

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université 8 Mai 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 : **Systems des Télécommunications**

---

**Conception d'une Nouvelle Antenne pour la Détection des  
Objets Enfouis**

---

Présenté par :

-----  
**AYAICHA KHAWLA**  
**BEN ZEKRI AMINA**  
-----

Sous la direction de :

**Dr. CHAABANE ABDELHALIM**

2020-2021

## **Remerciements**

**En premier lieu, Nous remercions Allah soubhanouhou wa taala de m'avoir donné la volonté, pour terminer ce travail dans les meilleures conditions.**

**Nous tenons à remercier très sincèrement avec ma profonde gratitude à mon encadreur Dr. CHAABANE ABDELHALIM. qui m'a encadré tout au long de ce travail, et pour d'avoir dirigé ce travail, sa disponibilité et sa grande compréhension.**

**Nous remercions les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner mon travail.**

**Nous tenons à remercier tous les enseignants de notre département *TLC & ELN* qui ont contribué à notre formation.**

**Un grand Merci à tous mes amis et mes collègues de *TLC Guelma* Merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce projet.**

**Merci à tous**

## **DÉDICACES**

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements

A mes sœurs RAYANE et INTISSARE et mes frères AMIR et YASSER

A mes amies et mes camarades.

Sans oublier tout les professeurs que ce soit primaire, du moyen, du secondaire ou de

L'enseignement supérieur.

**BENZEKRI AMINA**

Je dédie ce travail a mes parents

Aux quels je dois tous

Pour toute la peine qu'ils se sont donnés,

Pour leur patience et générosité,

A mes frères Haythem ,Sief , Alla Eddine

Pour leurs soutiens continus

A toute ma famille et mes amies

A toute ceux qui j'estime et m'estiment.

**AYAICHA KHAWLA**



# **Sommaires**

# Sommaires

**Remerciement**

**Dédicaces**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Introduction générale.....(1)**

## **Chapitre I : les antennes planaires**

**I.1. Généralité sur les antennes.....(2)**

I.1.1. Définition d'une antenne.....(2)

I.1.2 : Caractéristiques « classiques »des antennes.....(2)

I.1.2.1. Diagramme de rayonnement.....(2)

I.1.2.2. Angle d'ouverture.....(3)

I.1.2.3. Directivité, gain et rendement d'une antenne.....(4)

• Directivité.....(4)

• Gain.....(4)

• Rendement.....(4)

I.1.2.4. La polarisation d'une antenne.....(4)

I.1.2.5. L'impédance d'entrée .....(5)

I.1.2.6. Le coefficient de réflexion.....(6)

I.1.2.7- la bande passante.....(6)

I.1.2.8- Rapport d'ondes stationnaires (ROS) .....(7)

I.2.Présentation générale d'une antenne planaire.....(7)

I.2.1 Définition d'une antenne patch .....(7)

I.2.2 : Caractéristique de base .....(8)

I.2.3 : Avantages et inconvénients des antennes patch micro.....(9)

I.2.4 : Technique d'alimentation de l'élément rayonnant.....(9)

I.2.4.1 Alimentation par sonde coaxiale .....(10)

I.2.4.2 : Alimentation par ligne micro-ruban.....(10)

I.2.4.3 : Alimentation par le couplage par proximité .....(11)

I.2.5- Application des antennes imprimées .....	(12)
I.3. CONCLUSION.....	(13)

## **Chapitre II: les antennes Ultra Large Bande**

II-La Technologie Ultra Large Bande.....	(14)
II.1 Introduction.....	(14)
II.2 Historique.....	(14)
II.3 Définition de l'Ultra Large Bande.....	(15)
II.4 Les applications de l'ULB.....	(15)
II.4.1 ULB pour la communication.....	(16)
II.4.2 Localisation UWB.....	(16)
1.5.3 Application médicale.....	(16)
II.5.3. a Dispositifs sans fil sans contact.....	(16)
II.5.3. b Radar ULB.....	(16)
II.5.3. c Télésurveillance continue .....	(17)
II.6 Caractéristiques de la technologie Ultra Large Bande.....	(17)
II.7 Utilisation de l'ultra large bande (ULB) .....	(18)
II.8 La bande de fréquence de 3.1GHz à 10.6GHz .....	(19)
II.9 Les avantages et les inconvénients de l'ULB.....	(19)
II.9.1 Avantages.....	(19)
II.9.2 Inconvénients.....	(19)
II.10 Les antennes ultra large bande.....	(19)
II.10. Les différents types d'antennes UWB.....	(20)
II.10.1 Les antennes élémentaires .....	(20)
II.10.1.1 L'antenne monopôles .....	(20)
II.10.1.2 Exemples d'antennes monopoles imprimées.....	(21)

II.10.1.3 Le but de l'antenne monopôle imprimée .....	(22)
---	------

II.11 CONCLUSION.....	(23)
-----------------------	------

### **Chapitre III: les antennes pour pénétration des surfaces**

III.1 Introduction .....	(24)
--------------------------	------

III.2 Définition.....	(24)
-----------------------	------

III.3 Equation du radar.....	(25)
------------------------------	------

III.4 Antennes pour le GPR.....	(25)
---------------------------------	------

III.4.1 Les principaux types d'antennes larges bande utilisées en GPR .....	(25)
---	------

III.4.1.1 Antennes directives à transition progressive.....	(26)
---	------

III.4.1.1.1 Antenne cornet.....	(26)
---------------------------------	------

III.4.1.1.1 Antenne vivaldi.....	(26)
----------------------------------	------

III.4.1.2 Antennes dipolaires omnidirectionnelles.....	(27)
--	------

III .5 Les antennes patch UWB .....	(28)
-------------------------------------	------

III.6 Avantages du radar pénétrant au sol .....	(28)
---	------

III.7 Quelques applications des systèmes GPR.....	(28)
---	------

III.8 Exemple de Système GPR Radar commercialisé.....	(29)
---	------

III.9 Conclusion .....	(29)
------------------------	------

### **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

IV. Introduction.....	(31)
-----------------------	------

IV.2. Présentation de l'outil de simulation.....	(31)
--	------

IV.3 Simulation et résultats.....	(32)
-----------------------------------	------

IV.3 Résultats et simulation.....	(33)
-----------------------------------	------

IV.3.1 S11.....	(33)
-----------------	------

IV.3.2 VSWR .....	(33)
-------------------	------

IV.3.3 Efficacité.....	(34)
------------------------	------

IV.3.4 Gain.....	(34)
------------------	------

IV.3.5. Distribution de courant.....	(35)
--------------------------------------	------

IV.3.6 Diagrammes de rayonnement .....	(36)
--	------

IV. 4 Réalisation d'un prototype et validation du coefficient de réflexion .....	(39)
IV. 5 Test de l'antenne pour l'application GPR.....	(40)
IV. 6 Conclusion.....	(41)
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>(42)</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>(43)</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>(44)</b>



# Liste des figures

---

## Table des Illustrations

### Chapitre I : les antennes planaires

#### Figures

- Figure (I.1)** : Représentation schématique de l'antenne.....[2]
- Figure (I.2)** : Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.....[3]
- Figure (I.3)**: Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture.....[3]
- Figure (I.4)** : Représentation de la polarisation verticale et horizontale.....[5]
- Figure (I.5)** : Représentation de l'impédance de l'antenne.....[6]
- Figure (I.6)**: Exemple /S11/ d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante -10 dB.....[7]
- Figure (I.7)**: Présentation d'une antenne imprimée..... [8]
- Figure (I.8)** : Divers types d'éléments rayonnants.....[9]
- Figure (I.9)**: Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale.....[10]
- Figure (I.10)** : Alimentation par ligne Micro ruban.....[10]
- Figure (I.11)** : Alimentation par couplage électromagnétique a une ligne micro ruban.....[11]

### Chapitre II :les antennes Ultra Large Bande

#### Figures

- Figure (II.1)** :Différentes applications de l'Ultra Large Bande.....[15]
- Figure (II.2)**:Densité spectrale de PIRE : systèmes ULB et autres systèmes radio.....[18]
- Figure (II.3)**: antenne monopole sur plan de masse.....[21]
- Figure (II.4)**:Antenne monopôle elliptique.....[21]
- Figure (II.5)**:Antenne monopôle circulaire.....[22]
- Figure (II.6)** :Antenne monopôle large fente.....[22]

### Chapitre III : les antennes pour pénétration des surfaces

#### Figures

- Figure (III.1)** : Principales éléments composants un système GPR.....[24]

## Liste des figures

---

- Figure (III.2):**Schéma de différentes antennes de type cornet.....[26]
- Figure (III.3) :** conducteur métallique est indiqué en noir dans les schémas d'une antenne nœud papillon (à droite) et son équivalent en fente (à gauche).....[27]
- Figure (III.4):**Différentes mises en œuvre d'antennes en nœud papillon sont représentées schématiquement. Le conducteur métallique est représenté par une ligne noire.....[27]
- Figure (III.5):** Système Geo-radar Discovery Plus (8S).....[29]
- Chapitre IV : Résultats et Discussions**
- Figure**
- Figure (IV.1) :** Structure en 3D de l'antenne ULB simulée.....[32]
- Figure (IV.2) :** Géométrie de l'antenne monopole proposée.....[32]
- Figure (IV.3) :** Variation de  $S_{11}$  en fonction de la fréquence.....[33]
- Figure (IV.4) :** Variation de VSWR en fonction de la fréquence.....[34]
- Figure (IV.5):** Efficacité en fonction de la fréquence.....[34]
- Figure (IV.6):** Gain de l'antenne en fonction de la fréquence.....[35]
- Figure (IV.7):** Distribution de courant sur la surface de l'antenne à (a) 4.5 GHz, (b) 8 GHz, (c) 11 GHz..... [36]
- Figure (IV.8):** Diagramme de rayonnement dans le plan E pour différentes valeurs de fréquences (a) 4.5 GHz, (b) 8 GHz, 11 GHz..... [37]
- Figure (IV.9):** Diagramme de rayonnement dans le plan H pour différentes valeurs de fréquences (a) 4.5 GHz, (b) 8 GHz, 11 GHz.....[38]
- Figure (IV.10):**Prototype de l'antenne ULB fabriqué.....[39]
- Figure (IV.11) :** Mesure de  $S_{11}$  avec l'analyseur de réseau.....[39]
- Figure (IV.12) :** coefficient de réflexion de l'antenne (mesuré et simulé).....[40]
- Figure (IV.13) :** couche de sol en contacte directe avec l'antenne.....[40]
- Figure (IV.14) :**coefficient de réflexion de l'antenne (mesuré).....[41]
- Figure (IV.15) :**coefficient de réflexion de l'antenne (mesuré).....[41]

## Liste des tableaux

---

**Tableau I.1** : Comparaison des différentes techniques d'alimentation..... (11)

**Tableau I.2** : Différentes techniques d'alimentation présentent des avantages et des inconvénients..... (12)

## Liste des abréviations

---

UWR : Ultra Wide Bande

ULB : Ultra large Bande

FCC : Federal Communication Commission

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

WiMax : Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN : Wide Local Area Network

GPR : Ground Penetrating Radar en Anglais ou Radar à pénétration de surface.

CST : Computer Simulation Technology

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio.

ROS : Rapport d'ondes stationnaire

BP : Bande passante

dB : décibel (unité de mesure logarithmique)

GHz : Giga hertz

MHz : Méga hertz

BP : Bande passante

EM : Electrons Magnetique

Radar : Radio Detection And Ranging

Umax : Intensité de rayonnement maximale

2D et 3D: Deux et trois dimensions.

$\alpha$  : Coefficient d'atténuation.

$\gamma$ : Constante de propagation.

C : Condensateur

Fl: les fréquences limites basses du spectre de signal

fr : Fréquence de résonance.

G : Conductance.

h : Epaisseur du substrat.

## Liste des abréviations

---

L : Longueur de patch

$\lambda$ : Longueur d'onde.

S11 : Coefficient de réflexion.

D : Directivité d'une antenne.

H : Champ magnétique

E : Champ électrique

P : La puissance transmise

Pr : Puissance de réception

t : épaisseur du patch.

W : Largeur du patch,

Zant : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

v : vitesse de propagation dans le sol



# **Introduction Générale**

---

# Introduction Générale

---

Au fil du temps, le secteur des télécommunications a progressé technologiquement. En raison de la forte demande de la population et de l'industrie ces dernières années. Les antennes sont découvertes parmi les soucis à cet endroit. Ce sont des composants nécessaires à l'émission ou à la réception d'ondes électromagnétiques dans l'atmosphère ou l'espace terrestre. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.[1]

Pour répondre aux exigences actuelles du secteur des télécoms, les antennes imprimées présentent plusieurs avantages en termes de poids, de volume, de coût, de facilité de fabrication et, surtout, de capacité à être implantées sur pratiquement n'importe quel appareil électronique. La bande passante limitée, le faible gain et la capacité de résonner à une seule fréquence sont tous des inconvénients de cette forme d'antenne.

Les antennes planaires sont maintenant un sujet brûlant parmi les universitaires en raison de leurs nombreuses utilisations tels que les applications GPR (ground penetrating radar) pour la détection des objets enfuits.

Le premier chapitre résume des généralités sur les antennes micro rubans et leur fonctionnement et des définitions des éléments constitutifs de l'antenne patch.

Le second chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation de la technologie ULB et à ses principales applications. Nous nous sommes attachés à souligner et décrire les différentes antennes ULB.

Le troisième chapitre, nous dresserons un profile concernant les radars GPR. Nous présentons d'abord quelques bases comme La définition de radars GPR, et les antennes pour les GPR qu'utilise cette technique et particulière Les principaux types d'antennes large bande utilisées en GPR. Nous passerons ensuite les avantages et les application. Enfin, nous présenterons un exemple des système GPR Radar commercialisé de cette technologie.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude d'une antenne monopole UWB par l'utilisation de logiciel CST MWS pour une application GPR, nous allons faire une petite présentation du logiciel CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio et puis nous allons représenter le model simulé et les résultats issus de la simulation et en termine notre chapitre avec un test GPR pour vérifier l'aptitude de pénétration de l'antenne.



# **Chapitre I**

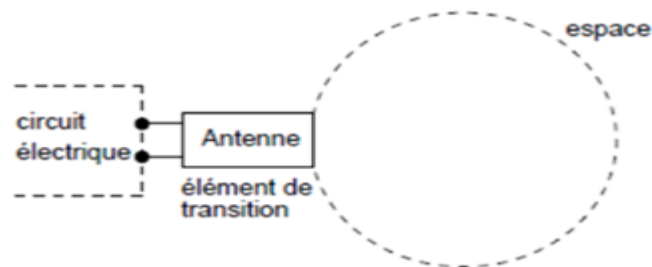
## Les antennes planaires



## I.1. Généralité sur les antennes

### I.1.1. Définition d'une antenne

Une antenne est un dispositif de transformation qui convertit un signal radio diffusé dans un espace ouvert en courant électrique et vice versa. En conséquence, une distinction est faite entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice. La fonction de l'antenne électromagnétique est de convertir l'énergie électromagnétique dirigée du générateur en énergie radiante, et elle sert comme un transducteur. D'autre part, l'antenne de réception peut capter l'énergie rayonnée et la convertir en énergie électromagnétique dirigée. Les antennes émises et reçues peuvent être considérées comme interchangeables car elles peuvent être remplacées sans affecter la qualité de la connexion. [1].



**Figure(I.1) :** Représentation schématique de l'antenne [1]

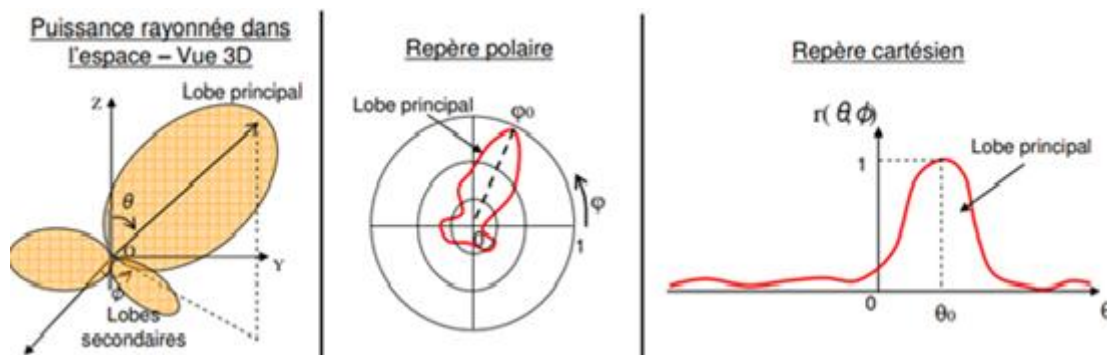
### I.1.2 : Caractéristiques « classiques » des antennes

De nombreux paramètres de base, tels que la polarisation, l'impédance d'entrée de l'antenne, le diagramme de rayonnement, le gain et l'efficacité, sont utilisés pour décrire les performances de l'antenne. Parce que nous les utilisons sur une large gamme de fréquences, ces paramètres ont une dépendance de fréquence plus élevée que les systèmes à bande étroite. Il est donc nécessaire de les introduire pour pouvoir les utiliser lors de futures mesures de prototypes.[2]

#### I.1.2.1. Diagramme de rayonnement

La géométrie de l'antenne détermine son diagramme de rayonnement, mais elle peut aussi varier en fonction de la fréquence. Les antennes, contrairement aux antennes omnidirectionnelles, ne rayonnent pas de puissance uniformément dans l'espace. La fonction d'irradiance caractéristique est dans ce cas égale à 1, quelle que soit la direction. La force est normalement concentrée dans un ou plusieurs «lobes». La direction préférée du rayonnement

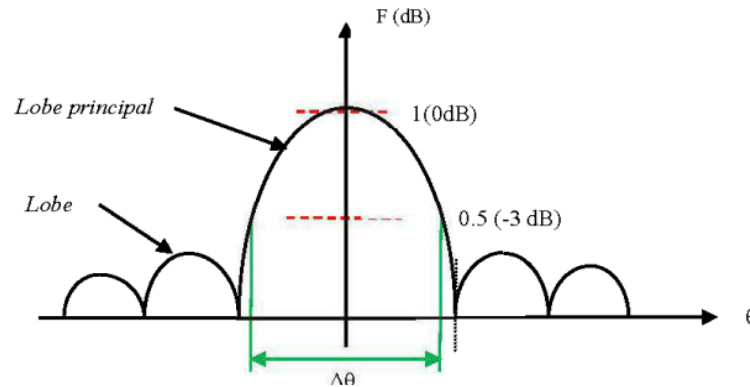
correspond au lobe primaire. Les lobes latéraux sont des lobes parasites dans la majorité des cas. Nous essayons de diluer l'énergie radiante qui a été perdue dans ces directions. La fonction d'irradiance caractéristique est tracée dans le diagramme de rayonnement, qui varie entre 0 et 1 selon la direction. Il peut être représenté de différentes manières (Figure 01). Le diagramme de rayonnement de l'antenne est généralement représenté sur des plans horizontaux ( $\vartheta = 90^\circ$ ). Dans ces directions, l'énergie rayonnante est perdue, nous essayons donc de la diluer. La fonction d'irradiance caractéristique ( $\vartheta, \varphi$ ), qui varie entre 0 et 1 selon la direction, est tracée dans le diagramme de rayonnement. Cela peut être représenté sous diverses formes (Figure 01). En général, le diagramme de rayonnement de l'antenne est représenté dans les plans horizontal ( $\vartheta = 90^\circ$ ) et vertical ( $\varphi = \text{constant}$ ), ou dans les niveaux E et H.. [3][9]



**Figure (I.2) :** Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne [3]

### I.1.2.2. Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture détermine la taille du lobe principal (taille du faisceau). La fraction d'espace dans laquelle se trouve la plus grande puissance rayonnante est l'angle d'ouverture de 3 dB. C'est l'angle formé par les deux directions entourant le lobe primaire, où la puissance rayonnée dans la direction du rayonnement maximal est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction opposée. [3][4].



**Figure(I.3) :** Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture[4]

### I.1.2.3. Directivité, gain et rendement d'une antenne

Ces trois grandeurs décrivent comment une antenne convertit la puissance électrique incidente en puissance électromagnétique rayonnée dans une direction spécifique. Le gain et la directivité vous permettent de comparer les performances d'une antenne à celles de l'antenne isotrope, qui sert de référence.[3][5]

- **Directivité**

La relation entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\theta, \varphi)$  et la puissance rayonnée par une antenne isotrope est la directivité  $D(\theta, \varphi)$  d'une antenne dans une direction donnée  $(\theta, \varphi)$ . [3][5]

$$D(\vartheta, \varphi) = \frac{P(\vartheta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi}} = 4\pi = \frac{P(\vartheta, \varphi)}{P_r} \quad (\text{I.1})$$

- **Gain**

Le rapport de la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\theta, \varphi)$  à la puissance rayonnée par une antenne isotrope sans pertes est le gain d'antenne  $G(\theta, \varphi)$  dans une direction donnée  $(\theta, \varphi)$ .  $G$  est le gain dans la direction maximale du rayonnement en général  $(\theta_0, \varphi_0)$ . La capacité d'une antenne à concentrer la puissance rayonnée dans une direction spécifique est décrite par cette propriété. [3]

$$G(\vartheta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\vartheta, \varphi)}{P_a} \Rightarrow G = 4\pi \frac{P(\vartheta_0, \varphi_0)}{P_a} \quad (\text{I.2})$$

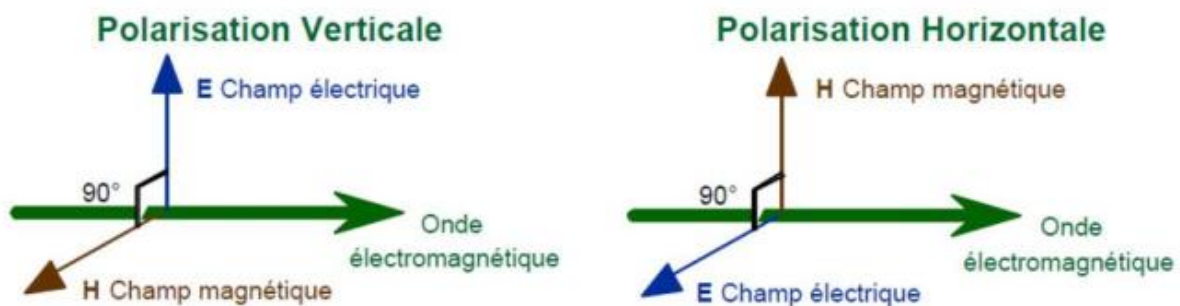
- **Rendement**

La sortie d'une antenne est déterminée par la puissance totale par unité d'angle solide qu'elle rayonne lorsqu'elle est alimentée par un Pa [5].

$$Pr = n. Pa \Rightarrow G = n. D \quad (I.3)$$

#### I.1.2.4. La polarisation d'une antenne

La polarisation d'un champ électromagnétique est définie comme la direction du champ électrique. La polarisation est généralement représentée comme une ellipse. La polarisation elliptique est divisée en deux types: la polarisation linéaire et la polarisation circulaire. La polarisation elliptique peut être divisée en deux types. La polarisation initiale d'une station radio est déterminée par l'antenne. La polarisation des antennes omnidirectionnelles est toujours verticale. La polarisation elliptique peut être divisée en deux types. La polarisation initiale d'une station radio est déterminée par l'antenne. La polarisation des antennes omnidirectionnelles est toujours verticale.[6]



**Figure(I.4) :** Représentation de la polarisation verticale et horizontale [5]

#### I.1.2.5. L'impédance d'entrée

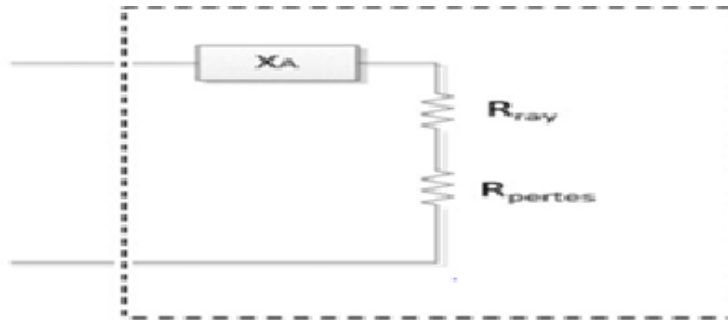
Dans l'impédance d'entrée de l'antenne, la relation entre la tension et le courant aux bornes de l'antenne, ou la relation entre les composants électriques et magnétiques appropriés, est définie. L'expression de l'impédance d'entrée d'une antenne.  $Z_{ant}$  est divisé en deux parties, une vraie  $R_{ant}$  et l'autre imaginaire  $X_{ant}$ , et s'écrit comme suit. [1] :

$$Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant} \quad (I.4)$$

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

Le véritable test de ténacité  $R_{ant}$  s'écrit comme suit :  $R_{ant} = R_{pertes} + R_{ray}$

**Rant:** en capsule une partie de la perte due aux pertes de matériaux ohmiques et diélectriques, ainsi que la résistance au rayonnement de l'antenne



**Figure (I.5) :** Représentation de l'impédance de l'antenne [1]

#### I.1.2.6. Le coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion donne le transfert d'énergie par l'antenne (l'adaptation de l'antenne) qui est lié à l'impédance d'entrée par la relation suivante [1] :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \quad (I.5)$$

Pour une antenne d'impédance  $Z_{ant}$ , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique  $Z_c$ . Avec :  $Z_c = 50 \text{ ohm}$

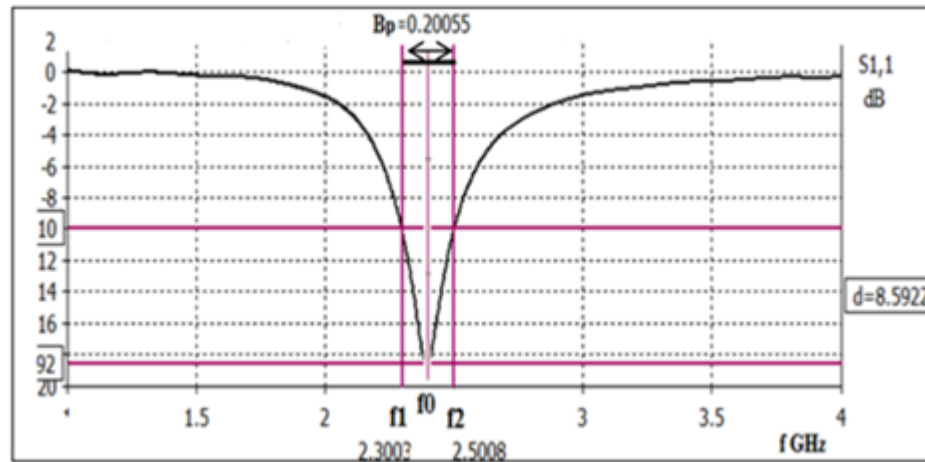
Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté  $|S_{11}|$  et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log(|S_{11}|)$$

#### I.1.2.7 la bande passante

La bande de trafic adaptative, également appelée bande passante, est un ensemble de fréquences dont le coefficient de réflexion est inférieur à un certain seuil. La courbe du coefficient de réflexion est fréquemment utilisée pour déterminer la largeur de la bande d'antenne. [6]

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



**Figure(I.6) :** Exemple /S11/ d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et représentation de la bande passante -10 dB [6]

### I.1.2.8 Rapport d'ondes stationnaires (ROS)

Ce paramètre est un indicateur du bon fonctionnement du système d'alimentation d'une antenne qui est évaluée par le rapport entre le maximum et le minimum de tension mesurés sur la ligne au niveau d'un ventre de tension [7].

$$\text{ROS} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} \quad (\text{I.7})$$

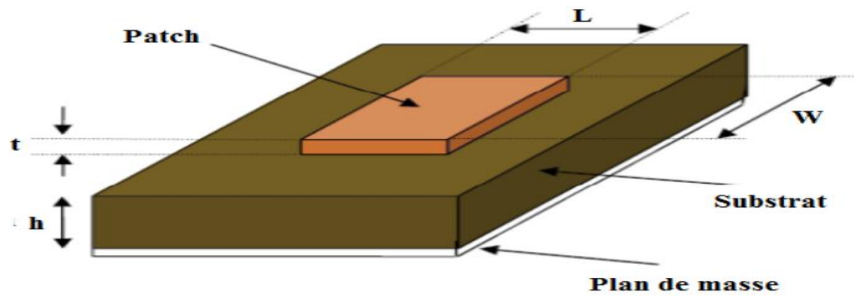
On peut aussi l'évaluer à partir du coefficient de réflexion :

$$\text{ROS} = \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (\text{I.8})$$

## I.2. Présentation générale d'une antenne planaire.

### I.2.1 Définition d'une antenne patch

L'antenne patch ou également appelée micro ruban, est un élément transducteur. est composée d'une zone de métallisation supportée par un plan de masse par un substrat diélectrique sur lequel est imprimée une forme conductrice (Cuivre ,Or, etc. ) mince et alimenté contre le sol à un emplacement approprié (figure II. 7). [8][9]



**Figure (I.7) :** Présentation d'une antenne imprimée [12]

$L$  : Longueur du patch,  $t$  : épaisseur du patch.

$W$  : Largeur du patch,  $h$  : épaisseur du substrat.

### I.2.2 Caractéristique de base

Les antennes micro ruban sont souvent intégrées à d'autres circuits hyperfréquences, un compromis doit être atteint entre de bonnes performances d'antenne et la conception du circuit. Souvent, les antennes micro ruban sont également appelées antennes patch. Les éléments rayonnants et les lignes d'alimentation sont généralement photogravés sur le substrat diélectrique. Le patch rayonnant peut être carré, rectangulaire, en bande mince (dipôle), circulaire, elliptique, triangulaire ou de toute autre configuration. Ceux-ci et d'autres sont illustrés dans la figure(II.2). Les carrés, rectangulaires, dipôles (bandes) et circulaires sont les plus courants en raison de leur facilité d'analyse et de fabrication, et de leurs caractéristiques de rayonnement attrayantes, en particulier de faible rayonnement de polarisation croisée. Les dipôles micro rubans sont attractifs car ils possèdent intrinsèquement une large bande passante et occupent moins d'espace.[8]

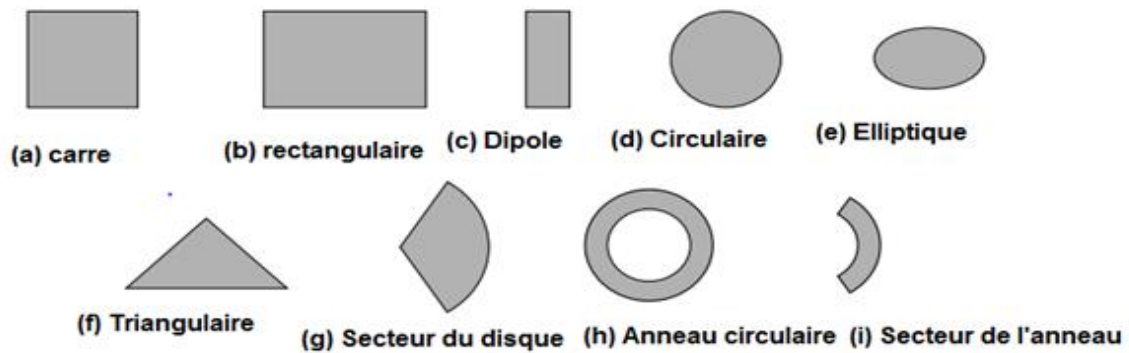


Figure (I.8) : Divers types d'éléments rayonnants [II.11]

### I.2.3 Avantages et inconvénients des antennes patch micro ruban

Les antennes patch micro ruban ont plusieurs avantages qui les rendent attrayantes pour beaucoup d'applications, Elles couvrent une large gamme de fréquence de 100MHz à 100GHz. Ces avantages sont [9] :

- Planaire, qui peut également être rendu conforme.
- Bonnes performances.
- Faible poids.
- facilité de miniaturisation
- Faible cout de fabrication
- souplesse d'installation

**D'autre part, elles ont quelques inconvénients principaux :**

- Bande passante étroite.
- Faible gain.
- Faible efficacité de rayonnement.
- Faible pureté de polarisation.

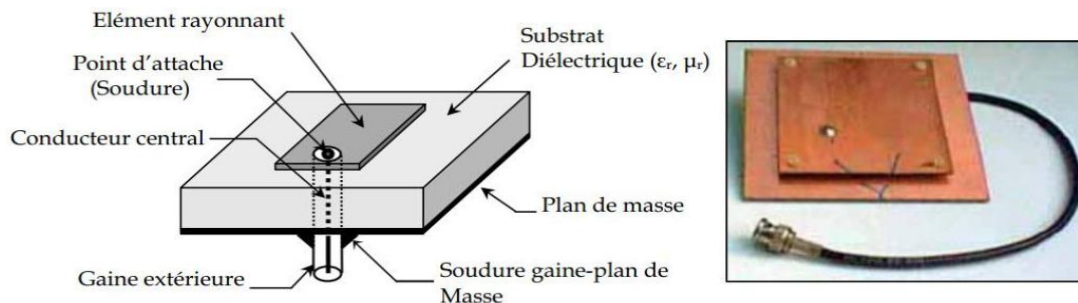


### I.2.4 Technique d'alimentation de l'élément rayonnant

Nous décrivons brièvement ici quatre méthodes d'alimentation pour l'antenne micro ruban[10].

#### I.2.4.1 Alimentation par sonde coaxiale :

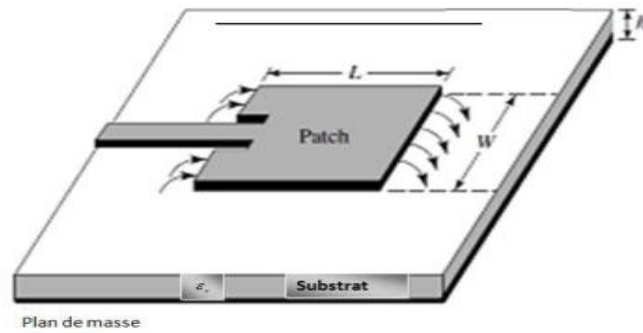
L'alimentation par câble coaxial peut être représentée comme étant un courant électrique filiforme, allant du plan de masse vers la plaque conductrice de l'antenne. Ce type d'alimentation simple, directement compatible avec les câbles coaxiaux facile a obtenir une correspondance d'entrée en ajustant la position d'alimentation.[10]



**Figure (I.9) :** Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale[6]

#### I.2.4.1 Alimentation par ligne micro-ruban

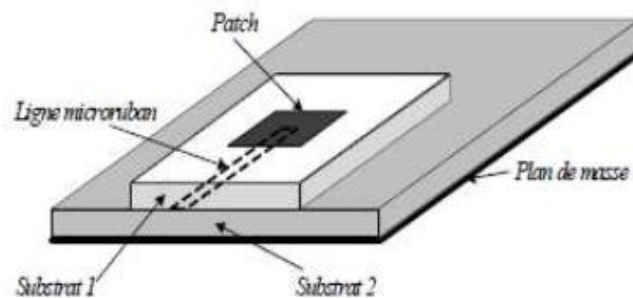
Une bande de cuivre est connectée directement au bord du microruban dans ce type d'alimentation. La bande de cuivre est plus petite que le patch. Ce type d'alimentation a l'avantage de pouvoir être imprimé du même côté de l'antenne, d'être simple à réaliser, et de s'adapter facilement à la fréquence. C'est l'un des types les plus courants d'antennes imprimées. Elle est obligée d'émettre des rayonnements parasites, ce qui est une gêne inévitable[11]



**Figure (I.10) :** Alimentation par ligne Micro ruban [10 ]

#### I.2.4.2 Alimentation par le couplage par proximité

Ce type d'alimentation a la meilleure bande passante, est facile à modéliser et émet le moins de rayonnement parasite. L'impédance de l'antenne peut être ajustée en ajustant la distance entre la ligne d'alimentation et le patch. L'inconvénient le plus important de ce régime est qu'il est difficile à suivre.[11]



**Figure(I.11) :** Alimentation par couplage électromagnétique a une ligne micro ruban[13]

Les caractéristiques des différentes techniques diététiques sont résumées dans le tableau I.1

<b>Caractéristiques</b>	<b>Alimentation par ligne micro ruban</b>	<b>Alimentation par câble coaxial</b>	<b>Alimentation par couplage de proximité</b>
<b>Rayonnement Parasite d'alimentation</b>	Plus	Plus	Minimum
<b>Fiabilité</b>	Meilleure	Bonne	Faible a cause de la soudure
<b>Facilité de fabrication</b>	Facile	Nécessite une soudure et un perçage	nécessité d'alignement
<b>Adaptation d'impédance</b>	Facile	Facile	Facile
<b>Bande passante</b>	2-5%	2-5%	13%

**Tableau I.1 : Comparaison des différentes techniques d'alimentation [12]**

Le tableau ci-dessous présente une comparaison des alimentations contact (câble coaxial et ligne microbande) et alimentation sans contact (par couplage)

Méthodes		Avantages	Inconvénients
Sonde coaxiale		-La réfraction linéaire ne provoque aucune perte. -Le choix d'un mode préféré est une option. -Positionnement de la sonde pour obtenir une impédance d'entrée appropriée Pour les substrats de faible hauteur.	-Dans le cas d'un substrat dense, la réponse inductive supplémentaire de la sonde a un effet sur la bande passante. - L'agent du connecteur a été choisi pour diriger un groupe autonome.
Alimentation avec contact			
microruban	Ligne	- L'impression du même côté de l'antenne que le circuit d'alimentation est la procédure technologique la plus élémentaire.	-- Rayonnement parasite d'une discontinuité aéronautique sur une ligne Il est possible d'avoir un rayonnement parasite d'une distribution millimétrique. circuit.
Alimentation Sans contact	Par couplage	-Conception de circuit d'alimentation d'aviation qui est modifiable. - En raison de l'augmentation de la hauteur, la bande passante plus large a été ajoutée.	-Un substrat à deux couches sera nécessaire. - Intégration de dispositifs actifs et dissipation thermique difficiles

**Tableau (I.2) :** Différentes techniques d'alimentation présentent des avantages et des inconvénients. [12].

### I.2.5 Application des antennes imprimées

Ce type d'antenne capable de répondre aux exigences technologique en raison de plusieurs avantages, elles couvrent ainsi un bon nombre d'application, parmi lesquelles on peut citer :[10]

- Communications par satellite.
- Commandement et contrôle, surveillance par missiles et équipement portable
- Composants de nutrition présents dans des antennes complexes.
- Antennes de diffusion utilisées en médecine.
- Les récepteurs de navigation par satellite sont des récepteurs qui reçoivent les signaux des satellites.

**I.3. CONCLUSION**

Dans la première partie de ce chapitre on a présenté les différents paramètres fondamentaux de la théorie des antennes, caractéristiques des antennes: diagramme de rayonnement, directivité, gain, polarisation...etc. Puis on a présenté également quelques différentes techniques d'alimentation avec leurs avantages et inconvénients.



## **Chapitre II**

Les antenne Ultra Large Bande

## II-La Technologie Ultra Large Bande

### II.1 Introduction

L'industrie des télécoms doit désormais répondre à un besoin pressant de réseaux radio à très haut débit. En réponse au besoin accru d'applications multimédia sans fil, la communauté scientifique s'intéresse particulièrement à la technologie ultra large bande, qui consiste à utiliser des bandes de fréquences allant de 500 MHz à plusieurs GHz. La large gamme de fréquences de la technologie ULB la distingue des autres technologies [1].

Dans ce chapitre, nous étudierons des généralités sur la technologie Ultra Large Bande (ULB) tel qu'est une technologie de transmission radio qui consiste à utiliser des signaux dont le spectre s'étale sur une large bande de fréquences. Nous présentons d'abord quelques bases comme l'historique et La définition de cette technologie, et les applications qu'utilise cette technique. Ainsi que ses caractéristiques qui en font une technologie innovante et particulière. Nous passerons ensuite parla présentation des antennes ultra-large bande(ULB). Enfin, nous citons les avantages et les inconvénients de cette technologie.

### II.2 Historique

Nous avons principalement visé à abaisser la bande passante nécessaire pour envoyer ces informations avec un taux d'erreur acceptable afin de faire face à l'encombrement des bandes de fréquences utilisées pour la transmission des informations. La notion d'ultra large bande n'a ravivé l'attention que récemment, il y a une dizaine d'années, grâce à l'avancée des transmissions à courte distance.

Depuis les années 1960, la création d'impulsions ultracourtes est un domaine de recherche qui a suscité l'intérêt des chercheurs et de l'industrie.

Ross et Bennett ont été les premiers à étudier la propagation des ondes électromagnétiques d'un point de vue temporel plutôt que fréquentiel dans les années 1960. Des applications liées à cette nouvelle approche, telles que les communications et les radars, émergent dans son application. [2]

L'expression Ultra Wide Band apparaît pour la première fois dans un article du Département de la Défense des États-Unis en 1989. La majorité du développement de cette technologie a eu lieu sous les auspices de projets (militaires) américains secrets.

Depuis 1994, les projets américains sont ouverts au public. Ce fait se traduira par un essor spectaculaire de l'activité de recherche sur la technologie de l'ULB, d'abord aux États-Unis, puis dans le monde, suscitant un intérêt substantiel dans la communauté des

communications puisque l'ULB implique la perspective d'atteindre des débits extrêmement élevés. [3]

La Fédéral Communication Commission (fcc), l'agence de régulation des réseaux de communication des États-Unis, a proposé un avis d'enquête en 1998 pour inclure les systèmes ULB dans le cadre de la réglementation "section 802.15" contrôlant les émissions de radio.[4]

La FCC (Federal Communication Commission), organisme américain de régulation des communications, a commencé à réglementer l'Ultra large bande le 14 février 2002. Elle établit les niveaux de puissance maximum admissibles (- 41 dBm/MHz pour la bande haute) et en propose une description claire. [5]

### II.3 Définition de l'Ultra Large Bande

Ultra Wide Band, ou UWB, est un nom général pour les systèmes qui transmettent et reçoivent des ondes avec une bande passante relative LBR (bande passante fractionnaire) supérieure ou égale à 0,25 GHz . La largeur de bande relative LBR est définie de la façon suivante :

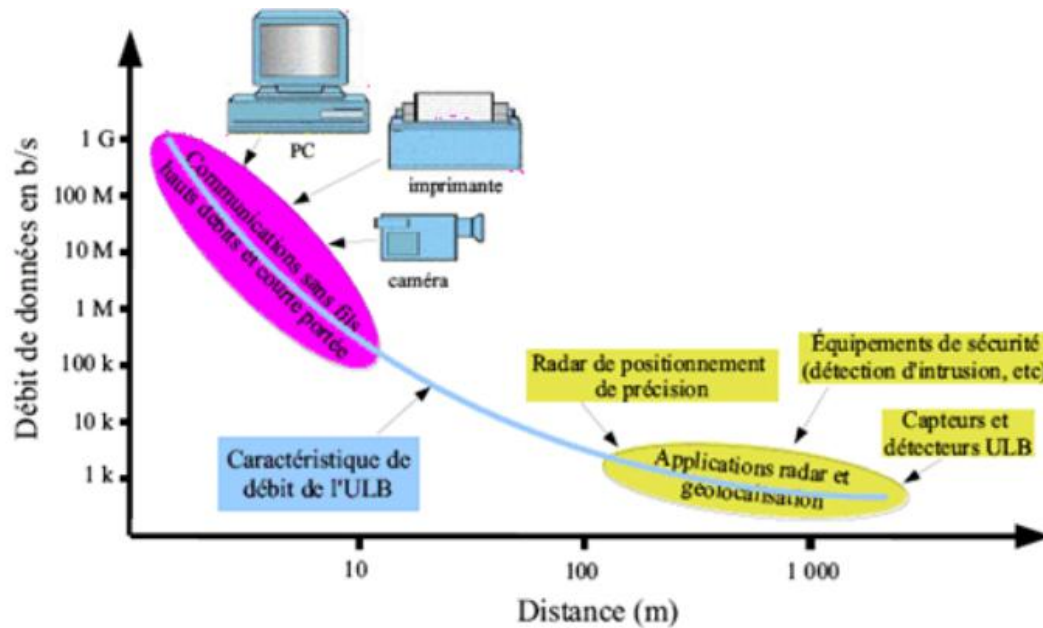
$$LBr = Fh - Fl / Fc \text{ avec } Fc = Fh + Fl / 2 \text{ (II. 1)}$$

Dans cette expression, fc représente la fréquence centrale de la transmission, fh la fréquence supérieure de la bande de fréquences et fl la fréquence inférieure de la bande de fréquences.

La DARPA a fourni la définition initiée de l'Ultra Wide Band (The Defense Advanced Research Project Agency). L'antenne vaut plus de 0,25. De plus la FCC définit une antenne UWB comme ayant une bande passante de plus de 500 MHz. Selon la FCC, les fréquences les plus hautes et les plus basses de la bande passante sont définies comme les fréquences auxquelles la puissance rayonnée est de -10 dB de sa valeur maximale[6] .

### II.4 Les applications de l'ULB





**Figure II.1:** Différentes applications de l'Ultra Large Bande.[7]

L'UWB possède un certain nombre de caractéristiques uniques et distinctives qui le rendent attrayant pour une variété d'applications :

#### II.4.1 ULB pour la communication

L'UWB peut être utilisé comme approche de communication sans fil pour permettre des taux de transmission réseau extrêmement rapides sur de courtes distances tout en utilisant très peu d'énergie. L'UWB pourrait remplacer les systèmes câblés actuels, malgré le fait que la vitesse de communication diminue rapidement avec la distance.

UWB a la capacité de fonctionner à des débits Wi-Fi, ce qui le place en concurrence directe avec IEEE 802.11.

#### II.4.2 Localisation UWB

Les objets doivent être situés à l'intérieur d'installations fermées, ce qui est devenu une exigence standard. Le suivi des personnes sur les lieux de travail ou la localisation de véhicules autonomes guidés dans les zones industrielles en sont deux exemples. Savoir comment accomplir cela avec précision peut ouvrir un tout nouveau monde de possibilités pour des applications plus complexes.

L'UWB est l'une des technologies qui peuvent être évaluées dans le contexte du chapitre 1 Technologie ultra large bande 16. L'UWB semble être un choix attrayant pour des mesures précises de distance et de position en raison de sa large bande passante de signal et de sa courte durée de domaine temporel. Plusieurs caractéristiques du placement UWB seront abordées dans cette section [8].

### 1.5.3 Application médicale

#### II.5.3. a Dispositifs sans fil sans contact

Pour éviter l'infection, les plateaux opérationnels doivent maintenir un environnement stérile. Lorsque des dispositifs non stériles doivent être utilisés pendant une opération (par exemple, pour allumer la lumière ou pour écrire des procédures à l'aide d'un stylo), il s'agit d'une préoccupation typique. Par conséquent, il est essentiel d'adopter des équipements et des technologies sans contact. L'ULB pourra peut-être contribuer à répondre à cette demande. Ils s'adaptent facilement aux nécessités de la conception d'équipements sans fil sans contact et d'étapes de fonctionnement intelligentes où des commandes peuvent être envoyées sans fil pour effectuer certaines tâches.

#### II.5.3. b Radar ULB

Les impulsions électromagnétiques de l'ULB peuvent traverser le corps humain, ce qui les rend adaptées à l'imagerie médicale. Les indices de réflexion de divers corps de masse et tissus sont variables.

Étant donné que les signaux ULB sont des impulsions de courte durée, la différence des indices de réflexion peut être facilement exploitée pour fournir une image plus nette des organes, y compris les mouvements. L'ULB peut examiner plusieurs organes, notamment les cordes vocales, les vaisseaux sanguins, les intestins, le cœur, les poumons, la poitrine, la vessie et le fœtus.

#### II.5.3. c Télésurveillance continue

L'ULB est une technique qui peut être utilisée pour remplacer l'échographie pour la surveillance à distance des patients. Les patients peuvent être surveillés de manière non invasive et à distance pendant de longues périodes sans interruption.

La prise en charge à distance, sans contact et continue de la mère et de l'enfant en est un bon exemple. Le milieu médical nécessite l'utilisation de l'ULB pour les systèmes RFID afin de suivre l'état et l'emplacement exact des patients, des employés et des équipements vitaux.

De plus, la technologie ULB peut être utilisée pour incorporer des capteurs qui surveillent la fréquence cardiaque, la pression artérielle, la température et d'autres indicateurs vitaux et envoient les données sans fil. Par rapport aux capteurs filaires traditionnels, cela sera plus confortable pour les patients et les professionnels de la santé[9].

## II.6 Caractéristiques de la technologie Ultra Large Bande

La technologie ultra-large bande (ULB) présente certaines caractéristiques uniques :

**Faible susceptibilité à l'évanouissement dû à la propagation par trajets multiples:** Les systèmes de communication traditionnels (non ULB) peuvent souffrir d'un évanouissement dû à la propagation par trajets multiples, ce qui réduit leur efficacité. Le signal émis a une large bande passante dans le cas des communications ULB (résolution temporelle très fine). Des réflexions multiples avec des retards inférieurs à une nanoseconde peuvent être résolues et additionnées de manière constructive pour produire un gain équivalent à la propagation directe par trajet unique puisque la fenêtre de visualisation au niveau du récepteur est limitée.

**Une sensibilité moindre au brouillage:** Pour l'ULB, la FCC a établi une densité spectrale de puissance d'émission faible (PIRE maximale par MHz : -41,3 dBm). Sa gêne sur les autres systèmes est minimisée grâce à cette fonctionnalité.

**Communications protégées :** Parce qu'ils occupent une large bande passante et peuvent être créés d'une manière similaire au bruit, les signaux ULB sont plus secrets et peut-être plus difficiles à détecter que les signaux de communication radio traditionnels. peut être envoyé avec un code de synchronisation unique à des millions de bits par seconde et à un niveau de densité spectrale de puissance bien inférieur au bruit de fond des récepteurs radio traditionnels. Les signaux ayant une faible probabilité de détection (LPD) et une faible probabilité d'interception peuvent être envoyés en toute sécurité en utilisant ces qualités (LPI).

**Simplicité relative des systèmes:** Au lieu de moduler une onde sinusoïdale, les informations en bande de base dans les systèmes de communication sans fil utilisant la technologie ULB peuvent moduler directement de brèves impulsions. L'émetteur-récepteur ULB n'a pas de synthétiseur à boucle à verrouillage de phase, d'oscillateur commandé en tension, de mélangeur ou d'amplificateur de puissance dans cette configuration. Par rapport à l'émetteur-récepteur superhétérodyne, l'émetteur-récepteur ULB a une architecture relativement basique, ce qui peut entraîner des coûts d'équipement moins élevés.

**Propriétés de pénétration:** Les signaux ULB ont un degré élevé de pénétration à travers les murs et les obstacles, permettant une localisation de haute précision. Ces caractéristiques peuvent être intéressantes en imagerie médicale, par exemple [10].

## II.7 Utilisation de l'ultra large bande (ULB)

Les Etats-Unis est le premier pays à réglementer l'utilisation de l'Ultra large bande:

En février 2002, la FCC a limité les niveaux d'émission des signaux ULB pour un spectre de fréquences allant de 3.1GHz à 10.6GHz.

La figure 2 situe les systèmes ULB par rapport aux autres systèmes radio du point de vue de la densité spectrale de puissance émise.

L'essor récent des communications ultra large bande nécessite des antennes spécialement adaptées à cette technologie [11].

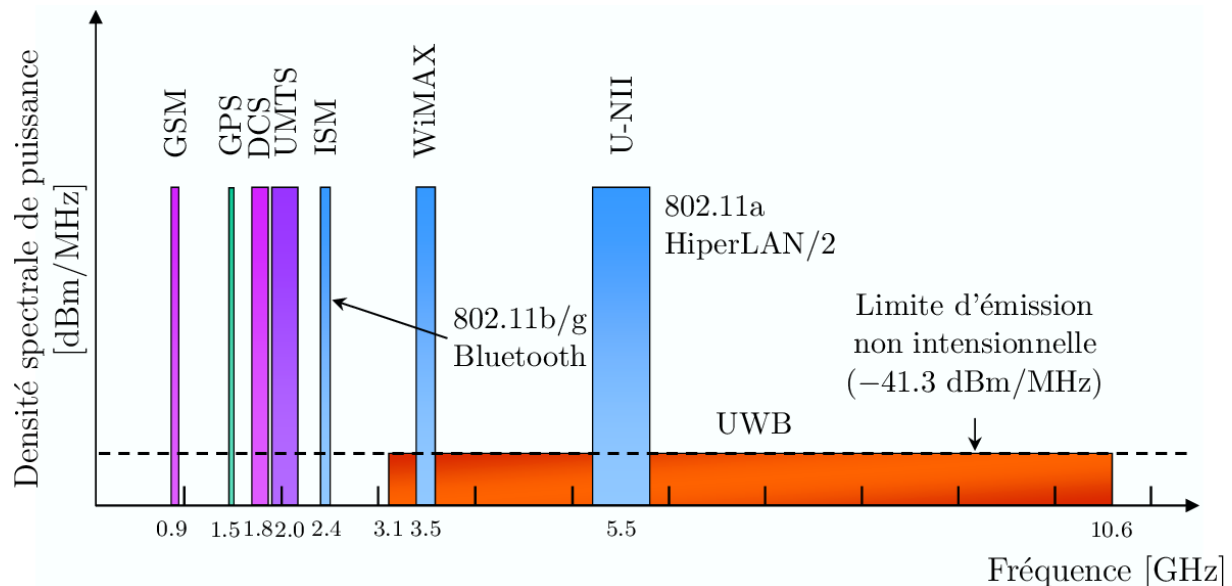


Figure II.2: Densité spectrale de PIRE : systèmes ULB et autres systèmes radio. [12]

## II.8 La bande de fréquence de 3.1GHz à 10.6GHz

La bande de fréquence 3.1 GHz à 10.6 GHz contient plusieurs bandes comme [13];

\*Wi-MAX de 3.3 GHz à 3.6GHz.

\* WLAN en Etats-Unis (5.15- 5.35 GHz, 5.725 - 5.825 GHz).

\*Hiper LAN/2 en Europe (5.15- 5.35 GHz, 5.725 - 5.825 GHz).

\*Les bandes de service par satellite comme la bande ITU de 8 GHz.

## II.9 Les avantages et les inconvénients de l'ULB

### II.9.1 Avantages

1- Les systèmes ULB peuvent fonctionner sans licence sur des bandes actuellement occupées par d'autres systèmes. Lorsque le spectre est particulièrement chargé, l'ULB s'adapte à la demande accrue de bande passante.

2- Des vitesses de transfert de données élevées sont possibles avec les systèmes ULB. En effet, la bande passante massive disponible permet des vitesses de transmission sensiblement plus rapides que les systèmes sans fil actuellement existants.

3-Les systèmes ULB sont assez peu complexes, en partie parce qu'ils ne nécessitent pas l'utilisation d'un étage intermédiaire à l'entrée du récepteur. Ces systèmes peuvent également être intégrés en une seule puce, quelques pièces seulement extérieures étant à cette puce, entraînant un faible coût de fabrication.

4- Parce que la résolution est inversement proportionnelle à la durée d'impulsion, les signaux ULB permettent une grande précision dans la mesure de distance[14] .

### **II.9.2 Inconvénients**

Elle présente également quelques inconvénients[15] :

1-Les types d'applications qui peuvent être construits avec cette technologie sont limités par sa faible couverture, sa très large bande passante et la faible puissance du signal UWB.

2-Le haut débit permet de traiter un signal très dense à une allure tolérable lors de la réception, ce qui est difficile à faire.

### **II .10 Les antennes ultra larges bande**

Une antenne peut être décrite comme un capteur qui convertit l'énergie électromagnétique guidée dans une ligne de transmission en énergie électromagnétique, mais une définition plus spécifique pour une antenne ultra large bande(ULB) est un élément rayonnant dont les caractéristiques désirées restent inchangées sur une large bande de fréquence de fonctionnement. Ces caractéristiques incluent la largeur de bande d'impédance, le diagramme de rayonnement et la stabilité de centre de phase.une caractéristique remarquable d'une antenne ULB est qu'elle a une capacité non dispersive pour éviter davantage la compensation d'impulsion.

### **II.10. Les différents types d'antennes UWB**

La largeur de la bande passante est, sans surprise, la première caractéristique qui distingue une antenne ULB des autres antennes. La bande passante, selon le concept de la FCC, est une bande relative instantanée supérieure à 0,25.

Les antennes ULB peuvent être classées en trois catégories selon les applications:

1-DC to day light: Les antennes conçues pour une bande passante maximale entrent dans cette catégorie.

2-Multi narrow band: Les antennes de cette catégorie sont conçues pour recevoir ou détecter des signaux sur une large gamme de fréquences à bande étroite. A un moment donné, ces antennes ne sont utilisées que dans des bandes restreintes.

3-Antennes ULB modernes: Avec l'approbation de la FCC, cette famille d'antennes a été créée pour la bande de fréquences 3,1-10,6 GHz. [16]

### II.10.1 Les antennes élémentaires

Cette famille d'antennes ULB représenterait une évolution des monopôles ou dipôles basiques en général. En effet, une caractéristique de ces antennes utilisées est que leur bande passante s'améliore au fur et à mesure que le diamètre, et donc la surface, de leur cylindre rayonnant augmente. La présence d'antennes de formes diverses, par exemple, en est le résultat.

#### II.10.1.1 L'antenne monopôles

Les antennes monopolaires sur les plans de masse, ainsi que leurs versions imprimées, nous intéressent. Différents types de monopôles sur les plans de masse sont représentés sur la figure 1. En termes de bandes passantes, les monopôles de formes circulaires et triangulaires fonctionnent bien. Nous ne regardons que les constructions parallèles au plan de masse.

En effet, il a été démontré que l'inclinaison de ces structures limite considérablement la bande passante.

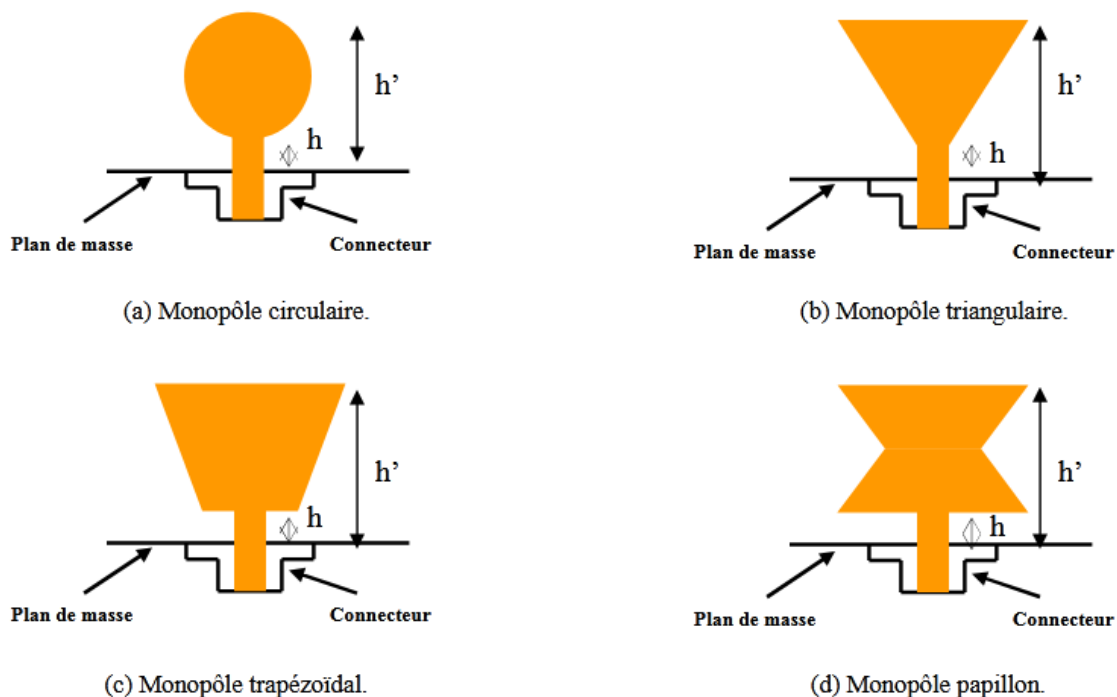


Figure II.3 : antenne monopole sur plan de masse. [17]

#### II.10.1.2 Exemples d'antennes monopoles imprimées

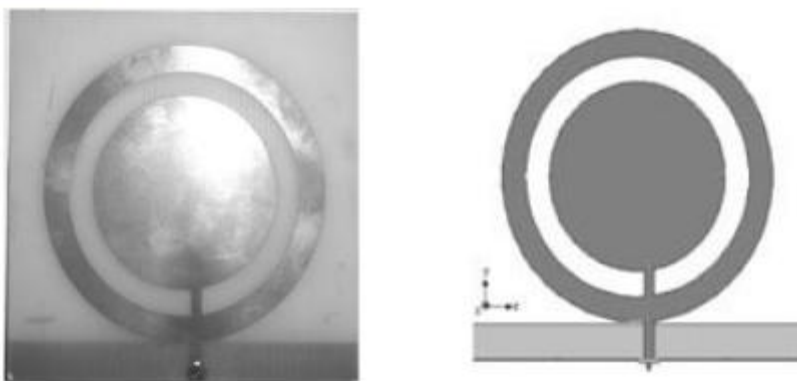
Les nombreux types d'antennes monopolistiques ULB qui sont couramment utilisés seront discutés dans ce paragraphe. Les caractéristiques géométriques de ces antennes, ainsi que la particularité du mode d'alimentation, ont été utilisées pour les classer. La bande passante de toutes ces antennes est plutôt grande.

La première catégorie est celle des antennes elliptiques ULB coplanaires (Figure 4) dans le sens où le plan de masse et la ligne microruban sont imprimés sur la même face du substrat.



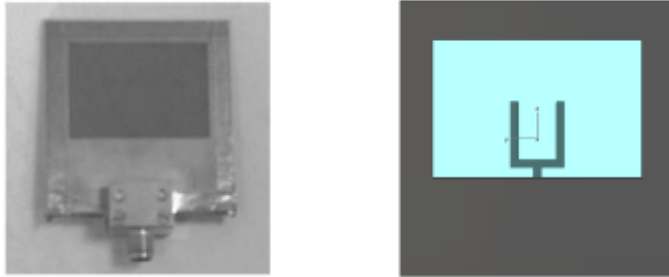
**Figure II.4** : Antenne monopôle elliptique [18]

La seconde catégorie est celle des antennes circulaires imprimées sur un substrat et alimentées par une ligne microruban dont le plan de masse se situe sur l'autre face du substrat.(Figure 5).



**Figure II.5** :Antenne monopôle circulaire [19]

La dernière catégorie d'antenne ULB est composée d'une ligne microruban en forme de fourche située entre deux substrats de même nature (Figure 6).



**Figure II.6** :Antenne monopôle large fente [20]

### II.10.1.3 Le but de l'antenne monopôle imprimée

Les antennes monopolistiques imprimées sont conçues pour combiner les performances des antennes monopolistiques avec les avantages des antennes imprimées. C'est-à-dire avoir des structures compactes, légères, peu coûteuses et simples à construire. Des lignes coplanaires ou micro-ruban peuvent être utilisées pour alimenter les antennes grâce à la technologie imprimée.

De ce fait, l'antenne peut être montée sur le même support que la source d'alimentation. Enfin, l'impédance d'entrée est réduite de moitié, permettant aux systèmes d'être plus adaptables [21].

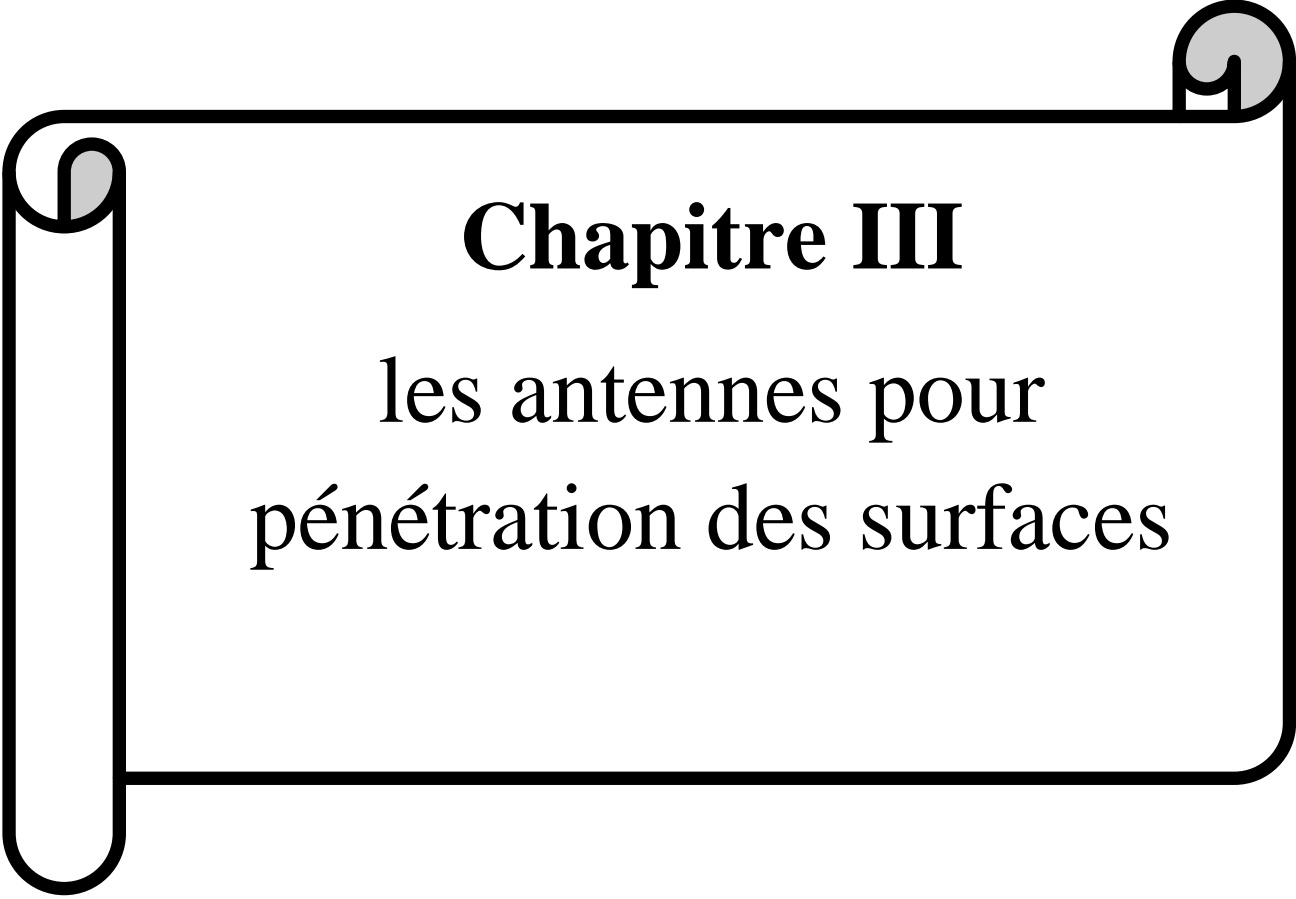
## II.11 CONCLUSION

Nous avons pu intégrer la technologie UWB dans le deuxième chapitre. L'UWB a été présenté dans cette brève histoire, en commençant par son utilisation dans le suivi radar et jusqu'à nos jours, quand il est d'une importance significative dans les communications sans fil. Les propriétés majeures de cette technologie, telles que sa vaste occupation spectrale et sa haute puissance de résolution temporelle, ont permis aux communautés scientifiques et industrielles d'envisager une variété d'applications attrayantes, y compris les réseaux WPAN.

Nous avons présenté présente les avantages et les inconvénients de l'ULB.



Nous avons finalement présenté les antennes ultra-large bande et les différents types. Comme nous l'avons vu, a envisage l'utilisation de la bande ultra-large bande pour les applications sans fil.



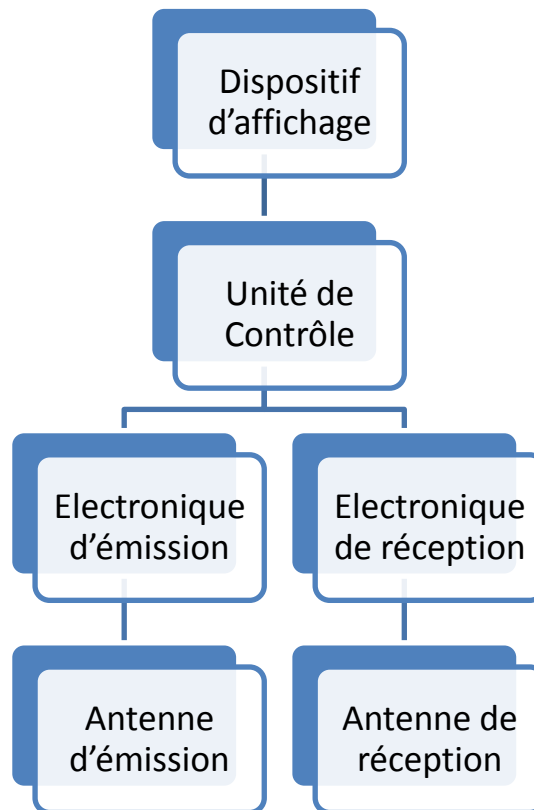
**Chapitre III**  
les antennes pour  
pénétration des surfaces

### III.1 Introduction

Le géo-radar, aussi appelé radar sol ou encore GPR (Ground Penetrating Radar) est une technique électromagnétique non destructives, rapide et facile à mettre en œuvre basée sur la propagation d'ondes électromagnétiques pour inspecter les sub-surfaces et les grands champs. Parmi les applications de cette technique est la détection des objets enfuis dans le sol tels que les nappes souterraines et elle est aussi employée pour deviner les variations des caractéristiques diélectriques dans le sol et aussi pour déterminer les caractéristiques géologiques et obstructions rocheuses et découvrir les zones excavées et remblayées. Le GPR est privilégié par rapport aux autres méthodes grâce à ses avantages [1].

### III.2 Définition

D'une manière générale, le principe de GPR repose sur deux antennes, l'une est employé pour l'émission d'ondes électromagnétiques, et l'autre à la réception de ces mêmes ondes. Les deux antennes sont reliées à une unité de contrôle et un dispositif d'affichage (ex. PC portable) pour le stockage et l'analyse des données. Lorsque les ondes émis par l'antenne d'émission rencontrent des changements de milieux, une partie est renvoyée vers la surface et captée par l'antenne réceptrice. Il est à noter que plus le sol est conducteur, moins on peut sonder profondément parce que l'énergie électromagnétique se dissipe en chaleur dans le milieu. Il est à noter aussi que plus la fréquence utilisée est élevée, meilleure est la résolution. Pour cela, la bande de fréquence utilisée en GPR s'étend de quelques MHz à quelques GHz [1]. Les systèmes GPR sont constitués des éléments suivants (figure (III.1)): [1]



**Figure (III.1)** : Principales éléments composants un système GPR [9].

### III.3 Equation du radar [1]

L'équation radar relie la puissance de l'antenne émettrice  $P_e$  et la puissance reçue  $P_r$  de l'antenne réceptrice :

$$P_r = \frac{P_e G_t G_r v^2 \sigma}{(4\pi)^2 f^2 r^2} \cdot e^{-4\alpha r} \quad (\text{III.1})$$

$G_t$  et  $G_r$  : gains de l'émetteur et du récepteur dans la direction de la cible,

$v$ : vitesse de propagation dans le sol,

$\alpha$ : coefficient d'atténuation du milieu,

$r$  : profondeur de la cible,

$\sigma$ : section efficace ou surface d'impact (calculée à partir des variations de permittivités entre la cible et le milieu environnant),

$f$ : fréquence de travail.

### III.4 Antennes pour le GPR[7]

### III.4.1 Les principaux types d'antennes large bande utilisées en GPR

Il existe de nombreux types distincts d'antennes, chacune avec son ensemble unique de propriétés, ce qui les rend appropriées pour des applications aussi diverses que les télécommunications, la radio-identification (identification par radiofréquence ou RFID), et même la GPR, qui nous intéresse davantage.

En raison des exigences uniques du GPR, tous les types d'antennes sont incompatibles. En effet, les applications d'imagerie EM (sous-marine ou médicale) sont classées en fonction de l'analyse des réflexions EM sur les nombreuses interfaces qui composent l'environnement étudié. Nous recherchons des antennes capables de diffuser correctement (sans distorsion) une brève impulsion EM (de l'ordre de quelques nanosecondes) dans le domaine temporel, tout en réduisant les réflexions parasites à l'intérieur de l'antenne qui pourraient créer du bruit.

Dans cette partie, nous passons en revue rapidement les types d'antennes les plus couramment utilisées pour les applications GPR afin d'expliquer pourquoi le type d'antenne utilisé pour les prototypes créés en laboratoire tout au long de cette thèse a été choisi. En raison de la large gamme d'antennes actuelles.

Enfin, les antennes peuvent être classées et présentées de diverses manières, en fonction de leurs nombreuses caractéristiques (polarisation, bande passante, etc.), de leur construction (filaire, imprimée), de leurs formes, etc. Une grande variété de catégories et de sous-classes d'antennes est également disponible. En conséquence, par souci de clarté, nous avons divisé les antennes en deux groupes principaux en fonction de leur directivité dans cette présentation.

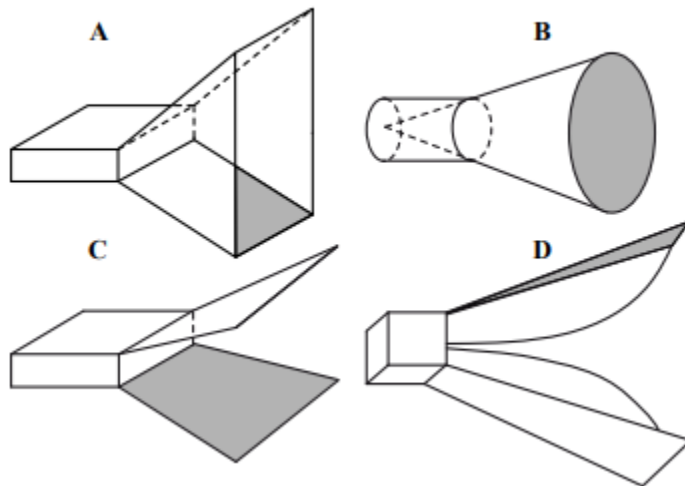
#### III.4.1.1 Antennes directives à transition progressive

Les antennes à transition progressive (ou effilées) fonctionnent sur le principe de créer une transition d'impédance douce entre la ligne d'alimentation (comme un câble coaxial) et le milieu à travers lequel l'onde EM doit se propager (généralement l'air). Bien qu'il en existe d'autres, les antennes directionnelles les plus couramment utilisées dans les radars sont les antennes cornet ou Vivaldi, et nous nous concentrerons actuellement sur ces deux types d'antennes.

##### III.4.1.1.1 Antenne cornet :

Dès le début, les antennes de type cornet ont été utilisées comme antenne à large bande pour les télécommunications (Schantz, 2004). Une antenne de type cornet a pour principal

attribut d'avoir une forme de cornet, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un guide d'ondes évasé à une extrémité, comme son nom l'indique. telle que la transition d'impédance entre le guide d'onde et le centre est lisse. L'allure générale de ce type d'antennes est présentée Figure (III.2).



**Figure (III.2)** :Schéma de différentes antennes de type cornet

#### III.4.1.1. 2 Antenne Vivaldi

Les antennes Vivaldi sont une forme d'antenne à fente conique avec une forme unique (TSA). Cette antenne est souvent formée des courants électriques plus concentrés sur les bords qu'à l'intérieur. En conséquence, les caractéristiques d'un diagramme de rayonnement spécifique et de sa contrepartie (empreinte négative) seront comparables (mais une polarisation différente). Une antenne à fente est essentiellement l'empreinte négative du diagramme de rayonnement d'une antenne, comme le montre la Figure (III.3) pour une antenne "nœud papillon".



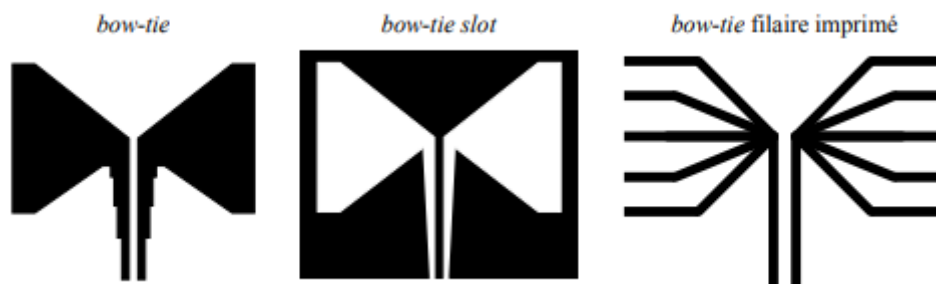
**Figure (III.3)** :Le conducteur métallique est indiqué en noir dans les schémas d'une antenne nœud papillon (à droite) et son équivalent en fente (à gauche).

#### III.4.1.2 Antennes dipolaires omnidirectionnelles

Les antennes dipôles (ou monopôles) conventionnelles sont couramment utilisées pour créer des antennes omnidirectionnelles à large bande. Ils peuvent être simples (constructions 3D) comme l'antenne biconique de Carter ou imprimés (constructions 2D) et se présentent sous différentes formes et tailles. Les antennes à large bande Quentin Vitale 40 I.C dans GPR proviennent toutes du même modèle de dipôle fondamental et maintiennent un diagramme de rayonnement dipolaire mondial, malgré le fait que leurs propriétés de rayonnement sont uniques et dépendent de leurs géométries.

L'antenne dite papillon ou nœud papillon est l'un des systèmes d'antennes dipôles omnidirectionnels les plus souvent utilisés dans le GPR (Figure (III.4)).

Cette forme plane de l'antenne biconique Carter est traditionnellement décrite par l'angle d'ouverture au sommet des triangles qui la composent, qui est l'angle sur lequel reposent son impédance et sa bande passante caractéristiques.



**Figure (III.4)** : Différentes mises en œuvre d'antennes en nœud papillon sont représentées schématiquement. Le conducteur métallique est représenté par une ligne noire.

### III .5 Les antennes patch UWB :

Elles sont caractérisées par un fonctionnement ultra large bande ce qui donne une multitude profondeurs de pénétration. Les antennes ULB peuvent être réparties en quatre classes différentes, selon leurs formes et leurs spécificités : Des antennes omnidirectionnelles à très large bande passante et à diagramme de rayonnement omnidirectionnel peuvent être obtenues naturellement. Ces antennes sont une progression naturelle des monopôles et des dipôles (doublet Hertz). Nous savons que plus la bande passante d'un dipôle est élevée, plus il est épais. De nombreuses antennes à large bande ont été construites à la suite de cette découverte fondamentale.

### III.6 Avantages du radar pénétrant au sol [8]

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.

### III.7 Quelques applications des systèmes GPR

Les systèmes GPR peuvent être utilisés pour une variété d'études non destructives du sous-sol [3] [4] [5] [6]

- Dans les applications spatiales, étude des sous-sols des planètes du système solaire (ex. 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)
- Étude du sous-sol avant travaux pour localiser les conduites d'eau ou de gaz, des lignes électriques ou tout autres objets enfouis peuvent être clairement identifiés et localisés.
- Le GPR s'avère un outil très prometteur dans la détection des mines, obus non explosés et tunnels dans le sous-sol.
- Recherche de couches minérales.
- Enquête archéologique. Au pied des pyramides égyptiennes par exemple.
- Dans les scènes de crime, ils permettent de retrouver des cadavres ou des armes enfouies.
- Les systèmes GPR sont employés dans la construction des tunnels où il s'agit d'identifier la nature des roches pour éviter des accidents majeurs.
- Les systèmes GPR peuvent être très utiles dans le cas des catastrophes naturelles afin de retrouver des survivants.



### III.8 Exemple de Système GPR Radar commercialisé

Les systèmes GPR sont à l'origine réservés à une utilisation professionnelle dans le Génie. Ainsi, de plus en plus de personnes s'en servent pour trouver d'anciens tunnels, des gisements de minerais, ou des cuves profondément enfouies. Les différents systèmes GPR existants sont peu nombreux. Le Discovery aussi appelé Goldradar 8S, qui est équipé de 8 capteurs (Figure (III.5)), permet de détecter de larges objets ou cavités à des profondeurs plus profonds. Ce système est conçu autour plusieurs antennes ou capteurs sophistiqués à large bande passante en émettant des ondes qui pénètrent le sol, reçoit les ondes réfléchies qui sont ensuite analysées via un ordinateur et retransmises sur l'écran.



**Figure (III.5):** Système Geo-radar Discovery Plus (8S).

### III.9 Conclusion

Le système GPR est une technologie d'examen rapide et non destructif du sous-sol basée sur la réflexion des ondes électromagnétiques dans des domaines aussi variés tels que la géologie, le génie civil et même aussi dans des applications spatiales pour la recherche d'une vie éventuelle sur Mars. L'antenne est le principal organe qui détermine l'efficacité et l'utilité d'un système GPR. Le prochain chapitre sera consacré à la conception d'une nouvelle antenne de bonne performances pour des applications GPR.



**Chapitre IV**  
Résultats et Discussions

### IV.1 Introduction

Puisque l'antenne est un élément indispensable pour une communication radio pour la récupération de l'énergie et les données d'un signal qui se déplace dans l'air, donc ses caractéristiques déterminent la qualité de la liaison sans fil. Il y a quelques temps, plusieurs compagnies minières ont fait des investissements pour développer les systèmes de communications modernes intégrant des moyens de renforcer la sécurité des ouvriers. Ces systèmes s'appliquent à la localisation radio, le contrôle automatique des machines, la télésurveillance, la transmission vidéo à très haute vitesse, les téléphones cellulaires avec possibilité d'interconnexion directe permanente entre l'ouvrier et le centre d'exploitation. C'est à cet instant que la technologie ULB a montré d'énormes opportunités pour de nombreuses applications de communications sans fil.

Dans ce chapitre, nous présentons une nouvelle antenne ULB monopole pour une application GPR. L'antenne est conçue pour couvrir la bande [3.1-10.6] GHz. La simulation de l'antenne est effectuée à l'aide du logiciel de simulation CST MWS (Computer Simulation Technologie Microwave Studio). Dans ce qui suit, nous allons commencer par la présentation du logiciel CST et puis nous allons représenter le modèle simulé et les résultats issus de la simulation.

### IV.2. Présentation de l'outil de simulation

En 1992, la société allemande CST studio a été fondée. Après de nombreuses recherches, la première version de CST Microwave studio fut apparue en 1998. Cette dernière avait pour but la conception magnétique. Elle permet l'analyse rapide et précise des dispositifs à haute fréquence tel que : les antennes, les filtres ...etc. Le CST est un outil de simulation 3D de structures hautes fréquences ; il permet l'analyse rapide et précise des dispositifs comme les antennes, les filtres, ...etc. Le logiciel CST est un simulateur électromagnétique basé sur la technique des intégrales finies (FIT). Cette méthode numérique fournit un arrangement spatial de discrétisation, applicable à des divers problèmes électromagnétiques, s'étendant du calcul des champs statiques aux applications hautes fréquences dans le domaine temporel ou fréquentiel. À la différence de la plupart des méthodes numériques, FIT discrétise spatialement les Équations de Maxwell sous leur forme intégrale. Afin de résoudre ces équations numériquement, un domaine fini, de calcul est défini.

### IV.3 Simulation et résultats

L'antenne a été simulée et optimisée avec le simulateur électromagnétique 3D CST. La structure de l'antenne simulée est présentée dans la figure (IV.1). L'antenne a été conçue en utilisant FR4 époxy de permittivité 4.3 et d'épaisseur 1.6 mm. La géométrie de l'antenne et ses dimensions sont représentées dans la figure (VI.1).

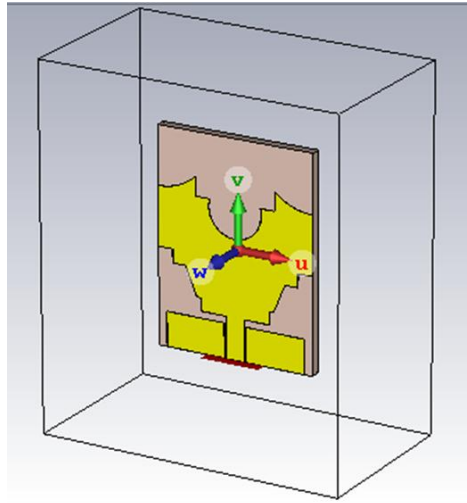


Figure (IV.1) : Structure en 3D de l'antenne ULB simulée.

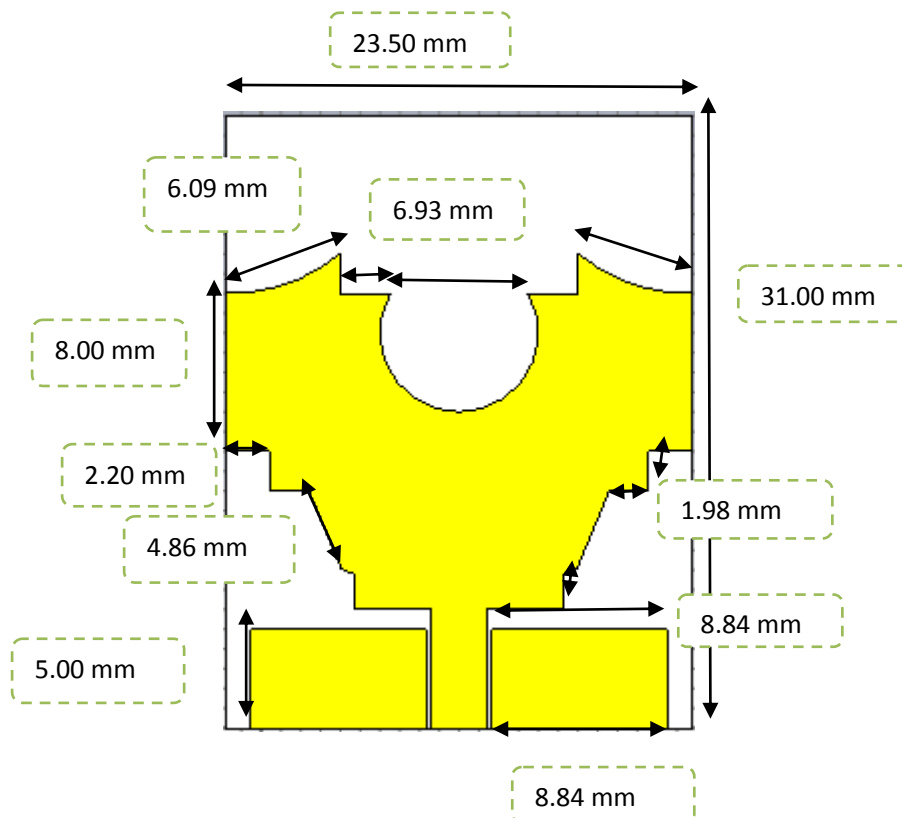


Figure (IV.2) : Géométrie de l'antenne monopole proposée.

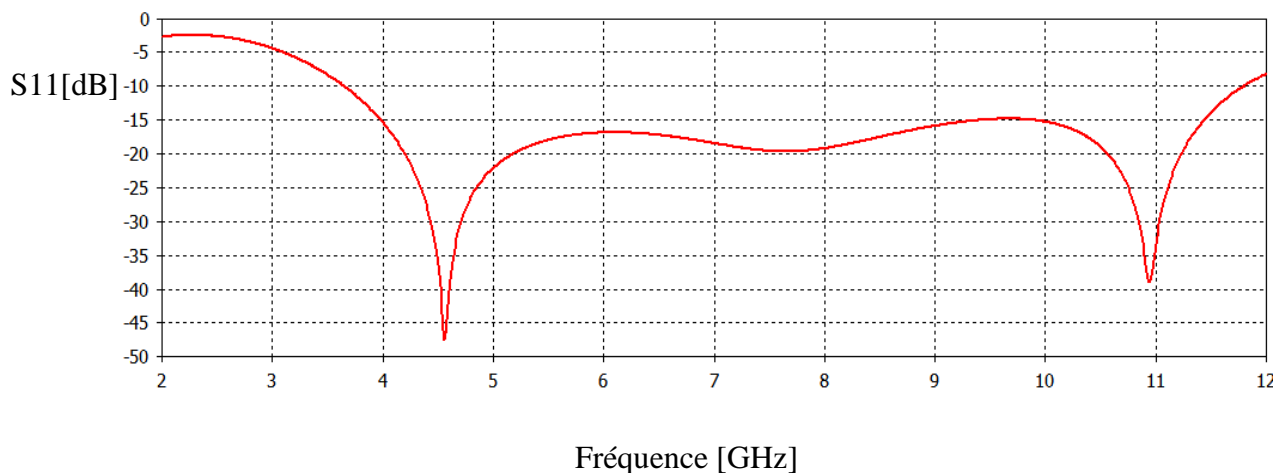
### IV.3 Simulation et résultats

En général, on caractérise les antennes notamment par leur diagramme de rayonnement et leur coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ). Pour l'antenne que l'on présente ci-dessous, toutes ces caractéristiques sont décrites. En effet, pour concevoir une antenne, on commence par une simulation qui permet de tester plusieurs options et de les optimiser. Si l'antenne est conforme aux résultats attendus, il faut donc entamer une phase expérimentale afin de valider les résultats de la simulation. Il est très rare qu'on parvienne avec des résultats mesurés qui concordent parfaitement avec la simulation, en raison de certains facteurs tels que le placement des connecteurs ou la qualité des soudures.

### IV.3 Simulation et résultats

#### IV.3.1 $S_{11}$

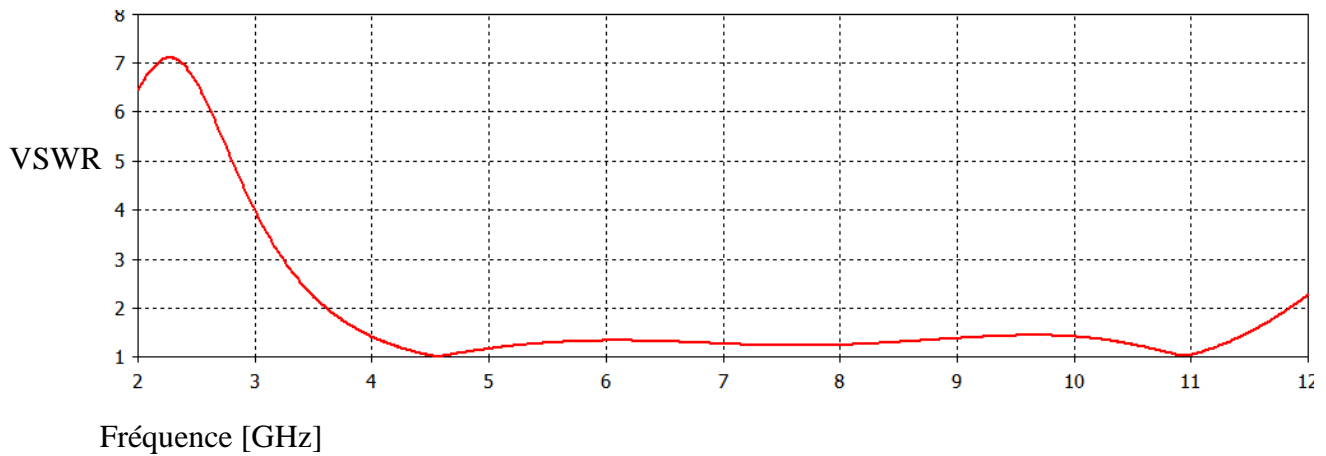
La figure (IV.3) représente le module du coefficient de réflexion en dB simulé en fonction de la fréquence. Nous avons obtenu une bonne adaptation dans la gamme [3.61-12.22] GHz.



**Figure (IV.3) :** Variation de  $S_{11}$  en fonction de la fréquence.

#### IV.3.2 VSWR

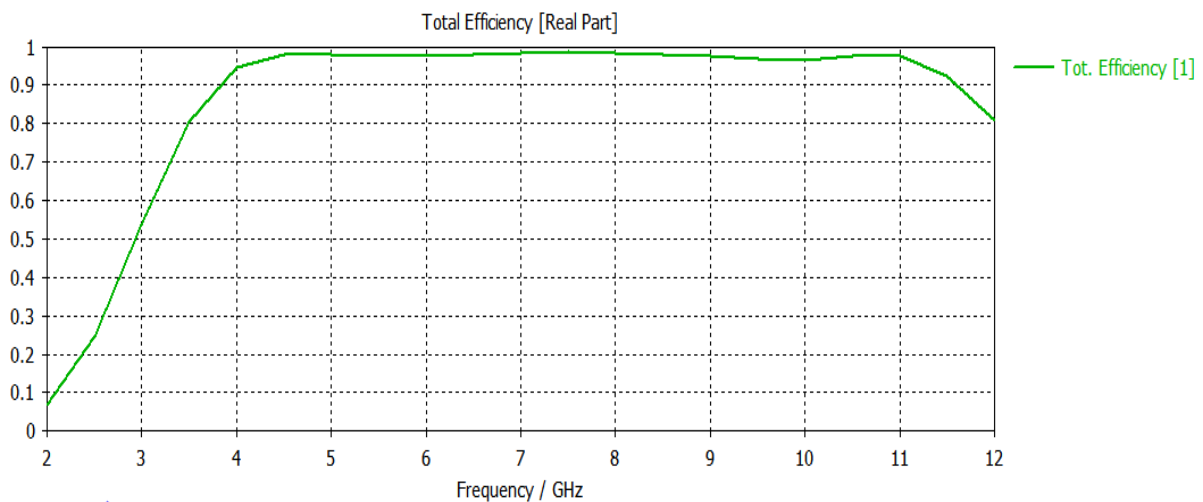
La variation de VSWR avec la fréquence de l'antenne UWB est représentée dans la figure (IV.4). D'après le graph de VSWR, il est clair que cette antenne ULB possède une bande passante qui s'étale entre 3.61 GHz et 12.22 GHz qui couvre la bande réservée par l'FCC qui est de [3.1-10.6] GHz.



**Figure (IV.4) :** Variation de VSWR en fonction de la fréquence.

### IV.3.3 Efficacité

Comme le montre la figure (IV.5), cette antenne à une efficacité élevée presque plus de 95% sur toute la bande de fonctionnement.



**Figure (IV.5):** Efficacité en fonction de la fréquence.

### IV.3.4 Gain

La figure (IV.6) montre le gain obtenu avec l'antenne proposée. Cette antenne a un gain positif croissant sur toute la bande de fonctionnement qui varient presque entre 0 à 6 GHz.

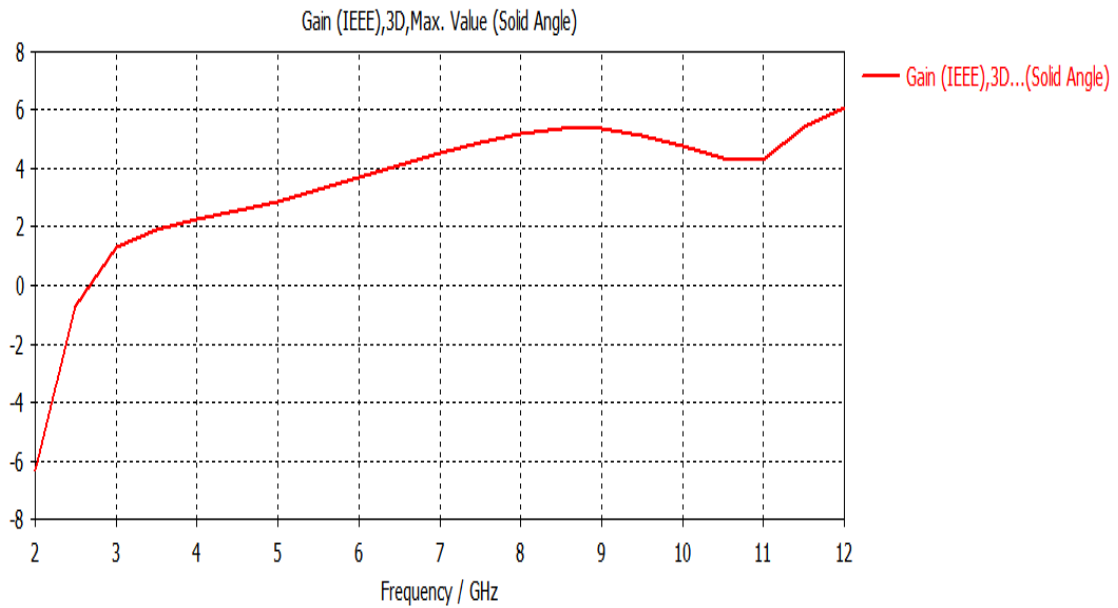
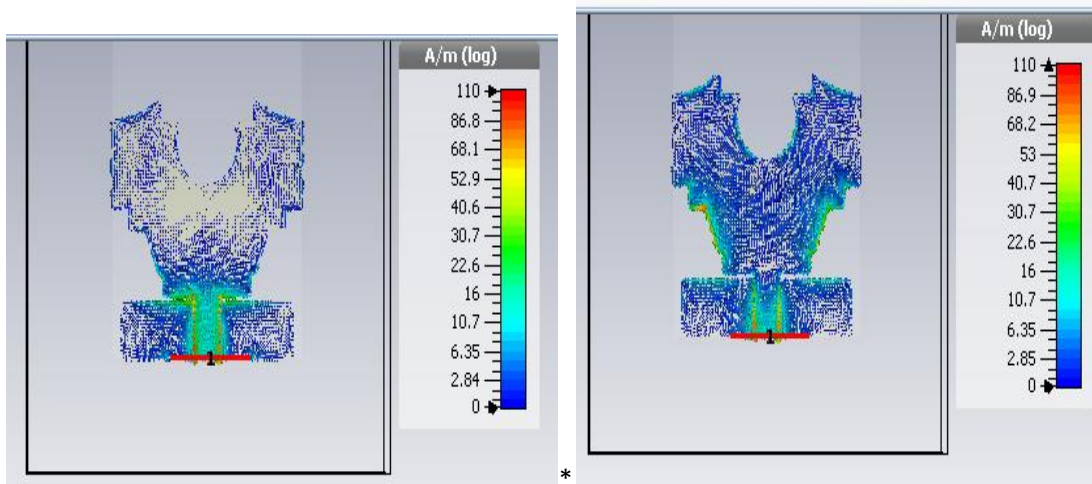


Figure (IV.6): Gain de l'antenne en fonction de la fréquence.

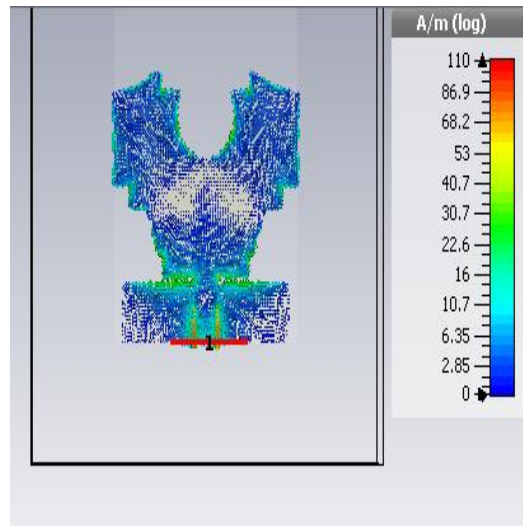
**IV.3.5. Distribution de courant**

Comme le montre la figure (IV.7) la partie inférieure de l'antenne est caractérisée par une grande concentration du courant, donc cette partie à un grand effet sur les différents paramètres de l'antenne.



(a)

(b)

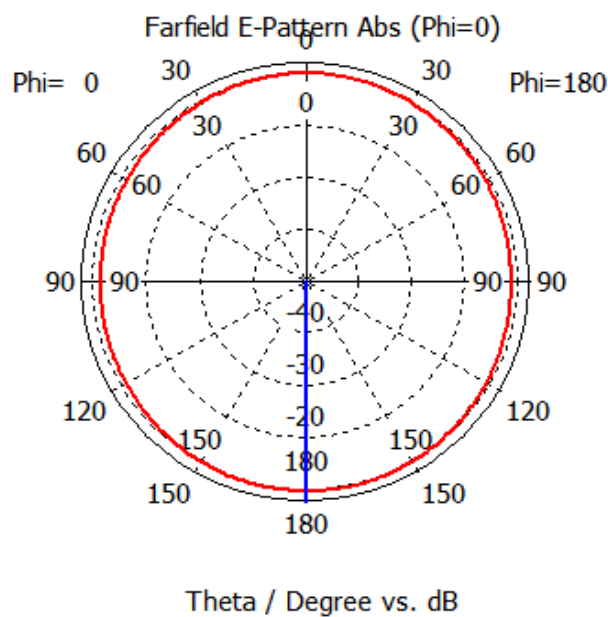


(c)

**Figure (IV.7):** Distribution de courant sur la surface de l'antenne à (a) 4.5 GHz, (b) 8 GHz, (c) 11 GHz.

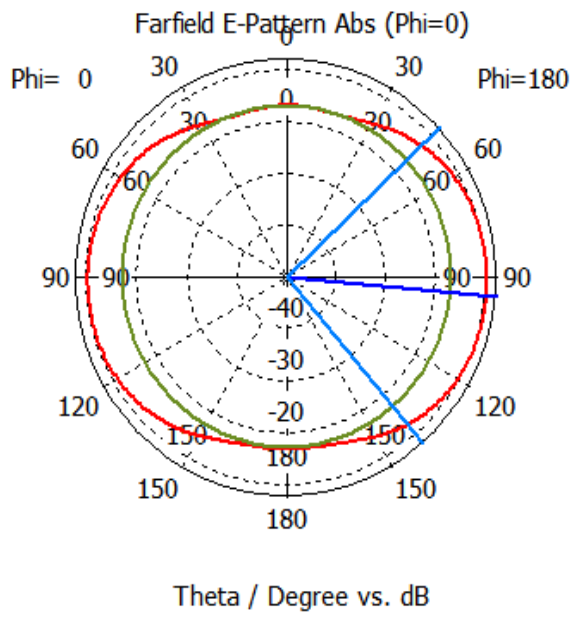
#### IV.3.6 Diagrammes de rayonnement

La figure (IV. 8 ) montre que le diagramme de rayonnement dans le plan H est en forme de cercle pour différentes valeurs de fréquences. De plus, la figure (IV.9) montre que le diagramme de rayonnement dans le plan E est en forme du chiffre huit pour différentes valeurs de fréquences. Le diagramme de rayonnement subit un légère distorsion avec l'augmentation de la fréquence.

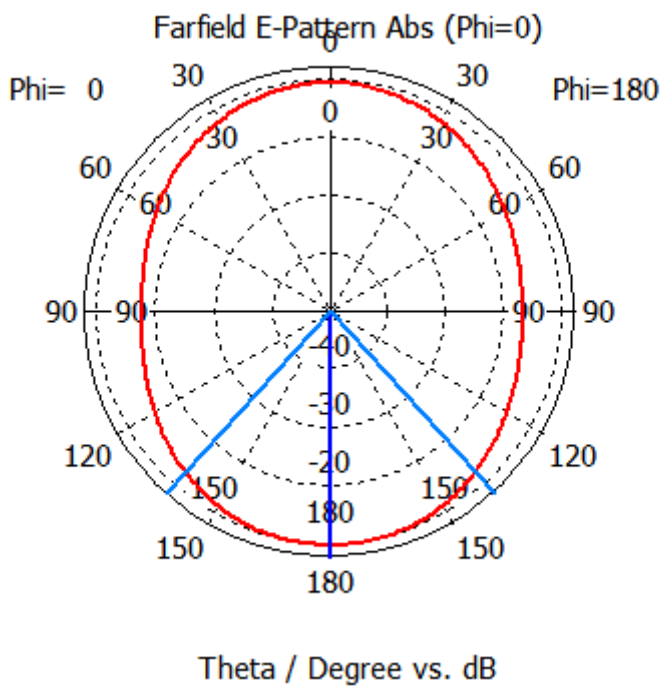




(a)

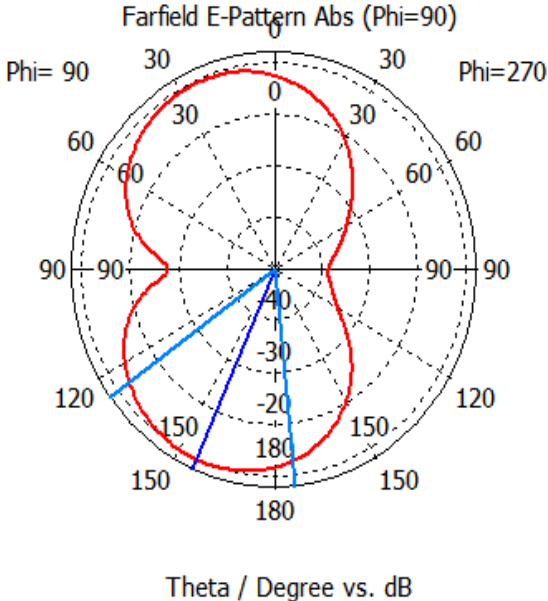
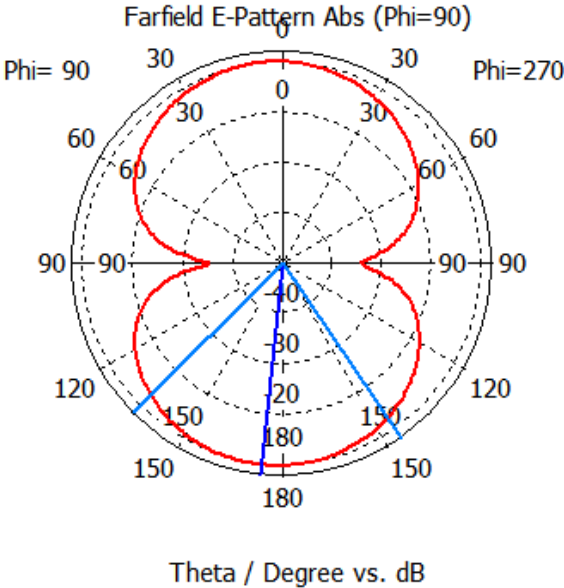


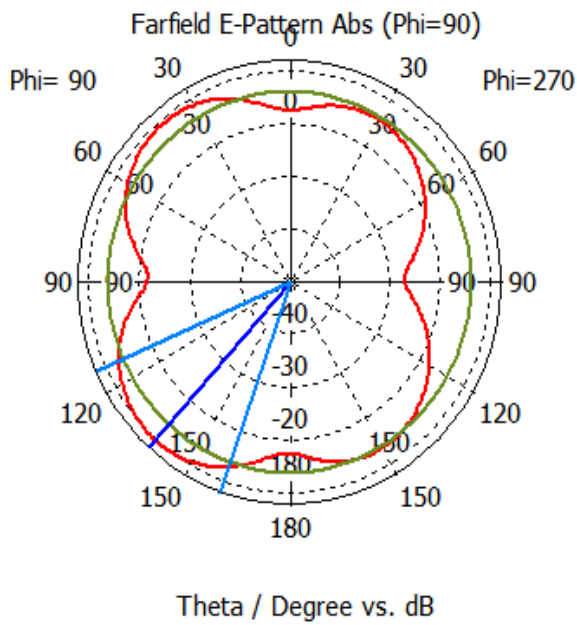
(b)



(c)

**Figure (IV.8):** Diagramme de rayonnement dans le plan H pour différentes valeurs de fréquences (a) 4.5 GHz, (b) 8 GHz, (c) 11 GHz.

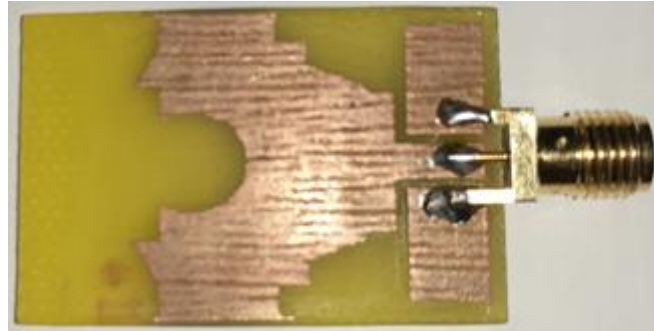




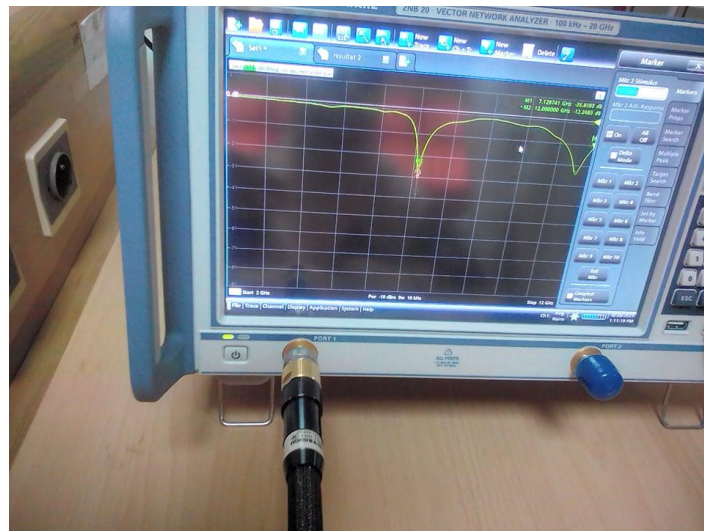
**Figure (IV.9):** Diagramme de rayonnement dans le plan E pour différentes valeurs de fréquences (a) 4.5 GHz, (b) 8 GHz, (c) 11 GHz.

#### IV. 4 Réalisation d'un prototype et validation du coefficient de réflexion

Nous avons réalisé un prototype de l'antenne conçue comme le montre la Figure (IV.10). L'antenne a été imprimée sur le FR4 époxy ayant une permittivité relative  $\epsilon_r = 4.4$  et d'épaisseur 1.5 mm. Le coefficient de réflexion de l'antenne a été mesuré en utilisant un analyseur de réseau comme le montre la Figure (IV.11) un concordance acceptable a été obtenue entre les coefficients de réflexions mesurés et simulés.



**Figure (IV.10):**Prototype de l'antenne ULB fabriqué.

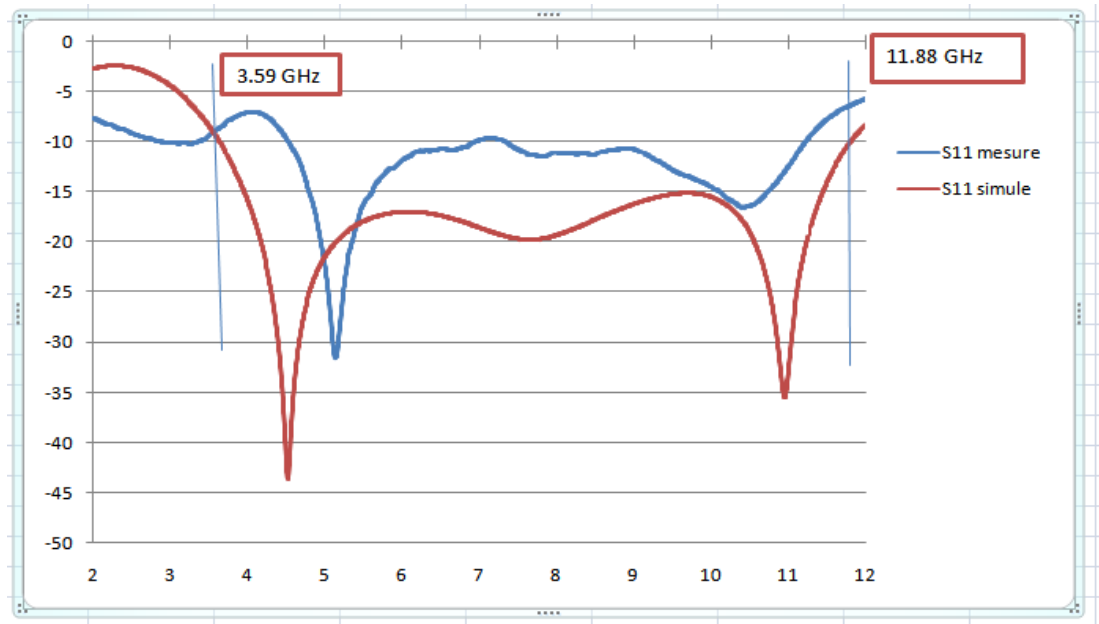


**Figure (IV.11) :**Mesure de  $S_{11}$  avec l'analyseur de réseau.

La variation du paramètre  $S_{11}$  (dB) en fonction de la fréquence est illustrée sur la Figure (IV.12). Nous remarquons une petite différence entre les simulations et les mesures sur une large bande de fréquences.

On observe que les résultats sont bien proches de ceux obtenus par les simulations

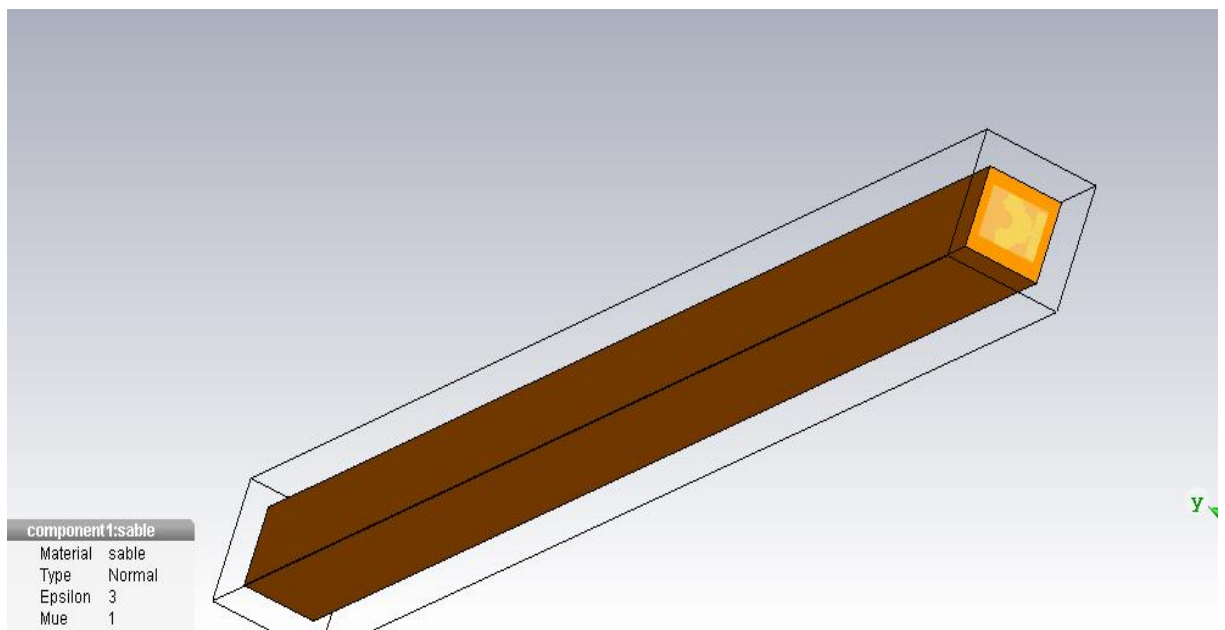
on a constaté que la valeur des coefficients de réflexion pour les fréquences de résonance est très peu différente de celle qui a été obtenue par simulation ; ceci peut être dû aux pertes introduites par le diélectrique, à la mauvaise adaptation entre la source et l'antenne



**Figure (IV.12) :** coefficient de réflexion de l'antenne (mesuré et simulé)

#### IV. 5 Test de l'antenne pour l'application GPR

Une couche de sol a été placée en contact direct avec l'antenne proposée le long de sa direction de propagation, comme le montre la Figure (IV.12). La couche de sol a une permittivité égale à 3. L'ensemble antenne-sol a été simulé pour différentes épaisseurs du sol. Comme le montre la Figure (IV.13) et la Figure (IV.14) une grande pénétrabilité pour l'antenne a été obtenue.



**Figure (IV.13) :** couche de sol en contact direct avec l'antenne.

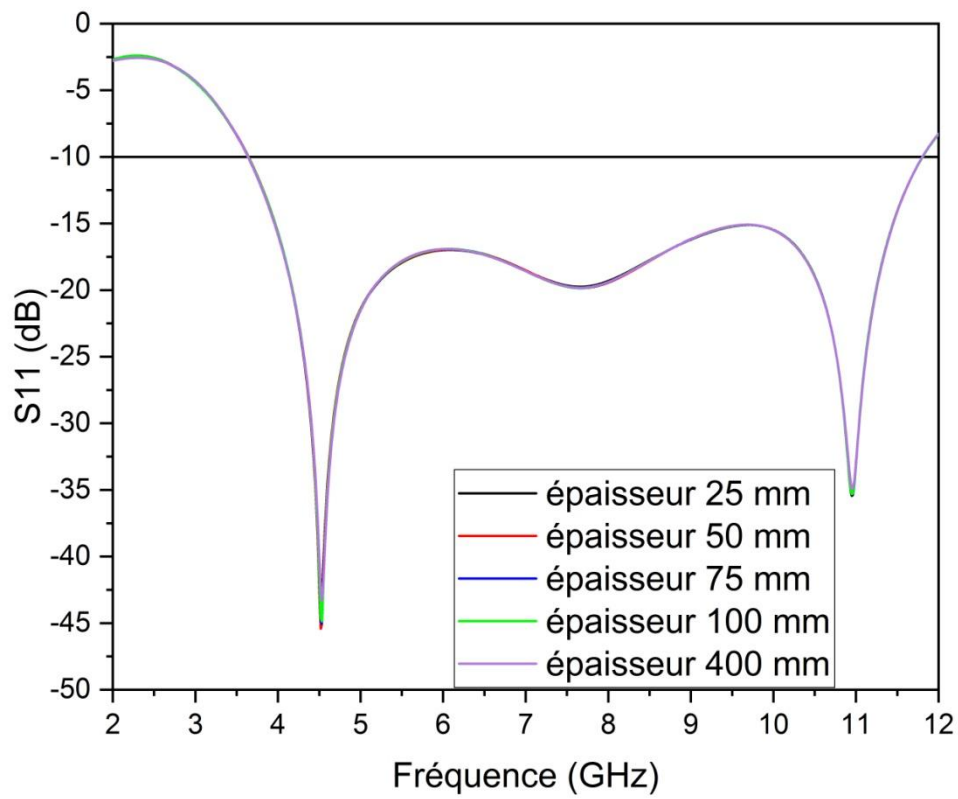


Figure (IV.14) : coefficient de réflexion de l'antenne.

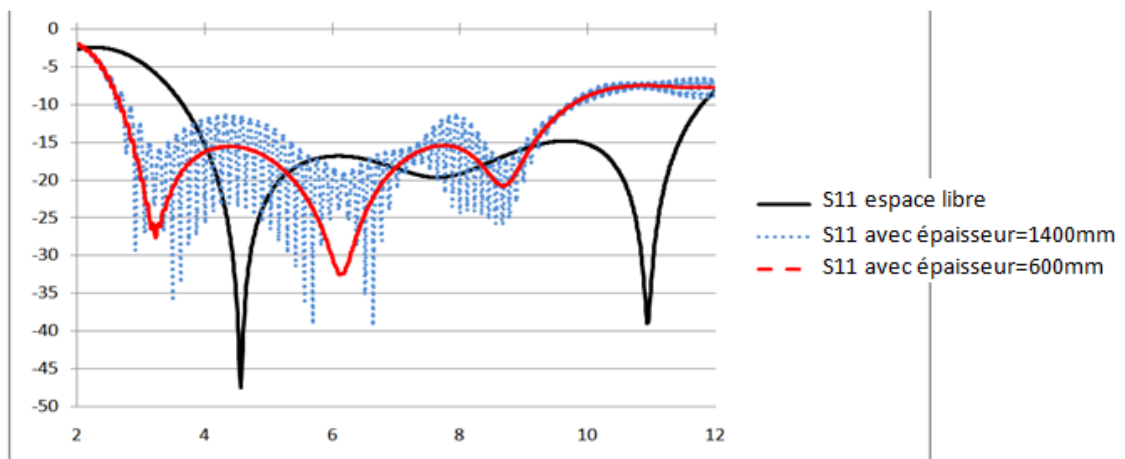


Figure (IV.15) : coefficient de réflexion de l'antenne

D'après les résultats en remarque que le coefficient de réflexion de l'antenne ne change pas pour l'épaisseur du sol 25mm jusqu' 500mm c'est-à-dire il ya transmission mais lorsque en augmente l'épaisseur du sol plus de 500mm le coefficient de réflexion de l'antenne change complètement de 600mm jusqu' 1400 donc l'antenne ne pénètre pas.

#### **IV. 6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons proposé une nouvelle géométrie d'antenne patch ultra large bande alimentée par une ligne coplanaire. Il a été démontré que sa largeur de bande couvre presque la bande d'ULB qui s'étale entre 3.1 à 10.6 GHz selon la spécification de la FCC. L'antenne proposée prouve de bonnes performances en termes de coefficient de réflexion, gain, efficacité et diagrammes de rayonnement. Grâce au tracé du coefficient de réflexion, l'étude expérimentale nous a permis d'observer en pratique le résultat obtenu. L'antenne proposée a été testée pour une application GPR. Une bonne aptitude de pénétration a été obtenue.



**CONCLUSION GENERAL**

---



## CONCLUSION GENERAL

---

La technique de l'ULB, utilisée dans le domaine des communications radio est très populaire de nos jours et les circuits électroniques relatifs à ces applications ont été réalisés grâce à de nombreuses recherches sur le sujet. Récemment, les règles d'utilisations du spectre de fréquence dans la bande passante établies par la FCC (Commission Fédéral des communications) se situent entre 3.1 et 10.6 GHz, ce qui rend cette technologie particulièrement intéressante: Possédant une bande passante beaucoup plus large que les systèmes large bande conventionnels, cette technologie nouvelle a le mérite de mieux performer en environnement bruyant [7].

L'objectif de ce travail tait de concevoir et de réaliser une antenne patch à ultra large bande pour une application GPR. Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons effectué dans un premier temps une revue de la théorie des antennes plaques afin d'avoir une meilleure compréhension des phénomènes se produisant dans les substrats diélectriques. De nombreuses simulations effectuées avec le logiciel CST nous ont permis de nous rapprocher du meilleur cas réel. Grâce au tracé du coefficient de réflexion, l'étude expérimentale nous a permis d'observer en pratique le résultat obtenu.

Les résultats simulés montrent que l'antenne proposée possède une bande passante qui s'étale entre 3.61 GHz et 12.22 GHz et qui presque couvre la bande réservée par l'FCC qui est de [3.1-10.6] GHz. L'antenne proposée à une efficacité élevée presque plus de 95% sur toute la bande de fonctionnement et une gain positif croissant sur toute la bande de fonctionnement qui varier presque entre 0 a 7 GHz . De plus, le diagramme de rayonnement dans le plan E est en forme du chiffre huit pour différentes valeurs de fréquences et omnidirectionnel dans le plan H.

La pénétrabilité l'antenne a été testée par l'emplacement d'une couche de sol dans le sens de sa direction de propagation. Une grande capacité de pénétration a été obtenue pour différents épaisseurs de sol.

Comme perspectives, nous proposons de concevoir de nouvelles antennes performantes à dimensions réduites et à utiliser d'autres matériaux pour le GPR test.



**Résumé**

**Résumé:**

Dans ce travail une antenne ULB a été conçue et réalisée pour la détection des objets enfouis à des différentes épaisseurs. L'antenne conçue a été imprimée sur un substrat d'FR4-Epoxy qui a une permittivité de 4.3 et une épaisseur de 1.6 mm. L'antenne simulée fonctionne entre 3.6GHz et 12.22GHz. Tandis que l'antenne mesurée couvre la bande 3.59-11.88GHz. L'antenne simulée a de bonne caractéristique de rayonnement en termes de diagrammes de rayonnement, gain et efficacité. Une couche de sol de permittivité 3 a été placée dans la direction de propagation de l'antenne avec un espacement nul pour vérifier le degré de pénétration de l'antenne. Une bonne capacité de pénétration a été achevée ce qui confirme l'aptitude de l'antenne pour fonctionner comme une antenne GPR.

**Mots clés :** Antenne planaire, Antenne ULB, Antenne GPR.



**Bibliographies**

---

## Bibliographies

---

- [1] Ruth Erne « LES TÉLÉCOMMUNICATIONS SPATIALES ET LES RESSOURCES DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHÉRIQUE - L'ÉVOLUTION DE LEUR RÉGLEMENTATION » –UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2007
- [I.1] :Mr BELAININE Fayçal Abderrahmane. Mr SALMI Mohamed Arezki « Etude de la miniaturisation des antennes par repliement Application pour la conception d'une antenne 2.4GHz » Mémoire de master université Houari Bommediene.2013-2014.
- [I.2] : Site Web <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00926589>. Consulte le 9jan2014.
- [I.3] : Livre Antennes
- [I.4] : Hamid Chorfi « Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique » L'université du QUÉBEC À CHICOUTIMI. MAI2012
- [I.5] :Guennach mohamed « Conception d'une antenne 'PIFA' multi-bandes pour applications sans fil » Mémoire d'ingénieur présente a l'université Sidi Mohamed Ben Abdellah,
- [I.6] : Zaoui Bachir « Modélisation d'une antenne micro ruban compacte ». Mémoire de master Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR – EL OUED 2014/2015.
- [I.7] : Boussaha Somia « Contribution a l'étude et a la modélisation des antennes Imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communications » mémoire de magister présente a l'Université 8 mai 1945 Guelma, 2012
- [I.8] : Zitouni Ahmed « Polycopie de cours Antennes » université site Hassiba Ben Bouali de chlef . September 2018
- [I.9] : Amina Meftahi, RabiaOuzzir « Conception des nouvelles topologies des antennes multi fonctionnelles » mémoire de master présent a l'Université de Abou BekrBelkaid Tlemcen 2017.
- [I.10] : Azzaz Rahmani Salima « Analyse et conception des antennes imprimées multi bandes en anneaux concentriques pour les réseaux de télécommunications » Thèse de doctorat présente a l'université de Abou BakrBelkaid-Tlemcen,2013.
- [I.11] : Mlle .OUALLI Lamia «Simulations des antennes sous HFSS(High Frequency Structure Simulator) »Mémoire de fin d'études présenté a université MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU 2012/2013
- [I.12] : Soltane Samia « ETUDE ET CARACTERISATION D'ANTENNESIMPRIMEES POUR SYSTEME ULTRA-LARGE BANDE » Mémoire de MAGISTER présenté a l'Université Mohamed Khider – Biskra 17/11/2015.
- [I.13] :Abdelhalim Chaabane « Conception d'un antenne BIP large bande a fort gain » These de doctorat présentée a l'nniversite Ferhat Abbas Setif-1,2017

## Bibliographies

---

- [II.1]:Mr .Mariah Sidi Mohamed .mémoire de master« conception d’antennes ultra-large bande (ULB) dans un environnement du corps humain » .université de Tlemcen.
- [II.2]:l.Babour,p.saguet,Tamas.E.Fond.S.Perot« conception d’antennes filaire ultra-large bande (ULB) » Toulouse. France.7mai 2007.
- [II.3]:mémoire de magister en génie électrique « étude et caractérisation d’antennes imprimées pour système ultra large bande » mémoire de magister en génie électrique Université de Biskra.
- [II.4]:Nicoles Fortino « conception et caractérisation d’antennes imprimées pour système ultra large bande impulsionnels ». Université Nice Sophia Antipolis.2006,français.
- [II.5]:Laurence Babour « étude et conception d’antennes imprimées ultra large bande miniaturisées en impulsionnel ». Institut National poly technique de grenode-INPG.2009,français.
- [II.6] :Mouhammad Ayyash «Étude d'un Système d'Acquisition Rapide de Signaux UWB à Très Large Bande en Milieu Minier Souterrain »Mai, 2013
- [II.7] : Djelloul Aissaoui, Abdelhalim Chaabane, Abdelhafid Bouacha "Compact Super UWB Elliptical Antenna with Corrugations for Wireless Communication Systems" 2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET), Marocco, 2020.
- [II.8]:Thomas zwick,WERNER WIESBECK, JENS TIMMERMANN, GRZEGORZ ADAMIUK, «ultra wideband RF systeme engineering»,2013.
- [II.9]:Zitouni Ahmed, «Etude et conception d’antennes ULB standards et à bandes rejetées», thèse de doctorat en télécommunication, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN, juin 2014.
- [II.10] :Soltane Samia « Etude et caractérisation d’antennes imprimées pour système ultra large bande » Université de Biskra.17/11/2015.
- [II.11] : Laurence Babour « étude et conception d’antennes imprimées ultra large bande miniaturisées en impulsionnel ». Institut National poly technique de grenode-INPG.7 mai 2009,français.
- [II.12] :ZIANI KERARTI Djalal «Etude et conception d’antennes ultra large bande», mémoire de magister ,2011

## Bibliographies

---

- [II.13] : Djelloul Aissaoui, Abdelhalim Chaabane, Abdelhafid Bouacha "Compact Super UWB Elliptical Antenna with Corrugations for Wireless Communication Systems" 2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET), Marocco, 2020.
- [II.14]: Zitouni Ahmed, «Etude et conception d'antennes ULB standards et à bandes rejetées», thèse de doctorat en télécommunication, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEM, juin 2014.
- [II.15] :Soltane Samia « Etude et caractérisation d'antennes imprimées pour système ultra large bande » Université de Biskra.17/11/2015.
- [II.16] :A. KAMLI, conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 Ghz-10.6 Ghz) Thème de M.Sc, Université du Québec, 2011.
- [II.17]: » HOURIA AZINE » Conception et simulation d'une antenne patch Ultra Large bande » mémoire de master 2018/2019.
- [II.18]:H. R. Khaleel, H. M. Al-Rizzo, D. G. Rucker and S. Mohan, "A Compact Polyimide-Based UWB Antenna for Flexible Electronics", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 11, pp. 564–567, 2011.
- [II.20] :K. P. Ray et S. S. Thakur, "Printed Annular Ring with Circular Patch Monopole UWB Antenna", International Conference on Advances in Computing and Communications, 2012.
- [II.21]:G. Le Ray C. Marchais et A. Sharaiha, "Stripline slot antenna for uwb communications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Lett., 5, 2006.
- [III.1] :Mehennaoui Naziha "Etude théorique de la propagation des ondes électromagnétiques dans les milieux hétérogènes- Application au radar Sol -"Mémoire de Magister soutenu à l'université de Sétif, Algérie.
- [III.2] : Aldhaferi Ali Slem Ahmed « conception et simulation d'un antenne MIMO » mémoire de master -8 juillet 2019.
- [III.3] : <https://www.detecteur-de-metaux.com/radar-de-sol.html> [archive]
- [III.4]: Abdelhalim Chaabane, Mohammed Guerroui. *Printed UWB Rhombus Shaped Antenna for GPR Applications*. Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol.73, no.4, 2041-2041, 2021.

## Bibliographies

---

[III.5]: Abdelhalim Chaabane, Abdesselam Babouri. *Dual Band Notched UWB MIMO Antenna for Surfaces Penetrating Application*. Advanced Elctromagnetics. vol.8. no.3, 6-15, 2019.

[III.6]: Mohammed Guerroui, Abdelhalim Chaabane, Ahcene Boualleg, "A CPW-fed amended U-shaped monopole UWB antenna for surfaces penetrating applications," 2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), 11-13 June 2021, Ankara, Turkey.

[III.7] : Quetin Vitale thèse a « Modelisation et conception d'antennes radar large bande pour la cartographie de la teneur en eau volumique des sols agricoles » juin 2014.

[III.8] :<https://www.softdig.com/blog/gpr-ground-penetrating-radar-work/>

[III.9] :Alia HAMADI"Analyse et prédiction comportementales du radar GPRpolarimétrique de la mission spatiale EXOMARS"Thèse soutenue à l'université de Limoge, 2010.

[7]:DADAMOUSA Safa , MAKHLOUFI Saida « Analyse et conception des filtres passe-bande microruban pour les applications ULB » Mémoire MASTER ,25/06/2018