



N° d'ordre :

N° de série :

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Département D'électronique

Mémoire de fin d'études présenté

Pour l'obtention du diplôme de

Master ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Electronique

Spécialité : Télécommunications

Présenté par : Zaoui Bachir

Modélisation d'une antenne micro ruban compacte

Soutenu le 02/06/2015

Devant le jury composé de :

M. **Lakhdar Nacre addine**
M. **Hima Abdelkader**
M. **Boulila Mohamed**

MCA
MAA
MAA

Président
Rapporteur
Directeur du mémoire

2014-2015

Dédicaces

Au nom de Dieu le Miséricordieux et la prière et la paix sur le dernier des Prophètes et des Messagers. Je dédie les fruits de mon recherche :

À le cadeau qui est le plus précieux, Pour qui m'a donné l'amour, elle a été la bougie qui a allumé la ma route, je lui souhaite longévité et bonne santé ma mère bien-aimée. .

À qui m'a donné l'heureuse vie..... mon chers père.

À mon frère " Youcef " et mes sœurs " Huda, Rekaia, Asma et Imane ".

À mes grands-mères , Dieu prolonge ses âges .

À tous mes oncles, à tous mes professeurs éminents.

À notre encadreur " Boulila Mohammed ".

À l'ensemble du personnel et les travailleurs de l'Université de Hamma Lakhdar et à tous les collègues de l'étude.

À tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Bachir Zaoui

Remerciements

C'est avec plaisir que je réserve ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à l'égard de tous ceux qui m'ont aidés à la réalisation de mon projet de fin d'étude.

*En premier lieu, je remercie Allah pour m'a aider à aboutir ce travail. Ensuite je remercie mes parents pour leur soutien. Je tiens à exprimer ma gratitude envers mon encadreur Mr« **Boulila Mohammed** » qui m'a aidé et m'a fourni beaucoup de concepts à mon projet . Ainsi que Monsieur« **Khalil Abdelatif** » qui m'a aidé de mener à terme ce projet, par ses soutiens, ses précieux conseils.*

J'adresse tous mes remerciements à tous mes enseignants et professeurs pour leurs précieux conseils, leurs soutiens et leurs remarques pertinentes qui m'a permis de mener au terme ce projet.

Je n'oublie pas l'administration de l'institut de science et technologie de l'université de Hamma Lakhdar qui fut assez visionnaire pour m'offrir tous les moyens de réussite. et je remercie le jury qui a examiner mon projet de fin d'études.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin même pour un seul mot.

Table des matières

Dédicaces.....	I
Remerciements.....	II
Table des matières	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux.....	IX
Introduction générale	1
<u>CHAPITRE I : Principes fondamentaux des antennes</u>	
I.1 Introduction.....	03
I.2 Le rôle des antennes.....	04
I.2.1 Antenne d'émission	04
I.2.2 Antenne de réception.....	04
I.2.3 Réciprocité	04
I.3 Comment rayonne une antenne.....	04
I.4 Rayonnement électromagnétique.....	05
I.4.1 Zone de Rayleigh.....	06
I.4.2 Zone de Fresnel	06
I.4.3 Zone de Fraunhofer	06
I.5 Les paramètres de l'antenne	08
I.5.1 L'impédance d'entrée.....	08
I.5.2 Le coefficient de réflexion et la bande passante.....	08
I.5.3 La directivité.....	12
I.5.4 Le gain.....	10
I.5.5 La polarisation d'une antenne.....	11
I.5.6 Diagramme de rayonnement	11
I.5.7 L'angle d'ouverture.....	12
I.5.8 Rendement.....	13
I.6 Les différents types d'antenne.....	13
I.6.1 Antenne dipolaire.....	13
I.6.2 Antenne à boucle magnétique	14

I.6.3 Antenne cornet	15
I.6.4 Antenne à réseau de fentes.....	16
I.6.5 Antenne à réflecteur parabolique	16
I.6.6 Antennes de type Cassegrain	17
I.6.7 Antenne Imprimée	18
I.6.8 Antenne active.....	19
I.7 Conclusion	20

CHAPITRE II : Généralités sur les antennes imprimées

II.1 Introduction	21
II.2 Choix de la technologie des antennes imprimées.....	22
II.3 Description des antennes micro rubans.....	22
II.4 Description des elements constitutifs d'une antenne microruban.....	23
II.4.1 Les couches métalliques.....	23
II.4.2 Le substrat.....	24
II.5 Fonctionnement d'une antenne micro ruban.....	25
II.6 Alimentation des élément rayonnants.....	26
II.6.1 Alimentation par contact	26
II.6.2 Alimentation par proximité.....	29
II.7 Les caractéristiques électriques d'une antenne micro ruban.....	33
II.7.1 Impédance d'entrée de l'antenne	33
II.7.2. Coefficient de réflexion et R.O.S.....	34
II.8 Mécanisme de rayonnement.....	34
II.9 Méthodes d'analyses des antennes micro rubans.....	35
II.9.1 Méthodes analytiques.....	35
II.9.2 Le modèle de la ligne de transmission.....	35
A-Effet des bords.....	36
B-longueur effective et fréquence de résonance.....	36
C- Conception.....	38
D - Conductance.....	39
E - Impédance caractéristique.....	40
F-Bande passante.....	41
G - Le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS).....	42

H - Diagramme de rayonnement.....	44
II.9.3 Le modèle de la cavité.....	44
II.9.4 Autres méthodes.....	49
II.9.4.1 La méthode des moments (MOM).....	49
II.9.4.2 Méthode d'analyse spectrale.....	49
II.10 Applications des antennes micro rubans.....	50
II.11 Conclusion.....	50
 <u>CHAPITRE III</u> : Simulation d'une antenne micro ruban et leur interprétations	
III.1 Introduction	51
III.2 Introduction sur l'ANSOFT HFSS.....	52
III.3 Les avantages et les inconvénients du HFSS.....	53
III.3.1 Quelques avantages du HFSS.....	53
III.3.2 Quelques inconvénients du HFSS.....	54
III.4 Modélisation, Problèmes envisagés et Solutions	55
III.4.1 Influence des paramètres d'une antenne patch.....	55
III.4.1.1 Influence la longueur du patch (patch Y) L.....	56
III.4.1.2 Influence la largeur du patch (patch X) W.....	62
III.4.1.3 Influence l'épaisseur du patch (subH) H.....	65
III.4.2 Experience : $f_r=10\text{GHz}$ & $ S = 1.625\text{dB}$	68
III.5 Conclusion	76
Conclusion générale	77
Bibliographie.....	

Liste des figures

CHAPITRE I : Principes fondamentaux des antennes

Figure I.1 : Rayonnement d'une antenne.....	05
Figure I.2 : Lignes de champs produites par une antenne demi-onde	06
Figure I.3 : La densité de puissance rayonnée par l'antenne.....	07
Figure I.4 : Limite des 3 zones de rayonnement	07
Figure I.5 : Représentation de l'impédance de l'antenne.....	08
Figure I.6 : Exemple $ S_{11} $ d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante à -10dB	10
Figure I.7 : Représentation de la polarisation verticale et horizontale.....	11
Figure I.8 : Représentation de diagramme de rayonnement 3D, E et H.....	12
Figure I.9 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes.....	12
Figure I.10 : Antenne dipolaire	14
Figure I.11 : Boucle magnétique	15
Figure I.12 : Antenne cornet.....	16
Figure I.13 : Réseau de fentes	16
Figure I.14 : Antenne à réflecteur parabolique	17
Figure I.15 : Antenne à réflecteur parabolique	18
Figure I.16 : Antenne Imprimée.....	18
Figure I.17 : Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique.....	19

CHAPITRE II : Généralités sur les antennes imprimées

Figure II.1 : Présentation d'une antenne micro ruban.....	23
Figure II.2 : Divers types d'éléments rayonnants	23
Figure II.3 : Antenne imprimée fonctionnant sur son mode fondamental	26
Figure II.4 : Alimentation par ligne micro ruban.....	26
Figure II.5 : Excitation par sonde coaxiale.....	27
Figure II.6 : Alimentation par connexion à une ligne microruban située de l'autre côté du plan de masse	28
Figure II.7 : Alimentation par fibre optique.....	29
Figure II.8 : Alimentation par couplage électromagnétique.....	30
Figure II.9 : Alimentation par couplage à une ligne microruban par ligne microruban à travers une fente dans le plan de masse.....	31

Figure II.10 : Alimentation par ligne microruban en circuit ouvert.....	32
Figure II.11 : Alimentation par guides d'ondes coplanaires.....	32
Figure II.12 : Schéma équivalent du dispositif à l'émission.....	33
Figure II.13 : Analogie optique du mécanisme de rayonnement.....	34
Figure II.14 : Répartition des champs sur les bords du patch.....	37
Figure II.15 : (a) Ligne micro ruban, (b) Les lignes de champs (c) Constante diélectrique équivalente... 37	
Figure II.16 : Modèles d'antennes patchs (a) rectangulaire (b) circulaire.....	39
Figure II.17 : (a) Antenne patch rectangulaire, (b) Circuit équivalent en modèle de ligne de transmission	40
Figure II.18 : Variation de la conductance de la fente en fonction de sa largeur	40
Figure II.19 : Ligne d'alimentation micro ruban renforcée.....	41
Figure II.20 : Détermination graphique de la bande passante d'une antenne patch.....	42
Figure II.21 : Illustration de la bande passante à -10 dB.....	43
Figure II.22 : Exemple de diagramme de rayonnement d'antenne.....	44
Figure II.23 : Modèle de la cavité à perte	45
Figure II.24 : Distribution des charges et création de courant dans une antenne patch.....	46
Figure II.25 : Configuration des champs (modes) d'une antenne patch rectangulaire.....	47

CHAPITRE III : Simulation d'une antenne micro ruban et leur interprétations

Figure III.1 : L'interface de logicielle de HFSS.....	52
Figure III.2 : la représentation animée de la variation des champs.....	53
Figure III.3 : La génération d'un maillage adaptatif à la structure.....	54
Figure III.4 : Antenne patch adapté à patch Y = 0.3cm.....	57
Figure III.5 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 12.74 GHZ.....	57
Figure III.6 : Antenne patch adapté à patch Y = 0.5cm.....	58
Figure III.7 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 9.62 GHZ.....	59
Figure III.8 : Antenne patch adapté à patch Y = 0.46cm	60
Figure III.9 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 10 GHZ.....	61
Figure III.10 : Antenne patch adapté à patchX = 0.2cm.....	63
Figure III.11 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 10.52 GHZ.....	63
Figure III.12 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 9.975 GHZ.....	65
Figure III.13 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 8.769GHZ.....	66
Figure III.14 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation (encoche) à la fréquence 8.6175GHZ.....	67
Figure III.15 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 10 GHZ.....	69
Figure III.16 : Antenne patch adapté.....	70

Figure III.17 : Détermination les dimensions de radiation sphérique.....	70
Figure III.18 : la fenêtre contient les divers types des traces.....	71
Figure III.19 : Gain total d'une antenne patch rectangulaire (3D Polar).....	72
Figure III.20 : Gain total d'une antenne patch rectangulaire (Rectangular plot)	72
Figure III.21 : Impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire	73
Figure III.22: Répartition du champ électrique E en surface (2D).....	73
Figure III.23 : Répartition du champ électrique E en volume (3D).....	74
Figure III.24: Répartition du champ magnétique H en surface (2).....	74
Figure III.25 : Répartition du champ magnétique H en volume (3D).....	75
Figure III.26 : Densité surfacique du courant.....	75

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Les paramètres de l'antenne patch à patch $Y = 0.3\text{cm}$	56
Tableau III.2: Les paramètres de l'antenne patch à patch $Y = 0.5\text{cm}$	58
Tableau III.3 : Les paramètres de l'antenne patch à patch $Y = 0.46\text{cm}$	60
Tableau III.4 : Les paramètres de l'antenne patch à patch $X = 0.2\text{cm}$	62
Tableau III.5 : Les paramètres de l'antenne patch à patch $X = 0.3\text{cm}$	64
Tableau III.6 : Les paramètres de l'antenne patch à subH = 0.5mm	66
Tableau III.7 : Les paramètres de l'antenne patch à subH = 1mm	67
Tableau III.8 : Les paramètres de l'antenne patch.....	68

Introduction générale

Introduction générale

Les recherches sur les moyens de communication comme, les mimiques, l'articulation, la correspondance... etc., n'ont pas cessé depuis la naissance de l'être humain.

Pendant des siècles successifs, l'homme a fourni des efforts intellectuels énormes dans le but de concevoir des techniques adaptées à cela.

Le commencement de ses efforts à été consacré pour la première fois dans l'histoire des télécommunications, par la création du télégraphe optique (premier réseau de télécommunication) Dès l'invention de l'électricité, il a inventé le premier téléphone .

En 1870, lors des études sur les ondes électromagnétiques, J.Maxwell démontre que celles-ci voyagent aussi bien dans le vide que dans la matière. Cela a permis de réaliser les premières expériences de la radio (transmission sans fil) en 1895 par le physicien Marconi.

Par la suite, les réseaux de téléphonies se sont beaucoup plus développés, qu'ils soient filaires ou hertziens. Ces dernières années un besoin s'est crée : celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile pour cela ont a vu l'apparition de nouveaux réseaux sans fil pour la communication à distance.

Dés lors, On voit apparaître plusieurs types de réseaux : réseaux de téléphonie, de diffusions à hauts débits,... etc .

Le développement de ces standards sans fil consiste à l'évolution des technologies tel que : la miniaturisation des composants, logiciels informatiques, des techniques de codages ou encore des antennes.

En conséquence, les antennes sont devenues nos yeux et nos oreilles dans notre monde, nos liens avec l'espace dans lequel nous vivons; elles constituent une partie essentielle et indispensable de notre civilisation.

L'antenne est un élément essentiel ayant deux rôles distincts : celui d'émission des rayons électromagnétiques et l'autre de leur réception; cette dernière se situe aussi bien au niveau des standards que dans les téléphones portables ce qui fait d'elle un élément indispensable. Dans les téléphones cellulaires contrairement aux standards, l'antenne est imprimée.

La théorie et la technologie des antennes imprimées ont connu une croissance rapide, et elles ont été l'une des technologies les plus innovatrices dans leur conception. Elles ont trouvé rapidement une large application dans les systèmes microondes modernes [1].

Le travail présenté dans ce manuscrit a, pour objectif, de concevoir et modéliser une antenne micro ruban « Patch » compacte .

Chapitre I : Ce chapitre sera entièrement consacré à l'étude des antennes qui ont pour principe, de transformer un signal guidé en un signal rayonné (ou réciproquement) et qui présentent une grande variété pour la diversité d'utilisation.

Nous décrivons les paramètres des antennes : gain, diagramme de rayonnement directivité, polarisation, bande passante,... etc .

Chapitre II : Il sera consacré à l'étude d'une antenne micro ruban, ainsi que les différents types de son alimentation, en plus d'une présentation sur les différentes méthodes de son analyse.

Chapitre III : Cette partie présentera la modélisation et les simulations des antennes imprimées rectangulaires.

Chapitre

I

Principes fondamentaux des antennes

I.1 Introduction :

Les premières antennes sont apparues à La fin du XIXe siècle, a une époque ou les travaux sur l'électromagnétiques ont connu un développement considérable. Depuis, leur réalisation n'a cessé d'évoluer, d'abord, grâce aux progrès scientifiques de l'électromagnétisme, plus tard, sous la pression de nombreuses demandes technologiques dans des domaines d'application variés. L'essor actuel des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisateurs : télécommunications mobiles, satellites, télévision, radio, identification, objets communication,... etc.

Malgré cette grande diversité, toutes les antennes ont en commun de transformer un signal guidé en un signal rayonnant (ou réciproquement), dans un spectre électromagnétique relativement large allant des ondes radio aux hyperfréquences.

Actuellement la course à l'innovation concernant les systèmes de communication entraîne des études poussées dans le domaine des antennes.

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. Comme nous le verrons dans ce chapitre, il existe de nombreux types d'antennes.

Il est important d'avoir une connaissance globale de leur fonctionnement lors du choix d'un dispositif rayonnant. La compréhension de ce fonctionnement aidera, d'une part à utiliser l'antenne au mieux de ses performances et d'autre part, à en réaliser une conception optimale.

Les techniques de conception et de réalisation d'antennes se sont affinées au fur et à mesure que le domaine de l'électromagnétisme s'est développé. C'est un domaine relativement récent, puisque c'est en s'appuyant sur les équations de Maxwell que tous les développements théoriques et techniques ont pu progresser. Les avancées dans ce domaine ont été rapides car touchant aux transmissions radioélectriques dont le nombre d'applications est considérable.

Dans ce chapitre nous aurons dressé les principes fondamentaux des antennes : le rôle des antennes, comment rayonnent-ils ?, le rayonnement électromagnétique des antennes. Puis on aura présenté les différents paramètres des antennes en suite les différentes types d'antennes.

I.2 Le rôle des antennes :

I.2.2 Antenne d'émission :

Afin d'assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif génère une onde rayonnée.

Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur. [2]

I.2.2 Antenne de réception :

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme. [2]

I.2.3 Réciprocité :

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque.

Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité. Dans quelques cas exceptionnels pour lesquels les antennes comportent des matériaux non linéaires ou bien anisotropes, elles ne sont pas réciproques.

Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas. [2]

I.3 Comment rayonne une antenne:

Afin de savoir comment une antenne rayonne, voyons d'abord comment le rayonnement se produit. Un fil conducteur rayonne principalement en raison d'une variation temporelle du courant ou une accélération (ou décélération) de la charge. S'il n'y a pas de déplacement de charges dans le fil y'aurai pas de rayonnement, car aucun flux de courant ne se produit. Le rayonnement ne se produira pas même si les charges sont en mouvement avec une vitesse uniforme dans un fil rectiligne. Mais dans un fil courbé ou plié le mouvement des charges avec une vitesse uniforme produira des rayonnements. Si la charge oscille dans le temps, le rayonnement se produit même dans d'un fil rectiligne comme l'a expliqué Balanis .

Le rayonnement d'une antenne peut être expliqué comme montré la Figure I.1 qui présente une source de tension connecté à une ligne de transmission à deux conducteurs. Quand une tension sinusoïdale est appliquée à travers la ligne de transmission, un champ électrique est créé qui est

sinusoïdal dans la nature et il en résulte la création de lignes de force électriques qui sont tangentielle du champ électrique. L'amplitude du champ électrique est indiquée par la concentration des lignes de force électriques.

Les électrons libres sur les conducteurs sont déplacées par les lignes électriques de force et le mouvement de ces charges provoque la circulation du courant qui à son tour conduit à la création d'un champ magnétique [1].

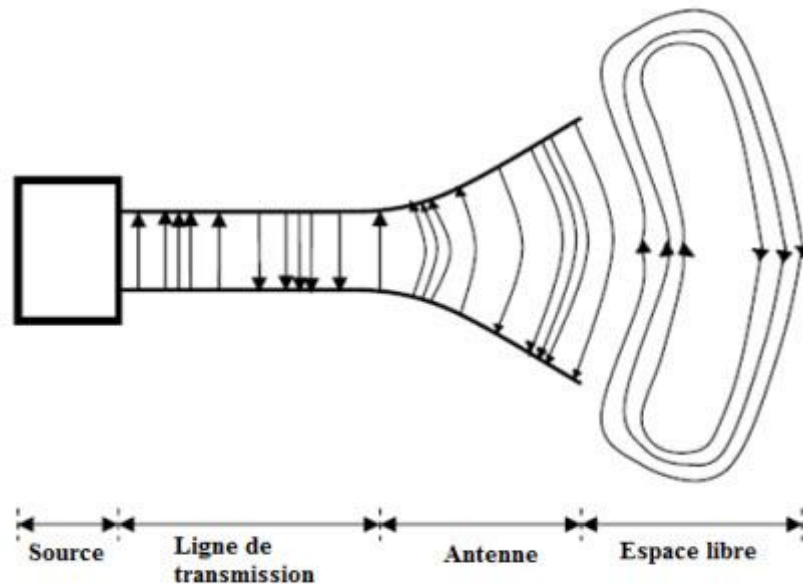


Figure I.1 : Rayonnement d'une antenne. [1]

I.4 Rayonnement électromagnétique : (champ proche et champ lointain) :

Les champs dans la proximité de l'antenne sont extrêmement complexes à analyser. Figure I.2 montre un exemple des lignes de champ produites par une antenne demi-onde [1].

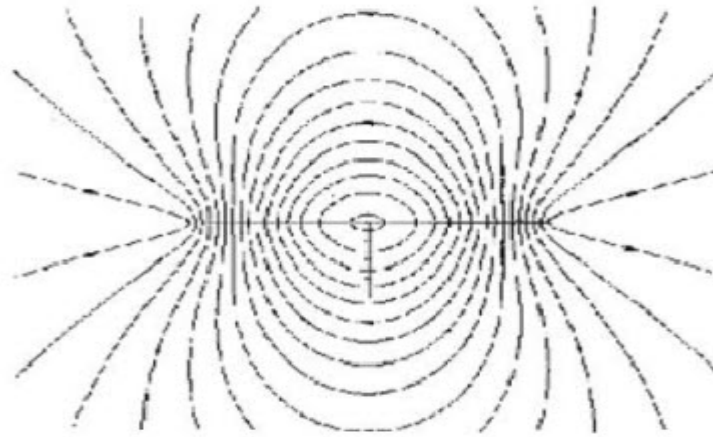


Figure I.2: Lignes de champs produites par une antenne demi-onde. [1]

D_{se} est le diamètre de la surface équivalente de l'antenne et r la distance à l'antenne.

Les physiciens ont défini plusieurs zones autour de l'antenne (voir Figure I.3)

II.4.1 Zone de Rayleigh

Dans cette zone de champ proche (ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur. A courte distance (par rapport à la longueur d'onde) pour $r < \frac{D_{se}^2}{2\lambda}$ la densité de puissance est quasi constante (tube d'énergie).

Les champs varient peu en fonction de la distance mais ils sont très complexes à analyser. [1]

I.4.2 Zone de Fresnel :

Elle se situe entre les deux extrêmes. Ici les champs varient avec de fortes oscillations.

Dans cette zone

$$\frac{D_{se}^2}{2\lambda} < r < \frac{2D_{se}^2}{2\lambda} : \text{la densité de puissance est fluctuante [1].}$$

I.4.3 Zone de Fraunhofer :

Dans la zone du champ lointain (ou de Fraunhofer), à grande distance par rapport à la longueur d'onde, les champs sont rayonnés sous la forme d'une onde quasiment plane

$$\text{Dans cette zone, } r > \frac{2D_{se}^2}{2\lambda}, \text{ la densité de puissance décroît en } \frac{1}{r}.$$

Quel que soit le type d'antenne, on obtient invariablement des champs dont les expressions mathématiques indiquent des variations en $\frac{1}{r}$, $\frac{1}{r^2}$ et $\frac{1}{r^3}$. On interprète ces variations des champs selon la distance comme [1]:

- ♦ les termes en $\frac{1}{r}$ correspondent au rayonnement.
- ♦ les termes en $\frac{1}{r^2}$ de E sont reliés à l'induction.
- ♦ les termes en $\frac{1}{r^3}$ de E et en $\frac{1}{r^2}$ de H proviennent de l'électrostatique.

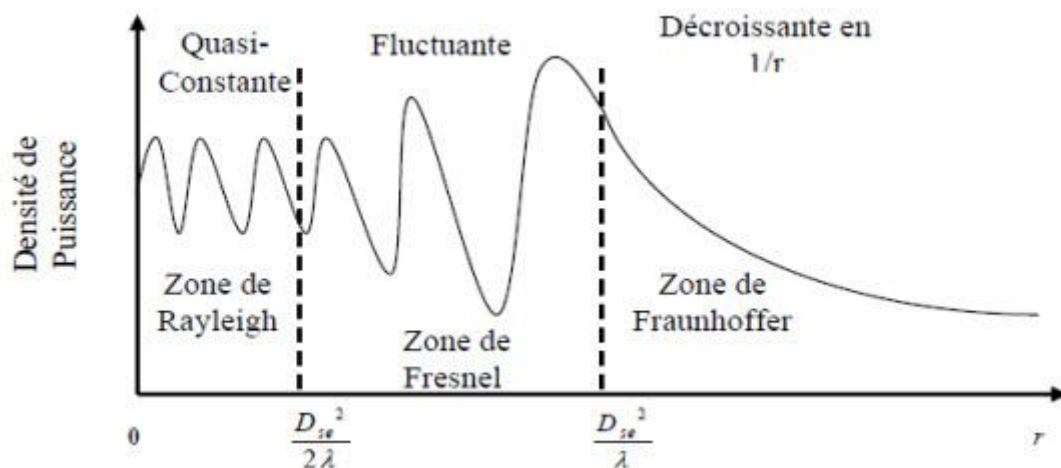


Figure I.3 : La densité de puissance rayonnée par l'antenne [1].

Donc l'espace environnant d'une antenne est divisé en trois parties qui sont présentées dans Figure I.4 suivante [1] :

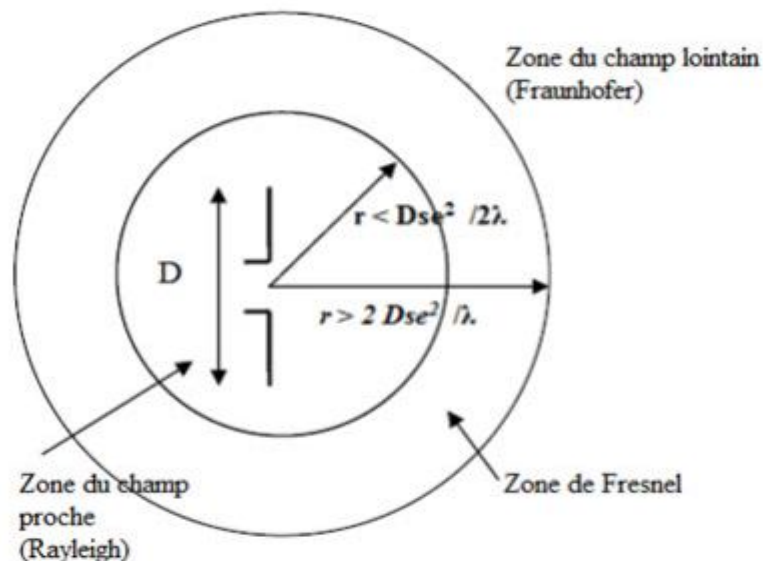


Figure I.4: Limite des 3 zones de rayonnement [1].

I.5 Les paramètres de l'antenne :

I.5.1 L'impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée d'une antenne est définie comme le rapport entre la tension et le courant aux terminaux de l'antenne ou comme le rapport entre les composantes appropriées des champs électriques et magnétiques. L'expression de l'impédance d'entrée d'une antenne Z_{ant} se décompose en une partie réelle R_{ant} et une partie imaginaire X_{ant} et s'écrit comme suit :

$$Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant} \quad (I.1)$$

Z_{ant} : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

La partie réelle de l'impédance R_{ant} regroupe une partie due aux pertes ohmiques et diélectriques des matériaux et la résistance de rayonnement de l'antenne et elle s'écrit comme suit :

$$R_{ant} = R_{pertes} + R_{ray} \quad (I.2)$$

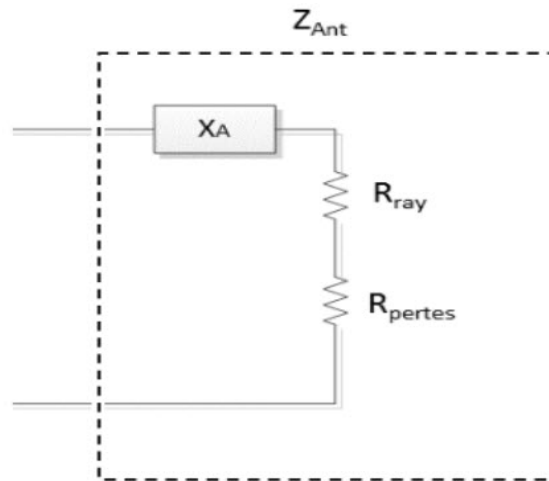


Figure I.5: Représentation de l'impédance de l'antenne[3].

Pour s'assurer que la puissance a été transférée de l'alimentation vers l'antenne, il est nécessaire d'avoir une adaptation d'impédance. Le transfert maximal de puissance est obtenu lorsque l'impédance de l'alimentation est égale à l'impédance conjuguée de l'antenne et comme S_{11} est fonction de la fréquence alors Z_{ant} varie aussi avec la fréquence. Cette impédance d'entrée en fonction de S_{11} est donnée par la formule [3] :

$$Z_{ant} = Z_c \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (I.3)$$

I.5.2 Le coefficient de réflexion et la bande passante :

Le coefficient de réflexion d'une antenne représente le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies.

Pour une antenne d'impédance Z_{ant} , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_c , le coefficient de réflexion peut être défini comme suite :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \quad (I.4)$$

Avec : $Z_c = 500\Omega$

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|S_{11}|$ et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20\log(S_{11}) \quad (I.5)$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.

La largeur de bande ou bande passante en adaptation d'une antenne peut être définie comme une bande de fréquences pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil donné. Elle peut être définie comme correspondant à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est supérieur à un seuil.

On déduit souvent la bande passante d'une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion.

$$BP = \Delta F = F_1 - F_2 \quad (I.6)$$

On peut avoir la bande passante à partir critère typique de la représentation de coefficient de réflexion sur une droite inférieure à -10 dB ou à -15 dB. La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante à -10 dB[3].

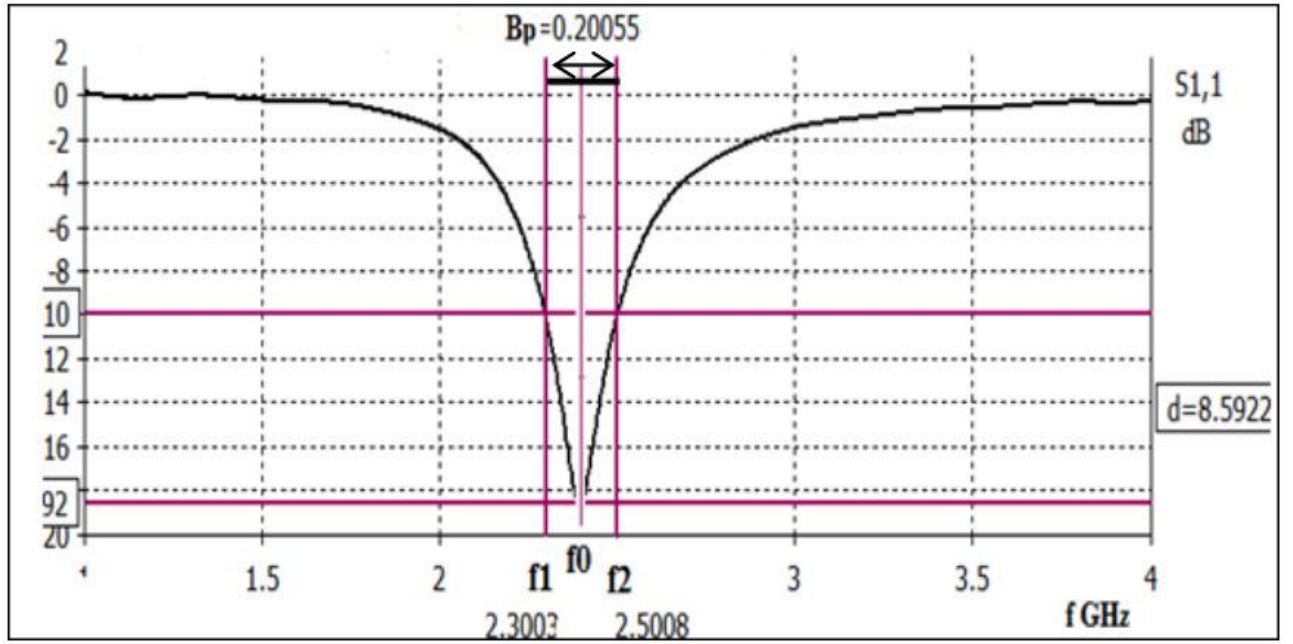


Figure I.6: Exemple $|S_{11}|$ d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante à -10dB [3].

I.5.3 La directivité :

Elle indique les directions dans lesquelles la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope, elle est égale au rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, Φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle pour une même puissance totale rayonnée.

$$D(\theta, \Phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \Phi)}{\eta P_a} \quad (\text{I. 7})$$

On dira donc qu'une antenne fortement directive quand l'antenne admet une faible ouverture de rayonnement, et qu'une antenne faiblement directive admet une large ouverture de rayonnement [4].

I.5.4 Le gain :

D'une façon générale, une antenne rayonne une puissance qui varie en fonction de la direction considérée. On appelle gain $G(\theta, \Phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, Φ) , le rapport de la puissance $P(\theta, \Phi)$ dans cette direction à la puissance $P_0(\theta, \Phi)$ que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation, il est donné par la relation [4]:

$$G(\theta, \Phi) = \frac{P(\theta, \Phi)}{P_0(\theta, \Phi)} = 4\pi \frac{P(\theta, \Phi)}{P_a} \quad (\text{I. 8})$$

P_a : la puissance d'alimentation.

Le gain et la directivité sont liés par l'équation suivante :

$$G(\theta, \Phi) = \eta D(\theta, \Phi) \quad (I.9)$$

I.5.5 La polarisation d'une antenne :

La polarisation est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique. La polarisation est en général décrite par une ellipse. La polarisation linéaire et la polarisation circulaire sont deux cas spéciaux de polarisation elliptique. La polarisation initiale d'une onde radio est déterminée par l'antenne.

Avec la polarisation linéaire, le vecteur de champ électrique reste tout le temps dans le même plan. Le champ électrique peut laisser l'antenne dans une orientation verticale, une orientation horizontale ou dans un angle entre les deux. Le rayonnement verticalement polarisé est légèrement moins affecté par des réflexions dans le chemin de transmission et l'angle de rayonnement plus bas.

Les antennes omnidirectionnelles ont toujours une polarisation verticale. Avec la polarisation horizontale, de telles réflexions causent des variations dans la force du signal reçu. Les antennes horizontales sont moins sensibles aux interférences causées par les humains, car celles-ci sont généralement polarisées verticalement [5].

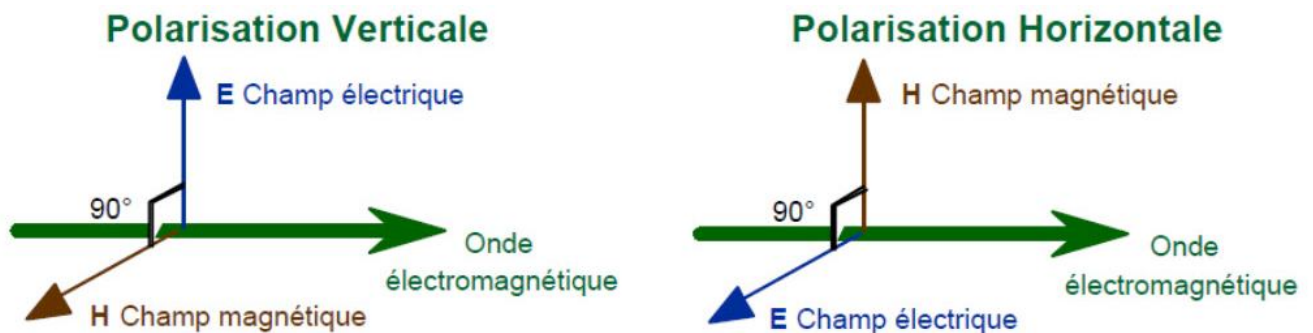


Figure I.7: Représentation de la polarisation verticale et horizontale [5].

I.5.6 Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement est une représentation de la façon dont l'antenne collecte ou rayonne l'énergie électromagnétique dans l'espace. La direction du maximum de rayonnement est appelée l'axe de rayonnement de l'antenne.

La représentation de cette fonction donne les caractéristiques du rayonnement dans l'espace. Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : le plan E et le plan H. Le plan E est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique, le plan H est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique [5].

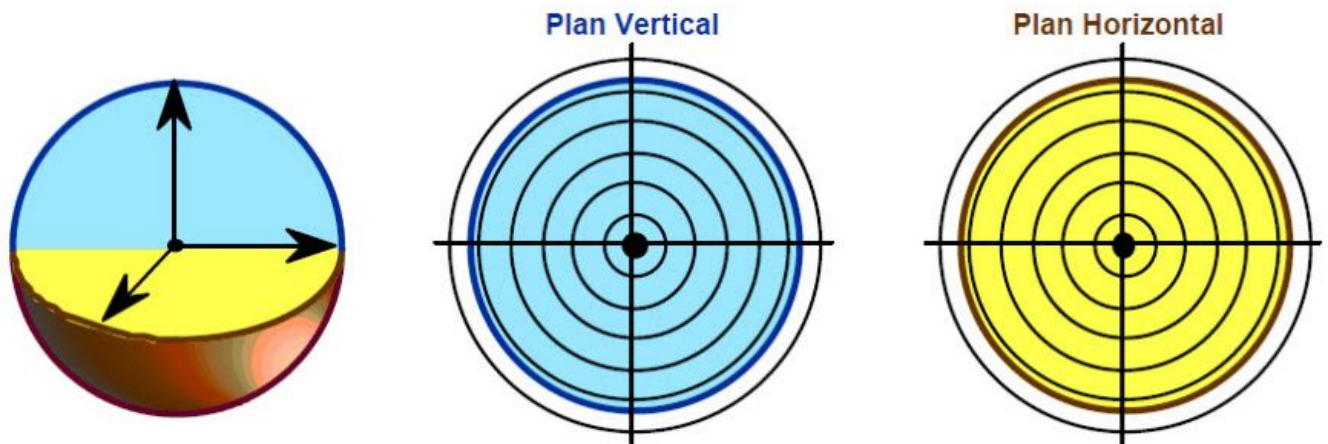


Figure I.8: Représentation de diagramme de rayonnement 3D, E et H [5].

I.5.7 L'angle d'ouverture :

L'angle d'ouverture est défini comme l'angle entre les directions où le gain est inférieur de 3dB au gain maximal. Ou bien elle est définie comme l'angle existant entre les points dont la densité de puissance de rayonnement est égale la moitié de la puissance de rayonnement maximum. C'est donc une séparation angulaire correspondant à une atténuation de 3 dB sur le diagramme de rayonnement, comme le montre Figure I.9 [5].

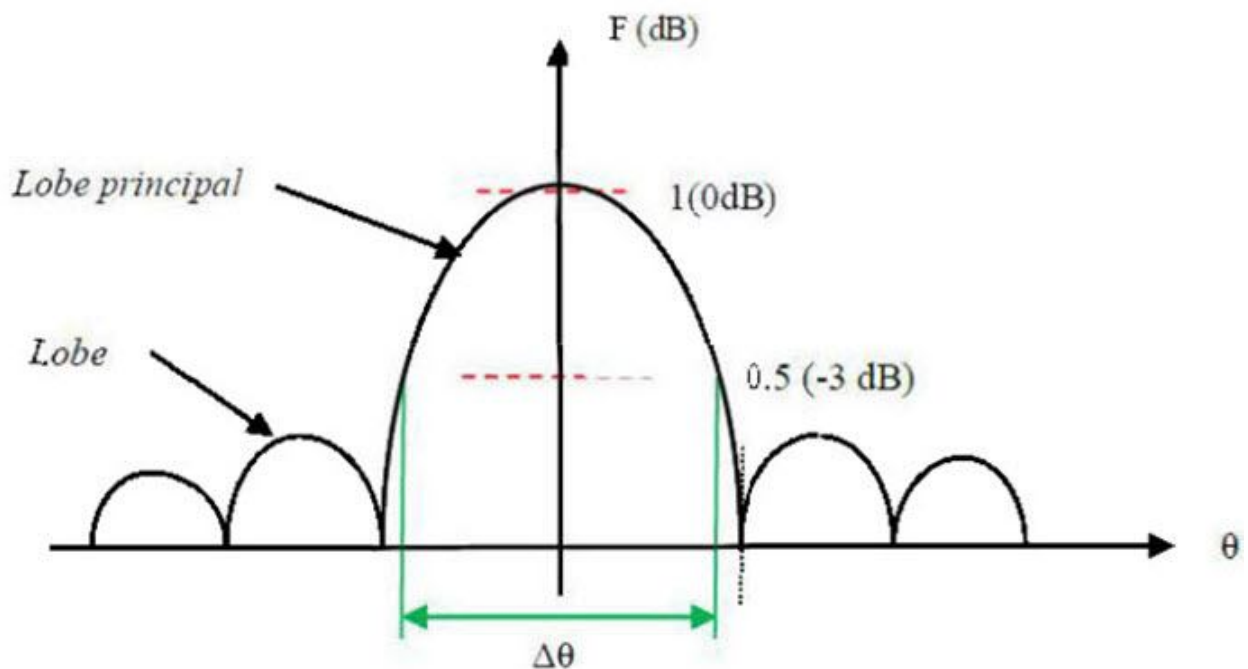


Figure I.9: Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes [6].

$\Delta\theta$ représente l'angle d'ouverture. Lorsque l'antenne présente un lobe principal assez fin, la plus grande partie de la puissance rayonnée se trouve à l'intérieur des deux directions (-3dB). Autrement dit, $\Delta\theta$ nous donne plus de renseignements sur la finesse du lobe et la qualité du rayonnement.

Cette donnée ne s'applique généralement qu'aux antennes directives présentant un lobe principal de rayonnement. L'angle d'ouverture est une donnée importante pour les antennes très directives utilisées dans des liaisons point à point ou alors dans la mise en œuvre d'antennes sectorielles au niveau des stations de base des réseaux de téléphonie sans fil [7].

I.5.8 Rendement :

Pour une antenne donnée, la puissance rayonnée P est généralement inférieure à la puissance d'alimentation P_a , le rendement d'une antenne est alors défini comme étant le rapport de la puissance totale P qu'elle rayonne à sa puissance d'alimentation P_a . On la note η [8]:

$$\eta = \frac{P}{P_a} \quad (\text{I.10})$$

Et avec d'autre définition le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle que lui fournit l'alimentation. Elle est exprimée par [9]:

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (\text{I.11})$$

R_r : Résistance liée à son rayonnement.

R_p : Résistance liée aux pertes de l'antenne.

I.6 Les différents types d'antenne :

Afin de comprendre comment s'effectue cette transformation entre la puissance guidée et la puissance rayonnée, nous allons présenter un certain nombre d'antennes.

Elles sont classées ici selon un ordre qui suit approximativement leur chronologie d'apparition. Il n'est pas question dans ce paragraphe de présenter tous les types d'antennes, mais d'en introduire certains des plus utilisés.

En conclusion, nous aboutirons à un classement des antennes selon le type de la source rayonnante qui apparaîtra soit comme un courant électrique, soit comme une surface caractérisée par un champ électrique [10].

I.6.1 Antenne dipolaire :

L'antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts et reliés chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire (Figure I.10). En émission, cette ligne est reliée à

un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle, les courants sont dans le même sens. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace. Étant donnée la symétrie du dipôle, le rayonnement s'effectue autour de l'axe, matérialisé par le fil. Il est isotrope dans un plan perpendiculaire à cet axe. Le rayonnement est nul dans la direction du fil. On ne peut donc pas parler d'un rayonnement isotrope .

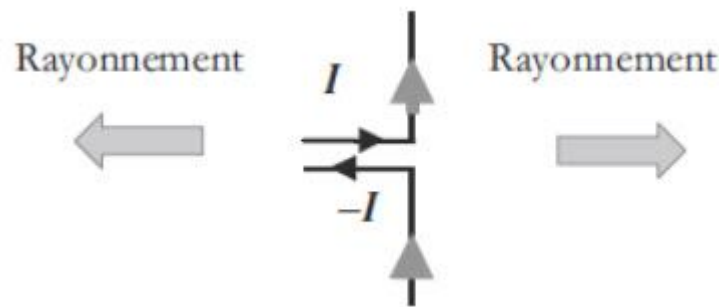


Figure I.10: Antenne dipolaire .

À l'extrémité de chaque fil apparaissent des charges de signes opposées dont l'existence s'explique par la conservation de la charge. En effet, la relation de conservation suivante lie les charges au courant :

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (\text{I.12})$$

D'autres antennes de même type sont obtenues avec des fils rayonnants plus longs.

Ces antennes de type filaires ont de nombreuses applications. Citons rapidement les antennes pour récepteurs radio, les antennes des talkies-walkies, etc.

I.6.2 Antenne à boucle magnétique :

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même (Figure I.11). La boucle est ainsi branchée sur une ligne bifilaire reliée au générateur.

Le rayonnement, à grande distance, est maximal dans le plan de la boucle et s'effectue de façon radiale. Le courant circulant dans le fil crée un champ magnétique qui se propage. Sa variation engendre le champ électrique associé, d'où le rayonnement électromagnétique associé.

En champ lointain, les boucles magnétiques ont été très utilisées pour les récepteurs de grandes

ondes radio sous forme d'un cadre sur lequel étaient enroulées plusieurs spires de fil. En champ proche, on les utilise dans tous les dispositifs RFID (identification radio fréquence). Les cartes à puce sans contact sont munies de ce type d'antenne, incluse dans le support plastique. Les détecteurs d'objets métalliques sont aussi des boucles magnétiques sensibles au champ magnétique [10].

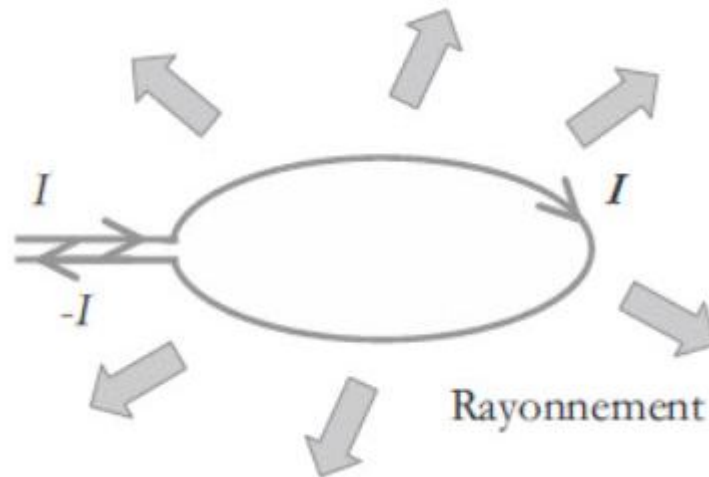


Figure I.11: Boucle magnétique [10].

I.6.3 Antenne cornet :

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente, pour cette raison son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (Figure I.12). Sa forme permet dépasser graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique.

Les transitions présentent des formes variées : linéaires, exponentielles... etc

Le cornet sert de dispositif d'adaptation entre l'impédance du cornet et celle du vide.

De façon très naturelle, le rayonnement a lieu dans l'axe du guide d'onde. Cette antenne est plus directive que les précédentes, dans la mesure où la puissance n'est émise que dans une région de l'espace limitée.

Le guide d'onde est un dispositif hyperfréquence très utilisé du fait des pertes très faibles engendrées par la propagation dans celui-ci, même à hautes fréquences et de sa capacité à supporter de la puissance. Les antennes cornets qui lui sont associées sont donc aussi très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée en onde rayonnée. On les retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes satellites... etc [10].

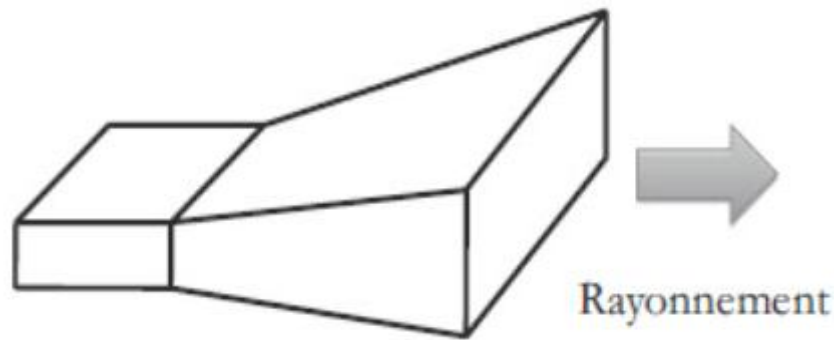


Figure I.12: Antenne cornet [10].

I.6.4 Antenne à réseau de fentes :

Toujours en utilisant le guide d'onde comme dispositif de transmission, il est possible d'envisager un rayonnement dans une direction différente de l'axe du guide, en utilisant des fentes dans le corps du guide (Figure I.13)

Le rayonnement s'effectue alors perpendiculairement au plan troué du guide.

Ce type de dispositif est utilisé lorsque le rayonnement doit être localisé. Par exemple, dans des tunnels, où la transmission des ondes s'effectue mal, on peut placer un réseau de fentes rayonnantes. En général la ligne est en haut du tunnel avec émission vers le bas [10].

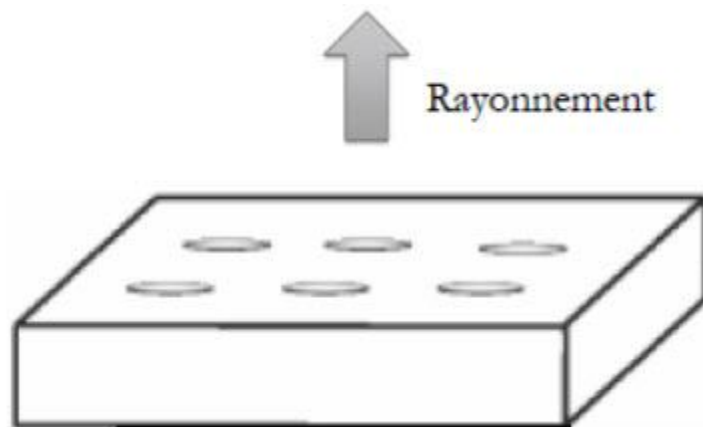


Figure I.13 : Réseau de fentes [10].

I.6.5 Antenne à réflecteur parabolique :

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réfléchissante, souvent de forme parabolique (Figure I.14).

La source, placée au foyer de la parabole envoie l'onde vers le réflecteur parabolique. Selon la

propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement. Ce type d'antenne est utilisé pour viser dans une direction très précise, puisque tous les rayons passant par le foyer sortent parallèles. Par décalage de la source dans le plan focal, les rayons parallèles à la sortie du réflecteur, peuvent présenter une inclinaison par rapport à l'axe de la parabole.

Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance. Les antennes de ce type sont très répandues pour la réception de la télévision.

Leur orientation est choisie de façon à viser un satellite particulier.

Afin d'éviter les perturbations par la pluie ou la neige, ces antennes sont souvent recouvertes d'un radôme. C'est le cas des antennes très exposées aux conditions climatiques, utilisées pour les transmissions hertziennes. Elles sont reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer [10].

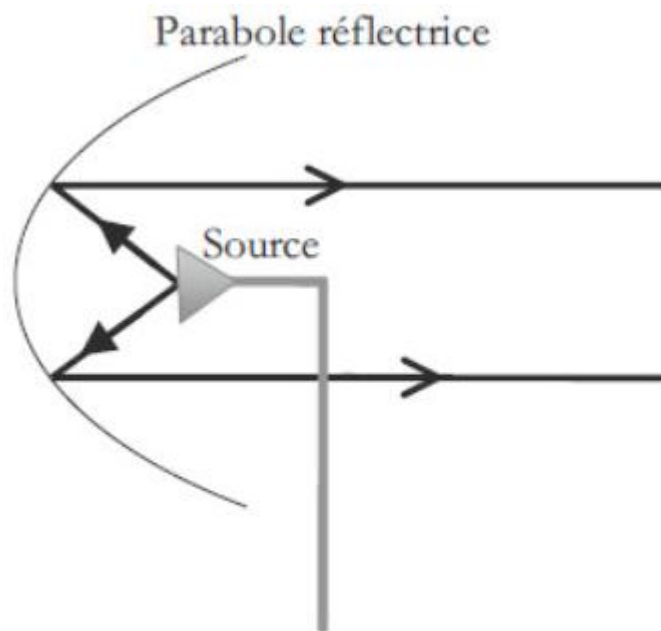


Figure I.14 : Antenne à réflecteur parabolique [10].

I.6.6 Antennes de type Cassegrain :

Une variante des antennes précédentes consiste à utiliser un réflecteur principal et un réflecteur secondaire, comme dans le montage Cassegrain (Figure I.15).

Ce nom provient du télescope du même nom reposant sur le même principe.

Les rayons issus de la source se réfléchissent sur un premier réflecteur de forme hyperbolique, puis sur le réflecteur principal de forme parabolique. Les rayons ressortent parallèlement. La propriété de l'antenne parabolique est ainsi conservée. L'intérêt de ce type d'antenne est d'être moins sensible aux parasites provenant de l'extérieur de la parabole. De plus, les câbles reliant la source à l'électronique sont plus courts que dans les systèmes d'alimentation d'une antenne parabolique. La qualité du signal s'en

trouve améliorée [10].

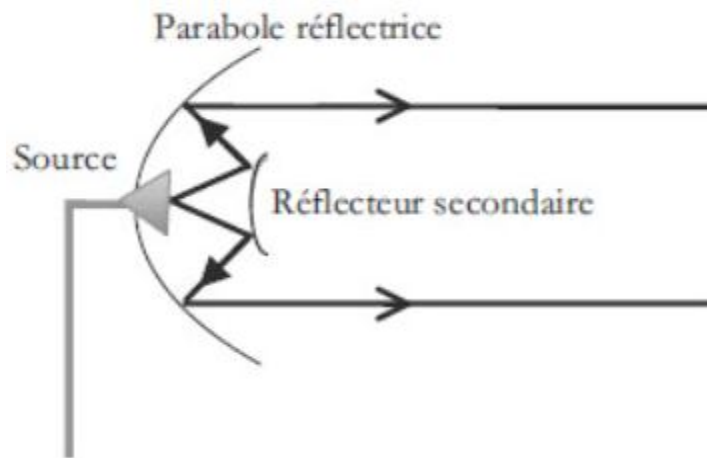


Figure I.15 : Antenne à réflecteur parabolique [10].

I.6.7 Antenne Imprimée :

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique (Figure I.16). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban.

Elle présente l'avantage du poids sur certaines antennes décrites précédemment.

Les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception [10].

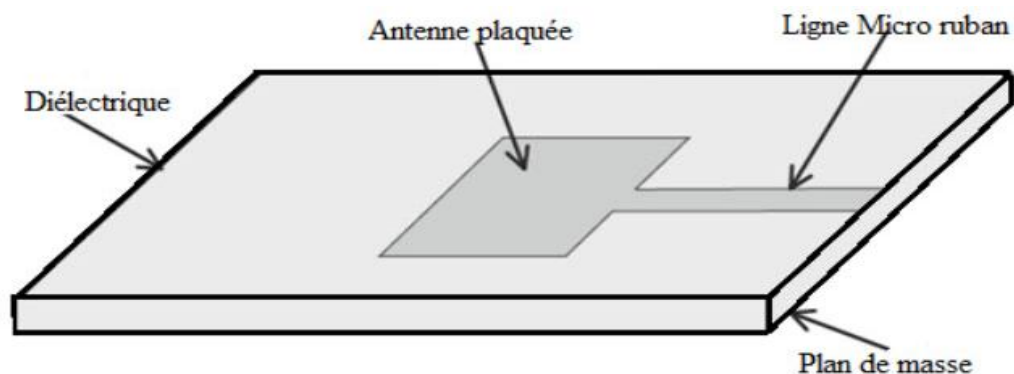


Figure I.16: Antenne Imprimée [10].

I.6.8 Antenne active :

Les progrès réalisés sur la fabrication des antennes plaquées, rendent possible le report d'un circuit actif sur l'antenne. L'antenne a des fonctions qui dépassent son rôle simple de transformateur d'énergie. Selon les fonctions électroniques adjointes, on obtient un dispositif complexe. On parle ainsi d'antennes intelligentes si le dispositif a une partie de contrôle et de commande [10] .

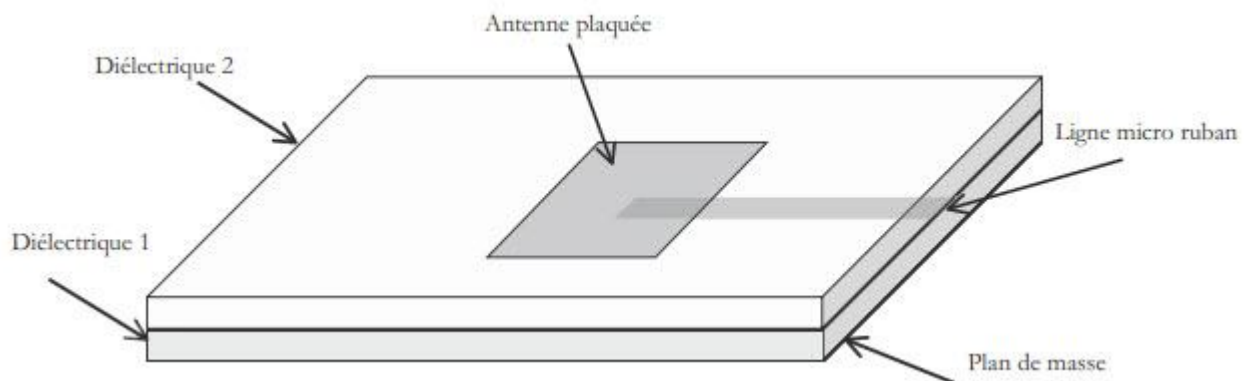


Figure I.17: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique [10].

Les applications des antennes actives sont très variées. Elles sont utilisées pour des tâches nécessitant :

- ✓ de la commutation,
- ✓ du déphasage dans les réseaux d'antennes,
- ✓ de l'amplification (de puissance à l'émission ou faible bruit à la réception)
- ✓ de l'agilité en fréquence, etc.

On distingue les antennes actives intégrées des antennes hybrides sur lesquelles des composants sont reportés. L'intérêt actuel porte toutefois sur les antennes intégrées, pour lesquelles l'antenne est au plus près du circuit intégré car réalisée en même temps, sur le même support.

Il existe d'autres types d'antennes qui seront vus dans la suite. Ce n'est ici qu'une introduction à leurs principes de fonctionnement [10] .

I.7 Conclusion :

Les antennes ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées. Plusieurs techniques existent pour les réaliser. Alors, pour assurer un bon fonctionnement, il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée.

Après ce chapitre, on présente des généralités sur les antennes imprimées qui vont être détaillées dans le chapitre suivant.

Chapitre

II

Généralités sur les antennes imprimées

II-1 Introduction :

Les antennes micro rubans (imprimées, à élément rayonnant, plaquées, ou même patch ou microstrip en anglais) sont apparues dans les années cinquante et ont été développées au cours des années soixante dix. Cependant plusieurs recherches ont été menées pour arriver à une antenne microruban optimale pouvant répondre aux exigences de l'industrie des télécommunications pour des applications aéronautiques, aérospatiales et militaires. Ce type d'antennes s'adapte facilement aux surfaces planes et non planes et présentent une grande robustesse et flexibilité lorsqu'il est monté sur des surfaces rigides. Les antennes imprimées sont également très performant en termes de résonance, d'impédance d'entrée et de diagramme de rayonnement. Les inconvénients majeurs des antennes microrubans résident dans leur faible pureté de polarisation et une bande passante étroite.

Ce chapitre résume des généralités sur les antennes micro rubans et leur fonctionnement et des définitions des éléments constitutifs de l'antenne patch et les contraintes qui peuvent agir sur ces derniers. Nous avons mis le point sur l'antenne microruban avec un patch de forme rectangulaire, son fonctionnement et ses caractéristiques de rayonnement et de fabrication. L'influence du phénomène des ondes de surface sur le rayonnement de l'antenne micro ruban est éclaircie aussi.

II.2 Choix de la technologie des antennes imprimées :

Actuellement, les antennes imprimées deviennent de plus en plus importantes en raison de la grande variété des formes géométriques qu'elles peuvent prendre et qui les rendent applicables aux différentes situations d'intégration [11] .

Parmi les avantages de cette technologie d'antennes, on peut citer entre autres:

- ✓ Faible poids, encombrement réduit, faible profile et structure plane.
- ✓ S'adapte facilement aux surfaces planes et non planes.
- ✓ Facile à fabriquer en masse en utilisant les techniques des circuits imprimés dont le faible coût.
- ✓ Facile à intégrer avec les circuits MMICs (Un circuit intégré monolithique hyperfréquence ou MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) est un type de circuit intégré fonctionnant aux fréquences radio intermédiaires entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion dites « microrubans » (de 300 MHz à 300 GHz)) sur un même substrat.
- ✓ Polarisation linéaire et circulaire possibles.
- ✓ Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.
- ✓ Antennes multibandes multipolarisations possibles.

Toutefois, elle présente certains inconvénients limitant son efficacité à savoir:

- ✓ Bande passante étroite.
- ✓ Faible gain.
- ✓ Supporte uniquement des faibles puissances.
- ✓ Faible efficacité de rayonnement.
- ✓ Faible pureté de polarisation.

Pour y remédier à ces inconvénients plusieurs travaux de recherches ont été menés et ont abouti à des progrès considérables améliorant les performances de ces antennes [12].

II.3 Description des antennes micro rubans :

Les antennes micro rubans, construites par la technique des circuits imprimés, ont en général des bandes de fréquence étroites dans leur structure de base. L'antenne micro ruban est représentée dans la Figure II.1 , est constituée d'un mince conducteur métallique (habituellement de 17,5 à 35 μm d'épaisseur en hyperfréquence et 9 μm en millimétrique) de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposé sur un substrat épais utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par l'effet joule et amélioré la bande passante de l'antenne, la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse.

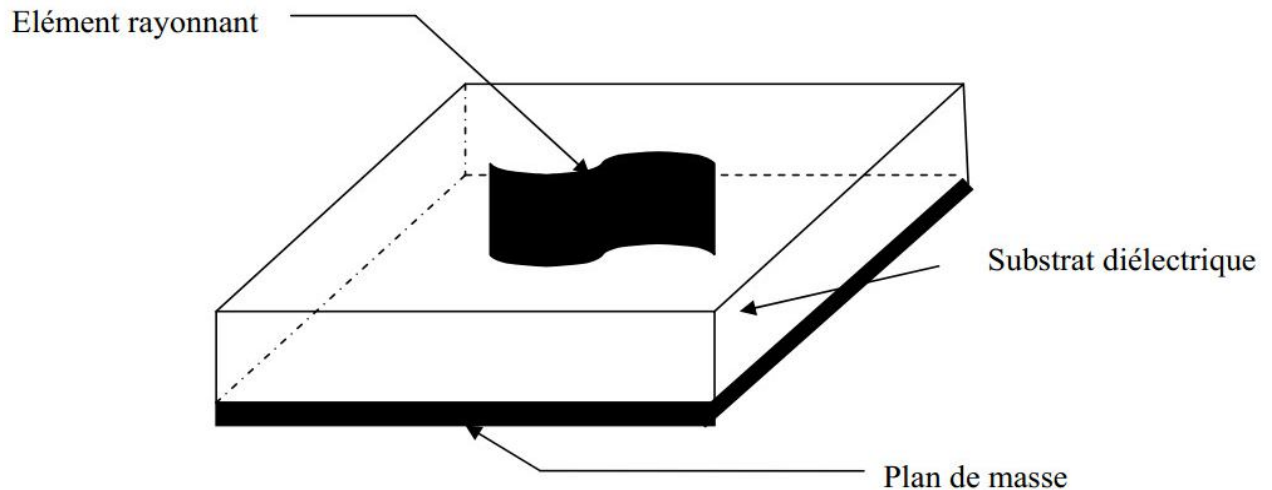


Figure II.1: Présentation d'une antenne micro ruban [13].

En pratique, les formes des éléments rayonnants les plus utilisés sont montrés sur la Figure II.2, leurs dimensions sont faibles de l'ordre de $\lambda/2$ à λ .

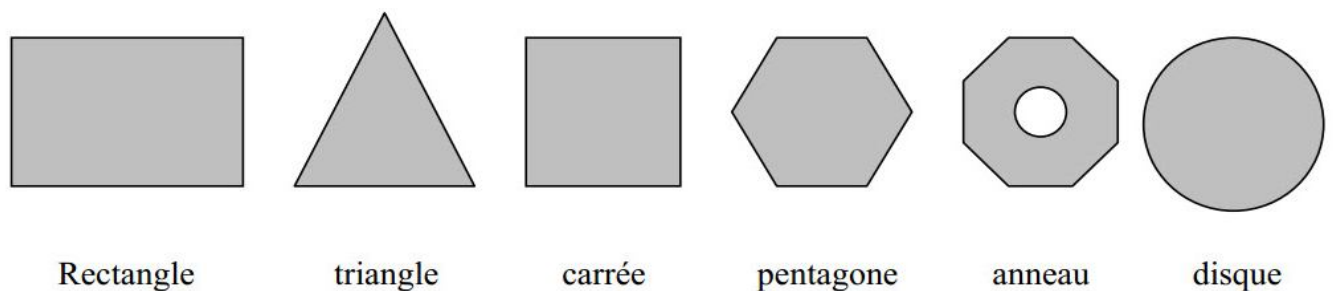


Figure II.2: Divers types d'éléments rayonnants [13].

Parmi toutes les formes des éléments rayonnants, le rectangle est le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes micro rubans [13].

II-4 Description des éléments constitutifs d'une antenne micro ruban :

Une antenne micro ruban est constituée d'une couche métallique d'épaisseur très fine (très inférieure à la longueur d'onde dans le vide λ_0) placée sur un plan de masse métallique à une hauteur proportionnelle à la longueur d'onde comprise entre $0.003 \lambda_0$ et $0.05 \lambda_0$, et séparée par un substrat mince en matériau isolant, généralement " un diélectrique " [14].

I-4-a Les couches métalliques :

La métallisation dans les circuits micro rubans peut être réalisée de deux manières fondamentalement différentes :

- Par la technique de la sérigraphie : elle est utilisée pour des couches épaisses et consiste à déposer une pâte métallique sur la région que l'on souhaite recouvrir, à travers un masque définissant le circuit à réaliser. Cette méthode ne fournit en général pas une résolution suffisante aux hyperfréquences.

- Par des procédés photo lithographiques : ils sont utilisés en hyperfréquences pour l'obtention de couches minces. Le métal recouvrant entièrement la face du substrat est recouvert d'une couche photosensible, que l'on expose à la lumière à travers le masque du circuit à réaliser après quoi une attaque chimique enlève le métal non désiré dans les régions exposées.

La couche inférieure de l'antenne imprimée joue le rôle d'un plan de masse parfaitement réflecteur, elle est souvent métallique et réalisée avec de très bon conducteurs : le cuivre ($\sigma = 5.7 * 10^7 S/m$), l'argent ($\sigma = 6.2 * 10^7 S/m$), et l'or ($\sigma = 4.1 * 10^7 S/m$), telle que σ représente la conductivité électrique du matériau.

La couche supérieure peut comporter un ou plusieurs éléments métalliques qui s'appellent "éléments rayonnants, pavés, plaques rayonnantes ou patches en anglais", son rôle principal consiste à rayonner l'énergie. Physiquement le patch est un conducteur mince (son épaisseur est souvent négligeable car elle est de l'ordre de quelques microns), et dans la plupart des applications pratiques il est de forme rectangulaire ou circulaire, mais en général d'autres géométries sont possibles à tester, dont la forme triangulaire.

Les matériaux les plus utilisés pour la réalisation des patches sont généralement le cuivre, l'argent et l'or, mais d'autres matériaux et polymères conducteurs sont actuellement en étude.

Les supraconducteurs ont prouvés une grande performance. H.Rmili a prouvé aussi la faisabilité de réaliser une antenne imprimée avec un patch en polyaniline (ou pani) [14] .

II-4-b Le substrat :

La couche intermédiaire est le substrat diélectrique, son importance réside dans son influence directe sur la fréquence de résonance, la bande passante, et par conséquent le rayonnement de l'antenne, car une bonne partie des ondes susceptibles de se propager est retournée dans ce dernier, il s'agit des ondes guidées. La sélection du matériau du substrat est basée sur les caractéristiques désirées de ce dernier pour des performances optimales selon la spécification et les classes des fréquences.

Les substrats doivent être de permittivité relative faible ($\epsilon_r \leq 3$) de façon à permettre le rayonnement, et éviter le confinement des champs. La classe des valeurs de la constante diélectrique du substrat s'étale de 2.2 à 12 pour opérer aux fréquences allant de 1 à 100 GHz, et les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de téflon ($2 \leq \epsilon_r \leq 3$, et, $\tan \delta \approx 10^{-3}$ où $\tan \delta$ représente les pertes

diélectriques (Dielectric loss en anglais)), du polypropylène ($\epsilon_r = 2.18$, *et*, $\tan \delta \approx 3 * 10^{-4}$), ainsi que des mousses synthétiques contenant beaucoup de minuscules poches d'air ($\epsilon_r = 10.3$, *et*, $\tan \delta \approx 10^{-3}$).

Actuellement les cristaux photoniques sont les plus favorisés pour les antennes imprimées et même pour d'autres applications en micro ondes, plusieurs travaux ont été menés et publiés dans ce sens. En 2002 Keith huie [I.10], a approuvé que les antennes avec substrat contenant des cristaux photoniques ou une structure composite, puissent réduire les ondes de surfaces et interdisent la formation des modes du substrat, et conduisent à réduire les lobes secondaires.

Les matériaux Chiraux et le milieu bianisotropique généralisé sont récemment utilisés pour les antennes imprimées et présentent certaines propriétés intéressantes et utiles, tel que l'amélioration de la directivité et la largeur de bande, le transfert de fréquences, le contrôle du modèle de radiation, et la réduction du volume de l'antenne pour une fréquence d'opération donnée. L'épaisseur du substrat est d'une importance considérable pour l'antenne micro ruban, car la meilleure et directe opération utilisée pour améliorer la largeur de bande, est d'utiliser un substrat plus épais avec une constante diélectrique plus petite. Nous allons approuver par la suite l'efficacité de cette solution et ses limites [14] .

II.5 Fonctionnement d'une antenne micro ruban :

Dans son fonctionnement usuel, une antenne imprimée sur substrat diélectrique peut être considérée en première approximation comme une cavité résonante imparfaite, présentant des murs magnétiques verticaux à pertes et des murs électriques horizontaux. Pour des fréquences appelées 'de résonance', cette cavité emmagasine de l'énergie électromagnétique selon un ensemble de modes de type TM_{mn} . Le rayonnement résultant de cette structure se traduit par des pertes qui s'opèrent au niveau des murs magnétiques. Une partie du signal émis est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. La forme et l'orientation des lignes de champs entre les bords de la plaque rayonnante et le plan de masse caractérisent les directions privilégiées du champ rayonné. En général, le mode fondamentale est considéré comme étant le mode de fonctionnement de ce type d'antennes. Ce mode emporte le maximum d'énergie et se caractérise par une répartition du champ électrique en dessous de l'élément rayonnant dont une dimension au moins est égale à une demi-longueur d'onde (figure II.3). Les courants surfaciques qui sont produits sur l'élément métallique sont dirigés selon l'axe de symétrie passant par le point d'excitation [14] .

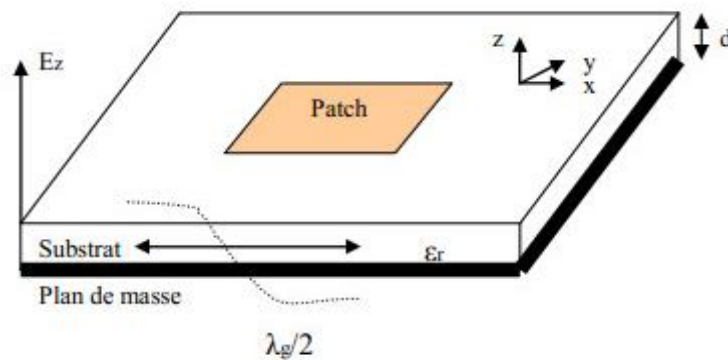


Figure II.3: Antenne imprimée fonctionnant sur son mode fondamental [14] .

II.6 Alimentation des éléments rayonnants :

Les différentes méthodes d'alimentation des antennes imprimées peuvent être regroupées en deux grandes catégories : les alimentations par contact (par : sonde, ligne micro-ruban,...) et les alimentations par proximité (couplage électromagnétique par : ligne, fente,...). La technique utilisée peut modifier de façon importante le fonctionnement de l'antenne [15].

II.6.1 Alimentation par contact :

A. Alimentation par ligne micro ruban :

L'alimentation par ligne micro ruban peut se faire par connexion directe dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément (Figure II.4.a) ou décalé par rapport à cet axe de symétrie (Figure II.4.b) si cela permet une meilleure adaptation d'impédance ; dans ce cas l'alimentation axiale avec une encoche donne de bon résultats (Figure II.4.c) .

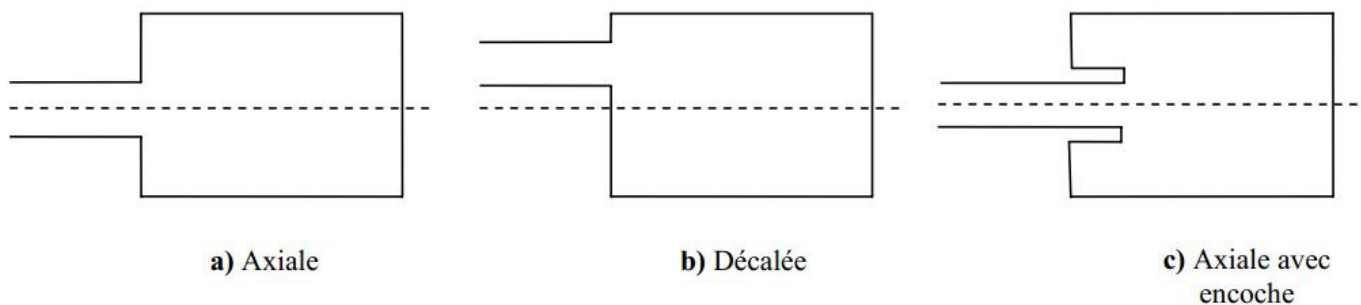


Figure II.4: Alimentation par ligne micro ruban [15].

Cette technique est sans doute l'une des moins coûteuse et des plus facilement réalisable du fait que l'élément rayonnant et sa ligne d'alimentation micro ruban sont imprimés sur la même face du substrat, de plus de sa simplicité de réalisation, cette structure engendre une modélisation relativement simple[15].

Ce type d'alimentation présente les limitations suivantes :

- ✚ Une bande passante étroite.
- ✚ Rayonnement parasite possible du circuit de distribution .
- ✚ Rayonnement parasite de la distribution ligne – aérien.

B. Alimentation par une ligne coaxiale :

L'alimentation des éléments rayonnants peut aussi être effectuée par connexion directe a une ligne coaxiale (Figure II.5) dont le conducteur central est connecté en un point situé sur l'axe de symétrie de l'élément, plus ou moins près du bord, afin d'adapter les impédances, le conducteur extérieur est relié au plan de masse [15].

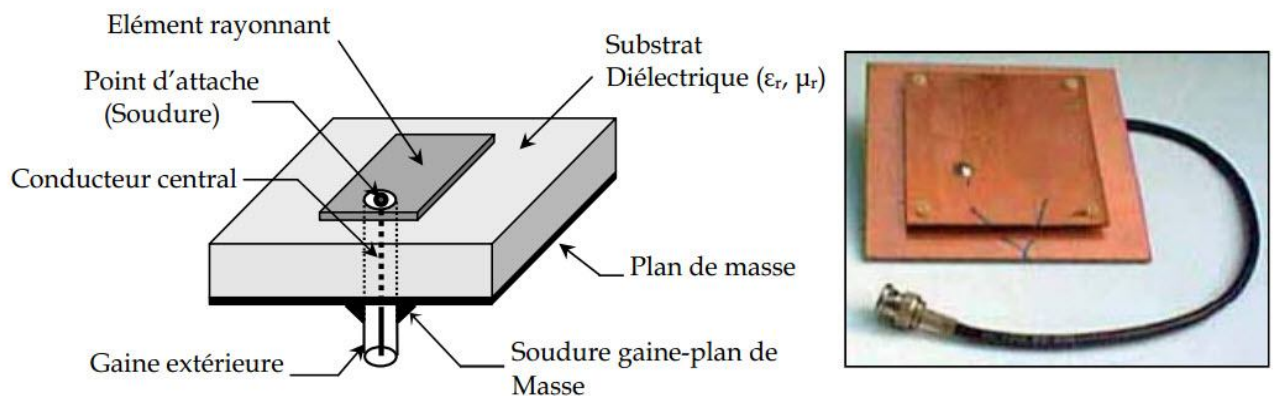


Figure II.5: Excitation par sonde coaxiale [15].

Ce type d'alimentation présente les avantages suivants :

- ✚ Pas de pertes par rayonnement de ligne .
- ✚ Sélection possible d'un mode privilégié .
- ✚ Obtention de l'impédance d'entrée par positionnement de la sonde .
- ✚ Prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats faible hauteur .
- ✚ Technique de perçage simple jusqu'à 10 GHz.

Parmi les inconvénients de ce type d'alimentation on trouve :

- ✚ Rayonnement parasite de la sonde de type monopolaire.
- ✚ Partie selfique ramenée par l'âme du conducteur à prendre en compte .

- ✚ Technique de perçage et de soudure plus délicate .
- ✚ Rapidement cher et compliqué industriellement pour exciter chaque élément d'un réseau à forte directivité.

C. Alimentation mixte par ligne microruban et coaxiale :

La bande métallique de la ligne micro ruban et l'élément rayonnant imprimé sont situés de part et d'autre d'un plan de masse commun dont ils sont séparés par des substrats de permittivités qui peuvent être différentes. Une simple tige métallique relie la bande métallique de la ligne d'alimentation à l'élément rayonnant de l'antenne. Cette structure permet de bien découpler la ligne d'alimentation située au-dessous du plan de masse, de l'antenne située au-dessus[15].

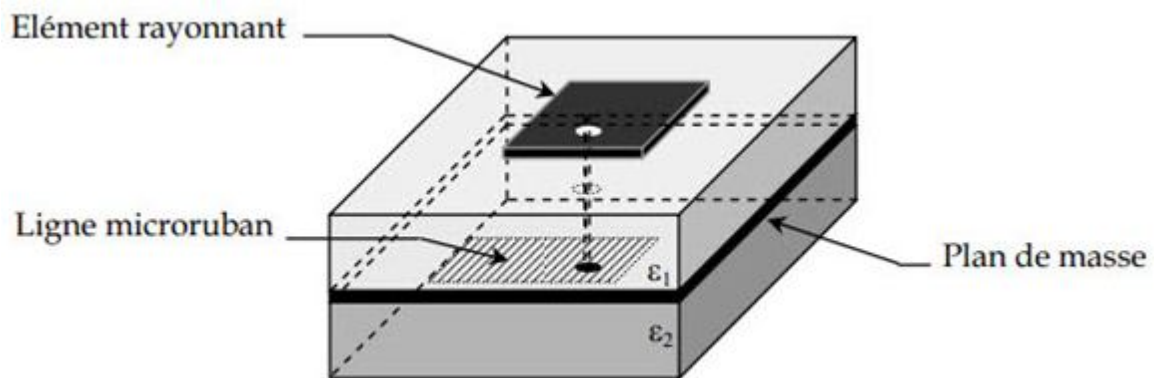


Figure II.6: Alimentation par connexion à une ligne microruban située de l'autre côté du plan de masse [15].

D. Alimentation par fibre optique :

Un des moyens pour franchir les limites des liaisons microrubans métalliques est de les remplacer par des liaisons à fibre optiques. Ce type de liaison présente plusieurs avantages, comme une large bande passante, une forte liaison, une grande immunité au bruit électromagnétique, un faible poids et une taille réduite.

Le concept d'une telle alimentation est le suivant : une diode laser est modulée à l'aide d'une source

microruban, le signal est ensuite couplé au substrat de l'antenne à l'aide d'une fibre optique.

Sur le substrat de l'antenne, une photodiode démodule le signal lumineux et qui sera couplé à l'antenne imprimée par un circuit d'adaptation [15].

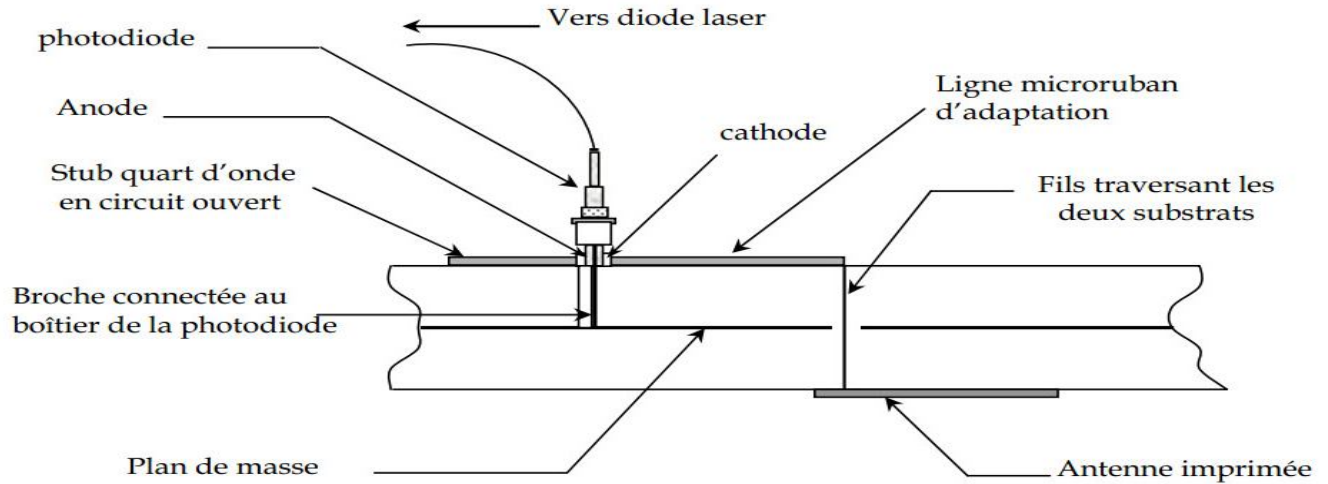


Figure II.7: Alimentation par fibre optique [15].

II.6.2 Alimentation par proximité :

Il existe des alimentations par couplage électromagnétique d'une ligne microruban à l'élément rayonnant.

A. Alimentation ligne microruban en sandwich :

L'élément rayonnant et la bande métallique de ligne d'alimentation sont situés du même côté du plan de masse, et la ligne microruban est prise en sandwich entre deux substrats diélectriques. La source rayonnante est excitée par couplage électromagnétique [15].

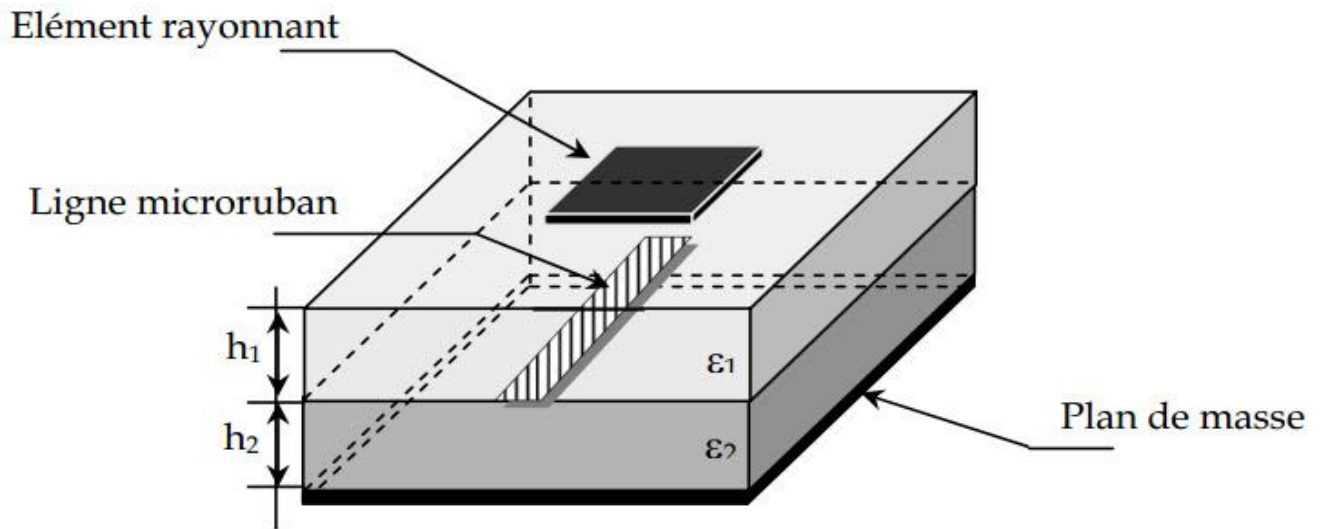


Figure II.8: Alimentation par couplage électromagnétique [15].

Parmi les avantages de ce type d'alimentation, on cite :

- ✚ Bande passante plus large par augmentation de la hauteur ($h_1 + h_2 > h_1$).
- ✚ Dessin du circuit d'alimentation modifiable par rapport aux aériens.

Néanmoins elle présente quelques inconvénients :

- ✚ Rayonnement parasite de la ligne microruban.
- ✚ Difficultés de placage des couches diélectriques.
- ✚ Difficulté pour l'intégration de dispositifs actifs et pour la dissipation de la chaleur.

B. Alimentation par fente :

Dans la structure représentée par la figure II.9, un plan de masse commun sépare la ligne microruban d'alimentation. Située en dessous, de l'élément imprimé, située au-dessus.

C'est par l'intermédiaire de la fente usinée dans le plan de masse que s'effectue le couplage électromagnétique entre l'élément rayonnant et la ligne microruban [15].

Ce type d'alimentation présente les avantages suivants :

- ✚ Réalisation du circuit d'alimentation de distribution et de l'aérien indépendant.
- ✚ Séparation électromagnétique des deux couches.

✚ Possibilité d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente.

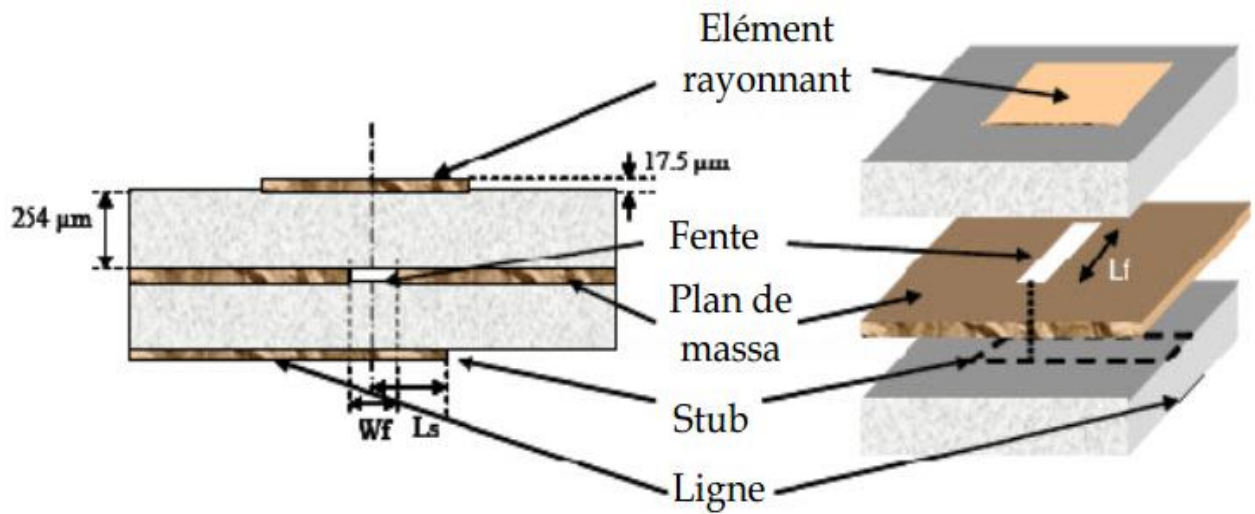


Figure II.9: Alimentation par couplage à une ligne microruban par ligne microruban à travers une fente dans le plan de masse [15].

Néanmoins il présente quelques limitations :

- ✚ Technologie plus coûteuse et complexe (positionnement des deux couches diélectriques, trois faces de métallisation).
- ✚ Intégration sur un support mécanique nécessitant des précautions .
- ✚ Rayonnement arrière parasite de la fente lorsque celle-ci résonne au voisinage de l'élément.

C. Alimentation par ligne microruban en circuit ouvert :

L'alimentation par ligne microruban en circuit ouvert est caractérisée par un procédé technologiquement plus simple; c'est de la gravure, sur la même face, de l'antenne et du circuit d'alimentation.

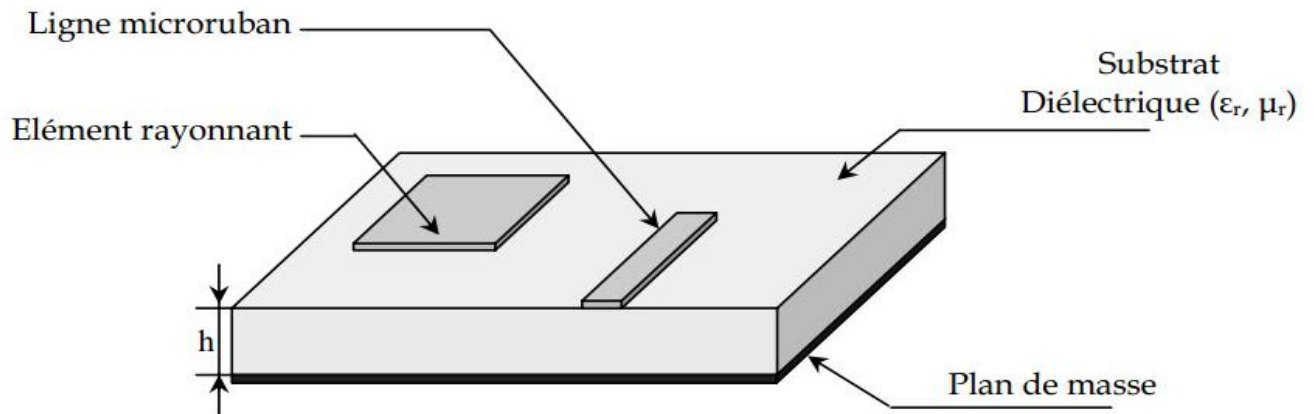


Figure II.10: Alimentation par ligne microruban en circuit ouvert [15].

Cette structure présente l'inconvénient d'ajouter le rayonnement parasite du circuit de distribution à celui de l'antenne et demande un paramétrage du positionnement relatif de la ligne nécessaire pour adapter l'antenne [15].

D. Alimentation par guides d'ondes coplanaires :

L'idée de cette technique consiste à éviter les soudures et les perçages dans le substrat.

Le plan de masse et la ligne d'alimentation se trouvent sur la même face du premier substrat.

Au dessus de cette structure est déposé, un second substrat supportant un élément imprimé placé au niveau des fentes rayonnantes. Ainsi, l'excitation de ce pavé se fera de nouveau par couplage électromagnétique..

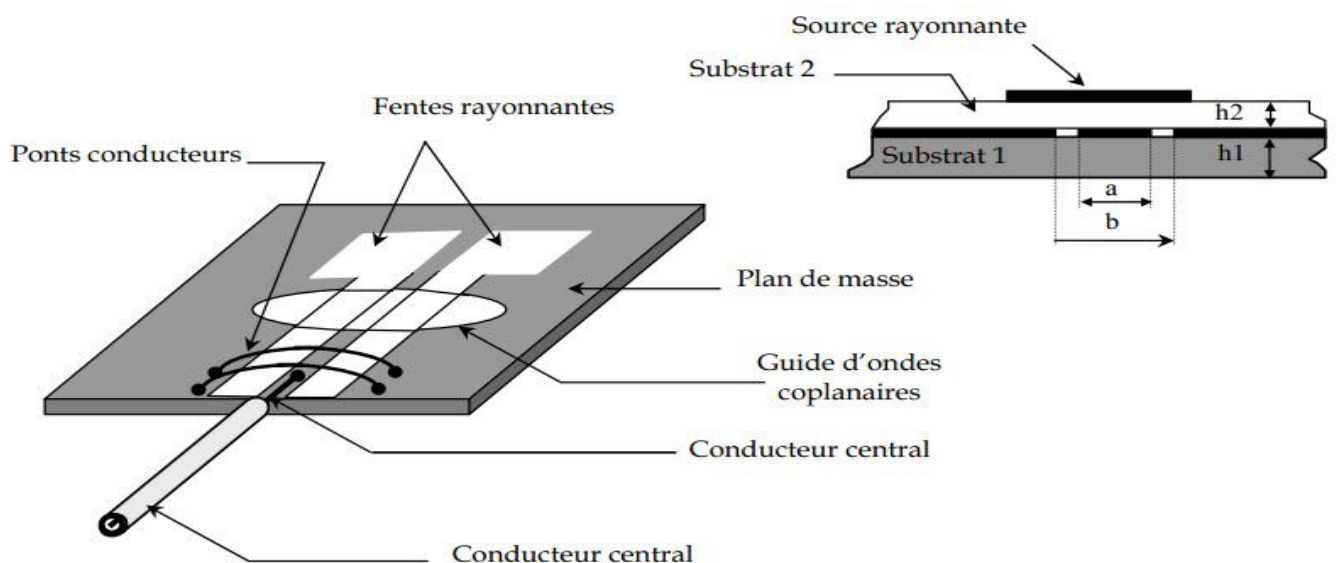


Figure II.11: Alimentation par guides d'ondes coplanaires [15].

Ce type d'alimentation permet une transition simple pour l'intégration de dispositifs actifs, et présente un faible rayonnement arrière. Cependant, cette structure génère des modes de propagation parasites sur les guides d'ondes coplanaires après une discontinuité (coudes outés) nécessitant des ponts à air [15].

II.7 Les caractéristiques électriques d'une antenne micro ruban :

Les paramètres électriques définissent l'antenne comme élément du circuit dans lequel elle est connectée. Ils permettent d'évaluer la charge apportée par l'antenne au circuit d'excitation et, ainsi, de caractériser l'efficacité du transfert de puissance entre le système radioélectrique et le milieu de propagation. Plusieurs paramètres peuvent servir à cette caractérisation mais nous ne définirons que les trois principaux, à savoir l'impédance d'entrée, le coefficient de réflexion et le taux d'onde stationnaire [16].

II.7.1. Impédance d'entrée de l'antenne :

En ce qui concerne [12] l'émission et conformément à la théorie des circuits linéaire, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe :

$$Z_e(f) = R_e(f) + jX_e(f) \quad (\text{II. 1})$$

<< chargeant é la sortie du circuit émetteur modélisé par une source d'impédance interne :

$$Z_s(f) = R_s(f) + jX_s(f) \quad (\text{II. 2})$$

(Figure II.12).

Précisons que $f = f$ est la fréquence de résonance de l'antenne.

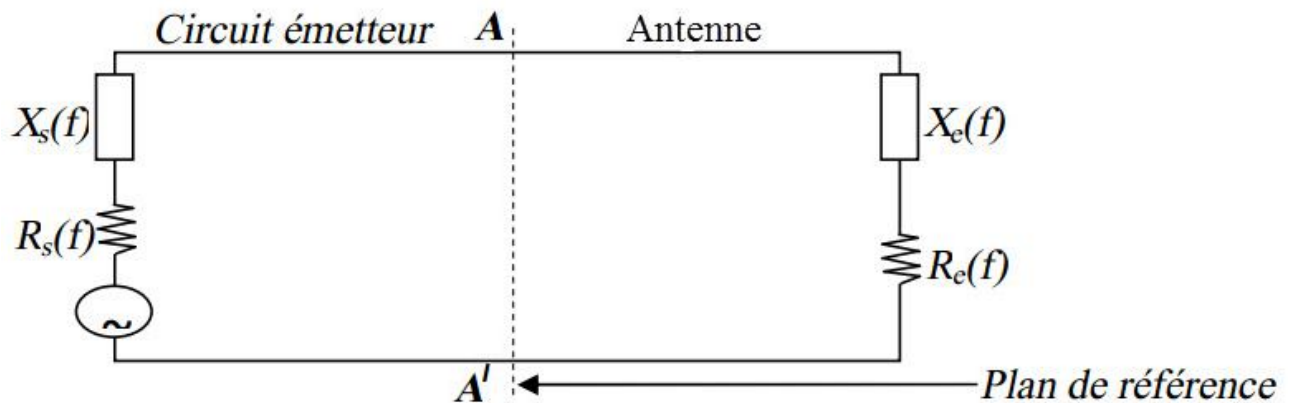


Figure II.12: Schéma équivalent du dispositif à l'émission [16].

D'une part, la partie réelle de l'impédance d'entrée $R_e(f)$ caractérise la puissance dissipée par l'antenne sous forme de rayonnement et de pertes diverses dans sa structure (effet Joule, onde de surface, etc.) et d'autre part, la partie imaginaire $X_e(f)$, d'interprétation plus délicate est liée à la puissance réactive concentrée au voisinage immédiat de l'antenne et au déphasage [16].

II.7.2. Coefficient de réflexion et R.O.S :

Dans le plan de référence introduit précédemment, la discontinuité présentée par l'antenne peut être caractérisée par le coefficient de réflexion ρ (en tension ou champ) ; Le coefficient ρ est alors lié à l'impédance d'entrée de l'antenne par une relation classique. Dans la pratique, l'adaptation est délicate par rapport à la géométrie de l'antenne, la fréquence, l'endroit de la ligne d'alimentation ou encore l'impédance d'entrée. Ces paramètres jouent un rôle plus ou moins fort.

II.8 Mécanisme de rayonnement :

Pour mieux comprendre le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie de l'optique. Considérons la figure II.13 [17]:

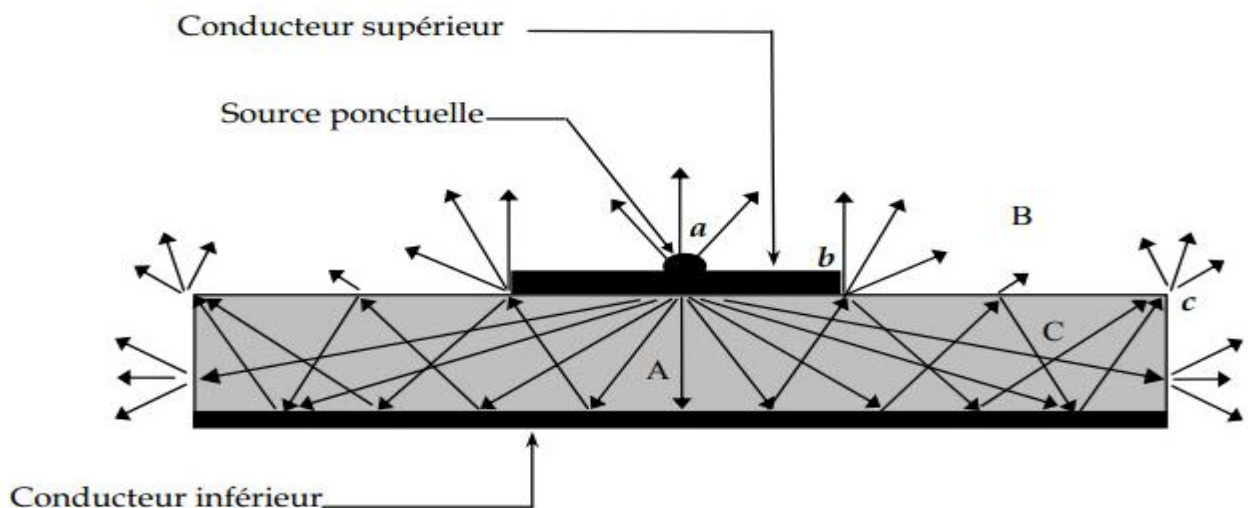


Figure II.13: Analogie optique du mécanisme de rayonnement [17].

La source ponctuelle placée en (a) émet un rayonnement uniforme dans toutes les directions. Une partie de ce dernier est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains de ces rayons aboutissent sur l'arrête du conducteur (b), qui les diffracte et par conséquent le champ se décompose en deux composantes normale et tangentielle par rapport au plan de masse.

On peut donc envisager trois régions [17]:

a. La région A : est la plus dense en rayons, le champ électromagnétique s'accumule plus fortement dans cette zone de l'espace. Cette propriété est d'ailleurs utilisée pour la propagation le long des lignes micro-rubans. En basse fréquence les champs restent concentrés dans cette zone, il y a donc

propagation sans rayonnement.

b. La région B (espace libre) : occupant tout le demi-espace supérieur à l'antenne, représente une zone où le champ se disperse librement dans l'air et vient s'ajouter au rayonnement propre de la source. Si on augmente la fréquence, ce rayonnement électromagnétique, malgré un rendement restreint, devient significatif d'où un fonctionnement en antenne.

c. La région C : certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasante, et restent piégés dans le diélectrique. Une onde de surface est alors guidée par le bord du diélectrique ne contribuant pas directement au rayonnement de l'antenne. Toutefois, quand cette onde atteint le bord du substrat (C), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite.

II.9 Méthodes d'analyses des antennes micro rubans :

II.9.1 Méthodes analytiques :

Ces méthodes reposent sur la prise en compte de la nature des phénomènes physiques qui se produisent au sein de l'antenne. Vu la complexité d'une telle analyse, un ensemble d'approximations sont mises en place afin de simplifier le modèle développé. Les modèles les plus populaires et qui fournissent des résultats suffisamment concis sont le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité.

Le modèle de la ligne de transmission est le plus simple, il donne une bonne interprétation physique, cependant il est moins précis. De son côté, le modèle de la cavité se distingue par une bonne précision et en même temps présente une complexité importante.

Le Patch rectangulaire est la forme des antennes patches la plus répandue. Simple à analyser par le modèle des lignes et de la cavité.

Dans la suite de l'étude, les modèles d'analyse seront présentés pour le cas d'une forme rectangulaire [18].

II.9.2 Le modèle de la ligne de transmission :

Il a été déjà souligné que ce modèle est simple mais moins précis et manque de flexibilité. De manière basique, le modèle de ligne interprète l'antenne micro ruban comme étant deux fentes séparées par une ligne de transmission de longueur L et de faible impédance caractéristique Z_c [18].

A-Effet des bords :

Vu que le patch est de dimensions finies, les champs marginaux aux bords de la structure subissent des étalements (Figure II.14) dont la quantité est fonction des dimensions du patch et de la hauteur du substrat.

Pour le plan principal E (plan x-y), les champs des bords sont fonction du rapport L/H et de la permittivité relative ϵ_r du substrat. Comme le rapport L/H est supérieur à 1 ($L/H \gg 1$), les champs marginaux sont réduits, cependant, il est nécessaire d'en tenir compte du fait qu'ils influent directement la fréquence de résonance de l'antenne. Le même résultat s'applique sur la largeur W .

La figure II.15 montre une configuration typique des lignes de champs électriques évoluant dans un milieu non homogène contenant deux diélectriques : le substrat et l'air.

Il se voit que la quasi-totalité du champ E se trouve dans le substrat et une partie existe dans l'aire. Comme $W/H \gg 1$ et $\epsilon_r > 1$, les lignes de champ se concentrent à l'intérieur du substrat. Les champs des bords, dans ce cas, font que l'antenne est vue d'une longueur électrique supérieure à ses dimensions physiques.

Vu que les champs évoluent dans deux milieux différents (substrat et air), une permittivité effective ϵ_{eff} est introduite pour tenir compte des champs marginaux et de la propagation des ondes dans le patch. Elle est donnée par la relation I.1 (Figure II.14, II.15) [18].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad W/h > 1 \quad (II.3)$$

B-longueur effective et fréquence de résonance :

Il est déjà mis au Claire que les champs des bords font que les dimensions du patch se voient électriquement supérieures à ses dimensions physiques. Cela est bien montré dans la figure II.14 (ca du plan E) où la longueur du patch est allongée d'une quantité L . Une approximation de cette quantité de longueur est donnée par [18]:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (II.4)$$

La longueur effective L_{eff} sera donc :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (II.5)$$

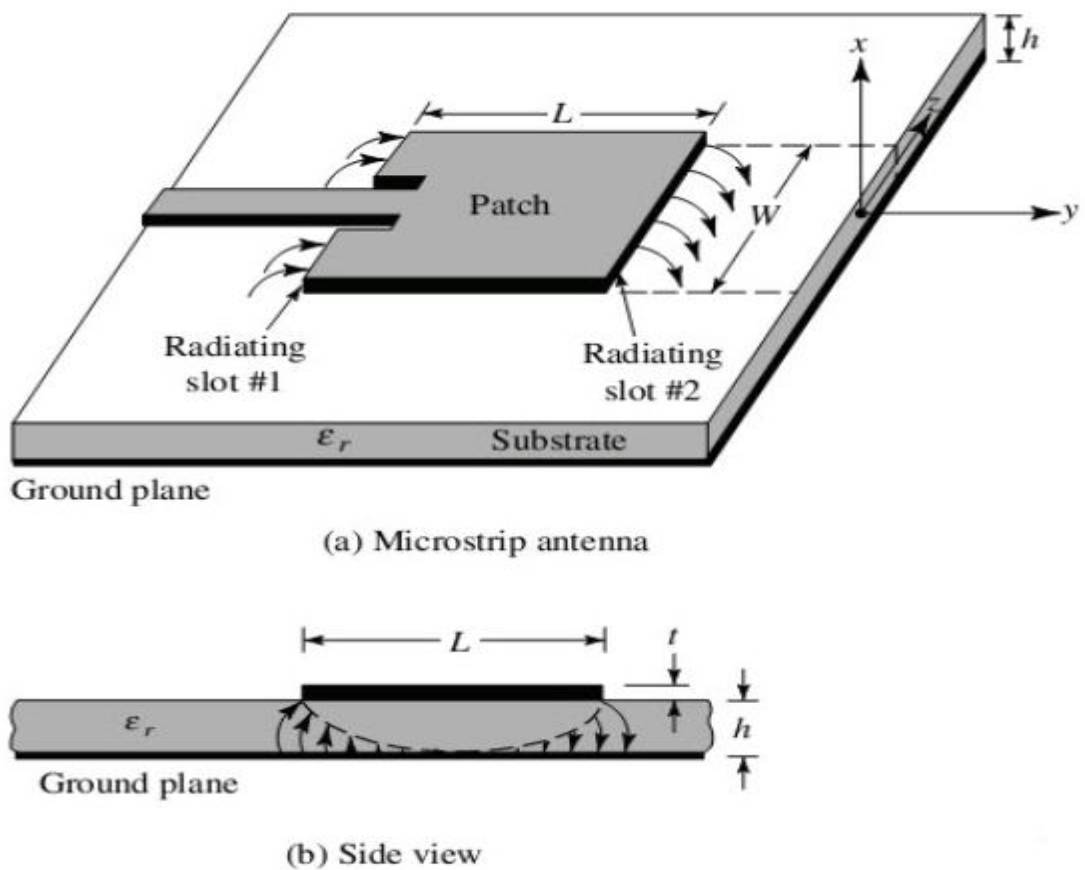


Figure II.14: Répartition des champs sur les bords du patch [18].

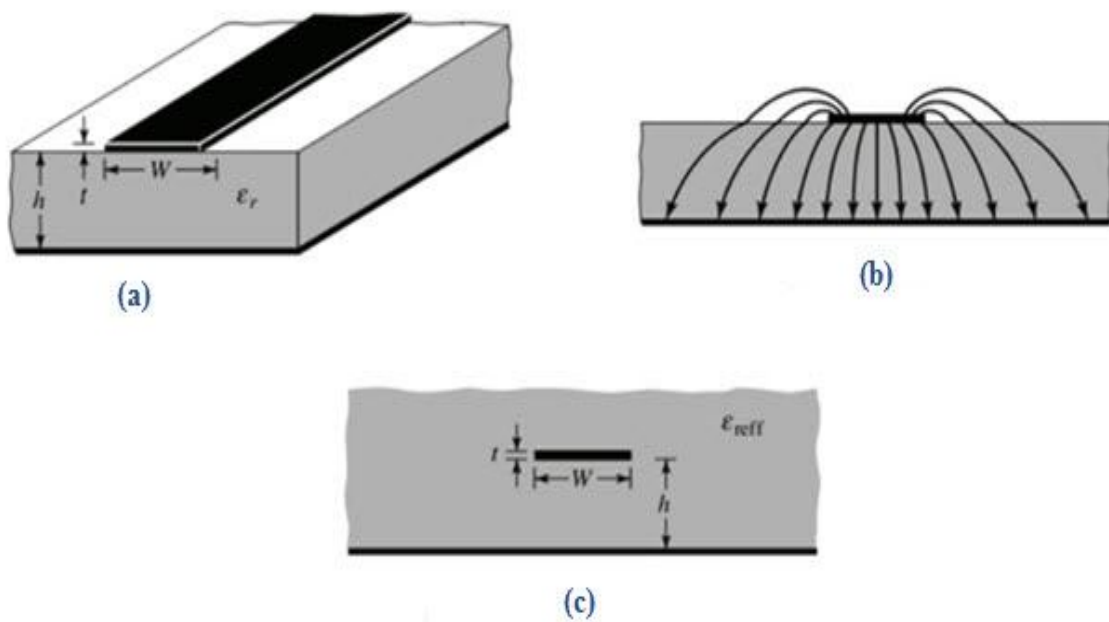


Figure II.15: (a) Ligne micro ruban, (b) Les lignes de champs, (c) Constante diélectrique équivalente [18].

A titre d'illustration et pour un mode de propagation dominant TM_{010} , la fréquence de résonance de l'antenne, sans tenir compte de l'effet des bords, est donnée par les relations II.6, II.7.

$$f_{r010} = \frac{1}{2L\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{c}{2L\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (II. 6)$$

En tenant compte des modifications apportées par l'effet des bords, cette fréquence devient :

$$f_{r010} = \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\sqrt{\varepsilon_{reff}}} = \frac{1}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \quad (II. 7)$$

C- Conception :

En se basant sur la formulation décrite précédemment, la procédure d'une conception pratique d'une antenne patch rectangulaire sera mise en évidence (Figure II.16).

La procédure assume la connaissance de la constante diélectrique du substrat ε_r , la fréquence de résonance f_r et la hauteur du substrat h , la conception suit donc les étapes suivantes [18]:

- Spécification de ε_r , f_r et h .
- Déterminer W , L .

• Concevoir :

- 1- Pour un rayonnement efficace, la largeur pratique du patch est calculée comme suit :

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \quad (II. 8)$$

Où c est la vitesse de la lumière ($c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$)

- 2 - Calcul de la constante diélectrique effective de l'antenne à partir de l'équation (II. 3).
- 3 - Déterminer la fraction de longueur (ΔL) à partir de l'équation (II. 4).
- 4 - La longueur actuelle du patch sera donc :

$$L = \frac{1}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{reff}}\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} - 2\Delta L \quad (II. 9)$$

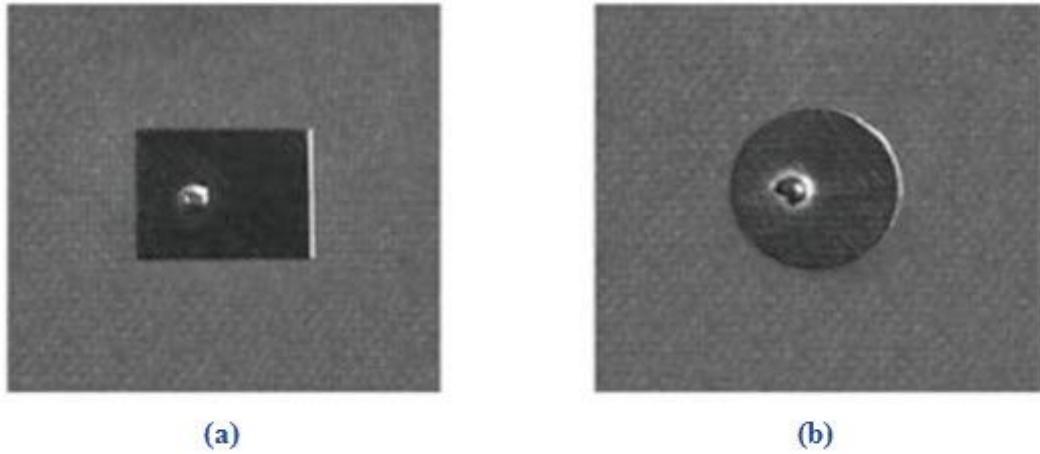


Figure II.16: Modèles d'antennes patches (a) rectangulaire (b) circulaire [18].

D - Conductance :

Chaque fente rayonnante est représentée par une admittance parallèle équivalente Y (conductance G et susceptance B) (Figure II.17(b)). Les fentes sont modélisées par les équations suivantes [18]:

$$Y_i = G_i + jB_i \quad \text{avec : } i = 1,2 \quad (\text{II. 10})$$

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right] \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (\text{II. 11. a})$$

$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln (k_0 h)^2] \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (\text{II. 11. b})$$

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (\text{II. 12})$$

W : largeur de la fente.

La variation de G_1 en fonction de W/h est présentée dans la figure II.18.

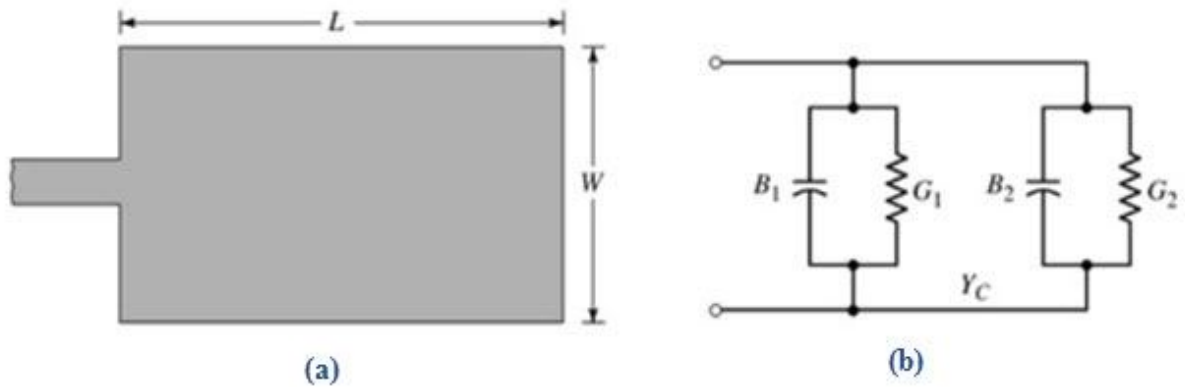


Figure II.17: (a) Antenne patch rectangulaire, (b) Circuit équivalent en modèle de ligne de Transmission [18].

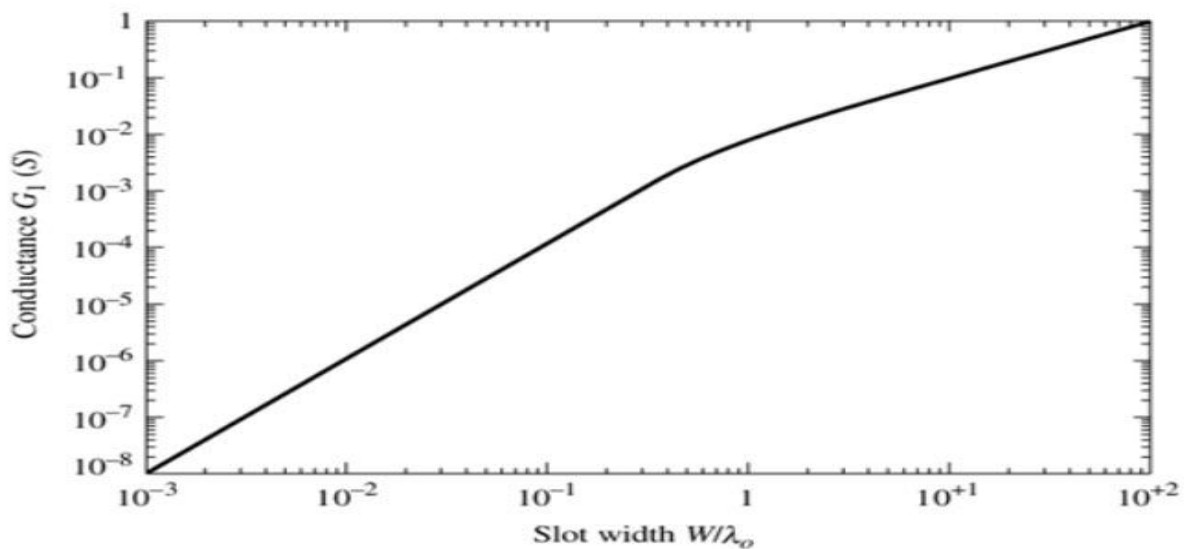


Figure II.18: Variation de la conductance de la fente en fonction de sa largeur.

E - Impédance caractéristique :

L'impédance caractéristique d'une antenne patch est donnée par la formule [18]:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right] & \frac{W_0}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]} & \frac{W_0}{h} > 1 \end{cases} \quad \begin{matrix} (II.13.a) \\ (II.13.b) \end{matrix}$$

Où W_0 est la largeur de la ligne micro ruban d'alimentation (La figure II.19).

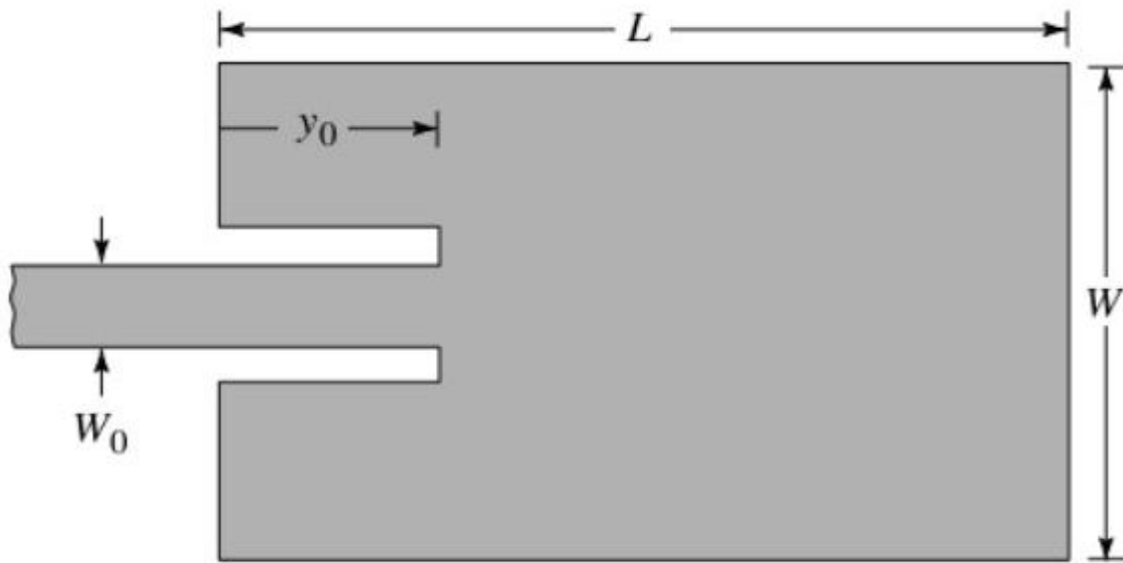


Figure II.19: Ligne d'alimentation micro ruban renforcée [18].

F-Bande passante :

La bande passante d'une antenne est difficile à définir de manière générale. La plupart des caractéristiques de l'antenne (gain, largeur du faisceau, polarisation et impédance) sont fonction de la fréquence et la variation de l'un de ces paramètres peut limiter la bande passante de l'antenne conçue pour un objectif bien défini.

La méthode fréquente pour la mesure de la bande passante est le passage par la mesure de la bande d'impédance qui indique une plage de fréquence dans laquelle le SWR à la porte de l'antenne reste sensiblement inférieur à une valeur bien définie.

Étant donné que l'antenne imprimée est une structure résonante, on choisit habituellement une valeur de VSWR de 2. La détermination de la bade passante est effectuée par le traçage du lieu

d'impédance normalisée en fonction de la fréquence sur l'abaque de Smith et déterminer les deux fréquences d'intersection f_1 et f_2 avec le cercle $SWR=2$. Une autre technique consiste à tracer l'évolution de VSWR en fonction de la fréquence et déterminer f_1 et f_2 figure II.20. La bande passante est formulée en pourcentage comme suit [18]:

$$BP = 200 \times \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \% \quad (II.14)$$

G - Le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) :

Le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) ou, en anglais, VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio tout comme le coefficient de réflexion traduit l'adaptation ou la désadaptation d'impédance entre deux éléments . Lorsque l'adaptation n'est pas parfaite, la partie de l'onde réfléchie se superpose à l'onde incidente pour ne former qu'une seule onde, appelée onde stationnaire. Il se définit comme le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'onde stationnaire, il est donné par la relation suivante :

$$VSWR = \frac{E_{fwd} + E_{ref}}{E_{fwd} - E_{ref}} \quad (II.15)$$

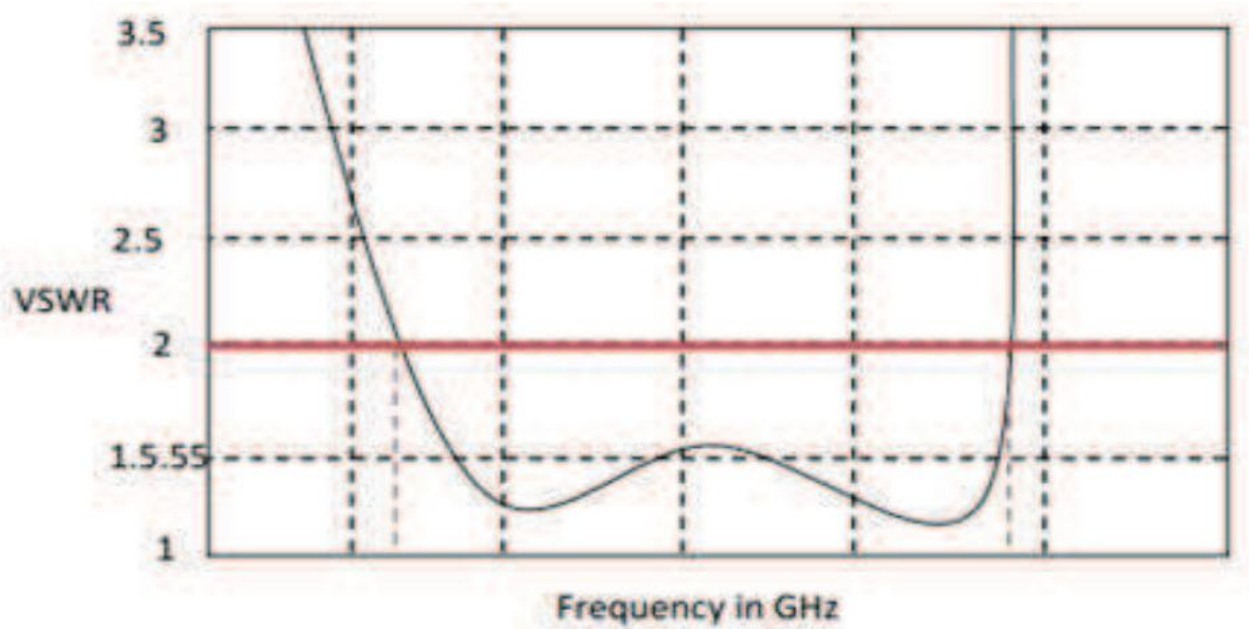


Figure II.20: Détermination graphique de la bande passante d'une antenne patch [18].

Une autre façon de définir la bande passante d'une antenne consiste à considérer le coefficient de réflexion S_{11} , ainsi et de manière générale, la bande passante correspond à la plage de fréquence pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur de -10dB. Mais dans certaines applications, ce niveau

peut être relevé à -6dB ce qui permet relâcher certaines contraintes lors de la conception d'une antenne, c'est le cas, par exemple, pour certaines antennes de téléphone mobile. Il est cependant communément admis que si le seuil auquel est considéré la bande passante n'est pas précisé, il s'agit de la bande passante pour un S_{11} inférieur à -10dB.

La Figure II.21 montre le paramètre S_{11} d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à -10 dB. Dans cet exemple la bande passante qui s'exprime en Hertz (Hz) est de 226 Mhz.

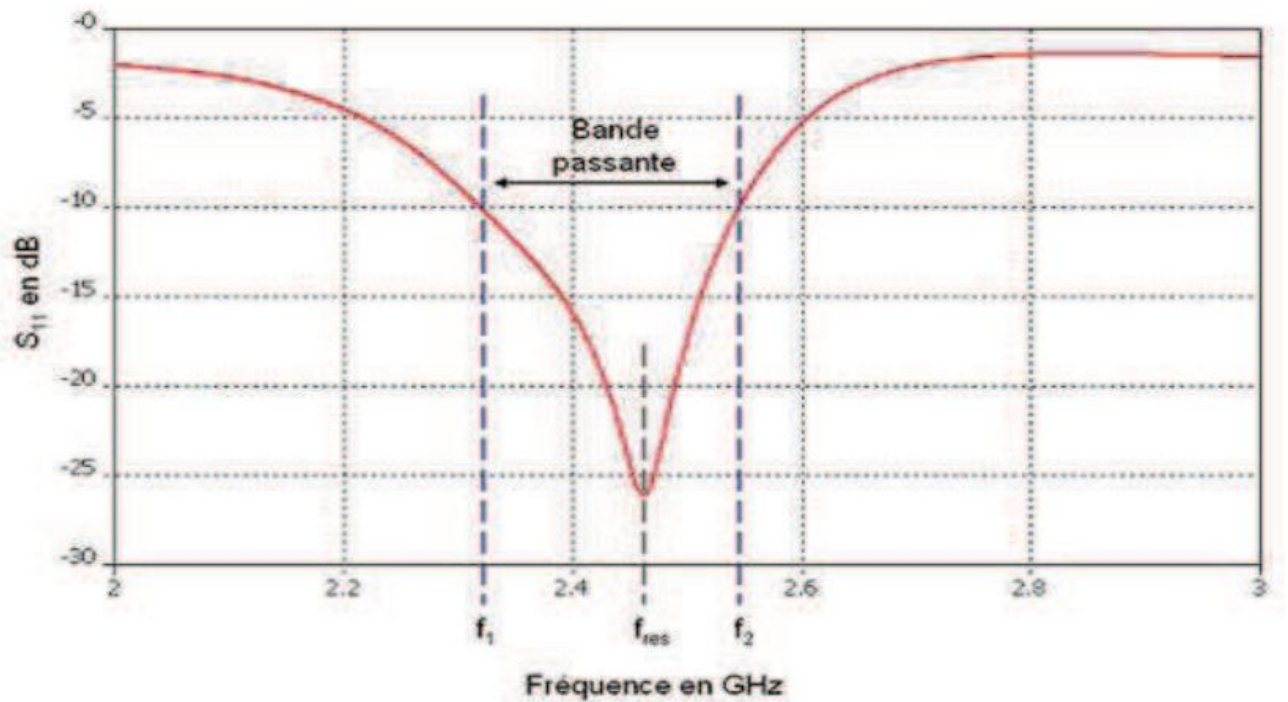


Figure II.21: Illustration de la bande passante à -10 dB [18].

La fréquence de résonance f_r correspond à la fréquence pour laquelle l'antenne est la mieux adaptée, c'est-à-dire pour laquelle le coefficient de réflexion est le plus faible. Sur une bande passante donnée, il est possible d'observer plusieurs minima donc plusieurs fréquences de résonance.

Afin de comparer des structures d'antennes, on exprime souvent la bande passante, BP, d'une antenne en pourcentage par rapport à la fréquence de résonance [18].

$$BP(en\%) = \frac{f_2 - f_1}{f_{res}} 100 \quad (II.16)$$

H - Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement est une représentation géométrique de la façon dont une antenne collecte ou rayonne l'énergie électromagnétique dans l'espace. Cette représentation peut se faire soit en trois dimensions soit en deux dimensions sur des diagrammes polaires présentant différents plans.

Le diagramme de rayonnement permet de localiser les zones de l'espace entourant l'antenne et les directions où le rayonnement est intense ou faible. Même si chaque diagramme de rayonnement est différent en fonction des antennes, il est possible de différencier trois formes typiques de diagramme de rayonnement : isotrope, omnidirectionnel et directif.

Une antenne isotrope est une antenne qui rayonne son énergie uniformément dans toutes les directions de l'espace. Même si différents travaux tentent de s'approcher de cette propriété, cette antenne reste purement théorique et sert de référence pour établir la directivité ou le gain d'une antenne réelle.

Une antenne omnidirectionnelle se caractérise par la faculté à rayonner de manière égale dans toutes les directions contenues dans un plan. L'antenne dipôle que nous présenterons par la suite est un exemple d'antenne omnidirectionnelle.

A l'inverse, une antenne directive est une antenne qui va concentrer l'énergie qu'elle rayonne dans une direction de l'espace. La figure II.22 ci-dessous présente une représentation en trois dimensions des formes de diagrammes de rayonnement que nous venons de présenter.

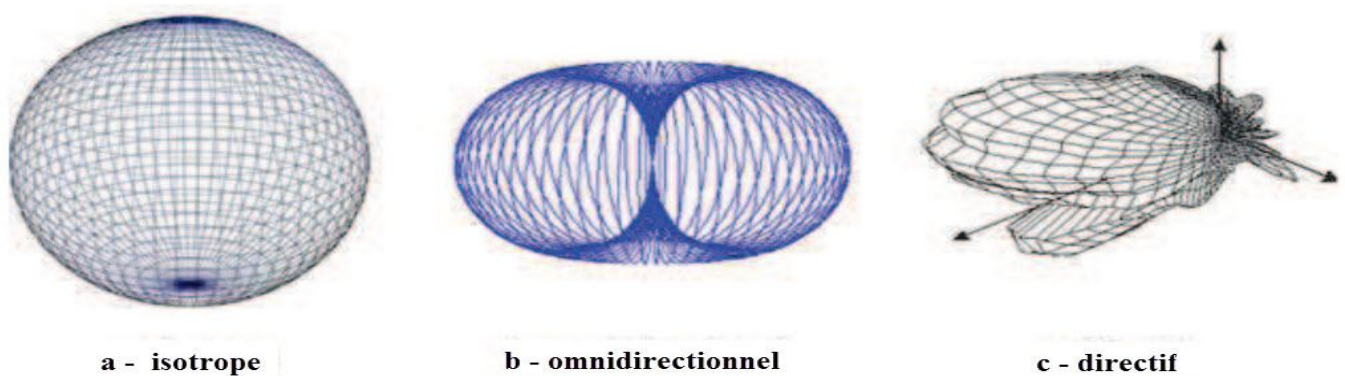


Figure II.22: Exemple de diagramme de rayonnement d'antenne .

II.9.3 Le modèle de la cavité :

C'est une méthode qui consiste à modéliser la région intérieure du substrat diélectrique par une cavité limitée par deux plaques électriques horizontales (l'élément rayonnant et le plan de masse) et quatre murs

magnétiques transversaux à pertes (Figure II.23). Le champ électrique dans la cavité admet une composante longitudinale suivant l'axe (Oz) et le champ magnétique comporte deux composantes transversales suivant (Oy) et (Ox), cela est vrai pour le cas où $h \ll \lambda$.

En alimentant l'antenne, une distribution de charge apparaît sur la surface supérieure et intérieure du Patch et sur la surface supérieure du plan de masse (Figure II. 24).

Cette distribution de charge est contrôlée par deux mécanismes : un mécanisme attractif entre les charges opposées sur le côté inférieur du Patch et le côté supérieur du plan de masse et un mécanisme répulsif entre les charges de même nature sur la surface inférieure du patch provoquant ainsi un déplacement de charges vers la surface supérieure du Patch. En raison de ce mouvement de charges, les courants circulent sur les deux faces du patch. L'hypothèse $L > h$ fait que le mécanisme attractif est le mécanisme dominant et par conséquent, moins de courant circulera sur la surface supérieure du Patch [18].

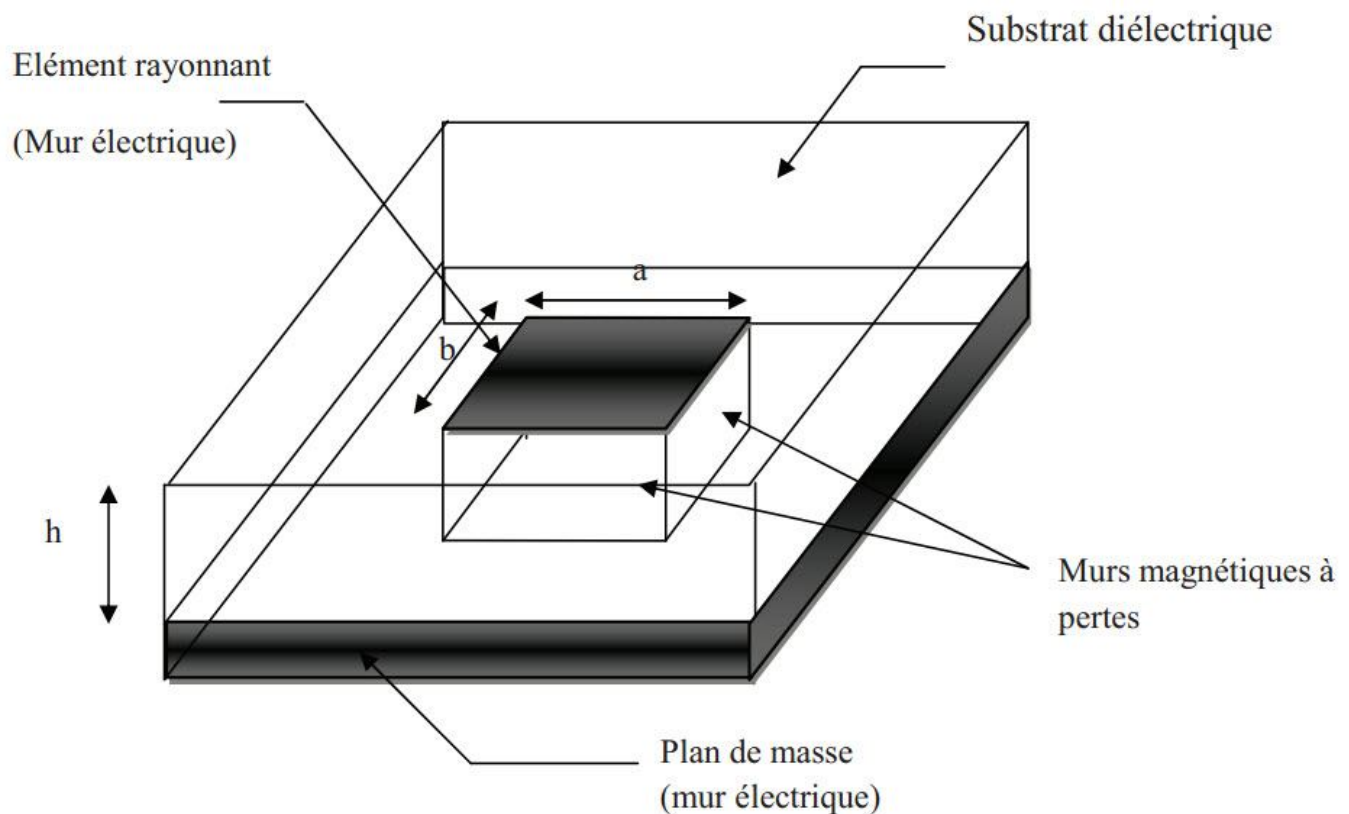


Figure II.23: Modèle de la cavité à perte [18].

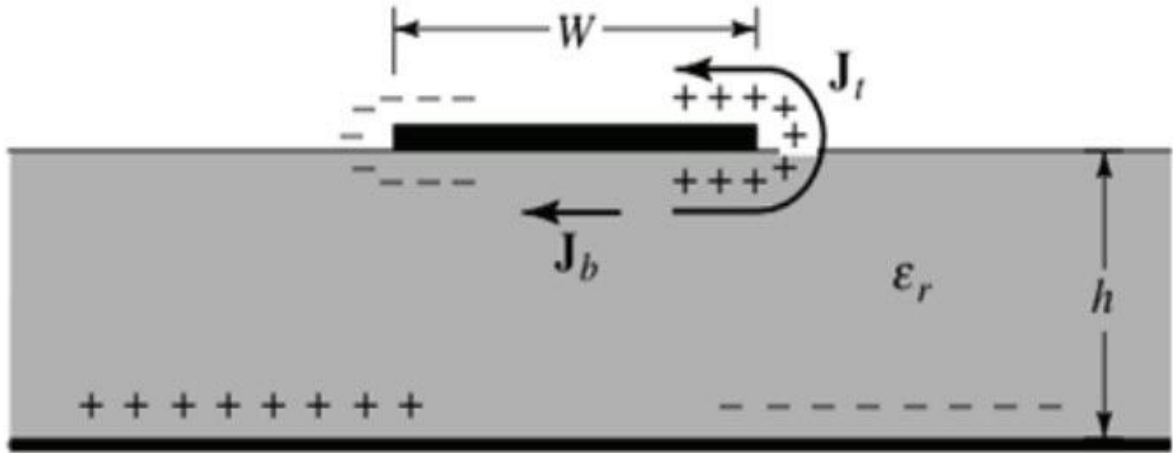


Figure II.24: Distribution des charges et création de courant dans une antenne patch [18].

La cavité présente des fréquences de résonance données par la formule générale suivante:

$$f_{r(mnp)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2} \quad (II.17)$$

Où :

- L, W, h sont les dimensions de la cavité.
- μ, ϵ sont la perméabilité et la permittivité du diélectrique respectivement.
- m, n et p sont des entiers qui définissent le mode.

Les conditions aux limites de la structure permettent de définir des modes de propagation de type TM_{mnp} (avec $p = 0$, dans le cas du substrat diélectrique d'épaisseur faible devant la longueur d'onde de fonctionnement λ_0).

La figure II.25 représente la distribution tangentielle des champs électriques sur les faces de la cavité (sous l'hypothèse d'absence des champs marginaux).

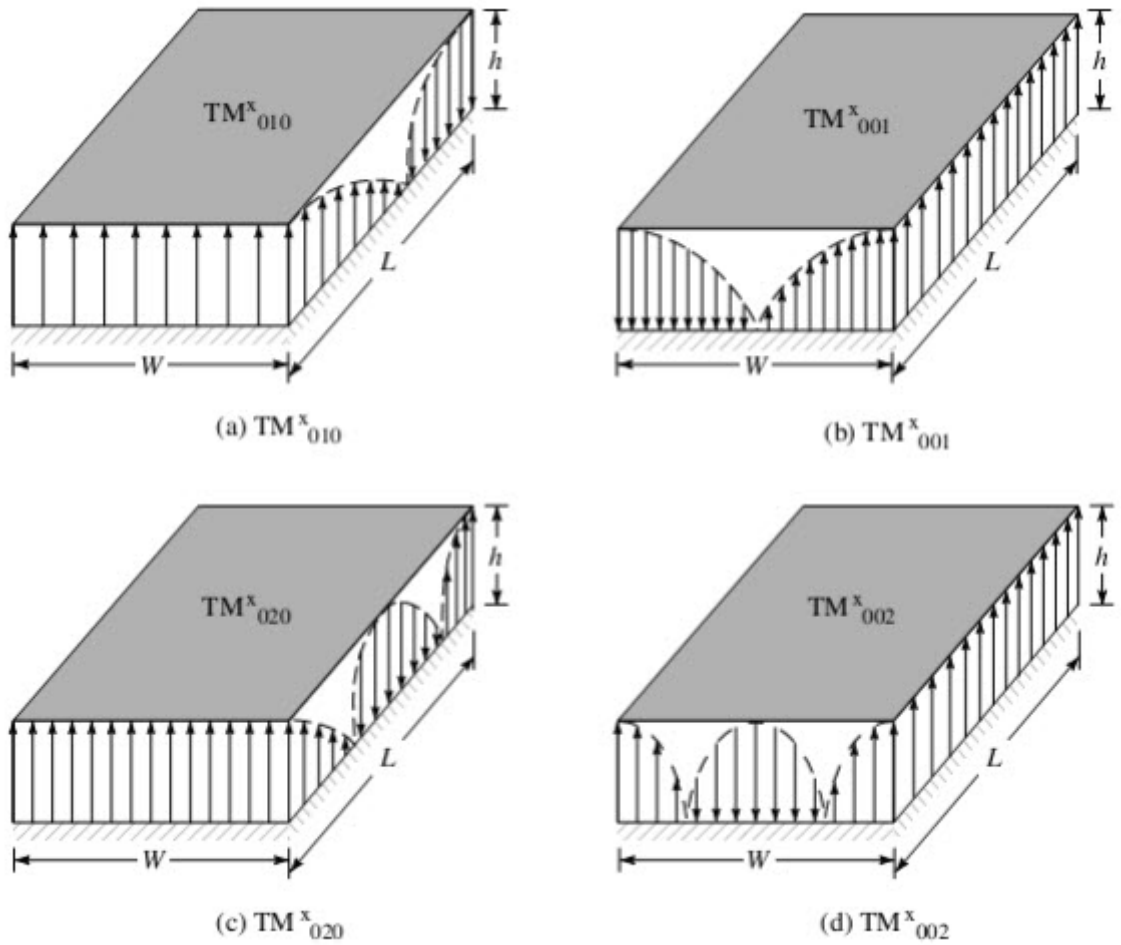


Figure II.25: Configuration des champs (modes) d'une antenne patch rectangulaire [18].

Les pertes dans les parois transversales reflètent le rayonnement d'une partie de l'énergie emmagasinée à une fréquence de résonance donnée. Ce phénomène est caractérisé par l'épanouissement des lignes de champ au voisinage des arêtes de l'élément rayonnant [18].

Une cavité à pertes peut représenter une antenne caractérisée par sa tangente de pertes effective donnée par la relation suivante :

$$\tan \delta_{eff} = \frac{1}{Q_T} \quad (II.18)$$

Où Q_T est le facteur de qualité total de la cavité donnée par :

$$\frac{1}{Q_T} = \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_r} \quad (II.19)$$

- ♦ Q_d représente le facteur de qualité du diélectrique, il se calcule comme suit :

$$Q_d = \frac{\omega_0 W_T}{P_d} = \frac{1}{\tan \delta} \quad (II.20)$$

- ω_0 : Fréquence de résonance angulaire.
- W_T : Energie emmagasinée à la résonance.
- P_d : Pertes dans le diélectrique.
- $\tan \delta$: Tangente des pertes dans le diélectrique.

- ♦ Q_c est le facteur de qualité du conducteur.

$$Q_c = \frac{\omega_0 W_T}{P_c} = \frac{h}{\Delta} \quad (II.21)$$

- P_c : Pertes dans le conducteur.
- Δ : Epaisseur de peau du conducteur.
- h : Epaisseur du substrat.

- ♦ Q_r est le facteur de qualité du rayonnement.

$$Q_r = \frac{\omega_0 W_T}{P_r} \quad (II.22)$$

- P_r : Puissance rayonnée du patch.

On définit aussi l'angle de pertes effective comme suit:

$$\delta_{eff} = \tan \delta + \frac{\Delta}{h} + \frac{P_r}{\omega_0 W_T} \quad (II.23)$$

- Commentaire :

Il est évident, du développement précédent, que le modèle de la cavité tient compte de la globalité des phénomènes physiques qui se produisent dans la structure d'une antenne patch, ce qui donne lieu à une bonne précision d'approximation. Cependant, ce modèle reste trop complexe et nécessite un soin bien particulier pour le calcul de toutes les grandeurs mises en jeux.

II.9.4 Autres méthodes :

D'autres méthodes d'analyse des antennes imprimée sont largement utilisées récemment, il s'agit bien des méthodes de calcul numérique. Le principe de ces méthodes repose sur la résolution numérique des équations de maxwell et la détermination de la répartition des champs et courants sur la surface du patch. Parmi ces méthodes, on cite [18]:

- ✓ Méthode des éléments finis,
- ✓ Système d'équations intégrales couplées, discrétisées par la Méthode des Moments (MOM),
- ✓ Méthode spectrale reposant sur la transformée de Fourier.

II.9.4.1 La méthode des moments (MOM) :

C'est une technique très efficace pour la résolution des équations différentielles. Elle opère dans le domaine spectral et consiste à trouver le zéro du déterminant de la matrice impédance. La caractéristique de cette méthode est son indépendance de la source d'excitation qui est un avantage majeur. Néanmoins, la méthode MOM souffre de quelques inconvénients à savoir [18]:

- Gourmande en temps de calcul.
- La précision exigée pour déterminer les éléments de la matrice impédance.
- L'existence des solutions parasites.

II.9.4.2 Méthode d'analyse spectrale :

Ce modèle prend en considération l'équation intégrale du champ électrique (EFIE: Electric Field Intégral Equation), dans le domaine spectral. Elle permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales dans le domaine spatial. Son principe se base sur la connaissance des champs électromagnétiques dans chaque région. Ainsi, le système d'équations intégrales à résoudre peut s'écrire sous une forme matricielle. Le choix de la condition de continuité surfacique et le vecteur de courant sur le patch permet de déduire une relation entre les composantes tangentielles des champs électromagnétiques et les courants surfaciques. L'approche de l'équation intégrale dans le domaine spectral est largement utilisée dans l'analyse et la conception de structures imprimées [18].

II.10 Applications des antennes micro rubans :

Remplacer les antennes classiques par des antennes patchs avec des performances équivalentes est le souci principal des concepteurs des systèmes de télécommunication, vu le besoin et les exigences du marché industriel. Il existe différentes applications réussies démontrant la possibilité de cette transition [18]:

- ✓ télécommunication satellitaires.
- ✓ commande et contrôle.
- ✓ télémétrie (télémessure) par missile.
- ✓ équipements portatifs.
- ✓ éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- ✓ antenne d'émission utilisée en médecine.
- ✓ récepteur satellite de navigation.

II.11 Conclusion :

Les avantages d'une antenne imprimée sont nombreux permettent de les utiliser dans différents secteurs et surtout dans les communications mobiles (satellite, avion, voiture, missile, téléphone portable, ...).

Après cette révision rapide sur des généralités environ antennes imprimées. Dans le chapitre suivant, on va modéliser l'antenne micro ruban (antenne patch) où les résultats et les interprétations de simulation obtenus en utilisant le logiciel de simulation HFSS.

Chapitre

III

Simulation d'une antenne micro ruban et leur interprétations

III.1 Introduction :

Durant les derniers décades, la découverte de la technologie micro-ruban a aidé à réduire d'une manière considérable la taille des antennes et leur encombrant, donnons par exemple les antennes filiformes des appareils cellulaires. Les anciennes antennes cellulaires étaient intégrées d'une façon apparente, mais actuellement grace à la technologie des hyperfréquences on a pu réduire leurs tailles d'une manière à les embarquer à l'intérieur des appareils mobiles avec une occupation minimale d'espace. Le but tout au long de cette partie couvre ce domaine, et l'objectif est de réaliser une antenne patch, alors on va essayer d'adapter les divers paramètres et simuler divers structures sur H.F.S.S pour essayer d'aboutir à des résultats adéquats.

III.2 Introduction sur l'ANSOFT HFSS :

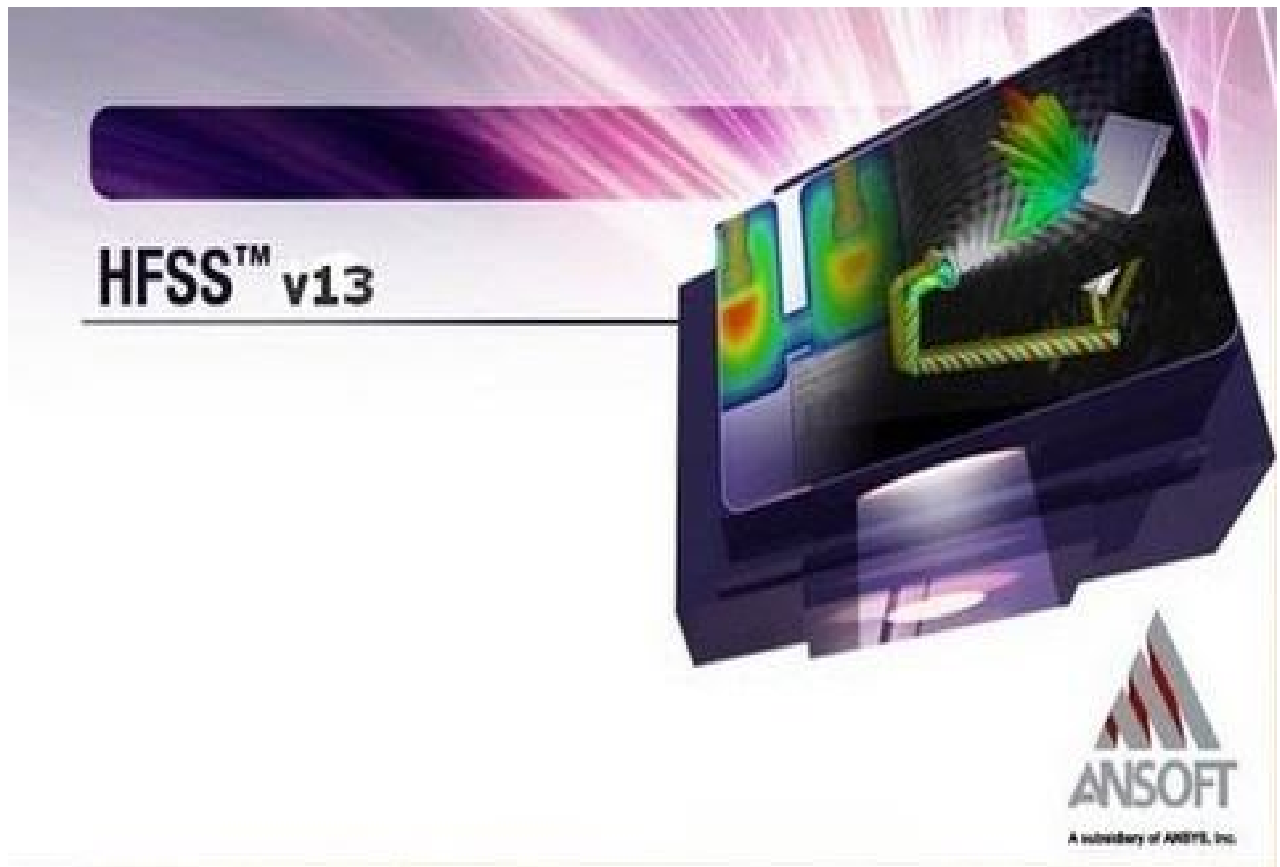


Figure III.1 : L'interface de logicielle de HFSS [19].

H.F.S.S est l'abréviation de 'High frequency structure simulator' est un logiciel de calcul et de simulation des ondes électromagnétiques dans des structures volumiques à 3 dimensions. Le HFSS performe une division de la structure à étudier en un ensemble des tétraèdres dont le nombre dans la structure dépend du taux de raffinement cette opération est aussi appelée maillage, puis il applique la méthode des éléments finis pour trouver les différents paramètres de propagation. Le raffinement des mailles c'est-à-dire le nombre des tétraèdres formés et leur regroupement géométrique est adaptative, alors il continue à varier afin d'aboutir à la convergence des résultats, notons que la convergence veut dire ici la concordance des résultats en d'autre terme s'il n'y a pas une contradiction entre les résultats obtenus par simulation et les résultats théoriques prévus [20].

III.3 Les avantages et les inconvénients du HFSS :

III.3.1 Quelques avantages du HFSS :

HFSS travaille sur plusieurs accessoires de communication, on cite les guides d'ondes, les filtres, les câbles coaxiaux, les connecteurs et divers types d'antennes. La simulation effectue le calcul de plusieurs paramètres comme le coefficient de réflexion, champ électrique et magnétique et le rapport de transfert S qui est le rapport entre la puissance de sortie et la puissance fournie à l'entrée, en addition de la construction des graphes pour le diagramme de rayonnement des antennes et pour la variation des champs E et B. D'autres options sont valides comme la représentation animée de la variation des champs, et on pourra enregistrer cette animation sous un format vidéo AVI.

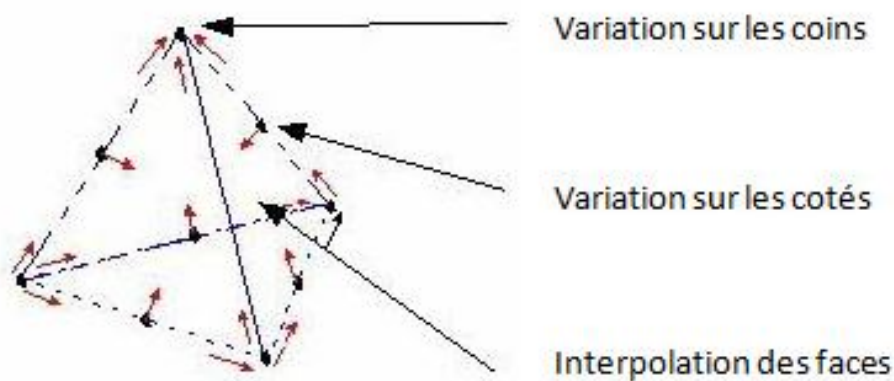


Figure III.2 : la représentation animée de la variation des champs [20].

L'objet élémentaire de calcul comme représenté dans la figure ci-dessus est le tétraèdre, le HFSS en fait découper l'ensemble des formes géométriques embarquées dans la structure en tétraèdres sur lesquels il applique les fonctions de bases des vecteurs tangentiels, et il reproduit le calcul pour chaque tétraèdre. Grâce à la méthode des vecteurs tangentiels on obtiendra un degré très élevé de précision, le calcul des vecteurs tangentiels s'applique sur les points et régions critiques des tétraèdres, comme les coins, les faces et les cotés. D'autres avantages résident dans la génération d'un maillage adaptatif à la structure, durant la simulation le volume et la position de chaque tétraèdre sera modifiée d'une manière à aboutir à une convergence des résultats et une bonne précision avec une marge d'erreur réduite. Notons qu'il y aura toujours une bonne corrélation entre les résultats expérimentales et celles obtenus par simulation.

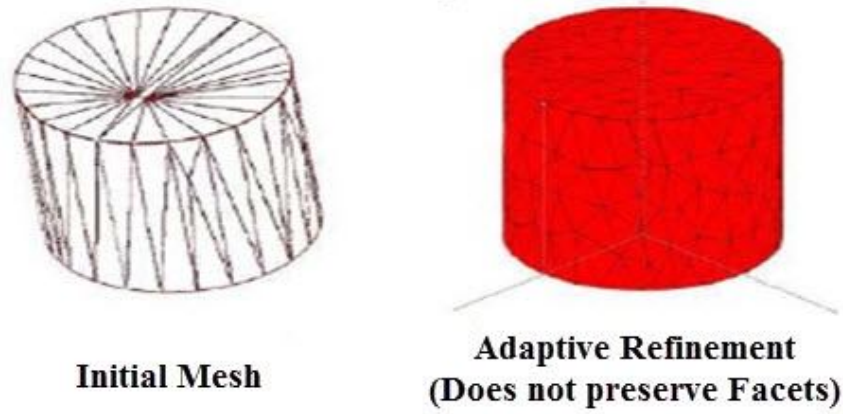


Figure III.3 : La génération d'un maillage adaptatif à la structure [20].

Le HFSS calcul les divers variables d'une simulation en utilisant les équations de Maxwell, le calcul invoque à travers ces équations des opérations vectorielles, d'où la nécessité d'adopter la méthode des éléments finis (FEM Finite Element Method) pour formuler une approche matricielle des valeurs recueillis.

$$\begin{aligned}\nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \times H &= J + \frac{\partial D}{\partial t} \\ \nabla \cdot D &= \rho \\ \nabla \cdot B &= 0\end{aligned}$$

On pourra dessiner des structures géométriques compliquées dans l'interface de modélisation à 3 dimensions, les possibilités qu'on pourra avoir avec cet outil sont virtuellement illimitées. On peut définir chaque face ou objet comme étant un diélectrique, métal ou un milieu magnétique, et avant l'initialisation de la simulation le programme nous avertit s'il y a une erreur de conception, en indiquant si l'erreur réside dans la définition des extrémités, ou dans les paramètres de la solution, ou autre [20].

III.3.2 Quelques inconvénients du HFSS :

- La création des structures géométriques compliquées peut prendre une grande durée de temps, même chose pour la définition de la fonctionnalité de chaque face et objet élémentaire.
- La modélisation des objets volumiques et surfaciques recommande une maîtrise d'utilisation des différents outils de base et leur manipulation par des opérations arithmétiques, par exemple pour dessiner un objet caractéristique on doit effectuer des opérations booléennes comme add, subtract

et unify.

- D'autr pour les structures combinées on doit paramétrer la dimension et les coordonnées d'une forme par rapport aux valeurs d'une autre ce qui recommande de l'utilisateur d'avoir une imagination et d'être doué des calculs d'espace et des dimensions.
- On doit faire attention à la définition des faces, et définir chacune selon sa fonctionnalité, alors celle qui émule un conducteur électrique doit être définie par PERFECT E, la face considérée comme un conducteur magnétique sera définie comme PERFECT H...

Notons que l'espace du travail est définie par défaut comme *OUTER* ou bien métal.

- Les conflits entre les faces géométriques provoquent l'arrêt de simulation avec une notification d'erreur, en fait HFSS utilise la forme différentielle des équations de Maxwell, et il est très important que chaque face projette un champ avec une distribution continue tout au long de sa surface et dont les vecteurs présentent une valeur unique.
- Le processus de la simulation pourra prendre plusieurs jours avant de produire les résultats et tracer les graphes, ce qui augmente le coût de fabrication pour des projets industriels, et le délai de l'étude pour un projet universitaire [20].

III.4 Modélisation, Problèmes envisagés et Solutions :

III.4.1 Influence des paramètres d'une antenne patch

les critères de conception les paramètres qui affectent principalement la fréquence de résonance sont : la permittivité relative du substrat et la longueur, la largeur d'antenne patch et l'épaisseur de ce dernier possède un effet dans la sélectivité de la fréquence et elle altère principalement l'impédance d'entrée et la bande passante. On va adopter essentiellement le matériau d'oxyde magnésium (MgO) [21] comme substrat, ayant généralement une permittivité relative égale à 9.6, alors les paramètres qu'on va changer sont la longueur et la largeur et l'épaisseur du patch [22].

III.4.1.1 Influence la longueur du patch (patch Y) L :

Pour avoir l'influence de la longueur L d'antenne patch sur le rayonnement de ce dernier, on va faire fixer la valeur du largeur d'antenne patch W (patch X = 0.5cm) et la valeur d' épaisseur d'antenne patch H (subH=0.635mm).et en varier la longueur d'antenne patch L (dans le tableau d' HFSS la longueur = patch Y).

Pour cela on a choisit la longueur du patch H comme valeur initial 0.3 cm.

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.5	cm	0.5cm	Design
	patchY	0.3	cm	0.3cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	0.635	mm	0.635mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III.1 : Les paramètres de l'antenne patch à patch Y = 0.3cm.

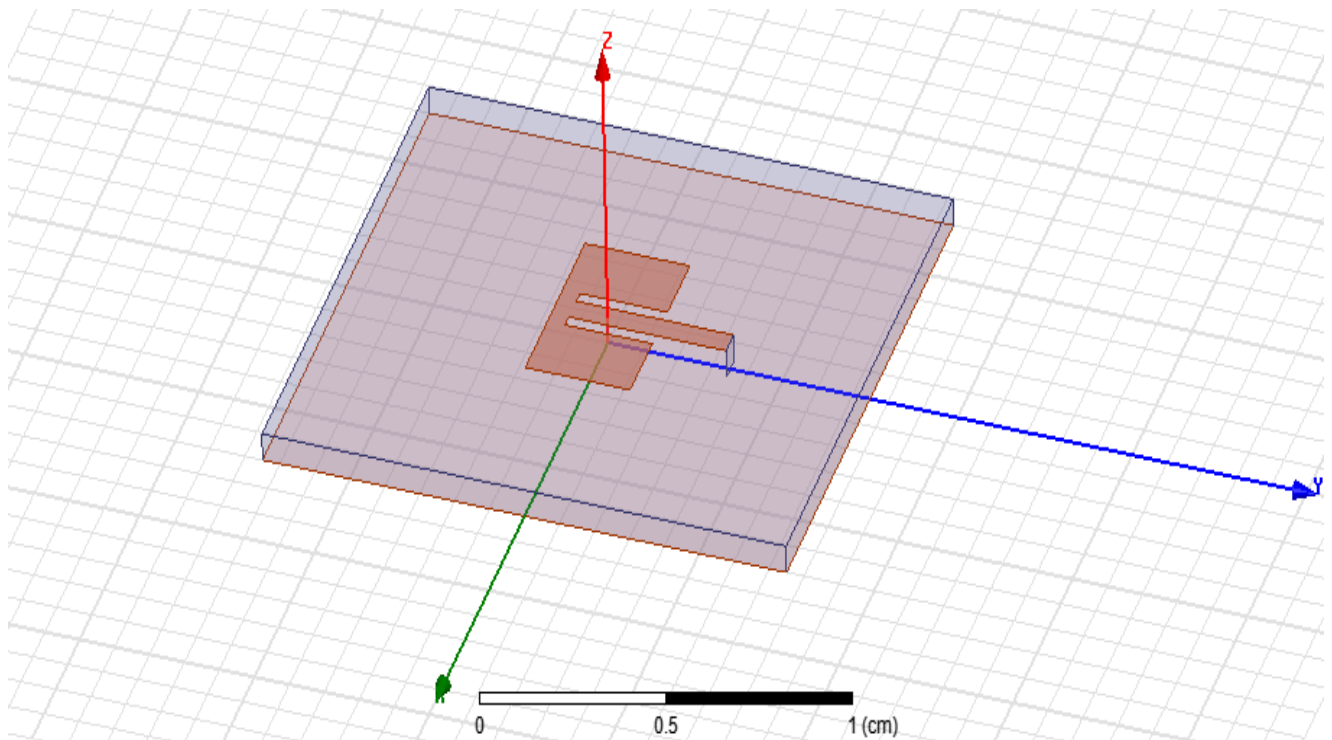


Figure III.4 : Antenne patch adapté à patch Y = 0.3cm

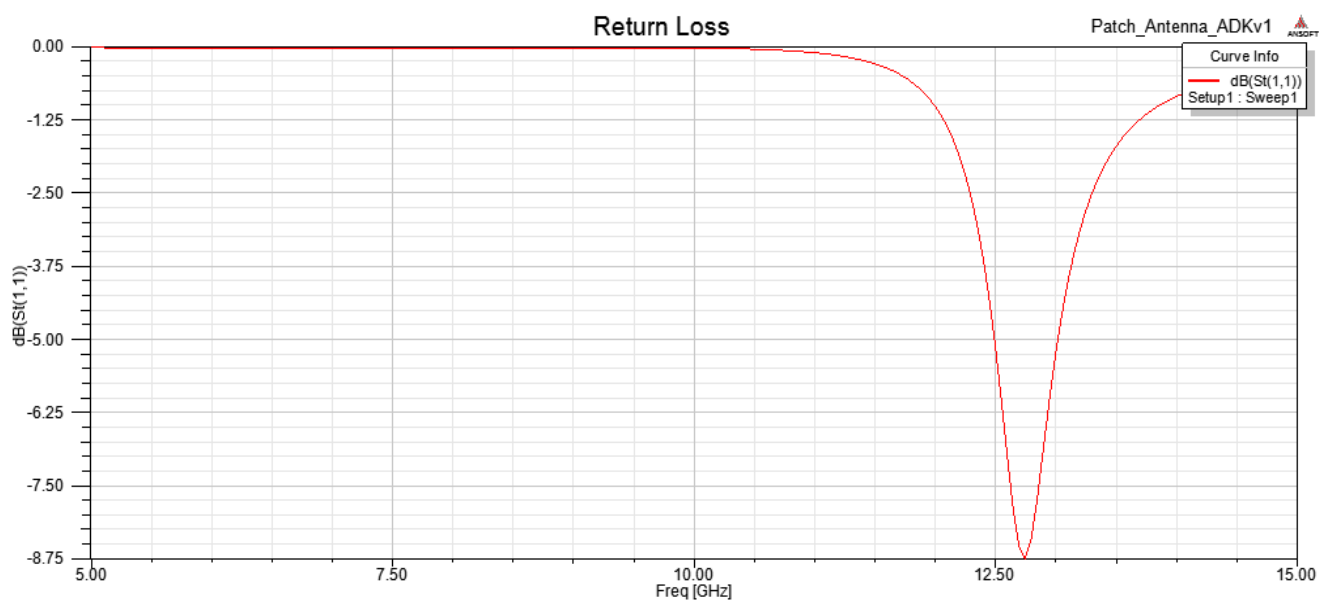


Figure III.5 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 12.74 GHZ.

En utilisation ces paramètres l'antenne ici résonne sur la fréquence de 12.74 GHZ produisant une coefficient S ($|S|$) est de l'ordre de 8.732dB. La bande passante est [12.338:13.211]GHZ ou 873MHZ.

On va essayer d'augmenter la longueur du patch de 0.3cm jusqu'à 0.5cm dans le but de s'approcher de la fréquence de résonance de 10 GHZ, le résultat est le suivant :

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.5	cm	0.5cm	Design
	patchY	0.5	cm	0.5cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	0.635	mm	0.635mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.17	cm	0.17cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III.2: Les paramètres de l'antenne patch à patch Y = 0.5cm .

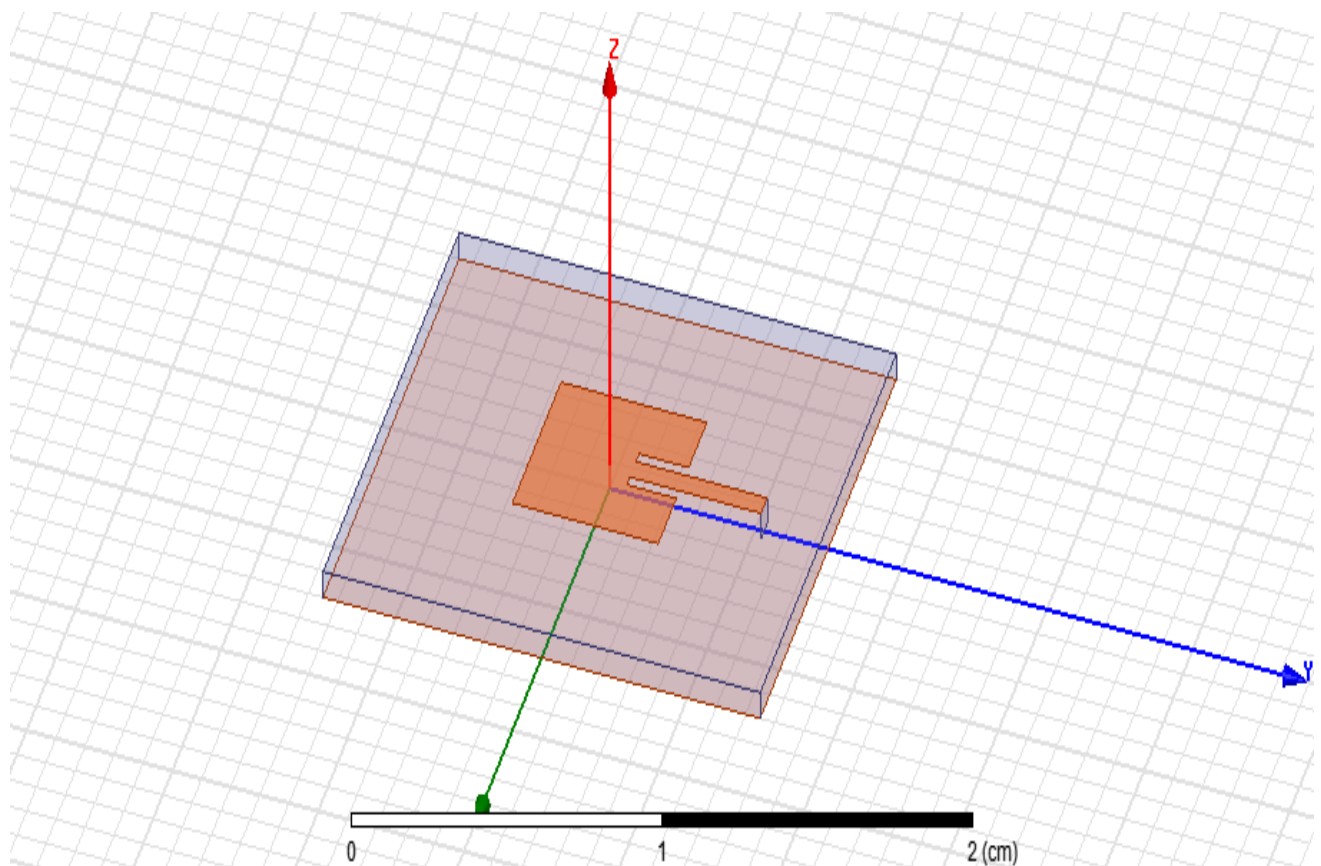


Figure III.6 : Antenne patch adapté à patch Y = 0.5cm

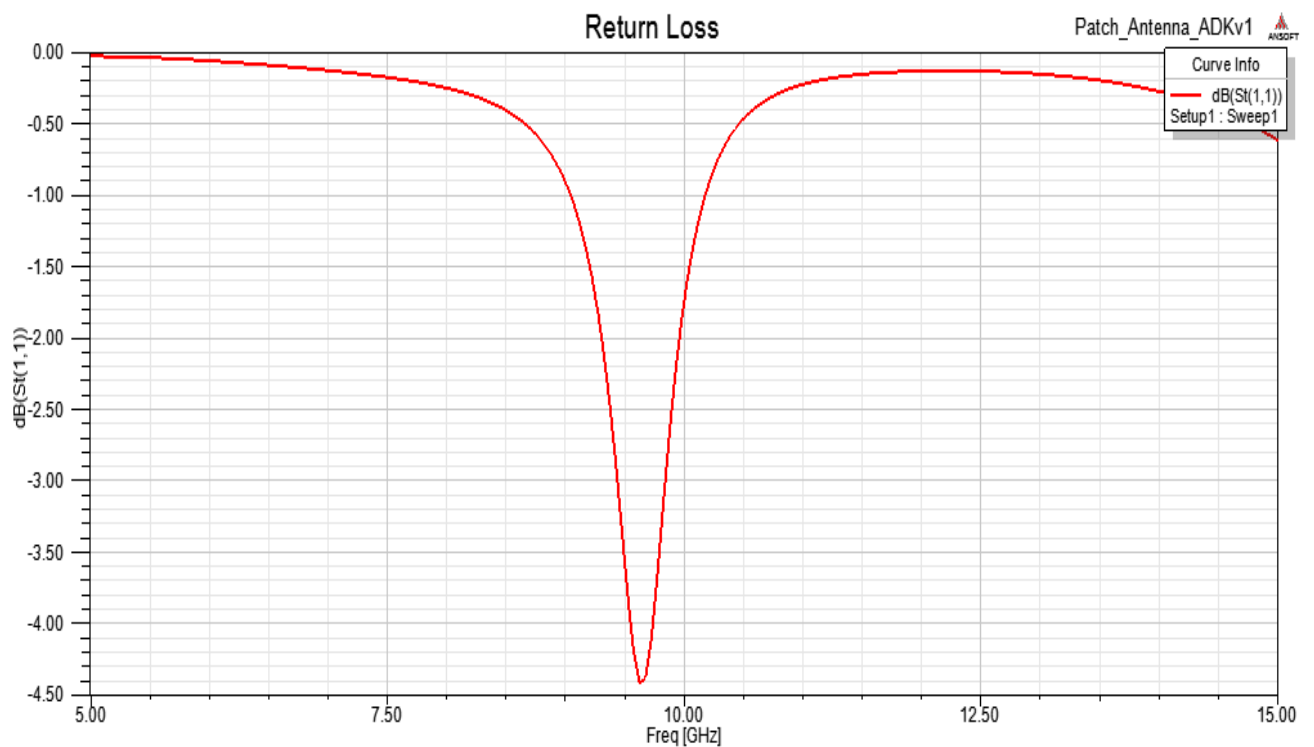


Figure III.7 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 9.62 GHZ.

On remarque que l'antenne a résonné à 9.62GHZ produisant une coefficient S est de l'ordre de 4.41dB. La bande passante est [9.435:9.84] GHZ ou 405MHZ.

Dans l'expérience précédente on remarque que la fréquence de résonnance obtenue est 9.62 GHZ avec une coefficient S est de l'ordre de 4.41dB, rappelons que ce paramètre est le rapport entre la puissance utile et la puissance fournie.

La bande passante peut être calculée comme on a cité déjà en décalant 3dB à l'avant puis on mesure les fréquences de coupure inférieur et supérieur.

Donc on diminue légèrement la longueur du patch de 0.04cm et on verra ce qu'on obtient ?

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.5	cm	0.5cm	Design
	patchY	0.46	cm	0.46cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	0.635	mm	0.635mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III.3 : Les paramètres de l'antenne patch à patch Y = 0.46cm .

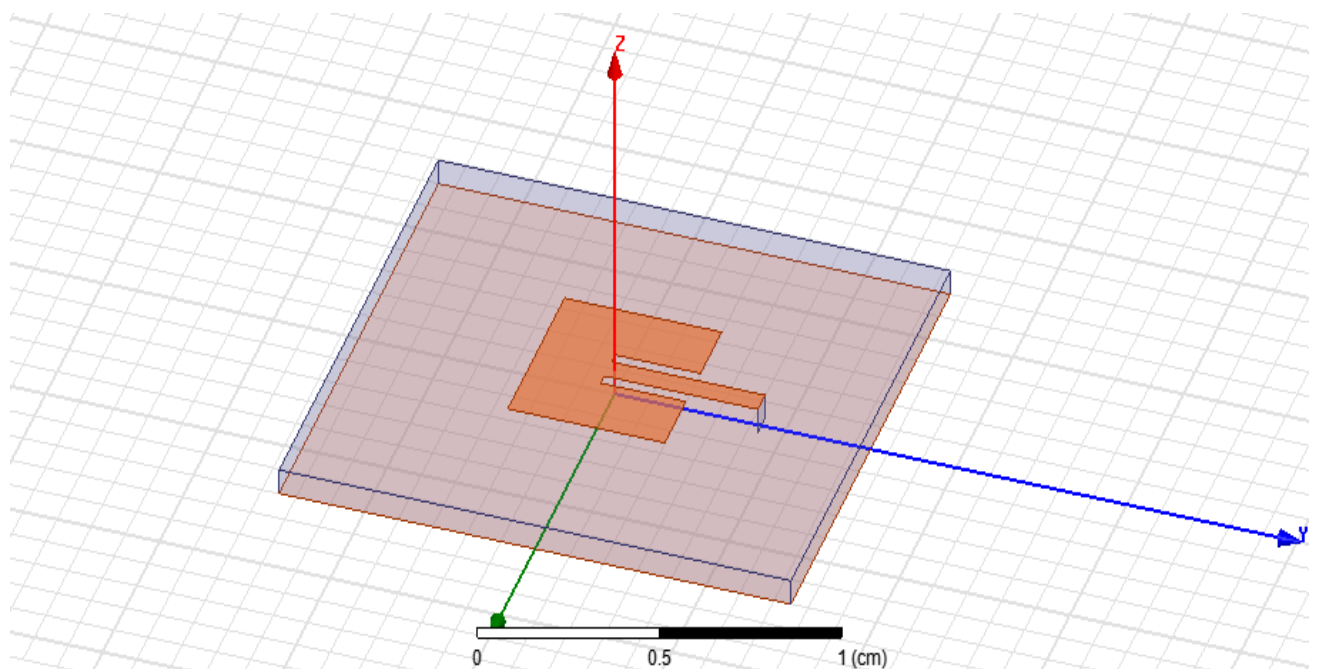


Figure III.8 : Antenne patch adapté à patch Y = 0.46cm.

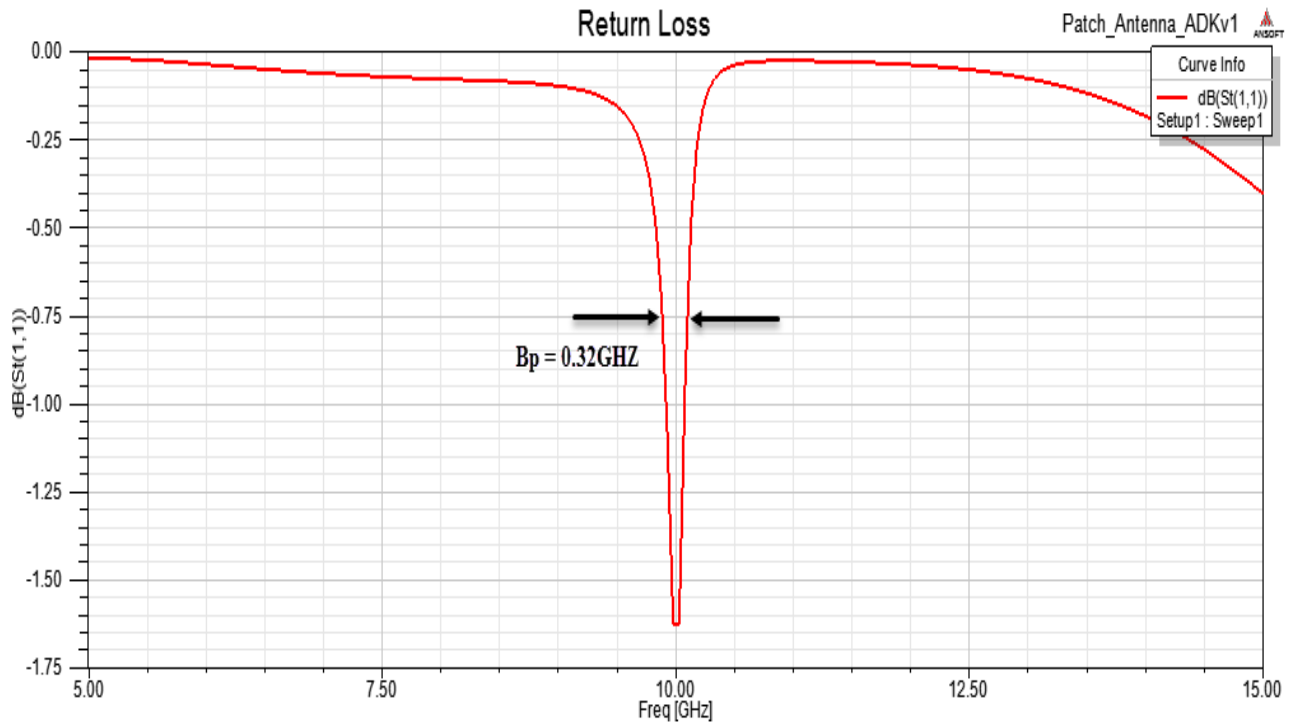


Figure III.9 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 10 GHZ.

Heureusement on obtient une fréquence est égale à la fréquence de résonance 10 GHZ produisant $|S| = 1.625dB$, la bande passante obtenue est [9.88 :10.2] GHZ ou 320 MHZ.

Pour calculer la bande passante on mesure les 2 fréquences de coupures sur -1.625dB sur le graph.
 ➔ B.P = [9.88 :10.2] GHZ. La bande est devenue plus étroite, en d'autres termes l'énergie est devenue plus concentrée sur une gamme de fréquences plus sélective. On doit prendre en note que la bande passante croît au détriment de la puissance rayonnée, alors pour avoir une forte puissance d'émission on doit essayer de réduire la largeur de la bande passante.

On a remarqué dans les expériences précédentes et en s'appuyant sur la formule que:

$$L = \frac{c}{2f_{01}\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L$$

La largeur du patch L a un grand effet sur les fréquences de résonance, la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la Longueur du patch.

III.4.1.2 Influence la largeur du patch (patch X) W :

Pour avoir l'influence de la largeur W d'antenne patch sur le rayonnement de ce dernier, on va faire fixer la valeur de la longueur d'antenne patch L (patch Y = 0.5cm) et la valeur d'épaisseur d'antenne patch H (subH=0.635mm).et en varier la largeur d'antenne patch L (dans le tableau d' HFSS la largeur = patch X).

Pour cela on a choisis la largeur du patch W comme valeur initial 0.2 cm

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type	
	-Patch Dimen...				Design	
	patchX	0.2	cm	0.2cm	Design	
	patchY	0.5	cm	0.5cm	Design	
	-Substrate Di...				Design	
	subH	0.635	mm	0.635mm	Design	
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design	
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design	
	-Feed				Design	
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design	
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design	
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design	
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design	
	-Air Box				Design	
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design	
	-Virtual Object...				Design	
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design	

Tableau III.4 : Les paramètres de l'antenne patch à patchX = 0.2cm .

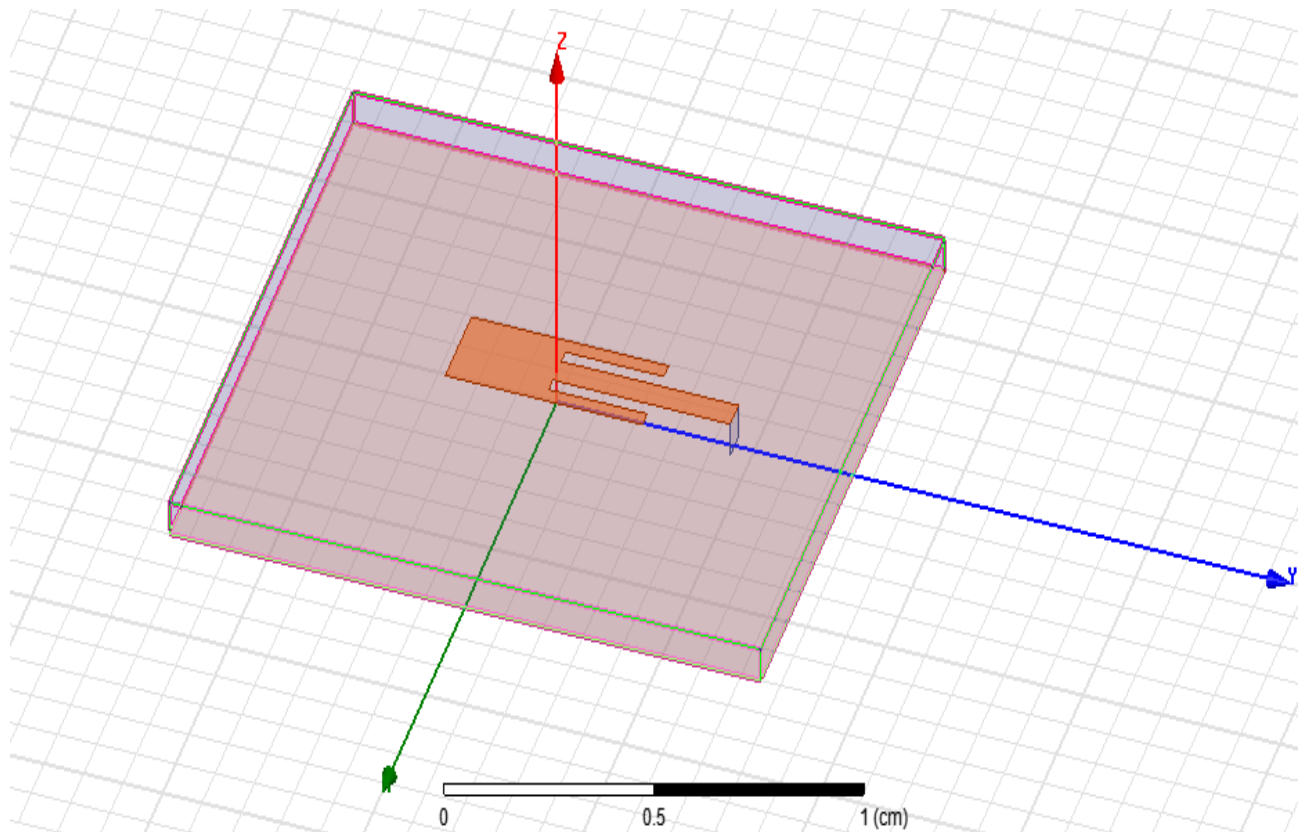


Figure III.10 : Antenne patch adapté à patchX = 0.2cm

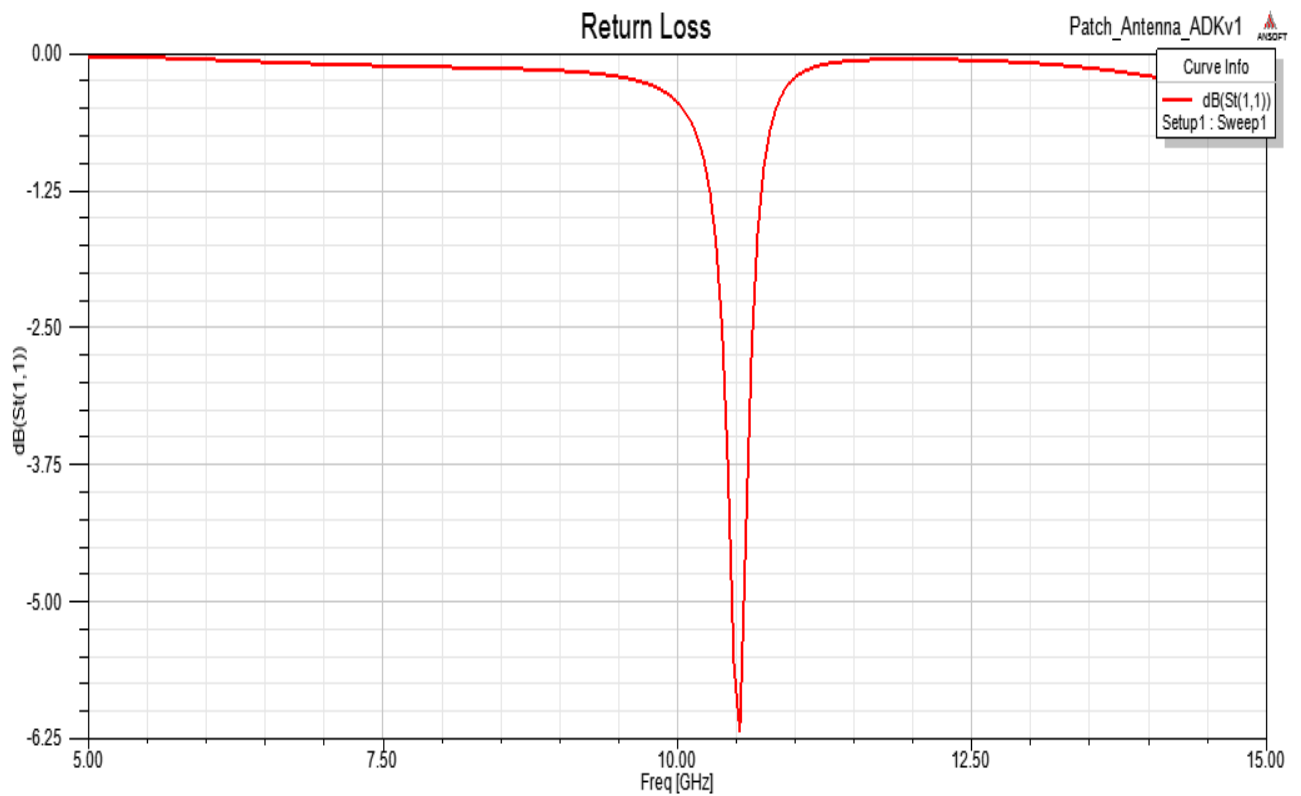


Figure III.11 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 10.52 GHz.

Chapitre III Simulation d'une antenne micro ruban et leur interprétations

On remarque que la fréquence ($f=10.52\text{GHz}$) est supérieur à la fréquence de résonance (10GHz) produisant $|S| = 6.186\text{dB}$, la bande passante obtenue est $[10.395 : 10.62]\text{GHz}$ ou 225MHz .

D'après l'expérience précédente on doit augmenter la largeur du patch W_{peu} par ce qu'on a beaucoup dépassé la fréquence de 10GHz pour la résonance.

Donc on choisit patch $X = 0.3\text{cm}$ et on verra ce qu'on obtient ?

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.3	cm	0.3cm	Design
	patchY	0.5	cm	0.5cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	0.635	mm	0.635mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III.5 : Les paramètres de l'antenne patch à patchX = 0.3cm .

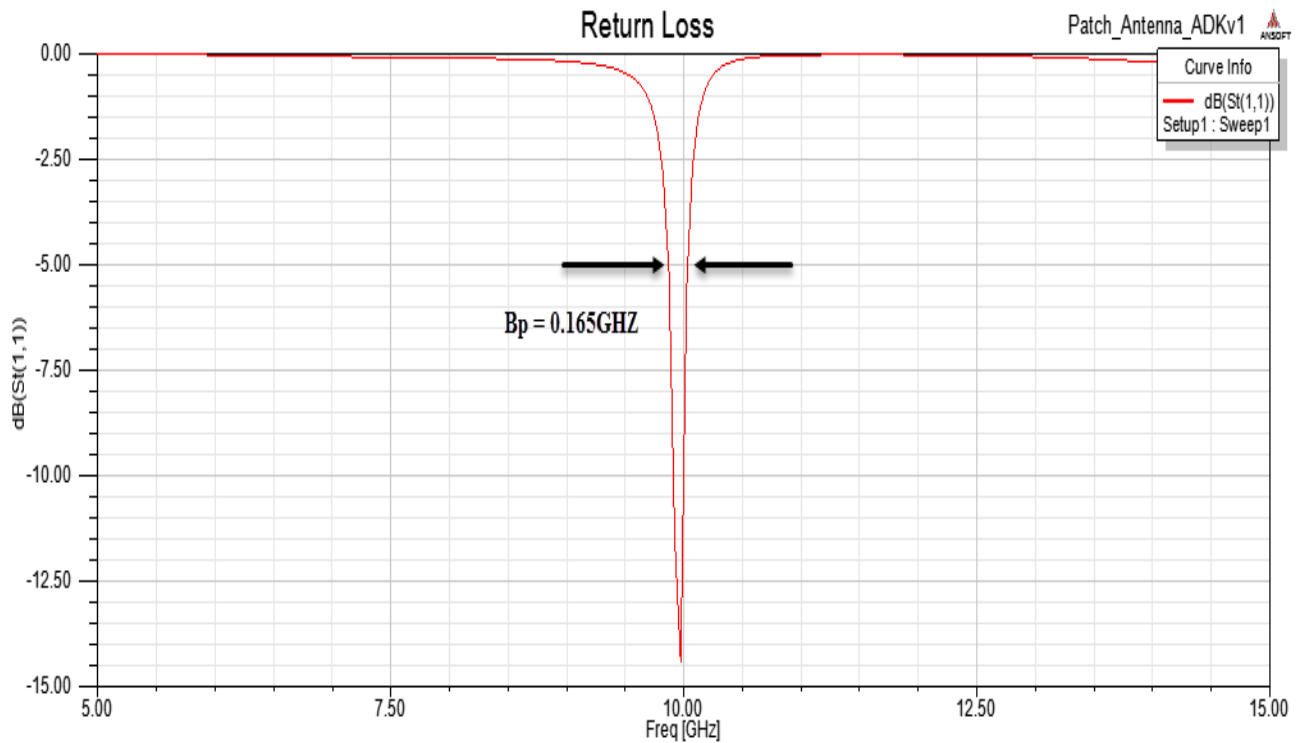


Figure III.12 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 9.975 GHZ.

On obtient une fréquence ($f=9.975$ GHZ) presque est égale à la fréquence de résonance 10GHZ produisant $|S| = 14.397dB$, la bande passante obtenue est $[9.87 : 10.035]$ GHZ ou 165 MHZ.

On a remarqué dans les expériences précédentes et en s'appuyant sur la formule que:

$$W = \frac{c}{2f_{01}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad \rightarrow \quad f_{01} = \frac{c}{2W} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance. Aussi, la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la largeur du patch.W.

III.4.1.3 Influence l'épaisseur du patch (subH) H :

Pour avoir l'influence d'épaisseur d'antenne patch sur le rayonnement de ce dernier, on va faire fixer la valeur du longueur d'antenne patch L (patch Y = 0.5cm) et la valeur du largeur d'antenne patch W (patch X = 0.5cm) et en varier l'épaisseur d'antenne patch H (dans le tableau d' HFSS l'épaisseur = sub H).

Pour cela on a choisit l'épaisseur du patch H comme valeur initial 0.5mm.

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.5	cm	0.5cm	Design
	patchY	0.5	cm	0.5cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	0.5	mm	0.5mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III. 6 : Les paramètres de l'antenne patch à subH = 0.5mm .

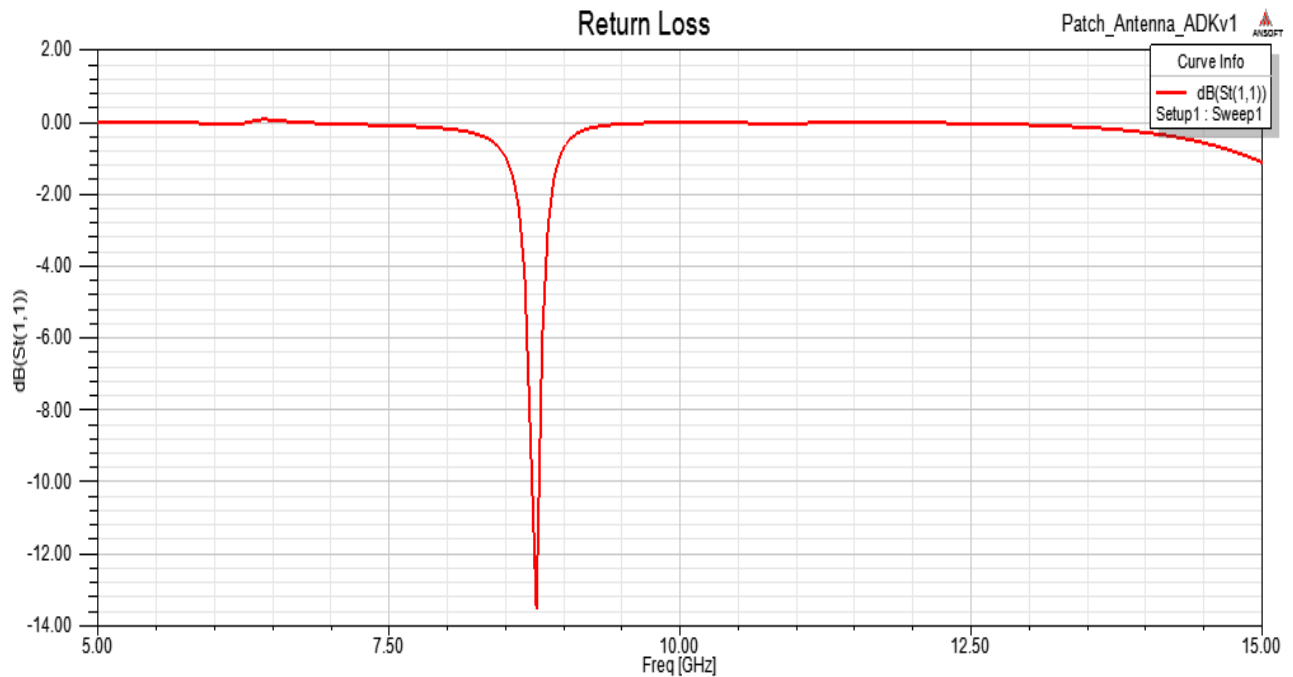


Figure III.13 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 8.769GHZ.

On obtient une fréquence ($f=8.769\text{GHZ}$) est inférieure à la fréquence de résonance (10GHZ) produisant une coefficient S est de l'ordre de 13.504dB. , la bande passante obtenue est [8.735 : 8.794] GHZ ou 59MHZ.

Donc on va changer l'épaisseur du patch H (subH), on choisit subH = 1mm et on verra ce qu'on

obtient ?

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.5	cm	0.5cm	Design
	patchY	0.5	cm	0.5cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	1	mm	1mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III.7 : Les paramètres de l'antenne patch à subH = 1mm .

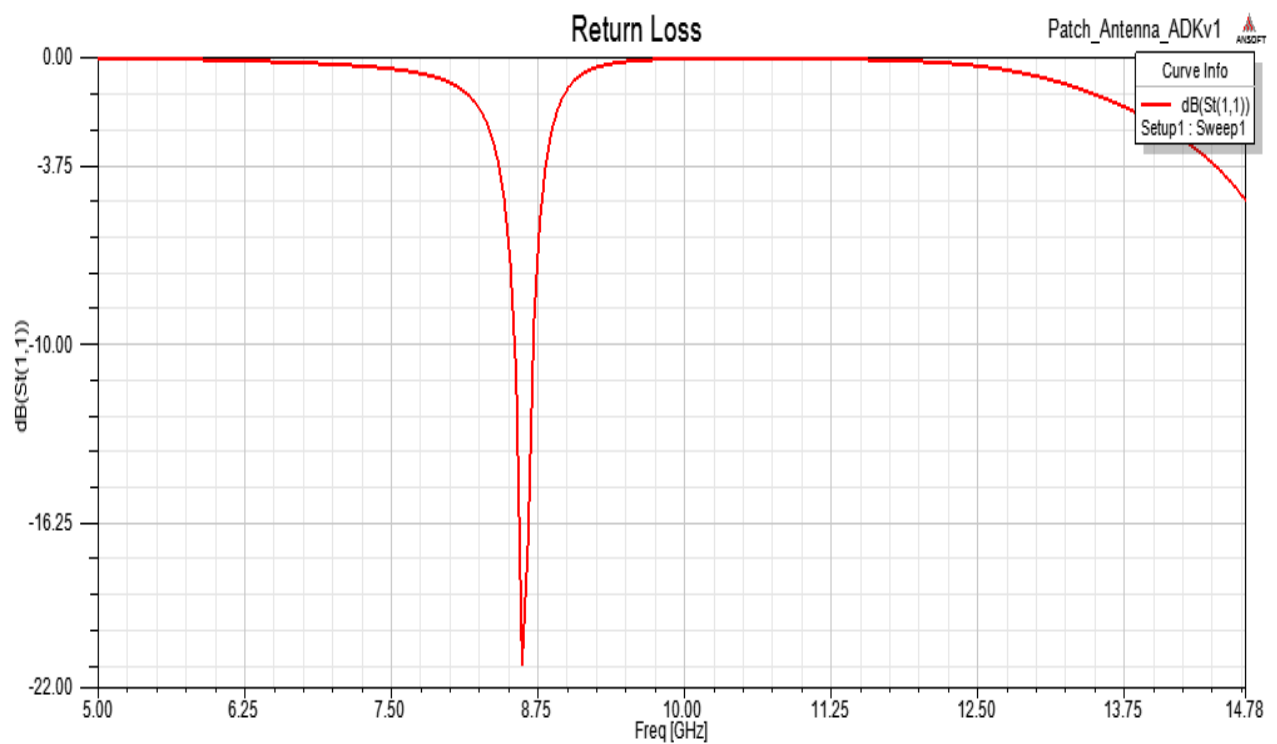


Figure III.14 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 8.6175GHZ.

On remarque que la fréquence est égale 8.6175GHz produisant un coefficient S est de l'ordre de 21.166dB, la bande passante obtenue est [8.555 : 8.715] GHz ou 160MHz.

Interpretation :

L'analyse de la **Figure III.13** et **Figure III.14** indiquent qu'avec une augmentation de l'épaisseur du patch (subH) de 0.5 mm à 1 mm, la bande passante pour laquelle le TOS est plus petit ou égal à 2 (c-à-d $S_{11} = -10$ dB) augmente de 59 MHz à 160 MHz. En outre, la fréquence de résonance diminue avec l'augmentation de la hauteur.

Donc la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à l'épaisseur du patch H. Par contre, la bande passante est directement proportionnelle à l'épaisseur du patch H.

III.4.2 Expérience : $F_r=10\text{GHz}$ & $|S|=1.625\text{dB}$:

On va choisir la longueur du patch L (patchY=0.46cm) et la largeur du patch W (patchX=0.5cm) et les autres propriétés comme la figure suivante :

	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Type
	--Patch Dimen...				Design
	patchX	0.5	cm	0.5cm	Design
	patchY	0.46	cm	0.46cm	Design
	--Substrate Di...				Design
	subH	0.635	mm	0.635mm	Design
	subX	1.4	cm	1.4cm	Design
	subY	1.5	cm	1.5cm	Design
	--Feed				Design
	InsetDistance	0.25	cm	0.25cm	Design
	InsetGap	0.032	cm	0.032cm	Design
	FeedWidth	0.0635	cm	0.0635cm	Design
	FeedLength	0.45	cm	0.45cm	Design
	--Air Box				Design
	Airbox_dist	0.9993	cm	0.9993cm	Design
	--Virtual Object...				Design
	VirtualObject_...	0.2998	cm	0.2998cm	Design

Tableau III.8 : Les paramètres de l'antenne patch .

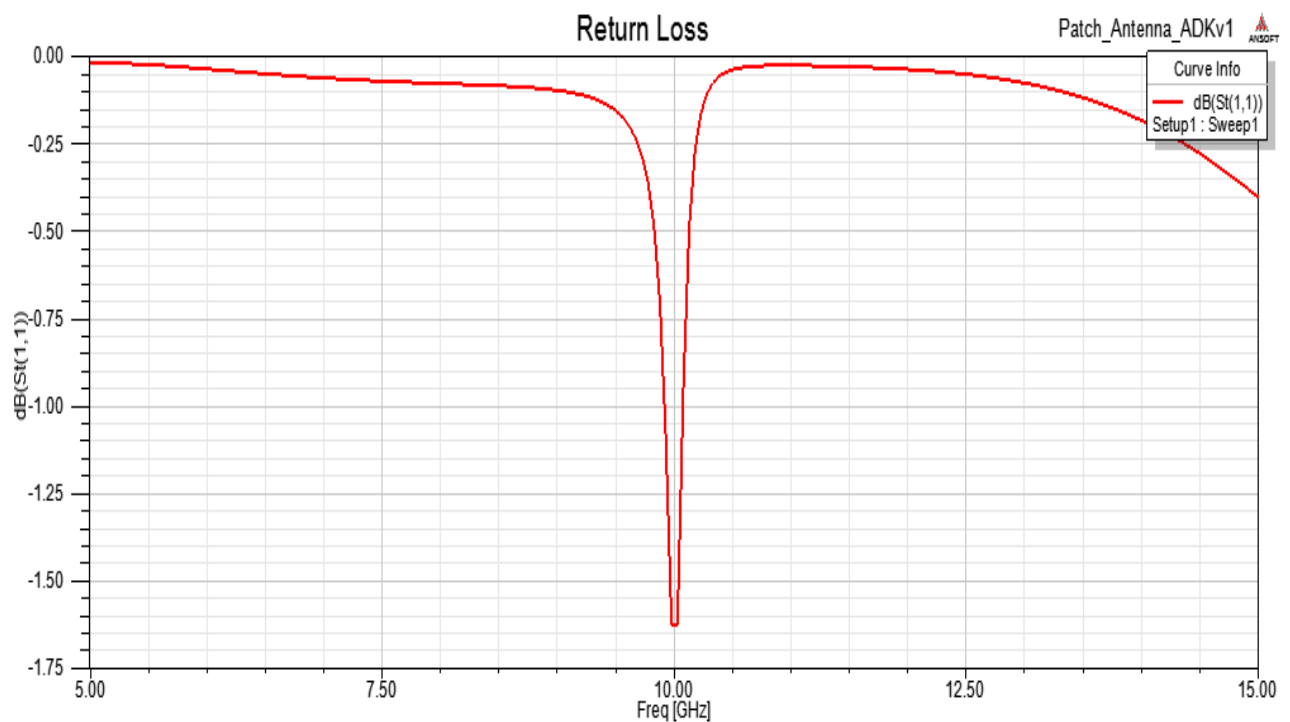


Figure III.15 : Paramètre S_{11} du patch avec adaptation à la fréquence 10 GHz.

la fréquence de résonance est a centre à 10 GHZ tout en obtenant une coefficient S est de l'ordre de 1.625dB, la bande passante est égale à [9.88 :10.2] GHZ ou 0.32 GHZ. Nous rappelons que la largeur du patch (patchX) n'a pas un effet sur le choix de la fréquence centrale et joue un rôle dans la variation de l'impédance d'entrée et la bande passante de l'antenne, par conséquent si on voudra minimiser les pertes on va essayer de varier W de l'antenne pour adapter l'impédance d'entrée du patch (Z_{in}) à la ligne entrante, ou bien varier la largeur de la ligne.

Pour ce qui concerne cette simulation, on va représenter le diagramme tridimensionnel polaire de rayonnement (3D Polar radiation pattern). On doit premièrement insérer le farfield setup ou configuration pour les champs lointains, on effectue alors les étapes suivantes :

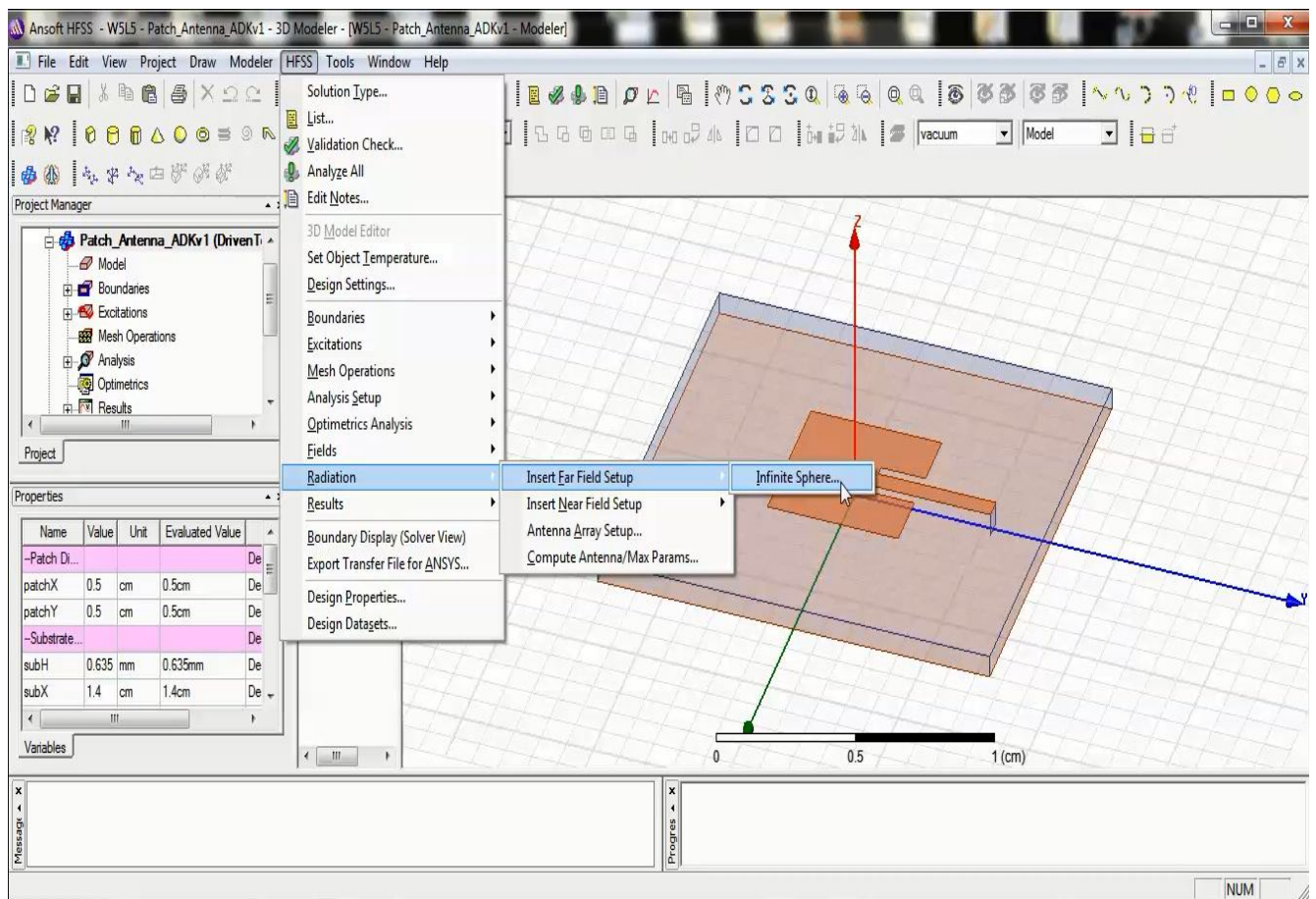


Figure III.16 : Antenne patch adapté

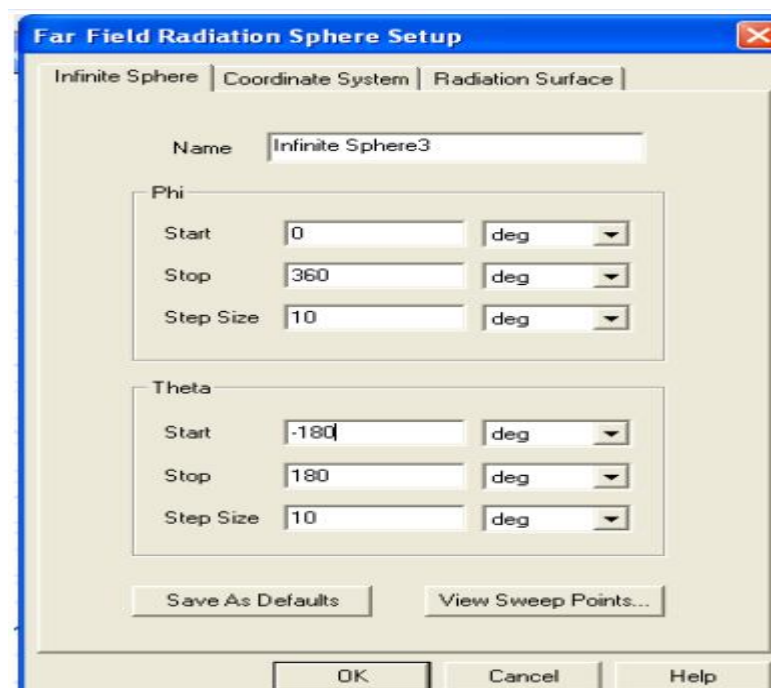


Figure III.17 : Détermination les dimensions de radiation sphérique.

On clique sur **HFSS**, ensuite **Results**, **Create Far Fields Report** puis on choisi **3D Rectangular Plot**. Enfin, la fenêtre de " **S paramètre** " affiche. Donc on fait l'étape suivante :

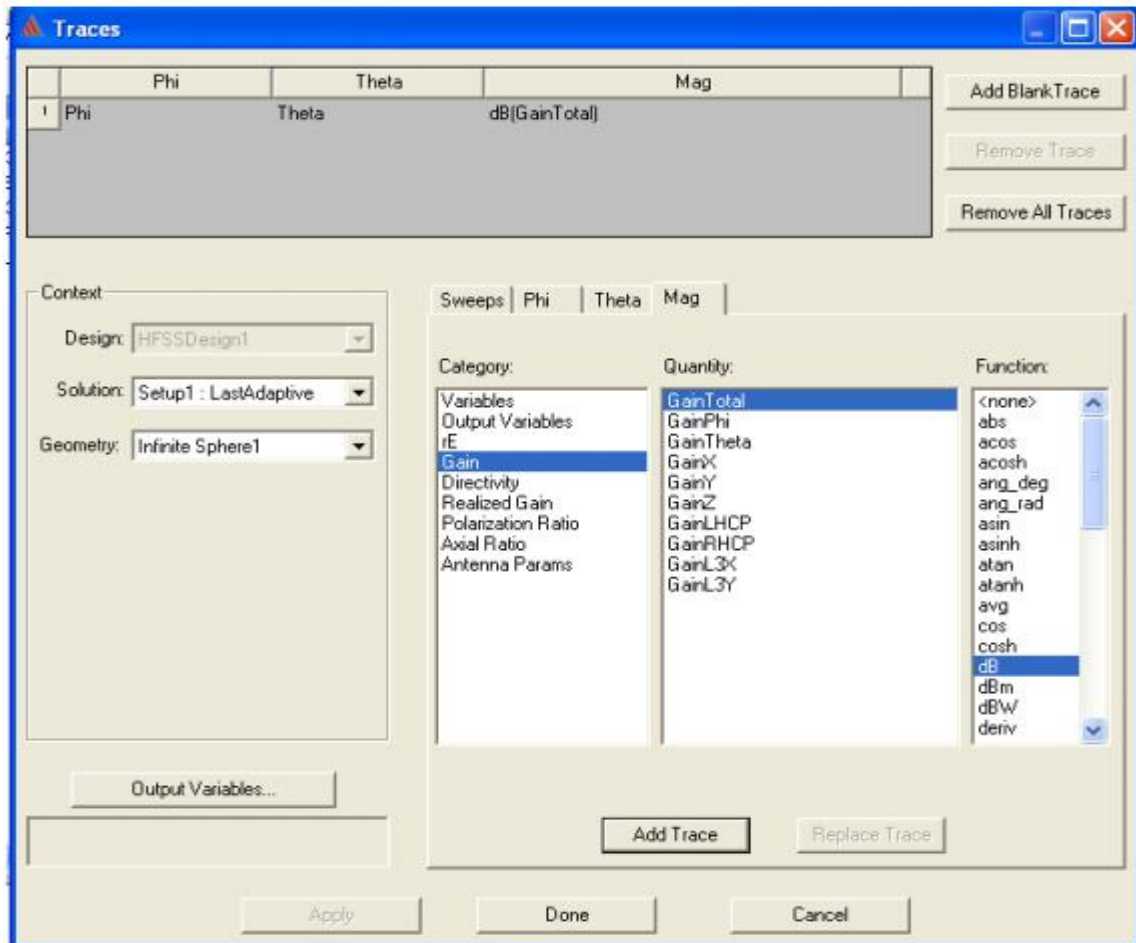


Figure III.18 : la fenêtre contient les divers types des traces.

Dans traces on choisit ' **Gain** ' dans "Catégorie" et dans " **Quantité** "on clique sur ' **Gain Total** '. Dans "Function", on choisit 'dB'.

Le résultat est le suivant :

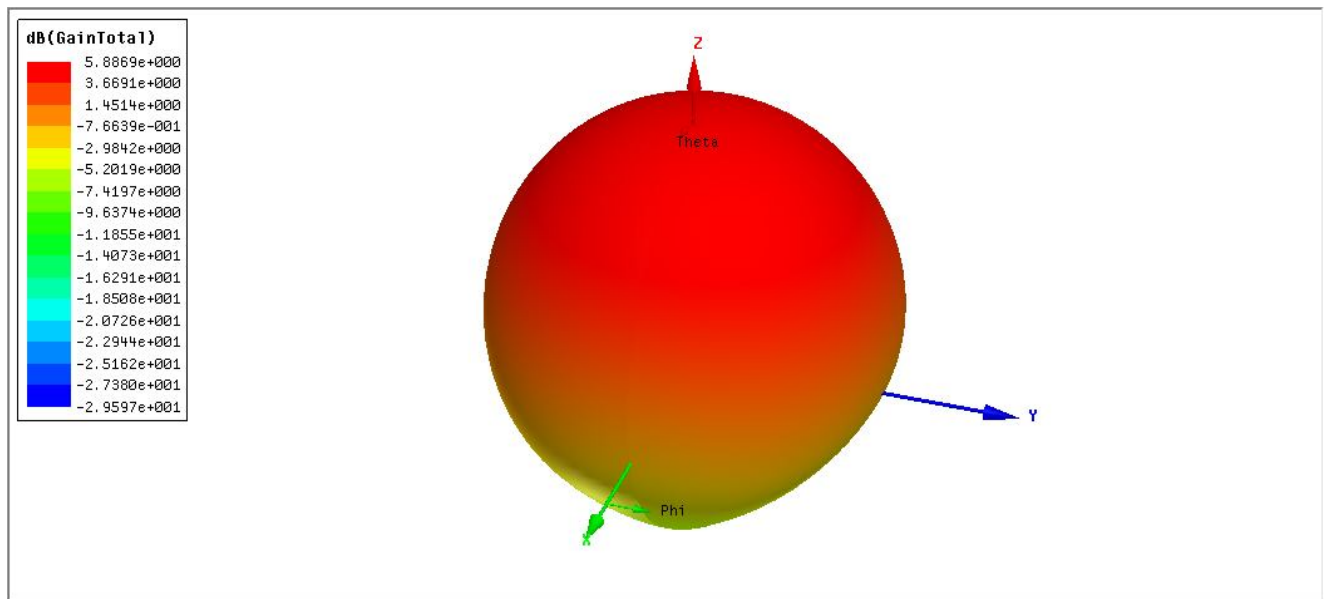


Figure III.19 : Gain total d'une antenne patch rectangulaire (3D Polar).

On remarque que le coefficient maximal de directivité est de 5.88 dB dans les directions verticales(z)

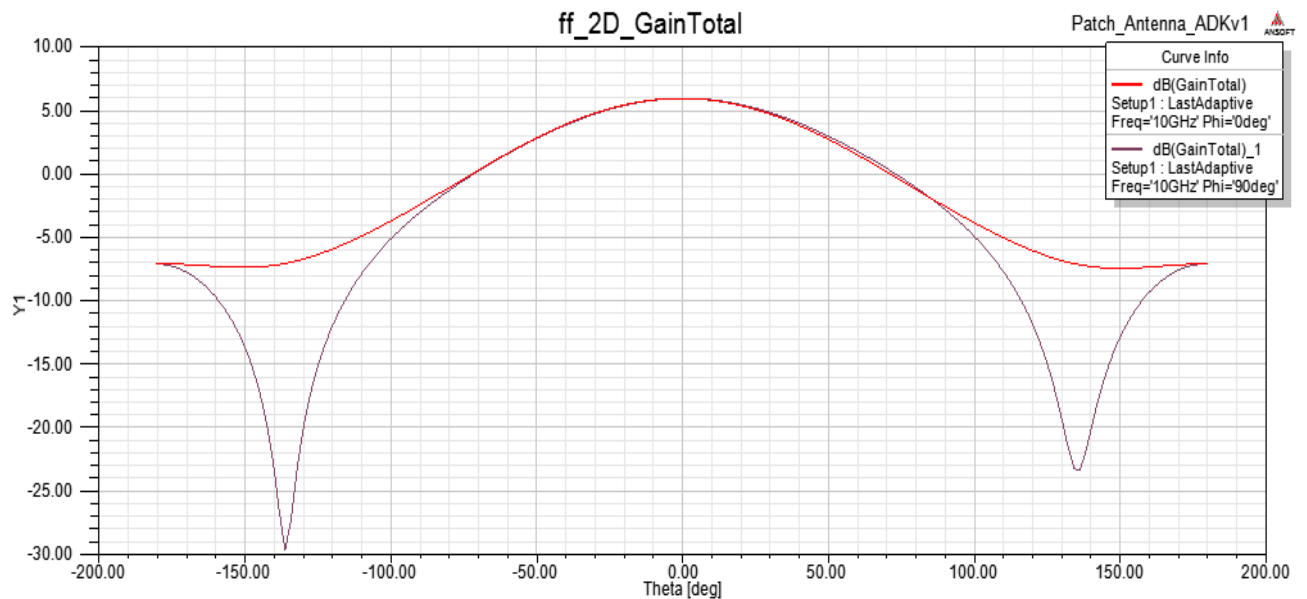


Figure III.20 : Gain total d'une antenne patch rectangulaire (Rectangular plot).

La figure III.21 représente l'évolution de l'impédance d'entrée en fonction de la fréquence pour le modèle décrit dans la figure III.16.

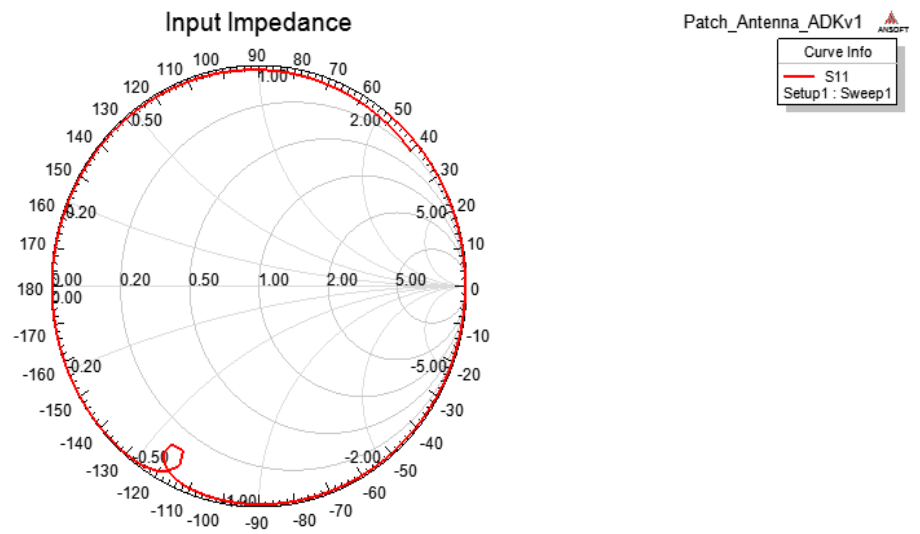


Figure III.21 : Impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire .

- Répartition du champ électrique E :

La figure III.22 et la figure III.23 présentent, respectivement, le champ électrique en surface et en volume de la structure simulée. Il est notable que le maximum de champ « E » se trouve concentré aux extrémités du patch, ce qui explique le fait que le rayonnement de ce type d'antenne s'effectue principalement par ses bords.

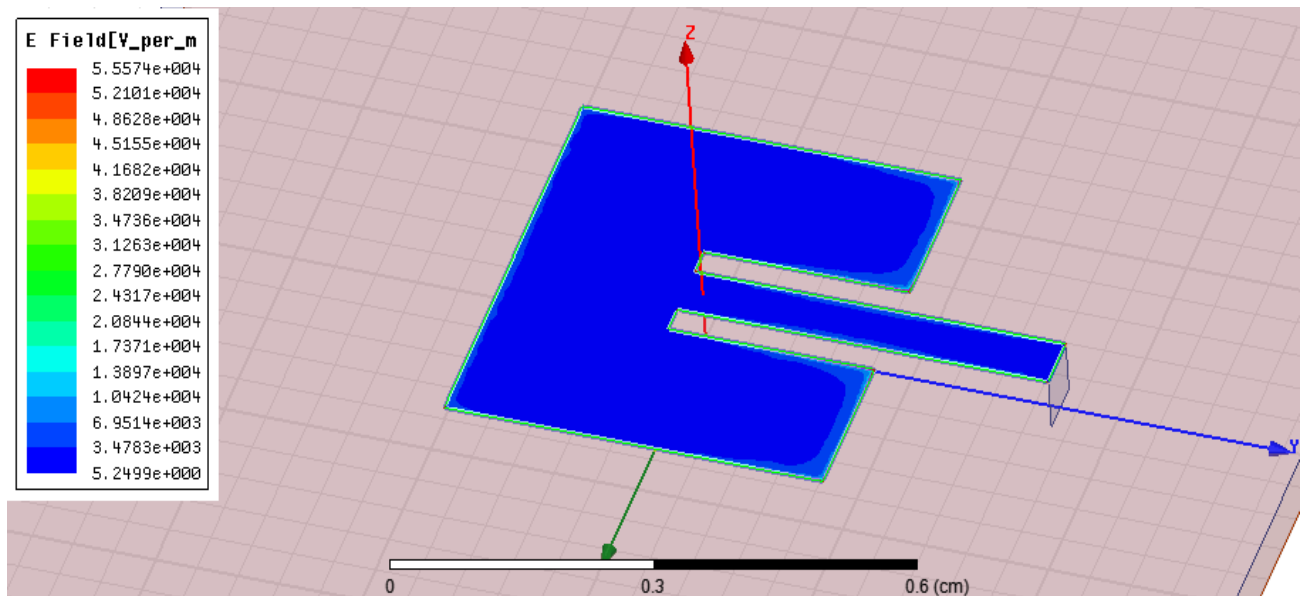


Figure III.22: Répartition du champ électrique E en surface (2D).

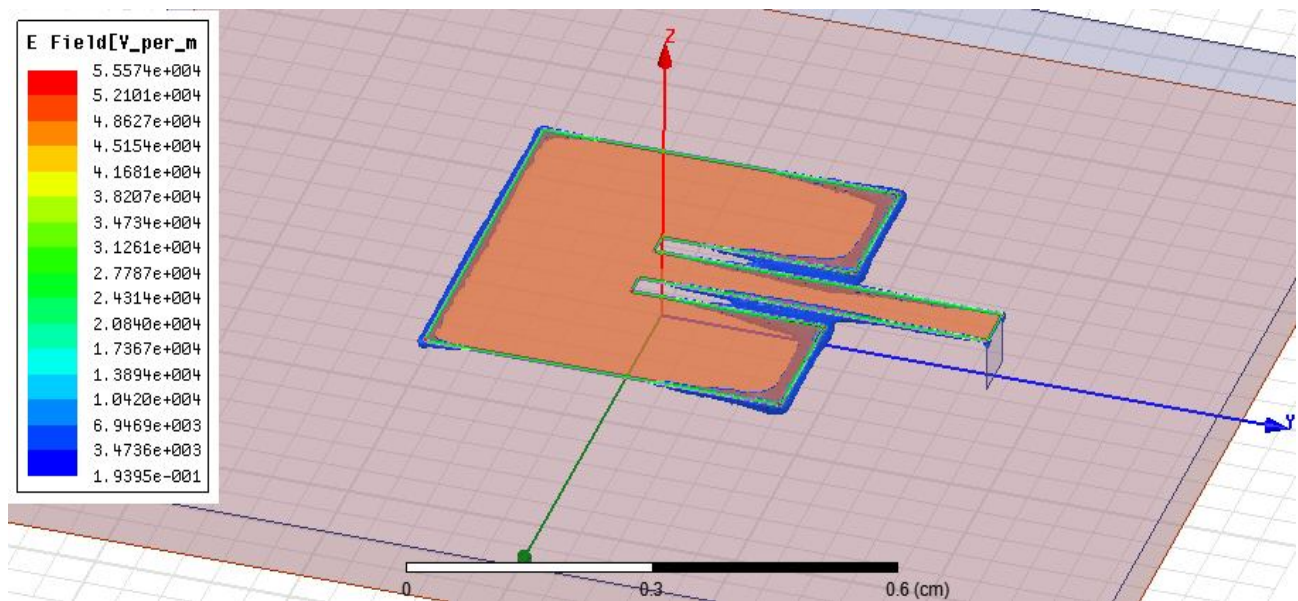


Figure III.23: Répartition du champ électrique E en volume (3D).

- Répartition du champ H :

De même que précédemment, La figure III.24 et la figure III.25 présentent, respectivement, le champ magnétique en surface et en volume de la structure simulée. Le maximum du champ H se trouve concentré sur les bords du patch.

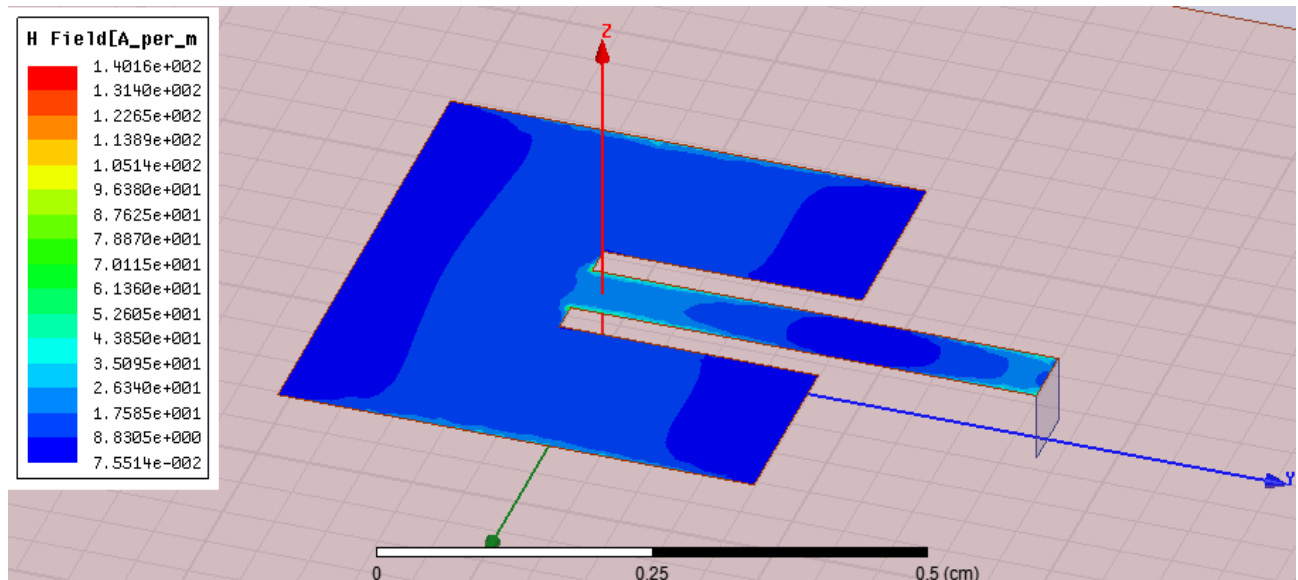


Figure III.24: Répartition du champ magnétique H en surface (2D).

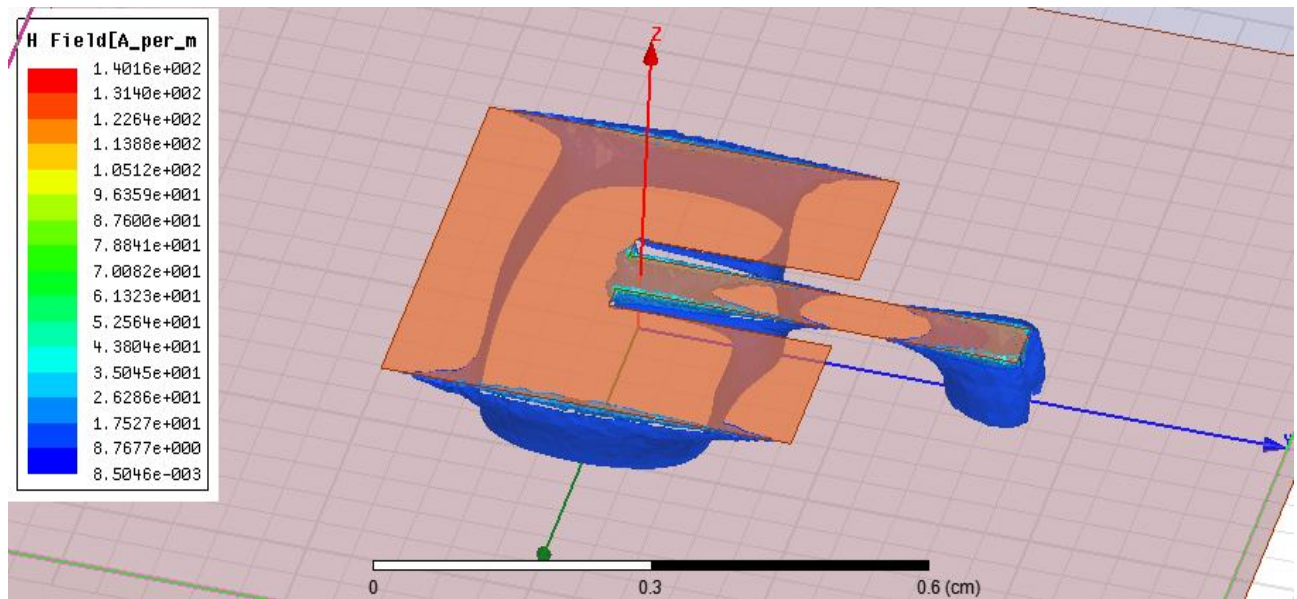


Figure III.25: Répartition du champ magnétique H en volume (3D).

- Répartition de la densité de courant surfacique :

La densité de courant surfacique J_s à la fréquence de résonance sur la surface du patch est présentée dans la figure III.26. Cette figure montre une densité J_s maximale concentrée aux voisinages des bords du patch, ce qui renforce le résultat théorique stipulant que le rayonnement s'effectue sur les bords du patch.

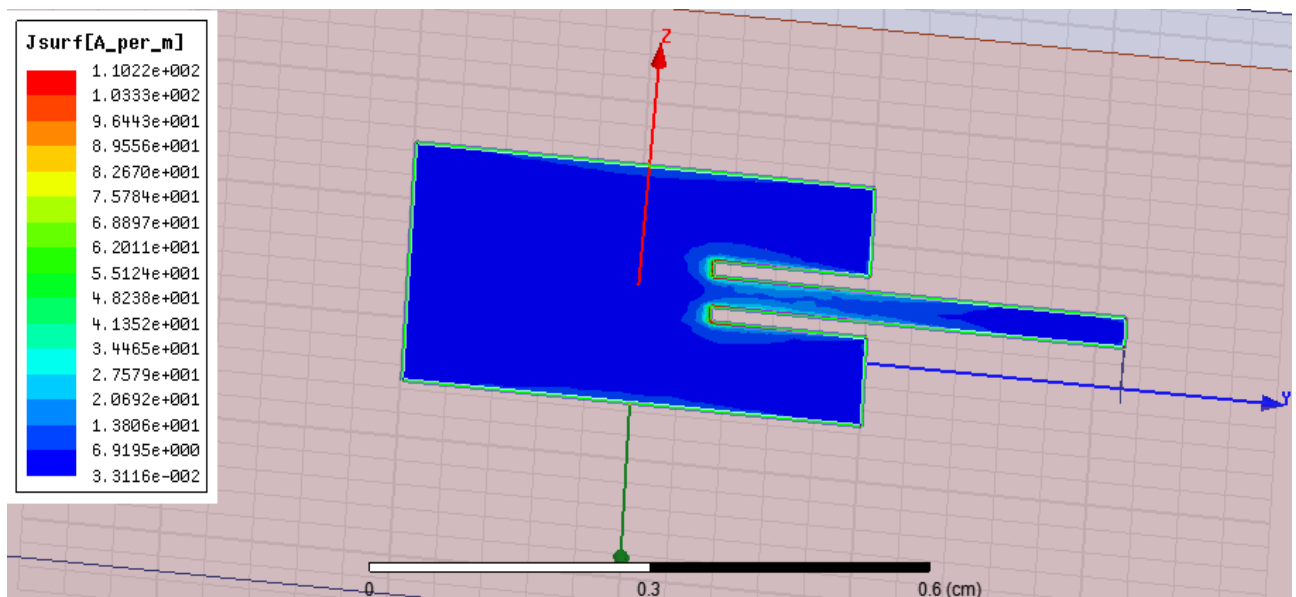


Figure III.26 :Densité surfacique du courant.

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a acquis des informations sur un nouveau logiciel (HFSS) où on ne l'a pas utilisé dans les années précédentes. On a conclu que comment : réduire les pertes, augmenter le gain et changer la fréquence dans la technologie d'antenne micro ruban (patch) et ça est à cause de changement dans les paramètres (longueur L, largeur W et l'épaisseur H du patch) où la largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance donc de l'antenne par rapport la longueur et l'épaisseur du patch. Et on a conclut que la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à ces paramètres (longueur L, largeur W et l'épaisseur H du patch).

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'antenne patch est une antenne directive surtout avec l'utilisation des techniques d'adaptation qui ne permettent de minimiser le coefficient de réflexion mais pas de retrouver la fréquence de résonance souhaitée.

Les résultats obtenus ont abouti à plusieurs valeurs du coefficient de réflexion à la fréquence de résonance aux quelles on a choisi la meilleure valeur qui représente le point optimal.

Nous avons évoqué l'influence de la longueur L , la largeur W et l'épaisseur H du patch sur la fréquence de résonance où la longueur L et l'épaisseur H ont un grand effet par rapport la largeur W , sur la fréquence de résonance.

La conception d'une antenne patch a été très enrichissante. D'une part, il nous a permis d'appliquer les connaissances acquises sur le logiciel HFSS et d'autre part, il nous a donné la possibilité d'approfondir nos connaissances sur les antennes.

Notre travail est complété par l'optimisation d'antenne patch à son point optimal conclu afin d'élargir sa bande passante et couvrir la gamme du travail.

Ce projet nous a donné la possibilité de simulation d'une antenne micro ruban où nous avons remarqué sa performance dans la simulation et leur avantages.

Pour mettre à profit notre travail, nous espérons bien que ce dernier soit implémenté à la pratique notamment dans tous les systèmes cellulaires.

Bibliographie

- [1] Benabadji Selma, Lallam Chafika; " Conception et modélisation d'une antenne microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Master en Télécommunications, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2012.
- [2] Odile Picon et coll; "Les antennes Théorie, conception et applications"; DUNOD, Paris,2009, ISBN 978-2-10-054245-1.
- [3] Belainine Fayçal Abderahmen, Salmi Mohamed Arezki;" Etude de la miniaturisation des antennes par repliement – Application pour la conception d'une antenne 2.4 GHZ "; Mémoire de Master en Système Télécommunications, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2013-2014.
- [4] Abderrahmane Agouzoul; " Conception et réalisation d'une antenne à résonateur diélectrique à 60 GHZ pour les applications souterraines "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Magister en ingénierie, Université du Québec, Aout 2013.
- [5] Belainine Fayçal Abderahmen, Salmi Mohamed Arezki;" Etude de la miniaturisation des antennes par repliement – Application pour la conception d'une antenne 2.4 GHZ "; Mémoire de Master en Système Télécommunications, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2013-2014.
- [6] Abderrahmane Agouzoul; " Conception et réalisation d'une antenne à résonateur diélectrique à 60 GHZ pour les applications souterraines "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Magister en ingénierie, Université du Québec, Aout 2013.
- [7] Belainine Fayçal Abderahmen, Salmi Mohamed Arezki;" Etude de la miniaturisation des antennes par repliement – Application pour la conception d'une antenne 2.4 GHZ "; Mémoire de Master en Système Télécommunications, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2013-2014.
- [8] Abderrahmane Agouzoul; " Conception et réalisation d'une antenne à résonateur diélectrique à 60 GHZ pour les applications souterraines "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Magister en

ingénierie, Université du Québec, Aout 2013.

- [9] Hafedh Ben Ibrahim Gaha; " Analyse et conception des antennes fractales – Application aux télécommunication large bande "; Thèse pour obtenir le titre de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (France) et de Docteur de l'Ecole National d'Ingénieurs de Tunis de l'Université Tunis EL-MANAR, Juillet 2007.
- [10] Odile Picon et coll; " Les antennes Théorie, conception et applications "; DUNOD, Paris, 2009, ISBN 978-2-10-054245-1.
- [11] Alaeddine AL-FAWAL; " Conception et Réalisation de Réseaux d'Antennes pour les Mesures de Propagation et de Transmission - Application aux Réseaux de Communication sans Fil UMTS, WLAN, WLL ET HIPERLAN/2 "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme d'Ingénieur en Électricité et Électronique, Option Télécommunication et Informatique, Université Libanaise, 9 juillet 2001.
- [12] Yamina Tighilt; " Identification des antennes micro rubans multicouches par la methode spectrale et les reseaux de neurones "; thèse de doctorat en Sciences, Département d'électronique, Université Ferhat Abbas, Setif, 23 juin 2011.
- [13] Chouti Leila; " Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bande tenant compte de l'effet de couplage "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Magister en Electronique, Département d'Electronique, Université Mentouri – Constantine, 13 janvier 2009.
- [14] Linda Djouablia; " Contribution a l'Etude des Structures Microbandes Rayonnantes par la Methode des Moments Application a la Forme Triangulaire "; thèse de doctorat en Sciences en Electronique, Département d'électronique, Université de Constantine, 02 juillet 2012.
- [15] Aissaoui Djelloul; " Analyse à l'Aide de Modèles Equivalents d'Antennes Imprimées Alimentées par Lignes Adaptées "; thèse de Magister en Electronique, Département d'Electronique, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Mars 2007.
- [16] Mourad HASSAD; " Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseurs de permittivité et de perméabilité diagonaux "; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Magister en Electronique, Département d'Electronique, Université de Batna, 17 juin 2009.
- [17] Aissaoui Djelloul; " Analyse à l'Aide de Modèles Equivalents d'Antennes Imprimées Alimentées par

Lignes Adaptées "; thèse de Magister en Electronique, Département d'Electronique, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, Mars 2007.

- [18] Tebache Soufiane; " Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées "; Mémoire présenté en vue de l'obtention du titre de Magister en Génie électrique, Département de Génie électrique, Université Mohamed Khider – Biskra, 25 juin 2013.
- [19] Site web de la société de production du logiciel de HFSS :
<http://www.ansys.com/Products /Simulation+Technology/Electronics/Signal+Integrity/ANSYS+HFSS>
- [20] Rabih SLIM ; " Conception d'une Antenne Patch ou Réseau d'antennes A gain fort et haute Directivité allant jusqu'à 30 dB "; PJI, Faculté des Ingénieurs en Télécommunications, Informatique Réseaux et Multimédias, Université Antonine.
- [21] M. Iftissane, S. Bri, L. Bellarbi; " Conception of Patch Antennas in the GSM and UMTS Band "; Article, PIERS Proceedings, Xi'an, China, 22-26 Mars 2010.
- [22] Rabih SLIM & Khalil HAYDAR; " Conception d'une Antenne Patch ou Réseau d'antennes A gain fort et haute Directivité pour Applications WiFi 2.45 GHZ "; Rapport MDR, Faculté des Ingénieurs en Télécommunications, Informatique Réseaux et Multimédias, Université Antonine.

Résumé :

Une antenne micro ruban (imprimée) est constitué d'un patch sur un côté supérieur d'un substrat diélectrique, avec un plan de masse sous un côté inférieur du substrat. En raison de ses avantages tels qu'un faible poids et faible volume les coûts de fabrication faibles et la capacité à intégrer avec des circuits intégrés microondes (CIM), l'antenne micro ruban est très bien adapté pour des applications telles que les téléphones cellulaires, les téléavertisseurs, les systèmes de missiles et les systèmes de communications par satellite. L'objectif de ce travail est d'étudier la méthode du travail de l'antenne et étudier les différents facteurs qui l'affectent.

Mots clés :

Antenne imprimée, Micro ruban, bande passante.

Abstract :

A microstrip antenna (printed) consists of a patch on an upper side of a dielectric substrate with a ground plane under a lower side of the substrate. Because of its advantages such as low weight and low volume low manufacturing costs and the ability to integrate with microwave integrated circuit (MIC), the microstrip antenna is very well suited for applications such as cell phones , pagers, missile systems and satellite communications systems. The objective of this work is to study the method of the antenna work and study the various factors that affect it.

Keywords:

Printed antenna, microstrip, bandwidth.

ملخص:

يتكون الهوائي المطبوع من لوح ناقل (باتش) فوق الجانب العلوي للركيزة العازلة ، مع مستوي أرضي تحت الجانب السفلي لها، و اعتمادا على مزاياه الإيجابية و المتمثلة في وزنه المنخفض و الحجم المنخفض كذلك مع إنخفاض تكلفة تصنيعه ، و مع قدرة إندماجه مع دارات التواترات العالية " الميكرو موجية "، الهوائي الشريطي المتغير هو مناسب بشكل جيد للعديد من التطبيقات العملية التي نذكر منها: الهواتف الخلوية و أجهزة الإستدعاء، و أنظمة الصواريخ وأنظمة الاتصالات الفضائية. الهدف من هذا العمل هو دراسة طريقة عمل الهوائي و دراسة مختلف العوامل التي تؤثر فيه.

الكلمات المفتاحية :

الهوائي المطبوع، متغير شريطي ، عرض النطاق الترددي.