



République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen

Faculté de technologie

Département de télécommunications

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en réseaux et télécommunications

DOMAINE : Réseaux et Télécommunications

Réalisé par :

BAGHLI Nabil

Sujet :

Conception d'antennes en Technologie Imprimée avec et sans Boîtier

Présenté le 21/09/2022 devant le jury composé de :

M. BOUKLI HACENE NOURREDINE	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mme BENOSMANE HAYET	MCA	Univ. Tlemcen	Examinatrice
M. MERIAH Sidi Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Encadrant

Année universitaire : 2021 / 2022

Dédicaces

A mes parents ;

A ma famille ;

A mes amis.

BAGHLI Nabil



Remerciements

Le présent travail de thèse a été réalisé au Laboratoire de télécommunications LTT de l'Université ABOUBAKR BELKAID de Tlemcen.

Tout d'abord je tiens à remercier chaleureusement et à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance envers mon encadrant, et directeur du laboratoire LTT, **Mr MERIAH Sidi Mohamed** pour sa disponibilité et ses précieux conseils qui ont permis à ce travail de voir le jour.

Mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail. Mes remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant toutes ces années d'études. Enfin je ne voudrais pas oublier de remercier toute personne qui m'a aidé de loin ou de près à réaliser ce travail.

Je tiens aussi à remercier mes parents et en particulier à mon père pour son accompagnement tout au long de ce travail. Je lui suis très reconnaissant pour tous les conseils, toute l'aide, toute la confiance et pour tous les moyens qu'il a mis à ma disposition.

Résumé :

Au cours de ce travail de projet de fin d'étude, nous nous sommes attelés à la conception et à l'optimisation d'une antenne patch rectangulaire avec ou sans boîtier. Notre conception est basée sur l'étude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire alimenté au moyen d'une ligne micro ruban, laquelle conception nous permet d'étudier l'influence de tous les paramètres sur les performances de notre antenne.

Après cela nous sommes passé à la simulation et l'analyse de l'effet d'un boîtier sur les performances de l'antenne. Différents matériaux ont été utilisés dans notre analyse afin d'établir une comparaison sur les performances de l'antenne point de vue rayonnement et adaptation.

Mot clés : Antenne patch , Adaptation, Boitier, Diagramme de rayonnement, Gain.

Abstract:

During this final year project, we have worked on the design and optimization of a rectangular patch antenna with or without housing. Our design is based on the parametric study of a rectangular patch antenna fed by means of a microstrip line, which design allows us to study the influence of all parameters on the performance of our antenna.

After that we moved on to the simulation and analysis of the effect of a housing on the performance of the antenna. Different materials have been used in our analysis in order to establish a comparison of the antenna performance in terms of radiation and matching.

Key words: Patch antenna, Matching, Housing, Radiation pattern, Gain.

ملخص:

أثناء عمل مشروع نهاية الدراسة هذا ، عملنا على تصميم وتحسين هوائي التصحيح المستطيل بغلاف أو بدونه. يعتمد تصميمنا على الدراسة البارامترية لهوائي التصحيح المستطيل الذي يتم تغذيته عن طريق خط الشريط الصغير، والذي يتيح لنا التصميم دراسة تأثير جميع المعلمات على أداء الهوائي الخاص بنا. بعد ذلك انتقلنا إلى محاكاة وتحليل تأثير الغلاف على أداء الهوائي. تم استخدام مواد مختلفة في تحليلنا من أجل إجراء مقارنة حول أداء الهوائي من حيث الإشعاع والتكيف

الكلمات المفتاحية: هوائي التصحيح، التكيف، الصندوق، الرسم التخطيطي للإشعاع ، الكسب.

Table des matières:

<i>Dédicaces</i>	I
Remerciements	II
Résumé	III
Abstract	IV
ملخص:	V
Table des matières	VI
Liste des figures.....	IX
liste des tableaux.....	XI
Table des équations.....	XI
Liste des abréviations	XIII
Introduction générale.....	XIV
<i>Chapitre 1 Les généralités sur les antennes</i>	1
1.1 Introduction	2
1.2 Aperçu historique	3
1.3 Antennes : définition	3
1.4 Principe de fonctionnement des antennes	3
1.4.1 Le rôle des antennes	3
1.4.2 Antenne d'émission	3
1.4.3 Antenne de réception.....	3
1.4.4 Réciprocité.....	4
1.5 Les différents types d'antennes.....	4
1.5.1 Antenne dipolaire.....	5
1.5.2 Boucle magnétique.....	6
1.5.3 Antenne cornet	6
1.5.4 Réseau de fente.....	7
1.5.5 Antenne à réflecteur parabolique.....	8
1.5.6 Antennes de type Cassegrain.....	8
1.5.7 Antennes actives	9
1.5.8 Antennes plaquées.....	10
1.6 Description des antennes imprimés	11
1.6.1 Plan de masse	12
1.6.2 Substrat dielectrique	12

1.7 Les différentes formes d'une antenne patch	13
1.8 Le rôle de la diffraction	14
1.9 Processus de fabrication de l'antenne patch	14
1.10 Avantages et inconvénients de l'antenne patch.....	15
1.10.1 Les principaux avantages de l'antenne imprimée sont	15
1.10.2 Les principaux inconvénients de l'antenne imprimée sont	15
1.11 Principe de fonctionnement des antennes patch.....	16
1.12 Caractéristiques des antennes imprimées	18
1.12.1 Coefficient de réflexion	18
1.12.2 L'impédance d'entrée.....	18
1.12.3 Diagramme de rayonnement.....	19
1.12.4 Largeur de bande	20
1.12.5 La Directivité	22
1.12.6 Le gain	22
1.12.7 Le rendement.....	22
1.12.8 La polarisation.....	23
1.12.9 Fréquence de résonance	23
1.13 Conclusion	23
<i>Chapitre 2: Les antennes patch.....</i>	24
2.1 Introduction.....	25
2.2 Lignes de transmission en microruban	25
2.3 Que sont les antennes patch et comment rayonnent-elles ?.....	27
2.4 Modélisation d'un patch rectangulaire	28
2.5 Impédance, bande passante et diagramme de rayonnement	30
2.6 Patchs sur circuit : L'alimentation des antennes patch.....	32
2.7 Patch alimenté par les bords	32
2.8: Patch alimenté par sonde:.....	33
2.9 Antenne patch alimentée par encart	34
2.10 Equations de conception.....	35
2.10.1 : Calcul la valeur de W en utilisant	35
2.10.2 Calcul ϵ_{eff} en utilisant.....	35
2.10.3 Calcul le champ de frange en utilisant.....	35
2.10.4 Calcul la longueur L en utilisant.....	36

2.10.5: Calcul de l'impédance en utilisant	36
2.10.6: Choisir la technique d'alimentation	36
2.11 : les paramètres des patches et leur impact sur la performance	37
2.11.1 : Constante diélectrique ϵ_r	37
2.11.2 : Épaisseur du support h	37
2.11.3 : Largeur de patch W	37
2.12 : Simulation de l'antenne patch	38
2.12.1 Définition du logiciel CST STUDIO SUITE	38
2.12.2 Description générale de l'interface CST	38
2.12.3 Le schéma représentant l'antenne patch	39
2.12.4 Réalisation du modèle	40
2.12.5 Dessiner le micro-strip	40
2.12.6 Simulation du modèle et résultat	42
2.12.7 Simulation et optimisation	42
2.12.8 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)	43
2.12.9 La bande passante	43
2.12.10 Diagramme de rayonnement en Gain et Directivité	44
2.13 Etude paramétrique	45
2.14 Conclusion	46
<i>Chapitre 3 Antenne patch avec boîtier</i>	47
3.1 Introduction	48
3.2 Conception du boîtier	48
3.2.1 Règle générale	48
3.3 Épaisseur du boîtier	49
3.4 Distance entre l'antenne et le boîtier	50
3.5 Immunité aux vibrations	50
3.6 Conception du boîtier sous CST STUDIO SUITE	50
3.6.1 Matériaux de boîtier les plus utilisés et recommandés	50
3.6.2 L'ajout des boîtier	51
3.6.2.1 Matériau 1 Teflon	51
3.6.2.2 Matériau 2 Polycarbonate	51
3.6.2.3 Matériau 3 Plexiglass	52
3.6.2.4 Matériau 4 ABDOS	52
3.6.2.6 Matériau 6 Coup d'œil	53

3.6.2.7 Matériau 7 Céramique.....	53
3.7 Conclusion	54
Conclusion générale	55
Références	56

Liste des figures :

Figure 1.1 antenne dipolaire	5
Figure 1.2 boucle magnétique.....	6
Figure 1.3 Antenne cornet	7
Figure 1.4 : réseau de fentes	7
Figure 1.5 antenne à réflecteur parabolique	8
Figure 1.6Antennes de type Cassegrain	9
Figure 1.7Antenne plaquée avec alimentation à couple électromagnétique.....	9
Figure 1.8Antenne plaquée.....	10
Figure 1.9 Alimentation par ligne micro ruban	11
Figure 1.10 différentes formes d'une antenne patch	13
Figure 1.11 Alimentation par ligne micro ruban	17
Figure 1.12 Encoches d'adaptation	18
Figure 1.13 diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.	19
Figure 1.14 Coefficient de réflexion à l'entrée d'une antenne patch en fonction de la fréquence	21
Figure 1.15 Les différentes sortes de polarisation	23
Figure 2.1 Une configuration de ligne de transmission en microruban.....	25

Figure 2.2 Transformation de la figure 2.1 en un milieu homogène équivalent.	26
Figure 2.3 Variation de E_{eff} avec la fréquence	26
Figure 2.4 Antenne patch sur une carte de circuit imprimé PCB (printed circuit board) . Les flèches rouges représentent le champ de frange de frange.	27
Figure 2.5 Distribution du champ électrique TM ₁₀ le long de la longueur du patch.....	28
Figure 2.6 Vue de dessus d'une antenne patch	29
Figure 2.7 Modélisation de l'antenne patch comme un réseau à deux fentes .29	
Figure 2.8 Transformateur quart d'onde pour adapter l'impédance du patch à la ligne d'alimentation. Le dessin n'est pas à l'échelle	33
Figure 2.9 Patch alimenté en sonde par un câble coaxial	34
Figure 2.10 Antenne patch alimentée par encart	35
Figure 2.11 Interface du CST	38
Figure 2.12représentation de la structure de patch	39
Figure 2.13 liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban	40
Figure 2.14 structure de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.	40
Figure 2.15 zoom de la partie haute de microruban.....	41
Figure 2.16 fenêtre de dialogue de la configuration du port de guide d'onde. 41	
Figure 2.17 boîte de dialogue de solveur	42
Figure 2.18 courbe du paramètre S ₁₁ en DB.....	42
Figure 2.19 L'impédance d'entrée de l'antenne à 2.45GHZ.....	44
Figure 2.20 Taux d'onde stationnaire de l'antenne à 2.45 GHZ	44
Figure 2.21 La bande passante de l'antenne à 2.45 GHz	45
Figure 2.22 La représentation polar du gain.....	42
Figure 2.23 La représentation en 3D du gain.....	42
Figure 2.24 Effet de la longueur du patch sur le paramètre S ₁₁	42

Figure 3.1 courbe du paramètre S11 en DB de Teflon	49
Figure 3.2 courbe du paramètre S11 en DB de polycarbonate	49
Figure 3.3 courbe du paramètre S11 en DB de plexiglass.....	50
Figure 3.4 courbe du paramètre S11 en DB de ABDOS.....	50
Figure 3.5 courbe du paramètre S11 en DB de verre.....	51
Figure 3.6 courbe du paramètre S11 en DB de coup d'œil	51
Figure 3.7 courbe du paramètre S11 en DB de céramique... ..	52

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 Les substrats soft	12
Tableau 2.1 Les substrats hard.....	13
Tableau 1.3 matériaux de boîtier les plus utilisés et recommandés	50

Table des équations :

Équation 1.1 relation de conservation	5
Équation 1.2 Le Coefficient de réflexion.....	18
Équation 1.3 L'impédance d'entrée	18
Équation 1.4 Largeur de bande	20
Équation 1.5 La directivité	22
Équation 1.6 le gain	22
Équation 1.7 le rendement	22
Équation 2.1 calcul de Eeff.....	26
Équation 2.2 longueur des franges	27
Équation 2.3 longueur physique requise pour atteindre la résonance	28
Équation 2.4 longueur électrique.....	29
Équation 2.5 champs électriques de fente	30
Équation 2.6 diagramme de rayonnement d'un réseau à deux éléments	30
Équation 2.7 champ total.....	31
Équation 2.8 largeur de faisceau à mi-puissance	31

Équation 2.9 largeur de faisceau à mi-puissance.....	31
Équation 2.10 impédance d'une entrée de patch.....	31
Équation 2.11 largeur de bande du patch	32
Équation 2.12 impédance caractéristique requise de la ligne de transmission .	32
Équation 2.13 correspondre l'impédance de la ligne de transmission à celle du patch.....	34
Équation 2.14 impédance d'entrée	34
Équation 2.15 calcul de la valeur de W.....	35
Équation 2.16 calcul de Eeff	35
Équation 2.17 calcul de champ de frange.....	35
Équation 2.18 calcul de la longueur L.....	36
Équation 2.19 calcul de l'impédance ZA	36
Équation 2.20 profondeur du point d'alimentation.....	36
Équation 2.21 profondeur du point d'alimentation en alimentation encastrée	
36Equation 3.1 Calcul de la longueur d'onde à l'air libre... ..	49
Equation 3.2 Calcul de la longueur d'onde dans le matériau	49
Equation 3.3 Epaisseur optimale du boitier.....	49
Equation 3.4 Distance minimale entre antenne et boitier	50

Liste des abréviations :

CST : Computer Simulation Technology

SAR : Synthetic Aperture Radar

WLAN: Wireless Local Area Network

RFID : identification radio fréquence

UHF : ultra haute fréquence

GPS: Global Positioning System

MIC: Microwave Integrated Circuits

PCB: printed circuit board

HFSS : high-frequency structure simulator

Fr : fréquence de résonance

FIT : Finit Integration Technique

Introduction générale :

Depuis la fin du XIX siècle, la course à l'innovation afférente aux systèmes de communication ne cesse d'évoluer provoquant des études de plus en plus pointues dans le domaine des antennes, telles que celles qui ont été réunies dans un numéro spécial de **D. M. Pozar [1]** et dans deux livres, celui de **I. J. Bahl et P. Bhartia [2]** et celui de **J. R. James et al. [3]** lesquelles études sont à l'origine de la mise au point d'antennes dont les formes aujourd'hui très diverses varient en fonction de leurs applications tels que : les télécommunications mobiles, la télévision, la radio, les satellites, les systèmes communicants, les radars, la télédétection et la radioastronomie.

Parmi les familles des antennes les plus utilisées nous pouvons distinguer les antennes micro-rubans (appelées aussi antennes imprimées ou antennes patches). **[4]**

L'emploi d'antennes plaquées s'est quasiment généralisé dans tous les systèmes de communication mobiles. Elles sont fabriquées selon les techniques photolithographiques des circuits imprimés. Selon l'utilisation, on trouve différentes formes d'éléments rayonnants, différents types de substrats ou encore différents types d'alimentation.

Ces antennes particulières allaient faire l'objet d'une recherche développement intensive ont vu d'élever leurs degrés de sophistication ce qui a bien évidemment conduit à développer de nombreux éléments dérivés de l'antenne originelle. Ainsi, de nombreux codes de calculs furent développés dans d'innombrables laboratoires. Aujourd'hui, ces dispositifs rayonnants imprimés ont largement dépassé le statut de technique spécialisée pour atteindre celui de technologie majeure dans le monde des antennes.

L'ingénieur-concepteur dispose désormais de nombreux logiciels de simulations commerciaux lui permettant de l'assister dans sa tâche, sachant que les chercheurs ont toujours parmi leurs objectifs la conception d'antennes imprimées universelles, utilisables dans de multiples standards de communication et donc pour cela reconfigurable à souhait.

Chapitre 1 :
Les généralités sur les
antennes

1.1 Introduction :

Les antennes sont de plus en plus présentes dans notre environnement ; visibles ou discrètes, elles permettent d'établir la communication entre au minimum deux appareils tout en supprimant les câbles de liaison. Ces applications sans fils apportent aux utilisateurs souplesse, mobilité et réduction des coûts d'installation. [5]

La conception des antennes n'a cessé de s'intensifier depuis le début du XXe siècle grâce notamment au progrès de l'électromagnétisme puis sous la pression de nombreuses demandes technologiques dans des domaines d'application variés. L'essor actuel des communications impose des innovations majeures au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées dont les formes aujourd'hui varient selon leurs applications :

- pour systèmes de télécommunication au sol : direct broadcasting, liaison radio, téléphone mobile et station de base, WLAN (Wireless Local Area Network) Co, télépéage et identification (RFID), navigation ...
- pour les systèmes de télécommunication par satellite : liaisons entre stations terrestres pour de longues distances, TV-satellite, terminaux mobiles terrestres pour téléphone mobile ...
- pour les radars civil et militaire : radar météo, radar aviation, radar de recherche et détection militaire, radar de surveillance à synthèse d'ouverture (SAR, Synthetic Aperture Radar) (pollution, trafic), recherche sur l'ionosphère ...
- en radiométrie : radioastronomie, météorologie et surveillance des ressources terrestres.

Les antennes quelles que soient leur forme, leur design, leurs dimensions ont un point commun qui est celui d'assurer la conversion d'un signal guidé en un signal rayonnant (ou réciproquement), dans un spectre électromagnétique relativement large allant des ondes radio aux hyperfréquences. Un principe fondamental régit leur rayonnement, celui de la diffraction des ondes.

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

Mon travail a pour objectif de fournir les connaissances nécessaires à la compréhension et la conception d'une antenne patch avec ou sans boîtier.

1.2 Aperçu historique :

Le projet d'antenne imprimée a été imaginé pour la première fois en 1953 par le physicien Georges Deschamps (1911-1998). Le concept a été breveté en 1956 par Henri Gutton et Georges Boissinot [6]-[7]. Et ce n'est qu'en 1970 que l'on verra apparaître les tout premiers prototypes, notamment sous l'effet de l'amélioration de cette technique appelée communément photolithographie qui permet de graver des motifs (patterns) sur des surfaces en cuivre ou en or sur substrat diélectrique, ainsi que des progrès de la modélisation. En 1972, John Howell réalise des antennes imprimées à polarisation linéaire et circulaire en bande L et UHF pour la NASA. À la même époque, Robert Munson de "Ball Aerospace Systems " a réalisé une antenne imprimée épousant la circonférence d'un missile.

1.3 Antennes : définition

Une antenne est un dispositif assurant la conversion de l'énergie électromagnétique guidée en énergie électromagnétique rayonnée. De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception et transforme cette puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Les antennes sont utilisées pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter [8].

1.4 Principe de fonctionnement des antennes :

1.4.1 Le rôle des antennes :

Nous pouvons distinguer trois types d'antennes :

1.4.1.a Antenne d'émission :

Ce type de dispositifs génère une onde rayonnée en transformant la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur.

1.4.1.b Antenne de réception :

En sens inverse, la puissance rayonnée peut être reçue par une antenne réceptrice. L'antenne se présente dans ce sens 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 des étoiles et la transforme.

1.4.1.c 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 qui sera démontré plus loin. 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.[16]

1.5 Les différents types d'antennes :

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

Elles sont classées ici selon un ordre qui suit approximativement leur chronologie d'apparition. Dans ce paragraphe nous nous bornerons à présenter les antennes les plus utilisées. 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.

1.5.1 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 1.1).

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. 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 :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

(1.1)

D'autres antennes de même type sont obtenues avec des fils rayonnants plus longs. Ces antennes de type filaires ont de nombreuses applications qui seront décrites dans les chapitres suivants. Citons rapidement les antennes pour récepteurs radio, les antennes des talkies-walkies, etc...

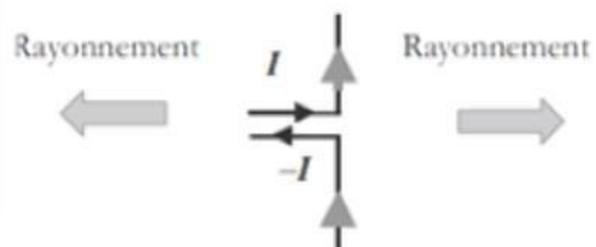


Figure 1.1 antenne dipolaire

1.5.2 Boucle magnétique :

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même (figure 1.2). 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

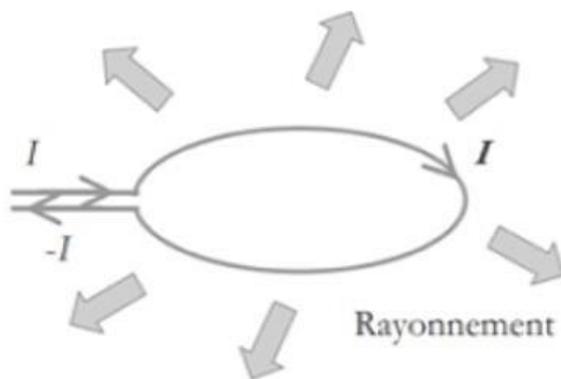


Figure 1.2 boucle magnétique

1.5.3 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, il est utilisé en haute en fréquence. Son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (figure 1.3). Sa forme permet de passer 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... 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.

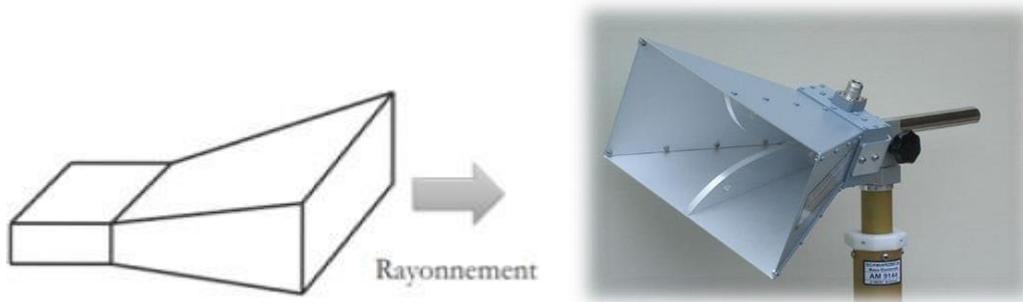


Figure 1.3 Antenne cornet

1.5.4 Réseau de fente :

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 usinant des fentes dans le corps du guide (figure 1.4) 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.

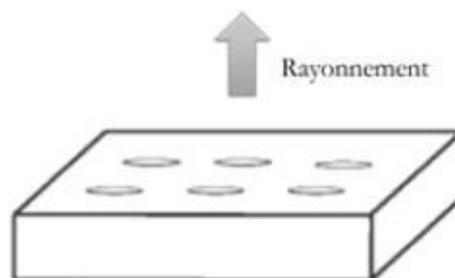


Figure 1.4 : réseau de fentes

1.5.5 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 1.5). 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.

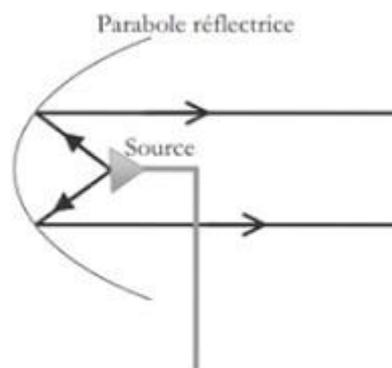


Figure 1.5 antenne à réflecteur parabolique

1.5.6 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 1.6).

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.

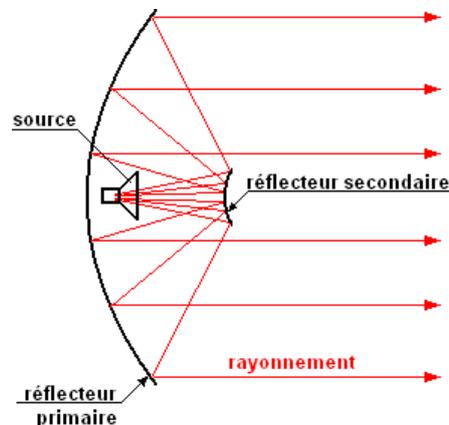


Figure1. 6 Antennes de type Cassegrain

1.5.7 Antennes plaquées :

L'antenne plaquée, 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 1.7). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban.

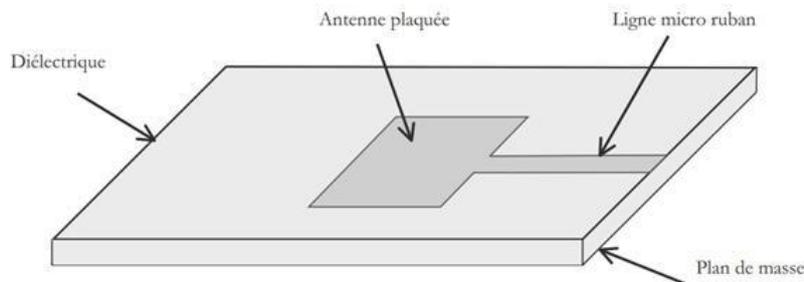


Figure 1.8 Antenne plaquée

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. La géométrie des antennes plaquées peut être multipliée à l'infini. Les différents fonctionnements de ces antennes seront décrits. Pour terminer avec l'introduction à ce genre d'antenne, mentionnons les antennes à alimentation

par couplage (figure 1.8). L'alimentation se trouve prise en sandwich entre deux diélectriques. Un couplage électromagnétique entre l'extrémité de la ligne micro ruban et le patch, qui se trouve au-dessus du dispositif, permet d'exciter l'antenne. Le diélectrique supérieur joue alors un rôle d'écran pour la ligne d'alimentation, qui sinon pourrait éventuellement perturber le rayonnement. Il

est alors intéressant de placer l'électronique au niveau de ce second diélectrique pour les antennes actives.

1.5.8 Antennes actives :

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.

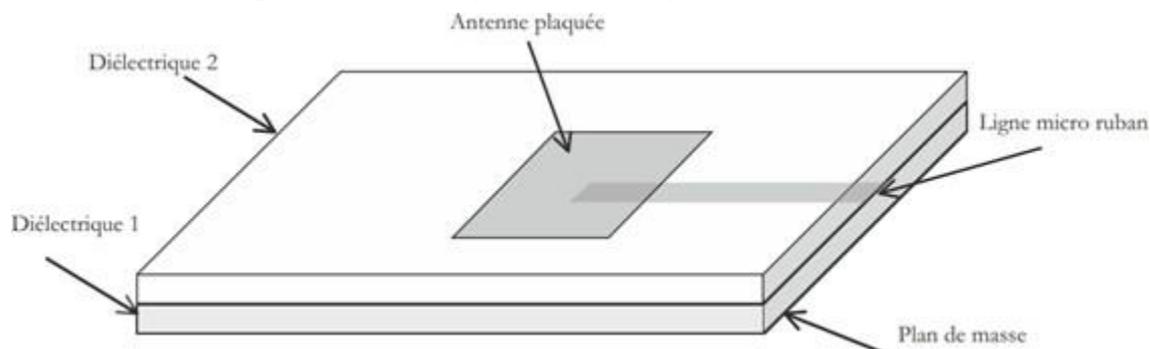


Figure 1.7 Antenne plaquée avec alimentation à couple électromagnétique

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.

1.6 Description des antennes imprimés :

Une antenne à éléments rayonnants imprimés est constituée d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique, dont la surface porte un ou plusieurs éléments métallisés, appelés en anglais « patch », « pavé » ou « motif » en français. [17]

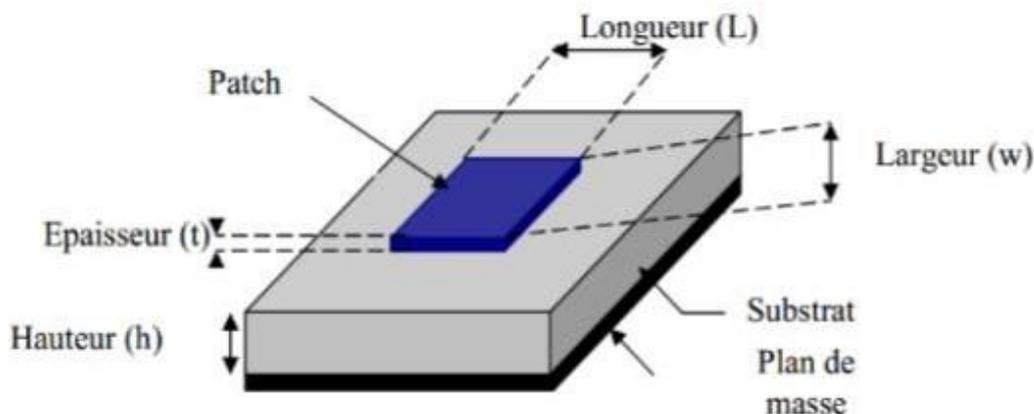


Figure 1.9 Schéma d'une antenne à éléments rayonnants imprimés

Ces éléments rayonnants sont de différentes formes et leur alimentation peut être effectuée par divers procédés permettant d'obtenir un diagramme en polarisation linéaire ou circulaire.

Les paramètres physiques et géométriques liés à cette structure sont :

La permittivité relative de diélectrique (ϵ_r).

- La tangente des pertes ($\tan \delta$) dans ce même substrat, avec dominance des pertes par effet joule.

- L'épaisseur du diélectrique (elle doit rester faible par rapport à la longueur d'onde à transmettre).

- Les dimensions de l'élément rayonnant (L, W).

1.6.1 Plan de masse : Il doit être théoriquement de dimension infinie mais en pratique celui-ci est plutôt, pour des raisons d'encombrement, de l'ordre de 3 ou 4 longueurs d'onde. Il arrive cependant que celui-ci soit très réduit, ce qui bien évidemment modifie les caractéristiques de l'antenne initiale, parfois de manière très prononcée [18].

1.6.2 Substrat diélectrique :

Le substrat joue un rôle double dans la technologie micro ruban. Il est à la fois un matériau diélectrique, où viennent se graver les circuits, et une pièce mécanique, car il supporte la structure. Cela implique des exigences à la fois sur le plan mécanique et électrique parfois difficiles à concilier, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde de fonctionnement, le substrat diélectrique affecte le comportement et les performances électromagnétiques de l'antenne. On préfère souvent utiliser des substrats à faibles pertes diélectriques ($\tan\delta < 10^{-3}$) qui favorisent le rendement de l'antenne et ceux à permittivité relative faible ($\epsilon_r < 3$) qui améliorent le rayonnement tout en diminuant les pertes par ondes de surface pour une hauteur donnée

Généralement il y a deux types de substrats utilisés, les substrats dits soft et hard.

- Les substrats soft sont plus flexibles, moins chers et peuvent être facilement fabriqués, néanmoins, ils possèdent de grands coefficients d'expansion thermale présentés dans le tableau [19]:

Substrat	Constante diélectrique relative (ϵ_r)	Constante diélectrique Effective (ϵ_{eff})	Pertes diélectrique $\tan\delta$
RT-Duroid-5880	2.2	2.1144	0.0011
RT-Duroid-5870	2.33	2.2352	0.0011
Neltec NX 9240	2.4	2.3002	0.0010
Arlon Diclاد 522	2.5	2.3931	0.0010
Benzocyclobu-ten	2.6	2.4859	0.0010

Tableau 1.1 Les substrats soft

Par contre Les substrats hard présentés dans le Tableau 2 sont plus fiables, et ils possèdent des petits coefficients d'expansion thermique. Néanmoins ils sont plus chers et non flexibles. Ce tableau présente quelques exemples du hard substrat :

Substrat	Constante diélectrique relative (ϵ_r)
Quartz	$\epsilon_r=3.78$
Saphire	$\epsilon_r=11.7$
GaAs	$\epsilon_r=12.3$

Tableau 1.2 Les substrats hard

1.7 Les différentes formes d'une antenne patch :

Les différentes formes d'une antenne patch Les patchs se déclinent sous différentes formes qui vont influencer sur la nature du rayonnement de l'antenne. On trouve en pratique des éléments rayonnants de la forme d'un rectangle ou d'un carré, d'un disque circulaire ou d'un anneau, d'un triangle ou d'un dipôle. Le dispositif le plus utilisé est celui de forme rectangulaire.

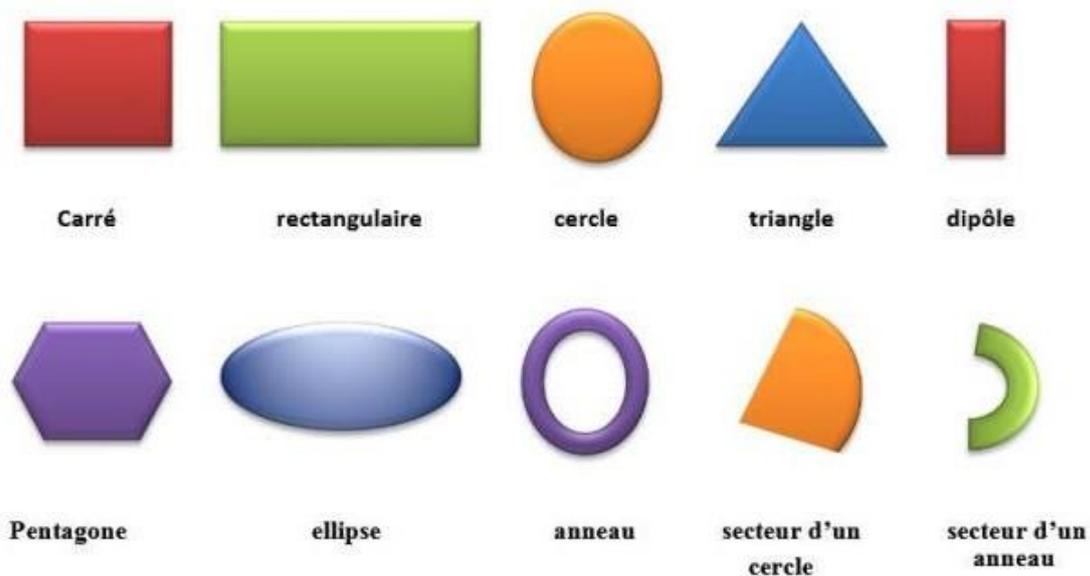


Figure 1.10 différentes formes d'une antenne patch [17]

1.8 Le rôle de la diffraction :

Le principe de fonctionnement des antennes repose sur le phénomène de diffraction. Il résulte de ce point que c'est la forme du dispositif diffractant qui détermine les caractéristiques du rayonnement.

Les antennes ont des dimensions qui sont du même ordre de grandeur que celui de la longueur d'onde rayonnée. La diffraction est un phénomène lié au caractère ondulatoire d'une grandeur.

En électromagnétisme, la diffraction joue sur le champ électromagnétique. L'expérience simple mettant en évidence ce phénomène est celui d'une onde plane qui interagit avec une ouverture percée dans un écran. Si la dimension du trou est nettement plus grande que la longueur d'onde, l'onde électromagnétique va passer sans perturbation apparente. Donc elle suit une trajectoire rectiligne. Si, au contraire, la dimension de l'ouverture est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde, le phénomène de diffraction se manifeste par le fait que la répartition de la puissance s'étale autour de la direction d'incidence, après passage à travers l'écran (figure 1.9). L'analyse de la répartition de la puissance dans le demi-plan situé après l'ouverture est complexe.

Elle sera étudiée ultérieurement, grâce aux équations de Maxwell. L'interaction des bords de l'ouverture avec l'onde électromagnétique est plus forte si la dimension D est petite. Huygens a posé comme principe que la perturbation de l'onde à la traversée de l'écran troué se manifeste de la même façon que si la surface de l'ouverture était tapissée d'une infinité de petites sources, dont la phase relative de l'une à l'autre était la même que la phase relative de l'onde incidente en chacun des points. Le champ électromagnétique après l'écran résulte de l'interférence des ondes issues des sources secondaires. Ce principe permet des calculs dans des cas simples de diffraction.

1.9 Processus de fabrication de l'antenne patch :

Toutes les technologies de métallisation telles que la photogravure, le dépôt chimique ou l'utilisation d'encres conductrices peuvent être utilisées pour fabriquer des antennes imprimées. La principale est directement issue des techniques utilisées pour la conception de circuits imprimés électroniques basses fréquences : la photogravure. Pour une antenne plane, il existe plusieurs technologies de fabrication spécifiques plus ou moins coûteuses. Lorsque l'on utilise une tôle métallique, il s'agit généralement d'usiner cette tôle

: découpage à l'aide d'une machine-outil puis de l'emboutir et/ou de la plier selon la forme désirée. Cette tôle est ensuite positionnée et bouterollée sur un support plastique évidé ayant une permittivité diélectrique le plus faible possible. Cette technologie est très utilisée dans les téléphones mobiles.

1.10 Avantages et inconvénients de l'antenne patch :

Compte tenu de leur forme, les antennes imprimées ont de nombreux avantages mais aussi quelques inconvénients qui peuvent limiter leur usage. [9] [10] [11]

1.10.1 Les principaux avantages de l'antenne imprimée sont :

- ◆ Ses faibles masses, volume et épaisseur,
- ◆ La possibilité d'imprimer sur des substrats souples (surfaces d'accueil non planes : antennes conformées),
- ◆ La possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques nomades ou transportables (téléphones mobiles, ordinateurs personnels, récepteurs portables GPS "Global Positioning System", transpondeurs, appareils photos numériques),
- ◆ Les facilités de fabrication telles que la mise en réseau et l'intégration aisée de composants ou de circuits actifs hybrides (réseaux linéaires ou planaires, technologie MIC "Microwave Integrated Circuits"),
- ◆ Le faible coût de fabrication (Production automatisée de masse).

1.10.2 Les principaux inconvénients de l'antenne imprimée sont :

- ◆ Sa bande passante souvent étroite, de l'ordre de 1 à 5 % (pour les éléments résonants de géométrie simple). Le fonctionnement large bande est obtenu au prix de l'utilisation : d'un substrat de hauteur élevée (quart d'onde) dans le cas d'antennes résonantes, d'antennes à ondes progressives de grandes dimensions (Vivaldi, Log périodiques) et de résonateurs parasites latéraux ou verticaux,
- ◆ Sa directivité faible pour un élément seul (environ 6dB). Le gain peut être augmenté lors de la mise d'éléments en réseau, avec cependant une limitation à environ 30dB due aux pertes dans les lignes d'alimentation,

- ◆ Sa faible tenue en puissance (Quelques watts à quelques dizaines de watts),
- ◆ Son rendement limité de surface par les pertes diélectriques, par l'excitation d'ondes de surface dans le diélectrique et par les pertes dans les lignes d'alimentation,
- ◆ Le risque de rayonnement parasite dû aux jonctions avec l'alimentation ou à la limitation du plan de masse,
- ◆ La difficulté d'élaborer des antennes à haute pureté de polarisation,
- ◆ Les problèmes de tolérances de fabrication si les motifs imprimés sont petits.

1.11 Principe de fonctionnement des antennes patch :

On peut recenser principalement deux classes de structures :

- ◆ Antennes imprimées à ondes progressives,
- ◆ Antennes imprimées à ondes stationnaires (résonantes).

Leur fonctionnement diffère sensiblement et il est difficile de les décrire sans se référer à leur moyen d'alimentation et aux diverses méthodes qui permettent de les analyser.

Pour les antennes à ondes progressives, une approche consiste à considérer que ce sont les courants surfaciques sur l'élément rayonnant (ou les parties métalliques associées) qui rayonnent. Pour expliquer le fonctionnement d'une antenne imprimée ou planaire résonnante, une approche similaire consiste à considérer que ce sont à la fois les courants surfaciques sur le patch et le plan de masse qui rayonnent. Une deuxième méthode consiste à voir le patch comme une ligne microruban tronquée à ses extrémités.

Le générateur est équivalent à une source de courant qui va générer un champ électrique dans la cavité. Le patch agit comme une capacité qui va stocker le champ : c'est le modèle de la cavité (4 murs latéraux magnétiques et 2 murs horizontaux électriques). Le rayonnement existe à cause de la fuite du champ électrique qui existe entre les bords du patch et le plan de masse.

Si la longueur du patch L est approximativement égale à la moitié de la longueur d'onde dans le diélectrique $\lambda g/2$, cette longueur est résonante et l'on obtient un transfert de puissance maximal à l'antenne. C'est le mode d'ordre 1 ou fréquence de résonance fondamentale du patch (si $L > W$ avec W largeur du patch) : le rayonnement à l'infini est effectif car le champ électrique sous la ligne

et à ses deux extrémités se trouve en opposition de phase (fig. 1). Une valeur approchée qui permet un dimensionnement rapide est $L = 0,49 \lambda_g$. Autour et sous le patch, le champ électrique comporte à la fois des composantes normales et des composantes parallèles au plan de masse. Nous pouvons distinguer les bords rayonnants espacés d'une longueur L des bords dits "non rayonnants" espacés de la largeur W . En ce qui concerne les bords rayonnants, les faibles composantes parallèles au plan de masse sont en phase.

Les composantes normales situées de part et d'autre de ces bords rayonnants sont en opposition de phase car la longueur du patch est approximativement égale à $\lambda_g/2$: dans la direction normale au patch, le champ lointain généré par toutes ces contributions s'ajoute (cela est en particulier dû au fait que les normales aux bords rayonnants sont de sens opposé).

Si nous considérons l'un des deux bords "non rayonnants", la composante normale du champ électrique diminue progressivement, s'annule en son milieu et change de sens par la suite. De ce fait, la contribution au rayonnement à l'infini est nulle dans la direction normale du patch car les rayonnements engendrés par le champ le long de ce bord se compensent exactement. Le même raisonnement s'applique sur l'autre bord "non rayonnant" et nous admettons facilement que le rayonnement engendré dans l'axe du patch est lui aussi nul. Il est à noter qu'en dehors de cette direction normale, les bords "non rayonnants" génèrent un champ électromagnétique qui ne s'annule pas et qui contribue à la polarisation croisée de l'antenne. En pratique, le choix de la largeur W d'un patch a de l'importance car il conditionne son impédance d'entrée. Traditionnellement : $\lambda_g/2 \leq W \leq \lambda_g$, mais rarement au-delà.

L'alimentation la plus simple consiste à utiliser une ligne micro ruban sur le même plan que le patch rayonnant



Figure 1.11 Alimentation par ligne micro ruban

Cette disposition présente un inconvénient si la ligne rayonne. C'est le cas en très haute fréquence. Le rayonnement de la ligne perturbe alors celui de l'antenne qui ne présente pas la même pureté de polarisation. Cependant pour les cas usuels, cette technique très utilisée, présente le grand avantage de la simplicité de réalisation. Pour améliorer l'adaptation entre la ligne micro ruban et l'antenne, il est courant de réaliser des encoches figure 4.2 dont la taille est à calculer afin d'obtenir une meilleure adaptation.

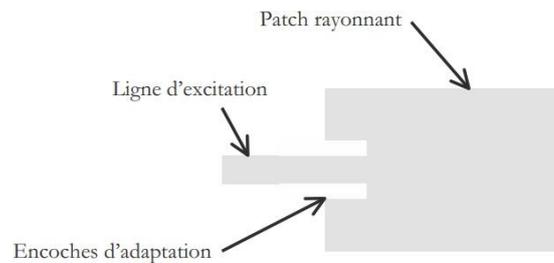


Figure 1.12 Encoches d'adaptation

1.12 Caractéristiques des antennes imprimées :

Pour une estimation de la performance des antennes qui fonctionnent à n'importe quelle fréquence, divers critères sont pris en considération. Parmi ces caractéristiques il y a :

1.12.1 Coefficient de réflexion :

Le coefficient de réflexion S_{11} fait apparaître l'absorption d'énergie par l'antenne. puissance réfléchie à l'entrée de l'antenne et la puissance émise par l'antenne elle-même, il se définit par l'équation ci-dessous :

$$S_{11} = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c}$$

(1.2)

Avec :

- (Z_e) est l'impédance d'entrée de l'antenne.
- (Z_c) est l'impédance caractéristique (Généralement égale à 50Ω)

1.12.2 L'impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance perçue de la ligne d'alimentation à l'antenne. Ligne d'alimentation à cette antenne.

$$Z_e = Z_c \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})}$$

(1.3)

Avec :

Z_c : l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

S_{11} : Le coefficient de réflexion.

Comme S_{11} varie en fonction de la fréquence, alors Z_e varie aussi avec la fréquence

1.12.3 Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace. Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante.

La fonction caractéristique de rayonnement (θ, ϕ) de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée (θ, ϕ) à la puissance P_{max} de la direction où le rayonnement est maximal [12]

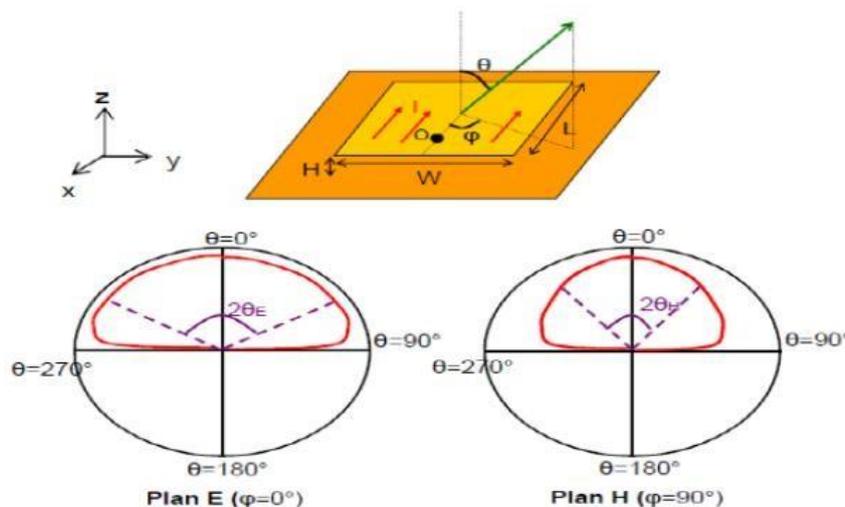


Figure 1.13 diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

1.12.4 Largeur de bande :

La largeur de bande, appelée aussi bande passante, d'une antenne définit le domaine de fréquences dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques requises. Il s'agit la plupart du temps de la puissance transmise par l'antenne, mais on peut définir d'autres caractéristiques exigées pour le fonctionnement d'une antenne telle que la polarisation. Il se peut par exemple qu'une polarisation circulaire soit recherchée et obtenue seulement dans une bande de fréquence. Dans la suite, nous allons définir la bande de fréquence relative à la puissance de rayonnement. La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situé entre une valeur minimale f_1 et une valeur maximale f_2 . La bande de fréquence

Δf est définie par la différence entre ces deux fréquences :

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (1.4)$$

La largeur relative de bande B_r est un pourcentage exprimant le rapport de la bande à la fréquence centrale f_0 .

$$B_r = \frac{f_2 - f_1}{f_0}$$

La largeur de bande est aussi définie par le rapport entre les deux fréquences extrêmes :

$$B_f = \frac{f_2}{f_1}$$

Dans le cas d'antennes de faible largeur de bande, la première définition est plus utilisée, alors que la seconde est plutôt utilisée pour les antennes larges bandes. Pour connaître la largeur de bande d'une antenne relativement au rayonnement, on trace le paramètre S_{11} de réflexion en fonction de la fréquence. On admet généralement que si ce paramètre est inférieur à -10 dB, la puissance de rayonnement est suffisante. Il suffit alors de repérer sur la courbe les valeurs de la fréquence correspondant à cette valeur. Les antennes résonantes ont généralement des largeurs de bandes faibles. Une antenne de type dipôle d'une longueur égale à la demi-longueur d'onde a une largeur de l'ordre de 10 %. Le paramètre de réflexion à l'entrée d'une antenne planaire

simple est donné sur la figure 4.23. Définissant la bande de fréquence pour un coefficient de réflexion inférieur à 10 dB, les fréquences limites de la bande sont :

$$f_1 = 7,27 \text{ GHz et } f_2 = 7,51 \text{ GHz}$$

La bande relative est donc un peu supérieure à 3 %

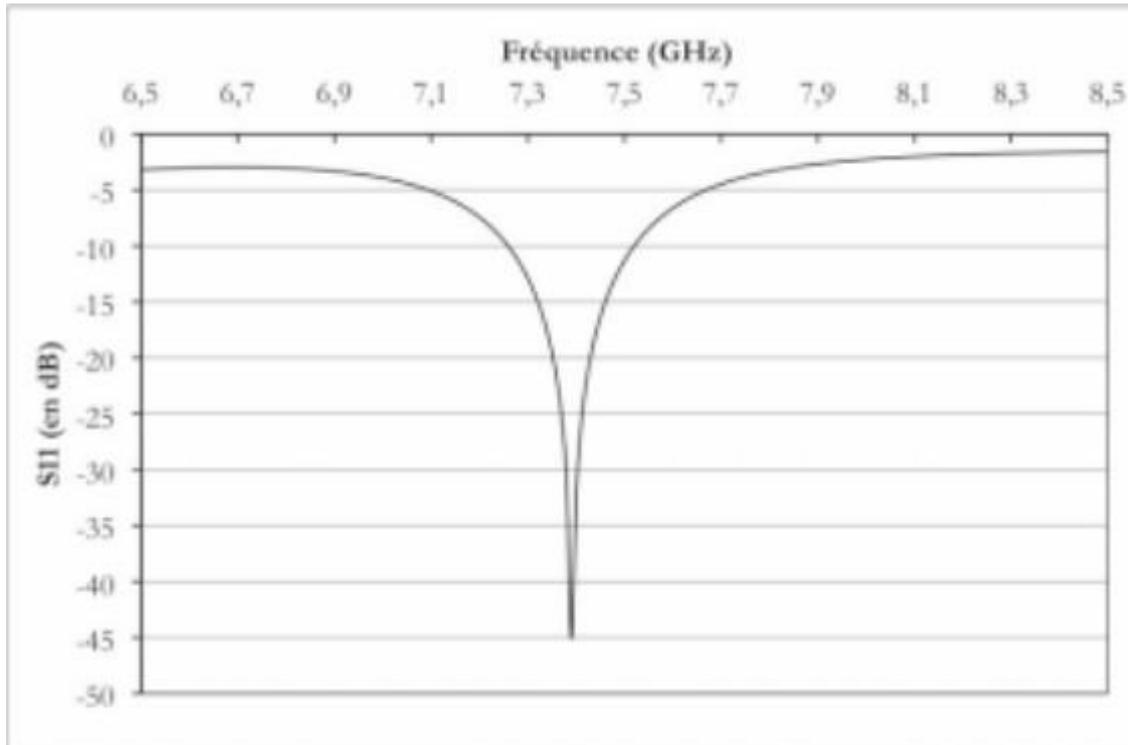


Figure 1.14 Coefficient de réflexion à l'entrée d'une antenne patch en fonction de la fréquence.

Dans le cas d'une antenne à résonance, la fréquence centrale est déterminée par les dimensions de l'antenne et les matériaux la constituant. À la résonance, l'impédance d'entrée de l'antenne est réelle. Si la fréquence s'écarte légèrement de cette fréquence centrale, la partie réelle varie et la partie imaginaire devient différente de zéro. L'adaptation de l'antenne, en général conçue pour la fréquence centrale, n'est plus parfaite de part et d'autre de celle-ci. La désadaptation entraîne alors une limite de fonctionnement en fréquence. Les antennes à ondes progressives ont des grandes largeurs de bande. On donne

la dénomination d'antenne large bande lorsque le rapport Δf est supérieur à 2, ce qui correspond à une octave. Signalons enfin que les phénomènes de couplage élargissent la bande passante. Pour créer une largeur de bande plus

grande il est possible d'associer deux résonateurs de fréquences de résonance proche.

1.12.5 La Directivité :

La directivité $D(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction $P(\theta, \phi)$ est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \phi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope :

$$D(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_r} \quad (1.5)$$

Avec P_r : puissance rayonnée par l'antenne.

1.12.6 Le gain :

Le gain représente le rapport entre la puissance rayonné dans une direction et la puissance rayonnée par une antenne isotrope sans perte. Il est exprimé en dB et présenté par l'équation suivante :

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_a} \quad (1.6)$$

Avec : $P(\theta, \phi)$:

- Puissance rayonné dans une direction.
- P_a : Puissance rayonnée à l'antenne.

1.12.7 Le rendement :

Le rendement ou l'efficacité η d'une antenne définit la capacité de transformer la puissance transmise à l'antenne P_a en puissance rayonnée .

$$\eta = \frac{P}{P_a} = \frac{\text{gain}}{\text{directivité}} \quad (1.7)$$

Avec : P : Puissance totale rayonné.

1.12.8 La polarisation :

L'orientation du champ électrique (E) produit par une antenne est nommée polarisation, elle est généralement linéaire, horizontale ou verticale. Le plan de polarisation est déterminé en fonction de l'orientation du champ électrique. Quand la configuration de l'antenne oriente le champ électrique verticalement, la polarisation est dite verticale. Lorsque la configuration positionne le champ électrique horizontalement, la polarisation est alors dite horizontale. Dans certaines conditions, la polarisation peut aussi être "circulaire à droite ou circulaire à gauche" et il y a plusieurs sortes de polarisation comme le montre la figure 1.15.

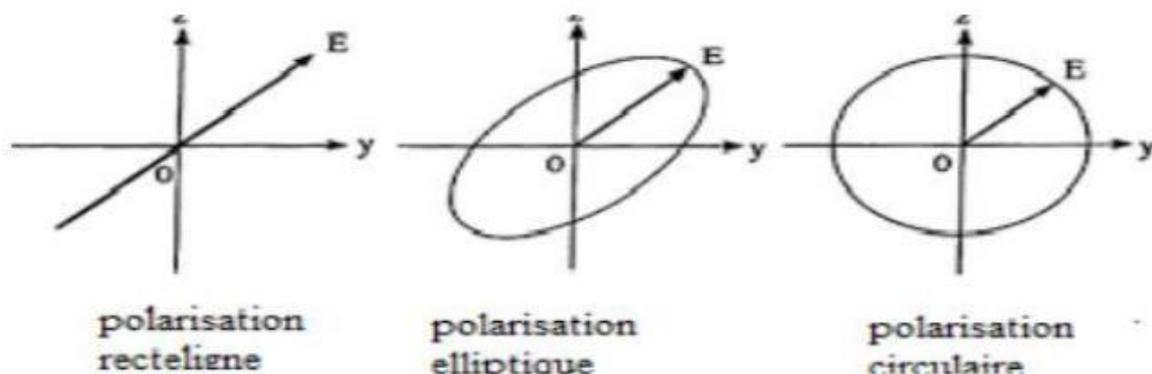


Fig 1.15 :Les différentes sortes de polarisation.

1.12.9 Fréquence de résonance :

La fréquence de travail d'un patch est intrinsèquement liée à ses dimensions (la longueur L du patch pour une antenne rectangulaire) et aux conditions de propagation le long du ruban.

1.13 Conclusion :

Nous avons parlé d'une façon générale sur les antennes. Maintenant, on sait bien que les éléments préformant l'antenne sont surtout la bande passante et le rayonnement. Nous avons vu qu'il existe plusieurs types et plusieurs formes de cette dernière. Nous pouvons bien la trouver dans différents domaines et plus essentiellement dans les systèmes de communication vu qu'elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée. Finalement, les antennes sont la base et la pièce maîtresse de la télécommunication.

Chapitre 2:
Les antennes
PATCH

2.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord étudier les lignes microruban, le mode de fonctionnement d'une antenne patch ainsi que sa conception en utilisant le logiciel CST, et leur étude paramétrique.

2.2 Lignes de transmission en microruban :

La ligne microruban est un type de ligne de transmission, qui véhicule des ondes électromagnétiques d'un port (partie) à un autre. Comme le montre **la figure 2.1**, une ligne microruban est constituée de trois parties principales :

- un conducteur mince
- un matériau diélectrique appelé substrat
- un plan conducteur appelé plan de masse.

Le conducteur est appelé plan de masse. En général, l'air remplit le volume au-dessus du conducteur mince, ce qui implique que le champ électrique entre le conducteur et le substrat est faible. Cela implique que le champ électrique entre les deux conducteurs se déplace dans deux milieux dissemblables. Par conséquent, le champ électrique présente des franges sur les bords.

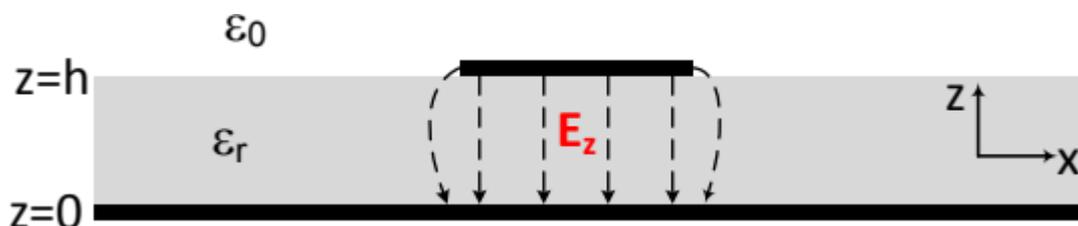


Figure 2.1 Une configuration de ligne de transmission en microruban.

La simplification de l'analyse de telles structures suppose que l'on doit trouver un moyen pour transformer le problème d'un champ qui se propage dans deux milieux différents en un champ qui se propage dans un milieu homogène.

Cette transformation peut être effectuée si nous supposons que les deux milieux de la figure 2.1 sont équivalents à un seul milieu avec un diélectrique spécifique.

Constante que nous appelons (ϵ_{eff}) constante diélectrique comme le

montre l'équation ci-dessous, (ϵ_{eff}) peut s'écrire comme suit :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}}, \quad (2.1)$$

Où W est la largeur du conducteur et h l'épaisseur du substrat. Bien entendu $1 < \epsilon_{eff} < \epsilon_r$ et est une fonction de la fréquence, comme le montre la fig 1.3.

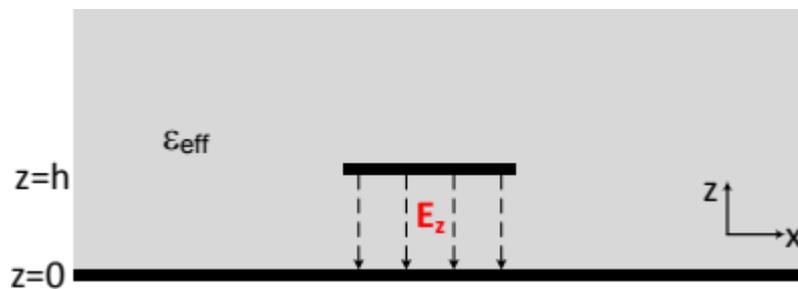


Figure 2.2 Transformation de la figure 2.1 en un milieu homogène équivalent.

Prenons un exemple : le matériau du substrat de l'antenne patch que j'ai fait circuler est le Rogers RT5880, $\epsilon_r=2.2$. L'épaisseur du substrat est de 1,6 mm et la largeur du conducteur est de 0.035 mm. Ensuite, en utilisant l'équation (1.1). En tant que concepteur d'antennes, l'utilisation de l'équation (1.1) n'est pas judicieuse car nous devons trouver la valeur de W à partir de l'impédance d'entrée requise

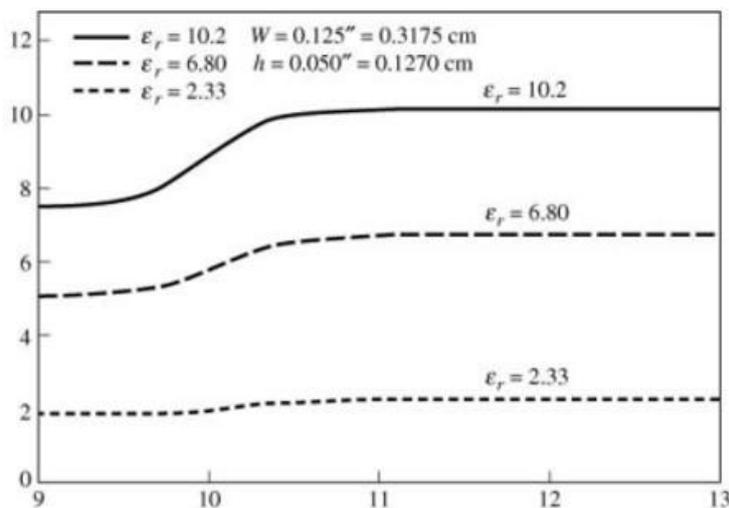


Figure 2.3 Variation de E_{eff} avec la fréquence

2.3 Que sont les antennes patch et comment rayonnent-elles ?

L'antenne patch est similaire aux lignes de transmission microruban avec de légères modifications car, contrairement à la transmission microruban, notre objectif est que le patch rayonne. Référons-nous à la figure 2.4, une antenne patch rectangulaire est simplement un "patch" en métal sur un substrat ayant une constante diélectrique ϵ_r . Nous constatons que l'antenne patch a deux propriétés :

1. Le plan de masse bloque le rayonnement dans les $-\hat{z}$ et l'oriente vers les $+\hat{z}$
2. Dans le champ lointain, le champ de franges autour de $x = 0$ s'additionne en phase avec le champ de franges autour de $x = L$. Par conséquent, le maximum de rayonnement est sur la direction $+\hat{z}$.

Il s'avère que le mode TM_{10} (qui est représenté sur la figure 2.5) garantit ces propriétés. Le champ de frange de la figure 2.5 rend la longueur électrique un peu plus longue que la longueur physique représentée sur la figure 2.6.

Mathématiquement, la longueur des franges (désignée par ΔL) est donnée par la formule suivante

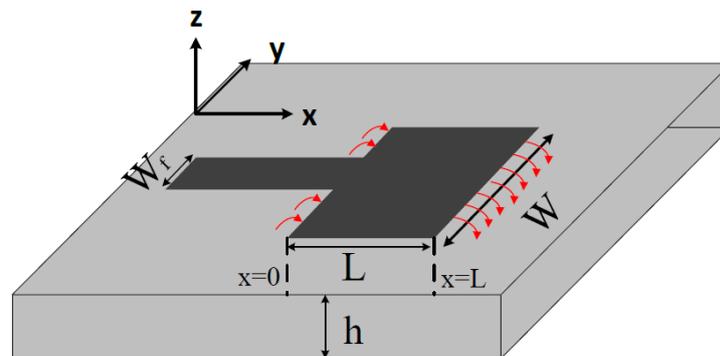


Figure 2.4 Antenne patch sur une carte de circuit imprimé PCB (printed circuit board) . Les flèches rouges représentent le champ de frange de frange.

$$\Delta L = (0.412h) \frac{(\epsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (2.2)$$

Comme nous pouvons le déduire de l'équation (2.1), l'augmentation de ϵ_r augmentera la longueur de frange si les autres paramètres (à savoir, W et h) sont maintenus tels quels. Maintenant, nous avons dit que si $L = \lambda/2\sqrt{\epsilon_r}$, nous aurons une résonance ; ainsi, le patch commence à rayonner.

Cependant, à cause du champ de frange, nous avons besoin que la longueur électrique effective soit la moitié d'une longueur d'onde.

Par conséquent, la longueur physique requise pour atteindre la résonance doit être modifiée de la manière suivante :

$$L = L_e - 2\Delta L = \frac{\lambda_m}{2} - 2\Delta L$$

Équation 2.3

Où L_e est la longueur électrique, $\lambda_m = \lambda/\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$ et le facteur "2" provient du fait que nous avons des franges autour de $x = 0$ et de $x = L$.

2.4 Modélisation d'un patch rectangulaire

Pour analyser les antennes patch, il faut les modéliser. Dans la littérature, il existe de multiples techniques telles que la ligne de transmission et le modèle de cavité. Dans ce cours, nous nous concentrerons sur le modèle de ligne de transmission car il est moins complexe et constitue un bon point de départ.

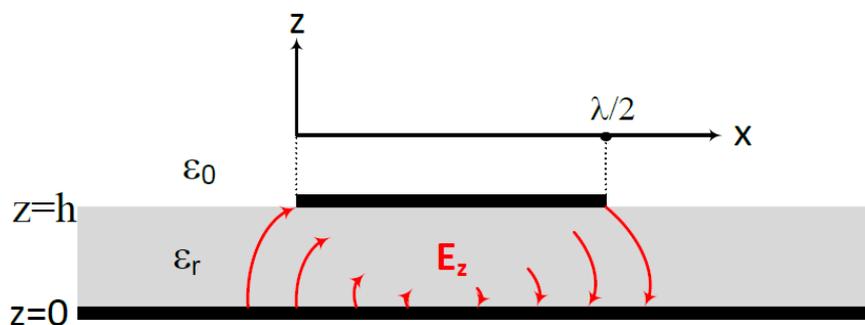


Figure 2.5 Distribution du champ électrique TM10 le long de la longueur du patch

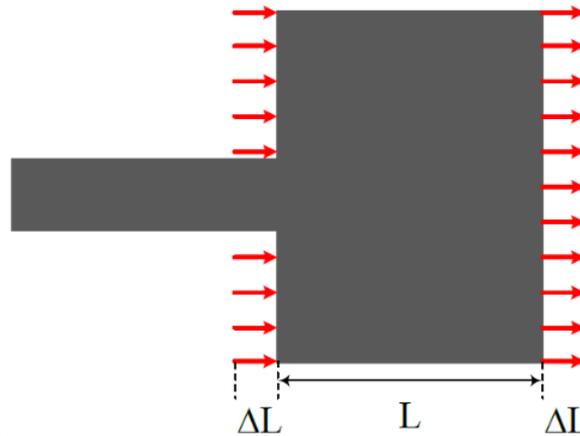


Figure 2.6 : Vue de dessus d'une antenne patch

et que la longueur électrique est $L + 2\Delta L$.

(2.4)

L'étape finale doit être l'utilisation d'un logiciel de simulation tel que CST, qui calcule réellement les paramètres optimisés. Le modèle de ligne de transmission suppose que le patch est équivalent à deux fentes rayonnantes qui sont séparées par une ligne de transmission à faible impédance

d'une longueur d'environ $\lambda_m/2$. Comme le montre la Figure 2.7, les fentes rayonnantes forment un réseau à deux éléments qui est linéairement polarisé dans la direction de la ligne d'alimentation (dans notre cas, la polarisation du champ électrique est dans la direction \hat{x}). Par conséquent, nous concluons que les antennes patch - en ce qui concerne la configuration de la figure 2.7 - sont polarisées linéairement. Le plan $\hat{x}\hat{z}$ est appelé le plan E tandis que le plan est $\hat{y}\hat{z}$ appelé le plan H.

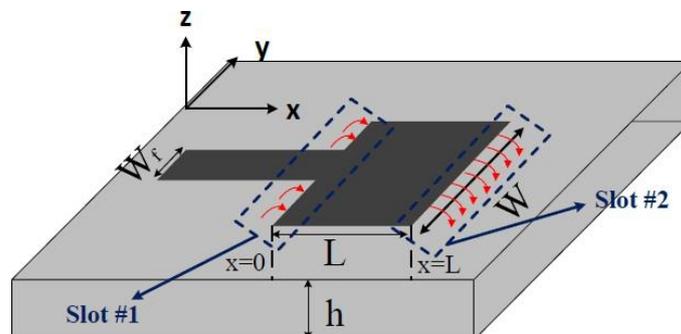


Figure 2.7 Modélisation de l'antenne patch comme un réseau à deux fentes

2.5 Impédance, bande passante et diagramme de rayonnement :

Commençons par le diagramme de rayonnement, puisque, comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, les antennes patch sont modélisées comme un réseau de fentes à deux éléments. Le diagramme de rayonnement devrait être conforme à ce que nous avons appris dans la théorie des réseaux, à savoir que le diagramme total est le diagramme de rayonnement de l'antenne.

La multiplication des motifs de l'élément et du réseau. Par conséquent, pour une fente de dimensions $W \times h$, les champs électriques de la fente :

$$E_{\theta} = E_o \cos \phi \frac{\sin \left(\frac{\pi W}{\lambda} \sin \theta \sin \phi \right)}{\sin \theta \sin \phi}$$

$$E_{\phi} = -E_o \cos \theta \sin \phi \frac{\sin \left(\frac{\pi W}{\lambda} \sin \theta \sin \phi \right)}{\sin \theta \sin \phi}$$

(2.5)

Le diagramme de rayonnement d'un réseau à deux éléments distribués le long de \hat{x} -axis est :

$$AF(\theta, \phi) = 2 \cos \left(\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \cos \phi \right) \Big|_{d=L_e} = 2 \cos \left(\pi \frac{L_e}{\lambda} \sin \theta \cos \phi \right)$$

(2.6)

Par conséquent, le total des champs serait de :

$$\begin{aligned}
 E_{\theta,\text{total}} &= E_o \cos \phi \frac{\sin \left(\frac{\pi W}{\lambda} \sin \theta \sin \phi \right)}{\sin \theta \sin \phi} \left[2 \cos \left(\pi \frac{L_e}{\lambda} \sin \theta \cos \phi \right) \right] \\
 E_{\phi,\text{total}} &= -E_o \cos \theta \sin \phi \frac{\sin \left(\frac{\pi W}{\lambda} \sin \theta \sin \phi \right)}{\sin \theta \sin \phi} \left[2 \cos \left(\pi \frac{L_e}{\lambda} \sin \theta \cos \phi \right) \right].
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Les largeurs de faisceau à mi-puissance sont :

$$\Theta_{\text{E-Plane}} = 2 \cos^{-1} \sqrt{\frac{7.03\lambda^2}{4\pi^2(3L_e^2 + h^2)}}
 \tag{2.8}$$

Et ;

$$\Theta_{\text{H-Plane}} = 2 \cos^{-1} \sqrt{\frac{1}{2 + (2\pi/\lambda)W}}
 \tag{2.9}$$

L'impédance d'entrée d'une antenne patch à la résonance est approximativement réelle et se calcule comme suit par :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \approx \frac{R_r}{2} \Omega
 \tag{2.10}$$

où R_r est la résistance au rayonnement. Notez que l'équation (2.9) est une formule empirique pour un patch rectangulaire demi-onde, nous ne pouvons donc pas l'utiliser pour toutes les situations. La formule générale peut être trouvée en utilisant le modèle de cavité.

Enfin, du point de vue de la communication, la bande passante est une quantité importante que nous devons trouver.

Les antennes patch, tout comme les antennes à résonance telles que les dipôles, sont par nature des antennes à bande étroite. Par nature des antennes à bande étroite. La largeur de bande du patch est donnée par :

$$BW = f_r \left(3.77 \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \frac{W h}{L \lambda} \right) \quad (2.11)$$

où f_r est la fréquence de résonance.

2.6 Patches sur circuit : L'alimentation des antennes patch :

Il existe de multiples techniques d'alimentation des antennes patch ; cependant, nous allons considérer trois techniques : l'alimentation par le bord, la sonde et l'insertion. En examinant l'équation (2.9), nous concluons que Z_A est une grande valeur. En fait, la plage d'impédance approximative d'une antenne patch pratique est de $100 \leq Z_A \leq 400$, ce qui entraîne une inadéquation si le patch est connecté directement à une ligne de transmission standard qui a $Z_o = 50\Omega$. Ainsi, dans cette section, nous allons discuter de chaque technique d'alimentation et comment adapter l'impédance d'entrée du patch à la ligne d'alimentation.

2.7 Patch alimenté par les bords :

Cette technique d'alimentation est la technique "intuitive" et est illustrée à la figure 2.8.

Dans cette technique, une ligne de transmission d'un quart de longueur d'onde est nécessaire pour définir le coefficient de réflexion, Γ , à zéro. En se référant à la figure 2.8, l'impédance caractéristique requise de la $\lambda_{\text{eff}}/4$ de la ligne de transmission (Z_q) est :

$$Z_q = \sqrt{Z_o Z_A}, \quad (2.12)$$

où Z_o est l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation, typiquement $Z_o = 50\Omega$.

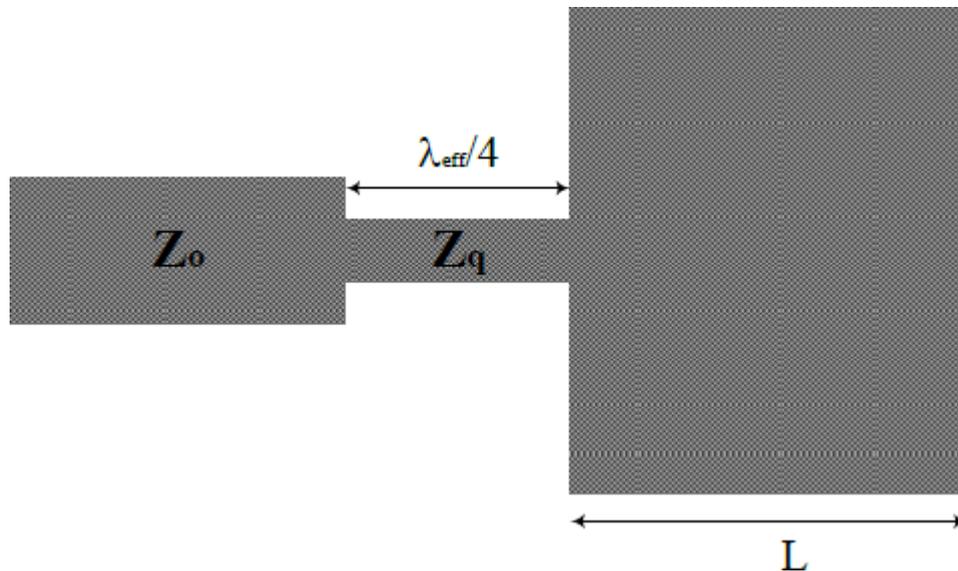


Figure 2.8 Transformateur quart d'onde pour adapter l'impédance du patch à la ligne d'alimentation. Le dessin n'est pas à l'échelle

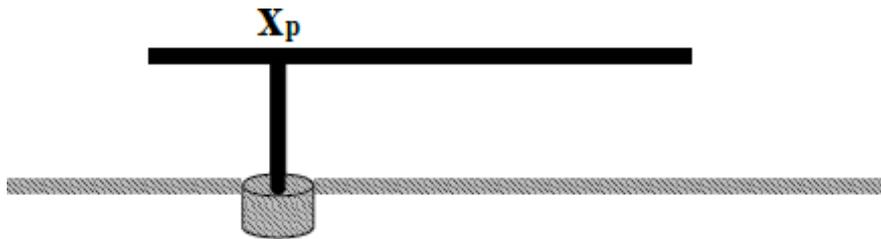
2.8 Patch alimenté par sonde :

Cette technique, illustrée à la figure 2.9, est très utile si nous voulons alimenter le patch à partir d'un câble coaxial ou si nous avons un patch dans un circuit qui a plus de deux couches. Dans le premier cas, le conducteur central du coaxial est connecté au patch tandis que le conducteur externe est connecté au plan de masse. Cependant, dans ce dernier cas, nous avons généralement une ligne microruban sur une couche et un patch sur une autre couche. Par conséquent, la ligne d'alimentation et le patch partagent le même plan de masse. Ainsi, nous avons besoin d'un via qui relie la ligne d'alimentation au patch.

Dans les deux scénarios, le microruban et le coaxial ont $Z_o \neq Z_A$ — encore une fois, typiquement $Z_o = 50\Omega$ ce qui implique que nous devons trouver un moyen de faire correspondre l'impédance de la ligne d'alimentation à celle du patch. Il s'avère que si nous fixons la dimension de l'axe \hat{y} au centre du bord à $x = 0$, alors l'impédance d'entrée à $x = x_p$ en fonction de celle à $x = 0$ est

$$Z_A(x = x_p) = Z_A(x = 0) \left[\cos \left(\frac{\pi x_p}{L} \right) \right]^2. \quad (2.13)$$

Ainsi, en choisissant correctement x_p , nous pouvons faire correspondre Z_A à Z .



2.9 Patch alimenté en sonde par un câble coaxial.

Le conducteur central du coaxial est connecté au patch (lignes noires) tandis que le conducteur externe est connecté au plan de masse (lignes grises) du patch.

2.9 : Antenne patch alimentée par encart :

Cette technique permet à la ligne d'alimentation d'être sur la même couche que le patch - similaire au cas de l'alimentation par les bords - mais alimente le patch en profondeur le long de \hat{x} -axis d'une manière similaire à la technique d'alimentation de la sonde. La figure 1.10 montre une antenne patch alimentée par cette technique. L'impédance d'entrée n'est pas bien définie dans la littérature, mais une bonne approximation serait :

$$Z_A(x = x_i) = Z_A(x = 0) \left[\cos \left(\frac{\pi x_i}{L} \right) \right]^4. \quad (2.14)$$

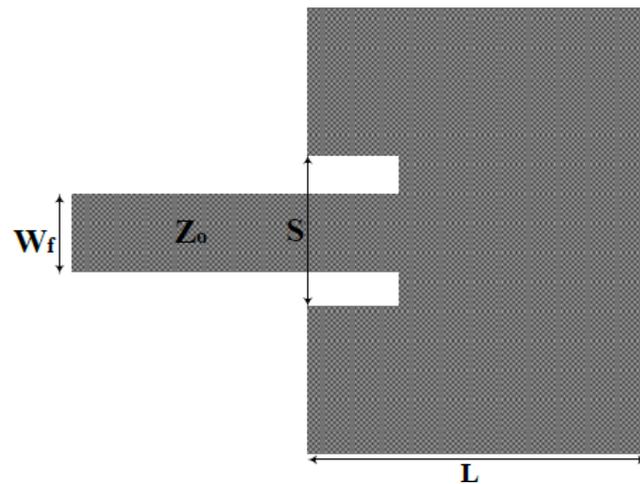


Figure 2.10 Antenne patch alimentée par encart.

2.10 : Équations de conception:

Nous avons répertorié de nombreuses équations, arrêtons-nous une seconde et résumons les étapes de conception dans l'ordre suivant :

2.10.1 : Calcul la valeur de W en utilisant :

$$W = \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

(2.15)

2.10.2 : Calcul ϵ_{eff} en utilisant :

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}}$$

(2.16)

2.10.3 : Calcul le champ de frange en utilisant :

$$\Delta L = (0.412h) \frac{(\epsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)}$$

(2.17)

2.10.4 : Calcul la longueur L en utilisant :

La longueur L est donnée par la relation suivante

$$L = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L$$

(2.18)

2.10.5: Calcul de l'impédance en utilisant :

L'impédance Z_A est donnée par :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega$$

(2.19)

2.10.6: Choisir la technique d'alimentation:

a. Si vous alimentez depuis le bord, W_q peut être trouvé en utilisant l'impédance caractéristique (Z_q). Caractéristique (Z_q). Cependant, nous ne considérerons pas cette option.

b. Si on utilise l'option d'alimentation par sonde, alors la profondeur du point d'alimentation, x_p , est :

$$x_p = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_A(x = x_p)}{Z_A(x = 0)}} \right)$$

(2.20)

c. Si on utilise l'option d'alimentation encastrée, la profondeur du point d'alimentation, x_i , est :

$$x_i = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\left[\frac{Z_A(x = x_i)}{Z_A(x = 0)} \right]^{1/4} \right)$$

(2.21)

la plupart du temps, $Z_A(x = x_i) = Z_A(x = x_p) = 50\Omega$.

2.11 : les paramètres des patchs et leur impact sur la performance :

Nous étudierons quatre paramètres ϵ_r , h et W . sans prendre en compte L puisqu'il est déterminé par la fréquence de résonance. Nous supposons également que nous modifions un paramètre à la fois tout en gardant les trois autres fixes.

2.11.1 : Constante diélectrique ϵ_r :

Si on augmente ϵ_r , on aura par conséquence:

- Taille d'antenne plus petite car la longueur d'onde effective est raccourcie

$$\lambda_m = \lambda / \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$$

- Bande passante plus étroite comme indiqué dans l'équation (2.11).
- Augmentation de la puissance des ondes de surface ; par conséquent, une diminution de l'efficacité du rayonnement.

2.11.2 : Épaisseur du substrat h :

Si l'épaisseur du substrat augmente:

- Taille d'antenne plus grande puisque la longueur d'onde a augmenté.
- Bande passante plus large comme dans l'équation (2.11).
- Augmentation de la puissance des ondes de surface ; par conséquent, une diminution de l'efficacité du rayonnement.

2.11.3 : Largeur de patch W :

Si W augmente,

- Impédance d'entrée plus petite
- Bande passante plus large

En fait, la largeur du patch joue un rôle important lorsqu'il s'agit de concevoir un réseau d'antennes point de vue techniques d'alimentation.

2.12 : Simulation de l'antenne patch :

Dans notre travail, on s'intéresse la simulation d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

2.12.1 Définition du logiciel CST STUDIO SUITE :

La société CST STUDIO fut fondée en 1992. Après de nombreuses recherches, la première version de CST Microwave studio fut apparue en 1998. Cette dernière a pour but la conception magnétique. Elle permet l'analyse rapide et précise des dispositifs à haute fréquence tel que : les antennes, les filtres ...etc.

CST Microwave studio est un outil spécialisé pour la simulation en 3D des composants à haute fréquence basé sur la résolution des équations de MAXWELL suivant la technique des intégrales finies (FIT, Finit Integration Technique).

Comme tous les simulateurs 3D, l'avantage de cet outil est la possibilité de traiter toutes sortes de structures homogènes quelle que soit la technologie utilisée. [13]

2.12.2 Description générale de l'interface CST :

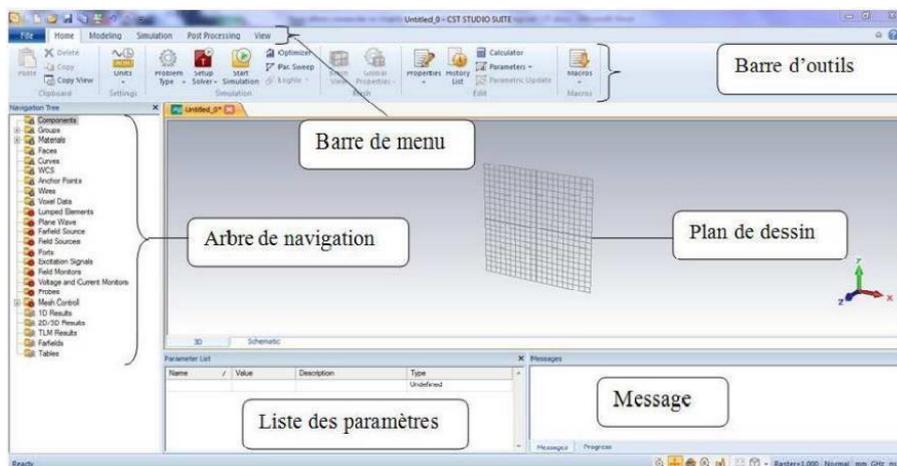


Figure 2.11 Interface du CST

A l'entête de l'interface, on trouve la barre d'outils qui est un ensemble de raccourcis de la barre de menu.

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

2.12.3 Le schéma représentant l'antenne patch :

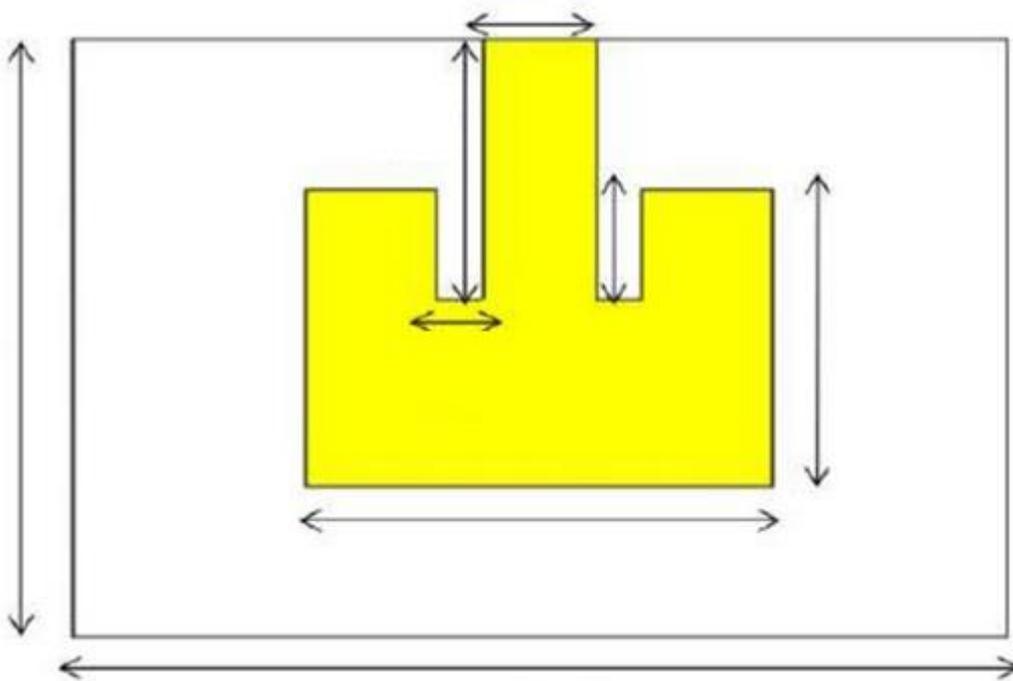


Figure 2.12 : représentation de la structure de patch

2.12.4 Réalisation du modèle :

Premièrement, on remplit la liste des paramètres en insérant leurs valeurs numériques :

Name	Value	Description	Type
h_p	0.035	la hauteur du plan de masse	None
h_sub	1.6	hauteur du substrat	None
l_p	80	longueur du plan de masse	None
l_patch	40.4	Longueur du patch	None
L_pc	15	longueur coupé	None
W_f	4.88	largeur de l'entrée	None
w_p	80	largeur du plan de masse	None
w_patch	40.4	largeur du patch	None
W_pc	1	la partie coupé du patch	None
			Undefined

Figure 2.13 liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

2.12.5 Dessiner l'antenne microruban :

Le schéma représentant l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban est défini dans la figure suivante :

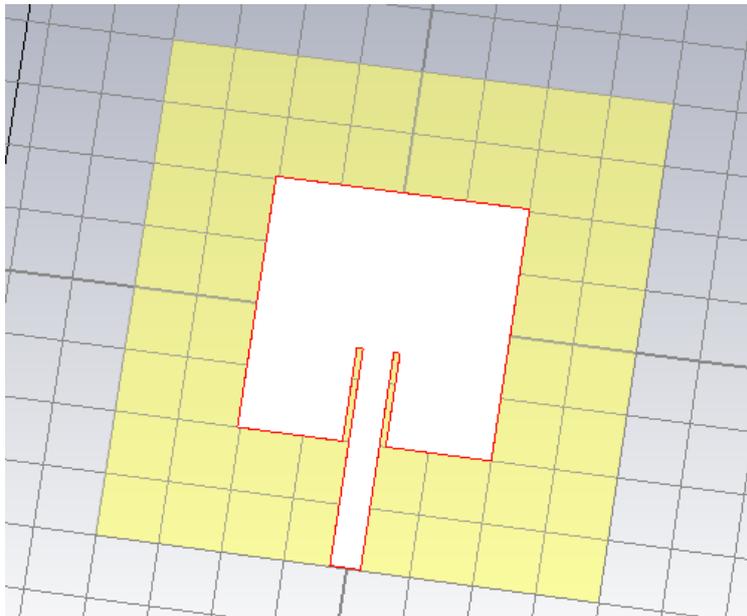


Figure 2.14 structure de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

Excitation de l'élément : On zoom au maximum le micro strip.

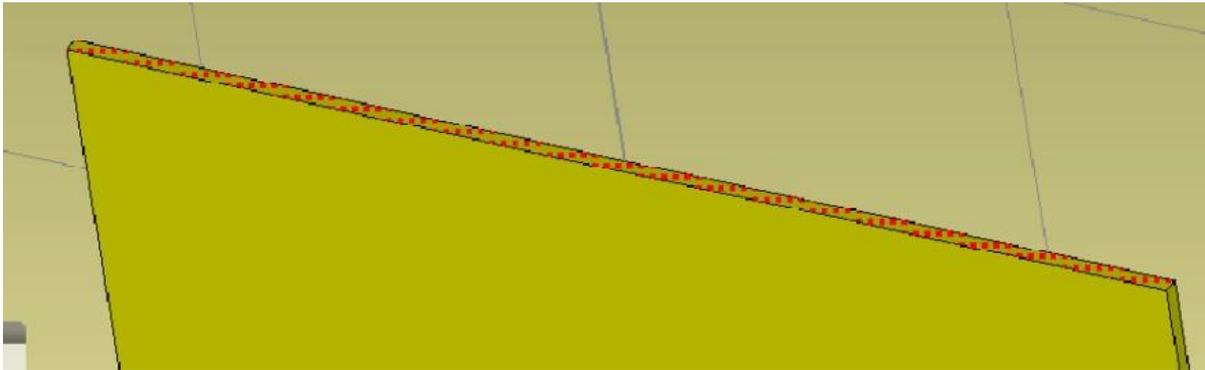


Figure 2.15 zoom de la partie haute de micruban.

On clique sur 'Simulation' « Waveguide Port », et une fenêtre de dialogue apparaît sur laquelle on spécifie les données :

Figure 2.16 fenêtre de dialogue de la configuration du port de guide d'onde.

2.12.6 Simulation du modèle et résultat :

On clique sur « Simulation », ensuite, on clique sur ‘Start’ et on commence la simulation

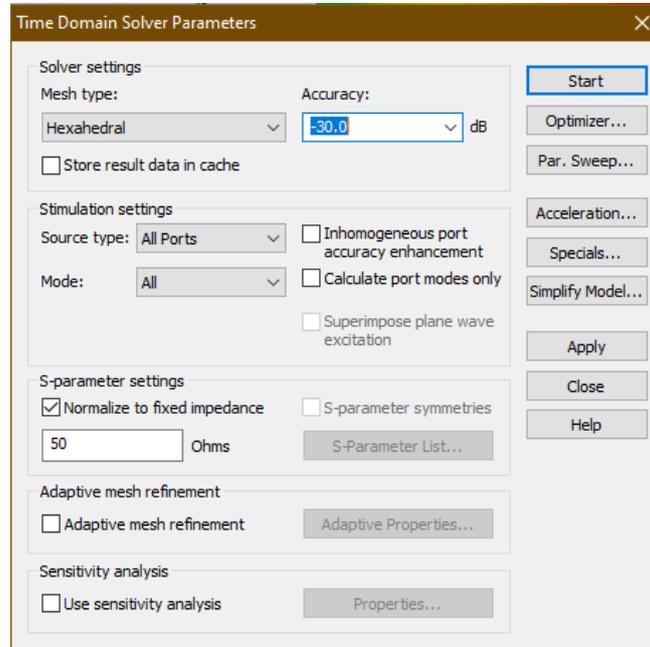


Figure 2.17 boîte de dialogue de solveur.

2.12.7 Simulation et optimisation

Après avoir simulé le coefficient de réflexion, nous voyons bien que notre antenne est bien adaptée à la fréquence de résonance voulu qui est 2.45 GHz

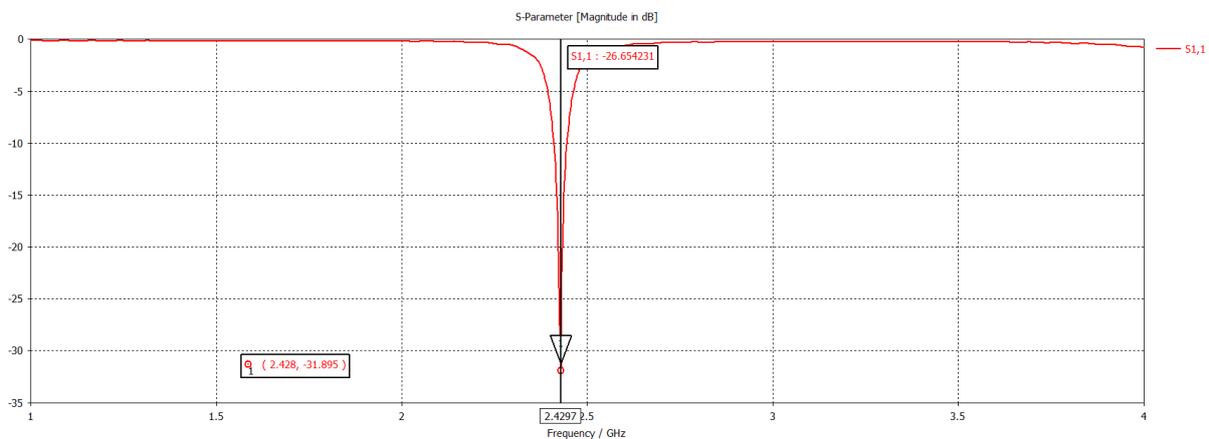


Figure 2.18 courbe du paramètre S11 en DB

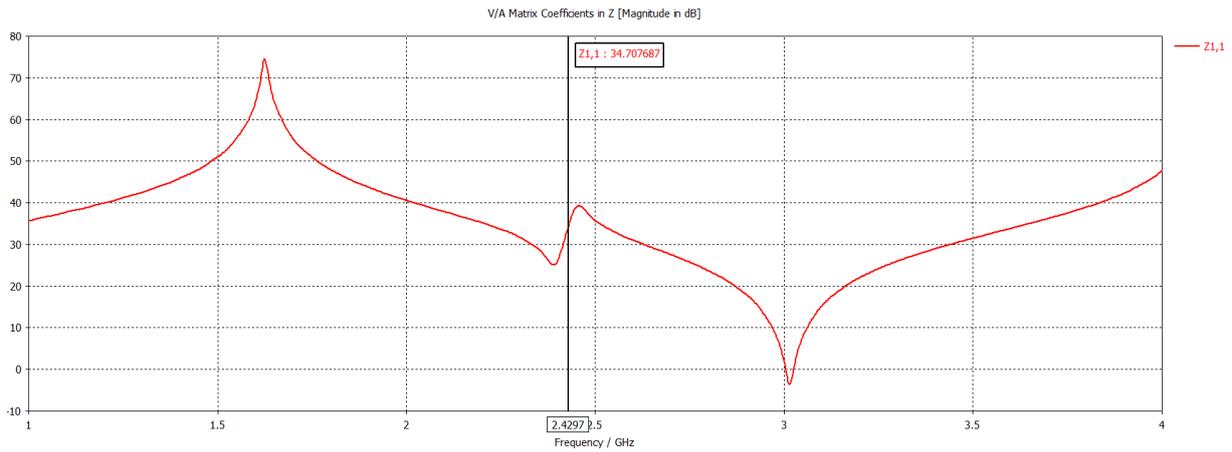


Figure 2.19 : L'impédance d'entrée de l'antenne à 2.45 GHz

2.12.7.a Rapport d'onde stationnaire (VSWR) :

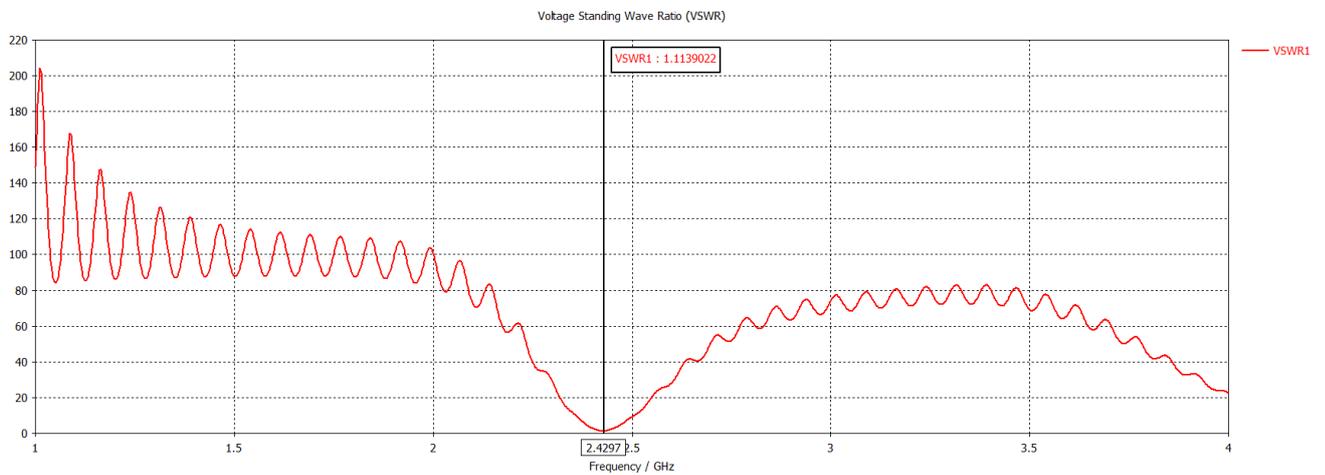


Figure 2.20: Le taux d'onde stationnaire de l'antenne à 2.45

2.12.7.b La bande passante :

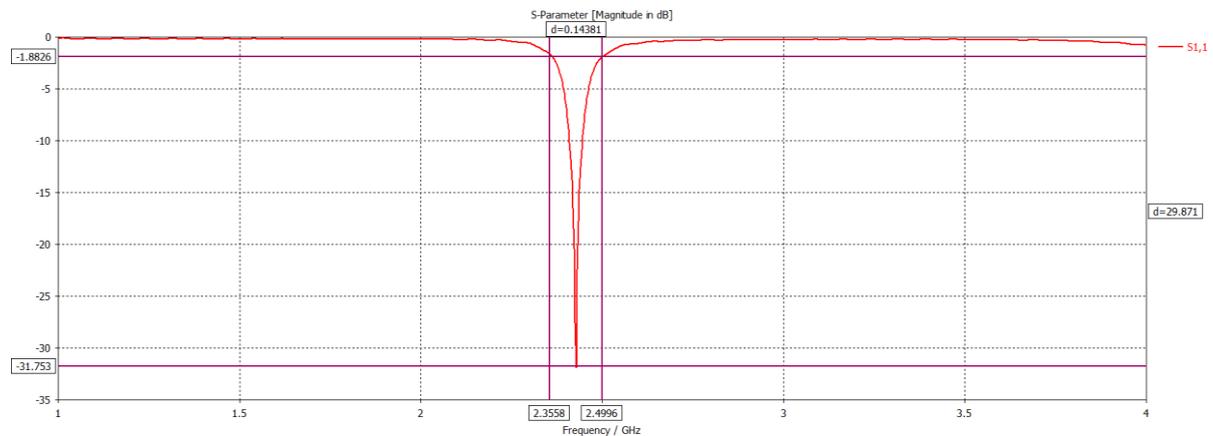


Figure 2.21: La bande passante de l'antenne à 2.45 GHz

La bande passante est calculée à partir de l'équation, on remarque que notre antenne rayonne dans la plage de fréquences [2.35GHz-2.49GHz].

2.12.7.c Diagramme de rayonnement en Gain et Directivité

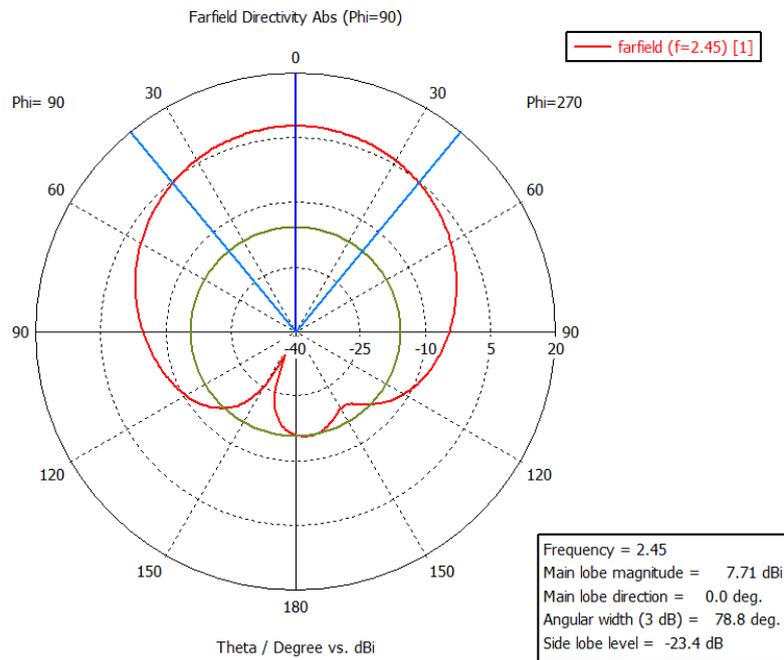


Figure 2.22 :La représentation polar du gain

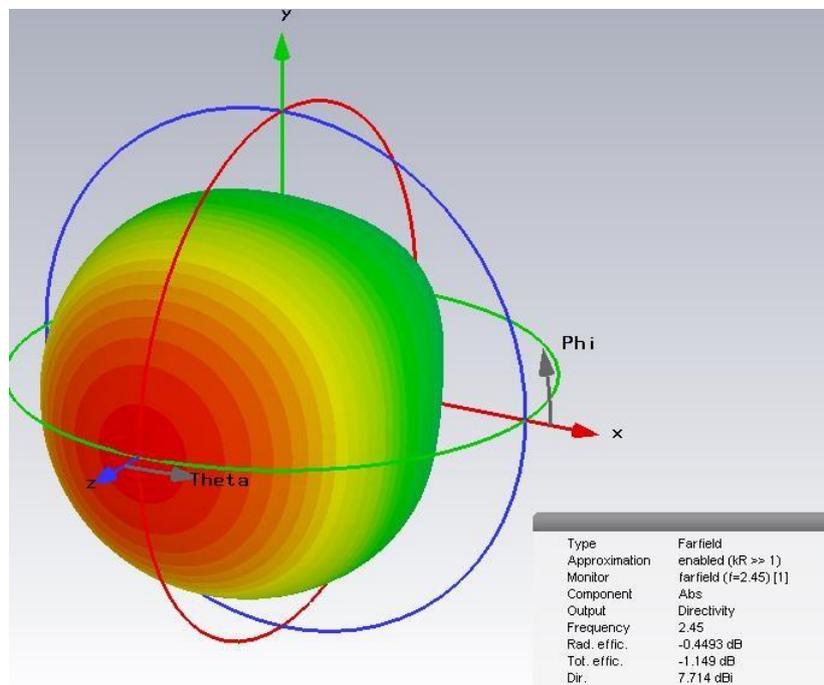


Figure 2.23 La représentation en 3D du gain.

2.13 Etude paramétrique :

Dans cette partie nous allons étudier l'influence de la longueur sur la fréquence de résonance, en variant la longueur du patch

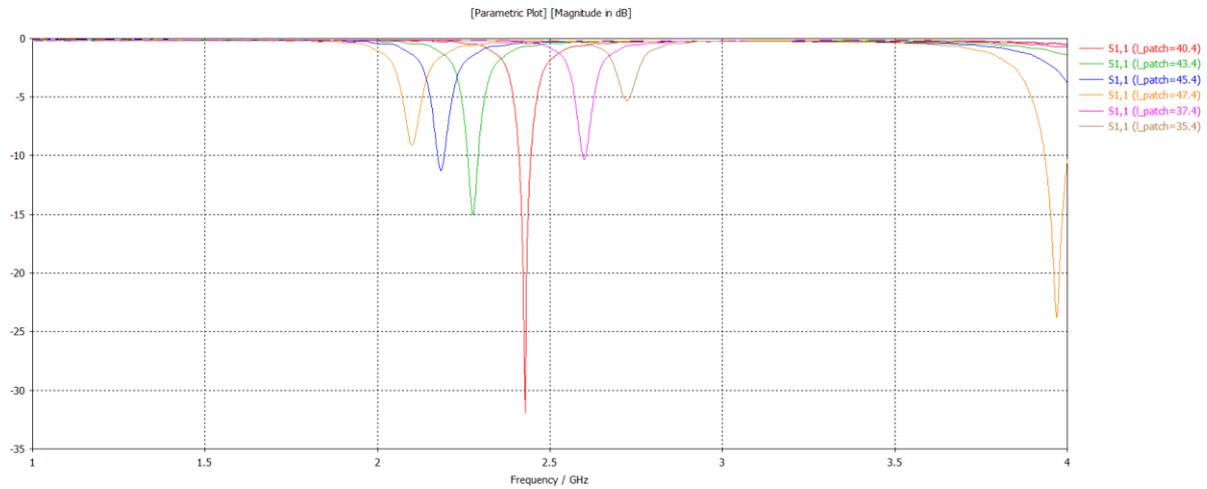


Figure 2.24 Effet de la longueur du patch sur le paramètre S11

On constate qu'il existe une corrélation inverse entre la longueur du patch et la fréquence de résonance, autrement dit une augmentation de la longueur implique la diminution de la fréquence, et inversement une réduction de la longueur du patch ferait augmenter la fréquence du paramètre S11.

2.14 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une antenne imprimée rectangulaire à 2.45 GHz. Nous avons commencé par la conception d'une antenne patch rectangulaire simple performante sous CST, et on a réussi à atteindre notre première phase de cette réalisation.

Nous avons constaté que : La fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la longueur L du patch. L'épaisseur du substrat, le choix du type d'alimentation, la position de la ligne d'alimentation (ligne micro ruban) influent considérablement sur les performances de l'antenne : coefficient de réflexion, bande passante et le rayonnement. Nous avons aussi présenté une étude paramétrique de l'antenne afin d'optimiser ses performances.

Chapitre 3 :
Antenne patch
avec boitier

3.1 Introduction :

Nous allons présenter dans ce chapitre le processus de réalisation d'un boîtier pour antenne imprimée et ce en recourant au procédé de simulation CST studio suite.

Il s'agit d'un couvercle ou d'un boîtier destiné à protéger les antennes des contraintes environnementales. Cette note d'application explique comment sélectionner le matériau et l'épaisseur des caches. Chaque couverture a une certaine influence sur la forme du champ de détection et la distance maximale réalisable. L'antenne peut "voir" à travers le plastique et le verre de n'importe quelle couleur. Cela permet une grande liberté de conception. Néanmoins, certaines règles doivent être prises en compte.

Le couvercle d'une antenne constitue une partie très importante et peut avoir une influence importante sur la sensibilité, le diagramme d'antenne rayonné et l'immunité aux vibrations. La conception du boîtier signifie minimiser la réflexion des micro-ondes à la surface du couvercle. Une mauvaise disposition de ce dernier peut même provoquer une sensibilité indésirable à l'arrière de l'antenne. Le matériau de couverture peut agir comme une lentille et focaliser ou disperser les ondes. C'est pourquoi elle doit avoir une épaisseur constante dans la zone servant à la transmission.

3.2 Conception du boîtier :

3.2.1 Règle générale :

Un boîtier doit être conçu de manière à minimiser son influence sur la sensibilité ainsi que sur le diagramme de champ de l'antenne. Toute réflexion provoquée par l'antenne entraîne une dégradation des caractéristiques du capteur.

L'antenne patch ne doit en aucun cas être peinte ou recouverte d'un film plastique. Cela modifie la fréquence de résonance de l'antenne et conduit à un rayonnement modifié. **[14]**

3.3 Épaisseur du boîtier :

Afin d'obtenir l'épaisseur optimale du boîtier, la longueur d'onde λ_m dans le matériau du boîtier joue un rôle clé. La longueur d'onde devient plus courte dans un matériau que dans l'air libre, en fonction de la permittivité ϵ_r (aussi appelée constante diélectrique).

Notre but est d'obtenir une longueur d'onde dans le matériau de $n \cdot \lambda_m / 2$, de sorte que le boîtier devient presque "transparent" pour le micro-onde. Si vous pouvez utiliser un matériau avec ϵ_r égale à 1.0, l'épaisseur n'a pas d'importance.

Des matériaux tels que le polystyrène et la mousse de polyuréthane ont cette propriété. Ils peuvent également être placés directement sur l'antenne. La mousse de polyuréthane peut être pulvérisée très doucement et grâce aux cellules fermées se rapproche d'un couvercle en plastique.

$$\lambda_0 = \frac{c_0}{f_c} \quad \begin{array}{l} f_c \text{ Fréquence d'émission} \\ c_0 \text{ Vitesse de la lumière (299'792'458 m/s)} \\ \lambda_0 \text{ Longueur d'onde à l'air libre} \end{array} \quad (3.1)$$

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \begin{array}{l} \lambda_m \text{ Longueur d'onde dans le matériau} \\ \epsilon_r \text{ Permittivité relative du matériau} \end{array} \quad (3.2)$$

$$T_m = \frac{\lambda_0}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad T_m, \text{ épaisseur optimale du boîtier} \quad (3.3)$$

L'épaisseur du radôme doit être T_m ou un multiple de T_m et la Permittivité ϵ_r et $\tan \delta$ sont généralement spécifiés uniquement jusqu'à 100 MHz.

A des fréquences plus élevées, ϵ_r et les valeurs deviennent généralement légèrement inférieures.

3.4 Distance entre l'antenne et le boîtier :

La distance optimale entre l'antenne et le boîtier permet de minimiser les effets des réflexions et du désaccord de l'antenne causés par le couvercle. La formule suivante peut être utilisée comme règle générale pour une antenne patch :

$$d_m = \frac{\lambda_0}{2} \quad d_m \text{ distance minimale entre antenne et boîtier} \quad (3.4)$$

Si l'épaisseur du boîtier a été sélectionnée correctement, la distance entre l'antenne et le couvercle peut être plus petite que d_m , mais les influences sur le diagramme d'antenne et l'oscillateur doivent être vérifiées.

3.5 Immunité aux vibrations :

Un boîtier imparfait reflète des parties des ondes transmises. Comme un boîtier ne peut jamais être parfait, les mouvements relatifs (vibrations) entre l'antenne et le boîtier entraîneront des niveaux de signal élevés au niveau de l'émetteur-récepteur. Ces signaux ressemblent principalement à des signaux Doppler normaux causés par des cibles en mouvement et peuvent entraîner un dysfonctionnement du système de détection.

3.6 Conception du boîtier sous CST STUDIO SUITE :

3.6.1 Matériaux de boîtier les plus utilisés et recommandés :

Matériel	Permittivité ϵ_r	Tan D	Fréquence f_c	λ_0	λ_m	T_m	$2xT_m$	d_m
Polycarbonate	2.9	0.012	24.125GHZ	12.4	7.3	3.6	7.2	6.25
Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)	2.0-3.5	0.005-0.019	24.125GHZ	12.4	8.77-6.63	4.38-3.31	8.76-6.62	6.25
Polyetheretherketone (PEEK)	3.23	0.0048	24.125GHZ	12.4	6.9	3.44	6.88	6.25
Teflon	2.0	0.0002	24.125GHZ	12.4	8.76	4.38	8.76	6.25
Plexiglass	2.6	0.009	24.125GHZ	12.4	7.69	3.84	7.68	6.25
Céramique	9.8	0.0005	24.125GHZ	12.4	3.96	1.98	3.96	6.25

Tableau 3.1 matériaux de boîtier les plus utilisés et recommandés

3.6.2 L'ajout des boîtier :

3.6.2.1 Matériau 1 Teflon :

Le coefficient de réflexion s11 :

Nous avons choisi pour cette première simulation le Teflon comme premier matériau. En modifiant la dimension entre l'antenne et le boîtier de 1.25 mm jusqu'à 12.5mm.

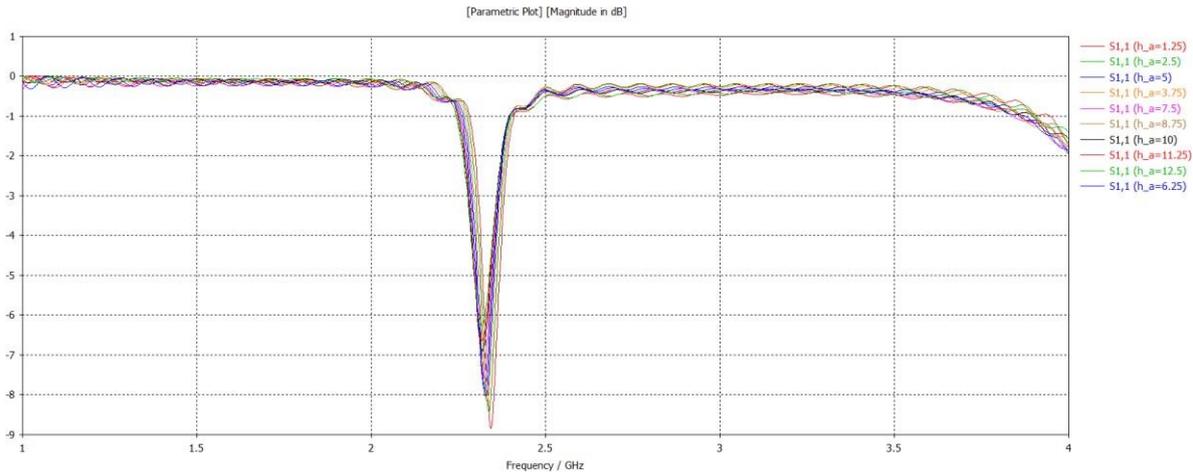


Figure 3

Figure 3.1 courbe du paramètre S11 en DB de Teflon

Il nous a été donné de constater que le S11 équivaut à -8.46 DB et une fréquence de résonance de 2.33 GHZ sur une dimension de 3.75 mm

3.6.2.2 Matériau 2 Polycarbonate :

Nous avons choisi comme deuxième matériau, le polycarbonate

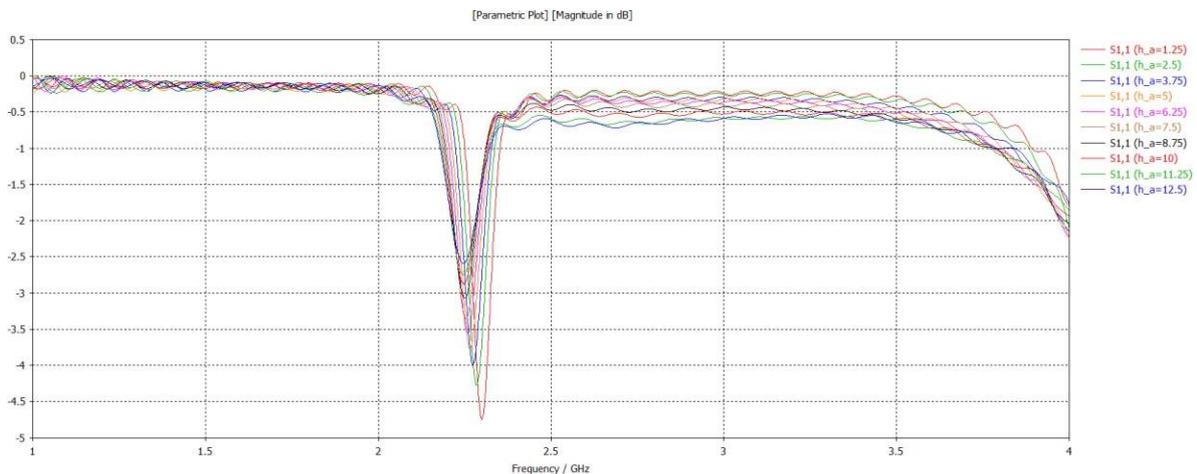


Figure 3.2 Courbe du paramètre S11 en DB du polycarbonate

Lors de cette simulation nous avons constaté que le S11 équivaut à -4.69 dB et une fréquence de résonance de 2.30 GHZ sur une dimension de 1.25 mm

3.6.2.3 Matériau 3 Plexiglass :

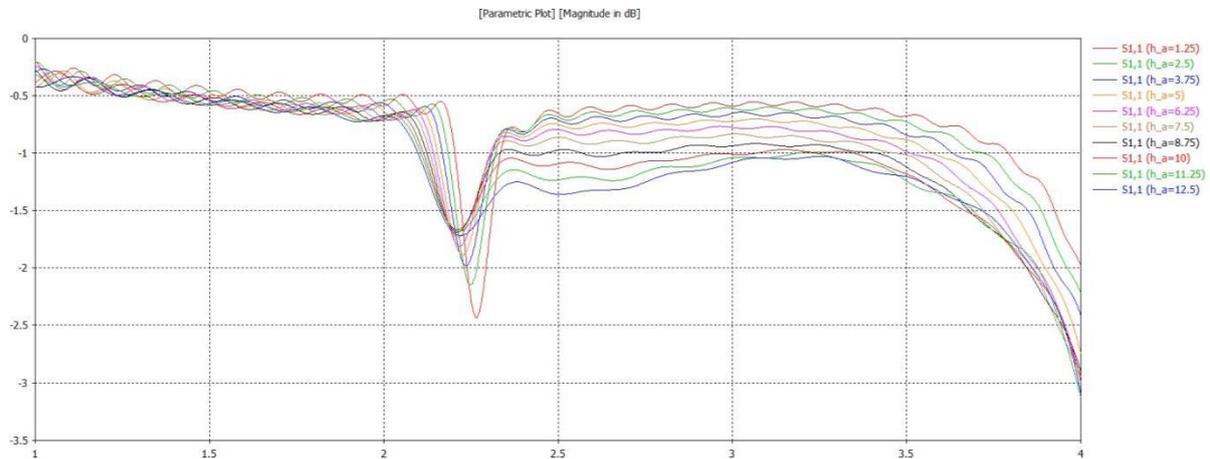


Figure 3.3 Courbe du paramètre S11 en DB du plexiglass

Lors de cette simulation au cours de laquelle nous avons pris comme matériau le plexiglass, nous avons constaté que le S11 équivaut à -2.59 DB et une fréquence de résonance de 2.27 GHZ sur une dimension de 1.25 mm

3.6.2.4 Matériau 4 ABDOS :

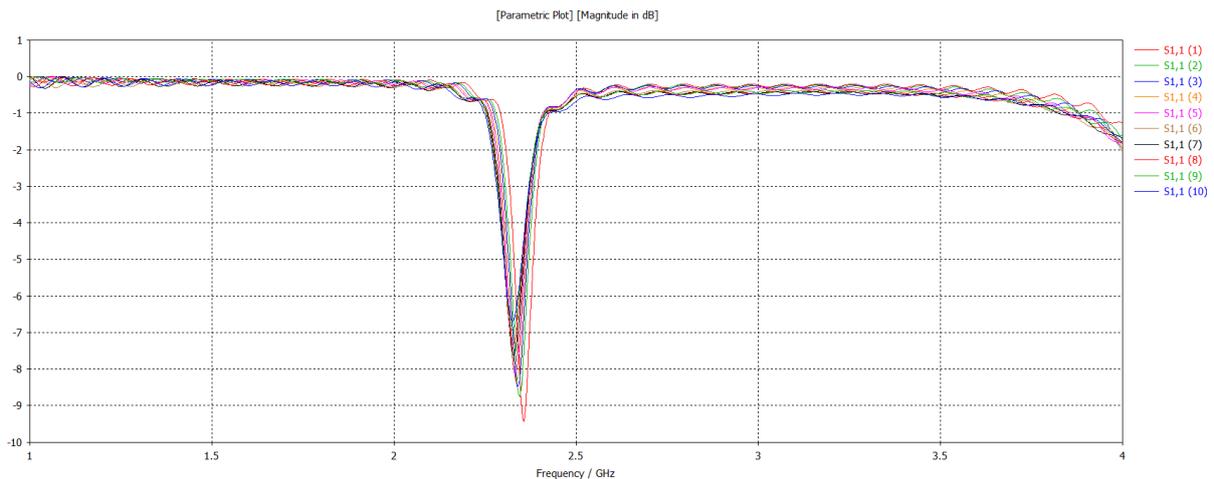


Figure 3.4 Courbe du paramètre S11 en DB du ABDOS

. Dans la quatrième simulation nous avons choisi l'ABDOS comme matériau et les résultats sont les suivants : le S11 vaut à -9.59 DB et une fréquence de résonance de 2.35 GHZ sur une dimension de 1.25 mm

3.6.2.6 Matériau 6 Coup d'œil :

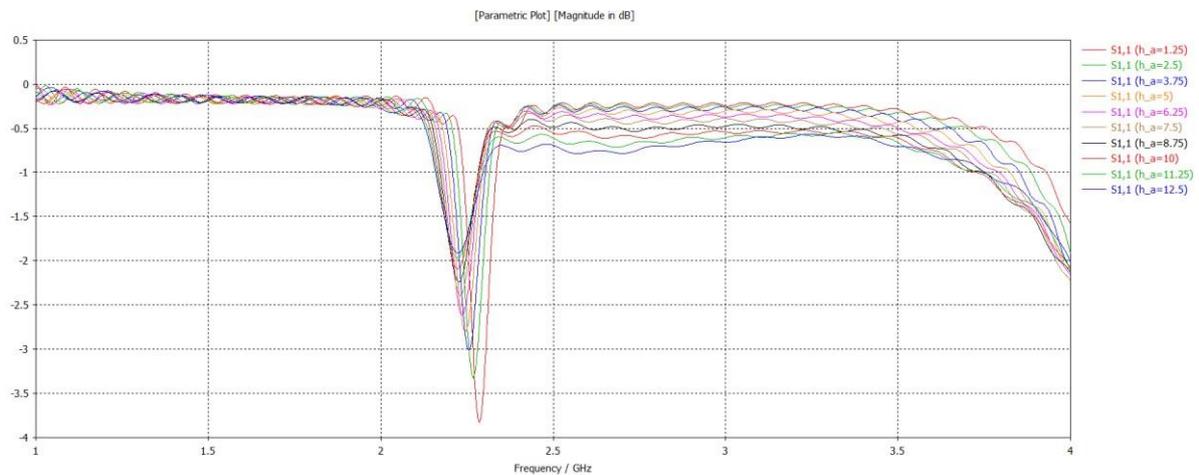


Figure 3.6 Courbe du paramètre S11 en DB du coup d'œil

Et pour la cinquième simulation le matériau utilisé est le coup d'œil et nos simulations donnent ces résultats : le S11 équivaut à -3.82 DB et une fréquence de résonance de 2.28 GHz sur une dimension de 1.25 mm

3.6.2.7 Matériau 7 Céramique :

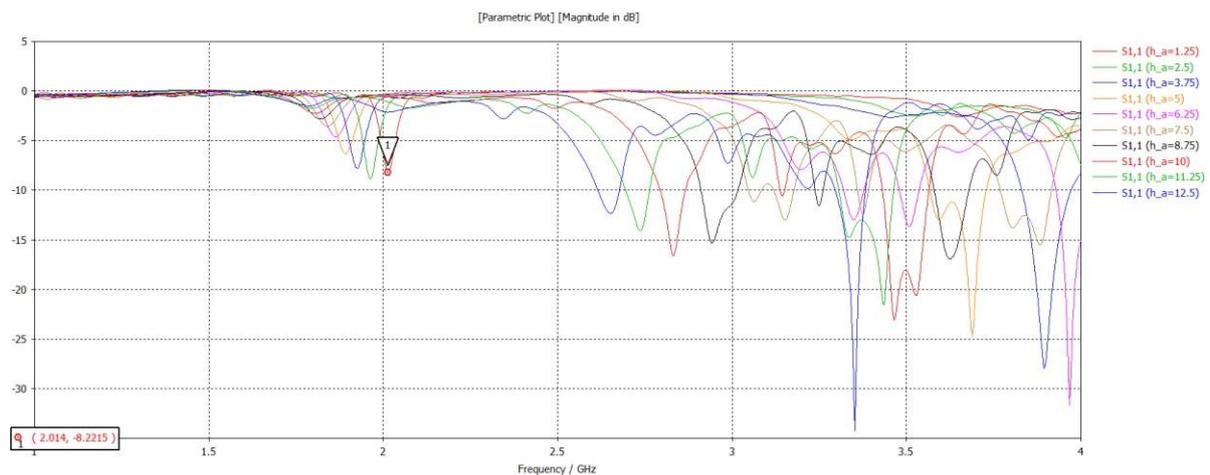


Figure 3.7 Courbe du paramètre S11 en DB du céramique

Pour nos dernières simulations, le matériau utilisé est la céramique. Et Il donne ces résultats : le S11 équivaut à -8.22DB et une fréquence de résonance de 2.014 GHz sur une dimension de 1.25 mm

Cet ensemble de simulations nous a permis d'aboutir à la conclusion que l'impact du boîtier sur les rayonnements est très important en terme de Gain et de directivité sur un plan polaire. Pour la plupart des matériaux utilisés la distance où l'antenne produit un rayonnement efficace, la distance sera de 1.25 mm.

3.7 Conclusion :

L'antenne patch ne doit en aucun cas être peinte ou recouverte d'un film plastique car cela modifierait la fréquence de résonance de l'antenne et conduirait à un rayonnement modifié. En outre le couvercle ne doit pas être métallique ni recouvert de revêtements en plastique contenant des particules de métal ou de carbone.

Il est impératif que l'épaisseur du boîtier soit T_m ou un multiple de T_m en veillant scrupuleusement à déterminer l'épaisseur du couvercle avec une précision de 0,1 mm. La distance minimale peut être évitée au cas où les distances au-dessus T_m aboutiraient à de meilleurs résultats. Enfin il est important d'empêcher ou d'atténuer les vibrations pouvant surgir entre l'antenne et le boîtier car cela entraînerait des niveaux de signal élevés au niveau de l'émetteur-récepteur et pourrait occasionner un dysfonctionnement du système de détection.

Conclusion générale :

Ce travail de PFE, nous a permis de bien assimiler l'ensemble des connaissances collectées dans les domaines des antennes. Nous avons dans un premier temps présenté les antennes en général, en étudiant ses éléments fondamentaux et ses caractéristiques puis dans un second temps la technologie des antennes imprimées et leurs caractéristiques particulières.

L'objectif principal de notre travail a consisté en la modélisation, la simulation et l'optimisation d'une antenne imprimée sous forme rectangulaire adaptée sur la bande de fréquence 2.45 GHz et d'un boîtier en veillant à minimiser son influence sur la sensibilité ainsi que sur le diagramme de champs de l'antenne. L'étude a porté essentiellement sur une variation des dimensions du substrat.

Pour ce faire nous avons utilisé une étude paramétrique qui consiste à fixer tous les paramètres en faisant varier un seul paramètre (la largeur du substrat) pour étudier son influence sur les performances de l'antenne. Les principaux résultats de la simulation obtenus dans le chapitre 2 grâce au logiciel CST ont montré que l'antenne imprimée conçue présente de bonnes performances avec une très bonne adaptation.

Dans le cadre de la conception du boîtier, nous avons commencé par varier les types de matériaux, afin de mesurer leurs impacts sur les performances de l'antenne. Nous avons abouti à la conclusion que les distances entre l'antenne et le boîtier varient en fonction des matériaux utilisés.

Références :

[1] David M. Pozar « *Microwave Engineering* », 1980

[2] I. J. Bahl, Prakash Bhartia, P. Bhartia << *Microstrip antennas* >>, 1980

[3] J. R. James, P. S. Hall, and C. Wood, "Microstrip antenna theory and design" *IEE Electromagnetic Wave, Series 12* London, U. K. Peter Peregrinus, 1981.

[4] D. G. Fang, *Antenna theory and microstrip antennas*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis, 2010.

[5] ulius Adams Stratton, *electromagnetic theory*, J 1961

[6] I. J. Bahl and P. E. Bhartia, "Microstrip antennas," Dedham, MA: Artech House, 1980.

[7] K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip antenna technology," *IEEE trans. Antennas*, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.29, issue.1, pp.2-24, 1981.

[8] Odile Picon et Coll : << *Les Antennes Théorie, conception et application* >> , Paris, 2009

[9] R. J. James and P. S. Hall, "Handbook of microstrip antennas", Peter Peregrinus, NY, 1989.

[10] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, "Microstrip antenna design handbook", Artech house, Boston, MA, 2001.

[11] J. R. James, P. S. Hall and C. Wood, "Microstrip antenna: Theory and design", Peter Peregrinus, London, UK, 1981.

[12] www.highfrequencyelectronics.com/Archives/Mar09/HFE0309_Tutor.pdf

[13] Belgacem Nassima , *Mémoire de fin d'étude de master académique:<< Conception des antennes PIFA mono-bande et multi-bande GSM,DCS, PCS, UMTS et WIFI>> Université de Tlemcen, 2013*

[14] *Microwave GmbH Schuppisstrasse CH-9016 St. Gallen*

[15] C.A. Balanis «*Analysis Design, Third Edition*» John Wiley & Sons, Inc. page 811,2015.

[16] Hamaizia, Zahra « *Conception et simulation d'un réseau d'antennes micro-rubans circulaires pour les applications radar* » Master (2015).

[17] BOUSSAHA SOMIA « *Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires* » Master (2012), Université 8Mai 1945 – Guelma.

[18]] D. Rakesh«*Systematic evaluation of square patch antenna performance based on permittivity of the material* » *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*march 2011.