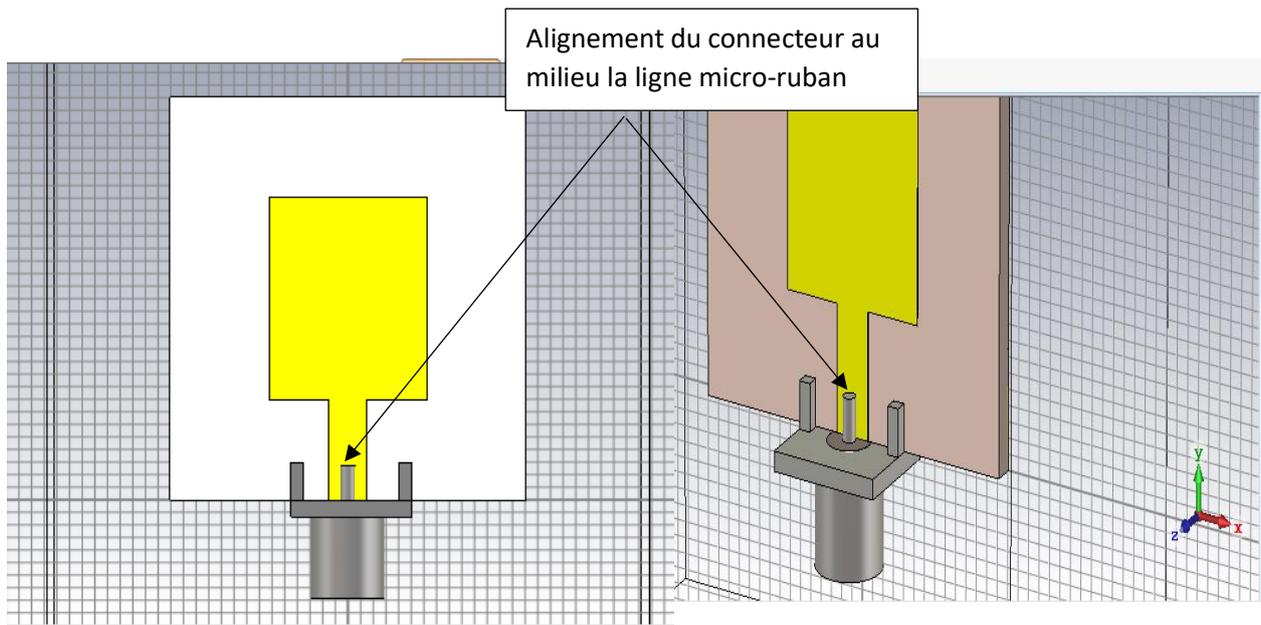


Figure A2.25: position finale du connecteur

L'étape suivante est l'alimentation, dans cette étape nous utilisons les outils picks pour sélectionner une face de l'antenne, dans notre cas on doit sélectionner le téflon (diélectrique) du connecteur avec un double cliquer comme illustrée dans la Figure A2.26.

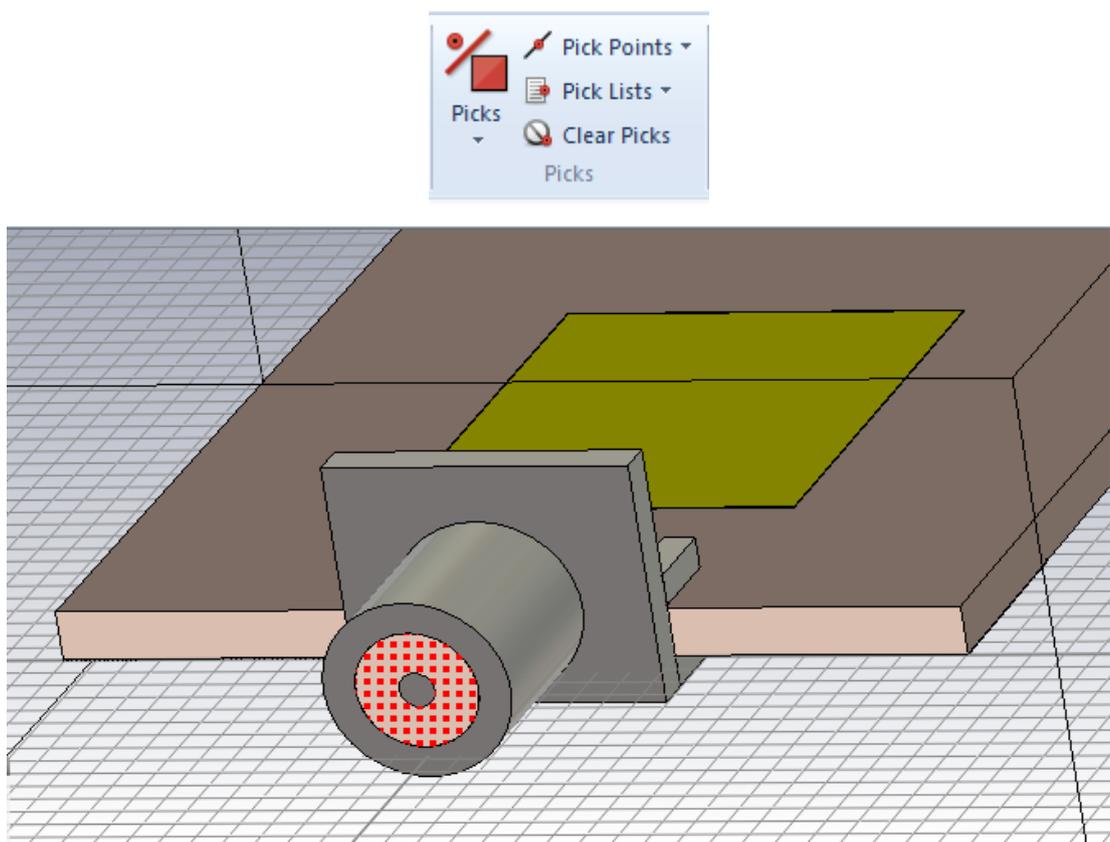


Figure A2.26: sélection du diélectrique du connecteur

Puis, on trouvera les sources d'alimentations dans la fenêtre **Simulation**, et on choisit **Waveguide port** (Figure A2.27).

Une fenêtre sera afficher (Figure A2.28), on clique sur ok pour avoir le point d'excitation vue dans Figure A2.29.



Figure A2.27: sélection du Waveguide Port

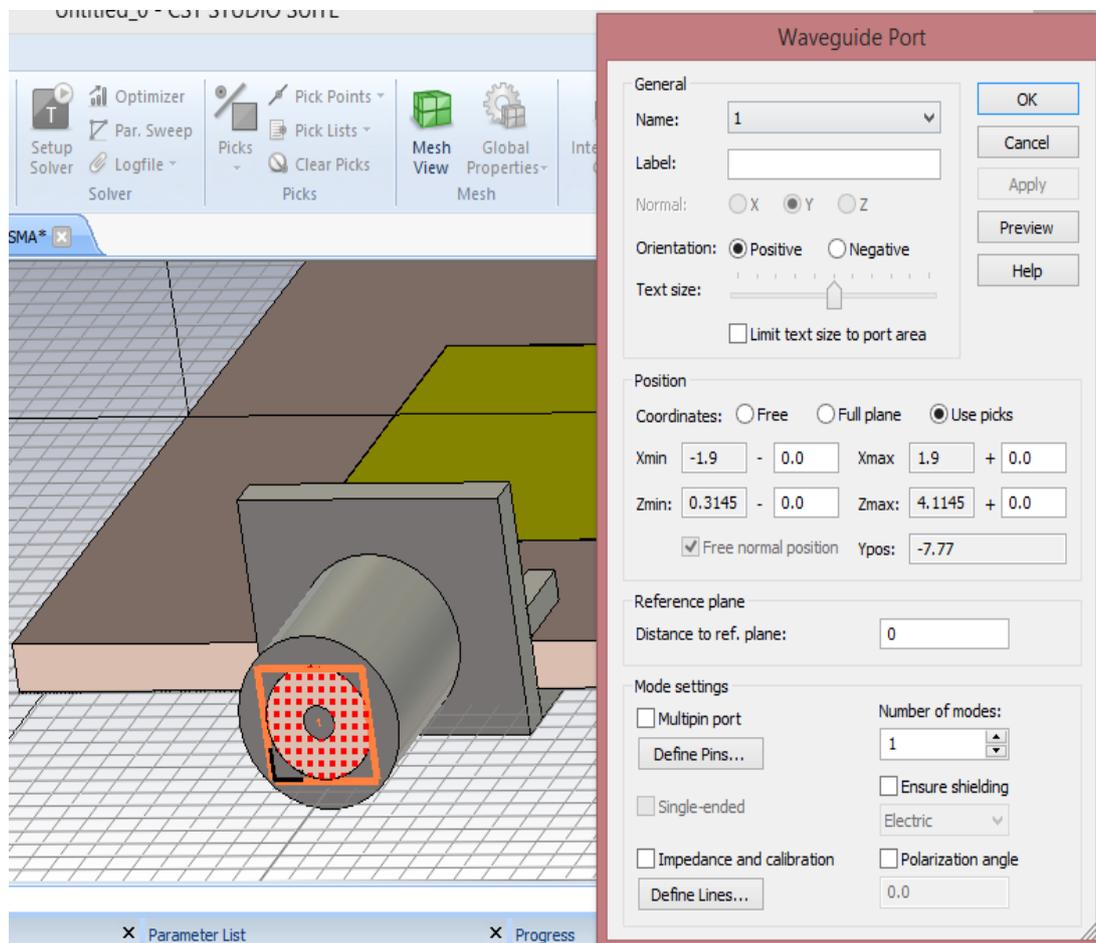


Figure A2.28: création du port

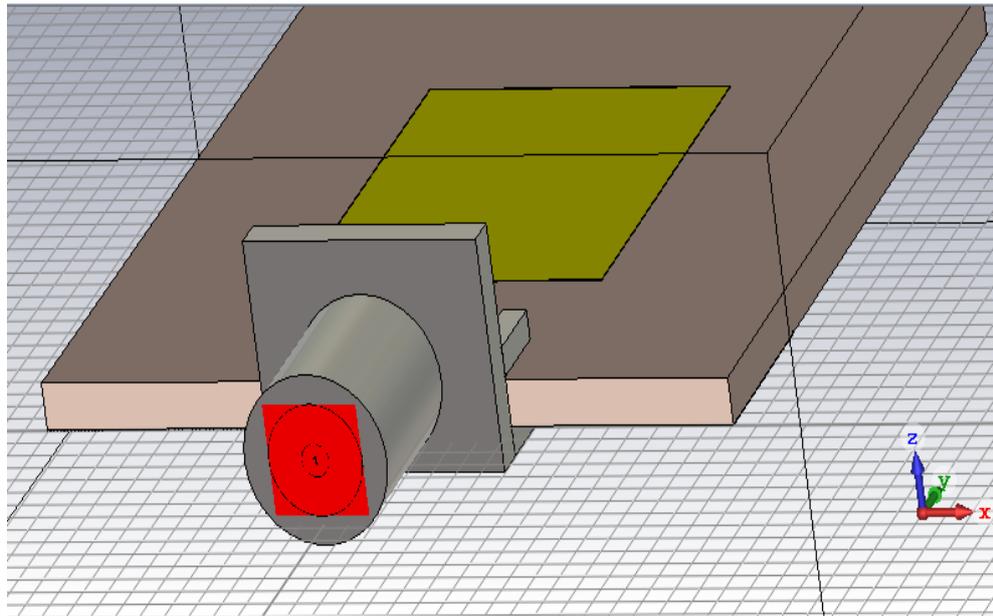


Figure A2.29: point d'excitation de l'antenne

Avant le lancement de la simulation nous devons sauvegarder notre projet, en allant à la fenêtre file (Figure A2.30) puis nous choisisant la destination de la sauvegarde après un clique sur save as (Figure A2.31), et on clique sur enregistrer.

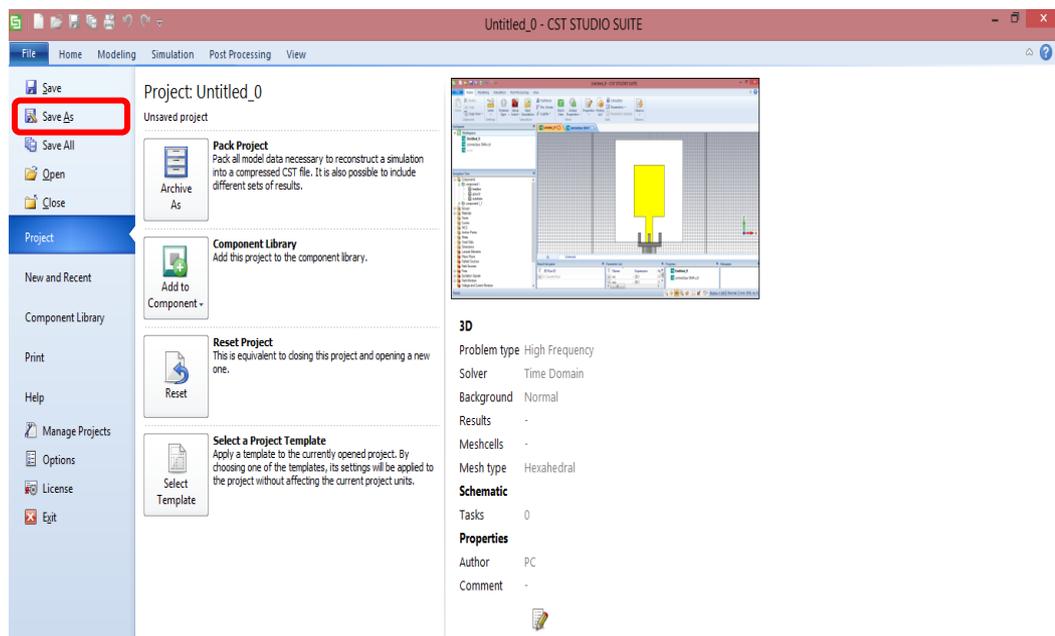


Figure A2.30: sauvegarde du projet

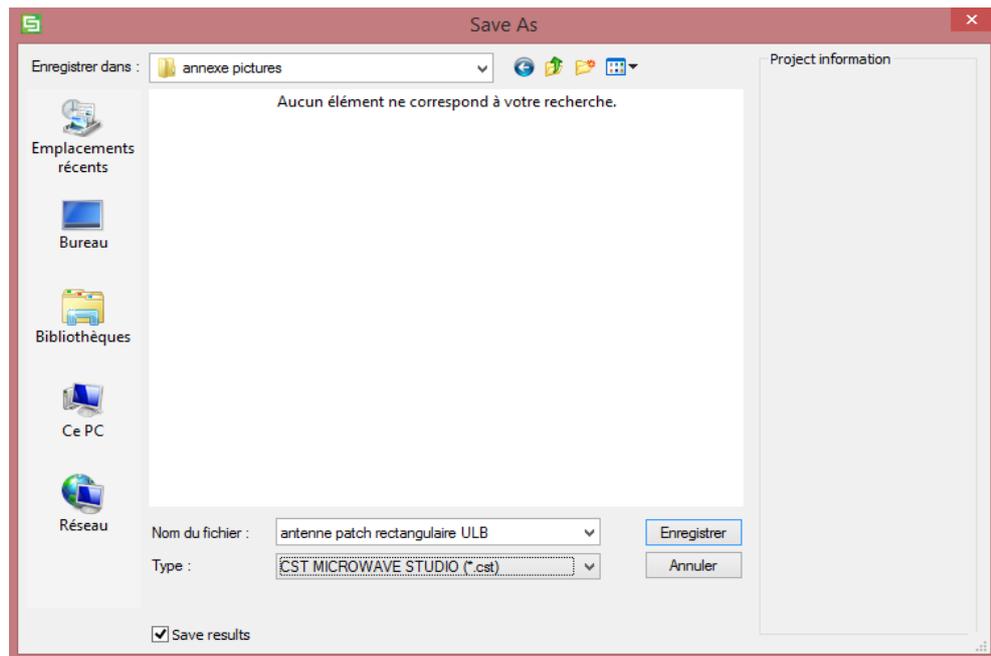


Figure A2.31: choix de la destination pour l'enregistrement du projet

Dans la dernière étape, nous choisissons Setup solver dans la fenêtre Home (Figure A2.32).

Puis on choisit Hexahedral comme le Mesh Type et on clique sur Start pour Le lancement de la simulation (Figure A2.33).

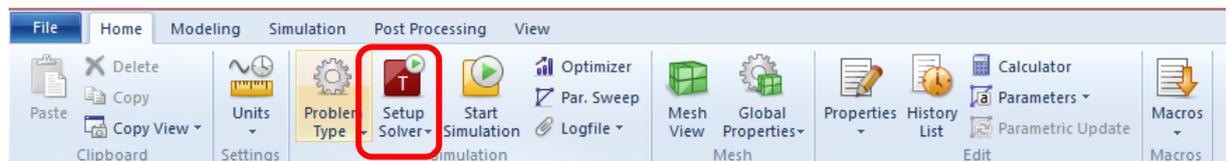


Figure A2.32: sélection du Setup Solver

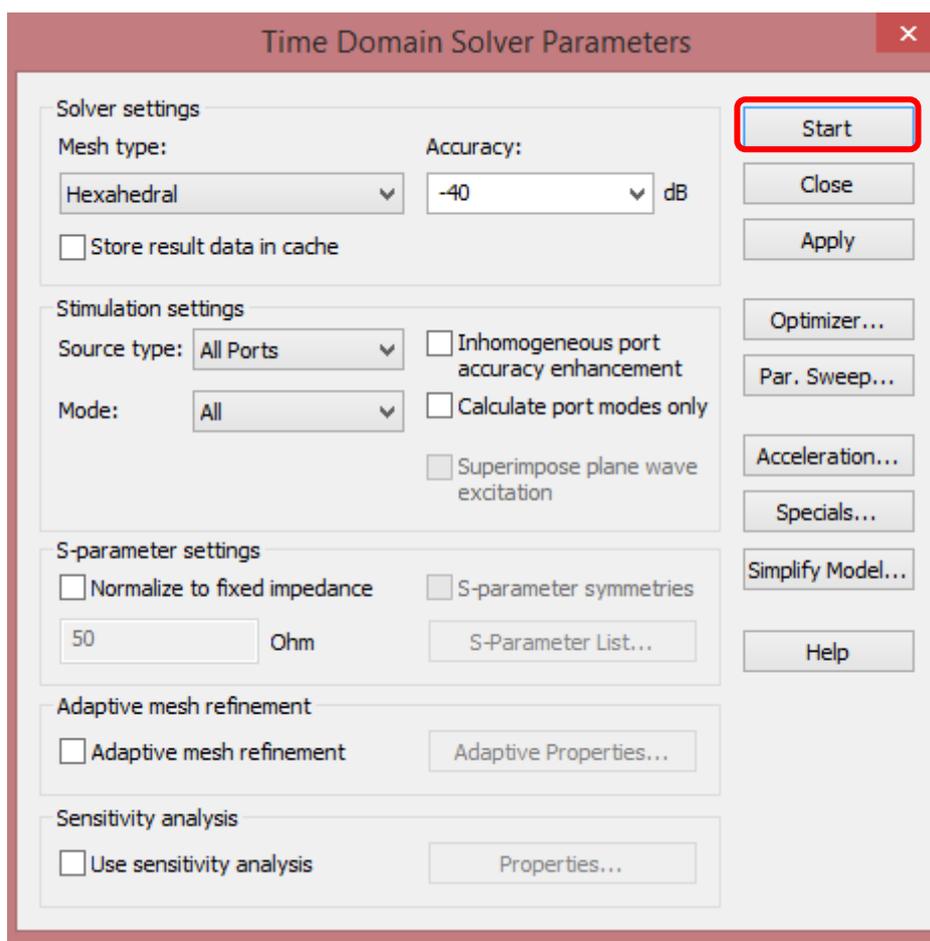


Figure A2.33: début de simulation

▪ Conception de l'antenne fourche

Dans la conception de l'antenne fourche ULB, nous pouvons choisir deux méthodes :

La première méthode est simple, on doit créer une pièce d'une forme rectangulaire qui est au même niveau du patch (Figure A2.34), ensuite en utilisant les outils Boolean on choisit subtract, la pièce attachée avec le patch sera disparue.

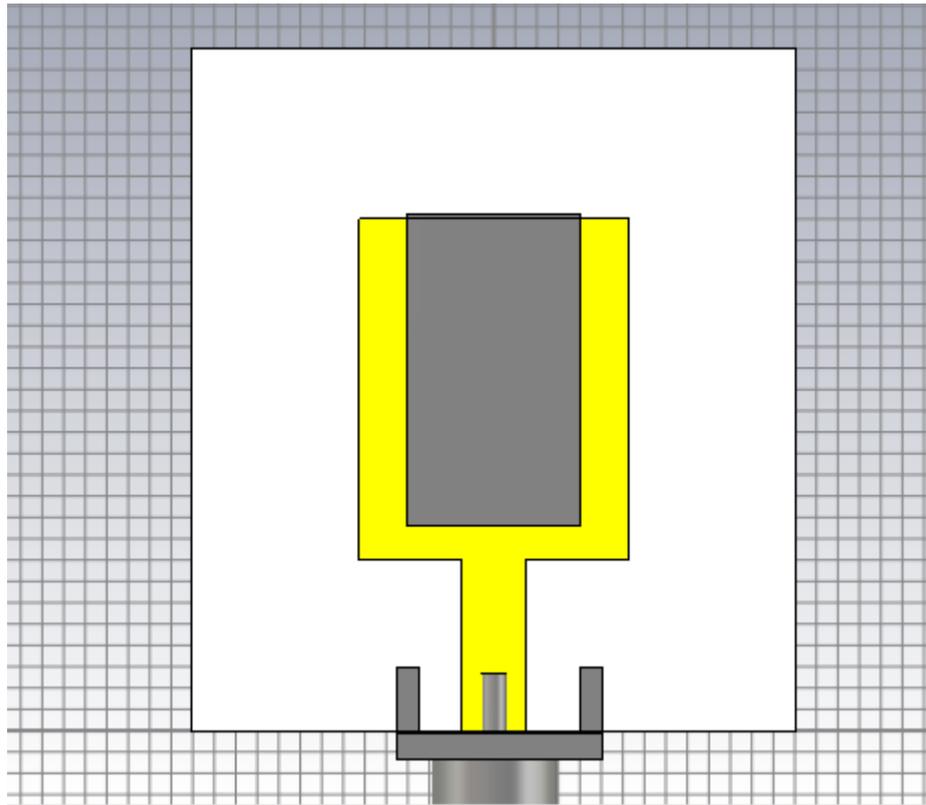


Figure A2.34: Coupure de la tranche rectangulaire

Cette méthode est facile et ne prend pas beaucoup de temps, mais le seul inconvénient c'est l'impossibilité de la modification des longueurs des deux bras de l'antenne.

Pour éviter ce problème nous devons créer notre propre méthode dans la conception, cette deuxième méthode nous a permis de modifier tous les paramètres nécessaires de notre antenne fourche.

Pour commencer, nous devons créer un nouveau projet en suivant toutes les étapes illustrées déjà dans les figures (Figure A2.1_ Figure A2.9).

Nous continuons la conception, par la décomposition de l'antenne fourche en 3 pièces principales, la base et les deux bras de la fourche.

La base est positionnée sur la ligne micro ruban. On va utiliser les mêmes étapes de conception, donc ce n'est pas nécessaire de les détailler :

Les étapes de conception sont à la Figure A2.35 comme suivant :

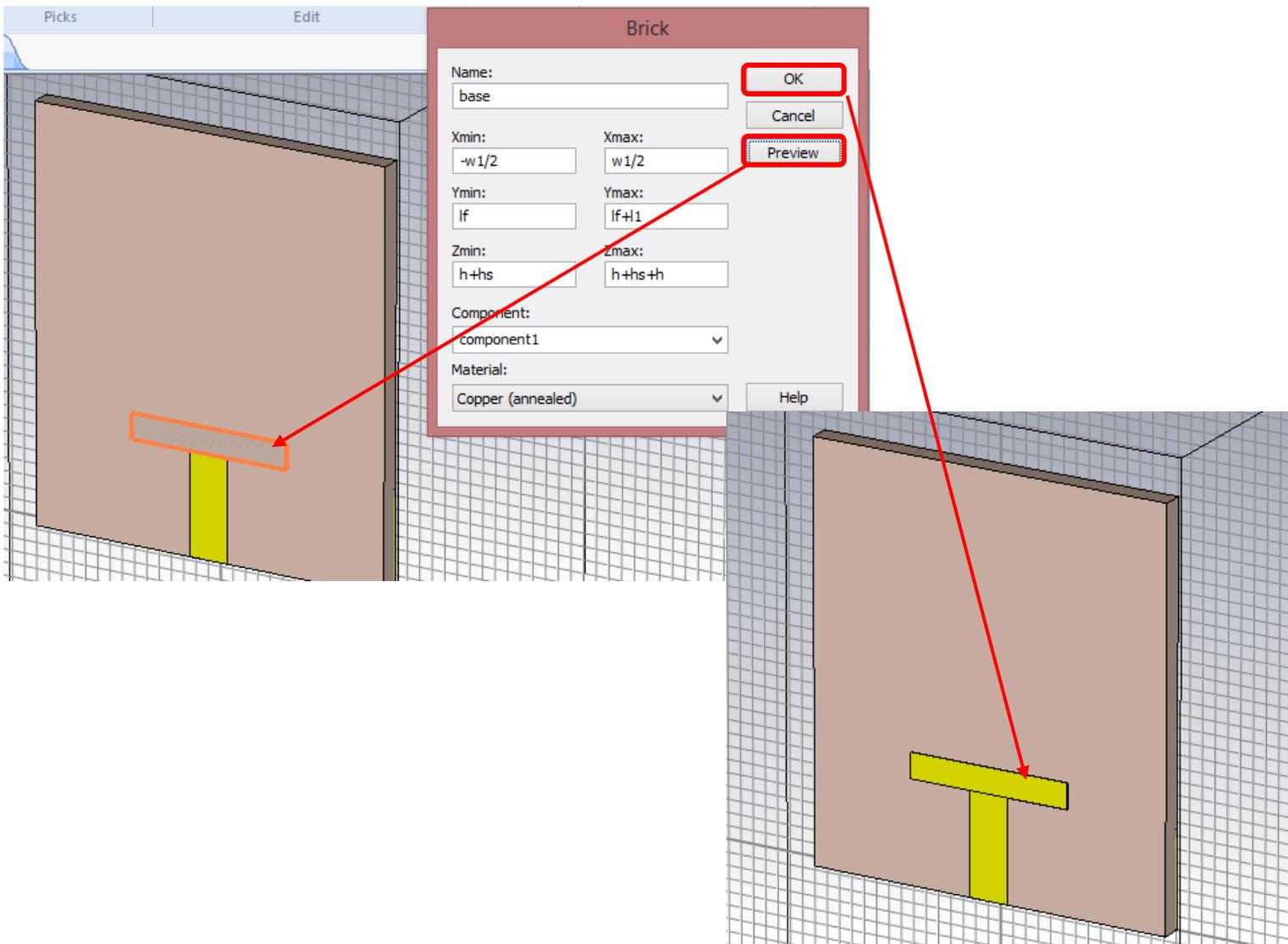


Figure A2.35: conception de la base de la fourche

Ensuite, on passe aux bras de l'antenne, illustrés dans les Figures (Figure A2.36_ Figure A2.37)

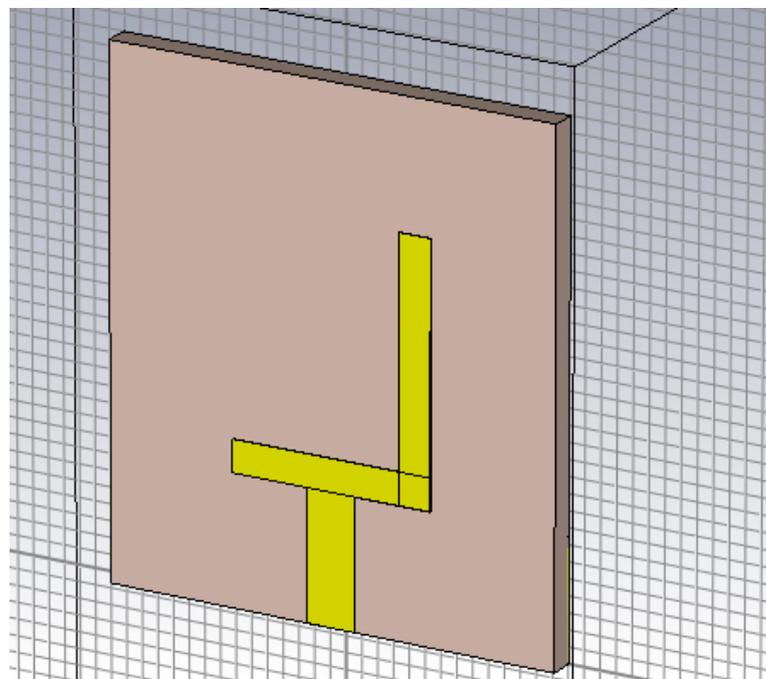
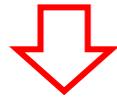
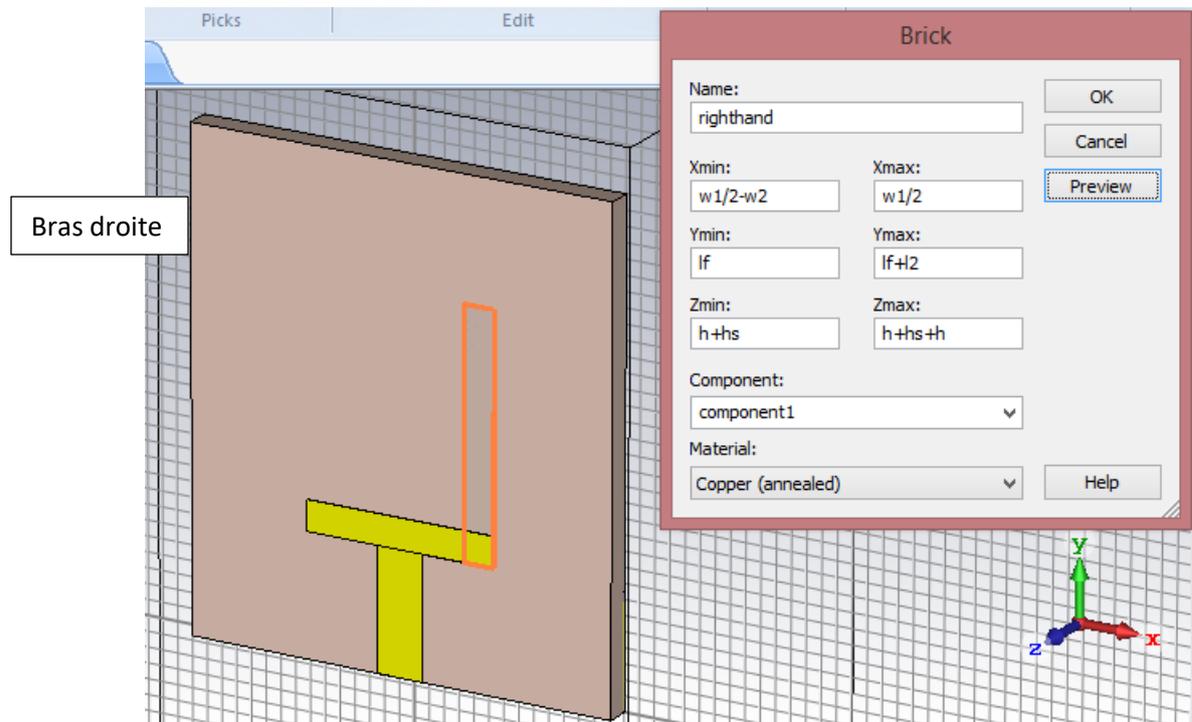


Figure A2.36: conception du bras droite de la fourche

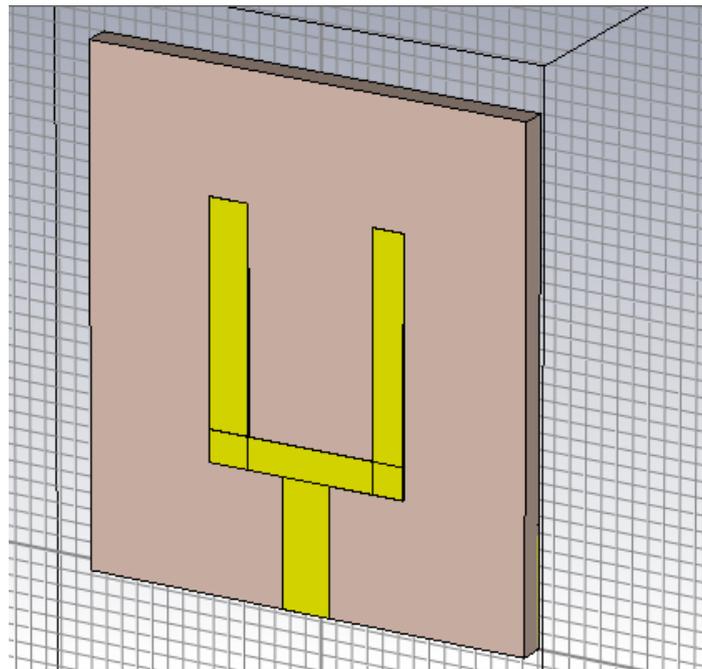
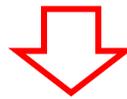
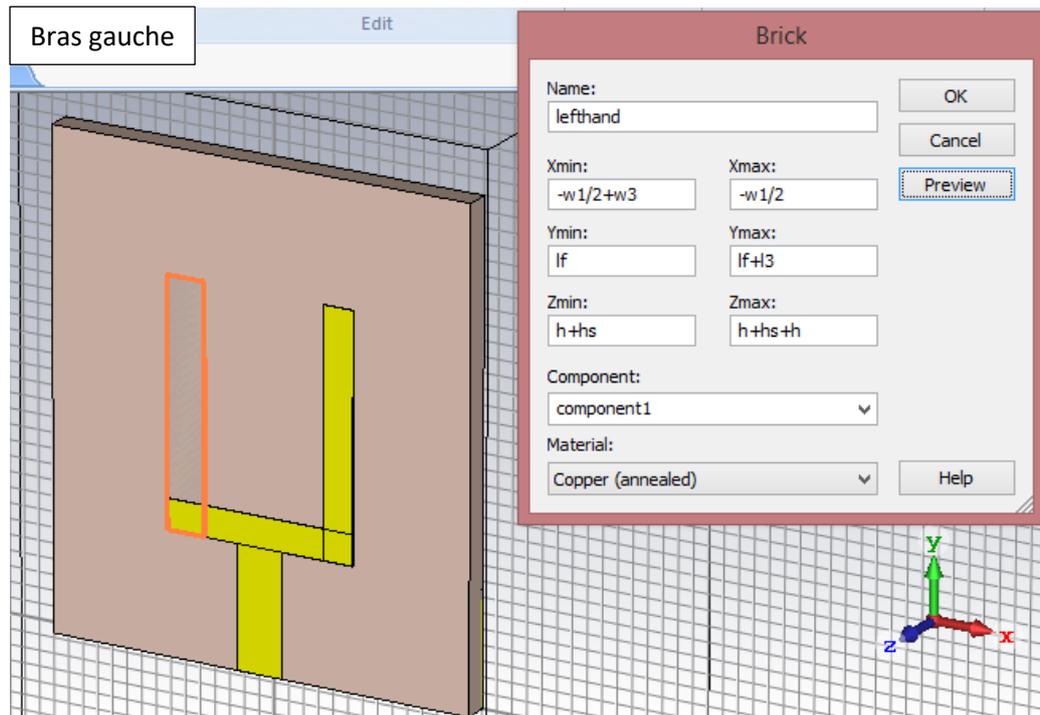


Figure A2.37: conception du bras gauche de la fourche

Maintenant nous pouvons cacher les lignes qui sont apparues entre les composants, nous devons sélectionner ces derniers et en utilisant les outils Boolean puis cliquer sur add, les lignes seront disparues (Figure A2.38).

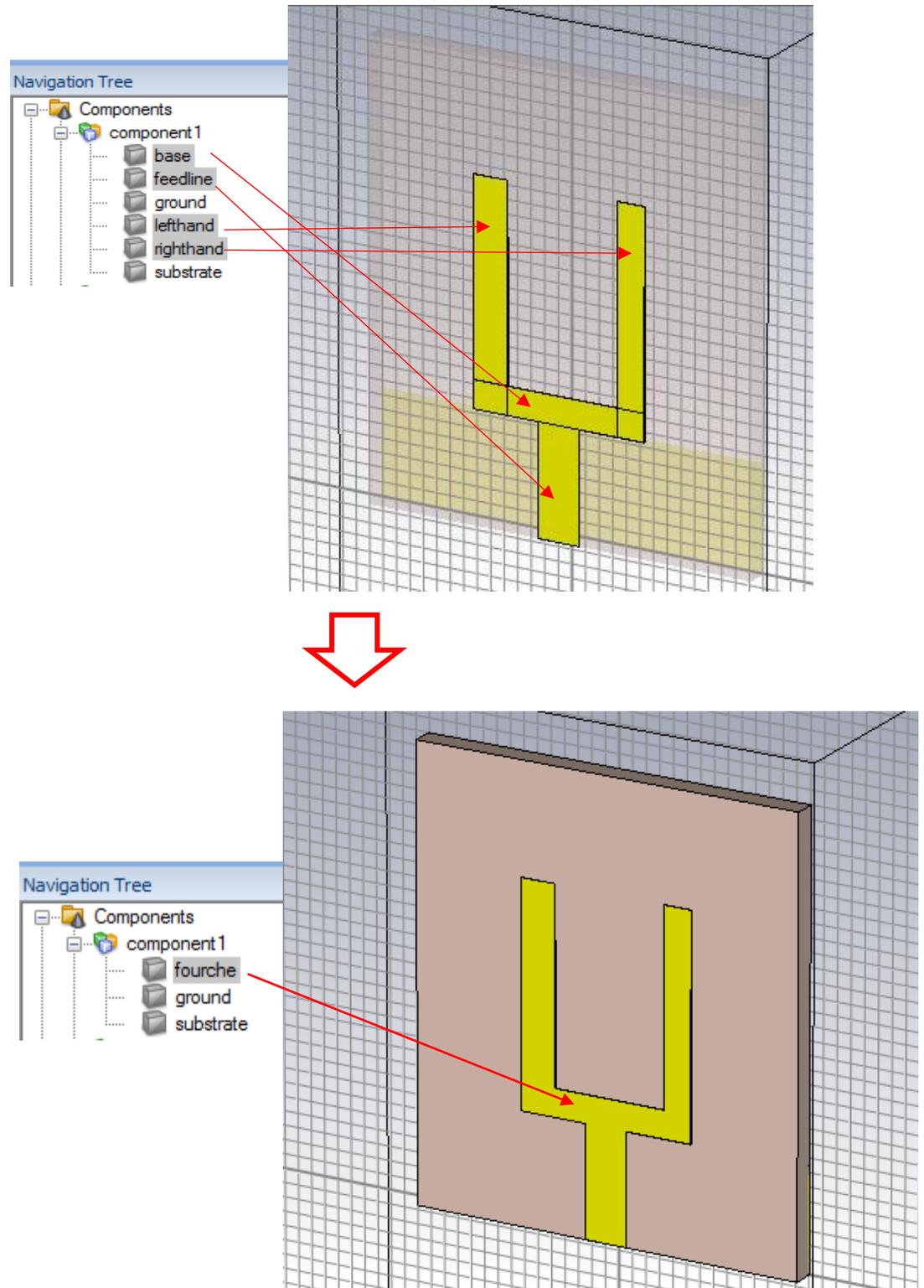


Figure A2.38 : élimination des traits entre les trois éléments

Maintenant nous devons copier les composants du connecteur SMA utilisée déjà et le coller avec les composants de notre antenne fourche pour avoir la structure finale de l'antenne comme vue dans la Figure A2.39 :

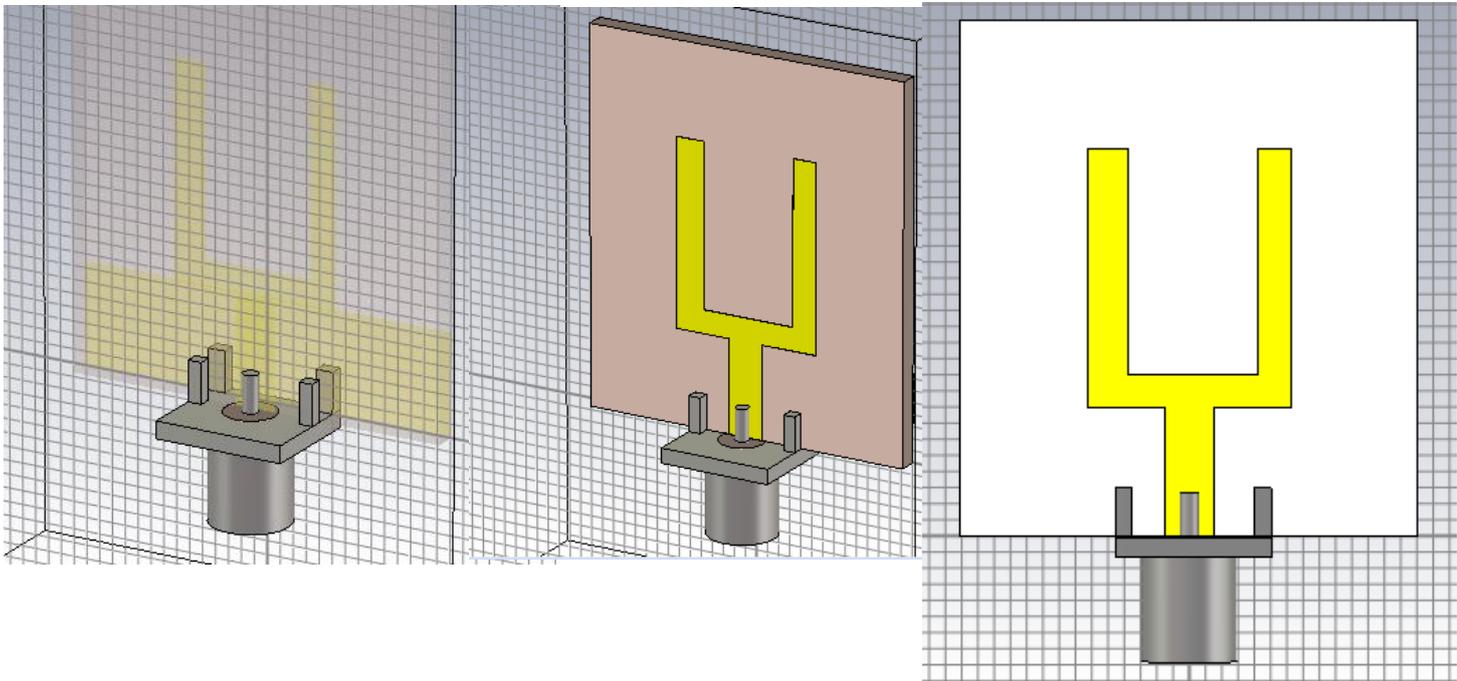


Figure A2.39: Structure finale de l'antenne fourche avec le connecteur SMA

Ensuite, en utilisant les mêmes étapes précédentes pour créer le point d'alimentation, on a obtenu le même point comme vu dans la Figure A2.40 :

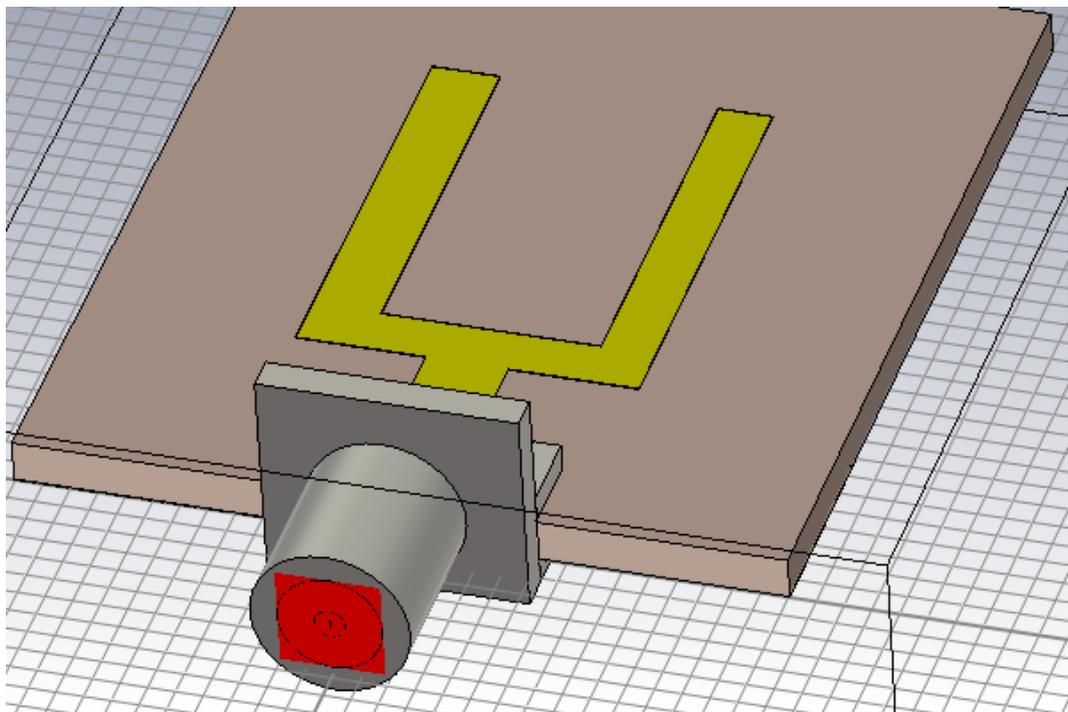
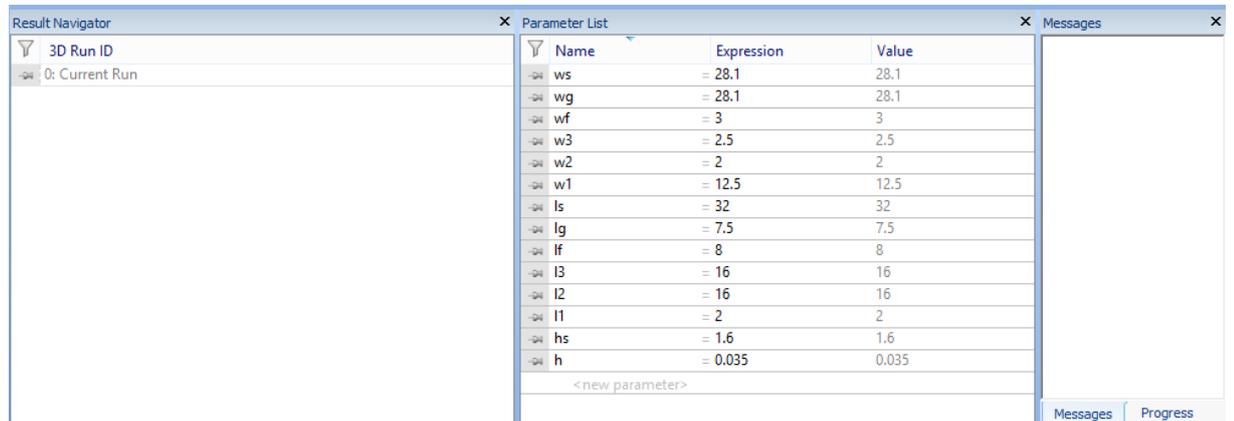


Figure A2.40: point d'excitation de l'antenne fourche

Après le lancement de simulation, le changement des paramètres de l'antenne fourche doit être sur le Parameter List (Figure A2.41), on doit cliquer sur expression puis on entre la nouvelle valeur puis on relance la simulation, et chaque résultat sera enregistrée sur Result Navigator.



Name	Expression	Value
ws	= 28.1	28.1
wg	= 28.1	28.1
wf	= 3	3
w3	= 2.5	2.5
w2	= 2	2
w1	= 12.5	12.5
ls	= 32	32
lg	= 7.5	7.5
lf	= 8	8
l3	= 16	16
l2	= 16	16
l1	= 2	2
hs	= 1.6	1.6
h	= 0.035	0.035
< new parameter >		

Figure A2.41: tableau de parameter list

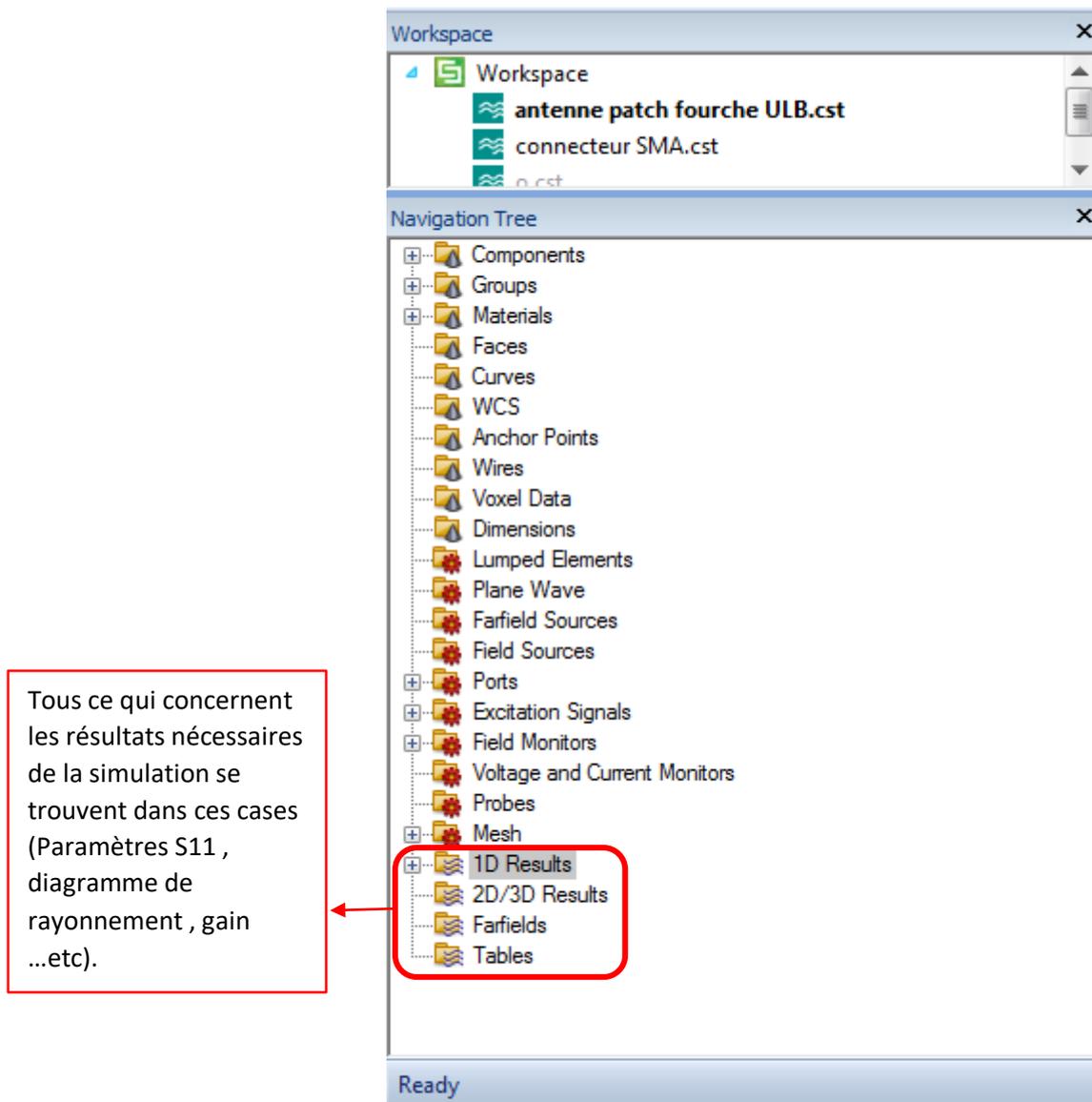


Figure A2.42: les résultats de simulation dans Navigation Tree

3. Programme MATLAB pour superposer et comparer les résultats simulés avec les mesures

Après l'extraction des données de la simulation, nous devons les classer dans un fichier Excel afin de séparer les fréquences et les paramètres S11 de même façon que les données des mesures prise à la CDTA, on va considérer chaque groupe de données une matrice et en utilisant le programme illustrée dans la figure A3.1 , nous pouvons superposer les deux graphes du paramètre S11 pour mieux comparer les résultats obtenus.

```

1 - clear all
2 - clc
3 - x=[];%les fréquences données par l'analyseur de réseau
4 - a=[];% Les coefficients de réflexion données par l'analyseur de réseau
5 - b=[]*10^9;%les fréquences données par le logiciel CST
6 - c=[];%Les coefficients de réflexion données par le logiciel CST
7 - a0=0;
8 - b0=-10;
9 - b1=-6;
10 - y=a0*x+b0; % S11= -10 dB
11 - y2=a0*x+b1; % S11= -6 dB
12
13 - p1=plot(x,a,'b','LineWidth',3)% Afficher le résultat mesuré avec des points bleu
14 - hold on
15
16 - p2=plot(b,c,'r','LineWidth',2)% Afficher le résultat simulé en rouge
17 - hold on
18
19 - p3=plot(x,y,'k','LineWidth',2)% Afficher la valeur S11= -10 dB en Noir
20 - hold on
21
22 - p4=plot(x,y2,'g','LineWidth',3)% Afficher la valeur S11= -6 dB en Vert
23 - grid on%
24
25 - title('Comparaison du paramètre S11')% Titre de graphe
26 - xlabel('fréquence(GHz)')% Titre de l'axe des X
27 - ylabel('Paramètre S11 (dB)')% Titre de l'axe des Y
28 - legend([p1,p2,p4,p3], 'Mesuré', 'Simulé', 'S11= -6dB', 'S11= -10dB')% Afficher la légende

```

Figure A3.1: Programme MATLAB utilisé pour l'affichage les résultats mesurés

4. Les Bandes de fréquences SHF ainsi leurs applications

SHF Super Hautes Fréquences (Super High Frequencies): [A2]

Classification :	SHF - Super Hautes Fréquences (Super High Frequencies) Ondes centimétriques (cm)
Gamme de fréquences :	3 GHz à 30 GHz (10)
Longueurs d'ondes :	10 à 1 centimètre
Utilisation :	Ondes directes espace
Quelques exemples :	
2 à 4 GHz	BANDE S
2,700 à 3,100 GHz	Radiolocalisation, radionavigation
3,100 à 3,400 GHz	Radiolocalisation
3,300 à 3,500 GHz	RADIOAMATEURS bande des 9 centimètres (régions 2 et 3)
3,400 à 3,600 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens
3,400 à 3,800 GHz	Services de communications
3,700 à 4,200 GHz	Satellites télévisions
4 à 8 GHz	BANDE C
4,200 à 4,400 GHz	Radio-altimètres
4,202 GHz	Fréquences étalon et signaux horaires par satellite sens espace vers terre
4,800 à 5,000 GHz	Radioastronomie
5,030 à 5,150 GHz	Systèmes d'atterrissage hyperfréquences
5,150 à 5,250 GHz	Transmission de données large bande, RLAN, réseaux locaux... Usage libre. 200 mW PIRE maxi. Utilisation intérieure uniquement
5,250 à 5,350 GHz	Transmission de données large bande, RLAN, réseaux locaux... Usage libre. 100 mW PIRE maxi ou 200 mW avec TPC. Utilisation intérieure uniquement et DFS obligatoire
5,350 à 5,470 GHz	Radars aéroportés et radiobalises de bord
5,470 à 5,725 GHz	Transmission de données large bande, RLAN, réseaux locaux... Usage libre. 500 mW PIRE maxi ou 1 W avec TPC. DFS obligatoire

Annexe 04

5,650 à 5,850 GHz	RADIOAMATEURS bande des 5 centimètres (région 1, France et région 3)
5,650 à 5,925 GHz	RADIOAMATEURS bande des 5 centimètres (région 2)
5,725 à 5,875 GHz	Bande ISM (fréquences Industrielles Scientifiques et Médicales) - 25 mW PIRE maxi
5,875 à 5,905 GHz	Systèmes de sécurité transports intelligents
5,925 à 6,425 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (8 canaux de 29,65 MHz / écart duplex 252,04 MHz)
6,169745 à 6,180245 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (écart duplex 252,04 MHz)
6,424553 à 6,435053 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (écart duplex 252,04 MHz)
6,425 à 7,110 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (8 canaux de 40 MHz / écart duplex 340 MHz)
6,763 à 6,777 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (écart duplex 342,5 MHz)
7,075 à 7,250 GHz	Mesures passives hyperfréquences au-dessus des océans
7,1055 à 7,1195 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (écart duplex 342,5 MHz)
7,190 à 7,250 GHz	Télémesures et télécommandes engins spatiaux
7,375 à 7,750 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens
8 à 12 GHz	BANDE X
8,025 à 8,500 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens + audio/télévisuel
8,400 à 8,500 GHz	Recherche spatiale
8,500 à 10,680 GHz	Radiolocalisation
8,550 à 8,650 GHz	Recherche spatiale
8,750 à 8,850 GHz	Radionavigation par effet Doppler sur 8,800 GHz
8,850 à 9,000 GHz	Radars cotiers radionavigation maritime
9,200 à 9,225 GHz	Radars cotiers radionavigation maritime
9,200 à 9,500 GHz	Répondeur radar pour opérations de secours SAR
9,300 à 9,900 GHz	Recherche spatiale
10 à 10,500 GHz	RADIOAMATEURS bande des 3 centimètres
10,500 à 11,750 GHz	Satellites télévisions bande Ku-1
10,600 à 10,700 GHz	Radioastronomie, recherche spatiale
10,700 à 11,700 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (12 canaux de 40 MHz)
11,700 à 12,500 GHz	Satellites télévisions bande Ku-2
12 à 18 GHz	BANDE Ku
12,500 à 12,750 GHz	Satellites télévisions bande Ku-3

12,750 à 13,250 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (écart duplex 1,010 GHz)
14,470 à 14,500 GHz	Radioastronomie
15,250 à 15,350 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens
15,350 à 15,400 GHz	Radioastronomie
17,700 à 19,700 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens (écart duplex 1,010 GHz)
18 à 27 GHz	BANDE K
22 à 22,600 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens 23 GHz (écart duplex 1,008 GHz)
22,100 à 22,500 GHz	Radioastronomie
22,600 à 22,75875 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens 23 GHz bis
22,75875 à 22,84275 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens 23 GHz ter
22,84275 à 23,000 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens 23 GHz bis
23 à 23,600 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens 23 GHz (écart duplex 1,008 GHz)
23,600 à 24,000 GHz	Radioastronomie
24 à 24,250 GHz	RADIOAMATEURS bande des 1,2 centimètres
24 à 24,250 GHz	Bande ISM (fréquences Industrielles Scientifiques et Médicales) - 100 mW PIRE maxi Sauf 24,10 à 24,15 GHz limité à 0,1 mW PIRE maxi
24,549 à 25,445 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens écart duplex 1,008 GHz)
25,557 à 26,453 GHz	Liaisons FH Faisceaux Hertiens écart duplex 1,008 GHz)
Tableau A.4 : Les bandes de fréquence avec quelques applications [A2]	

5. Références bibliographique de l'annexe

[A1] : 'CST – Computer Simulation Technology AG STUDIO SUITE™ Workflow and Solver Overview'

[A2] : '<https://radio.pagesperso-orange.fr/Bandes.htm>'