

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Systemes des Télécommunications**

**Conception et réalisation d'une antenne bi-bande pour des
Applications GPR**

Présenté par :
Khalla Nour el Houda

Sous la direction de :
KHALFALLAOUI Abderrezak

Juin 2022

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné
La santé et la volanté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche Et n'aurait pas
pu avoir le jour sans l'aide l'encadrement De Mr : **KHALFALLAOUI**

ABDERREZAK

on le remercie pour la qualité de son Encadrement exceptionnel,
pour sa patience, rigueur et sa Disponibilité et son aide pratique
et son soutien moral et Ses encouragements durant notre
préparation de ce mémoire.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos
Professeurs pour leurs générosités et grande patience dont
Ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et
Professinnels, et à tous ceux qui, de près ou de loin ont
Participé à la préparation de ce mémoire.

Khalla. Nour el Houda

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **MASSOUD**.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais Dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour Me rendre heureuse : mon adorable mère **WARDA**.

A ma chère sœur **SARA, MARWA**, qui n'a pas cessée de me conseiller, Encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mon adorable **KHALDE** et **ALI** et **ADEM** et **FARS**, qui saient toujours Comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur Donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les voisins et les amis (**SORIA, FRIAL, ROMAISSA, HOUDA**,) Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Khalla. Nour el Houda

Liste des abréviations

GPR : Ground Penetrating Radar.

UBF : Ultra Bas Fréquence.

DDR : Diagramme de rayonnement

FM CW : : Frequency Modulation Continuous Wave.

SNR : Signal to Noise Ratio.

BP : Bande Passante

Liste des figures

Chapitre 1

Figure I.1 : Principe transmission par onde électromagnétique.....	2
Figure I.2 : Schéma de principe d'un système de communication radio.....	3
Figure I.3 : différentes zones de rayonnement.....	4
Figure I.4 : Structure de base d'une antenne imprimée.....	5
Figure I.5 : Différentes formes de l'antenne patch.....	5
Figure I. 6 : Les techniques d'alimentation.....	6
Figure I.7 : Alimentation par sonde coaxiale.....	7
Figure I.8 : Alimentation par ligne micro ruban.....	7
Figure I.9 : Alimentation par couplage électromagnétique.....	8
Figure I.10 : Alimentation par guide d'onde coplanaire.....	8
Figure I.11 : Alimentation par couplage a trouvé une ouverture.....	9
Figure I.12 : Modèle de la cavité.....	9
Figure I.13 : Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne....	12
Figure I.14 : Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture.....	12
Figure I.15 : Antenne en mode émetteur.....	13
Figure I.16 : Circuit équivalent d'antenne d'émission.....	13
Figure I.17 : Polarisation du champ électromagnétique.....	15
Figure I.18 : Mesure de la bande passante à partir du tracé de coefficient de réflexion.....	16
Figure I.19 : Adaptation par quart d'onde.....	16
Figure I.20 : adaptation par stub.....	17
FigureI.21 : patch adapté par encoches de longueur.....	17
Figure I.22 : Conception d'antenne papillon.....	19

Figure I.23 : Une antenne Vivaldi.....	20
Figure I. 24 : Une antenne cornet.....	20
Chapitre 2	
Figure II.1 : Principales éléments composant le GPR.....	26
Figure II.2 : Schéma de principe d'un GPR.....	27
Figure II.3 : Schéma synoptique du radar sol.....	28
Figure II. 4 : Technique de sondage par géo radar.....	29
Figure II .5 : Scénario GPR typique.....	30
Figure II. 6 : Différents types de radar.....	31
Figure II. 7 : Principe de Radar à onde continue.....	32
Figure II .8 : Principe du radar FMCW.....	33
Figure II .9 : Principe un radar doppler.....	34
Figure II .10 : Éléments de base dans la communication radar.....	35
Figure II .11 : Les bandes de fréquence radar et leurs applications.....	36
Chapitre 3	
Figure. III .1 : l'interface du CST studio.....	41
Figure III .2 : les paramètres de l'antenne de base.....	42
Figure III. 3 : Comparaison du coefficient de réflexion de l'antenne avec les autres antennes initiales.....	43
Figure III .4 : Densité surfacique du courant.....	44
Figure III. 5 : Dimensionnement d'antenne.....	45
Figure III .6 : la machine ProtoMap.....	46
Figure III .7 : l'antenne réalisée.....	46
Figure III .8 : ZNB 20-VECTOR NETWORK ANALYSER.....	47




Figure III .9: Comparaison entre le S11 simulé et mesuré.....	47
Figure III .10: Banc de mesure de diagramme de rayonnement.....	48
Figure III .11: Diagramme de rayonnement dans le plan E.....	49
Figure III .12 : Diagramme de rayonnement dans le plan H.....	49
Figure III .13: Diagramme de rayonnement dans le plan E.....	50
Figure III .14 : Diagramme de rayonnement dans le plan H.....	51
Figure III .15 : mur de test de pénétration.....	51

Liste des tableaux

Tableau III 1 : Les étapes de conception.....	43
Tableau III.2 : les différents paramètres d'antenne.....	45
Tableau III.3 : les valeurs de puissance pour différentes distances.....	53
Tableau III.4 : les valeurs de puissance pour différentes distances.....	54

Résumé

Une nouvelle antenne patch planaire pour l'application de pénétration de sol (GPR) est présentée dans ce travail. L'antenne proposée peut fonctionner autour des deux bandes 0.5 GHz et 2 GHz. La simulation de l'antenne proposée a été réalisée à l'aide du logiciel Computer Simulation Technology (CST). Elle est imprimée sur un substrat FR-4 qui a une permittivité de 4.3, avec une taille globale de surface $9 \times 13 \times 0.15$ cm³. De plus, l'antenne proposée peut fournir de bons diagrammes de rayonnement, un gain raisonnable et une efficacité de rayonnement élevée aux fréquences centrales de ces deux bandes. Le test de pénétrabilité réalisé prouve que le modèle de l'antenne réalisée peut être un bon candidat pour une application GPR.

Abstract

A new planar patch antenna for ground penetrating (GPR) application is presented in this work. The proposed antenna can operate around the two bands 0.5 GHz and 2 GHz. The proposed antenna simulation was performed using Computer Simulation Technology (CST) software. It is printed on an FR-4 substrate which has a permittivity of 4.3, with an overall area size of $9 \times 13 \times 0.15$ cm³. In addition, the proposed antenna can provide good radiation patterns, reasonable gain and efficiency. Radiation at the center frequencies of these two bands. The realized penetrability test proves that the realized antenna model can be a good candidate for a GPR application.

المخلص

تم تقديم هوائي التصحيح المستوي الجديد لاختراق الأرض (GPR) في هذا العمل. يمكن أن يعمل الهوائي المقترح حول النطاقين 0.5 جيجاهرتز و 2 جيجاهرتز. تم إجراء محاكاة الهوائي المقترحة باستخدام برنامج تكنولوجيا محاكاة الكمبيوتر (CST). تتم طباعته على ركيزة FR-4 ذات سماحية 4.3، بمساحة إجمالية $9 \times 13 \times 0.15$ سم³. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يوفر الهوائي المقترح مخططات إشعاع جيدة وكفاءة معقولة. إشعاع في المركز ترددات هذين النطاقين. يثبت اختبار النفاذية المحقق أن نموذج الهوائي المتحقق يمكن أن يكون مرشحاً جيداً لتطبيق GPR.

Table de matière

Remerciement

Dédicace

Liste de abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale

CHAPITRE 1 : NOTIONS DE BASE DES ANTENNES

I.1 Introduction	2
I.2 Définitions de l'antenne.....	2
I.3 Le rôle d'un antenne.....	2
I.4 Les différentes zones de rayonnement	3
I.5 Antennes imprimées (micro ruban) :.....	5
I.5.1 Structure d'une antenne imprimée	5
I.5.2 Techniques d'alimentations des antennes imprimée :.....	6
I.5.2.1 Alimentation avec contact :.....	6
I.5.2.1.1. Sonde coaxiale :.....	6
I.5.2.1.2. Ligne micro ruban :.....	7
I.5.2.2 Alimentation sans contact (par proximité) :.....	7
I.5.2.2.1 Ligne microbande en sandwich :.....	7
I.5.2.2.2 Guide d'onde coplanaire :.....	8
I.5.2.2.3 Couplage par fente :.....	8
I.5.3 Les modèles des antennes Patch :.....	9

I.5.3.1	Modèle avec ouvertures :.....	9
I.5.3.2	Modèle en cavité simple :.....	9
I.5.4	Caractéristiques des antennes :.....	10
I.5.4.1	Le coefficient de réflexion S11 :.....	10
I.5.4.2	La directivité :.....	10
I.5.4.3	Le gain :.....	11
I.5.4.4	Rendement de l'antenne :.....	11
I.5.4.5	Fréquence de résonance fr :.....	11
I.5.4.6	Diagramme de rayonnement :.....	12
I.5.4.7	Angle d'ouverture :.....	12
I.5.4.8	L'impédance d'entrée :.....	12
I.5.4.9	Le VSWR : (adaptation).....	13
I.5.4.10	La polarisation :.....	14
I.5.4.11	La bande passante (BP) :.....	15
I.5.5	Adaptation :.....	16
I.5.5.1	L'adaptation par quart d'onde [I 24] :.....	16
I.5.5.2	L'adaptation par STUB :.....	16
I.5.5.3	Adaptation avec encoches :.....	17
I.5.6	Les applications des antennes Patch :.....	17
I.5.7	Avantages et inconvénients des antennes patches :.....	18
I.5.8	Les antennes utilisées dans le GPR :.....	19
I.5.8.1	Antenne papillon :.....	19
I.5.8.2	Antenne Vivaldi :.....	19
I.5.9.3	Antenne Corne :.....	20

I.6 Conclusion :.....	21
Bibliographie :.....	22
CHAPITRE 02 : PRINCIPE ET PERFORMANCES DU GEO RADAR (GPR)	
I. Introduction :.....	25
II. Présentation de GPR :.....	25
II.1. Historique :.....	25
II.2. Définition et Principes du GPR :.....	26
II.2.1. Définition :.....	26
II.2.2 Principe de fonctionnement :.....	27
II.2.3 Schéma synoptique du GPR :.....	27
II.3 Quelques applications des radars GPR :.....	28
II.4 Analyse et conception GPR :.....	29
I.4.1. Configuration GPR typique :.....	29
II.4.2 Radar Aviforme Choix :.....	30
II.4.3. Autres critères de conception d'antenne :.....	30
II.5 Classification et types des radars	31
II.5.1. Le radar primaire :.....	31
II.5.2 Le radar à onde continu (CW-radar) :.....	31
II.5.1.2 Le radar à impulsion :.....	33
II.5.2 Le radar secondaire.....	34
II.5.3 Les radar imageurs et non imageurs :.....	34
II.6. Equation Radar :.....	34
II.7 Les fréquences du radar :.....	36
II.8 Avantages du radar pénétrant au sol.....	36

II.9 CONCLUSION :	37
Bibliographie :	38
CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR	
III.1. Introduction :	40
III.2. Définition de logiciel CST :	40
III.2.1. Description générale de l'interface CST :	40
III.3. Description de l'antenne de base :	41
III.5 Les étapes de conception :	42
III.6 densité de courant surfacique :	44
III.7. Dimensionnement de l'antenne optimisée :	44
III.8 Réalisation et mesure expérimentale :	45
III.8.1 Description du matériel et réalisation :	45
III.9 Mesures expérimentales :	46
III.9.1 Mesure de coefficient de réflexion S11 :	46
III.9.2 Mesure du diagramme de rayonnement :	48
III.10 Test de la pénétration de l'antenne GPR :	51
III.11 Conclusion :	55
Bibliographie.....	56
Conclusion générale	57

Introduction générale :

L'antenne imprimée est la plus employée dans les systèmes de communication mobiles en raison de ses bonnes caractéristiques, Aussi, il est hautement souhaitable de concevoir des antennes bi-bandes pour répondre aux besoins de plusieurs normes de communication avec des performances adaptées. Par ailleurs, pour l'application GPR

Le but de ce mémoire est de concevoir une nouvelle géométrie d'antenne patch qui fonctionne dans la bande UHF à savoir aux deux fréquences 0.5 & 2 GHz pour les applications du GPR en utilisant le simulateur électromagnétique CST Microwave Studio.

Pour atteindre notre objectif, le présent travail est réparti en trois chapitres :

Le premier chapitre présente les notions de base sur les antennes. Premièrement, la fonction de l'antenne, les différentes zones de rayonnement de l'antenne, la structure de l'antenne imprimée, la technologie d'alimentation, les différents types et caractéristiques de l'antenne, l'adaptation et les l'application dès l'antenne, et enfin les antennes utilisées en GPR.

Le deuxième chapitre présente le principe général de GPR. Nous allons dans un premier temps, donner une description générale sur le principe de fonctionnement du GPR.Principales applications dans divers domaines. Analyse et conception de GPR et les types et Equation et Les fréquences de radar, et enfin les Avantages du radar.

Dans le troisième chapitre nous allons d'abord introduire le logiciel CST Microwave Studio (MWS), puis présenter les étapes de conception et de réalisation de l'antenne visée. En fin, nous discuterons les mesures expérimentales des coefficients de réflexion et du diagramme de rayonnement. Finalement un test de l'application GPR sera présenté.

CHAPITRE 1 :
NOTIONS DE BASE DE
ANTENNES

I.1 Introduction :

Les antennes servent pour communiquer sur des grandes distances. Ce sont des dispositifs qui ont pour fonction de transformer les ondes guidées en ondes se propageant dans l'espace libre et réciproquement, de capter les ondes de l'espace pour les conduire vers les circuits. En émission, l'antenne reçoit un courant et une tension, elle génère un champ électrique et un champ magnétique. En réception, l'antenne reçoit un champ électrique et un champ magnétique, elle génère une tension et un courant.

Dans ce chapitre, les notions de base sur les antennes seront présentées. Premièrement, la fonction de l'antenne, les différentes zones de rayonnement de l'antenne, la structure de l'antenne imprimée, la technologie d'alimentation, les différents types et caractéristiques de l'antenne, l'adaptation et les l'application dès l'antenne, et enfin les antennes utilisées en GPR.

I.2 Définitions de l'antenne :

Une antenne d'émission est un dispositif qui transfère l'énergie entre l'émetteur et l'espace libre où cette énergie va voyager. A l'inverse, l'antenne à la réception est le dispositif qui assure que l'onde transmise propage l'énergie dans l'espace vers l'appareil récepteur. [I.1]

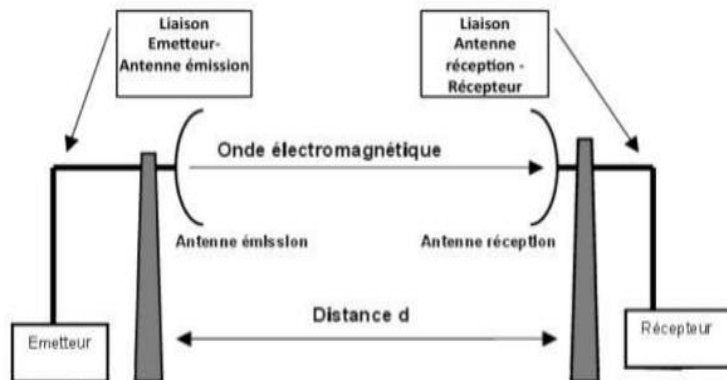


Figure I.1 : Principe transmission par onde électromagnétique

I.3 Le rôle d'une antenne :

Si l'on considère le système de communication sans fil le plus simple, Celui-ci consistera en un bloc de transmission et un bloc de réception. Les deux blocs seront Séparés par un canal de

propagation dans lequel le signal émis est émis avant d'être reçu Comme le montre la Figure.I.2 :

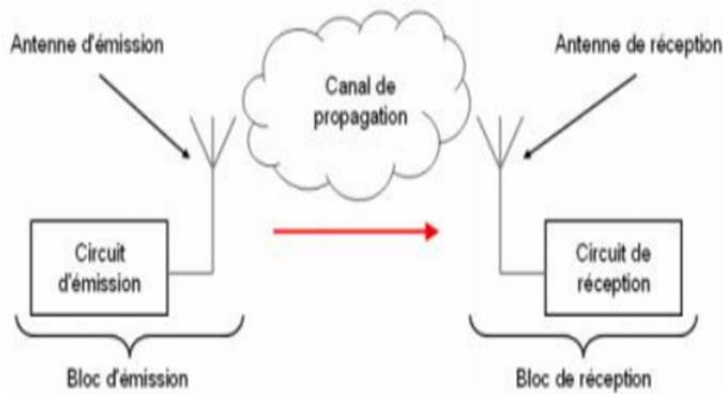


Figure I.2 : Schéma de principe d'un système de communication radio

L'antenne a plusieurs fonctions, principalement :

*Permet une bonne adaptation entre l'équipement radio et l'environnement d'exploitation.

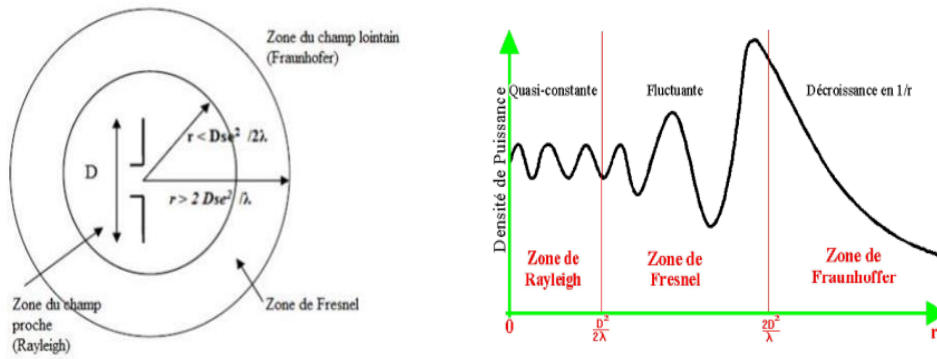
Propagé.

* Assure transmission ou la réception de l'énergie dans une direction privilégiée

*Transférer le message le plus fidèlement possible [I.2].

I.4 Les différentes zones de rayonnement :

L'espace entourant l'antenne (Figure. I. 3) est généralement subdivisé en trois régions, à savoir la région du champ proche réactif (zone de Rayleigh), la région du champ proche rayonné (zone de Fresne) et la région du champ lointain (zone de Fraunhofer). Ces régions sont ainsi désignées selon la structure des champs dans chacune d'elles. Bien qu'il n'existe aucun changement notable de configuration des champs à la limite de séparation entre ces régions (pas de discontinuités), les puissances rayonnées sont différentes. Comme la délimitation de ces régions n'est pas unique, différents critères ont été établis et très souvent utilisés pour identifier ces trois régions. [I.3]



a) Délimitation des zones de rayonnement

b) Forme de l'onde dans les trois zones de rayonnement

Figure I.3 : différentes zones de rayonnement

A). La zone de Rayleigh (zone proche) : C'est la région entourant la source rayonnante où la puissance réactive (purement imaginaire) prédomine. L'énergie électromagnétique reste confinée à l'intérieur d'un faisceau tubulaire dans lequel il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur. La densité de puissance est quasi-constante. Pour la plupart des antennes, cette région est délimitée par une sphère de rayon $r = D^2 / 2 \lambda$

D étant la plus grande dimension de l'antenne et λ la longueur d'onde.

B). La zone de Fresnel : Il s'agit de la zone intermédiaire dans laquelle la densité de puissance est fluctuante et la divergence

du faisceau devient appréciable. Elle est délimitée par l'intervalle de distance $r_1 \leq r \leq r_2$.

C). La zone de Fraunhofer (zone au champ lointain) : C'est la région, définie par une distance radiale r supérieure à r_2 . Où l'énergie électromagnétique est rayonnée dans toutes les directions de l'espace couvertes par le diagramme de rayonnement de l'antenne. La puissance rayonnée est purement réelle et indépendante de la distance radiale. Les champs ont une structure TEM par rapport à la direction radiale (onde plane) et varient en 1 densité de puissance décroît en $1 / r$: est la distance entre l'antenne et le point d'observation. Dans cette région, l'amplitude complexe associée au champ électrique s'écrit :

$$\mathbf{E}^{\wedge} \rightarrow (M) = -\mathbf{E}^{\wedge} \rightarrow (\theta, \phi) \quad I - 1$$

Et le champ magnétique se déduit :

$$H^{\rightarrow} = \frac{u^{\rightarrow} \wedge E^{\rightarrow}(M)}{\eta} \quad \text{I - 2}$$

Avec : $\eta =$ est l'impédance caractéristique du milieu

I.5 Antennes imprimées (micro-ruban) :

I.5.1 Structure d'une antenne imprimée :

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique (substrat), possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face une gravure métallique permet de supporter des courants de surface (patch) qui créent le rayonnement électromagnétique [I-3] (Figure I.4)

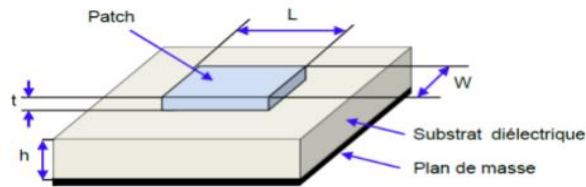


Figure I.4 : Structure de base d'une antenne imprimée

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes comme suivants (Figure I.5) :

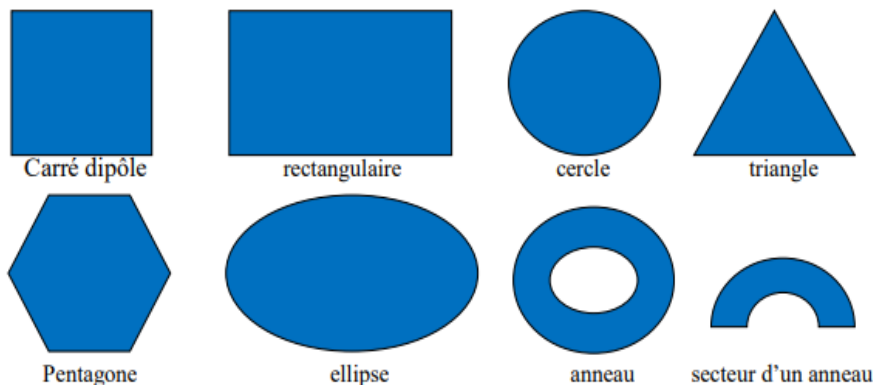


Figure I.5 : Différentes formes de l'antenne patch.

I.5.2 Techniques d'alimentations des antennes imprimée :

L'alimentation des antennes imprimée, repose essentiellement sur deux classes d'excitation :

- Excitation avec contact
- Excitation sans contact.

Dans la méthode d'excitation par contact, la puissance est délivrée au patch le rayonnement est réalisé à l'aide d'éléments de contact tels que des câbles coaxiaux et des lignes micro ruban. Dans le second type d'excitation, le couplage électromagnétique est utilisé pour transférer la puissance de la ligne micro ruban vers le patch rayonnant. Douce technologie les plus couramment utilisés sont la ligne micro ruban à sonde coaxiale, le couplage à fente [I 4 5]

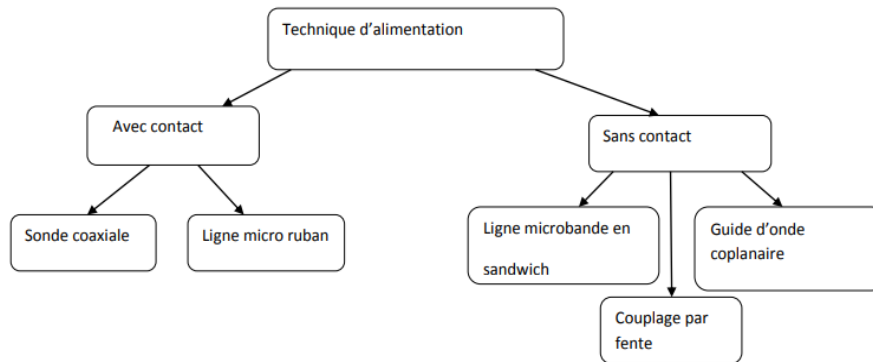


Figure I. 6 : Les techniques d'alimentation

Dans le cas de notre travail de simulation, nous avons utilisé la technique d'alimentation avec ligne micro ruban, pour sa simplicité de conception.

I.5.2.1 Alimentation avec contact :

I.5.2.1.1. Sonde coaxiale :

Le câble de sonde coaxial traverse le plan de masse et le substrat. Cette Le conducteur central est reliée à l'élément rayonnant et le conducteur extérieur est Connectez-vous au plan de

masse [I 5]. Cette alimentation est largement utilisée dans Formes rondes et annulaires.

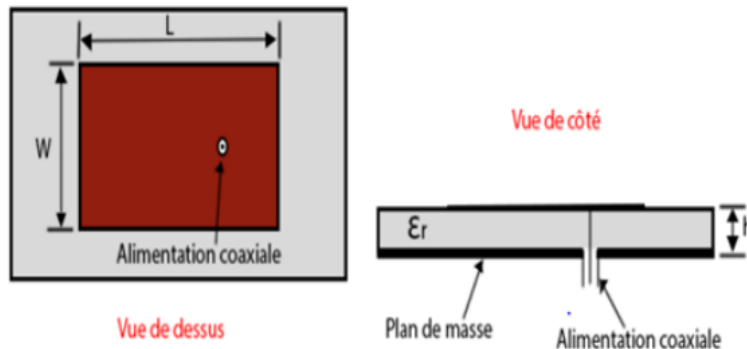


Figure I.7 : Alimentation par sonde coaxiale

I.5.2.1.2. Ligne micro ruban :

Par rapport au patch, la largeur de la ligne micro ruban est plus petite, elle est également gravée d'autocollants. Largement utilisé dans les réseaux d'antennes imprimé sous différentes formes [I 6]. L'alimentation peut être effectuée en se connectant directement à une micro strip-line, son point de connexion est sur l'axe de symétrie de l'élément ou du décalage par rapport à cet axe de symétrie, si cela permet une meilleure adaptation d'impédance. L'avance axiale avec encoches fonctionne bien [I 7], [I 8]

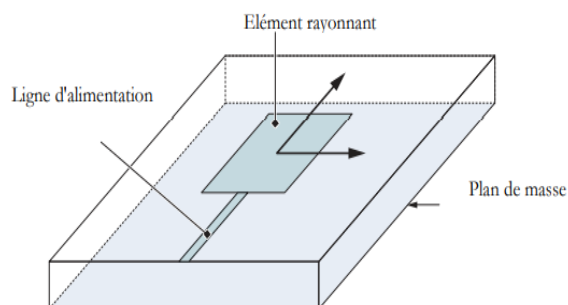


Figure I.8 : Alimentation par ligne micro ruban

I.5.2.2 Alimentation sans contact (par proximité) :

I.5.2.2.1 Ligne microbande en sandwich :

L'antenne patch peut également être alimentée par couplage électromagnétique ligne micro ruban vers élément rayonnant. Dans ce cas, le résonateur et les lignes électriques du même côté

du plan de masse. L'antenne se compose de deux substrats, avec un La ligne micro ruban sur le substrat inférieur se termine par un circuit ouvert sous le patch imprimé sur le substrat supérieur [I 5].

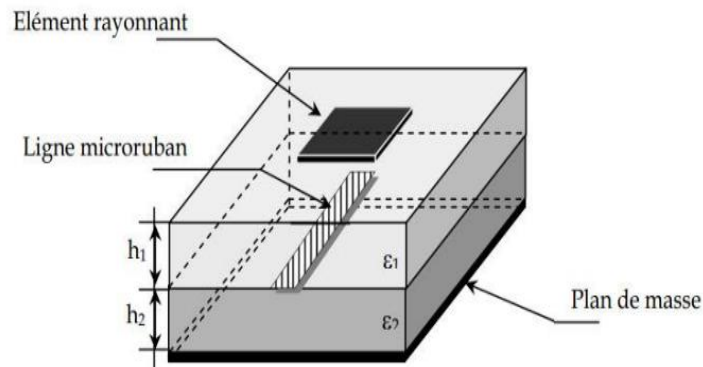


Figure I.9: Alimentation par couplage électromagnétique

I.5.2.2.2 Guide d'onde coplanaire :

L'élément rayonnant est situé sur la surface supérieure du substrat de fente radiant. Les lignes électriques et les plans de masse sont sur la même surface inférieure du substrat [I 9].

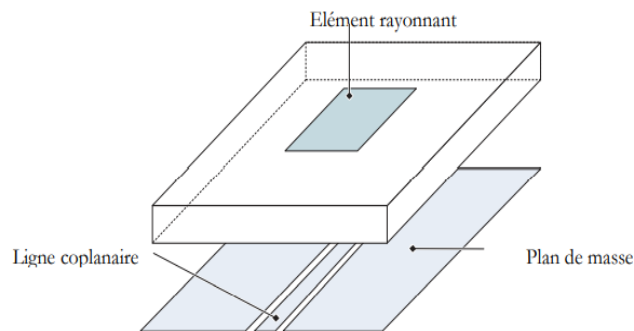


Figure I.10 : Alimentation par guide d'onde coplanaire

I.5.2.2.3 Couplage par fente :

Une ligne est placée au-dessus du plan de masse avec une encoche fentes sous le patch afin de transférer l'énergie de la ligne vers l'antenne [I 10].

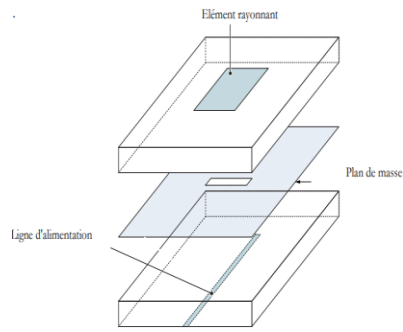


Figure I.11 : Alimentation par couplage a troué une ouverture

I.5.3 Les modèles des antennes Patch :

I.5.3.1 Modèle avec ouvertures :

Il existe trois types différents de discontinuités (air diélectrique, conducteur et plan de masse) permet le développement de plusieurs modèles dans l'antenne micro ruban des méthodes analytiques plus ou moins rigoureuses basées sur des calculs numériques. Parmi ces modèles, il existe des modèles avec des ouvertures. En effet J.R. James et C.J. Wilson [I 11], il a été montré que le calcul par la méthode d'ouverture peut être utilisé pour approximer Diagramme de rayonnement d'un résonateur (ligne micro ruban ouverte).

I.5.3.2 Modèle en cavité simple :

Une antenne imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux parois Électrique à $z=0$, plan de masse et $z = h$, sur conducteurs métalliques, et traversant paroi magnétique verticale. Entrez une longueur et une largeur valides Considérez le débordement de champ au bord de l'antenne. Pour l'excitation, On modélise le courant J parallèlement à l'axe oz (Figure I.12) et on distribue Uniformément [I 12].

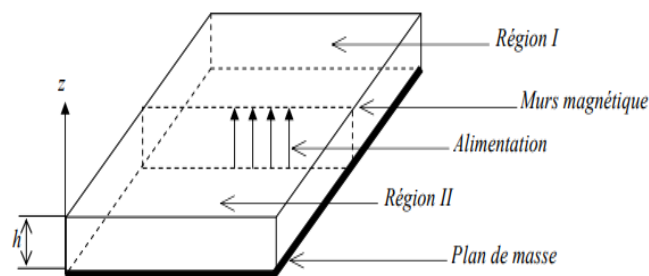


Figure I.12 : Modèle de la cavité.

I.5.4 Caractéristiques des antennes :

Quel que soit le type d'antenne et son mode de fonctionnement, les principales caractéristiques des antennes qui peuvent définir leurs performances sont généralement : la bande de fréquence, l'adaptation(S11), Bande passante de fréquence, diagramme de rayonnement, efficacité, directivité et gain [I 13]

I.5.4.1 Le coefficient de réflexion S11 :

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui indique la quantité d'énergie perdu à la charge et qui n'est pas réfléchi. Les ondes réfléchies provoquent la formation d'ondes stationnaires, lorsque l'impédance de l'émetteur et de l'antenne ne sont pas égaux. Par conséquent, le coefficient de réflexion est un paramètre semblable au VSWR pour indiquer la correspondance entre l'émetteur et l'antenne, Le coefficient de réflexion est donné par :

[I 14]

$$S_{11} = \Gamma \quad \text{I - 3}$$

$$\Gamma = \frac{v_r}{v_i} = \frac{z_{in} - z_c}{z_{in} + z_c} \quad \text{I - 4}$$

V_r : l'amplitude d'onde réfléchi.

V_i : l'amplitude d'onde incidente.

Z_c : L'impédance caractéristique.

Z_{in} : L'impédance d'entrée de l'antenne

Avec : $Z_c = 50\text{ohm}$

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) se définit comme suit : [I 14]

$$|S_{11}| = 10\log(S_{11}) \quad \text{I - 5}$$

I.5.4.2 La directivité :

La directivité de l'antenne est le rapport de puissance $P = P(\theta, \varphi)$ Connaissance ci-dessus dans La puissance que la source isotrope rayonnera par unité d'angle solide, à condition que La somme de puissance rayonnantes est la même [I 15].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_{tot}}{4\pi}} \quad \text{I - 6}$$

$$P_{tot} = \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad \text{I - 7}$$

Dans la direction de rayonnement maximale (θ_0, ϕ_0) , On note la directivité :

$$D(\theta_0, \phi_0) = D = 4\pi \cdot \frac{P(\theta_0, \phi_0)}{P_{tot}} \quad \text{I - 8}$$

I.5.4.3 Le gain :

Gain d'antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport de la puissance, Connu ci-dessus à la puissance que la source isotrope rayonnera par unité d'angle solide, à condition Que les puissances l'alimentation est la même [I 15]

$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_a}{4\pi}} \quad \text{I - 9}$$

Nous voyons qu'en valeur naturelle, la relation entre gain et directivité est :

$$G = \eta D \quad \text{I-10}$$

I.5.4.4 Rendement de l'antenne :

Le rendement η d'une antenne convertit sa capacité à transmettre de l'énergie électrique en entrée P_a Amplificateur comme puissance rayonnée P_r Il est défini comme le rapport entre La puissance totale rayonnée par l'antenne et la puissance qui lui est délivrée. Lié aux performances Pertes dans les réseaux de polarisation et les éléments rayonnants. [I 16]

$$P_r = \eta \cdot P_a \Rightarrow G = \eta \cdot D \quad \text{I - 11}$$

I.5.4.5 Fréquence de résonance f_r :

C'est la fréquence à laquelle l'antenne présente le plus petit coefficient d'amplitude réflexion. Elle est donnée par la relation suivante : [I 17 13]

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r} l + 2\Delta l} \quad \text{I - 12}$$

Elle est en fonction de permittivité et les dimensions de l'antenne patch

I.5.4.6 Diagramme de rayonnement :

C'est un graphique représentant l'évolution de la puissance rayonnée par unité de l'antenne Angles solides dans différentes directions de l'espace [I 18].

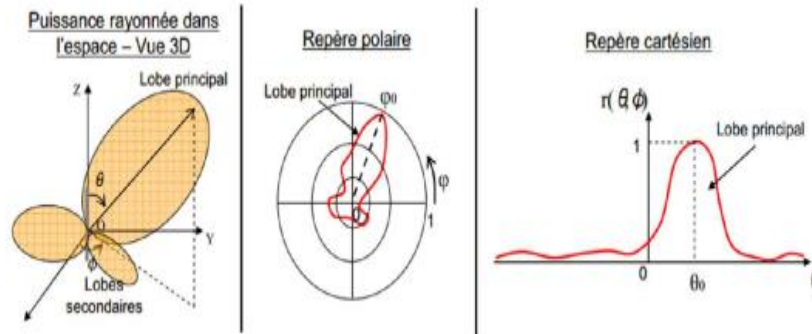


Figure I.13: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.

I.5.4.7 Angle d'ouverture :

L'angle d'ouverture caractérise la largeur du lobe principal. Angle d'ouverture à 3 dB $2\theta_3$ représente la partie de l'espace qui rayonne le plus de puissance, Il est situé entre les deux directions du lobe principal et la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée (-3dB) dans la direction la plus appropriée. [I 19]. Voir Figure I.14

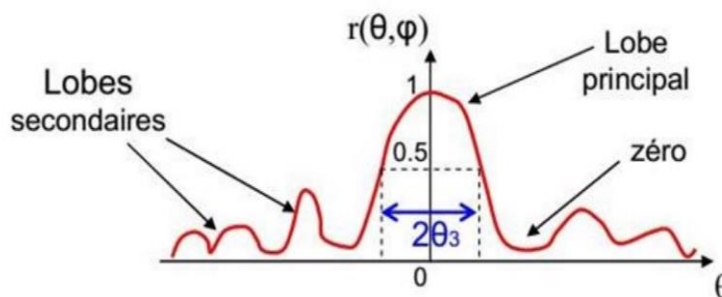


Figure I.14 : Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture

I.5.4.8 L'impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne. Elle est égale au rapport de la tension [I 20]

Cette impédance est donnée par la formule :

$$Z_{in} = \frac{V_e}{I_e} = R_a + jX_a \quad \text{I - 13}$$

Z_{in} = impédance d'entrée aux bornes a et b.

R_a = résistance de l'antenne aux bornes a et b.

X_a = réactance de l'antenne aux bornes a et b

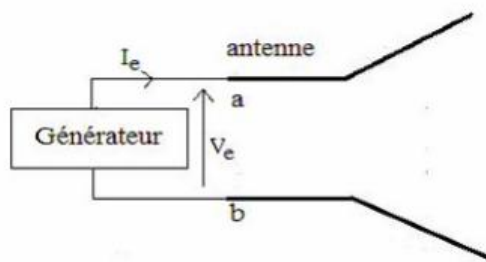


Figure I.15 : Antenne en mode émetteur

I.5.4.9 Le VSWR : (adaptation)

Pour que l'antenne fonctionne efficacement, le transfert de puissance maximal doit être entre l'émetteur et l'antenne. Ce transfert ne se produit que s'il y a une adaptation entre l'impédance de l'antenne Z_{in} et l'impédance de l'émetteur Z_s . D'après le théorème de transfert puissance maximale, celle-ci ne peut être utilisée que lorsque l'impédance de l'émetteur est le conjugué complexe de l'impédance d'antenne et vice versa.

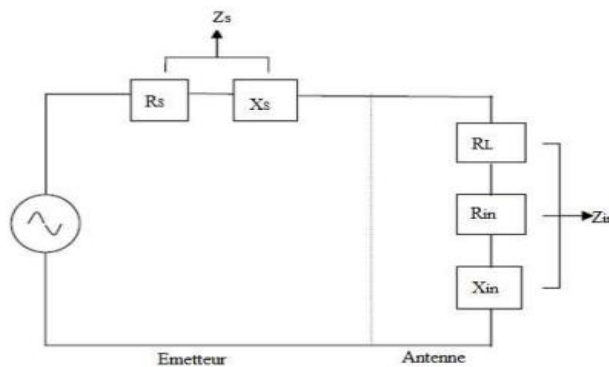


Figure I.16 : Circuit équivalent d'antenne d'émission.

Ainsi, la condition pour la correspondance est la suivante :

$$\text{Où ;} \quad Z_{in} = Z_s^* \quad I - 14$$

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad I - 15$$

$$Z_s = R_s + jX_s \quad I - 16$$

Si cette condition n'est pas satisfaite, et une partie de la puissance est réfléchiée, cela conduit à la création d'ondes stationnaires, qui peut être caractérisé par un paramètre appelé le rapport d'ondes stationnaires de tension (Voltage Standing Waves Ratio : VSWR). Le VSWR est donné par Makarov [I 21] par :

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad I - 17$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \quad I - 18$$

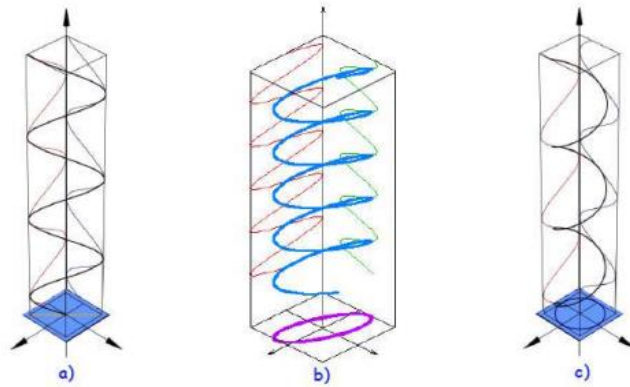
Où ; Γ : est appelé le coefficient de réflexion.

V_r : est l'amplitude d'onde réfléchiée.

V_i : est l'amplitude d'onde incidente

I.5.4.10 La polarisation :

La polarisation d'une antenne est donnée par la direction du champ électrique \vec{E} . Si \vec{E} garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne. C'est le cas de la majorité des antennes à éléments rayonnants linéaires. Notamment les antennes à dipôles rayonnants et qui sont utilisées en ondes métriques et décimétriques. Il existe, cependant, des antennes qui rayonnent un champ électrique dont la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de E , l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné à polarisation circulaire ou elliptique. C'est le cas notamment des antennes utilisées en radar et en Télécommunications spatiales [I 22].



a) polarisation linéaire. b) polarisation elliptique. c) polarisation circulaire.

Figure I.17 : Polarisation du champ électromagnétique.

I.5.4.11 La bande passante (BP) :

La bande passante de l'antenne, également appelée bande passante, définit la gamme de fréquence rayonnée par l'antenne caractéristiques requises. Elle peut être considérée comme une gamme de fréquences de part et d'autre de la fréquence centrale et/ou des caractéristiques d'antenne (impédance d'entrée, diagramme de rayonnement, angle d'ouverture, polarisation, niveau Le gain du lobe secondaire, la direction du faisceau) est acceptable par rapport au résultat obtenu avec la fréquence centrale (fréquence de référence). Les limites de la norme de fonctionnement de l'antenne définissent un la plage de fréquence est comprise entre la valeur minimale f_{min} et la valeur maximale f_{max} . Cette bande passante [I 22 23] est donnée par :

$$BP_{tB} = \frac{f_{max}}{f_{min}} \quad \text{I - 19}$$

$$BP_{BE}(\%) = \left[\frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \right] \cdot 100 \quad \text{I - 20}$$

Où :

f_{max} : la fréquence maximale.

f_{min} : la fréquence minimale.

f_c : la fréquence centrale.

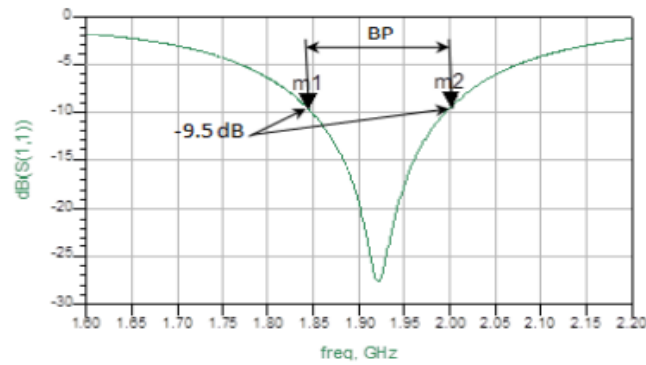


Figure I.18 : Mesure de la bande passante à partir du tracé de coefficient de réflexion.

I.5.5 Adaptation :

I.5.5.1 L'adaptation par quart d'onde [I 24] :

Dans la construction de circuits hyperfréquences, on recherche souvent l'adaptation, c'est à

Dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) de celle obtenue en fin de circuit

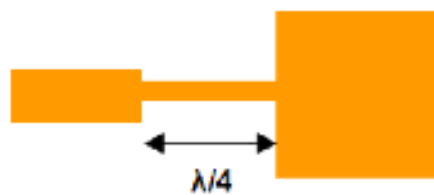


Figure I.19 : Adaptation par quart d'onde

I.5.5.2 L'adaptation par STUB :

Une autre façon de procéder pour arriver à l'adaptation d'une charge quelconque consiste à utiliser un stub

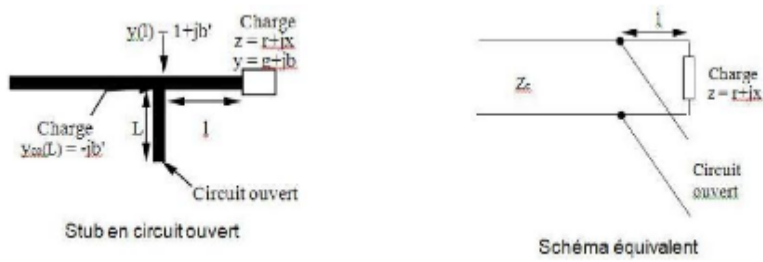


Figure I.20 : adaptation par stub

I.5.5.3 Adaptation avec encoches :

Pour adapter l'antenne, on utilise des encoches, il suffit de modifier la géométrie du patch Les dimensions des encoches.

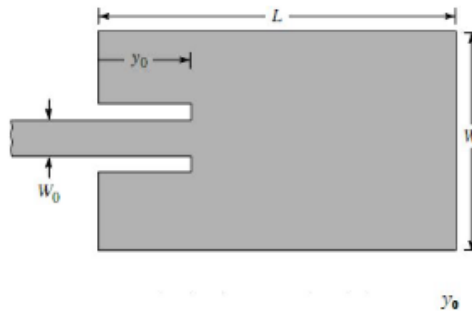


Figure I.21 : patch adapté par encoches de longueur

I.5.6 Les applications des antennes Patch :

Les antennes patch hautes performances remplacent les antennes traditionnelles L'équivalence est une préoccupation majeure des concepteurs de systèmes télécoms, Prise en compte des besoins et exigences du marché industriel. [I 25]. Il existe différentes applications d'antenne : [I 26]

- Communications par satellite.
- Commandement et contrôle.
- Télémétrie (télémétrie) via des missiles.

- Matériel portatif.
- Éléments d'alimentation dans des antennes complexes.
- Antenne émettrice à usage médical.
- Récepteur satellite de navigation

I.5.7 Avantages et inconvénients des antennes patches :

Compte tenu de la structure plane des antennes imprimées, nous bénéficions donc de tous les avantages de la technologie des circuits imprimés. Comparées aux antennes conventionnelles, les avantages qu'on peut leur attribuer sont nombreux. Néanmoins, on se contentera de citer les plus attrayants d'entre eux [I 27 28 29] :

- Faible poids
- Faible encombrement
- Faible épaisseur
- Simplicité de réalisation et reproduction
- Fort rendement d'ouverture
- Polarisation variable simplement avec la position d'alimentation
- Possibilité d'association à des éléments actifs ou passifs tels que : Amplificateurs, modulateurs, déphaseurs, etc. . .
- Possibilité de les conformer sur des surfaces non planes. Ce type d'antenne a ses propres inconvénients : Toutefois, comme rien n'est jamais parfait,
- Bande passante est étroite
- Gain faible dû aux pertes
- Rendement faible (concentration des champs sur les parois métalliques)
- Effet de couplage parasite entre les éléments
- Pureté de polarisation difficile à obtenir
- Puissance supportée limitée

– Rayonnement parasite de l'alimentation

I.5.8 Les antennes utilisées dans le GPR :

I.5.8.1 Antenne papillon :

Une antenne UWB nœud papillon est largement utilisée dans la conception des applications GPR, car elle a la capacité de réduire la susceptibilité au sol pendant les opérations GPR [I.30].

La figure I 22 montre une conception d'antenne en nœud papillon simple qui se compose de deux fusées éclairantes connectées à une alimentation commune.

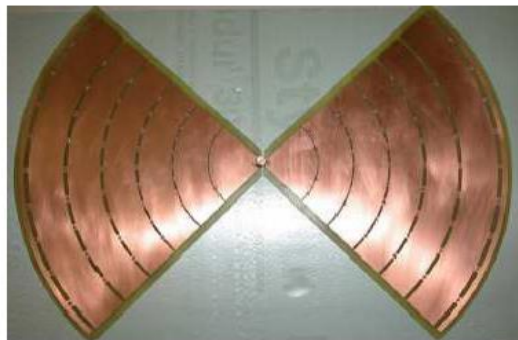


Figure I.22 : Conception d'antenne papillon.

I.5.8.2 Antenne Vivaldi :

Les antennes fente à transition progressive (TSA Tapered Slot Antenna) constituent une autre catégorie importante d'antennes ultra large bande directives. Ce sont des antennes à deux dimensions présentant une transition à partir d'une ligne ou d'un guide d'onde imprimé. Elles ont été imaginées en 1974 par Lewis et Gibson. Elles sont généralement constituées par une ligne de fente s'élargissant suivant un profil donné jusqu'à la discontinuité finale. Le profil de ces ouvertures peut prendre différentes formes soit linéaire soit exponentielle les applications de ces antennes sont variées : de l'application radar à l'imagerie micro-onde [I.31]



Figure I.23 : Une antenne Vivaldi.

I.5.9.3 Antenne Corne :

Les cornets constituent une première catégorie d'antennes ultra large bande directives. Ces antennes sont couramment utilisées pour des mesures de diagramme de rayonnement ou encore dans le cadre d'applications GPR (Ground penetrating Radar) Ces antennes sont Constituées guides d'onde rectangulaires ou circulaires intrinsèquement large bande) et d'une transition (adaptateur d'impédance). La figure I.24 montre un exemple d'une antenne cornet.

Ce type d'antenne peut avoir un gain important, qui augmente avec la fréquence Sur plusieurs octaves. Les cornets ont un centre de phase qui ne varie pas avec la fréquence. Les sons à tort encombrement et leur cout de fabrication est relativement élevé [I 31].



(a) Antennes cornets cylindriques



(b) Antenne cornet rectangulaire

Figure I .24 : Une antenne cornet.

I.6 Conclusion :

Dans tous les systèmes effectuant l'emploi de propagation dans l'air, il est indispensable de disposer d'antennes permettant la transition entre une onde guidée et une onde rayonnée. Les antennes sont des éléments réciproques qui rayonnent et reçoivent de la puissance radiofréquence ou la puissance micro-onde.

Bibliographie :

- [I 1] SARA MANSAR. MADIHA ALAOUI.TAHAR EL BAHRI. Rapport antennes patch. École nationale de science appliquée de kharroub. Université el Hasan Aoul. 2 -ème année cycle ingénieur 2014.
- [I 2] Performance Analysais of A Dual-band Micros trip Patch Antennal for Mobile WiMax, WLAN, Wi-Fi and Bluetooth Applications, 3rd international conférence on informatiques, électroniques & vision 2014.3
- [I 3] Rabia aksaks. Décembre 2013. Antenne théorie et application. Ellipses.
- [I 4] D. Kerrouche, Modélisation des antennes microbandes par une analyse tridimensionnelle rigoureuse en utilisant une méthode intégrale, Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 06/ 2009.
- [I 5] D. Aissaoui, Analyse à l'aide de modèles équivalents d'antennes imprimées Alimentées par ligne adaptées, Mémoire de Magister, Université de Abou Baker Belkadi Tlemcen, 03/20074.
- [6] M. Tataouine, Analyse des antennes micro rubans de forme arbitraire par la Méthode des moments et le modèle généralisé de la cavité, Thèse de Doctorat, Université de Sétif, 09/ 2007.
- [I 7] B. Zaouïa, Modélisation d'une antenne micro ruban compacte, Master académique, Université Echahid Hamma Lakhdar El oued,06/2015.
- [I 8] L. I. Basilio, M. A. Khayat, J. Williams, S. A. Long, The dépendance of the input impédance on Fed position of probe and micros trip line Fed patch antennes, IEEE trans Antenna propageant, vol. 49, pp. 45-47, 01/ 2001.
- [I 9] Mohamed Mansouri et El haitheme Zerrouk, Conception et simulation d'une antenne Patch ultra large bande [1-8 GHz], Mémoire Master en aéronautique. L'institut d'aéronautique et des études spatiales.
- [I 10] O. Picon, Coll, Les Antennes, théorie, conception et applications, Dunod, Paris, 978-2-10-051989-7, 2009.
- [I 11] C. A. Balanis, Antenna theory, analysis and design, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005.

[I 12] J. R. James et C. J. Wilson, “Microstrip antennas and arrays, Pt.1, Fundamental action and limitations, *Micro Waves, optics and acoustics*, vol.1, n°5, pp. 165-174, Septembre 1977.

[I 13] Barkat. Warda, Thèse de Doctorat, Université M’entourai Constantin, 2009

[I 14] Amina. Larouche et Soundous Rania. Maamri Conception et simulation d’une antenne imprimée Planaire avec une bande rejetée mémoire de master académique, Université Kasdi Merbah Ouargla 24/06/2018.

[I 15] Chouhbane Maroua. Etude et conception d’une Antenne Reconfigurable en Fréquence Et En Diagramme De Rayonnement. Université 8 Mai 1945 Guelma. Faculté des sciences et de la Technologie. Juillet 2021.

[I 16] Alexandre Boyer, institut national des sciences appliquée de Toulouse, support de cours, Octobre 2011

[I 17] Boussaha.Somian, Contribution à l’étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communication. Mémoire de Magister, Université 8Mai 1945 – Guelma, 2012.

[I 18] M. Ameziane Djamel, Etude et Optimisation d’Antennes Fractales Plaquées , Mémoire de Magister de Télécommunications de l’université TLEMCEN, mai 2009

[I 19] Makarov, S.N, “Antenna and EM Modeling with MATLAB, John Wiley & Sons, Inc., 2002.

[I 20] P. F. Combes, « Circuits Passifs, Propagation, Antennes, Micro-ondes Tome 2, Dunod, 1997

[I 22] M. Gujral, J.L.W. Li, T. Yuan, and C. W. Qiu, Bandwidth improvement of Microstrip antenna array using dummy ebg pattern on feedline, National Université of Singapore, Progress In Electromagnétiques Resarci, Vol. 127, pp79-92, 2012.

[I 23] Md. Marum Ahmed, Ki shore Bhowmik, Md. S’acidula, Md. Shihabul Islam, Md. Abdur Rahman, Rectangulaire Microstrip Patch Antenna at 2GHZ on Diffère Diélectrique Constant for Pervasive Wireless Communication, International Journal of Electric al and Computer Engineering (IJECE), Vol.2, No.3, pp. 417 - 424, June 2012.

- [I 24] Fouad Bouamrane. Conception d'une antenne Patch Microstrip. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Master télécoms hyperfréquence 2011.
- [I 25] Te bâche. Sofiane Mémoire de Magister En Génie électrique, Université Mohamed Khider – Biskra, 2013
- [I 26] Ablah Behloul, Contribution à l'étude des antennes microstrip Supraconducteur de forme triangulaire Mémoire de Magister, Université M'entourai Constantine, 2010
- [I 27] P. Troughton, High Q factor résonateurs in microstrip", Electronics Letters, vol. 4, pp. 520-522, 1968.
- [I 28] A. K. Bhattacharyya, R. Garg, Input Impédance of Annular Ring Microstrip Antenna Using Circuit Theory Approach, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-33, 369-374, 1983.
- [I 29] Y. Coulibaly, "Etude et réalisation d'antenne hybride à base de résonateur électrique pour les systèmes de communications sans fils", thèse de doctorat. INRS, 2009.
- [I 30] M. Souici. Laid. M. Nesri Bilal. Conception et simulation d'une antenne large bande. Université de Hamma Lakhdar El Oued. Juin 2018

CHAPITRE 02 : PRINCIPE ET PERFORMANCES DU GEO RADAR (GPR)

I. Introduction :

Le géo radar (GPR pour Ground Penetrating Radar) est une technique d'exploration géophysique non destructive basée sur l'analyse des phénomènes de propagation (réfraction, et diffraction) des ondes électromagnétiques à haute fréquence dans le sol. Le Ground Penetrating Radar était à l'origine pulsé et était basé sur l'excitation du sol souterrain par une antenne émettrice à travers une série d'impulsions de courte durée afin d'utiliser l'antenne réceptrice pour détecter les échos continus liés au contraste des ondes électromagnétiques rencontrées lors de leur propagation. Ces contrastes témoignent de la présence de cibles enfouies ou d'un délaminage du sous-sol. En raison des limitations instrumentales qui lui sont associées, l'utilisation du radar géologique fréquentiel a été beaucoup plus tardive, et il fait l'objet de nombreux travaux de recherche en cours.

Dans ce chapitre, On va présenter le principe général de GPR. Nous allons premier temps, donner une description générale sur le principe de fonctionnement du GPR. Principales applications dans divers domaines. Analyse et conception de GPR et les types et Equation et Les fréquences de radar, et enfin les Avantages du radar.

II. Présentation de GPR :

II.1. Historique :

Depuis le début du XXème siècle, Les scientifiques se sont intéressés à la détection d'objets enfouis dans le sol par des méthodes non destructives. En effet, L'idée de voir clairement la composition d'un sol et les objets qui pourraient y être enfouis par une méthode simple, a motivé de nombreux chercheurs à étudier différentes méthodes d'exploration du sous-sol.

Ainsi, en 1910, les allemands Leimbach et Löwy sont les premiers à décrire une méthode électromagnétique capable de localiser des cibles enterrées. Cette technique consiste enterrer des antennes dipolaires à proximité de puits de forage et de comparer l'amplitude des signaux reçus lorsqu'une antenne est utilisée en émission et l'autre [II 1]

Ainsi, une image approximative de n'importe quelle partie de ce site peut être formée : les puits ayant une plus forte conductivité que le milieu environnant, ils absorbent préférentiellement les radiations. Les auteurs ont également décrit une méthode permettant de détecter une réflexion du signal due à une interface du sous-sol (comme de l'eau souterraine ou une couche de minerai) à l'aide d'antennes posées en surface. Une extension de cette technique

a permis d'avoir une indication de la profondeur d'une interface du sous-sol. Les principales caractéristiques de leurs travaux (c'est-à-dire un fonctionnement avec une onde continue, l'utilisation des diffractions dues aux propriétés du sous-sol et l'utilisation des variations de conductivité pour engendrer de la dispersion) sont présentes dans bon nombre de dépôts de brevet

II.2. Définition et Principes du GPR :

II.2. Définition :

Le radar à pénétration de sol se compose de deux antennes, Dont l'une est utilisée pour transmettre les ondes électromagnétiques, Un autre reçoit ces mêmes ondes. Les deux antennes sont connectées à une console, qui elle-même se connecte au portable et peut visualiser les données console d'acquisition ou de configuration [II 2]. Chaque paire d'antennes fonctionne sur une bande de fréquence définie, caractérisée par sa fréquence centrale. En général, le radar géographique se compose des éléments suivants [II 3] :

- Une unité de contrôle et de stockage des données (micro-ordinateur).
- Une unité de contrôle responsable de la synchronisation et servant d'interface entre les différents appareils élément.
- Électronique de transmission, Chargée de générer le courant appliqué à l'antenne d'émission.
- Réception de l'électronique qui amplifie et numérise le signal mesuré par l'antenne de réception.
- Antenne émettrice.
- Antenne de réception.

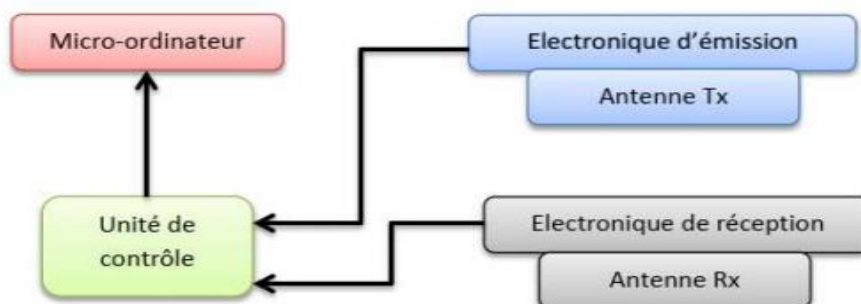


Figure II.1 : Principales éléments composant le GPR

II.2.2 Principe de fonctionnement :

Divers radars GPR existants sont basés sur le même principe de fonctionnement. Figure II.2 schéma fonctionnel représentant le GPR. Les contacts de l'antenne d'émission de l'appareil avec le sol, Il émet de brèves impulsions en direction du sol. Ondes électromagnétiques générées étalé dans le milieu. Si un obstacle est rencontré, L'onde réfléchié revient à la surface de l'obstacle mis à la terre et détecté par l'antenne de réception. Cette onde récupérée constitue une trace du sous-sol en un point précis et à un instant donné. L'utilisateur déplace le radar, déplace à nouveau le radar générer des impulsions. Il peut obtenir une nouvelle trajectoire à ce nouveau point de mesure.

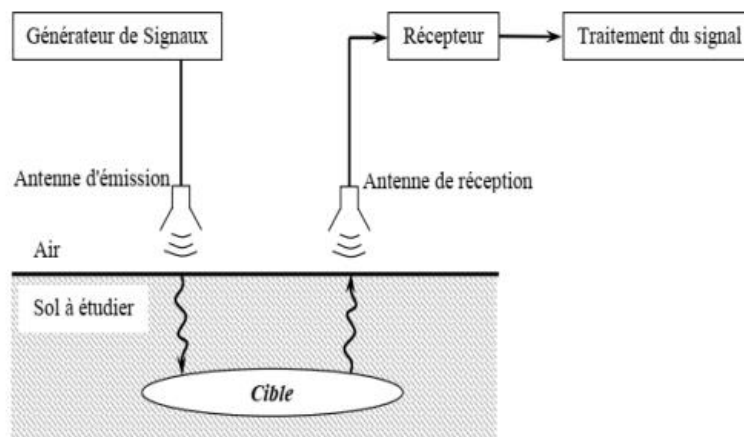


Figure II.2 : Schéma de principe d'un GPR.

II.2.3 Schéma synoptique du GPR :

L'électronique du radar sol peut être décomposée en trois parties principales :

L'émission, la réception et les antennes. La figure (II.3) représente un schéma synoptique du Radar sol.

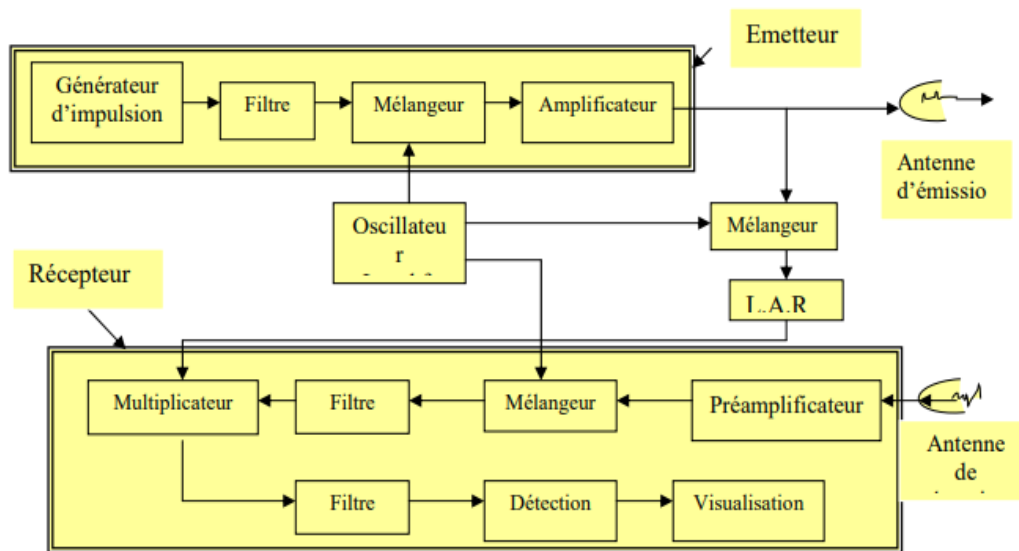


Figure II.3 : Schéma synoptique du radar sol.

- L'émetteur comprend : générateur d'impulsions, filtre, mélangeur et amplificateur.
- Le récepteur comprend : un préamplificateur, un mélangeur, deux filtres, un multiplicateur, un détecteur d'enveloppe et un système d'affichage.
- Lors de l'émission, le générateur d'impulsions produit un signal de durée T_i et de fréquence de répétition F_r . Après filtrage, le signal est converti à la fréquence d'émission f_0 à partir de l'oscillateur local. Il est ensuite amplifié et envoyé via l'antenne d'émission.
- A la réception, le signal de l'antenne de réception est soustrait du signal de l'oscillateur local dans un mélangeur. Après pré-amplification, le signal est filtré pour supprimer la fréquence image. Ce signal est ensuite multiplié par le signal de référence. Le filtre passe-bande assure la fonction d'autocorrélation du signal transmis. Puis entrez dans le détecteur [II 4].

II.3 Quelques applications des radars GPR :

Les systèmes GPR permettent d'obtenir des images très précises et détaillées du sous-sol sondé (Figure II. 4). En fait, dans l'analyse de sous-sols par méthodes de sondage non destructif, ces systèmes ont pris une place importante ces dernières années en vue d'applications dans des domaines aussi variés que le génie civil ou le spatial. Dans le premier cas il s'agit de détecter des objets enfouis. Dans le second cas, des radars à destination de Mars posés sur la planète, ils doivent établir les preuves de la présence ou non d'eau sous forme liquide dans le sous-sol

martien. En effet, des projets de sondages du sous-sol de la planète Mars avec un radar GPR ont vu le jour à travers les missions Mars 98, Net ländler puis maintenant Aurora (mission Exo mars).

- Les GPR sont utilisés actuellement dans des secteurs toujours plus variés. Dans le secteur de la construction, les GPR permettent d'établir en quelques minutes le profil souterrain où par exemple des conduites d'eau ou de gaz, des lignes électriques ou tout autre objet enfoui peuvent être clairement identifiés et localisés. Dans le secteur de l'entretien des routes, ils permettent de contrôler l'état de la chaussée. Les GPR sont également utilisés dans la construction des tunnels où il s'agit d'identifier la nature des roches à percer et d'éviter des accidents majeurs[II 5 6].



Figure II .4. Technique de sondage par géo radar

II.4 Analyse et conception GPR :

I.4.1. Configuration GPR typique :

La figure I.I 5 montre, en deux dimensions, un scénario typique : les systèmes GPR s'intéressent généralement aux cibles à très courte distance de l'antenne (par exemple, une mine enterrée à 10 cm de profondeur), et pour cette raison utilisent généralement des antennes d'émission et de réception séparées afin d'éviter la commutation RF très rapide qui serait nécessaire lors de l'utilisation d'une seule antenne. Ce type de système radar est communément appelé "bi statique" - bien qu'en pratique les deux antennes soient susceptibles d'être en mouvement (généralement le même mouvement) et, en fait, il est parfaitement possible de considérer plus d'une paire d'éléments d'émission/réception [II 7].

Les antennes d'émission et de réception sont généralement dans l'air, et le sol est donc un diélectrique plus élevé moyen, de sorte que les diagrammes de rayonnement en espace libre sont rétrécis par réfraction à la surface, comme indiqué. RF l'énergie rayonnée par l'antenne d'émission sera réfléchi par toute discontinuité de l'impédance d'onde du sol vers l'antenne de réception, à condition que les diagrammes des deux antennes se chevauchent en ce point. Cela permet de former une image.

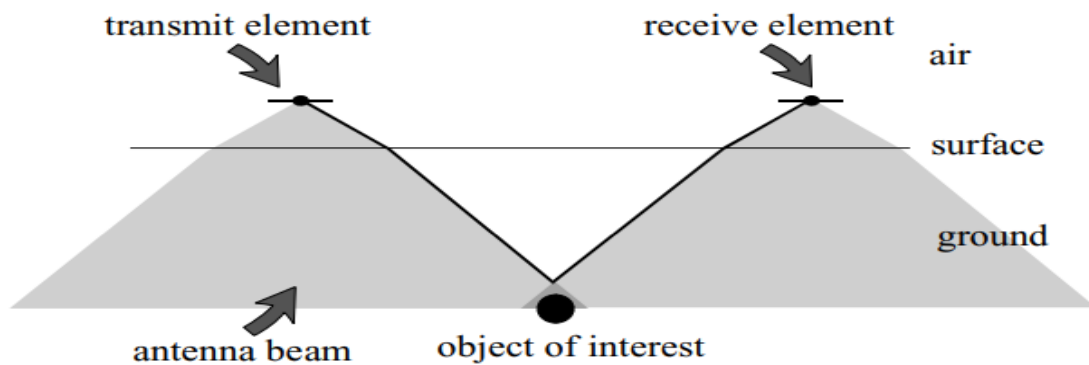


Figure II. 5 : Scénario GPR typique

II.4.2 Radar Aviforme Choix :

Comme pour un système de communication, la bande passante disponible (limitée ici par l'atténuation croissante avec fréquence dans le milieu avec perte) peut être utilisée de plusieurs façons. D'une manière générale, le transmis La forme d'onde à large bande dans un système GPR sera soit une fréquence balayée / échelonnée, soit une impulsion. Autre des techniques de génération de formes d'onde à large bande, telles que des séquences M, sont bien sûr également possibles, mais pas aussi courant dans GPR [II 8].

II.4.3. Autres critères de conception d'antenne :

Comme on peut le voir dans les sections précédentes, la préoccupation primordiale du concepteur d'antenne GPR est de fonctionner, Sur la bande passante le plus large possible permise par l'atténuation dans le milieu. Comme dans les systèmes UWB, la bande passante opérationnelle doit être définie non seulement en termes de correspondance d'entrée, mais également en termes de modèle Performance, car il ne sera d'aucune utilité si l'impédance de l'antenne est adaptée sur la bande requise, mais rayonne vers l'arrière, ou avec des valeurs nulles significatives dans le motif [II 9].

Si la fréquence opérationnelle la plus basse est f_{min} et la plus haute f_{max} , la bande passante peut être définie comme suit :

-Bande passante fractionnaire

$$\frac{f_{max} - f_{min}}{(f_{max} + f_{min})} \quad \text{II}_1$$

II.5 Classification et types des radars :

La forme du signal émis par l'appareil dépend de l'objectif et du type de radar objet recherché. Chaque type de signal a ses avantages et ses inconvénients. Il s'agit donc de créer un compromis entre performance, encombrement, facilité d'utilisation Objectif, modularité, coût... Modes d'émission les plus courants Oui : Mode d'impulsion (également connu sous le nom de modulation d'amplitude AMCW) MF saut de fréquence

Il existe différents types de radar, ces variétés des types sont présentées sur la figure II.6

Suivante :

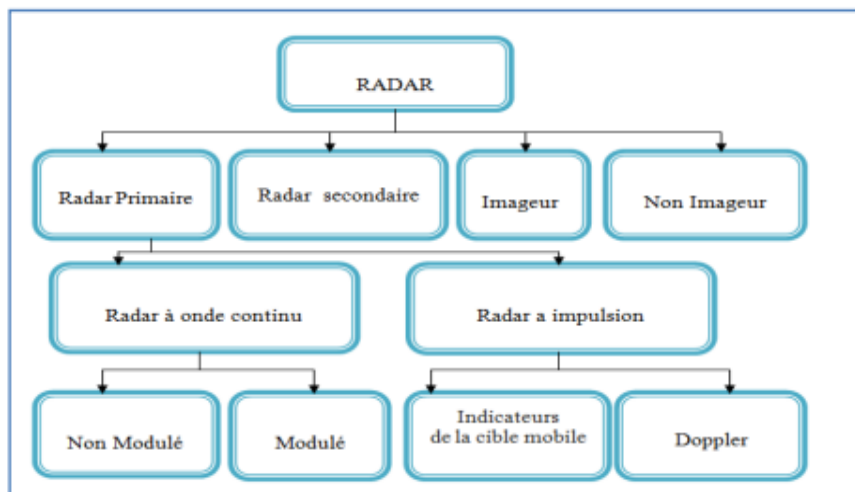


Figure II .6 : Différents types de radar.

II.5.1. Le radar primaire :

Le radar primaire utilise le principe d'émission d'une énergie électromagnétique [II 10] et détecte le signal réfléchi pour fournir des informations (distance, position).

II.5.2 Le radar à onde continu (CW-radar) :

Dans ce type de radar est généralement utilisé par les constructeurs automobiles pour la réalisation des systèmes embarqués anticollision et de contrôle intelligent de la conduite automobile [II 11]. L'émetteur génère une oscillation continue à la fréquence et une amplitude qui est rayonné par l'antenne. De plus, il existe également deux types de radar à ondes continues, le plus simple étant le radar à ondes continues non-modulées et le radar à ondes continues modules [II 12].

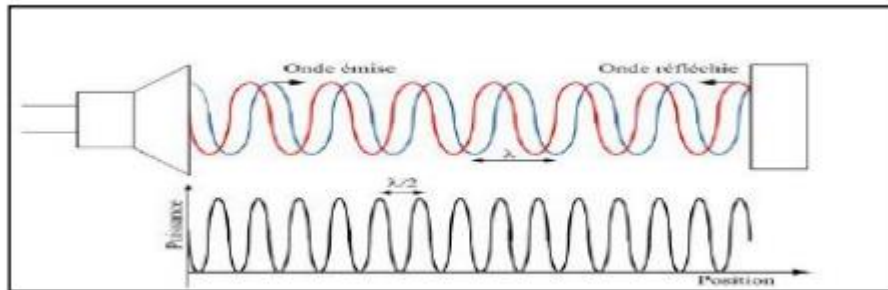


Figure II .7 : Principe de Radar à onde continue.

a) Le radar à ondes continues non-modulées

Un radar en ondes continue non moduler émet en continu des ondes électromagnétiques et en même temps reçoit les réflexions de la cible. Les techniques CW n'utilisent pas de modulation temporelle, et en tant que tel, il est très difficile par ce système de déterminer une distance. Ce radar Continu est utilisé essentiellement pour la mesure de vitesse par décalage Doppler [II 13].

b) Le radar à ondes continue modulées en fréquence :

Le deuxième type de radar à ondes continues est le radar à modulation de fréquence FMCW (fréquence modulâtes Continuos Wave). Comme les systèmes CW il émet et reçoit en permanence un signal mais la fréquence du signal transmis est modifiée en fonction du temps. Son principe repose sur une modulation en fréquence de la porteuse, ce qui introduit un marquage temporel du signal nécessaire à la mesure de distance. Le signal reçu par le radar est retardé d'une durée correspondante à la distance de la cible divisée par la vitesse de la lumière. Son principe est décrit dans la figure II. 8.

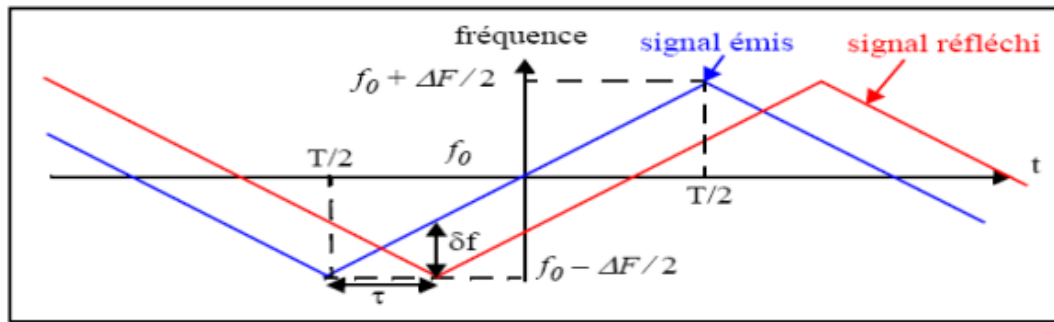


Figure II .8 : Principe du radar FMCW.

II.5.1.2 Le radar à impulsion :

Dans leur forme la plus élémentaire, ces radars émettent un signal formé d'impulsions de durée très brève de haute fréquence et de grande puissance. Après l'émission d'une impulsion, suit un temps d'écoute plus ou moins long durant lequel les échos éventuels sont reçus avant qu'une nouvelle impulsion ne soit émise. La direction, la distance et parfois la taille ou l'altitude de la cible peuvent être déterminées à partir du traitement des échos de retour [II 14 15]. Dans ce type on peut trouver :

a) Radar visualisation des cibles mobiles :

Un radar à impulsions capable de détecter la cible mobile dans un encombrement spécial en utilisant une fréquence de répétition d'impulsion faible (PRF) [II 16].

b) Le radar Doppler :

Le radar doppler à micro-ondes est utilisé pour la détection de mouvements Physiologiques depuis 1975. C'est la forme la plus simple de radars CW et il utilise l'effet doppler pour détecter la vitesse radiale d'une cible. Il est bien connu que lorsqu'une onde est incidente sur une cible en mouvement, sa fréquence serait décalée d'une quantité appelée fréquence doppler. La figure I.8 illustre le principe de fonctionnement du radar Doppler [II 17]

$$f_d = \frac{2V}{\lambda}$$

II_2

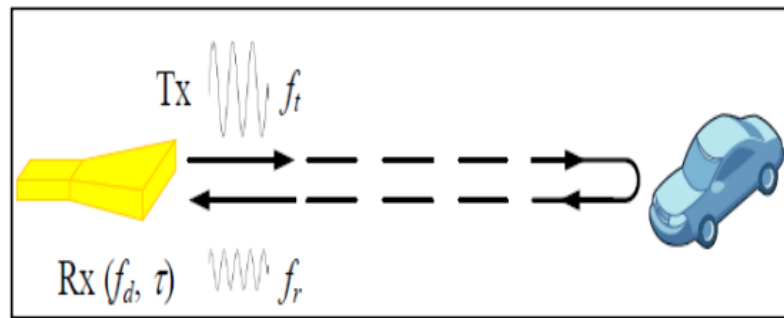


Figure II 9. : Principe un radar doppler.

II.5.2 Le radar secondaire :

Les radars connus sous le nom de radars secondaires, dépendent dans leur fonctionnement, d'une réponse de la cible. La plupart de ces dispositifs sont utilisés pour la navigation et les télécommunications [II 18].

II.5.3 Les radar imageurs et non imageurs :

Un radar imageur permet de présenter une image de l'objet (ou de la zone) observé. Les radars imageurs sont utilisés pour cartographier la terre, les autres planètes, les astéroïdes et les autres objets célestes. Ils offrent aux systèmes militaires une capacité de classification des cibles. [II 19].

II.6. Equation Radar :

L'équation du radar est un bilan des puissances sur le trajet aller-retour d'une onde émise par un radar de celles de la cible et du milieu traversé le long du Trajet [II 20].

- Il implique les fonctionnalités suivantes :
- Transmetteur
- Récepteur
- Antennes d'émission et de réception
- Objectifs
- Environnement

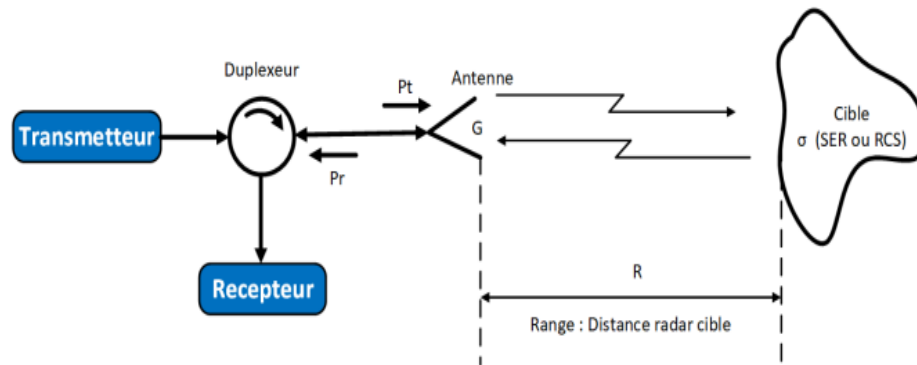


Figure II .10 : Éléments de base dans la communication radar

Elle est donnée par relation suivante :

$$P_r = \frac{P_t G_r G_t \sigma \lambda^2}{R^2 (4\pi)^3} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad \text{II}_3$$

- P_t : Puissance transmise en watts.
 - Radar impulsion : puissance crête
 - Radar continu : puissance moyenne
- P_r : puissance reçue en watts.
- Gain d'une antenne :
- A : surface de l'ouverture de l'antenne
- η : efficacité de l'antenne
- A_e : Surface effective de l'antenne
- G_t : gain de l'antenne de transmission
- G_r : gain de l'antenne de réception

$$G = \frac{4\pi}{\lambda_0^2} \cdot A_e \quad \text{II}_4$$

$$A_e = \eta \cdot A \quad \text{II}_5$$

- λ : la longueur d'onde en mètre.

- R : la distance antenne-cible.

L'équation radar peut fournir des informations sur la portée maximale du radar, R_{max} , la portée. Les objets ne peuvent pas être détectés au-delà de cette plage. Si la puissance reçue

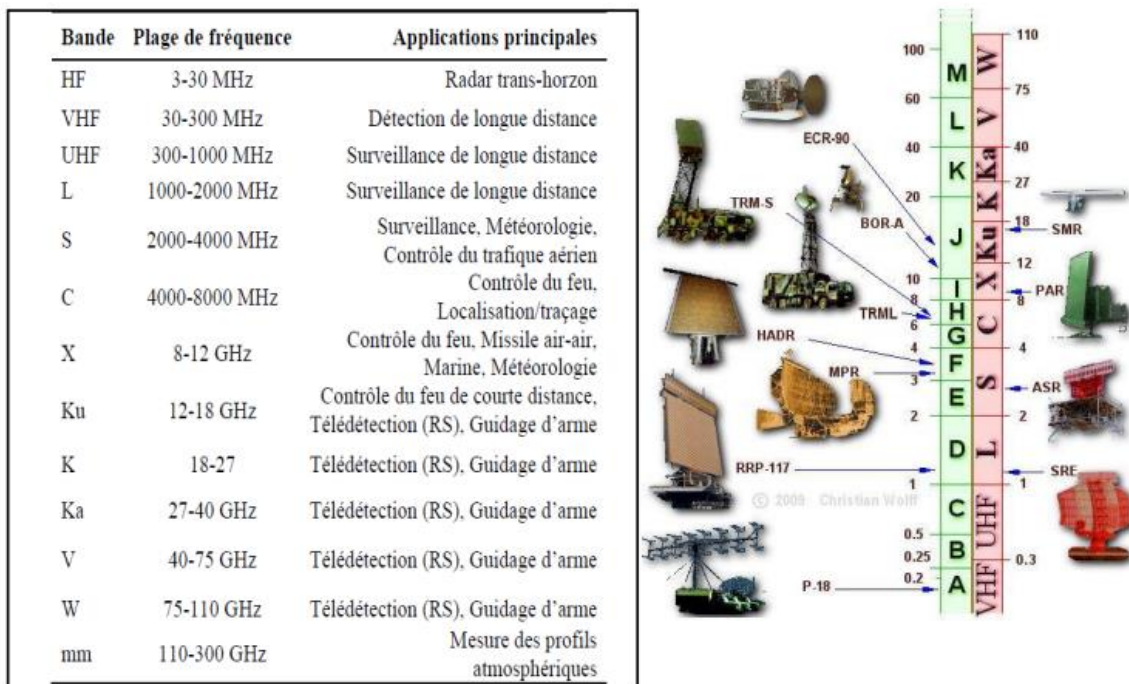
P_R min est inférieure à La puissance minimale détectable par l'appareil récepteur que la cible va embarquer bruit. En utilisant l'expression, on peut écrire [II 17] :

$$R_{max} = \left[\frac{P_t G_r G_t \sigma \lambda^2}{P_{Rmin} (4\pi)^3} \right]^{\wedge \frac{1}{4}}$$

II 6

II.7 Les fréquences du radar :

Le choix de la fréquence radar dépend de la fréquence de fonctionnement. Les fréquences radar peuvent aller de quelques mégahertz à plusieurs mégahertz. Pendant la Seconde Guerre mondiale, afin de garder des secrets militaires, Les lettres P, L, S, C, X et K ont été attribuées à différentes gammes de fréquences. Comme Par exemple, le radar de surveillance d'aéroport ASR-9 a été développé dans la bande S Bande passante de 200 MHz. Radar PILOT de surveillance maritime La technologie FM CW a été développée dans la bande X La bande passante est de 400 MHz [II 18].



Figur II .11 : Les bandes de fréquence radar et leurs applications.

II.8 Avantages du radar pénétrant au sol [II 21] :

1. Le GPR est une méthode d'arpentage extrêmement rentable et non invasive. Il fournit des informations inestimables avant même que les travailleurs ne commencent à creuser.
2. Le GPR est sûr pour une utilisation dans les espaces publics et une grande variété de sites de projet.

3. Le GPR permet l'inspection géophysique du sous-sol rapide et non destructive où aucun creusement, excavation ou perturbation du sol n'est nécessaire.
4. Il permet de faire un sondage du sous-sol jusqu'à des profondeurs parfois importantes.
5. Il détecte les objets métalliques et non métalliques, ainsi que les vides et les irrégularités souterraines.
6. Il permet de mesurer les dimensions, la profondeur et l'épaisseur des cibles.
7. Les données sont fournies rapidement et peuvent couvrir une vaste zone de site.
8. Les bandes de fréquences de fonctionnements peuvent être ajustées selon les résolutions et les profondeurs de pénétration.
9. C'est moins cher que les autres méthodes.

II.9 CONCLUSION :

Le radar GPR est un outil de mesure précieux et ses domaines d'utilisations sont multiples (génie civil, exploration spatiale, déminage...). Toutefois, les méthodes d'acquisitions sont variées et multiples. Le choix du radar demeure un choix important souvent difficile à effectuer. De plus les caractéristiques techniques varient d'un radar à un autre d'où la nécessité d'avoir une idée sur la profondeur maximale d'investigation, la résolution et sur le type d'antennes dont le dispositif est équipé.

Bibliographie :

- [II 1]. D.J. Daniels, Surface Pénétration Radar, IEE, 1996.
- [II 4]. Rafaël Perez, Contribution à l'analyse théorique et expérimentale de radargrammes GPR. Performances des antennes - apports d'une configuration multistatique, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2005.
- [II 3]. Fabrice Hollander, Interprétation de la distorsion des signaux géo-radar propagés et réfléchis développement d'une tomographie par bandes de fréquences, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1999.
- [II 4]. M. Carpentier, Radars – bases modernes, édition Masson, 1981.
- [II 5] A. Novo, M. Grasmueck, D. A. Dave, H. Lorenzo, 3D GPR In Archéologie : What can be gained from Dense Data Acquisition and Processing, 13th International Conference on Ground Pénétration Radar, June 16-19 2008, Birmingham, UK.
- [II 6] P. M. Barone, E. Pettinelli, E. Mattei, A. De Santis, E. De Mincis, GPR Investigations in the Archaeological Area of Ferrent, Viterbo, Lazio, Italie, 41 spécial thème 7th International Conference Archaeological Prospection, Nitra 2007, 101-103.
- [II 7] A. M. Zoubir, L. J. Chant, L. C. Brown, B. Barat, C. Abeynayake, Signal Processing Techniques for Land Mine Détection Using Impulse Ground Pénétration Radar, IEEE seniors journal, vol.2, no. 1, pp. 41-51, 2002.
- [II 8] D. P. Gader, M. Mystkowski, Z. Yunxin, LandMine Detection with Ground Penetrating Radar using Hidden Markov Models, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 39, no. 6, pp. 1231- 1244, 2001.
- [II 9] R. Benjamin, I.J. Craddock, G.S. Hilton, S. Litobarski, E. McCutcheon, R. Nilavalan and G.N. Crisp, Microwave Detections of Buried mines using non-contact, synthetic Near Field focussing, IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, 148, 233–40, 2001.
- [II 10] Ben Allen. Misha Doler. Ernest E. Okon. Wassim Q. Malik. Anthony K. Brown. David J. Edwards. Antennas and propagation for communication, radar and
- [II 11] INRS, « Champs électromagnétique », Edition 4212, décembre 2013.

[II 12] Beatriz Amante Garcia, « Conception d'un radar d'aide a la conduite automobile utilisant un système discriminateur de fréquence type "six-port" », mémoire Engineering Sciences [physiques]. Telecom Paris Tech, 16 APR 2004.

[II 13] Achim Med, Abdou Abadai, A/Mou Taleb, Analyse des performances des détecteurs ça, os et ml-cardans un cluster de distribution, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique, Université Mohamed Haider-Biskra, Promotion2007.

[II 14] Franck Chebila, Lecteur Radar pour Capteurs Passifs à Transduction Radio Fréquence, Thèse doctorat Microondes, Electro Magnétisme et Optoélectronique, université de Toulouse, 31 Mars 2011.

[II 15] Maroua Chami, Suppression d'ambiguïté dans les images SAR, mémoire en électronique et télécommunication, université Libanaise Faculté de Génie en convention avec Télécom Bretagne.

[II 16] Hamet Bastien, Obriot Nicolas, Signal modeling and fondations of Near Field Naval MIMO radar for Small targes discrimination, Master thésis In Mobile Communication système département of électronique système Alborg université, May 2012.

[II 17] Han Liang, intégrâtes communication and radar schème for future intelligent transportation système, Thèse PhD. Génie électrique, Université de Montréal, Juin 2011.

[II 18] www.radartutorial.

[II 19] Annick. Plagellat@univ-montp2.fr

[II 20] M. Deban Ramin, Analyse et développement de radar a diversité spatiale. Applications à l'évitement de collisions de véhicules collisions et au positionnement local , Thèse doctorat Génie électrique, Université de Montréal, L'avril 2010.

[II 21] Ayaicha Khawla. Benzekri Amina. Conception d'une Nouvelle Antenne pour la Détection des Objets Enfouis. Mémoire de Master Systèmes des Télécommunications. Université 8 Mai 1945 – Guelma, Faculté des sciences et de la Technologie Département d'Electronique et Télécommunications. 2020-2021.

CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR

III.1. Introduction :

Afin d'optimiser les paramètres de la structure et de réduire le coût de réalisation, la conception de l'antenne réalisée avec le logiciel approprié est une étape indispensable ; elle prend en compte les paramètres diélectriques et du conducteur de l'antenne. Nous avons choisi le logiciel de simulation électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO (MWS), qui se caractérise par la capacité d'analyser rapidement et avec précision les structures base fréquence (BF), telles que les antennes.

Le but de ce chapitre est de concevoir une antenne imprimée pour une application GPR, Nous allons d'abord introduire le logiciel CST Microwave Studio (MWS), puis présenter les étapes de conception et de réalisation de l'antenne visée. En fin, nous discuterons les mesures expérimentales des coefficients de réflexion et du diagramme de rayonnement. Finalement un test de l'application GPR sera présenté.

III.2. Définition de logiciel CST :

Le logiciel CST (computer simulation technologie-Microwave studio) est offre des solutions de calcul précises est efficaces pour la conception et l'analyse électromagnétiques.

Ce logiciel vous permet de choisir la méthode la plus appropriée pour la conception et l'optimisation de dispositifs fonctionnant sur une large gamme de fréquences [III-1].

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

-En haut de l'interface, il y a une barre d'outils, qui est un ensemble de raccourcis depuis la barre de menus.

- Sur le côté gauche de l'interface, nous avons l'arborescence de navigation à partir de laquelle nous pouvons accéder Éléments structuraux et résultats de simulation.

-Au milieu de l'interface se trouve le plan de travail et la structure est en 3D.

- En bas de l'interface, nous avons :

* La liste des paramètres à partir de laquelle on retrouve les variables utilisées dans la simulation.

CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR

*Un message indiquant si chaque étape est simulée avec succès, sinon, un Message d'erreur.

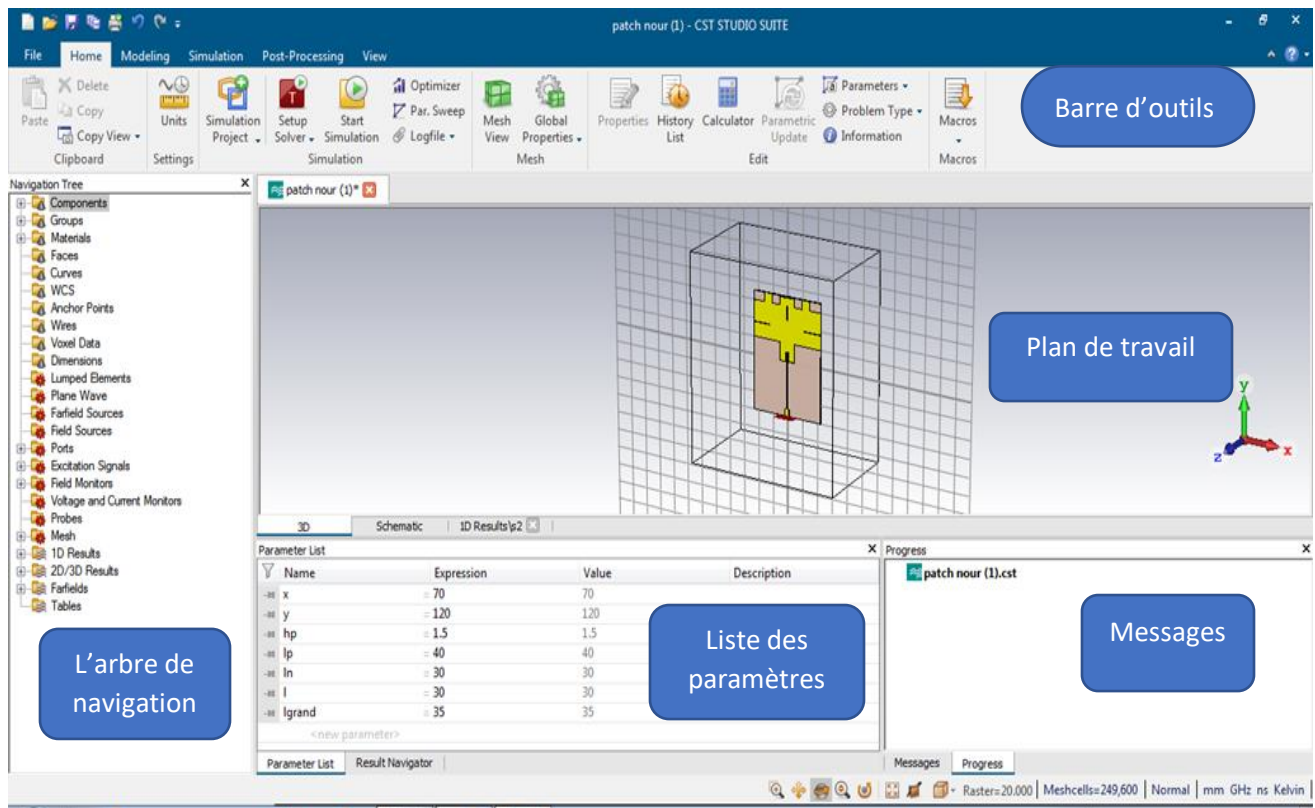


Figure.III.1 : l'interface du CST studio

III.3. Description de l'antenne de base :

La configuration de l'antenne proposée est présentée dans la figure 1. C'est un patch sous forme d'un rectangle et une ligne d'alimentation commune. L'antenne est conçue en utilisant le substrat époxy FR4 à faible coût (constante diélectrique relative de 4,3 et une tangente de perte de 0,035), avec une taille globale de $13 \times 9 \times 0,15$ cm³. L'antenne est alimentée par une ligne micro ruban de 50 ohms d'une longueur $y = 9$ cm et d'une largeur $x = 13$ cm.

L'antenne a un plan de masse de longueur $L_g = 1.35$ cm et de largeur $x = 9$ cm

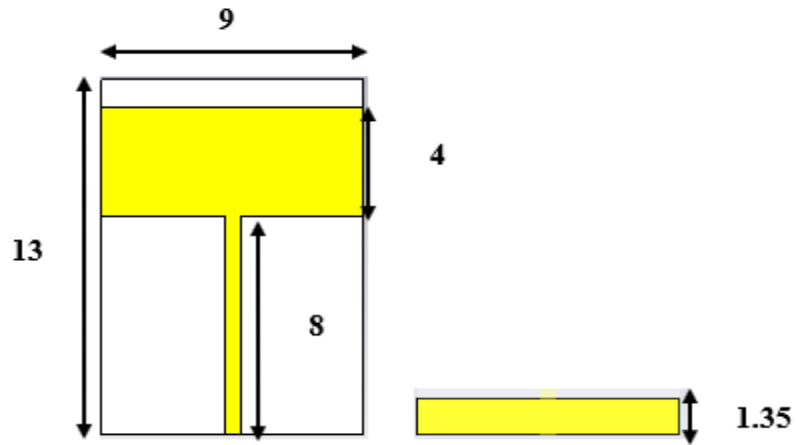
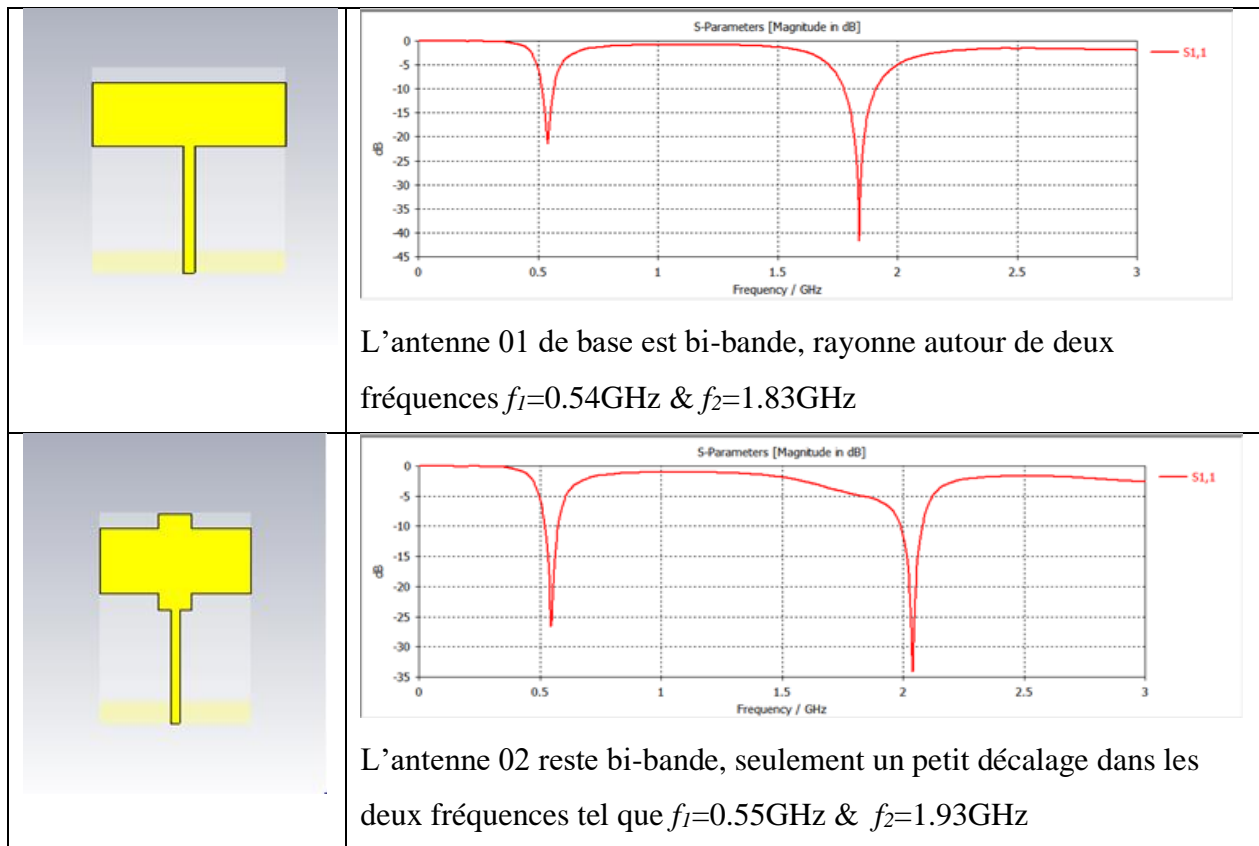


Figure III.2 : les paramètres de l'antenne de base.

III.5 Les étapes de conception :



CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR

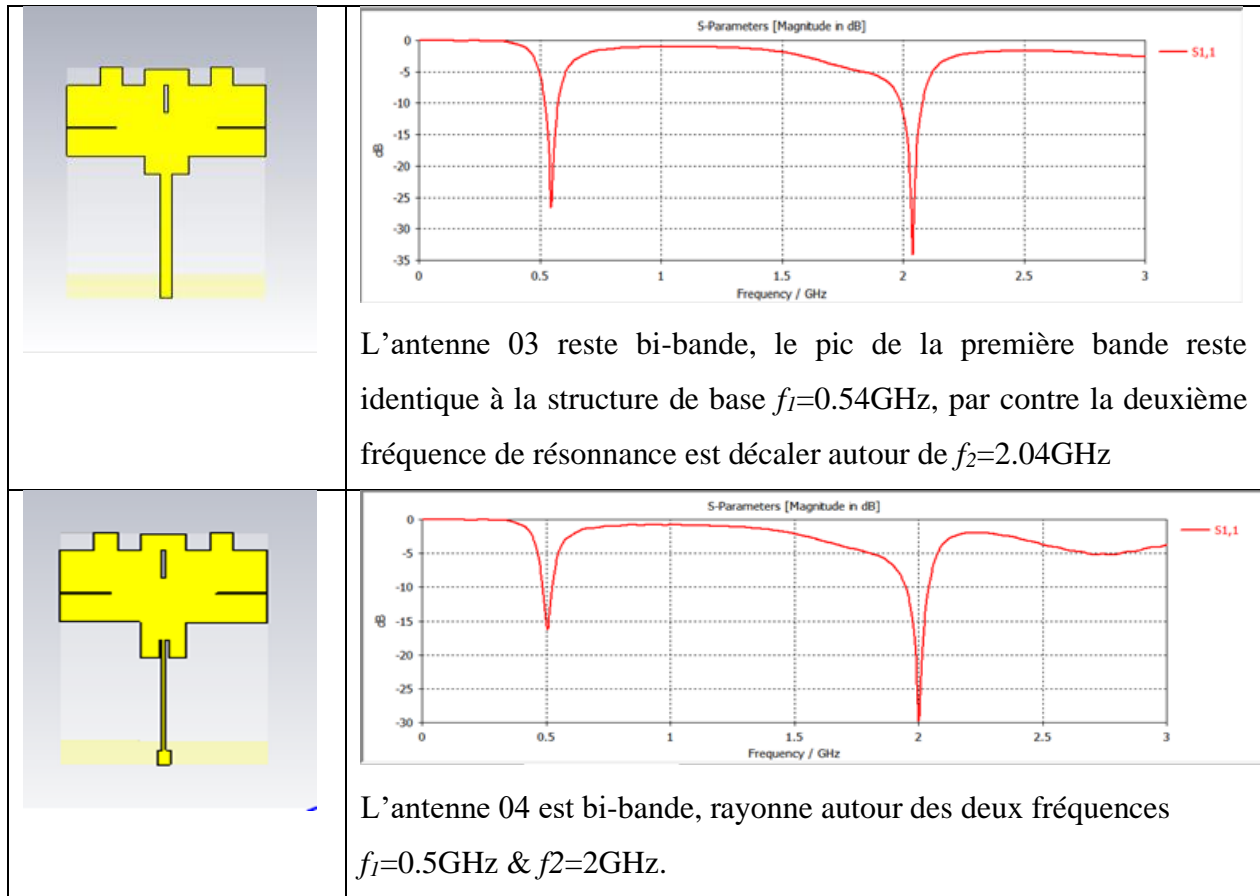


Tableau III 1 : Les étapes de conception.

Figure III.3 présente la comparaison entre les coefficients de réflexion des quatre antennes présentées dans le Tableau III .1. Les modifications apportées sur l'antenne patch et la ligne d'alimentation ont contribué à l'amélioration de l'adaptation de la fréquence 0.5 GHz. Par contre les trois fontes et l'encoche ont amélioré l'adaptation de fréquence de 2GHz.

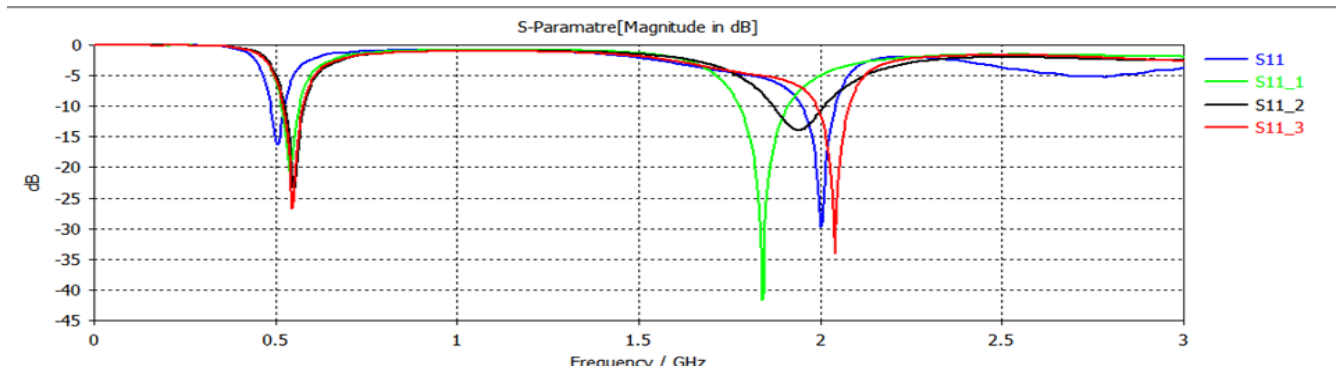
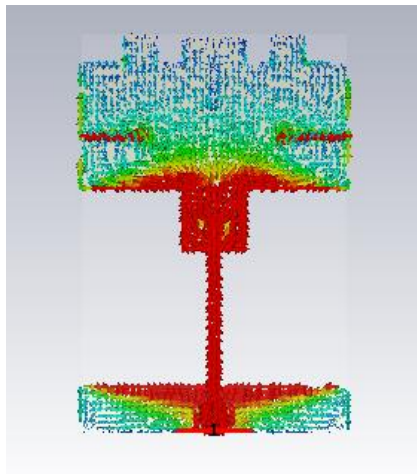


Figure III.3: Comparaison du coefficient de réflexion de l'antenne avec les autres antennes initiales.

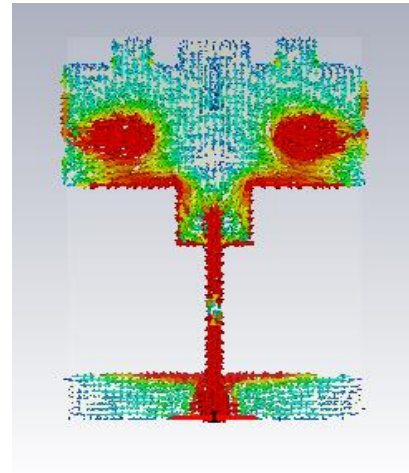
D'après cette étude, nous avons arrivé à optimiser une nouvelle antenne originale bi-bande. Les deux bandes obtenues sont l'objectif de notre étude expérimentale. En effet nous disposons dans notre département d'un générateur de fréquence qui travaille à ces deux fréquences ce qui nous va permettre de faire une mesure expérimentale de diagramme de rayonnement autour de 0.5 & 2 GHz et aussi un test de pénétration GPR.

III.6 densité de courant surfacique :

La densité de courant surfacique aux deux fréquences de résonance $f_1=0.5$ & $f_2=2$ GHz est présentée dans la figure III.4. Cette figure montre une densité maximale concentrée sur la ligne d'alimentation avec le centre du plan de masse pour les deux fréquences. A la fréquence $f_1=0.5$ GHz une densité de courant importante autour de la partie patch-encoche alors que pour la deuxième fréquence $f_2=2$ GHz cette concentration de de courant se trouve autour des fentes horizontales.



a) Densité surfacique du courant $f_1=0.5$ GHz



b) Densité surfacique du courant $f_2=2$ GHz

Figure III.4: Densité surfacique du courant

III.7. Dimensionnement de l'antenne optimisée :

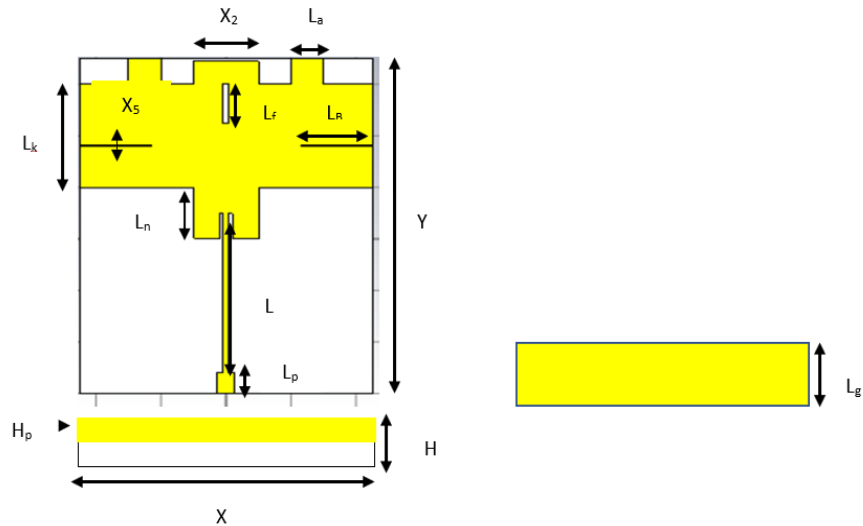


Figure III.5: Dimensionnement d'antenne.

Paramètre	(Cm)	Paramètre	(Cm)	Paramètre	(Cm)
X	9	L	6.2	X ₂	2
Y	13	L _p	0.8	X ₃	2.2
H _p	0.035	L _n	2	X ₅	0.05
H	1.5	L _k	4	L _f	1.5
L _g	1.35	L _a	1		

Tableau III.2 : les différents paramètres d'antenne.

III.8 Réalisation et mesure expérimentale :

III.8.1 Description du matériel et réalisation :

Les ProtoMats LPKF établissent la norme mondiale en matière de précision, de flexibilité et de convivialité. Les traceurs de circuits imprimés LPKF sont tout simplement indispensables pour la production rapide en interne de circuits imprimés, qu'il s'agisse de cartes individuelles pour des projets de développement ou de petites séries. Ils sont parfaitement adaptés aux applications hautes performances, analogiques, numériques, RF et micro-ondes. Fabriqué en Europe : les traceurs de circuits imprimés LPKF sont considérés comme la référence pour le fraisage, le perçage et le fraisage de contours de circuits imprimés depuis plus de quatre décennies.

Tous les systèmes de structuration LPKF sont fournis avec un progiciel complet, optimisé pour une utilisation facile, une qualité optimale et des résultats rapides. LPKF Circuit Pro importe toutes les données CAO courantes et transfère les données de production aux systèmes de structuration.



Figure III.6: la machine ProtoMap

La réalisation de l'antenne dans la machine ProtoMap :

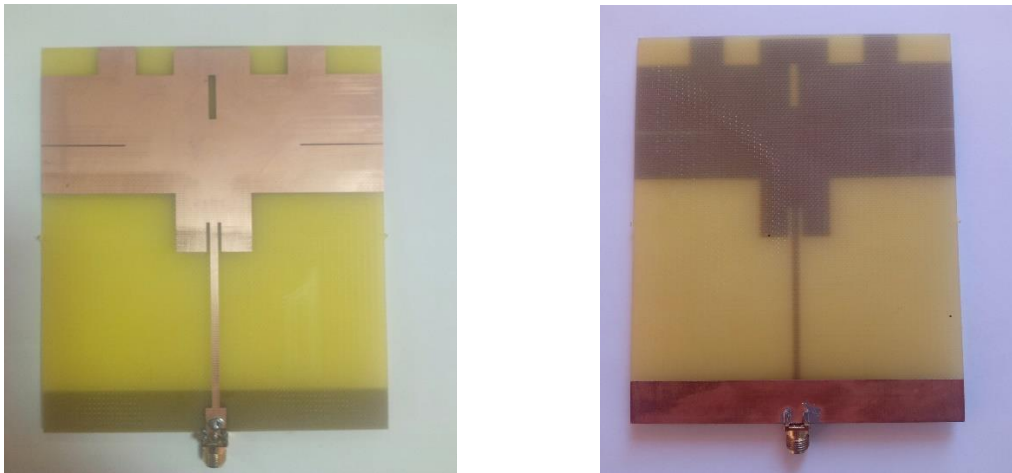


Figure III.7: l'antenne réalisée.

III.9 Mesures expérimentales :

III.9.1 Mesure de coefficient de réflexion S11 :

La mesure est réalisée par un analyseur de réseau ZNB 20-VECTOR NETWORK fonctionne de

CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR

100 kHz à 20GHz disponible au niveau du département d'électronique et télécommunication (figureIII.8).



Figure III.8: ZNB 20-VECTOR NETWORK ANALYSER.

Après calibration de l'analyseur de réseaux sur la bande 0.1-3 GHz, nous avons mesuré le coefficient de réflexion S_{11} de notre antenne. La comparaison entre le S_{11} simulé et mesuré est présentée dans la figure III.9

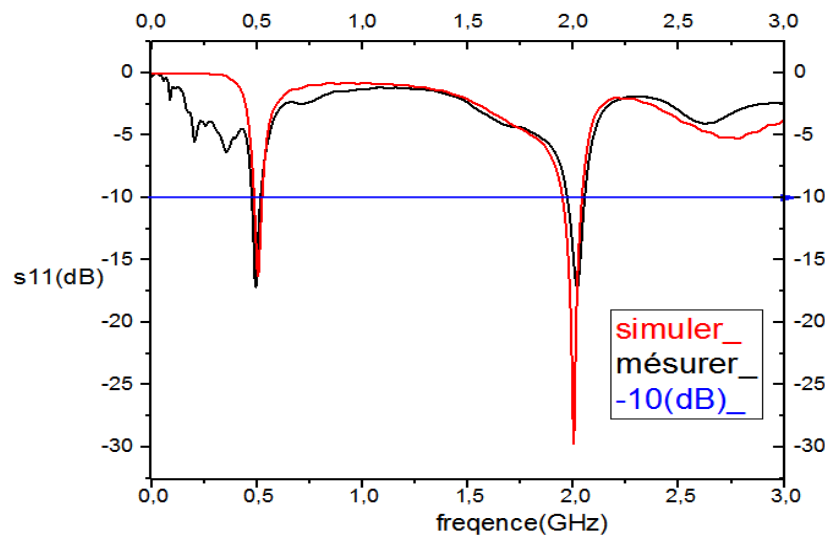


Figure III.9: Comparaison entre le S_{11} simulé et mesuré.

On remarque d'après cette figure que les résultats de mesure et de simulation sont quasiment identiques pour les deux fréquences 0.5 & 2 GHz. Pour la fréquence f_2 une atténuation importante

de -30dB pour le S_{11} simulé alors que pour le S_{11} mesuré est égale -17dB. Ces résultats montrent que notre antenne réalisée est bi-bande et présente une adaptation satisfaisante pour les deux bandes, une bande autour de 0.5GHz et la deuxième bande autour de 2GHz.

III.9.2 Mesure du diagramme de rayonnement :

Le banc de mesure de diagramme de rayonnement est présenté dans la figure III.10. La mesure est réalisée :

- ✓ A la fréquence de 0.5 et 2 GHz
- ✓ Dans deux positions (Verticale, Horizontale).



Figure III.10: Banc de mesure de diagramme de rayonnement.

Les résultats du diagramme de rayonnement sont montrés dans les figures suivantes :

- Fréquence $f_1=0.5$ GHz

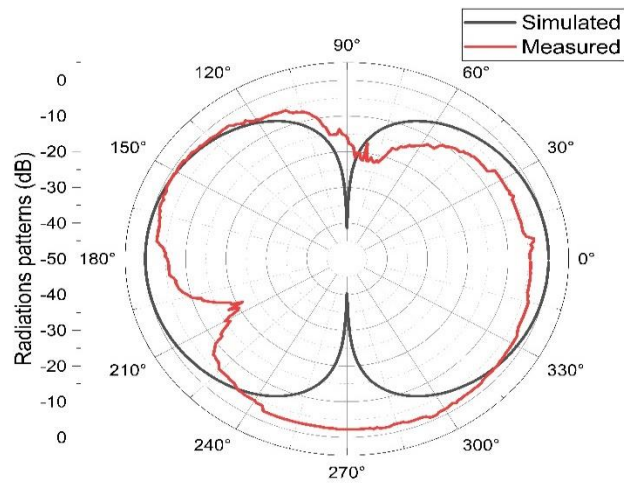


Figure III.11: Diagramme de rayonnement dans le plan E.

La figure III.11 montre que l'antenne est bidirectionnelle qui rayonne maximum de puissance dans les deux directions 0° et 180° pour le DDR simulée. Alors que pour DDR mesurée les deux directions sont à 150° et 330° environs. Cette différence est peut être liée au décalage dans l'orientation de l'antenne mesure par rapport à l'antenne de référence.

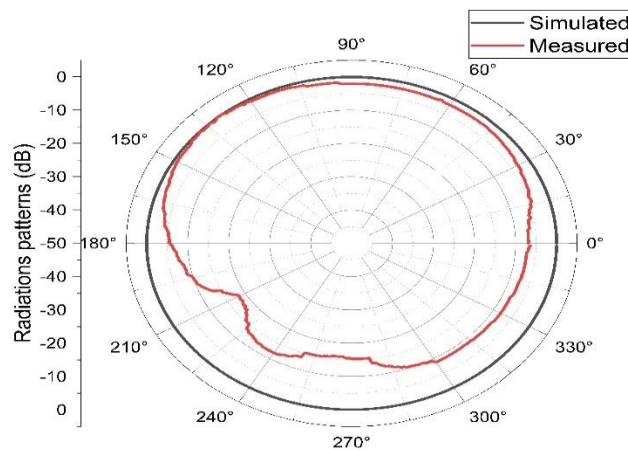


Figure III. 12 : Diagramme de rayonnement dans le plan H.

La figure III .12 présente le DDR dans le plan H, il est claire que le DDR montre que notre antenne est omnidirectionnelle qui rayonne dans toutes les directions. Nous remarquons aussi qu'il y une chute de puissance dans le demi-cercle inferieur entre 180° et 360° pour le DDR

mesuré. On peut lier cette atténuation par le bruit, les interférences et les rayonnements externes dans la salle des mesures.

➤ Fréquence $f_2= 2\text{GHz}$

La figure III.13 présente le diagramme de rayonnement simulé et mesuré dans le plans E.

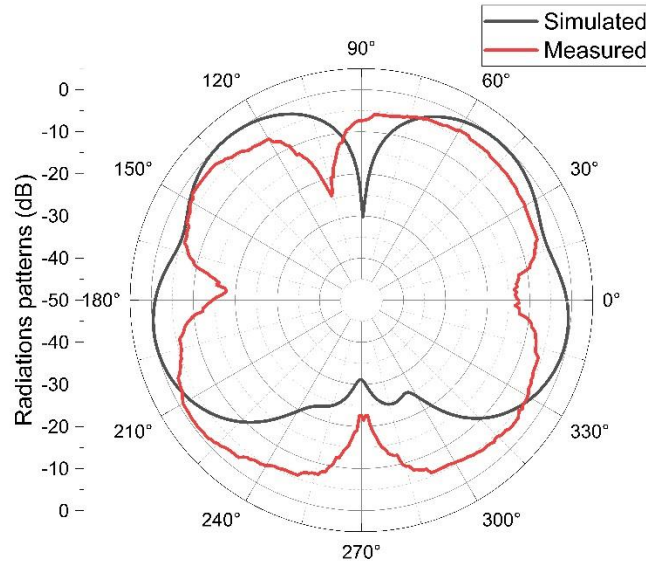


Figure III.13: Diagramme de rayonnement dans le plan E.

A cette fréquence, notre antenne là aussi présente un DDR bidirectionnel sous la forme d'une pomme. Le DDR simulé et mesuré sont quasiment identique.

La figure III.13 présente le diagramme de rayonnement simulé et mesuré dans le plan H. le DDR simulé et mesuré sont presque identique est montre bien que l'antenne testée présente bien un DDR omnidirectionnel qui rayonne dans toutes les directions.

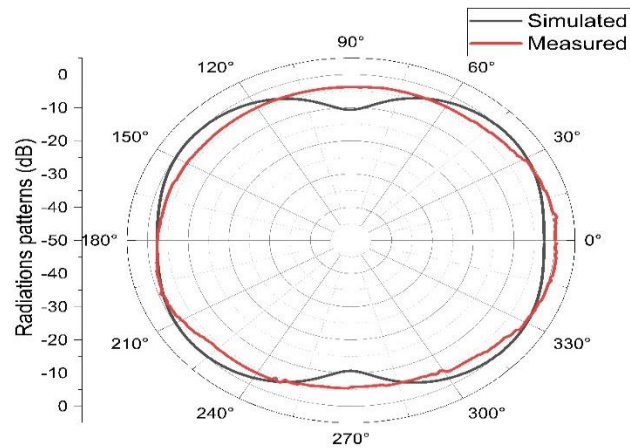


Figure III.14 : Diagramme de rayonnement dans le plan H.

La figure III.14 montre que l'antenne est omnidirectionnelle qui rayonne dans Toutes les directions.

III.10 Test de la pénétration de l'antenne GPR :

Dans ce test on cherche à étudier la portée de notre antenne dans le vide (Air) avec et sans mur, est présenté dans la figure III.15

» Générateur de fréquence 0.5GHz&2GHz.

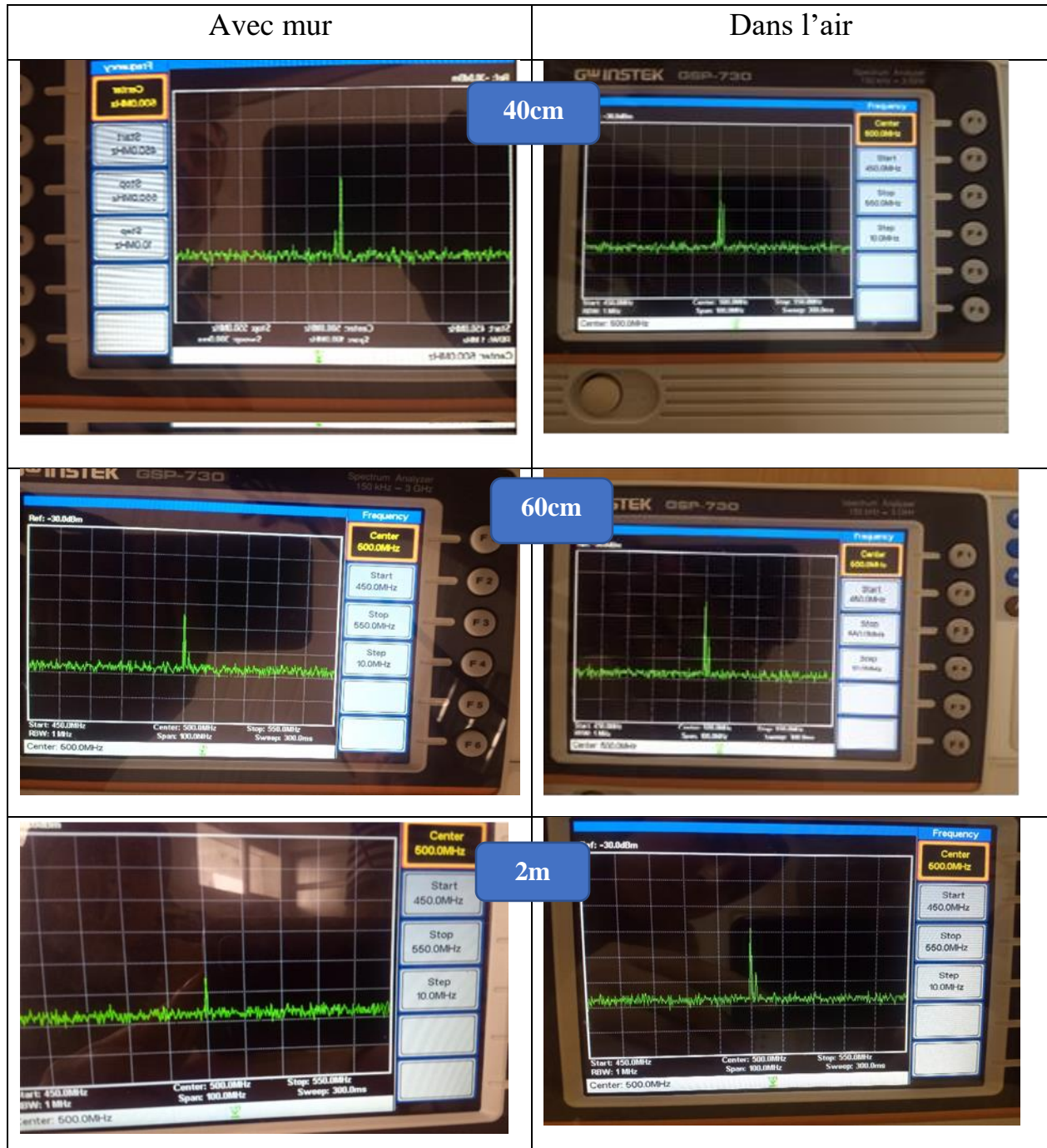


Figure III.15 : mur de test de pénétration.

CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR

Les résultats obtenus avec différentes distances :

$$f_1=0.5\text{GHz}$$



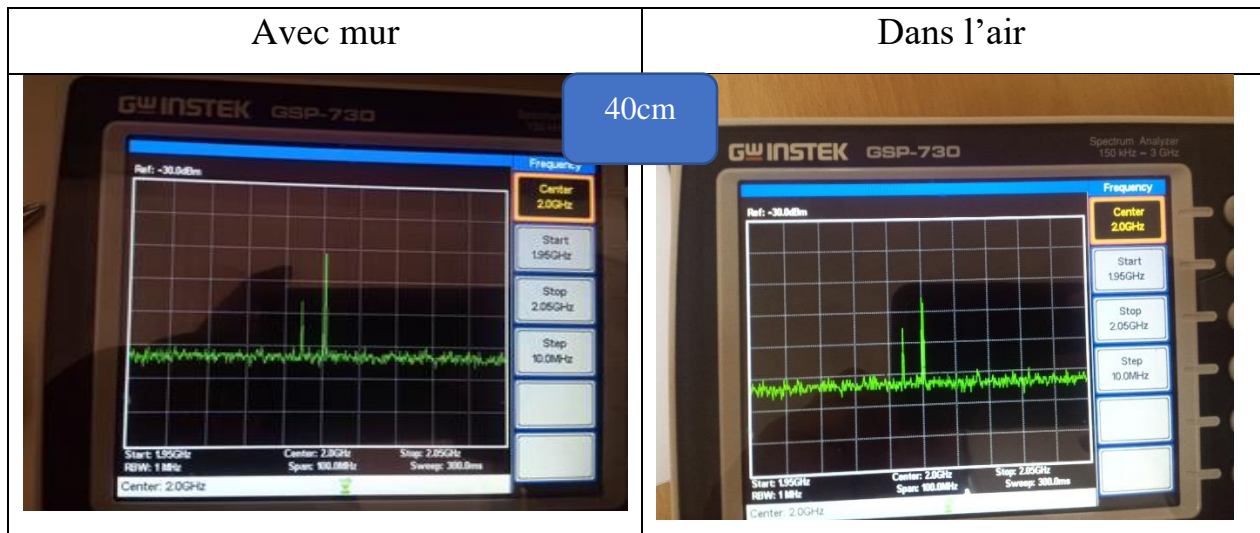
CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR

Le tableau suivant résume les résultats obtenus en termes de puissance reçue au niveau de l'analyseur de spectre en fonction de la distance

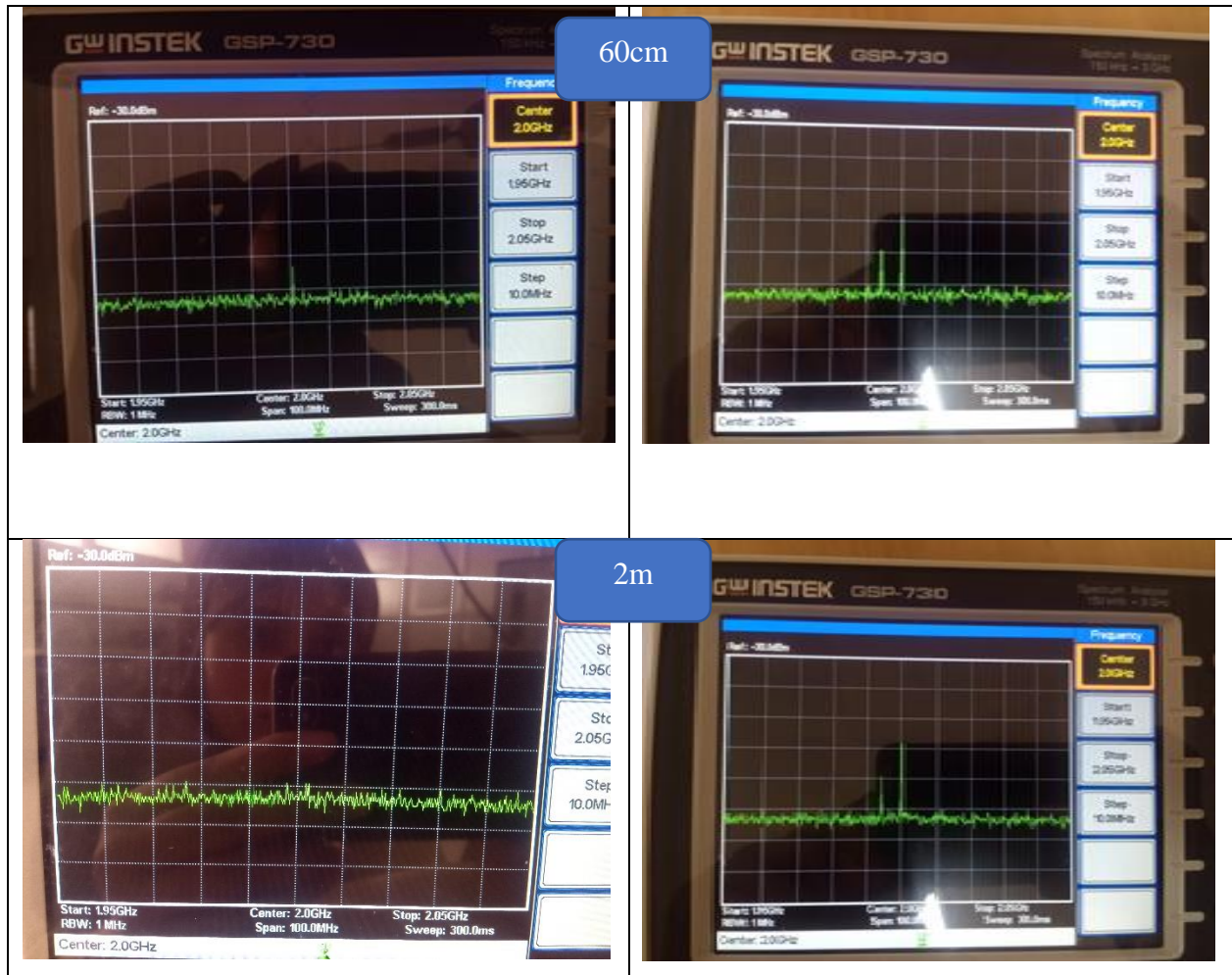
La distance	Puissance dans l'air (dBm)	Puissance avec un mur (dBm)
$D_{\min} = 40\text{cm}$	40	30
$D_1 = 60\text{cm}$	35	25
$D_2 = 2\text{m}$	30	15

Tableau III 3 : les valeurs de puissance pour différentes distances

$f_2 = 2\text{GHz}$



CHAPITRE 3 : SIMULATION ET MESURES D'UNE ANTENNE GPR



Le tableau suivant résume les résultats obtenus en termes de puissance reçue au niveau de l'analyseur de spectre en fonction de la distance

La distance	Puissance dans l'air (dBm)	Puissance avec un mur (dBm)
$D_{\min} = 40\text{cm}$	30	28
$D_1 = 60\text{cm}$	25	10
$D_2 = 2\text{m}$	15	0

Tableau III 4 : les valeurs de puissance pour différentes distances

III.11 Conclusion :

Dans ce chapitre. Nous avons fait la simulation, la réalisation et la caractérisation d'une nouvelle antenne patch bi-bande. L'avantage dans cette étude est que nous avons réalisé des mesures expérimentales de diagramme de rayonnement avec deux fréquences 0.5 & 2 GHz. Un accord entre les résultats obtenus par la simulation et ceux obtenus par la mesure a été obtenu. En général, les résultats des mesures montrent que le modèle proposé satisfait les critères demandés par les applications GPR.

Bibliographie

[1] M. sauia laid. Mnesri Bilal. Conception et simulation d'un antenne Ultra large Band. Université de hanme. Juin 2018.

[2] <https://www.lpkf.com/en/industries-technologies/research-in-house-pcb-prototyping/products/lpkf-protomat-e44>

Conclusion générale :

Le radar pénétrant dans le sol (également appelé GPR, radar de sondage au sol ou géo radar) est un outil géophysique proche de la surface avec un large éventail d'applications. Au cours des 30 dernières années, le GPR a été utilisé avec succès pour résoudre des problèmes dans divers domaines tels que l'archéologie, la caractérisation environnementale des sites, la glaciologie, l'hydrologie, la détection des mines terrestres/engins non explosés, la sédimentologie et la géologie structurale. Dans de nombreux cas, cependant, les levés GPR ont été planifiés ou exécutés avec peu ou pas de compréhension de la base physique par laquelle GPR.

Dans ce sens, Le but de ce travail est de concevoir une antenne patch bi-bande pour des applications GPR. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons effectué des simulations poussées à l'aide du logiciel CST. Les résultats des simulations ont permis de concevoir une antenne optimale avec une nouvelle géométrie moins complexe à caractère bi-bande et qui couvre la gamme UHF.

L'antenne est réalisée sur un substrat FR4 avec une taille globale de 13x9x0.15 cm³. L'antenne fonctionne entre deux bandes centrées à environ 0,5 GHz et 2 GHz. L'antenne présente une bonne adaptation d'impédance pour les deux bandes. De plus, l'antenne proposée peut fournir de bons diagrammes de rayonnement, et une efficacité de rayonnement élevée aux deux fréquences de résonance. Les résultats du test de pénétration ont montré que l'antenne est un candidat efficace pour une application GPR qui nécessite des fréquences plus basses pour une bonne pénétrabilité.