

585

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 : Systèmes de Télécommunications**

---

**Amélioration du gain d'une nouvelle antenne ULB**

---

Présenté par :

**Charef Mohamed elamine**

**Ayadi seif eddine**

Sous la direction de :

**Mr Chaabane Abdelhalim**

**Juin 2015**

# Sommaire

❖ Remerciement	
❖ Résumé	
❖ Sommaire	
❖ Introduction général .....	1
<b>Chapitre I : Généralité sur les antennes</b>	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Principe de propagation des ondes électromagnétiques.....	3
I.2.1 .Notation.....	3
I.2.2 .Elaboration des équations de Maxwell.....	3
I.3 .Base théorique des antennes.....	4
I.3.1. Système de coordonnées sphériques-représentation du vecteur.....	4
I.3.2 .Rayonnement électromagnétique.....	5
I.4 .Concept d'Antenne.....	6
I.4.1 Introduction .....	6
I.4.2 .Théorème de réciprocité.....	6
I.4.3 .différentes zones de Radiation d'une Antenne.....	7
I.5 . Antennes.....	7
I.6.Types d'antenne.....	9
I.6.1 .les antennes filaires.....	9
I.6.1.1.Le dipôle demi-onde ou doublet.....	9
I.6.1.2.Antenne cadre.....	10
I.6.2.Antenne à réflecteurs.....	10
I.6.2.1.Antenne parabolique.....	10
I.6.3.Antenne à fente et ouvertures rayonnantes.....	11
I.6.3.1.Antenne cornet.....	11
I.6.4.les antennes réseaux .....	12
I.6.4.1.L'antenne Yagi-Uda.....	12
I.6.4.2.Guides d'ondes à fentes.....	13
I.6.5.Antenne patch.....	13
I.6.5.1.Plan de masse .....	14
I.6.5.2.Substrat .....	14



I.6.5.3.Éléments rayonnants .....	15
I.6.5.4.Alimentation des éléments rayonnants .....	16
I.6.5.5.Les avantages des antennes imprimés .....	21
I.6.5.6.les inconvénients des antennes imprimés.....	21
I.7 .Caractéristiques d'une antenne.....	21
I.7.1.Réprésentation en quadripôle.....	21
I.7.2. Coefficient de réflexions $S_{11(OUF)}$ .....	22
I.7.3.Densité de puissance ( $P_r$ ).....	22
I.7.4 . Directivité.....	23
I.7.5 .Gain en puissance et rendement.....	23
I.7.6 .Ouverture.....	24
I.7.7 .Impédance d'entrée.....	24
I.7.8. Diagramme de rayonnement.....	25
I.7.9 : La Bande passante.....	27
I.7.10. Polarisation de l'onde Rayonnée.....	28
I.8.Conclusion.....	28
<b>Chapitre II : Technologie ultra large bande</b>	
II.1.Introduction.....	29
II.2.Historique.....	29
II.3.LA Technologie ultra wide bande.....	30
II.3.1.Caractéristiques Principales de la technologie uwb.....	30
II.3.2Radio par impulsion ;transmission sans porteuse.....	32
II.3.3 Emission ;les différentes techniques de modulation.....	33
II.3.4.Méthodes d'accès multiple.....	36
II.3.5.Antennes.....	37
II.3.6. Trame.....	38
II.4.Réglementation.....	38
II.4.1.Réglementation de la Fcc.....	38
II.4.2.Avant-Projet Proposé par l'ETSI.....	41
II.5. Les Applications de L'ultra Wide Band.....	42
II.5.1.UWB et les radars.....	42
II.5.2. Applications Potentielles.....	43
II.5.3.Les Standards IEEE 802.15.3 et 802.15.3a.....	44

II.6.conclusion.....	44
----------------------	----

### Chapitre III : Les antennes ultra large bande (ULB)

III.1.Introduction.....	46
III.2. Les antennes Ultra Large Bande.....	46
III.2.1. Antennes indépendantes de la fréquence.....	46
III.2.1.1.Les antennes spirales.....	47
III.2.1.2. Antenne log-périodique.....	50
III.2.1.3.Antenne LPDA (log periodic dipole array).....	52
III.2.2.Les antennes élémentaires.....	53
III.2.2.1.Antennes biconiques.....	53
III.2.2.2.Antenne discône.....	54
III.2.2.3. Les monopôles plans.....	54
III.2.3.2.Le monopôle triangulaire.....	55
III.2.3.Antennes directives.....	56
III.2.3.1.Cornet.....	56
III.2.3.2.Antenne à transition progressive (Vivaldi).....	57
➤ Comparaison entre ces différents types des antennes ULB.....	58
III.3.Les méthodes numérique d'analyse utilisées.....	59
III.3.1.La méthode des moments(MoM).....	59
III.3.2.La méthode des différences finies(FDTD).....	60
III.3.3.La méthode des éléments finis(FEM).....	60
III.3.4.la méthode de la matrice des lignes de transmissions (TLM).....	60
III.4.Conclusion .....	61

### Chapitre IV : Généralités sur les propriétés électromagnétiques des matériaux BIE

IV.1.Presentation des structures a bandes interdit électromagnétique.....	62
IV.1.1.Historique et définitions des matériaux BIP.....	62
IV.1.1.1.bref historique.....	62
IV.1.1.2.Définition et propriétés.....	64
IV.1.2.Comportement électromagnétiques.....	68
IV.1.2.1 .Structures diélectriques.....	69
IV.1.2.2.Structures métalliques.....	71
IV.2.Notions de défaut dans les Structures.....	72

IV.2.1.Introduction d'un défaut dans les structures BIE.....	72
IV.2.1.1Les façons de générer un défaut.....	72
IV.2.2.Applications et utilisations des structures BIE à défaut .....	73
IV.3. Conclusion .....	75
<b>Chapitre V : Simulation et résultat</b>	
V.1.Introduction.....	77
V.2.Simulation et résultat.....	77
V.2.1.Description du logiciel HFSS.....	77
V.2.2.Géométrie de base.....	78
V.2.2.1.Le substrat utilisé.....	79
V.2.2.2. la ligne d'alimentation.....	80
V.2.3.Simulation de VSWR.....	80
V.2.4.Le diagramme de rayonnement.....	81
V.3.la nouvelle antenne ULB.....	82
V.3.1.Géométrie de base.....	82
V.3.2. La ligne d'alimentation.....	84
V.3.2.1 . Le coefficient de réflexion.....	84
V.3.3.Simulation de VSWR.....	84
V.3.3.1Le substrat utilisé.....	85
V.3.4. Les structures.....	86
V.3.5.Le diagramme de rayonnement.....	88
V.3.6. l'impédance d'entre.....	89
V.3.7.Le peak gain.....	90
V.3.7.1.L'influence de changement des rayons .....	90
V.4.La réalisation de l'antenne proposée.....	91
V.4.1.Les étapes de réalisation.....	91
V.4.2. Réalisation des résultats de simulation.....	94
V.5. Conclusion.....	94
❖ <b>Conclusion général</b> .....	95
❖ <b>Bibliographie</b> .....	
❖ <b>Liste acronymes</b> .....	
❖ <b>Liste figures</b> .....	
❖ <b>Liste tableaux</b> .....	



# Remerciement

Avant tout , nous tenons à remercier notre dieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage .nos remerciements vont aussi à nos parents qui ont marqué notre succès avec leur présence et leur patience .

A travers ce modeste travail nous tenons à remercier vivement notre encadreur Mr Chaabane abdelhaim

Pour son aide, ses conseil , ses encouragement et ses critiques constructives qui nous ont beaucoup aide a parfaire ce travail et mieux éclairer nos perspectives . Nous lui sommes reconnaissants particulièrement Pour la confiance qu'il nous donnée et les disponibilités qu'il nous a accordée

A tous les enseignants de la filière télécommunication.

A tous les personnes du département de génie électrique .

Enfin , a toutes les personnes ayant contribué de près ou de lion à accomplir ce travail .

# *Dédicace*

Nous dédions mon travail a mes parents ,  
mon frères ,mes sœurs ,toute la famille,  
mes amis Kamal Azouze Sami Bilal mes camarades ,  
mes collègues de lin de cycle meriem zinou laid lamy maroua ,  
et tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à l'élaboration de cet modeste  
mémoire sans pour autant oublier mes enseignants et mon encadreur qui  
méritent un dédicace spécial pour leurs efforts qui m'ont consacrés  
afin de réussir ce travail.

AMINE



# *Dédicace*

Nous dédions mon travail a mes parents ,  
mon frères (bilel oussama) ,mes sœurs(houda ikram amira amina ahlem fatima )  
,toute la famille,

mes amis bizou rezak nabile aymen azzdine djamal alla kelay nadir baddri  
hichame hamza imade walide samir salim housseem choukri nasro oussama  
bilel amine minou Sami hamza mohmede chawki mes camarades ,  
mes collègues de fin de cycle zinou elaid youcef mehdi, lamyra marwa khawla  
sarah meriem fatima

et tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à l'élaboration de cet modeste  
mémoire sans pour autant oublier mes enseignants et mon encadreur qui  
méritent un dédicace spécial pour leurs efforts qui m'ont consacres

afin de réussir ce travail.

SEIF



**Résumé:**

La miniaturisation des antennes a suscité ces dernières années un très grand intérêt au près des chercheurs dans le monde des télécommunications. La course à cette miniaturisation est motivée par des exigences d'intégration des antennes dans l'architecture des terminaux mobile pour réduire au maximum leur encombrement. Cette structure convient particulièrement bien aux applications de pointe, comme les communications mobiles cellulaires ou la réception de signaux de télédiffusion satellite.

Un antenne planaire compacte modifiée à large bande (UWB) monopole avec des caractéristiques EBG. L'antenne proposée consiste en un escalier modifié tubé radiateur en forme de V et plan de masse partielle. Les performances de plus en plus de caractéristiques sont obtenues en incorporant trois structure différente fait la structure en forme de I avec une verticale vers le bas en forme de I dans le patch rayonnant et le plan de masse en forme de L. L'antenne proposée avec EBG structures caractéristiques est simulé avec succès, prototypé, et mesuré. Les résultats des mesures montrent que l'antenne fonctionne jusqu'à ce que supérieure 11 GHz pour le rapport d'onde stationnaire de tension (VSWR) est inférieur à 2. De plus, l'antenne proposée présente un près de diagrammes de rayonnement omnidirectionnels, l'augmentation de gain de crête, ce qui le rend apte à être utilisé dans le futures applications UWB

- Mots clés : antenne imprimées , augmentation de gain , élément rayonnant , diagramme de rayonnement , ultra large bande , bande interdit électromagnétique , simulation par le HFSS

**Abstract :**

The miniaturization of antennas has attracted in recent years great interest to researchers in the fields of telecommunications. The race for miniaturization is driven by the requirements of integration of antennas in the architecture of mobile devices, to minimize their size. This structure is particularly suitable for advanced applications such as mobile phones or reception of satellite broadcast signals.

A modified compact planar ultra wideband (UWB) monopole antenna with EBG characteristics . The proposed antenna consists of a modified staircase cased V-shaped radiator and partial ground plane. The increasing characteristics performance are obtained by incorporating three different structure made I-shaped structure with a vertical downwardly I-shaped in the radiating patch and the ground plane L-shaped. The proposed antenna with EBG structures characteristics is successfully simulated, prototyped, and measured. The measured results show that the antenna operates until upper 11 GHz for voltage standing wave ratio (VSWR) is less than 2.

Moreover, the proposed antenna shows a near omnidirectional radiation patterns, increasing peak gain, which makes it suitable for being used in the future UWB applications

- Key words : printed antenna , gain increase , radiator , radiation pattern, ultra wideband , electromagnetique band gap , the HFSS simulation

### ملخص :

هوائي مطبوع مسطح واسع النطاق مع خصائص نطاق الحظر الكهرومغناطيسي الهوائي المقترح مع القطعة المشعة على شكل درج مع نطاق حظر اقلي على شكل و نطاق حظر في الركيزة على شكل

الهوائي المقترح مع خصائص نطاق الحظر الكهرومغناطيسي تمت فيه المحاكات بنجاح وبينت ان الهوائي يعمل حتى تردد 11 جيجا هرتز مع تقرير نسبة الجهد اكبر من 2 . وعلاوة على ذلك، الهوائي المقترح يحتوي على أنماط الإشعاع احادي القريب، مما يزيد من مكاسب الذروة، مما يجعلها مناسبة لاستخدامها في تطبيقات المستقبلية لتكنولوجيا النطاق الواسع

الكلمات الافتتاحية : مطبوع هوائي . زيادة الربح ، القطعة المشعة ، نمط الاشعاع ، النطاق العريض الفائق

نطاق الحظر الكهرومغناطيسي ، HFSS محاكاة



## Introduction Générale

Le domaine des télécommunications est en perpétuelle évolution. Ses axes d'investigation sont principalement motivés par un besoin toujours grandissant en termes de débit de données mais restent freinés par un spectre des fréquences de plus en plus occupé.

Le principe des communications radio utilisant la technique de l'Ultra Large Bande est aujourd'hui bien connu et les nombreuses études sur le sujet ont permis de définir et de réaliser des circuits électroniques spécifiques à ces applications. Cette technologie basée originalement sur la modulation de très brèves impulsions permet l'émission de grands volumes de données en conservant une très faible densité spectrale de puissance. Récemment, la FCC a défini les règles d'utilisations du spectre de fréquence dans la bande entre 3.1-10.6 GHz qui a donné un souffle supplémentaire aux activités de recherches et de développement. Cette allocation offre en plus l'avantage de la flexibilité car la réglementation n'impose pas de technique particulière de transmission à la différence des standards existants actuellement.

L'ULB promet en effet d'atteindre des débits de plusieurs centaines de mégabits par seconde tout en conservant une complexité et des coûts limités. Sa nature impulsionnelle et sa largeur de bande lui confèrent en outre une bonne résistance aux brouillages et aux trajets multiples, ce qui la rend très adaptée à une utilisation en intérieur. Réciproquement, sa faible densité spectrale de puissance lui permet de cohabiter en introduisant peu d'interférences aux systèmes environnants.

Avec le développement rapide de communications sans fils, De nombreuses études ont été menées et montrent l'utilisation de matériaux à bandes interdites électromagnétique comme par exemple substrat d'antennes ou comme réflecteur dans le but d'augmenter le gain des antennes.

Un des inconvénients des antennes imprimées est la limitation de la largeur de bande, l'amélioration de leur largeur de bande reste un challenge. Généralement, les antennes doivent avoir une largeur de bande de fonctionnement suffisamment large pour l'adaptation d'impédance et un rayonnement avec un gain élevé dans les directions désirées

Ce mémoire est concentré sur l'étude et la conception de nouvelles antennes de bonnes performances surtout en termes de gain et de largeur de bande pour des applications sans fils et ceci en utilisant plusieurs techniques pour l'amélioration de ces performances (structures EBG, réseaux d'éléments...). La simulation va être achevée à l'aide de simulateur HFSS afin de vérifier les résultats trouvés.

L'objectif de notre travail est d'étudier et réaliser une nouvelle antenne Ultra Large Bande de bonnes performances surtout en termes de gain et de largeur de bande pour des applications sans fils et ceci en utilisant plusieurs techniques pour l'amélioration de ces performances. De ce fait, notre mémoire est réparti en cinq chapitres :



- Le premier chapitre est consacré à une étude générale sur les antennes et ces principale caractéristique et paramètres ainsi que les différents types d'antenne. Nous avons présenté ensuite en terme générale les antennes imprimées ainsi que leurs différentes techniques d'alimentation.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la technologie ULB, ses principales caractéristiques ainsi que les réglementations et les applications de système ULB.
- Le troisième chapitre présente une étude générale sur les antenne ULB , Nous avons présenté ensuite les différents types des antennes ULB avec leurs caractéristiques en détails.
- Le quatrième chapitre est consacré à une études générale sur les propriétés électromagnétiques des matériaux à bande interdit électromagnétique
- Enfin, Le cinquième chapitre est réservé à l'étude et la réalisation d'une nouvelle antenne Ultra Large Bande avec caractéristique d'amélioration de gain dans le but d'augmentation les performances de cette nouvelle antenne large bande. En plus nous avons réalisé notre modèle au niveau du laboratoire de Télécommunications au sein du département Electronique et Télécommunication.

# **Chapitre I :**

# **Généralité sur les**

# **antennes**

## I.1- Introduction

Dans tous les systèmes faisant usage de propagation dans l'espace libre (radio diffusion, radar, faisceau hertzien) il est nécessaire de disposer d'éléments permettant la transition entre une onde guidée (ligne de transmission ou guide d'onde) et une onde rayonnée; Ces éléments de transition sont les antennes. De part leur structure géométrique spécialement mise au point dans ce but, elles permettent le détachement des champs électromagnétiques de leur support métallique (ainsi que la transition inverse). De plus une antenne peut servir à diriger le signal dans une direction désirée et produit pour cela une concentration des champs dans une région particulière de l'espace. Une antenne est un composant qui rayonne et reçoit la puissance Radiofréquence ou la puissance micro-onde. C'est un dispositif réciproque, et la même antenne peut servir comme un dispositif de réception et d'émission. Une ligne de transmission est conçue pour avoir une très petite perte de rayonnement, tandis que l'antenne est conçue pour avoir un rayonnement maximum. Le rayonnement se produit en raison des discontinuités (qui causent la perturbation des champs ou courants), courants non équilibrés, et ainsi de suite.

## I.2- Principe de propagation des ondes électromagnétiques

### I.2.1- Notation

- $\vec{\rho}(r, t)$  est la densité de charge électrique locale au point  $r$  à l'instant  $t$ .
- $\vec{j}(r, t)$  le vecteur densité de courant.
- $\vec{E}(r, t)$  le vecteur champ électrique
- $\vec{B}(r, t)$  le vecteur induction magnétique.
- $\epsilon_0$  la permittivité diélectrique du vide ( $8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ A.s/V.m}$ )
- $\mu_0$  la perméabilité magnétique du vide ( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ V.s/A.m}$ )

### I.2.2- Elaboration des équations de Maxwell

C'est à Maxwell que l'on doit la formulation la plus complète des relations liantes entre les grandeurs électriques et magnétiques.

Les équations de Maxwell spécifient que toute variation spatiale d'un champ (électrique ou magnétique) en un point de l'espace entraîne (ou est dû à) l'existence ou la



variation temporelle d'un autre champ au même point. Analytiquement, voici les équations en quatre formules [1]

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (\text{I.1})$$

équation de maxwell-gauss  $\oiint_S \vec{D} d\vec{s} = \iiint_V \rho d r$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (\text{I.2})$$

équation de conservation de flux  $\vec{B} \oiint_S \vec{B} d\vec{s} = 0$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{I.3})$$

équation de maxwell-farady (phénomène d'induction)

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (\text{I.4})$$

équation de maxwell-ampère

Les deux premières équations correspondent donc au théorème de Gauss pour l'électricité, et pour le magnétisme, la troisième est la loi de Faraday et la quatrième correspond au théorème d'Ampère modifié par Maxwell.

Ces équations sont les équations fondamentales de l'électromagnétisme.

Ils signifient que l'on peut séparer le traitement des champs électrique et magnétique. Pourvu que ceux-ci ne varient pas dans le temps. Inversement, ils sont indissociables s'ils varient dans le temps.

### I.3. Base théorique des antennes

#### I.3.1. Système de coordonnées sphériques – représentation du vecteur

On utilise volontiers en électromagnétisme les coordonnées sphériques pour représenter un vecteur. Le système de coordonnées sphériques est défini par le repère mobile  $(M, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_\varphi)$  illustré par la Figure (I.1). Soit  $M'$  la projection de  $M$  sur le plan  $xOy$ ; le vecteur  $\vec{u}_\varphi$  a été reporté en pointillé sur  $M'$  pour expliquer sa construction.

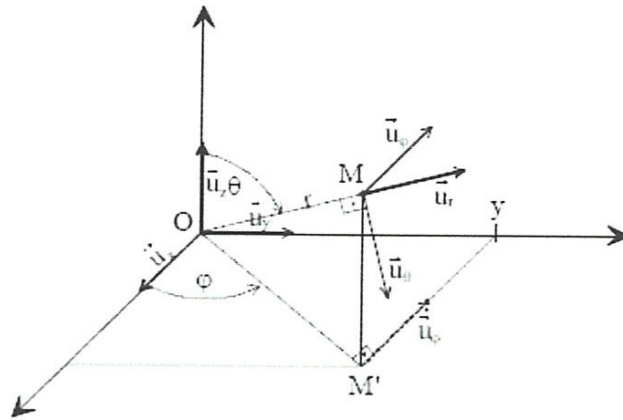


Figure (I.1) : représentation du vecteur aux coordonnées sphériques

On remarque :

- $\vec{u}_r$  est parallèle au segment  $OM$ .
- $\vec{u}_\theta$  est perpendiculaire à  $\vec{u}_r$ , dans le plan  $Moz$  et son sens est celui de  $\theta$ .
- $\vec{u}_\phi$  est perpendiculaire à  $\vec{u}_r$ , dans le plan  $xOy$  et son sens est celui de  $\phi$ .
- Le repère mobile est orthonormé : les trois vecteurs  $\vec{u}_r, \vec{u}_\theta$  et  $\vec{u}_\phi$  sont perpendiculaires l'un à l'autre [1].

### I.3.2. Rayonnement électromagnétique

Une onde EM est constituée d'un champ électrique  $E$  et d'un champ magnétique  $H$ . Dans le vide, ces deux champs sont orthogonaux et transverses (perpendiculaires à la direction de propagation) : c'est une onde TEM (Transverse Electro-Magnétique).

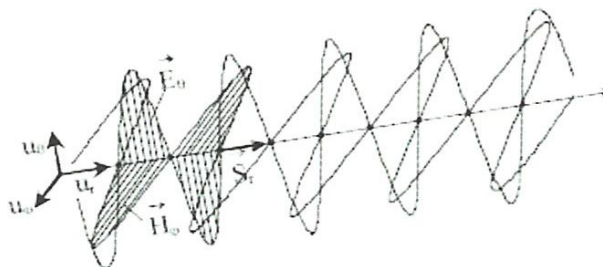


Figure (I.2): Onde TEM

On a :

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (I.5)$$

$$\vec{E} = \vec{Z} \times \vec{H} \quad |\vec{E}| = Z_0 \cdot |\vec{H}| \quad \text{avec} \quad Z_0 = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{H}|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cong 376.7 \Omega \quad (I.6)$$

$$|\vec{E}| = c \cdot |\vec{B}| \quad \text{avec} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (I.7)$$

Quelques explications :

$\vec{S}$  : Vecteur de Poynting . La partie réelle de  $\vec{S}$  indique la direction et le sens de l'écoulement de l'énergie.

A noter que dans le vide,  $\vec{S}$  est purement réel.

$Z_0$  : Impédance caractéristique du vide. Cette impédance a un peu le même rôle que l'impédance caractéristique d'une ligne.

Dans l'espace, les choses sont un tout petit peu plus compliquées, car les ondes EM se propagent dans les trois directions de l'espace [2].

## I.4- Concept d'Antenne

### I.4.1- Introduction

Les antennes 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 systèmes de réception.

### I.4.2- Théorème de Réciprocité

Le couplage antenne milieu extérieur est réciproque et l'on peut donc utiliser l'antenne indifféremment en émission ou en réception.

Cette propriété peut s'énoncer de la façon suivante : "Si une force électromotrice est appliquée à l'entrée d'une antenne A et si l'on mesure le courant produit par cette antenne aux bornes



d'une antenne B, on trouve un courant égal à celui que l'on aurait aux bornes de l'antenne A si la force électromotrice était appliquée à l'antenne B

### I.4.3- Différentes Zones de Radiation d'une Antenne

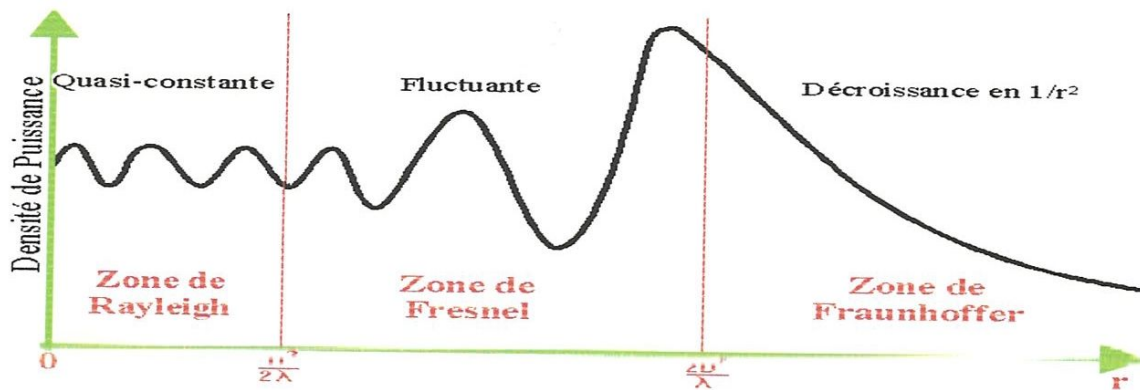


Figure I.3 : Zones de radiation d'une antenne

«  $r$  » correspond à la distance entre le point de référence et la frontière entre les champs proche et lointain (en mètres).

«  $D$  » le diamètre de la surface équivalente de l'antenne (en mètres).

«  $\lambda$  » Correspond à la longueur d'onde (en mètres).

#### ➤ Zone de Rayleigh :

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

#### ➤ Zone de Fresnel :

Dans une seconde zone  $\frac{D^2}{2\lambda} < r < \frac{2D^2}{\lambda}$  la densité de puissance est fluctuante.

#### ➤ Zone de Fraunhofer:

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

Si  $r$  est la distance à l'antenne, dans cette zone

$r > \frac{2D^2}{\lambda}$  la densité de puissance décroît en  $1/r^2$ .

## I.5. Antennes

Les antennes sont devenues les éléments de base pour une liaison radioélectrique. Les

technologies modernes s'orientent vers la miniaturisation de ces antennes tout en essayant de garder les meilleures performances. Dans ces dernières années, divers types d'antennes imprimées ont été développés, et différentes techniques d'alimentation sont mises en œuvre pour améliorer les performances de ce type d'antennes dans plusieurs cas d'applications. La technique des circuits imprimés a révolutionné les domaines de l'électronique, et plus récemment celui des hyperfréquences, où elle se prête particulièrement bien à la réalisation de circuits et d'antennes [5]. Il y a beaucoup de types d'antennes. Elles peuvent être classifiées dans différentes manières. Quelques exemples sont :

- **Formes ou géométries**

- Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale.
- Antennes d'ouverture : cornet, fente.
- Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale.

- **Gain**

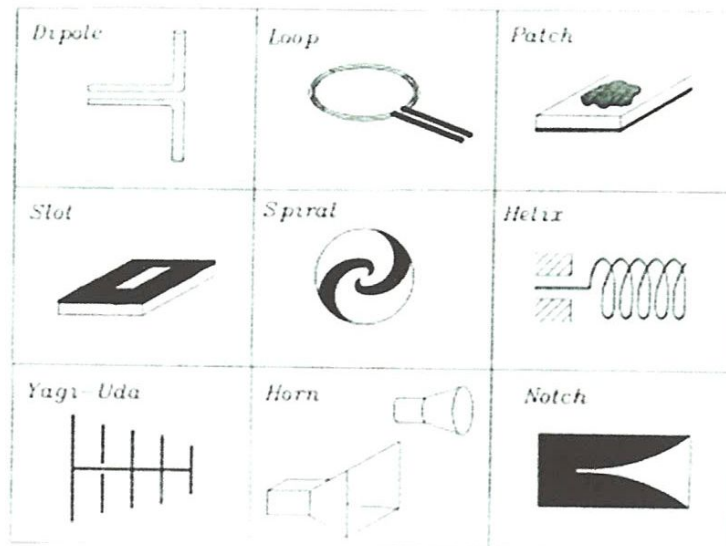
- Gain élevé : plat.
- Gain moyen : cornet.
- Gain faible : dipôle, boucle, fente, patch.

- **Formes de faisceau**

- Omnidirectionnel : dipôle.
- Faisceau de crayon : plat.
- Faisceau de fan : rangée.

- **Largeur de bande**

- Large bande : hélix.
- Bande étroite : patch.



Figure(1.4) : Types d'antennes.

## I.6- Types d'Antennes

Les antennes hyperfréquences peuvent se classer, en gros, en quatre catégories

- les antennes filaires.
- Les projecteurs d'ondes.
- Les antennes à fentes.
- Antennes imprimées.

### I.6.1.les antennes filaires

#### I.6.1.1.Le dipôle demi-onde ou doublet

C'est un conducteur électrique de longueur  $\lambda/2$ . Il est coupé au centre, chacune des branches est alimentée par d'un côté l'âme du coaxial, de l'autre la tresse. Les deux brins sont rigoureusement symétriques, le point d'alimentation en énergie se trouve au centre de l'antenne. Celle-ci peut être réalisée en fil ou en tube[13]. Augmenter le diamètre du ou des conducteurs conduit sur une antenne à augmenter sa bande passante.

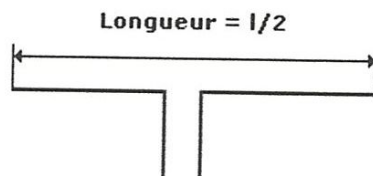


Figure (I.5) : Le dipôle quart d'onde



Le dipôle demi-onde a une propriété extrêmement utile : Taillé mécaniquement en demi-onde pour une fréquence donnée (à la bande passante près), son impédance est de  $73\Omega$  et cette impédance est purement résistive ce qui permet son alimentation par un câble coaxial  $75\Omega$  sans autre forme de procès.

On appelle ceci un dipôle résonnant car à la "résonance" tout se passe comme si nous avons affaire à un circuit résonant série [4].

### I.6.1.2. Antenne cadre

Pour les ondes longues et moyennes, les antennes filaires sont difficiles d'emploi. On leur préfère souvent les antennes cadres. Comme son nom l'indique, l'antenne cadre est constituée d'une ou plusieurs spires enroulées sur un cadre de dimensions relativement grandes (quelques cm à quelques dizaines de cm).

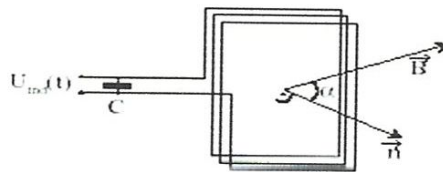


Figure (I.6) : Antenne cadre

L'antenne ferrite, version moderne de l'antenne cadre, possède un noyau en ferrite qui augmente le flux magnétique. Cette antenne est intéressante lorsqu'on doit réaliser un récepteur de petite taille [15].

### I.6.2. Antenne à réflecteurs

C'est l'antenne parabolique utilisée en télécommunications :

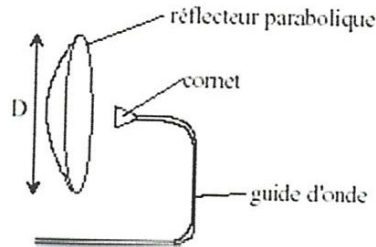
- Faisceaux hertziens (4 à 12 GHz).
- Stations terrestres pour les télécommunications spatiales.
- Antennes de satellites [4].

#### I.6.2.1. Antenne parabolique

Les antennes paraboliques se caractérisent par une directivité très forte.

On les utilise en général pour des fréquences plus hautes que 1 GHz. En dessous de 400 MHz, leur taille devient problématique [ 6].

L'antenne parabolique est constituée d'un cornet (antenne de type ouverture) et d'un réflecteur parabolique Figure(I.7).



Figure(I.7) : Antenne parabolique

Le réflecteur parabolique transforme une onde sphérique en onde plane. On ne peut cependant pas obtenir une transformation totale: il faudrait pour cela un réflecteur de diamètre  $D$  infini [12].

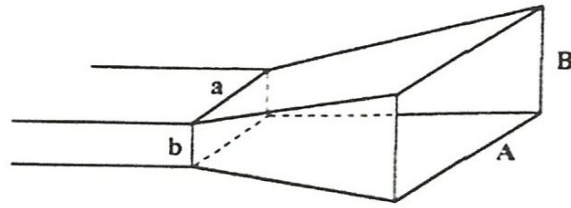
### I.6.3. Antenne à fente et ouvertures rayonnantes

L'antenne à fentes se caractérise par son développement vertical en forme de cornière, ou guide d'ondes, avec des fentes à dimensions et emplacement particuliers qui sont fonctions de la fréquence.

L'antenne à fente est utilisée pour réaliser des antennes sectorielles, c'est-à-dire possédant un gain significatif sur un angle d'ouverture assez grand. Ces antennes sont utilisées notamment pour le Wifi et le radio amateurisme.

#### I.6.3.1. Antenne cornet

Une antenne cornet est une antenne en forme de cylindre, de cône ou pyramide tronquée surtout employée par les radioamateurs et dans les applications professionnelles. La limite d'utilisation inférieure se situe vers 2.3 GHz englobant l'ISM et le Wi-Fi, mais est particulièrement efficace et intéressante dès 10 GHz.



Figure(I.8): Antenne cornet

L'antenne cornet, la plus connue étant la « Ricorée », comporte un monopôle (tige) sur fiche N ou SMA ou F, placé à une distance critique du fond du cornet. La hauteur du monopôle, ou mono polaire, est fixe, environ 3cm pour une fréquence de 2.45 GHz [27].

#### I.6.4.les antennes réseaux

Les antennes réseaux sont constituées par un ensemble de sources élémentaires alimentées par des voies séparées. Ces sources sont souvent des cornets ou des fentes rayonnantes ou des éléments imprimés ou même des dipôles. Un dispositif d'alimentation, appelé en français « réseau d'alimentation des sources » et en anglais Beam forming network permet de commander les amplitudes et les phases relatives de ces sources. Grâce à cette commande des sources en amplitude et en phase, les antennes réseaux peuvent produire des diagrammes de rayonnement ayant une forme voulue. Il sera notamment possible de les conformer localement [10].

##### I.6.4.1.L'antenne Yagi-Uda

Il arrive parfois que des inventions modifient profondément la technique et les connaissances d'un domaine et c'est ce qui s'est produit dans le monde de la radioélectricité. Deux chercheurs japonais, les docteurs Uda et Yagi ont, vers 1930, conçu le principe de l'antenne à gain, ce modèle est toujours vivant et nous l'utilisons au quotidien [16].

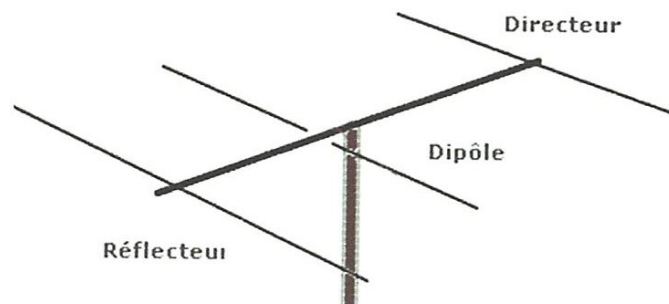


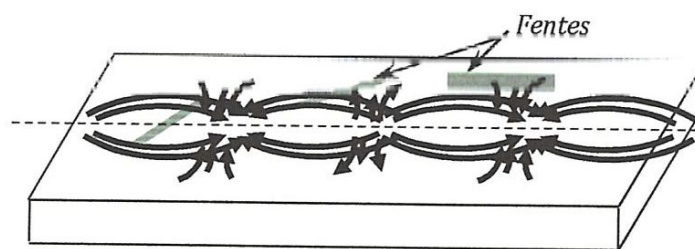
Figure (I.9) : Antenne Yagi-Uda



L'antenne Yagi est constituée d'un dipôle replié (radiateur), auquel on a associé un ou plusieurs éléments passifs, appelés directeur(s) et réflecteur Figure(I.9). Lorsque le dipôle actif est alimenté, il émet des ondes EM. Les dipôles passifs vont être excités par des courants et ils vont rayonner à leur tour. Le champ rayonné est la somme des champs émis par tous les éléments rayonnants. Ce type d'antenne est très difficile à calculer, dans la mesure où tous les éléments interagissent les uns avec les autres.

#### I.6.4.2. Guides d'ondes à fentes

Réalisés par la présence de trous ou fente sur un guide d'onde.



Figure(I.10) : Guide d'onde à fentes

#### ➤ Principes

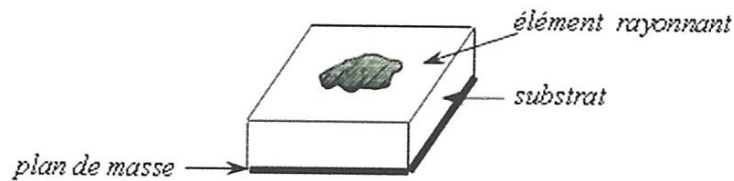
- Chaque fente constitue une source, alimentée par les courants induits à la surface du guide d'onde.
- Le choix approprié d'un ensemble de fente permet de réaliser des antennes à polarisation circulaire, ou polarisation croisée.
- Il permet également de réaliser des diagrammes de rayonnement spécifiques.

#### ➤ Applications

- Très bonne intégration (éléments embarqués).
- Antennes fonctionnant à très haute fréquences (>GHz).
- Très intéressant pour la mise en œuvre d'antennes réseau (ou groupement) [17].

#### I.6.5. Antenne patch

La technologie des antennes patch, développement de surface, souvent sur circuit imprimé double face, est retenue dans la catégorie des antennes dites plates ou panneaux capotés.



Figure(I.11): Antenne à éléments imprimés (patch)

Les antennes imprimées sont constituées de métallisations gravées sur les interfaces d'un empilement de milieux diélectriques (substrats isolants).

Leur gain (à 2.4 GHz) 9, 12, 18, 21 dBi, varie en fonction du nombre d'éléments.

Plus ces derniers sont nombreux plus l'antenne est directive et sa surface (carrée ou rectangulaire) est importante.

Les antennes patch sont disponibles soit pour la polarisation linéaire horizontale ou verticale soit pour la polarisation circulaire gauche ou droite.

#### I.6.5.1. Plan de masse

Doit être théoriquement de dimension infinie mais en pratique celui-ci est plutôt, pour des raisons d'encombrement, de l'ordre de 3 ou 4 longueur d'onde. Il arrive cependant que celui-ci soit très réduit, ce qui bien évidemment modifie les caractéristiques de l'antenne initiale, parfois de manière très prononcée [19].

#### I.6.5.2. Substrat

Les caractéristiques du substrat conditionnent également le comportement de l'antenne. On choisit en général un diélectrique de faible hauteur vis-à-vis de la longueur d'onde  $\lambda$  d'utilisation (quelques  $\lambda/10$ ), idéalement la permittivité relative du substrat doit être faible ( $\epsilon_r \leq 3$ ) de façon à permettre le rayonnement, en évitant le confinement des champs dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse. Les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de téflon

( $2 \leq \epsilon_r \leq 3$  et  $tg \delta \approx 10^{-3}$ ), du polypropylène ( $\epsilon_r = 2,18$  et  $tg \delta = 3.10^{-4}$ ) ainsi que des mousses synthétiques contenant beaucoup de minuscules poches d'air ( $\epsilon_r = 1,03$  et  $tg \delta \approx 10^{-3}$ ).

Le substrat est caractérisé par sa permittivité relative  $\epsilon_r$ , sa hauteur  $h$  et son facteur de perte  $\tan \delta$ , il doit répondre à certaines exigences :

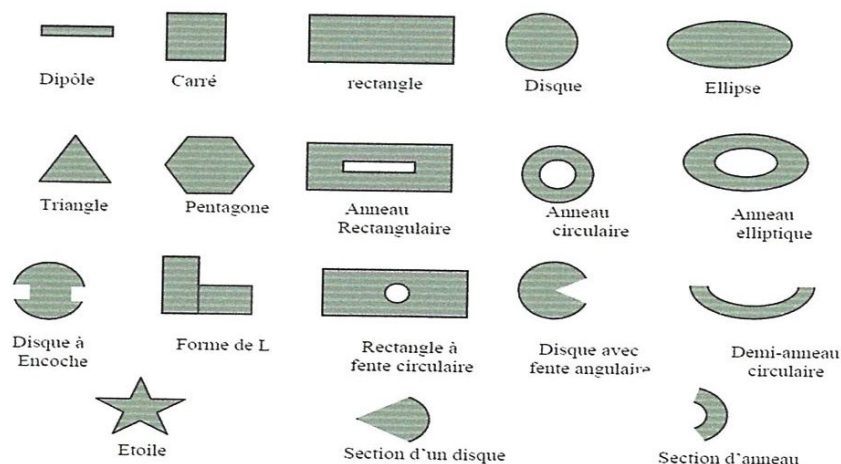
- Une conservation de la forme originale
- La stabilité en température (pour soudure) et aux conditions atmosphériques
- L'uniformité de la permittivité relative et de hauteur (sur de grande plaque)
- faible pertes diélectrique  $\tan \delta \approx 10^{-3}$  pour une meilleure efficacité
- Une résistance aux produits chimiques
- Une faible rugosité

Substrat mince avec des constantes diélectrique élevées sont souhaitables pour les circuits micro-ondes, car ils nécessitent étroitement liée champ pour minimiser le rayonnement indésirable et le couplage [20].

### 1.6.5.3.Éléments rayonnants

Les métallisations sont en très bons conducteurs tels que le cuivre, l'argent ou l'or (de conductivités respectives  $\sigma = 5,8.10^7; 6,2.10^7$  et  $4,1.10^7 S / m$ ).

Afin de simplifier l'analyse et l'estimation des performances, le patch a généralement une forme rectangulaire, circulaire, triangulaire, elliptique ou autre forme connue comme indiqué dans la figure (I.12)[7].



Figure(I.12) : Divers types d'éléments rayonnants



#### I.6.5.4. Alimentation des éléments rayonnants

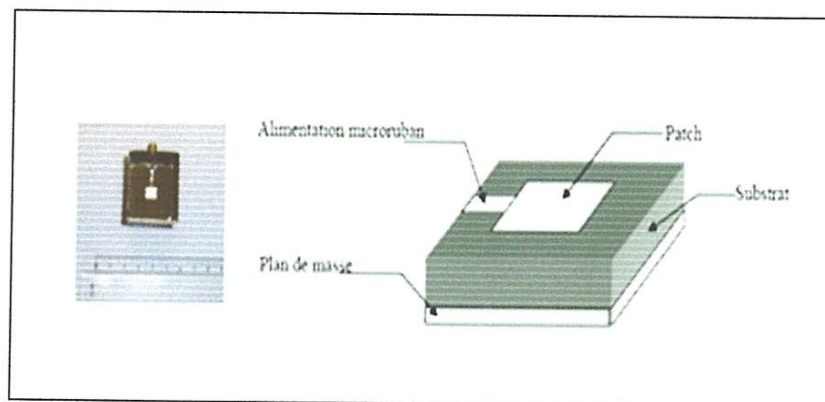
L'alimentation joue un rôle très important lors de la conception des antennes imprimées. Elle peut modifier les caractéristiques de rayonnement de celles-ci. L'alimentation pourra être soit centrée soit arbitraire par rapport à la géométrie de l'élément. Par sa position, elle détermine l'adaptation de l'antenne à la ligne d'alimentation. Il existe une large variété de techniques d'alimentation permettant ainsi de fournir à l'antenne, l'énergie qui lui est nécessaire pour rayonner.

##### ➤ Alimentation par ligne micro ruban

Dans cette méthode d'alimentation, une ligne micro ruban (généralement de  $50\Omega$ ) est connectée directement au bord du patch rayonnant.

La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch. Ce genre d'alimentation a l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure planaire.

C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple à réaliser [21]



Figure(I.13) : Alimentation par ligne Micro ruban

##### ➤ Alimentation par une sonde coaxiale

Cette méthode d'alimentation a beaucoup été étudiée dans la littérature.

Elle a l'avantage de positionner l'alimentation sous l'élément rayonnant et à utiliser une ligne non rayonnante (coaxiale), ce qui diminue fortement le rayonnement parasite, et qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de

fabrication. Le conducteur central du câble coaxial est soudé sur l'élément rayonnant après avoir traversé le plan de masse et le diélectrique. Le conducteur extérieur est quant à lui soudé au plan de masse.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement.

En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément plaqué [22].

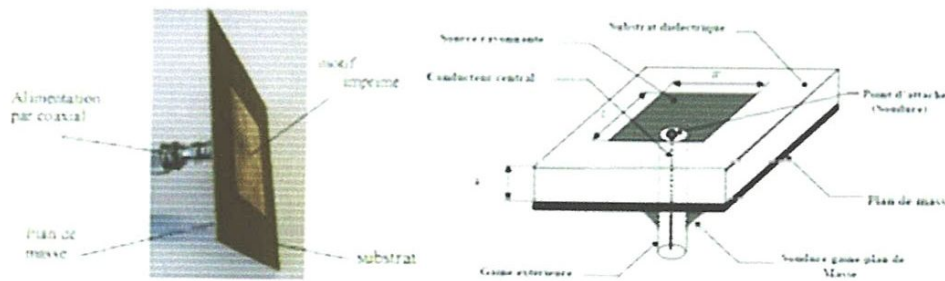


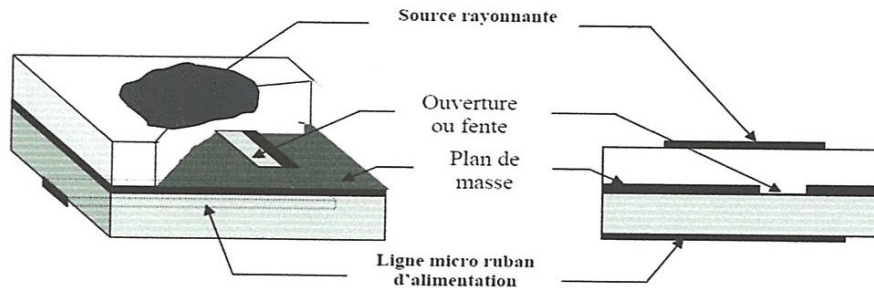
Figure (I.14) : Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale

#### ➤ Alimentation couplée par fente (ouverture)

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique sur la figure(I.19). La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch.

Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante. L'inconvénient de telle technique et sa complexité de fabrication. Cette complexité réside dans : l'ouverture dans le plans de masse, La réalisation de deux couche diélectriques.

Elle reste tout de même utilisée pour certaines applications, car elle permet une amélioration de la bande passante qui peut aller jusqu'à 25% [22].



Figure(I.15) : Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande à travers une fente dans le plan de masse.

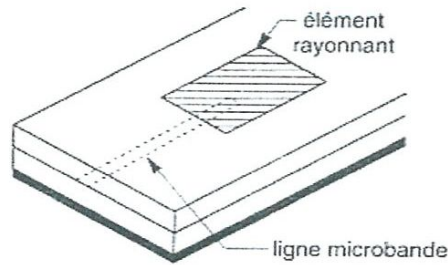
#### ➤ Alimentation couplée par proximité

Cette technique d'alimentation est connue également sous le nom de couplage électromagnétique. Deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est située entre les deux substrats et le patch est imprimé sur le substrat supérieur figure (I.16).

L'avantage principal de cette technique est qu'elle élimine le rayonnement parasite due à l'alimentation et fournit une largeur de bande très élevée (plus que 13%), en raison de l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne microbande.

Cette technique fournit également des choix entre deux milieux diélectriques différents, un pour le patch et un pour la ligne d'alimentation pour optimiser les performances de l'antenne. Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs [23].





Figure(I.16) : Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande

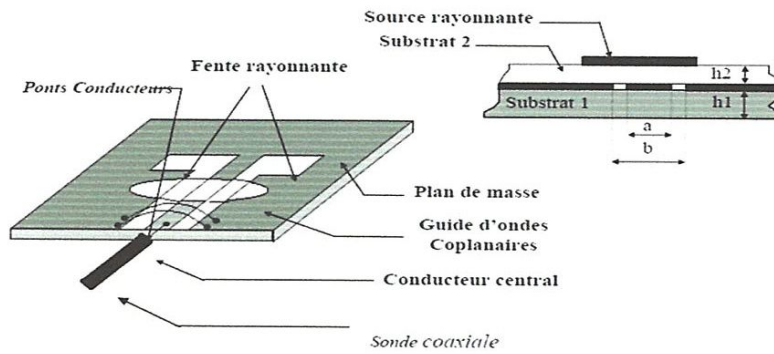
➤ **Comparaison entre ces différentes techniques d'alimentations**

caractéristiques	Alimentation par ligne micro ruban	Alimentation coaxiale	Alimentation Couplée par ouverture	Alimentation Couplée par proximité
Rayonnement parasite de l'alimentation	plus	plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvres à cause de soudure	Bon	Bon
Fiabilité de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante (réalisé avec adaptation d'impédance)	2-5%	2-5%	2-5%	13%

Tableau(I.2): Comparaison entre les différentes techniques d'alimentations

➤ **Alimentation par guide d'ondes coplanaires**

Le plan de masse et la ligne d'alimentation se trouvent sur la même face du substrat. A cette partie est rajouté un élément rayonnant imprimé sur un second substrat déposé au-dessus à hauteur des fentes rayonnantes.

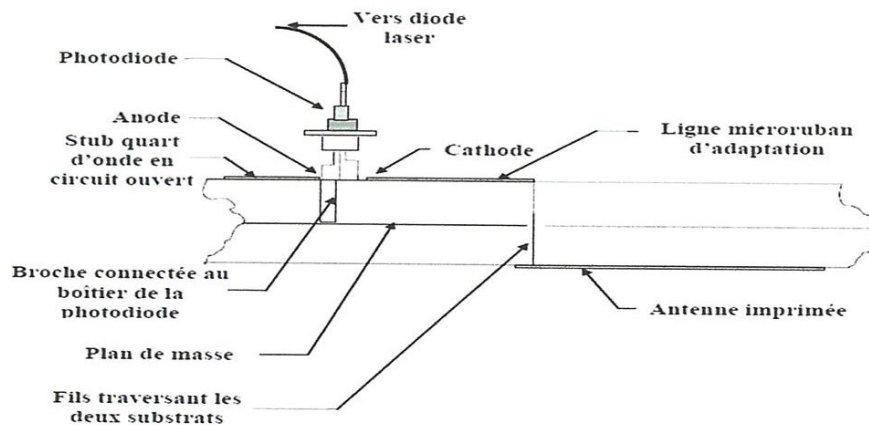


Figure(I.17) : Alimentation par guide d'ondes coplanaires

### ➤ Alimentation par fibres optiques

Ce type de liaison présente plusieurs avantages, comme une large bande passante, une forte liaison, une grande immunité au bruit, une taille et un poids réduits.

Le concept est le suivant : une diode laser est modulée à l'aide d'une fibre optique. Sur le substrat de l'antenne une photodiode démodule le signal lumineux qui sera ensuite couplé à l'antenne imprimée par un circuit d'adaptation.



Figure(I.18): Alimentation par fibre optique

### I.6.5.5. Les avantages des antennes imprimés

- Faible poids.
- Limitation du risque de panne.
- Faible coût de fabrication, production en masse possible.
- Polarisation linéaire et circulaire.
- Antennes multi bandes, multi polarisations possibles.
- Simples, Robustes.
- non encombrants.

### I.6.5.6. les inconvénients des antennes imprimés

- Bande passante étroite, souvent associée avec les problèmes de tolérances (géométriques et physiques).
- Généralement faible gain (6 dB).
- La plupart des antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan.
- Supportent uniquement des faibles puissances (quelques dizaines de watts).
- Rayonnement parasite de l'alimentation.
- Circuit d'alimentation parfois très complexe.

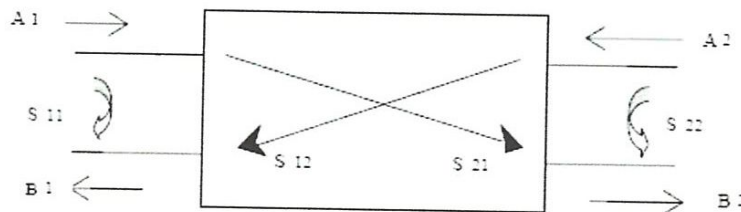
## I.7- Caractéristiques d'une antenne

Dans les communications sans fil, chaque application met en relief certaines caractéristiques des antennes.

D'une manière générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas l'être dans d'autres. Une antenne peut être caractérisée par :

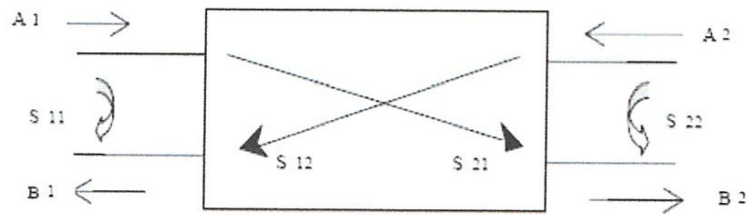
### I.7.1- Représentation en quadripôles

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure I.19), défini par les paramètres S



Figure(I.19) : Représentation en quadripôle





Figure(I.19) : Représentation en quadripôle

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$  et  $B_2$  sont des ondes de puissance.

On a les relations suivantes :

$$B_1 = S_{11} \cdot A_1 + S_{12} A_2 \quad (I.8)$$

$$B_2 = S_{21} A_1 + S_{22} \cdot A_2 \quad (I.9)$$

Le coefficient  $S_{11}$  correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque  $A_2 = 0$ .

Le coefficient  $S_{12}$  représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque  $A_1 = 0$ .

Le coefficient  $S_{21}$  est le gain du quadripôle lorsque  $A_2 = 0$ .

Le coefficient  $S_{22}$  est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque  $A_1 = 0$ .

### I.7.2- Coefficient de réflexion $S_{11}$ (ou $\Gamma$ )

- Adaptation et rapport d'onde stationnaire On dit qu'une antenne est parfaitement adaptée lorsque son impédance d'entrée ( $Z_e$ ) est égale à l'impédance de la ligne d'alimentation ( $Z_c$ ), sinon on démontre qu'il apparaît un coefficient de réflexion  $s_{11}$  (ou  $\Gamma$ )

$Z_e$ : Impédance d'entrée de l'antenne ( $Z_e = R + jX$ )

$Z_c$ : Impédance caractéristique de la ligne.

$$\Gamma = \frac{z_e - z_c}{z_e + z_c} \quad \begin{array}{l} \text{onde réfléchi} \\ \text{onde incidente} \end{array} \quad (I.10)$$

Le rapport d'ondes stationnaires (ROS) est défini comme suit :

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

Une antenne résonne si la partie imaginaire de son impédance d'entrée est nulle (Pratiquement on prend le minimum de la partie imaginaire),

Pour  $\Gamma \rightarrow 0 \Rightarrow \text{Re}\{Z_e\} \approx Z_c$

Et dans laquelle la directivité de l'antenne est maximale, et le gain est plus élevé, c'est à

$P_r$  dépend de la Puissance  $P_e$  fournie à l'antenne d'émission, du Gain  $G_e$  de cette antenne et de la distance  $d$  entre l'émetteur et le point considéré. L'expression de  $P_r$  est:

$$P_r = \frac{P_e G_e}{4\pi d^2} [\text{w/m}^2] \quad (\text{I.12})$$

#### I.7.4- Directivité

La directivité (parfois appelée gain directionnel) d'une antenne est définie ainsi :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(r, \theta, \varphi)}{P_{\text{iso}}} \quad (\text{I.13})$$

On admet que  $P_{\text{iso}}$  est la densité de puissance émise par une antenne isotrope qui aurait la même puissance émise  $P_e$ .

Avec :

$$P_{\text{iso}} = \frac{P_e}{4\pi d^2} \quad (\text{I.14})$$

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope.

La directivité ne dépend pas de  $r$ , car les deux densités décroissent en  $1/r^2$ .

#### I.7.5- Gain en puissance et rendement

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit

$$\eta = \frac{P_E}{P_F} \quad [\%] \quad (\text{I.15})$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

Le gain en puissance dépend de la fréquence du signal émis.

Il est très faible aux basses fréquences mais atteint des valeurs de 75% à 95% pour des fréquences supérieures à 1 MHz.

Le gain en puissance d'une antenne est le suivant :

$$P(r, \varphi) = \eta \cdot D(\theta, \varphi) \quad (\text{I.16})$$

On déduit de (10), (11) et (12) la densité de puissance d'une antenne par rapport à la

$$P(r, \Theta, \varphi) = G(\varphi, \Theta) \frac{P_F}{4\pi R^2} \quad (I.17)$$

puissance fournie  $P_F$ . De fait, le gain en puissance d'une antenne est un paramètre plus intéressant que sa directivité; en effet, comme le rendement  $\eta$  est inclus, on peut calculer la densité de puissance en introduisant directement la valeur de la puissance fournie  $P_F$  dans (14).

### I.7.6- Ouverture

Si  $G_m$  est le gain maximal d'une antenne donnée dans un plan bien déterminé, alors son ouverture dans ce plan est l'angle qui se trouve entre deux directions de ce plan ayant la moitié du gain maximal (gain à 3 dB), soit :  $G_m/2$ .

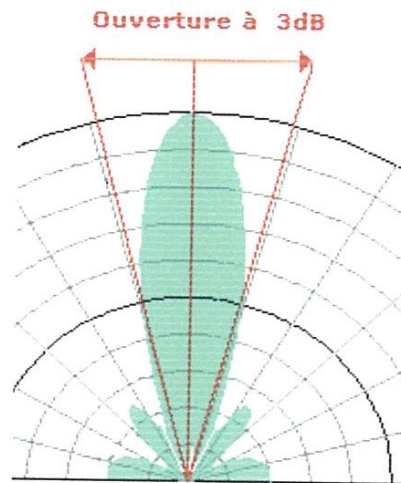


Figure I.20 : l'ouverture

### I.7.7- 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. Cette impédance est donnée par la formule

$$Z_e = Z_c \frac{(1+s_{11})}{(1-s_{11})} \quad (I.18)$$



$Z_c$  = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

### I.7.8-Diagramme de rayonnement

La répartition dans l'espace de l'énergie rayonnée par une antenne est caractérisée par son diagramme de rayonnement.

Soit une source rayonnante positionnée au point O du repère (Oxyz) et soit  $\vec{OM}$  une position quelconque, définie par les angles  $\theta$  et  $\varphi$  (Figure I.21).

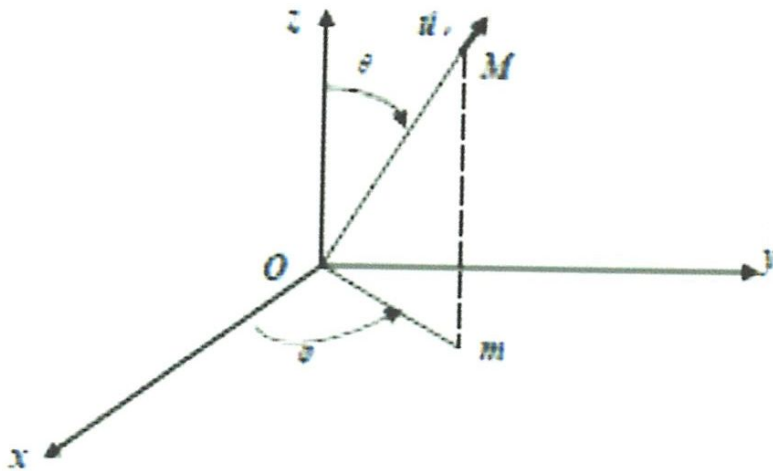


Figure I.21 : Source élémentaire liée au repère des coordonnées sphériques.

La détermination du champ rayonné par cette source se fait à partir de la résolution des équations de Maxwell « (1) (2) (3) (4) »

Ce problème de physique mathématique n'a en général pas de solution analytique, même pour les structures les plus simples.

C'est pour cette raison que l'on fait appel à des modèles équivalents.

Ces modèles vont contribuer à la détermination du champ électromagnétique rayonné par l'antenne. Il a été établi qu'à grande distance, ce champ électromagnétique ne possède pas de composante radiale suivant  $r$  ou  $r$ . L'onde rayonnée se comporte alors comme une onde plane, par conséquent, les champs électrique et magnétique sont transverses et perpendiculaires entre eux. Dans le système des coordonnées sphériques, le champ électrique a pour expression

$$\vec{E}(r, \theta, \varphi) = W \frac{e^{-jkr}}{r} \vec{F}(\theta, \varphi) \quad (\text{I.19})$$

Où  $W$  est un nombre complexe, et  $\vec{F}(\theta, \varphi)$  représente la caractéristique vectorielle de

rayonnement, propre à l'antenne, et  $k$  représente le nombre d'onde  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ .

On définit le diagramme de rayonnement d'une antenne par la représentation polaire du champ électrique ou de sa fonction caractéristique.

Il est cependant plus intéressant de considérer le carré de la norme de  $\vec{E}(\Theta, \phi)$  directement relié à la puissance rayonnée, normalisé en général par rapport à son maximum : c'est le diagramme de rayonnement en puissance de l'antenne.

Les diagrammes de rayonnement sont généralement mesurés dans les plans de symétrie, s'il y en a, ou dans les plans principaux nommés plan E et plan H (Figure I.22). Ceux sont respectivement les plans pour lesquels les champs électrique et magnétique atteignent leurs valeurs maximales [2].

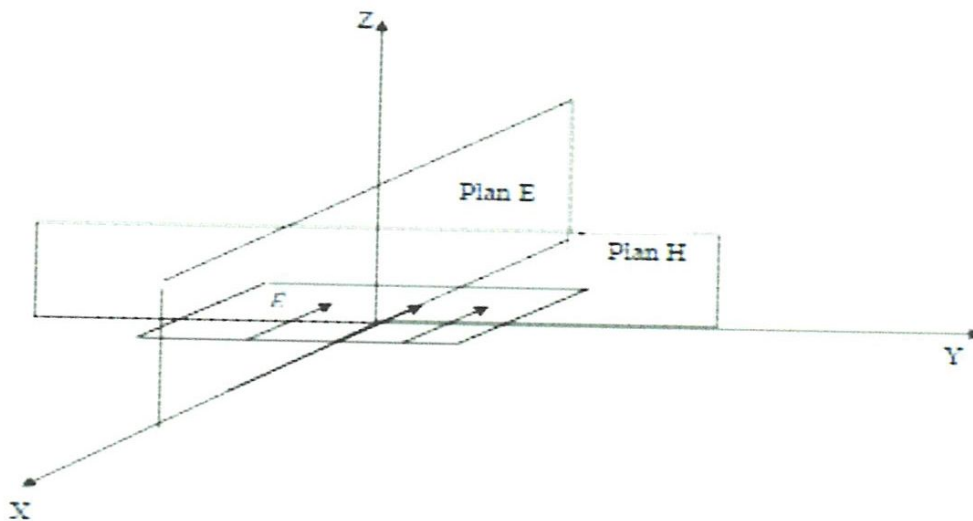


Figure I.22 : Définitions des plans principaux (E et H).

Avec une source polarisée parallèlement à l'axe OX, le plan E est caractérisé par  $\phi = 0^\circ$  et  $\Theta$  variable tandis que pour une source polarisée parallèlement à l'axe OY, le plan H est caractérisé par  $\phi = 90^\circ$  et  $\Theta$  variable.

Les diagrammes de rayonnement sont représentés en coordonnées polaires ou en coordonnées cartésiennes.

### ➤ Lobe principal

La quasi-totalité de la puissance est concentrée dans la direction du maximum de rayonnement, formant ce qu'on appelle le lobe principal.

La caractéristique qu'on associe à celui-ci est sa largeur à mi-puissance, également appelée largeur à -3dB.

Il arrive parfois de mesurer la largeur à -10dB, lorsque l'antenne présente un lobe principal très étroit.

### ➤ Les lobes secondaires

En dehors du lobe principal, la puissance rayonnée est répartie dans l'espace, formant ce qu'on appelle les lobes secondaires ou latéraux (Figure I.23).

Ces derniers sont caractérisés par leurs niveaux et leurs positions par rapport au maximum de rayonnement. Le premier lobe secondaire est celui auquel on se réfère le plus souvent.

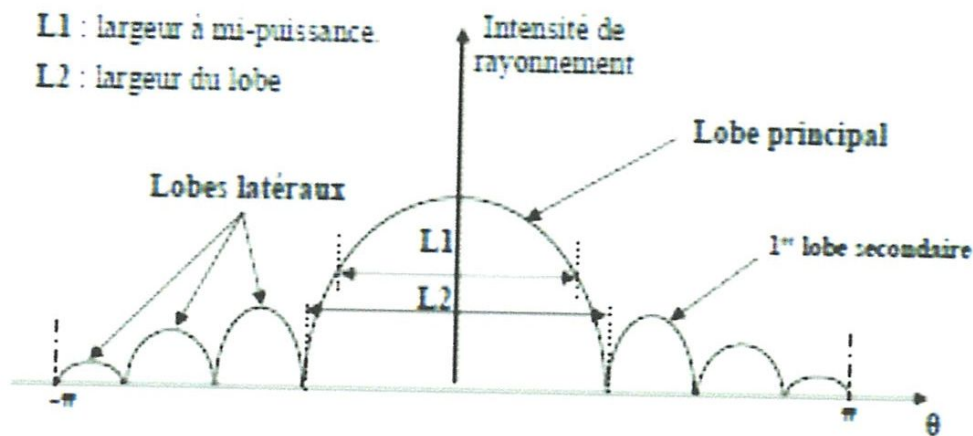


Figure I.23 : Tracé du digramme de puissance et caractérisation des lobes et de leurs largeurs

### I.7.9-La Bande passante

La bande passante de l'antenne correspond à l'intervalle de fréquence d'utilisation de l'antenne en émission ou en réception avec une efficacité de 50% et plus.

On obtient une large bande passante lorsque le gain de l'antenne est important.

C'est un paramètre exprimé en pourcentage (%) et qui est donné par

$$B(\%) = 100 \times \frac{(f_s - f_i)}{f_c} \quad (I.20)$$

(Typiquement  $B\% = 10$  à  $20\%$ ) où

- $f_c$  est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue,
- $f_s$  et  $f_i$  les fréquences limites supérieures et inférieures.



### **I.7.10- Polarisation de l'Onde Rayonnée**

La polarisation de l'antenne, décrit la forme et l'orientation du chemin que fait l'extrémité du vecteur champ électrique  $E$  ou magnétique  $H$  lorsqu'il évolue avec le temps et ce en un point donné de l'espace. Ce chemin peut être une ligne, un cercle ou une ellipse, selon la manière dont est alimentée l'antenne. On obtient alors respectivement une polarisation rectiligne, circulaire ou elliptique.

Par convention: la polarisation de l'onde est la direction du champ électrique  $E$ .

### **I.8- CONCLUSION**

La technologie microbande en générale, et les antennes en particulier connaissent un succès croissant aux prés des industriels et des professionnels de télécommunication, qu'elle soit spatiale ou terrestre. Il est nécessaire de bien définir l'intégralité des paramètres des antennes, afin de prévoir son comportement avant même la réalisation, et de s'assurer qu'elle se conformera aux exigences des systèmes.

Nous avons essayé à travers ce chapitre de présenter les caractéristiques d'antenne, ainsi que leurs différents types. On a cité une étude générale d'antenne imprimée et les types d'alimentation utilisés sur ce modèle.

**Chapitre II :**  
**Technologie**  
**Ultra large bande**

## II.1 Introduction

La technologie Ultra Large Bande (ULB) ou Ultra Wide Band (UWB) est une technologie de transmission sans fil utilisant les ondes radio. Elle est née au début des années soixante et doit une grande partie de son développement à de nombreux travaux financés par le gouvernement américain sous le couvert de la confidentialité et destinés aux applications radar.

Le terme UWB désigne au départ des formes d'ondes sans porteuses faites d'impulsions très courtes (durée inférieure à la nanoseconde). On trouve ainsi dans la littérature les termes "carrierless radio" et "impulse radio". Cependant, la définition la plus couramment utilisée est celle qualifiant le rapport entre largeur de bande et fréquence centrale, encore appelé "Fractional Bandwidth " :

$$\text{Fractional Bandwidth} = \frac{F_H - F_L}{F_c} \geq 0.25 \quad (\text{II.1})$$

Depuis 1994, cette technologie est largement étudiée dans les milieux industriels et universitaires et fait l'objet de nombreuses publications relatives notamment à son utilisation dans les WPANs (Wireless Personal Area Network) à haut débit.

La FCC (Federal Communications Commission) - l'autorité américaine de régulation des télécoms - a d'ailleurs autorisé son exploitation commerciale depuis le 14 février 2002 bien que la définition exacte ne soit toujours pas arrêtée. A ce jour, seuls les Etats-Unis ont légiféré et autorisé le déploiement de l'UWB. Dans ce contexte, ce rapport vise à décrire les différents aspects couverts par la technologie UWB : quelles sont ses caractéristiques, ses points faibles et ses atouts, ses applications passées, courantes et à venir ? Mais surtout, quels sont les enjeux induits par l'utilisation de cette bande de fréquences ultra large.

## II.2 Historique

Les articles traitant de l'histoire de l'UWB convergent sur le fait que le terme «UWB» a probablement été introduit en 1989 par le département de la défense (DoD) des États-Unis, alors que les formes d'ondes par impulsions étaient déjà utilisées depuis plus de quarante ans. Ceci peut permettre d'expliquer en partie la difficulté pour la Federal Communications Commission (FCC) de statuer sur une définition de l'UWB.

Les auteurs s'accordent à situer le début des travaux sur le sujet (time-domain électromagnétiques) au début des années soixante. Le premier brevet sur l'application aux télécommunications serait dû à G. F. Ross en 1973. Toutefois, on trouve des références à des



travaux de Pierce et Hopper en 1952 mettant en oeuvre une transmission de signaux téléphoniques analogiques, au moyen d'impulsions aléatoirement espacées dans le temps. Cet article semble constituer le premier travail sur la radio par impulsion à accès multiple ou Impulse Radio Multiple Access (IRMA).

Ce qui est encore plus surprenant, c'est que les auteurs justifient leur recherche sur une idée développée par Shannon quelques années auparavant dans des travaux non publiés.

Enfin, l'application qui en est proposée est très proche de la boucle locale radio actuelle.

Jusqu'en 1994 de nombreux travaux ont été financés par le gouvernement américain sous le couvert de la confidentialité. Depuis lors, l'étude des systèmes de transmissions par impulsions tant dans le monde industriel qu'académique a fait l'objet de nombreuses publications. Le premier article décrivant cette solution, connue sous le nom d'Impulse Radio (IR), est dû P. Withington et Fullerton en 1992. Appartenant à deux sociétés différentes, P. Withington (Pulson Communications) et L. Fullerton (Time-Domain Systems, Inc), travaillent à la réalisation d'une puce permettant la mise en oeuvre de ce type de système. Ils fonderont en 1996 la société Time Domain qui propose sur le marché des modems IR à base de puces nommées PulsON. Cet article fut alors suivi de travaux académiques démarrés par Scholtz en 1993 et ce n'est qu'en 1997 que le terme UWB apparaît dans le titre d'un article consacré à l'IR. Depuis lors, les deux appellations cohabitent suivant les auteurs. En 2000, la Federal Communications Commission (FCC) aux États-Unis, a proposé d'inclure les systèmes UWB dans le cadre de la réglementation « Part 15 ». Ceci s'est traduit par le document « Notice of Proposed Rule Making ».

Le 14 février 2002, dans sa décision FCC 02-48, la Federal Communication Commission (FCC) approuvait l'exploitation commerciale de la technologie de la bande ultra-large (UWB) sur la bande de fréquences de 3.1 à 10.6GHz sans licence. Les dispositifs UWB envoient de brèves impulsions, de sorte que les signaux peuvent être transmis sur une large bande à une très faible puissance (inférieure au niveau de bruit) au lieu d'être véhiculés sur une onde continue, comme c'est le cas avec les dispositifs sans fil actuels, que restreignent la bande passante et les interférences.[3]

## **II.3 La technologie Ultra large bande**

### **II.3.1 Caractéristiques principales de la technologie UWB**

C'est de la durée très courte des impulsions utilisées que découle la large bande de fréquences caractéristique de la technologie UWB. En effet, comme la durée des impulsions

est très courte, on peut aussi bien en émettre une grande quantité dans un intervalle de temps T donné qu'une faible quantité, utilisant ainsi une très large gamme de fréquences qui s'étend sur plusieurs gigahertz.

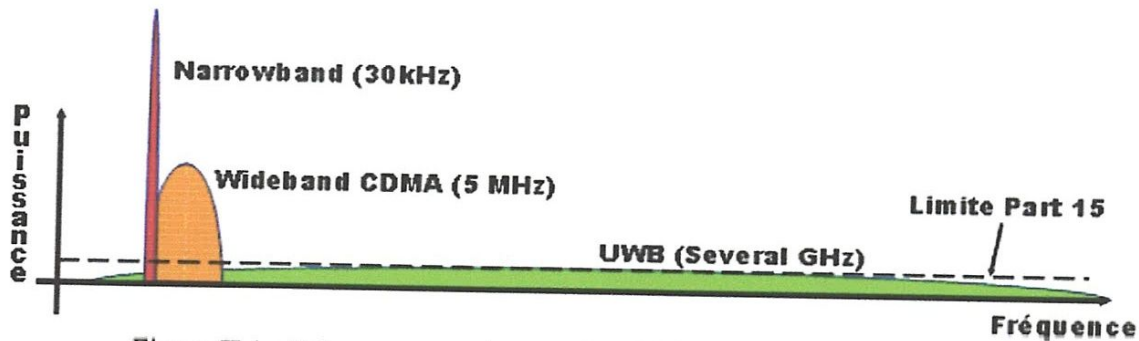


Figure II.1 : Fréquence et puissance des différentes technologies sans fil

Du point de vue de la théorie de l'information, la caractéristique la plus importante de la technologie UWB est sans nul doute la faible puissance utilisée. Celle-ci découle directement de l'équation de Shannon décrivant la capacité d'un canal de transmission :

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{WP_0}{WN_0} \right) \text{ bits par seconde} \quad (\text{II.2})$$

C : capacité du canal de transmission

W : largeur de bande en Hz

P<sub>0</sub> : puissance du signal en W/Hz

N<sub>0</sub>/2 : densité spectrale du bruit en W/Hz

Pour un système UWB, la largeur de bande est sensiblement supérieure au débit des données, ainsi on peut obtenir un rapport signal sur bruit très faible. De ce fait, on peut atteindre un débit élevé avec une puissance de transmission relativement faible. Néanmoins, cette très faible puissance confine l'UWB à une portée de l'ordre de la dizaine de mètres seulement. Malgré cela, l'UWB conserve l'énorme avantage de traverser les obstacles ce qui n'est par exemple pas le cas de Wi-Fi (Wireless Fidelity). On peut donc envisager de l'utiliser dans un environnement localisé comme des bureaux et cet atout est bien sûr majeur dans les applications radar. Enfin, un autre avantage de l'UWB, toujours grâce au très large spectre de fréquences utilisé, est de ne peu ou pas interférer avec les autres communications, assurant ainsi une compatibilité maximale avec des appareils et technologies tiers. Les six caractéristiques principales de l'UWB sont donc les suivantes :

- bande de fréquences ultra large



- faible puissance
- débit élevé
- portée faible
- capacité de traverser les murs
- pas d'interférences avec les autres appareils radio

On donne ci-dessous à titre comparatif un schéma représentant le débit des normes UWB, IEEE 802.11a et IEEE 802.11g en fonction de la distance séparant l'émetteur du récepteur. Celui-ci illustre bien l'importance des débits atteints par l'UWB sur des distances très faibles. [3]

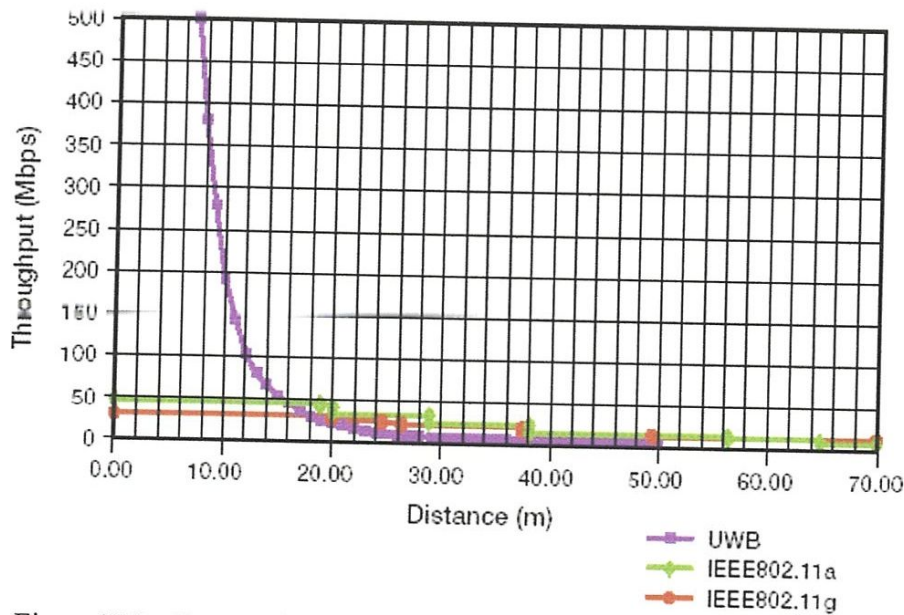


Figure II.2 : Comparaison de performances en fonction de la distance E)

### II.3.2. Radio par impulsions ; transmission sans porteuse

Pour transmettre des signaux d'un point à un autre, on utilise, le plus souvent, comme véhicule de liaison une onde électromagnétique dont on modifie une ou plusieurs caractéristiques en fonction du signal à transporter. Cette combinaison de deux grandeurs, suivant une loi de composition non linéaire déterminée, se nomme modulation. Elle doit permettre la transmission du message entre les points d'émission et de réception et autoriser, sans ambiguïté, sa restitution à la réception.

L'onde porteuse ainsi modulée peut être transmise par câbles ou rayonnée par une antenne avec la puissance convenable pour être captée par les postes récepteurs où elle est démodulée afin de restituer le signal original de modulation : l'information.



Le support du signal peut également consister en une suite d'impulsions, initialement périodiques, dont on commande soit l'amplitude, soit la durée, soit la position, soit simplement la présence ou l'absence. Ce signal intermédiaire peut permettre de moduler à son tour une onde porteuse à haute fréquence. Ceci n'est pas le cas dans l'UWB et c'est pourquoi on parle non seulement de radio par impulsion mais aussi de "carrierless" radio : il n'y a pas d'onde porteuse. Dans tous les cas, la détection de ces impulsions par le récepteur doit permettre de restituer avec exactitude le signal initial.

Ainsi, en général, les systèmes UWB ont recours à des signaux sans onde porteuse mais représentés par des trains de pulsations de très courte durée (de l'ordre de la nanoseconde) et de forme toujours identique et simple. On présente ci-dessous quelques formes d'impulsions utilisables dans le cadre de l'UWB.

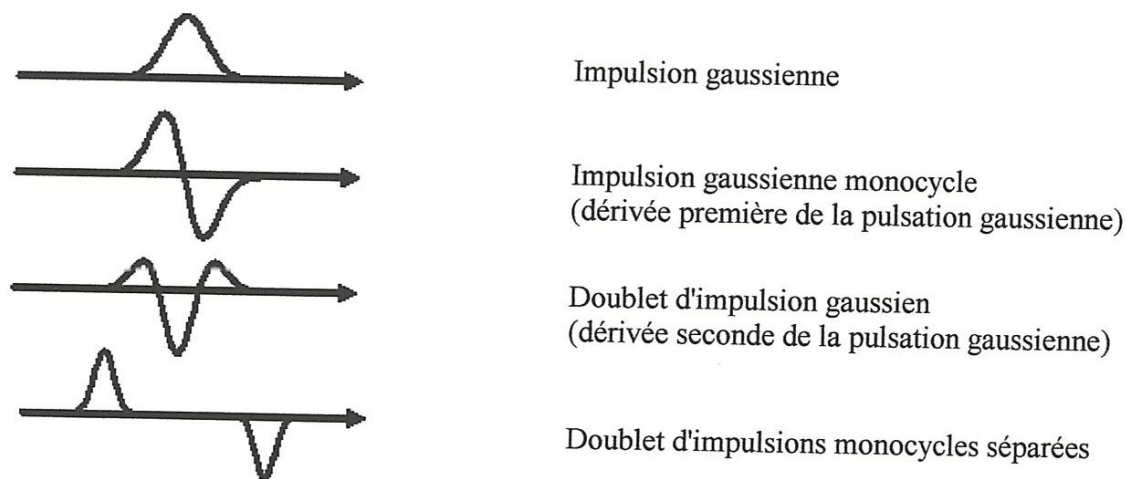


Figure II.3.: Les différentes formes de pulsations

L'intervalle entre deux pulsations peut être variable ou non et il existe de nombreuses méthodes permettant de moduler le train de pulsations afin de transmettre des données.

### II .3.3.Emission ; les différentes techniques de modulation

Il existe plusieurs types de modulations utilisables dans le cadre d'UWB : la modulation d'impulsions en position (PPM : Pulse-Position Modulation) et divers types de modulation par impulsions d'amplitude (PAM : Pulse-Amplitude Modulation) ceux-ci incluant le décalage binaire de phase (BPSK : Binary Phase-Shift Keying) et le tout ou rien (OOK : On-Off Keying).

### ➤ Modulation PAM

La modulation PAM consiste à moduler le signal par des impulsions dont l'amplitude est égale à celle du signal original. Ainsi pour un signal numérique binaire on a les définitions suivantes de différents types de modulation PAM.

- **PAM "positif"** : un 1 est représenté par une impulsion de plus grande amplitude que celle représentant le 0.
- **OOK** : un 1 est représenté par une impulsion et un 0 par une absence d'impulsion.
- **BPSK** : un 1 est représenté par une impulsion positive et un 0 par une impulsion négative

### ➤ Modulation PPM

En modulation PPM on utilise une table de correspondance associant un symbole à un décalage. Le signal est alors représenté par les positions relatives des impulsions par rapport à un rythme nominal. Au départ binaire, ce type de modulation a été étendu en modulation M-aire sous le nom de "block wave form PPM". En binaire on peut par exemple représenter le 1 par un décalage négatif (pulsation "en avance") et le 0 par un décalage positif (pulsation "en retard"), ou bien encore représenter le 1 par un décalage et le 0 par une absence de décalage.

On a donc les représentations suivantes de la séquence binaire {1 ; 0 ; 1 ; 0} en fonction du type de modulation retenu : [9]

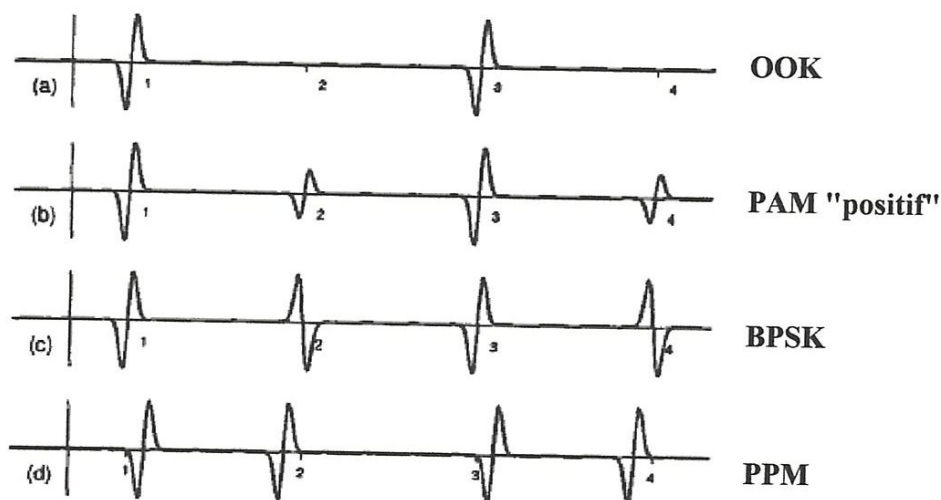


Figure II.4 : Les différents types de modulations

### ➤ Comparaison des différents types de modulation

Pour choisir une technique de modulation parmi les quatre présentées, Matthew L. Welborn de la société XtremeSpectrum propose de comparer leur efficacité à travers l'étude de la distance inter-symbole vue comme une fonction de l'énergie d'un bit  $E_B$  ; l'énergie d'un bit (bit-energy) étant l'énergie minimale requise pour envoyer un bit. Ainsi on trouve pour chaque cas les distances inter-symboles suivantes :

Type de modulation	Distance
PPM	$d = \sqrt{2E_B}$
PAM positif	$d < \sqrt{2E_B}$
OOK	$d = \sqrt{2E_B}$
BPSK	$d = 2\sqrt{E_B}$

Tableau II.1 : les distance des types de modulation

On constate que les modulations PPM et OOK ont la même distance inter-symboles, celle-ci étant un peu plus grande que celle obtenue pour PAM "positif".

Par contre, celle de BPSK est  $\sqrt{2}$  fois plus grande, ce qui se traduit par un gain de 3dB en efficacité. Ceci signifie que pour atteindre le même taux erreur/bit que BPSK, PPM ou OOK doivent utiliser une énergie double. De ce point de vue, c'est donc BPSK qui se dégage comme étant la méthode de modulation la plus efficace des quatre.

### ➤ Exemple d'émetteur

On présente ci-dessous un schéma générique d'émetteur de signaux UWB.

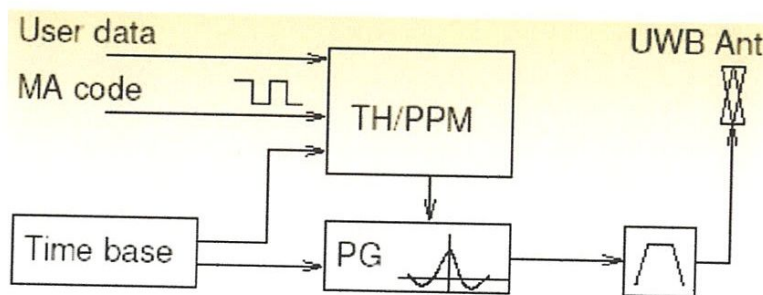


Figure II.5 : Schéma d'émetteur générique



### II.3.4.Méthodes d'accès multiple

#### ➤ Méthodes de type "X" DMA

Les récepteurs UWB doivent pouvoir distinguer les signaux arrivant de différents émetteurs UWB. La technique FDMA (Frequency Division Multiple Access) ne peut pas être employée car elle implique l'utilisation de signaux à bande étroite, ce qui ne correspond évidemment pas à l'UWB. [9]

La technique TDMA (Time Division Multiple Access) pourrait être employée dans un réseau avec un contrôleur central, mais pas dans un réseau où cohabiteraient plusieurs opérateurs - ce qui est tout à fait plausible puisque l'un des grands enjeux de l'UWB réside dans la possibilité de déployer des applications sans licence.

CDMA pourrait également être employé dans les réseaux à contrôleur central avec contrôle de puissance, mais dans le cas où plusieurs réseaux partageraient le même espace, ceci nécessiterait des techniques complexes au niveau du récepteur. Enfin, on doit également considérer la technique EDMA (Echo Division Multiple Access). Cette dernière est basée sur la réponse impulsionnelle du canal pour distinguer des impulsions provenant de différents émetteurs. Chaque paire émetteur/récepteur a une signature unique correspondant au modèle des échos reçus quand une impulsion est transmise. Il n'est pas nécessaire d'imposer un code spécial à l'émetteur, comme dans le CDMA à étalement de spectre. La signature est inhérente au canal lui-même. En prenant l'hypothèse qu'un récepteur ayant une résolution de 100 picosecondes en ce qui concerne le temps d'arrivée d'une impulsion, des émetteurs éloignés l'un de l'autre de 3 centimètres de longueur de chemin "optique" pourraient être différenciés. Si seulement on pouvait reconnaître les trois ou quatre échos les plus puissants, ceci permettrait d'avoir un nombre très grand (de l'ordre de 100 millions de signatures différentes). Naturellement, on ne peut pas tous les utiliser en même temps. Comme avec CDMA, la limite concernant le nombre maximal possible de stations est indépendante de l'espace de signature. Cependant, ceci ouvre la possibilité d'opérer de multiples réseaux UWB indépendants partageant le même milieu en utilisant EDMA.

#### ➤ Méthode Time-Hopping

La méthode d'accès multiple par sauts temporels encore appelée Time-Hopping CDMA consiste, pour chaque trame, à positionner l'impulsion de façon pseudo-aléatoire dans le temps. Ceci permet de lisser le spectre mais également d'autoriser l'accès multiple en supprimant la grande vulnérabilité des systèmes où les impulsions sont uniformément réparties, engendrant ainsi des collisions catastrophiques lorsque deux signaux sont reçus en

même temps. Cette méthode d'accès multiple est utilisée de concert avec la modulation PPM et de ce point de vue, le modèle Time-Hopping possède un énorme potentiel. En effet, les impulsions monocycles d'une durée de l'ordre de la nanoseconde fournissent une excellente précision au niveau temporel et les multi-trajets - avec retards différentiels sur une grande largeur de bande - peuvent être résolus de manière relativement simple grâce à un traitement du signal adapté réduisant leurs effets habituellement négatifs.

### **II.3.5. Antennes**

Pour être viable, une antenne destinée à l'UWB doit satisfaire certains critères ; en l'occurrence, elle doit être :

- bidimensionnelle
- omnidirectionnelle
- de petite taille
- de faible coût

Dans bien des applications, la technologie UWB ne pourra se déployer très largement que si les terminaux et donc les antennes sont miniaturisés et produits en grandes séries à faible coût. Le gouvernement français a d'ailleurs lancé le projet AUBADE dont l'intérêt porte sur deux aspects innovants, d'une part sur une approche théorique et expérimentale du comportement temporel des antennes et d'autre part sur la mise en oeuvre de technologies permettant de les miniaturiser et de les produire à bas coût.

On montre ci-dessous une description de l'antenne coplanaire PICA (Planar Cone Inverted Antenna) proposé par l'Antenna Group de Virginia Tech. Il s'agit d'une nouvelle antenne omnidirectionnelle compacte utilisable dans le cadre de la technologie UWB.



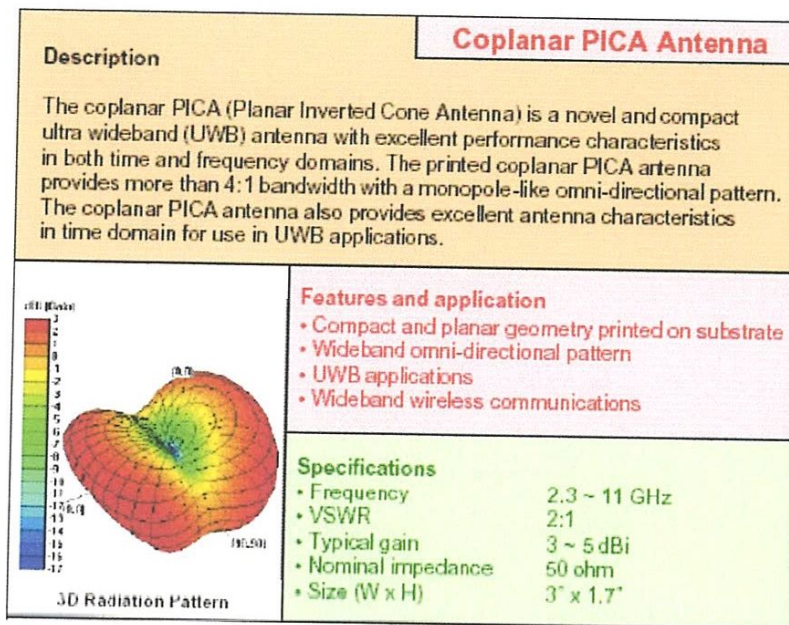
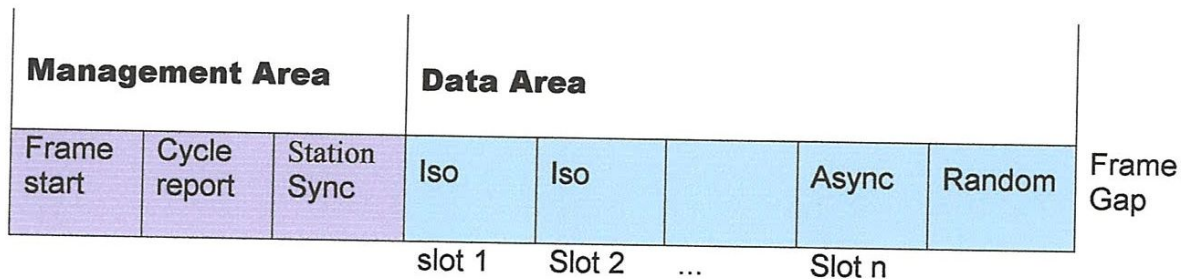


Figure II.6 : Caractéristiques de l'antenne PICA

### II.3.6. Trame

Le format des trames UWB étant très peu documenté, on donne ici à titre informatif le format de trame UWB proposé par Guy Pujolle dans sa présentation de l'état de l'art en matière de réseaux. [8]



## II.4. Réglementation

### II.4.1. Réglementation de la FCC

Tous les équipements électriques et électroniques (des sèche-cheveux aux ordinateurs) émettent des radiations électromagnétiques de faible intensité. Les agences de régulation des différents pays (FCC aux USA, ART en France) autorisent une radiation



"involontaire" de  $-41,3$  dBm par MHz sur une bande de fréquence très large. En ce qui concerne l'UWB, seule la FCC a pris des décisions autorisant son exploitation et sa commercialisation tandis que les autorités des autres états attendent encore, bien qu'encouragés par les grands groupes industriels qui se sont lancés dans l'UWB.

On présente ci-dessous les spectres d'émission autorisés dans différents contextes (intérieur, extérieur...) proposés par la FCC.

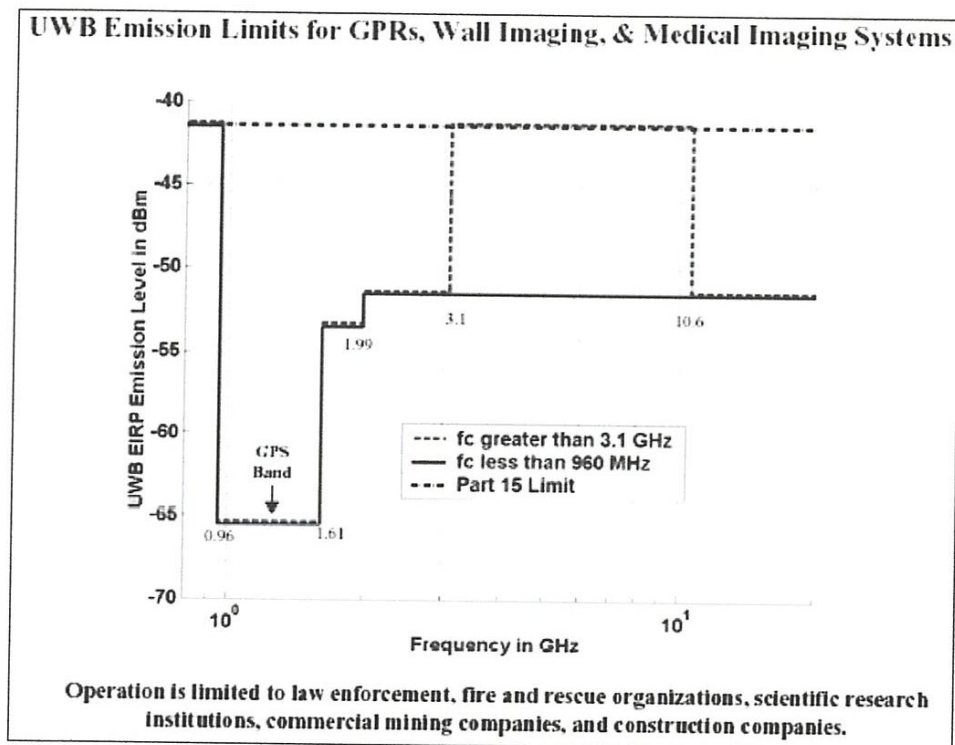


Figure II.7 : Masque d'émission pour les radars et l'imagerie médicale

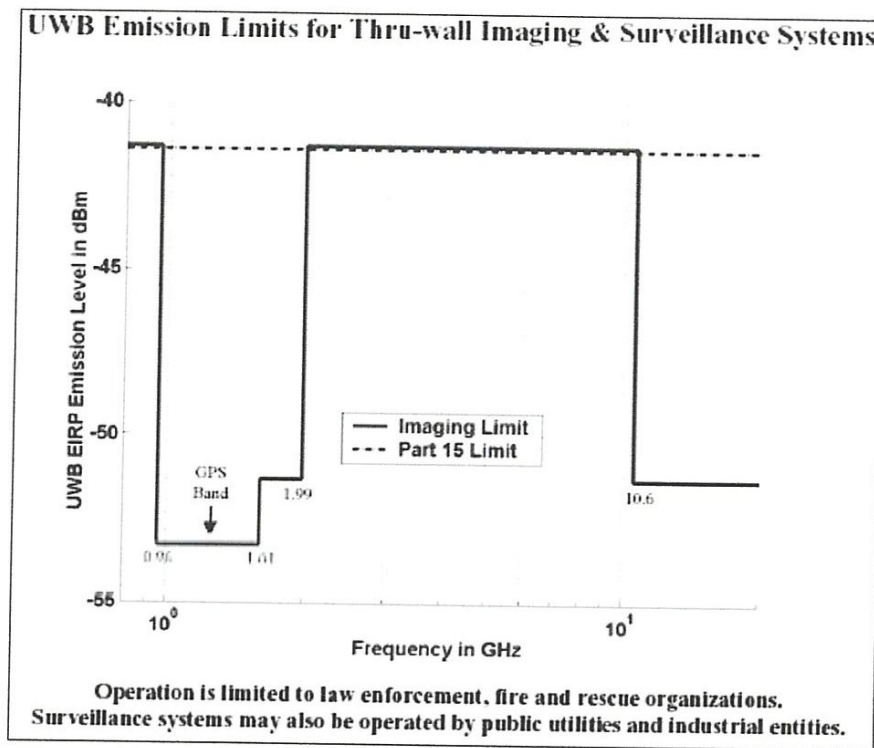


Figure II.8 : Masque d'émission pour les systèmes d'imagerie et de surveillance

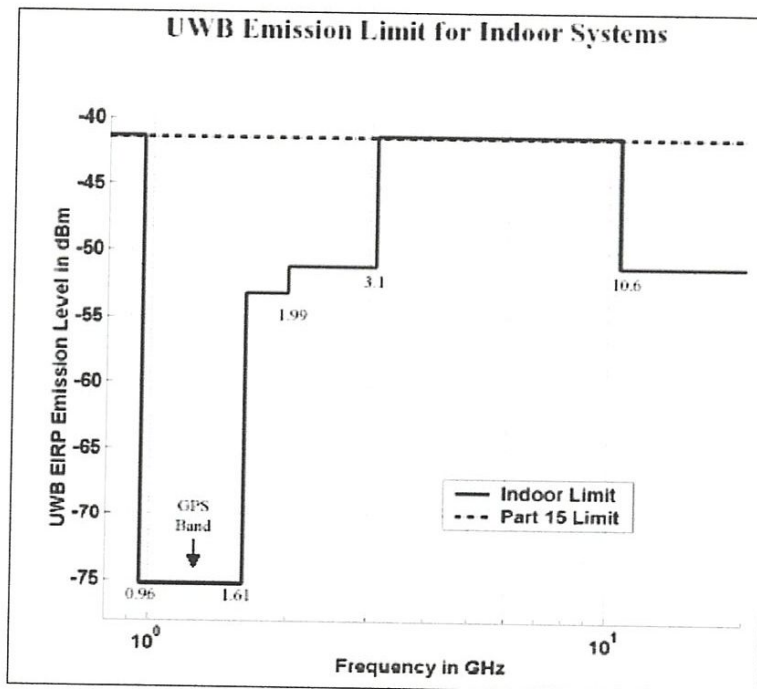


Figure II.9 : Masque d'émission en intérieur

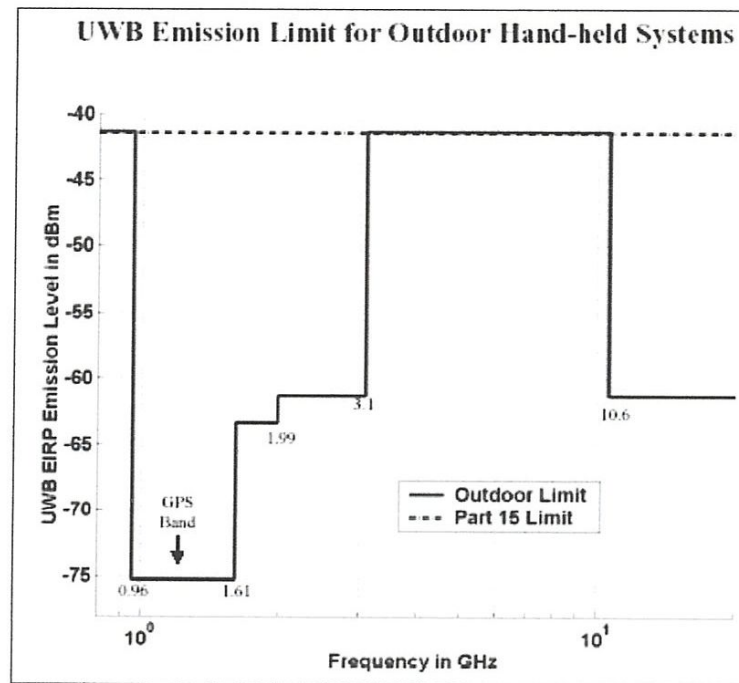


Figure II.10 : Masque d'émission en extérieur

#### II.4.2. Avant-projet proposé par l'ETSI

L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) a également proposé- en avant-projet - un masque de puissance rayonnée à respecter en intérieur : il faut rester en dessous de  $-41.3 \text{ dBm/MHz}$  sur une bande de 3.1 GHz à 10.6 GHz. Soit le schéma suivant :

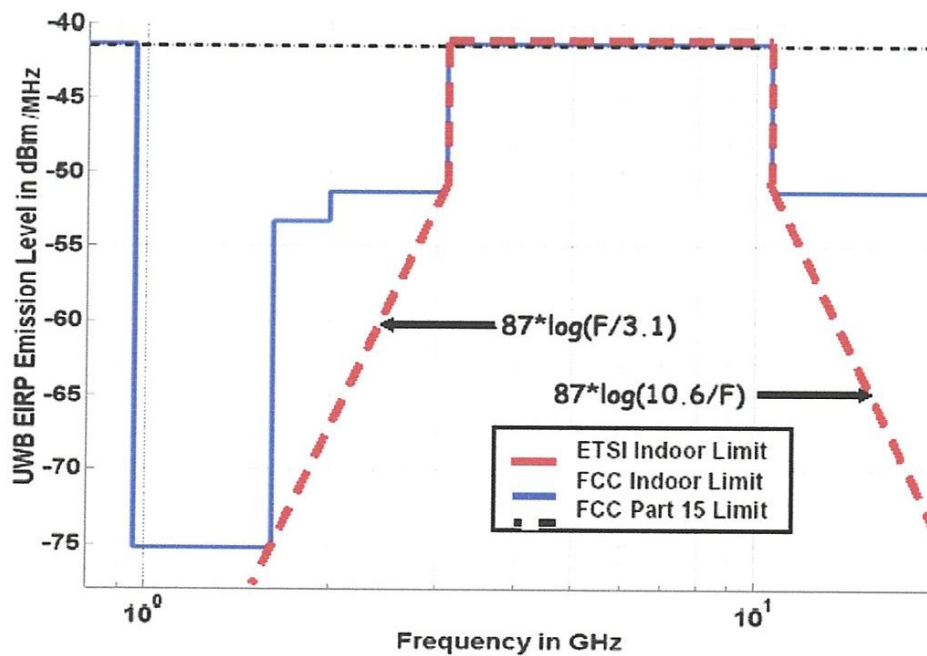


Figure II.11 : Masque proposé par l'ETSI (en intérieur)



Pour les systèmes portables, le masque est le suivant :

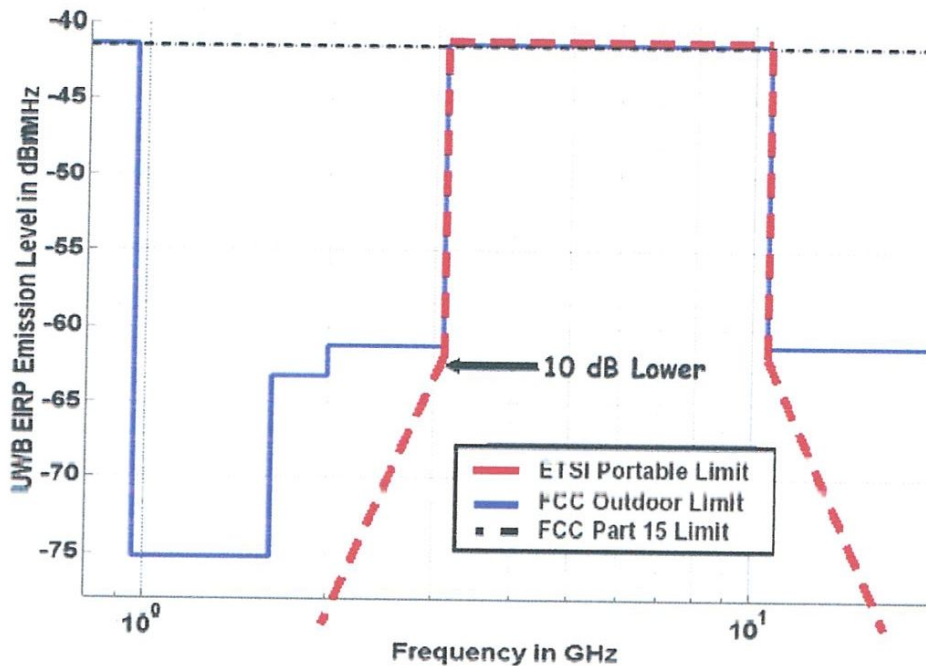


Figure II.12 : Masque proposé pour les systèmes portables

## II.5 Les applications de l'Ultra Large Bande

### II.5.1. UWB et les radars

Les radars basés sur la technologie UWB sont caractérisés par l'utilisation de très grandes bandes de fréquence et par la précision obtenue grâce à une grande résolution. Les radars à impulsions, comme on les appelle, permettent de combiner une haute résolution avec l'utilisation de basses fréquences, ce qui est un réel avantage dans le cadre de détections typographiques (analyse de relief), ou de surveillance précise d'une cible sans être détecté (cadre militaire). [11]

Les deux caractéristiques qui font de l'UWB une technologie intéressante pour les radars sont la capacité à traverser la matière mais aussi les possibilités de géo-localisation très précises (parfois de l'ordre du centimètre). Les recherches sur ce sujet ont montré que pour tirer meilleur parti des capacités offertes par l'UWB, les impulsions émises devaient être générées de manière stable et régulière mais aussi avec un facteur de crête (sommet de l'onde) assez bas. Après de nombreuses études, il s'avère que les radars à impulsions se distinguent dans de nombreux types d'utilisations, aussi bien militaires que civiles. Dans le cadre militaire, on mettra en avant des cas de figure tels que :

- la détection de cibles cachées (par l'environnement, par exemple une forêt)

- la détection de la forme de la cible (diminue les possibilités de ruses)
- la détection de mouvement de personnes en temps réel à travers des murs (Thru-Wall Imaging System)



Figure II.13 : Détection de personnes

Dans le cadre civil, on peut imaginer les utilisations suivantes :

- système de positionnement
- système d'inspection du revêtement des routes
- matériel d'analyse de matériaux (afin de détecter des anomalies)
- détecteur d'obstacles anti-collision

### II.5.2.Applications potentielles

La technologie UWB est utilisée depuis longtemps dans les GPR (Ground Penetrating Radar) (radars capables de détecter de manière non destructive les anomalies de toutes sortes de matières) et est maintenant développée pour des nouvelles applications d'imagerie qui permettront à la police, les pompiers et le personnel de secours de localiser des personnes cachées derrière un mur ou sous des débris dans des situations d'urgence. Ces dispositifs d'imagerie UWB pourraient également être utilisés afin d'améliorer la sécurité des bâtiments en détectant les barres d'acier contenues dans le béton ainsi que les tuyaux d'alimentation en eaux et les câbles électriques afin de pouvoir les renforcer lorsqu'elles sont abîmées.

UWB doit également permettre de mettre au point des dispositifs améliorant la sécurité automobile avec des systèmes permettant d'éviter les collisions et de mesurer la distance entre les passagers et l'airbag afin que celui-ci se déploie efficacement. Les utilisations médicales potentielles incluent le développement d'un moniteur de contrôle de la respiration qui s'installerait sur les matelas afin de prévenir la Mort subite du nourrisson, mais aussi des moniteurs mesurant le rythme cardiaque afin d'en surveiller la régularité.

Il existe également quelques utilisations domestiques potentielles en matière de sécurité comme des systèmes de détection d'intrusion moins sensibles aux fausses alarmes ou encore des radiateurs capables de s'éteindre automatiquement lorsqu'un enfant s'en approche de très près.



Plus proche de nous, les industriels prévoient de nombreuses applications à l'UWB dans le domaine des WPANs. [11]

### II.5.3. Les standards IEEE 802.15.3 et IEEE 802.15.3a

Le groupe de recherche TG3 de l'IEEE est chargé de définir une norme pour les WPANs à haut débit (supérieur à 20 Mb/s) appelée IEEE 802.15.3 HR (High Rate). [8]

En plus de ce haut débit, le standard doit prendre en compte les impératifs suivants : faible puissance, solutions bon marché répondant aux besoins du grand public en matière d'applications multimédia portables. Les caractéristiques de la norme aux niveaux MAC et physiques sont :

- des débits théoriques de 11, 22, 33, 44, & 55 Mb/s.
- un protocole isochrone assurant la Qualité de Service
- la possibilité d'établir un réseau ad-hoc peer-to-peer
- la sécurité
- une faible consommation
- un coût peu élevé
- une conception qui répond aux besoins en matière d'applications multimédia portables

Il existe une extension à ce standard appelée IEEE 802.15.3a qui traite de l'implémentation d'une couche physique pour la bande de 3.1 à 10.6 GHz, ce qui correspond à l'UWB. On attend de cette extension qu'elle permette d'atteindre des débits bien plus élevés.

## II.6. Conclusion

La technologie UWB est présentée dans de nombreux articles comme très prometteuse en ce qui concerne le domaine des réseaux sans fil, actuellement en plein essor avec l'explosion de WiFi. En effet, l'UWB devrait permettre d'atteindre des débits bien plus élevés que les autres technologies sans fil, et ce, sans interférer avec ces dernières et même en traversant les murs ! Cependant, l'UWB reste encore confiné à de très faibles portées de par les faibles puissances imposées par une réglementation qui prévoit une utilisation sans licence. Celle-ci devrait séduire les industriels ; malheureusement, à ce jour, seuls les Etats-Unis ont légiféré et l'Europe – entre autres – se fait toujours attendre, alors que les partisans de l'UMTS pourraient encore ralentir les débats devant ce concurrent potentiel.



Mais si certains voient déjà l'UWB comme le fossoyeur de Bluetooth et même de 802.11x, d'autres parlent de technologies complémentaires. En effet, certaines études considèrent l'UWB non pas comme une norme de communication complète mais seulement comme la partie transport d'une telle norme et s'attachent donc à utiliser l'UWB comme une couche physique qui serait déployée dans les WPANs.

Enfin, une question importante reste en suspens : quelle approche adopter pour la division de la bande de fréquence ? Le groupe de travail mené par Intel prône un découpage en quinze bandes de 500 MHz, tandis que XtremeSpectrum et Motorola se dirigent vers deux bandes uniquement. Cette dernière solution a d'ailleurs déjà été déposée auprès de l'IEEE. Il est donc intéressant de se demander si cette dualité posera des problèmes en terme d'interopérabilité entre les futurs équipements commercialisés.

A l'heure actuelle, l'UWB semble avoir un bel avenir de par les applications envisageables, mais au vu de l'avancement des travaux, de nombreux points restent à aborder tels que la sécurité. Quoi qu'il en soit, l'UWB reste une technologie naissante qu'il faudra suivre ces prochaines années...

**Chapitre III :**  
**Les**  
**Antennes ultra large**  
**bande (ULB)**

### III.1.Introduction

Le principe des communications radio utilisant la technique de l'Ultra Large Bande est aujourd'hui bien connu et les nombreuses études sur le sujet ont permis de définir et de réaliser des circuits électroniques spécifiques à ces applications.

Récemment, la FCC a défini les règles d'utilisations du spectre de fréquence dans la bande entre 3.1-10.6 GHz.

Cette technologie possède de nombreux atouts : Grâce à une bande passante beaucoup plus large que les systèmes large bande actuel, cette nouvelle technologie est très robuste en environnement bruyant. Par ailleurs, la puissance d'émission étant du même niveau que celui du bruit Ce chapitre est consacré à la présentation des différentes antennes existantes possédant des caractéristiques d'adaptation sur de très larges bandes de fréquences.

### III.2. Les antennes Ultra Large Bande

Nous allons présenter les différents types d'antennes ULB qui sont communément utilisées.

Ces antennes ont été classées selon certaines propriétés: particularités géométriques ou spécificité du diagramme de rayonnement (antenne omnidirectionnel ou directive).

➤ Toutes ces antennes possèdent naturellement une bande passante assez élevée.

Il existe plusieurs façons de réaliser une antenne ayant une bande passante très large.

La première d'entre elles consiste à utiliser des géométries particulières.

Ces antennes sont appelées antennes indépendantes de la fréquence : leur géométrie permet d'avoir une bande passante d'une décade.

➤ Concernant les antennes omnidirectionnelles, il existe deux grandes catégories d'antennes présentant naturellement une bande passante élevée: les antennes biconiques et leurs dérivées et les antennes monopoles large bande.

#### III.2.1. Antennes indépendantes de la fréquence

Les antennes indépendantes de la fréquence sont connues depuis longtemps et ont été définies par Rumsey en 1957. Ce sont des antennes qui sont entièrement définies par leurs dimensions angulaires. Les performances de l'antenne (diagramme de rayonnement,



impédance d'entrée) Sont indépendantes de la fréquence. Pour ce type d'antenne, si l'on multiplie toutes les dimensions de l'antenne par un facteur X, les performances de l'antenne restent inchangées, seule la fréquence de travail augmente du même facteur X.

L'expression de générale de leur forme géométrique peut se mettre sous la forme suivante:

$$r = e^{a(\varphi+\varphi_0)} F(\theta). \quad (\text{III.2})$$

Où  $r$ ,  $\varphi$  sont les coordonnées sphériques,  $a$  et  $\varphi_0$  deux constantes et  $F$  une fonction ne dépendant que de  $\theta$ .

Théoriquement, ces antennes présentent une bande passante infinie, cependant, en pratique leur bande passante est finie à cause des dimensions finies de l'antenne.

On étudiera dans ce paragraphe plusieurs antennes indépendantes de la fréquence couramment utilisées en étudiant leur comportement fréquentiel (diagramme de rayonnement et adaptation) et leur comportement en régime impulsionnel: les antennes spirales et les antennes log-périodiques font partie de ce groupe d'antennes [30].

### III.2.1.1. Les antennes spirales

Ces antennes ont été décrites par Dyson en 1959.

Il existe trois types de spirales: spirale équiangulaire (spirale logarithmique), spirale conique et la spirale de type Archimède.

#### III.2.1.1.1. Antenne à spirale logarithmique

L'antenne spirale logarithmique fait partie des antennes indépendantes de la fréquence, puisqu'elle peut être définie uniquement par ses angles.

Son équation en coordonnées polaires ( $p$ ,  $\theta$ ) peut s'écrire sous la forme :

$$p = K \cdot e^{a\theta} \quad (\text{III.3})$$

Où  $k$  et  $a$  sont deux constantes.

La géométrie de structure de l'antenne spirale logarithmique : la polarisation du signal rayonné est circulaire. Aux fréquences où la longueur des conducteurs est très petite par rapport à la longueur d'onde, la polarisation est linéaire.

Si la fréquence augmente, la polarisation du champ devient elliptique puis circulaire. La figure (III.1) représente l'antenne logarithmique [30].



Figure (III. 1): Antenne spirale logarithmique

#### III.2.1.1.2. Antenne spirale conique

Cette antenne est une forme dérivée de la précédente: En effet, il suffit, pour la réaliser, d'imprimer les spirales sur un cône en matériau diélectrique servant de support pour le dessin. L'antenne spirale conique est régie par un ensemble d'équations:

$$p = p_1 \cdot e^{\varphi b}, \text{ avec } b = \frac{\sin \theta_0}{\tan \alpha} \quad (\text{III.4})$$

$$h = \frac{p_2}{\tan \alpha} \quad (\text{III.5})$$

Où  $\alpha$  est l'angle d'enroulement,  $h$  la hauteur du cône et  $\theta_0$  l'angle du demi-cône.  $p_1$  et  $p_2$  constituent respectivement le rayon du sommet et de la base, on considère  $t$  le nombre de tours.

La polarisation du champ est circulaire pour un demi-angle du cône inférieur à  $60^\circ$ . Si l'angle dépasse  $60^\circ$ , la polarisation devient elliptique Théoriquement, elle possède une bande passante infinie, mais en pratique, du fait de ses dimensions finies, elle couvre une bande passante de quelques octaves.

La bande passante est uniquement limitée par les dimensions des rayons externes de la spirale. Contrairement à l'antenne précédente qui avait un rayonnement bidirectionnel, cette antenne a un rayonnement unidirectionnel, le maximum du champ étant orienté selon l'axe du cône[37].



Figure (III.2): Antenne spirale conique

### III.2.1.1.3. Antenne à spirale d'Archimède

L'antenne spirale d'Archimède est formée de deux spirales emboîtées est régie par les expressions suivantes :

$$r = r^0 + ct. \quad (\text{III.6})$$

$$\varphi = t + k\pi. \quad (\text{III.7})$$

Où  $c$ 'est une constante et  $k$ ,  $r$  deux réels,  $t$  est l'angle .Elle fait aussi partie des antennes indépendantes de la fréquence, même si elle n'est pas totalement définie par ses angles.

Ce type d'antenne est plus utilisé que les antennes à spirale logarithmique car, à performance égale (même bande passante), cette structure est plus compacte que la spirale logarithmique: L'étalement linéaire des brins de la spirale permet de faire plus de tours par unité de surface que l'antenne équiangulaire.

Ses spécificités ressemblent beaucoup à celles des types d'antennes à spirales que l'on a vues précédemment. Sa bande passante est de plusieurs octaves et est limitée par les rayons externes de la spirale, sa polarisation est circulaire et son diagramme de rayonnement bidirectionnel [25].



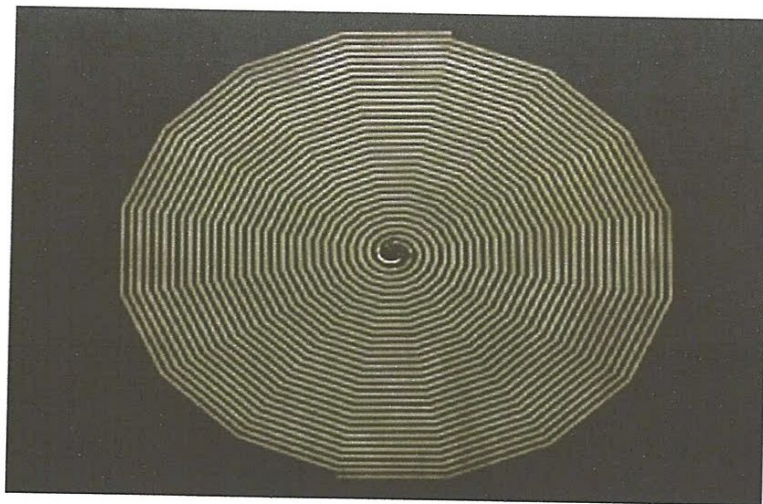


Figure (III. 3): Antenne spirale d'Archimède

### III.2.1.2. Antenne log-périodique

Les antennes log périodique ont été conçues pour la première fois par Duhamel et Isabell en 1959. Elles s'appuient sur le principe d'une antenne dimensionnée pour toutes les fréquences mais de façon périodique et non répétitive comme c'est le cas des antennes que l'on a vues précédemment.

Ainsi, si une structure rayonnante est transformée en une autre structure identique par la multiplication de ses dimensions par  $\tau$ , toutes les deux présentent les mêmes performances (adaptation et diagramme de rayonnement) l'une à la fréquence  $f$  et l'autre à la fréquence  $f/\tau$ . En répétant cette transformation  $N$  fois les performances sont les mêmes aux fréquences  $f_0$ ,  $\tau^N f_0$  où  $f_0$  est la fréquence de référence et ont une période de répétition de  $\log(\tau)$  en fonction de  $\log f$ . d'où leur appellation. Leur principe est donc bien analogue aux antennes dites indépendantes de la fréquence [30].

#### III.2.1.2.1. Antenne log périodique de forme circulaire

Cette antenne de forme circulaire est déterminée par les relations suivantes :

$$\tau = \frac{R_{n+1} - r_{n+1}}{R_n - r_n} \quad (\text{III.8})$$

Qui définit la périodicité des caractéristiques de l'antenne.

$$x = \frac{r_n}{R_n} \quad (\text{III.9})$$

Qui définit la largeur des dents

$A$  et  $\beta$  définissent la longueur des dents,  $r_{\min}$  et  $r_{\max}$  limitent les extrémités de la structure.

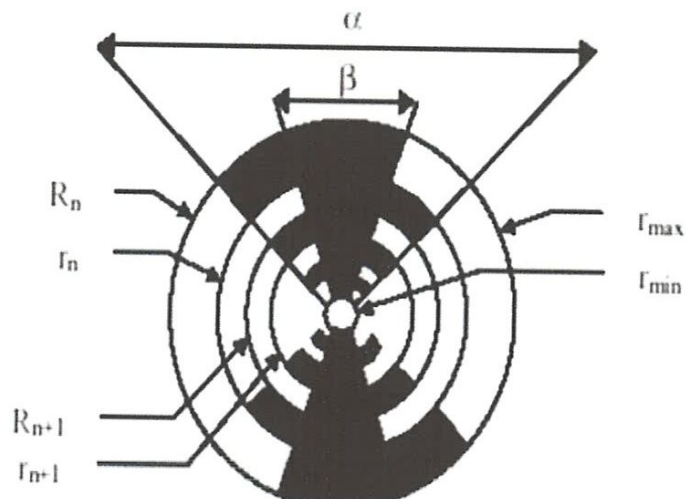


Figure (III.4) : paramètre d'une antenne log-périodique circulaire

Cette antenne peut avoir une bande passante de plusieurs octaves.

La fréquence basse d'adaptation est fixée par la dimension de la plus longue des dents ( $\lambda/4$  à cette fréquence) et la fréquence haute d'adaptation est reliée à la dent de plus petite dimension. La conséquence immédiate de ceci est que l'antenne est dispersive, comme pour les autres antennes indépendantes de la fréquence. Le diagramme de rayonnement est bidirectionnel.

Il est symétrique par rapport au plan de l'antenne avec des maxima suivant la normale à ce plan et des minima dans ce plan. L'ouverture dépend fortement du rapport de périodicité.

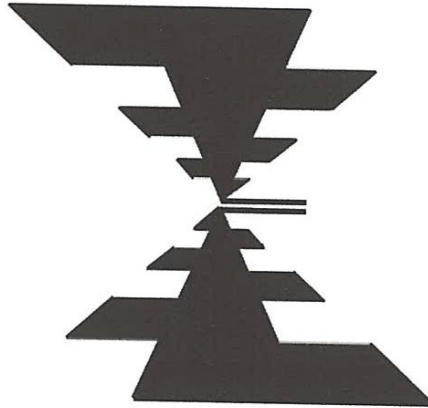
Le gain vaut typiquement 4 dBi . La polarisation est linéaire avec des ouvertures identiques dans les plans E et H [33].

### III.2.1.2.2. Antenne log périodique de forme trapézoïdale

L'antenne log périodique de forme trapézoïdale est un autre exemple d'antenne log périodique. Cette antenne se déduit aisément de la précédente.

Cette antenne étant plus facile à construire que la précédente, est plus couramment utilisée que l'antenne de forme circulaire.

Elle possède exactement les mêmes caractéristiques: diagramme de rayonnement bidirectionnel, bande passante de plusieurs octaves, antenne dispersive [34].



Figure(III.5) : Antenne log périodique de forme trapézoïdale

### III.2.1.3. Antenne LPDA (log periodic dipole array)

Une autre antenne de type log périodique est l'antenne dipôle log périodique. Cette antenne se déduit aisément de la précédente (l'angle  $\beta$  vaut 0). De la même façon que pour les autres antennes log périodiques, le rapport de périodicité  $\tau$  est le rapport entre deux longueurs de dipôles consécutifs. Les dipôles sont connectés alternativement par une ligne de transmission centrale symétrique qui peut être croisée pour éviter le rayonnement arrière. Le rayonnement de l'antenne est unidirectionnel, la polarisation est linéaire et le gain maximal typique d'une antenne LPDA est de 5-10 dBi.



Figure(III.6) : Antenne LPDA



### III.2.2. Les antennes élémentaires

On peut obtenir des antennes ayant naturellement à la fois une très large bande passante et un diagramme de rayonnement omnidirectionnel. Ces antennes sont une évolution directe des monopoles et des dipôles de base (doublet d'Hertz). On sait que plus un dipôle est épais, plus grande est sa bande passante. A partir de cette simple constatation, de nombreuses antennes large bande ont été conçues. On peut distinguer deux catégories d'antennes large bandes omnidirectionnelles: les antennes biconiques et les antennes monopoles/ dipôles large bandes [25].

#### III.2.2.1. Antennes biconiques

L'antenne biconique est basée sur le fait qu'un dipôle construit à l'aide d'un fil épais offre une bande passante plus grande que s'il est construit avec un fil fin. Ce concept peut être étendu pour obtenir une bande passante encore plus importante en utilisant des conducteurs évasés. On forme ainsi la structure biconique montrée sur la Figure (III.7).

L'antenne biconique peut être analysée comme si la ligne de transmission biconique de l'antenne était évasée jusqu'à l'infini. L'antenne biconique infinie agit comme un guide pour une onde sphérique. On peut montrer qu'il n'existe qu'un seul mode TEM pour une antenne biconique infinie.

L'antenne biconique finie possède une bande passante de plus 100 %, un diagramme de rayonnement omnidirectionnel perpendiculaire à l'axe des cônes et un nul électrique le long de l'axe des cônes. La polarisation est linéaire et un gain maximum typique pour ce type d'antenne est de 4 dBi [30].



Figure(III.7) : Antennes biconiques

### III.2.2.2. Antenne discône

Cette antenne est formée d'un cône et d'un plan de masse qui peut être circulaire ou rectangulaire qui remplace le second cône de l'antenne biconique.

L'antenne a un diagramme de rayonnement omnidirectionnel dans le plan horizontal, et son gain est légèrement plus élevé que celui d'une antenne biconique finie du fait de l'utilisation d'un plan de masse fini La figure(III.7) présente ce type d'antenne [34].



Figure(III.8) :Antenne discône

### III.2.2.3. Les monopôles plans

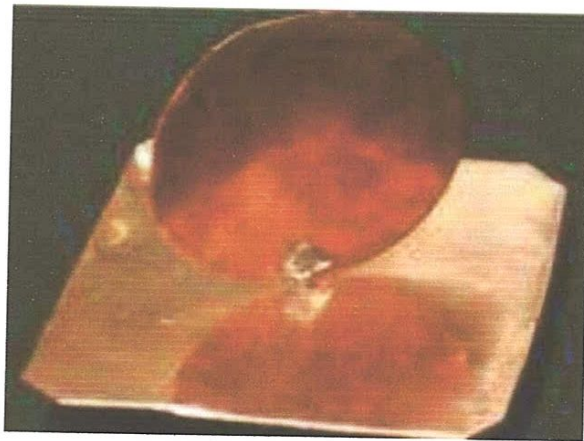
De nombreuses études ont été menées sur différentes formes de monopôles plans sur plans de masse infinis (ou pouvant être considérés comme tels). Les structures triangulaires et rondes, et dans une moindre mesure les carrées, présentent généralement de bonnes bases d'antennes à caractère large bande et leur optimisation amène à des formes de monopôles très variées. Ces éléments rayonnants sont montés perpendiculairement au plan de masse.

#### III.2.2.3.1. Monopole circulaire/ elliptique

Le monopole circulaire plan est de forme circulaire avec un plan de masse de dimensions supérieures à une longueur d'onde maximale pour éviter les réflexions qui proviennent du plan de masse.

L'élément peut être de forme elliptique, cependant un fort rapport d'ellipticité dégrade la bande passante de l'antenne. L'antenne planaire de forme elliptique a été la première antenne large bande commercialisée. Le monopôle circulaire présente d'excellentes performances en terme de bande passante. De plus, son impédance d'entrée sur cette bande est d'environ  $50 \Omega$ , ce qui facilite son intégration avec les circuits d'alimentation et évite ainsi l'utilisation d'un adaptateur d'impédance.

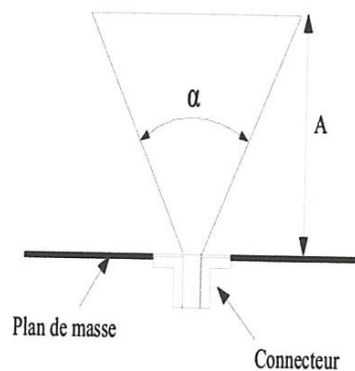
Son rayonnement est quasi-omnidirectionnel en azimut sur toute la bande de fréquence couverte, mais privilégie le demi plan contenant le disque en élévation à mesure que la fréquence augmente. Les gains observés peuvent être supérieurs à 4 dB dans certaines directions [25].



Figure(III.9) : Monopôle circulaire/ elliptique

### III.2.2.3.2. Le monopôle triangulaire

Le monopôle triangulaire est la version planaire de l'antenne conique et est constitué d'un triangle plat rayonnant monté sur un plan de masse. En termes de rayonnement, le diagramme est à peu près omnidirectionnel dans le plan azimutal [35].



Figure(III.10) : Monopôle triangulaire



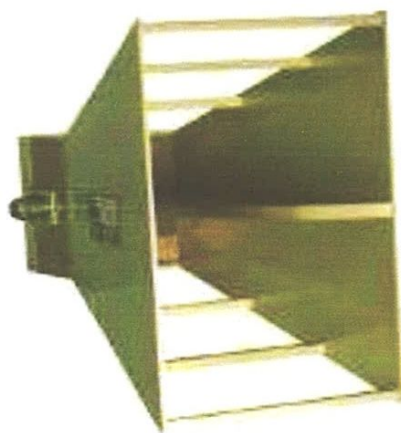
### III.2.3. Antennes directives

L'antenne ULB directive est souvent utilisée dans des applications particulières; par exemple dans le cas d'une station de base en communication avec des stations fixes. D'autres systèmes requièrent que l'antenne rayonne plutôt dans un demi-espace. On peut citer comme exemple l'antenne de point d'accès accrochée au mur ou encore une antenne en façade d'appareils électroniques. Certaines antennes ULB directives sont aussi couramment utilisées dans le cadre de mesure d'antennes en chambre anéchoïde. Contrairement aux antennes étudiées précédemment, il est très difficile de miniaturiser ce type d'antenne.

#### III.2.3.1. Cornet

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.

Ces antennes sont constituées de guides d'onde rectangulaires ou circulaires (intrinsèquement large bande) et d'une transition (adaptateur d'impédance). La bande passante est relativement large (50-180%). Ce type d'antenne peut avoir un gain important (+17 dBi) qui augmente avec la fréquence (antenne à ouverture constante) sur plusieurs octaves. Les cornets avec lèvres peuvent couvrir une bande de fréquence 1-18 GHz pour un  $ROS < 2$  [25].

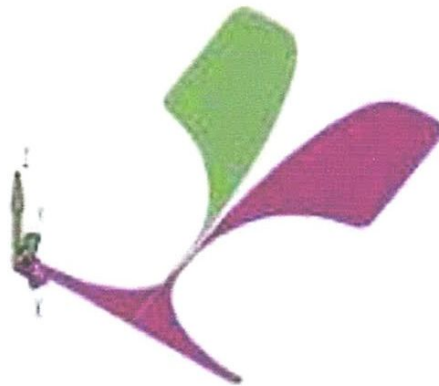


Figure(III.11) :Antenne Cornet ULB

### III.2.3.2. Antenne à transition progressive (Vivaldi)

Les antennes à fente à transition progressive (TSA Tapered Slot Antenna) constituent une autre catégorie importante d'antennes ULB 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: profil linéaire (antennes LTSA), profil constant (antennes CWSA), profil linéaire par morceau (BLTSA) ou encore profil exponentiel (antenne Vivaldi). Les antennes TSA sont adaptées sur une très large bande passante de 125%-170%. Leur diagramme de rayonnement est unidirectionnel dans le plan du substrat et présente un faible niveau de polarisation croisée. Leur directivité augmente avec la fréquence et les gains atteints par ces antennes peuvent aller jusqu'à 10 dBi selon le type de profil [30].



Figure(III.12) :Antenne à transition progressive(Vivaldi)

## ➤ Comparaison entre ces différents types des antennes ULB

	ADAPTATION			DIMENSIONS		RAYONNEMENT		
	Bande Passante	Impedance d'entrée	Ajustements	2D/3D	Taille	Diagramme	polarisation	Dispersive
Antenne spirale logarithmique	>150%	75 à 100Ω	Symétriseur Adaptateur d'impédance	2 D	$2\lambda/\pi$	Bi-directionnel	Circulaire	OUI
Antenne spirale conique	>150%	Variable	Aucun	3 D	Variable	Uni-directionnel	Circulaire	OUI
Antenne spirale Archimède	>150%	120 à 200Ω	Symétriseur Adaptateur d'impédance	2 D	$2\lambda/\pi$	Bi-directionnel	Circulaire	OUI
Antenne spirale logarithmique	150%	50 à 188Ω	Symétriseur	2 D	$\lambda$	Bi-directionnel	Linéaire	OUI
Antenne spirale logarithmique pézoidale	150%	50 à 150Ω	Symétriseur	2 D	$\lambda$	Bi-directionnel	Linéaire	OUI
Antenne conique	120 à 150%	>100Ω	Symétriseur Adaptateur d'impédance	3D	$\lambda/2$	Omni-directionnel	Linéaire	NON
Antenne conique	150%	>80Ω*	Aucun	3 D	$\lambda/4^{**}$	Omni-directionnel	Linéaire	NON
Antenne monopolaire	160%	50Ω	Aucun	3 D	$\lambda/4^{**}$	Omni-directionnel	Linéaire	NON
Antenne monopolaire angulaire	120%	50Ω	Aucun	3 D	$\lambda/4^{**}$	Omni-directionnel	Linéaire	NON
Antenne monopolaire pézoidale	>80%	50Ω	Aucun	3 D	$\lambda/5^{**}$	Omni-directionnel	Linéaire	NON
Antenne patch coaxial	?	?	?	3 D	?	Omni-directionnel	Linéaire	NON
Antenne patch	125 à 170%	50Ω	Aucun	2 D	$>\lambda/2$	Uni-directionnel	Linéaire	NON
Antennes patch	50 à 180%	50Ω	Aucun	3 D	$>\lambda$	Uni-directionnel	Linéaire	NON

Tableau(III.1): Comparaison entre les différents types des antennes ULB



### III.3. Les méthodes numérique d'analyse utilisées

Il existe principalement quatre familles de méthodes numériques pour analyser les antennes imprimées :

- la méthode des moments (MoM).
- la méthode des éléments finis (FEM).
- la méthode des différences finies (FDTD).
- la méthode de la matrice des lignes de transmissions (TLM).

Ces méthodes permettent d'obtenir des résultats très précis au détriment de temps de calculs longs car il s'agit de discrétiser le volume ou la surface à analyser mais aussi le temps selon la méthode utilisée, ce qui conduit à un très grand nombre d'inconnues.

Les temps de calculs peuvent cependant être réduits si l'on possède une puissance de calcul conséquente [23].

#### III.3.1. La méthode des moments (MoM)

L'utilisation de la méthode des moments dans les problèmes électromagnétiques a été développée pour la première fois par Newman, est une manière de résolution d'équations intégrales qui permet de réduire celles-ci en un système d'équations linéaires appliqués aux structures planaires ou quasi-planaires sur la structure de 2-D.

Pour utiliser cette méthode, il faut décomposer la structure étudiée en plusieurs parties ou cellules. La résolution numérique des équations de Maxwell de la structure étudiée, permet d'écrire les champs électriques ou magnétiques en fonction d'une somme des courants induits. Le calcul de la distribution de courant évalué sur chaque section par annulation des champs électriques tangentiels, permet d'obtenir les paramètres  $[Z]$ .

Dans la méthode des moments, l'équation intégrale est réduite à un ensemble d'équations algébriques linéaires de la forme suivante:

$$[Z] \cdot [I] = [V]. \text{(III.10)}$$

La matrice d'impédance  $[Z]$  est calculée à partir des équations intégrales.

On va exciter la structure avec le vecteur de tension  $[V]$  et par la suite le vecteur de courant  $[I]$  sera calculé. Une fois le courant calculé pour chaque élément, les champs électrique et magnétique seront déterminés [37].

### III.3.2. La méthode des différences finies (FDTD)

La méthode F.D.T.D (Finite Difference Time Domain) ou la méthode des différences finies dans le domaine temporel est une approche numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temporel.

Elle permet de calculer à chaque instant discret de l'espace, les composantes du champ électromagnétique dans chaque cellule élémentaire du volume tridimensionnel.

L'avantage principal de cette méthode est la simplicité de sa formule, le calcul est alors fait dans le domaine temporel sur une large bande de fréquence.

Le temps de calcul croît de façon linéaire en fonction des nombres d'inconnues (ce qui n'est pas le cas pour la méthode des éléments finis).

Mais son principal inconvénient est lié au fait que le maillage de la structure doit être uniforme et elle est donc peu adaptée au traitement des dispositifs comportant des éléments ayant des ordres de grandeurs très différents [23].

### III.3.3. La méthode des éléments finis (FEM)

La méthode des éléments finis s'applique aux dispositifs micro-ondes de formes quelconques. Elle est basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage.

Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode.

L'avantage de la méthode des éléments finis est lié au fait que la forme tétraédrique et la variation des dimensions des cellules élémentaires caractérisant le volume discrétisé, donne au maillage une très grande souplesse.

Cette méthode permet de simuler des structures géométriques complexes mais avec des gros moyens informatiques [37].

### III.3.4. la méthode de la matrice des lignes de transmissions (TLM)

La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM permet de discrétiser les champs et les courants de la structure étudiée en petits éléments, chacun de ces éléments est considéré comme un ensemble de ligne de transmission et les calculs s'effectuent directement dans le domaine temporel.

L'un des points forts de cette méthode est la formulation simple qui ne dépend pas beaucoup de la géométrie de la structure étudiée (ce qui n'est pas le cas pour la méthode spectrale).



Elle est facile pour traiter des structures complexes composées de plusieurs matériaux, et particulièrement appropriée pour l'analyse des structures planaires multi couches [18].

### III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un état de l'art sur les antennes Ultra Large Bande nous avons présenté les différents types d'antennes ULB qui sont communément utilisées. Ces antennes ont été classées selon certaines propriétés: particularités géométriques ou spécificité du diagramme de rayonnement (antenne omnidirectionnel ou directive). Toutes ces antennes possèdent naturellement une bande passante assez élevée. Il existe plusieurs façons de réaliser une antenne ayant une bande passante très large.

Un tour d'horizon des différentes familles d'antennes possèdent des caractéristiques d'adaptation sur des très larges bandes de fréquences a été présente dans ce chapitre.

Concernant l'efficacité de l'antenne tout d'abord , celle-ci doit se monter adaptes avec un coefficient de réflexion  $S_{11}$  inferieur a -10 dB sur toute la bande de fréquence (3.1-10.6 GHz) , En terme de rayonnement celui-ci doit être constant en fréquence, omnidirectionnel en azimut, et couvrir le maximum d'espace en élévation

La première d'entre elles consiste à utiliser des géométries particulières. Ces antennes sont appelées antennes indépendantes de la fréquence : leur géométrie permet d'avoir une bande passante d'une décade. Concernant les antennes omnidirectionnelles, il existe deux grandes catégories d'antennes présentant naturellement une bande passante élevée: les antennes biconiques et les antennes monopoles large bande. Nous avons présenté aussi les antennes directives (antennes à transition progressive et les cornets) Ces antennes se caractérisent par un passage progressif de l'impédance caractéristique de la ligne (ou du guide) à l'impédance d'onde de l'espace libre.



**Chapitre IV :**  
**Généralité sur les**  
**propriétés**  
**électromagnétiques**  
**des matériaux BIE**

## **IV. 1. Présentation des structures a bandes interdites électromagnétiques :**

L'objectif de ce quatrième chapitre est de présenter dans un contexte général sur les matériaux à Bandes Interdites électromagnétiques (BIE) ou électromagnétique Band Gap (EBG)

Dans un premier temps, nous rappellerons les propriétés générales des matériaux BIP Par un bref historique et quelques définitions. Nous aborderons ces matériaux qu'ils soient diélectriques ou métalliques dans des configurations diverses : sans défaut ou avec défauts, dans une ou plusieurs dimensions. Nous approfondirons le cas des structures micro-ondes qui constituent le principal domaine de cette étude en utilisant différents outils de simulation afin de modéliser ces matériaux périodiques

### **IV.1.1.Historique et définitions des matériaux BIP :**

#### **IV.1.1.1 : Bref historique :**

Ce nouveau type de structure a été développé par E. Yablonovitch ([45], [46]) à la fin des Années quatre-vingts. En réalité, le tout premier matériau BIP ou cristal photonique a été réalisé sans le savoir par le physicien anglais William Laurence Bragg en 1915. Ce dernier a réussi par l'empilement périodique de couches transparentes à indices de réfraction différents à réfléchir 99,5% de l'énergie incidente, ce qui est impossible avec un miroir classique. Ce phénomène s'explique par de multiples réflexions à l'intérieur même de chaque interface. Elles sont constructives pour une épaisseur particulière des différentes couches.

Ces matériaux dont la constante diélectrique est structurée de manière périodique possèdent des fréquences pour lesquelles il n'existe aucun mode de propagation possible à l'intérieur du matériau, autrement appelé bande de fréquence interdite. Ces structures périodiques à une dimension sont déjà connues sous le nom de miroirs de Bragg. depuis, E. Yablonovitch [47] a eu l'idée d'étendre leur fonctionnement à plusieurs dimensions. Pour simplifier les réalisations, un prototype a été défini avec des bandes interdites mesurables en micro-ondes. Depuis cette innovation, les études qui ont pour objet ces matériaux se sont considérablement accrues. Les domaines de fréquences où ces matériaux sont étudiés correspondent aux fréquences optiques (de 1THz jusqu'à 1000THz) et aux fréquences micro-

ondes ou hyperfréquences. La gamme de fréquences facilite la conception et la réalisation de ces matériaux.

L'analogie entre l'équation de Schrödinger et l'équation de propagation issue des équations de Maxwell dans les milieux diélectriques permet de rapprocher les propriétés des cristaux solides de celles des cristaux photoniques.

A l'image des semi-conducteurs, dont la régularité du paysage atomique entraîne l'existence d'une bande d'énergie interdite, nous pouvons donc obtenir des bandes de fréquences interdites pour des matériaux diélectriques périodiques. Pour ces bandes de fréquences, aucune onde électromagnétique ne peut se propager dans le matériau et ceci quel que soit l'angle d'incidence considéré selon la structure étudiée. Ces plages de fréquences ont pris le nom générique de Bande Interdite Photonique. Le principe du miroir de Bragg est présenté sur la figure (IV 1).

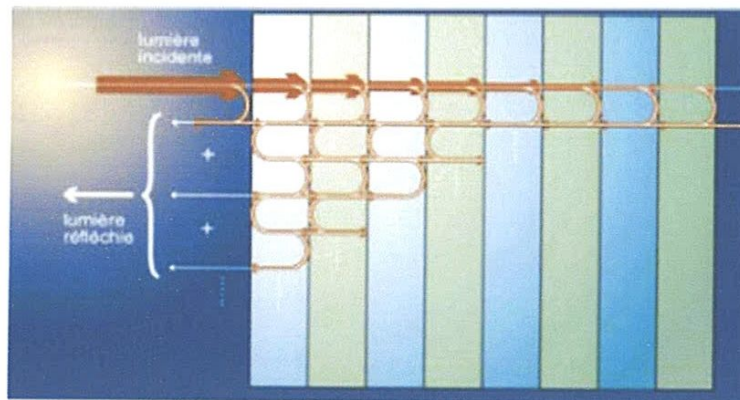


Figure IV -1 : Principe du miroir de Bragg

Pour le domaine des hautes fréquences (HF) ou micro-ondes, nous utiliserons plutôt le terme de matériaux à Bande Interdite Electromagnétique ou BIE qui correspond aux bandes de fréquences étudiées. En effet, leurs propriétés fréquentielles sont transposables pour d'autres longueurs d'ondes car elles sont surtout induites par la ou les périodicités du matériau.



### IV.1.1.2 : Définitions et propriétés :

A présent, intéressons-nous brièvement aux propriétés générales pour les trois grandes catégories de matériaux BIE diélectriques caractérisées par leur nombre de périodicités. Nous terminerons par une courte présentation des structures périodiques en métal.

#### ➤ Description des matériaux BIE diélectriques :

Pour les matériaux semi-conducteurs, l'objectif était de contrôler les propriétés électriques des matériaux. Avec les matériaux BIE, nous souhaitons obtenir un contrôle de leurs propriétés électromagnétiques [48]

Les matériaux BIE sont des structures périodiques à une, deux ou trois directions de périodicité constituées d'éléments diélectriques ou métalliques (Figure IV-2). Ils ont la propriété de contrôler la propagation des ondes électromagnétiques. Ces structures peuvent jouer le rôle de filtre fréquentiel et de filtre spatial.

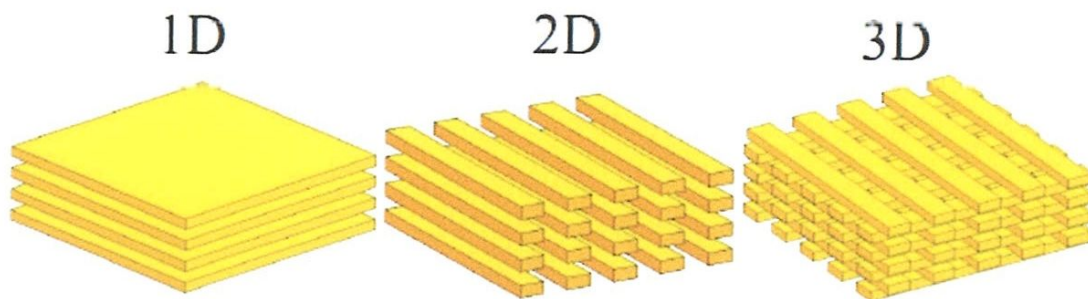


Figure IV-2 : Exemples de structures périodiques 1D, 2D et 3D

Puisque l'incidence des ondes est un facteur limitant les performances de ces structures, les chercheurs travaillent dans les domaines utilisant ces matériaux. Ils ont tenté de développer des structures BIE isotropes qui gardent leurs propriétés quel que soit l'angle d'incidence des ondes.

#### ➤ Réseaux unidimensionnels :

Les structures 1D sont les plus anciennes bien qu'elles soient depuis peu intégrées aux Structures BIE. En effet, elles ont été déjà longtemps étudiées et utilisées comme miroirs diélectriques ou filtres optiques.

Elles consistent à empiler plusieurs couches de matériaux avec des permittivités différentes (principe du miroir de Bragg). Les bandes interdites sont d'autant plus grandes que le contraste d'indice est élevé pour des épaisseurs de structures égales au quart de la longueur d'onde guidée. (figure IV-3).

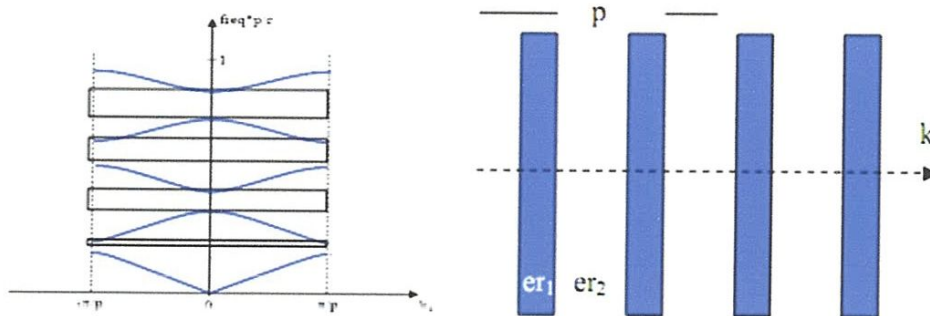


Figure IV -3 :Structure 1 D et son diagramme de dispersion.

Lors des réalisations, la conception de ce type de réseau est plus simple. Mais les bandes interdites ainsi créées sont sensibles à l'angle d'incidence de l'onde. Pour obtenir un contrôle de la bande interdite quel que soit l'angle d'incidence, il faut étendre la périodicité à 2 voire 3 dimensions.

#### ➤ Réseaux bidimensionnels :

Les matériaux 2D [49] sont des cristaux dont la constante diélectrique est structurée périodiquement dans les deux dimensions et reste homogène dans la troisième. Nous pouvons donc étudier les ondes électromagnétiques incidente à la structure 2D en deux polarisations distinctes : TE (champ électrique parallèle aux barreaux de la structure) et TM (champ électrique perpendiculaire aux barreaux).

Le comportement fréquentiel n'est pas forcément identique selon la polarisation. En effet, l'apparition des bandes interdites dépend du contraste d'indice qui doit être plus élevé selon le type de réseau. Nous présentons sur la Figure IV-4, plusieurs types de réseaux comme le réseau carré, le réseau triangulaire ou le réseau hexagonal.

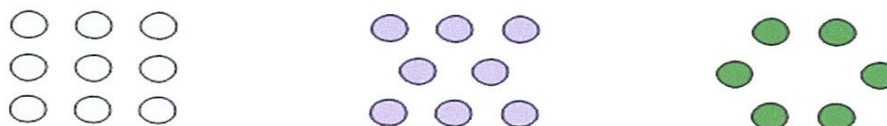


Figure IV -4 : Exemples de différents réseaux 2D.

Ce sont les paramètres géométriques c'est-à-dire le pas du réseau, le diamètre des tiges (par conséquent le taux de remplissage de la structure), le motif élémentaire et le contraste d'indice qui fixent les largeurs et les positions des bandes interdites et des bandes permises. Les diagrammes de la Figure IV-5 représentent :

- en abscisse, le parcours fait par le vecteur d'onde lorsqu'il décrit le contour formé par les points de haute symétrie  $\Gamma$ , X, M de la première zone de Brillouin.
- en ordonnée, la fréquence des modes calculés.

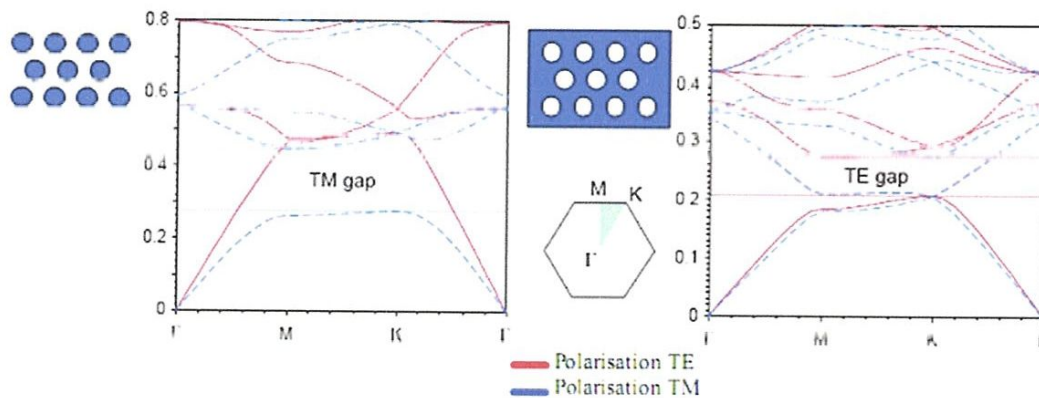


Figure IV -5 : Bandes interdites en fonction du réseau et du type de polarisation.

Dans les deux cas, nous constatons qu'il n'y a pas de recouvrement des bandes interdites dans les deux polarisations (en étudiant ici les diagrammes de bande d'une structure 2D en polarisation TE et TM). Mais, lorsque les bandes interdites correspondant à chacune des polarisations se recouvrent même de façon partielle, nous parlons alors de bandes interdites complètes.

En réalité, il n'y a que dans le cas des structures en trois dimensions que nous pouvons obtenir théoriquement une vraie bande interdite complète, c'est-à-dire dans le cas où il n'y a aucune propagation possible quelles que soient la polarisation et la direction de l'onde incidente.

#### ➤ Réseaux tridimensionnels :

Les structures 3D [50] sont les premières structures étudiées avec les structures 1D ou réseaux de Bragg. L'objectif était d'obtenir des structures 3D fonctionnant sur les mêmes principes que les miroirs de Bragg mais possédant une bande interdite photonique complète



c'est-à-dire dans toutes les directions de l'espace. Il existe un grand nombre de structures possibles . (figure IV-6).

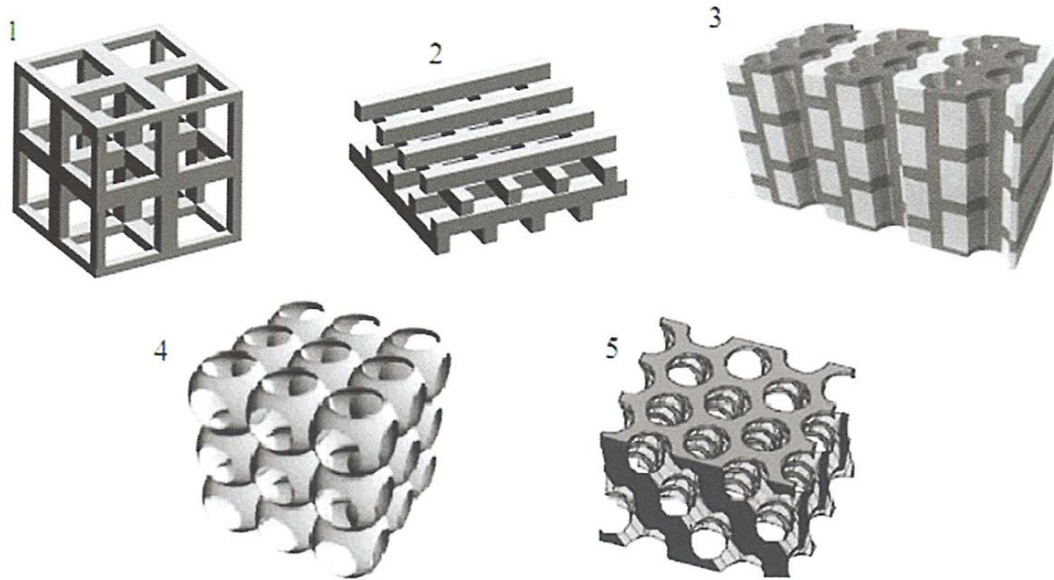


Figure IV-6 : Differentes structures 3D comme la structure cubique (1), le tas de bois (2), la structure multicouches (3), les opales ou opales inversées (4) et la Yablonoite(5)

En réalité, peu de structures 3D possèdent une bande interdite complète. Ho, Chan et Soukoulis ont été les premiers à montrer théoriquement la présence d'une bande interdite complète dans une structure à symétrie Cubique à Face Centrée (CFC) ou communément appelée structure diamant [51].

Les deux types de structures BIE 3D réalisées dans le domaine des micro-ondes pour des raisons évidentes de contraintes technologiques plus faibles que dans le domaine de l'optique sont la Yablonoite (un diélectrique percé de trous d'air) et la structure tas de bois. Cette dernière est un empilement de tiges diélectriques rectangulaires ou circulaires. Les deux niveaux consécutifs sont perpendiculaires et les deux plans consécutifs de tiges parallèles sont décalés d'une demi-période. Quelques structures de type tas de bois ont été réalisées dans le domaine des micro-ondes soit avec des tiges d'aluminium, soit avec du silicium grâce à l'empilement des grilles gravées les unes sur les autres avec un pivotement de  $90^\circ$  à chaque étage et en respectant l'alignement de l'ensemble [52].

Auguste Bravais a établi un classement des différentes familles de cristaux. Il a montré qu'ils peuvent se répartir en 7 types de mailles (7 systèmes cristallins) et 14 types de réseaux. Ceux-ci sont à la base des structures périodiques tridimensionnelles.

➤ **Description des structures BIE métalliques :**

Les premiers matériaux à bandes interdites ont été réalisés avec des matériaux Purement diélectriques pour répondre aux applications dans le domaine de l'optique. En effet dans ce domaine, l'utilisation de structures métalliques était difficile car il y avait de fortes pertes des métaux à ces fréquences. Par contre aux fréquences micro-ondes et radio fréquences, les pertes deviennent négligeables dans certains cas. Les métaux sont donc de quasi parfaits réflecteurs avec de faibles absorptions. Pour des fréquences de l'ordre du gigahertz, l'épaisseur de peau  $d$  est très faible devant la longueur d'onde, qui est bien en dessous des fréquences optiques.

Il y a une cinquantaine d'années, les premières études portaient sur des éléments métalliques possédant différents axes de périodicité dans le but de réaliser des polariseurs et des réflecteurs. Elles ont aussi permis de concevoir des Surfaces Sélectives en Fréquence ou SSF (Figure IV-7) mais la plupart concerne des structures monocouches avec des motifs 1D ou 2D. Les structures BIE Métalliques ou encore communément appelées BIEM sont une extension de ces réseaux périodiques métalliques à des réseaux multicouches à plusieurs dimensions [53].



Figure IV-7 : Exemples de surfaces sélectives en fréquence (SSF).

#### IV.1.2. Comportements électromagnétiques :

Nous allons étudier les propriétés électromagnétiques des structures périodiques et leurs comportements fréquentiels. Nous éclairons le matériau avec une onde plane en incidence normale et nous en déduisons les coefficients de réflexion et de transmission. Cette étude peut être réalisée soit par la méthode numérique FDTD, soit par la méthode des impédances ramenées. Ces deux méthodes sont décrites en détails dans la partie suivante.



### IV.1.2.1 .Structures diélectriques :

La principale caractéristique de ces structures est leur aptitude à fonctionner comme un miroir. Elles permettent de réfléchir partiellement ou quasi totalement les ondes électromagnétiques dans une certaine bande de fréquences et cela pour des incidences particulières selon les types de matériaux utilisés ([54], [55]). La Figure IV-8 montre le module du coefficient de transmission  $|S_{21}|$  et le module du coefficient de réflexion d'une structure 1D sans défaut soumise à une onde électromagnétique d'incidence normale. Onde plane incidente.

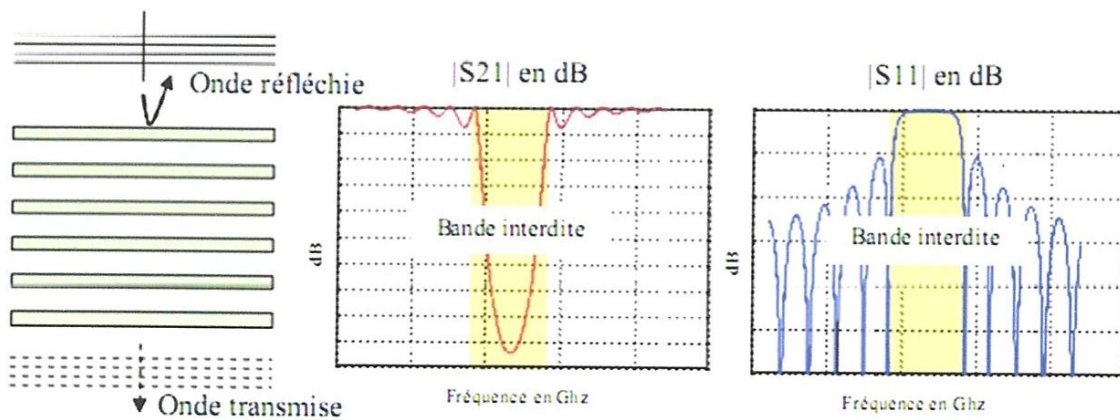


Figure IV-8 :Coefficient de transmission et de réflexion d'une structure 1D.

Ces structures réfléchissent les ondes grâce à un phénomène d'interférence constructive entre les différentes couches composant le matériau. L'onde incidente est partiellement réfléchie à chaque interface entre deux couches. Du fait de la stratification périodique, les ondes ainsi réfléchies présentent un déphasage bien défini les uns par rapport aux autres. Elles interfèrent donc de manière constructive ou destructive selon la valeur de déphasage qui dépend entre autre de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence. (figure IV-9)



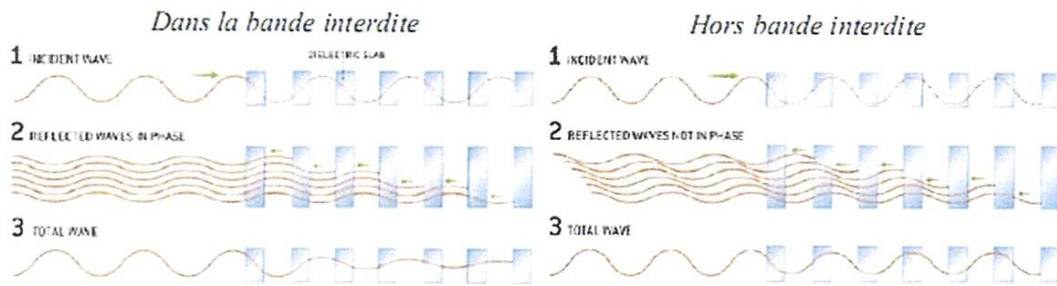


Figure IV-9 : propagation à travers une structure BIE ID

Un matériau BIE qui possède un nombre fini de périodes présente une bande de fréquence interdisant la transmission des ondes électromagnétiques. Dans le cas des structures périodiques à une seule dimension, un empilement de  $n$  plaques d'épaisseur  $g/4$  et séparées de  $1g/4$  permet de créer une bande interdite centrée en  $f_0$ .

$$\text{Soit : } f_0 = \frac{c}{4e\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{IV-1})$$

Avec :  $c$  la célérité de la lumière dans le vide,  $e$  l'épaisseur d'une lame,  $\epsilon_r$  la permittivité relative du diélectrique utilisé et  $f_0$  la fréquence centrale de la bande interdite.

Un nombre de périodes élevé limite cependant la largeur fréquentielle de la bande interdite photonique. Si l'agression électromagnétique n'arrive pas en incidence normale, la largeur de la bande interdite électromagnétique sera modifiée et le risque est de la voir complètement disparaître. Une autre méthode pour étudier les matériaux BIE consiste à calculer diagramme de dispersion du matériau infini. Le réseau cristallin est transposé dans l'espace réciproque des vecteurs d'ondes. Un nouveau réseau orthogonal au réseau cristallin de l'espace direct est ainsi obtenu. Cela permet d'en déduire la première zone de Brillouin qui représente le domaine élémentaire dans lequel doivent être recherchées les solutions des équations de propagation. Cette étude permet de déterminer si le matériau possède une bande de fréquence interdite commune à tous les angles de propagation envisageables. Cette technique est particulièrement adaptée aux matériaux périodiques plusieurs dimensions car elle considère l'ensemble des directions de propagation électromagnétique dans le matériau pour chaque fréquence étudiée. Les propriétés du matériau infini sont représentées sous la forme d'un diagramme de Bande ou d'un diagramme de dispersion.

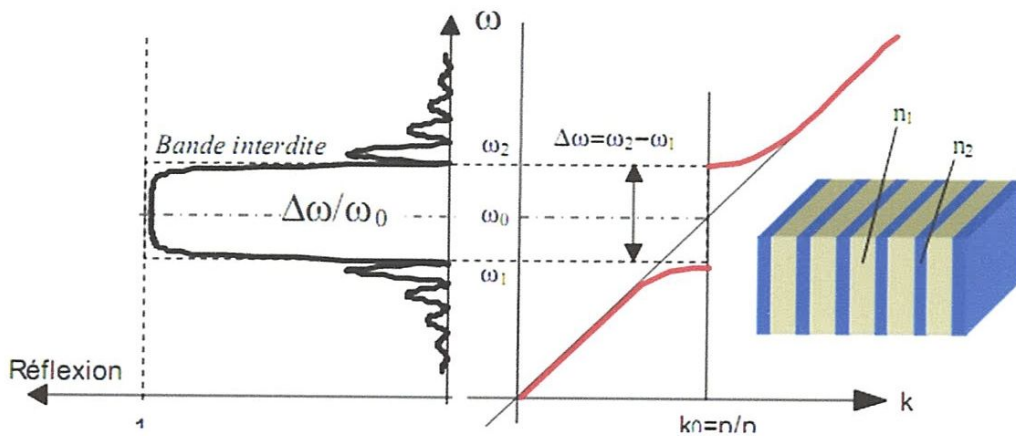


Figure IV-10 :Bande interdite et diagramme de dispersion pour des structures ID.

Nous définissons la bande interdite selon sa largeur  $D\omega$  et aussi sa fréquence centrale  $\omega_0$

**IV.1.2.2.Structures métalliques :**

Les matériaux métalliques périodiques peuvent se présenter sous la forme de tiges ou de grilles possédant un ou plusieurs axes de périodicité.

Toutes les grilles possèdent une bande interdite basse fréquence dans laquelle elle se comportent comme de parfaits miroirs. En effet, aux fréquences basses, l'impédance dérivée représentant la grille métallique est plus forte que l'impédance caractéristique de la ligne de transmission représentant le vide. Donc lorsque,  $\omega$  tend vers  $\omega_0$ , le module du coefficient de réflexion tend vers 1. Ce comportement présente une nouveauté par rapport aux réseaux périodiques BIE diélectriques. En effet, ils possèdent une bande permise basse fréquence jusqu'à leur première bande interdite fixée par leur périodicité et leur permittivité .

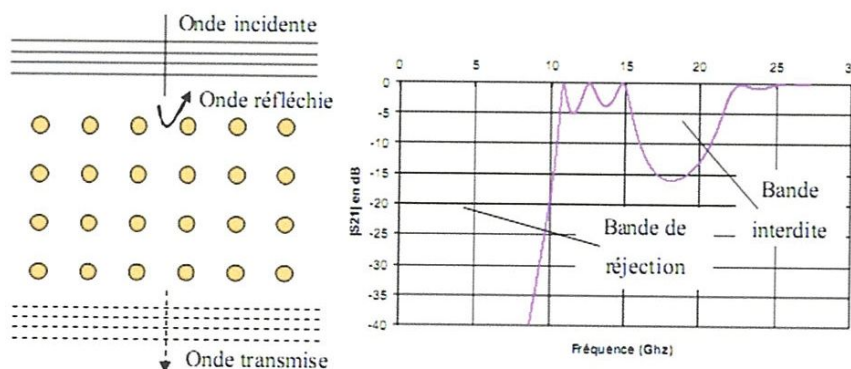


Figure IV-11 : Coefficient de transmission d'une structure BIEM .

Lorsque le pas du réseau métallique diminue, cela permet de creuser la réflexion basse fréquence. Si les tiges sont très espacées, le réseau de grilles équivaut à une surface métallique seulement pour les très grandes longueurs d'ondes. La bande de réjection dépend de la périodicité des éléments métalliques.

Dans le cas où nous modifions le diamètre ou la section des tiges constituant ces structures métalliques, nous accroissons la réjection à basse fréquence. Cela revient à diminuer la distance entre les tiges et par conséquent le pas du réseau [56], [57]. Grâce à cet effet à basse fréquence, ces grilles sont un bon moyen de réaliser des filtres passe-bas.

Le comportement fréquentiel de ces structures dépend de la géométrie et de la polarisation de l'onde incidente. Ces comportements seront détaillés dans le chapitre suivant.

## IV.2. Notions de défaut dans les structures

### ➤ Périodiques :

Les propriétés des structures BIE deviennent particulièrement intéressantes lorsque l'on introduit un ou plusieurs défauts dans la structure.

### IV.2.1. Introduction d'un défaut dans les structures BIE :

#### IV.2.1.1. Les façons de générer un défaut :

La création de défaut dans ces structures est engendrée par la rupture de la périodicité d'éléments périodiques. Cette rupture va créer l'ouverture d'une bande de fréquence autorisée à l'intérieur de la bande interdite. La position et la largeur de la bande passante sont gérées par les caractéristiques du défaut

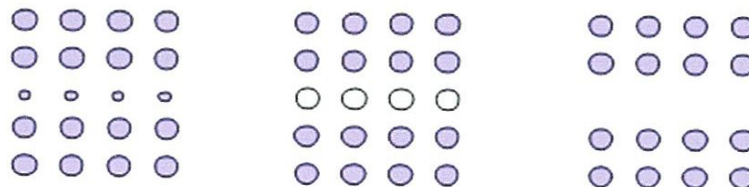


Figure IV-12 : Différents types de défauts basés sur la rupture de la périodicité du motif élémentaire.



Dans des structures 1D, le défaut ne peut être envisagé que dans la direction de périodicité. En revanche pour les structures 3D, nous pouvons créer des défauts dans une, deux ou trois directions (sous la forme de micro cavité). (Figure IV-13).

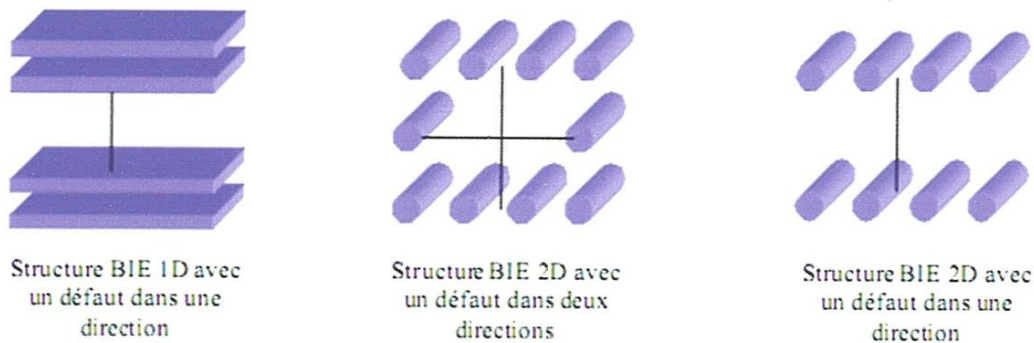


Figure IV-13. Exemple de dimension du défaut.

Afin d'élargir le spectre des possibilités offert par les structures BIE, nous allons présenter dans ce paragraphe les effets provoqués par l'insertion d'un défaut à l'intérieur de la structure en rompant la périodicité de la structure. Le type de défaut présenté ici correspond à un défaut basé sur la rupture de la périodicité dans une direction. Nous garderons ce principe dans la suite de ce mémoire quel que soit la structure (structure avec 1, 2 ou 3 directions de périodicité) utilisée.

#### IV.2.2.Applications et utilisations des structures BIE à défaut :

Dans le domaine de l'optique, de nombreuses applications ont été développées puis ce fut dans celui des fréquences centimétriques et millimétriques. Les réalisations sont en effet plus simples compte tenu des dimensions à ces fréquences.

Quelle que soit la structure photonique étudiée, les variations des champs dépendent des motifs choisis. On peut classer les structures qui utilisent les structures BIE en deux familles :

##### ➤ Celles qui utilisent la périodicité des motifs :

- Les antennes ([58], [59]) : les champs électromagnétiques ne sont plus piégés dans le plan de masse arrière, nous obtenons ainsi moins de lobes secondaires.
- Les filtres ([60]) : la défection dans le plan de masse d'une ligne permet d'éliminer les ondes de surface en introduisant une importante impédance

de surface. Plus le nombre de motifs est grand, plus la bande rejetée est profonde et large.

- Les structures cristallines artificielles ([61]) : le but est d'empêcher la propagation de l'onde quel que soit l'angle d'incidence de l'onde excitatrice.
- **Celles qui utilisent la périodicité des motifs et des ruptures de périodicité :**
  - Les filtres très sélectifs ([62]) : la rupture de la périodicité permet la transmission de l'onde dans la bande interdite à une fréquence précise, fonction de cette rupture.
  - Les guides ([26], [28]) : un « couloir » est créé au milieu du réseau périodique, l'onde le suit comme dans le cas d'un guide.
  - Les coupleurs ([68]) : en ajoutant à deux guides parallèles une jonction commune, associée à des éléments actifs, nous pouvons orienter l'onde dans les guides voulus.
  - Les antennes ([28]) : les champs électromagnétiques sont piégés dans le défaut, nous obtenons ainsi une antenne résonante et directive.

Naturellement, cette liste n'est pas exhaustive. L'apparition d'éléments actifs dans les structures à bande interdite permet de nombreuses modifications et de multiples utilisations d'une même structure. Toutefois, une des voies les plus prometteuses concerne le domaine des antennes.

Un certain nombre de travaux ont été réalisés dans le but de prouver l'intérêt de disposer d'un substrat BIE. Il a été montré que le fait de disposer d'un substrat BIE métallique planaire au-dessous d'un monopole améliorerait les performances du dispositif [29]. La présence d'un substrat BIE diélectrique sous une antenne patch a pour principale conséquence de réduire les effets d'onde de surface ainsi que le niveau des lobes secondaires [63].

Les matériaux BIE sont également intéressants pour la discrétion. Il est possible de réduire la Surface Equivalente Radar (SER) d'un aérien en couplant ce dernier avec un BIE métallique possédant des caractéristiques de transparence durant le temps d'émission ou de réception et des caractéristiques d'opacité pendant le reste du temps [31].

L'I.R.C.O.M. à l'Université de Limoges s'intéresse particulièrement aux propriétés de ces structures dans plusieurs laboratoires pour le domaine des micro-ondes, de l'optique mais aussi des antennes [32]. L'équipe du C.R.E.A.P.E. dirige ses recherches sur des structures



BIE diélectriques afin de réaliser de nouveaux types d'antennes basées sur les propriétés intrinsèques du cristal photonique [64]. Les premières études ont porté sur des matériaux en deux dimensions afin de comprendre le lien entre la géométrie de la structure et la position des bandes interdites en fréquence. Rapidement la structure BIE 1D a été retenue pour ses propriétés lors des études précédentes et pour sa simplicité lors des réalisations. Après avoir recherché la meilleure application de ces matériaux périodiques, l'antenne à résonateur à bande interdite électromagnétique 1D a émergé en créant un défaut à l'intérieur même de la structure et en l'utilisant sous la forme d'un radôme selon les premières interprétations [65], [66], [36], [69]. Par la suite, différentes applications ont vu le jour comme par exemple :

- l'optimisation d'un réflecteur spatial à couverture cellulaire [67].
- une antenne bi-bande [39].
- des antennes possédant un fort gain (autour de 30dB) à 14Ghz et à 40Ghz [40].
- une antenne BIE coaxiale omnidirectionnelle en azimut [41].
- une antenne bidirectionnelle [42].

Plusieurs laboratoires de recherche français s'intéressent tout particulièrement aux matériaux périodiques métalliques passifs ou actifs. Dans ce mémoire, nous proposerons une étude sur ces structures métalliques périodiques afin d'établir une alternative aux structures diélectriques. Les structures métalliques offriront une autre perspective pour les antennes grâce aux propriétés intéressantes du métal [43], [44].

### **IV.3.CONCLUSION :**

Ce chapitre rappelle brièvement l'état de l'art sur les matériaux périodiques BIE aussi bien leur histoire que leurs propriétés. Ces dernières intéressent de nombreux chercheurs qui continuent de démontrer l'intérêt d'utiliser ces matériaux soit pour remplacer des systèmes déjà existants mais plus contraignants, soit pour apporter une innovation toute particulière dans un domaine précis. L'étude de ces matériaux reste un sujet très riche, tout comme le choix de leurs applications. Pour comprendre leur fonctionnement, elles requièrent de nombreuses notions. La conception de matériaux BIE nécessite de tenir compte de la géométrie de la structure. Selon le nombre de directions périodiques et la nature du matériau, nous ne modéliserons pas la structure de la même manière.



En effet, une telle structuration en réseau permet d'introduire des conditions de résonance dans les mécanismes de propagation des ondes électromagnétiques. Cela se traduit alors par l'existence d'une succession de bandes interdites et permises dans les diagrammes de bandes. L'utilisation d'un matériau hors de sa bande interdite permet de sélectionner un mode de propagation parmi les modes possibles de la structure infinie, le choix de la taille du matériau et de son excitation sont des facteurs importants. L'utilisation d'un défaut dans les structures BIE, qu'il soit périodique ou local, modifiera le fonctionnement du matériau à cette fréquence puisqu'un seul mode pourra se propager.

# **Chapitre V :**

## **Simulation et résultat**

## V.1. Introduction

Avec ce problème on doit proposer un simple antenne large bande avec caractéristique dans le but de augmente les performances de ce antenne. On utilise dans notre étude la méthode d'ajout des trous. Ainsi qu'on a étudié en détail l'influence de changement les dimensions des trous sur le spectre de fréquence. Finalement réaliser l'antenne sur le laboratoire de télécommunication de notre département.

## V.2.Simulation et résultat

La simulation est une phase indispensable et nécessaire qui nous donne une approximation des résultats comme elle est réellement, pour choisir des bons et meilleurs paramètres avant la réalisation. Donc pour réaliser un objet (une antenne imprimée, circuit, composant, carte imprimée ), nous devons certainement passer par trois étapes nécessaires, elles sont comme suit :

- La modélisation: par des programmes ou des formulations.
- La simulation par des logiciels convenables.
- La réalisation (caractérisation par analyseur de réseau vectoriel,.....)

Nous avons simulé notre antenne proposée à l'aide du logiciel Ansoft-HFSS.

### V.2.1.Description du logiciel HFSS

HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un des outils d'analyse électromagnétique 3D basé sur la méthode des éléments finis (FEM) parmi les plus aboutis. C'est un logiciel développé par la société américaine Ansoft. Il présente une interface graphique avancée et de nombreuses fonctionnalités, il a bénéficié de nombreuses optimisations pour accélérer les calculs. Il se révèle relativement bien adapté pour décrire les cartes électroniques de manière précise mais nécessite des temps de calculs importants .

HFSS est un logiciel qui calcule le comportement électromagnétique d'une structure, pour analyser ce comportement en détails, le logiciel met à notre disposition des outils d'interprétation post-traitement. Il effectue une modélisation électromagnétique par résolution des équations de Maxwell à l'aide de la méthode des éléments finis [37]. Le principe de la méthode utilisée consiste à diviser l'espace d'étude en un grand nombre des petites régions (tétraèdres), puis à calculer localement le champ électromagnétique dans chaque élément. En d'autre terme, les étapes de la FEM sont :

- Discrétisation en éléments finie de la région de résolution.
- Discrétisation des équations pour chaque élément.
- Assemblage de tous les éléments dans la région de résolution.



➤ Résolution du système d'équation.

HFSS utilise une méthode d'interpolation combinée avec un processus itératif dans lequel un maillage est créé et automatiquement redéfini dans les régions critiques. Le simulateur génère une solution basée sur le maillage initial prédéfini. Ensuite, il affine le maillage dans les régions où il existe une haute densité d'erreurs, et génère une nouvelle solution [51].

### V.2.2.Géométrie de base

L'antenne proposée par Mr Chaabane Abd elhalime est la conception fait par Mr Chaabane Abd elhalime (université de guelma) est Mr Djahli Farid (université de setif) est publiée dans (International Journal of Antennas and Propagation volume 2014) est simulée avec Ansoft HFSS est représenté sur la figure (V.1). Cet élément alimenté par une ligne micro ruban  $50 \Omega$  de largeur « B » et longueur « C », possédant un plan de masse au dessous du substrat défini par « D ».

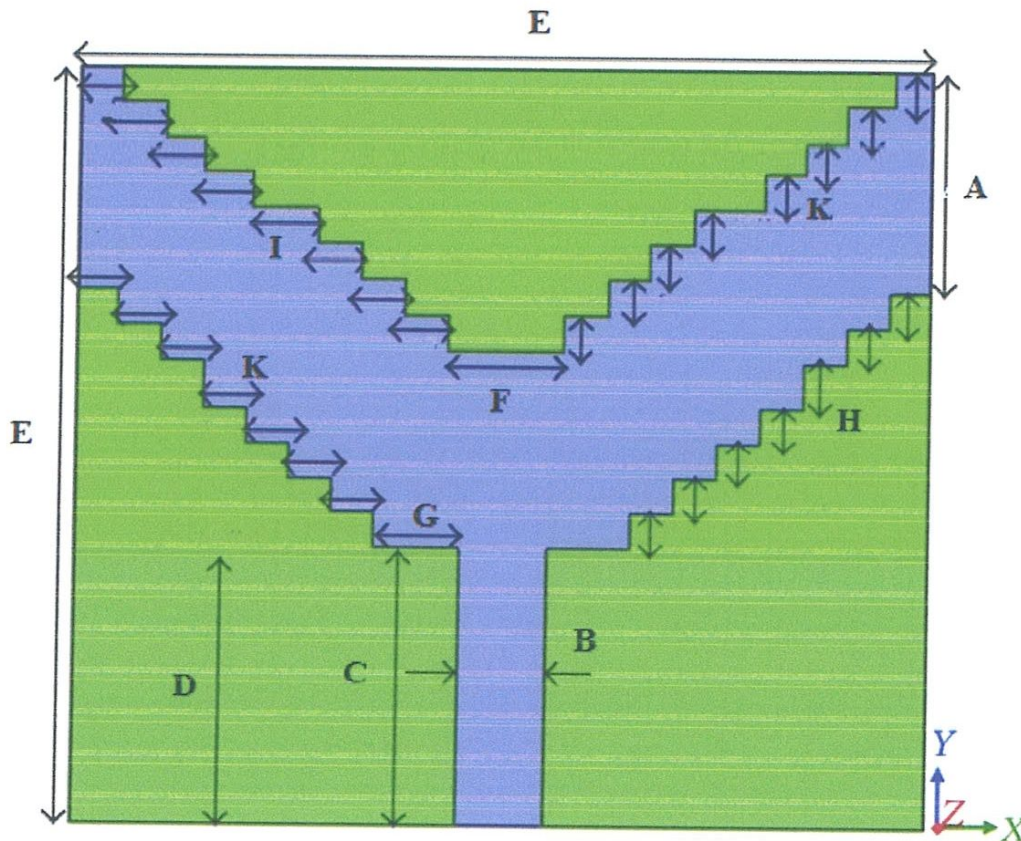


Figure (V.1) : La géométrie de l'antenne

Les paramètres géométriques sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Dimensions (mm)
A	9.5
B	3
C	12
D	11.5
E	31
F	4
G	3
H	2
I	2.5
K	1.5

Tableau (V.1) : Les dimensions d'antenne

### V.2.2.1. Le substrat utilisé

Le substrat utilisé pour la simulation de cette antenne est de type Epoxy « FR4 » avec une permittivité relative  $\epsilon_r=4.4$  et une épaisseur  $h=1.6\text{mm}$  (figure V.2).

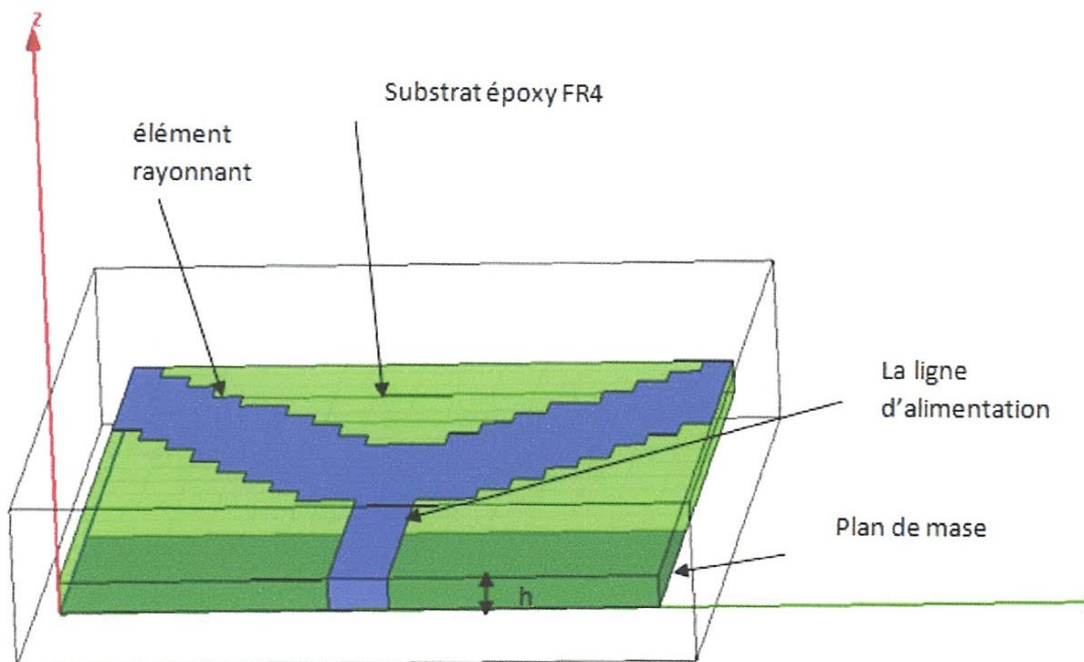


Figure (V.2): Représentation en 3D de la structure de l'antenne ULB

### V.2.2.2. La ligne d'alimentation

L'alimentation d'antenne est assuré par une ligne micro ruban d'une impédance caractéristique  $50 \Omega$ .

### V.2.3. Simulation de VSWR

Une étude paramétrique de l'antenne UWB a été effectuée, pour la simulation on a utilisé le logiciel HFSS pour voir comment les performances de notre antenne. Dans cette étude la bande a été filtrée si le ROS (Rapport d'Ondes Stationnaires) « VSWR »  $\geq 2$ .

On a utilisé dans notre étude cette équation pour mesurer les différentes dimensions de fente :

$$\Delta L = \frac{C}{2F\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (V.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (V.2)$$

C : La vitesse de la lumière.

$\Delta L$  : la dimension totale de la fente.

F : La fréquence de résonance.

$\epsilon_r$  : La permittivité relative.

$\epsilon_{eff}$  : La permittivité relative.

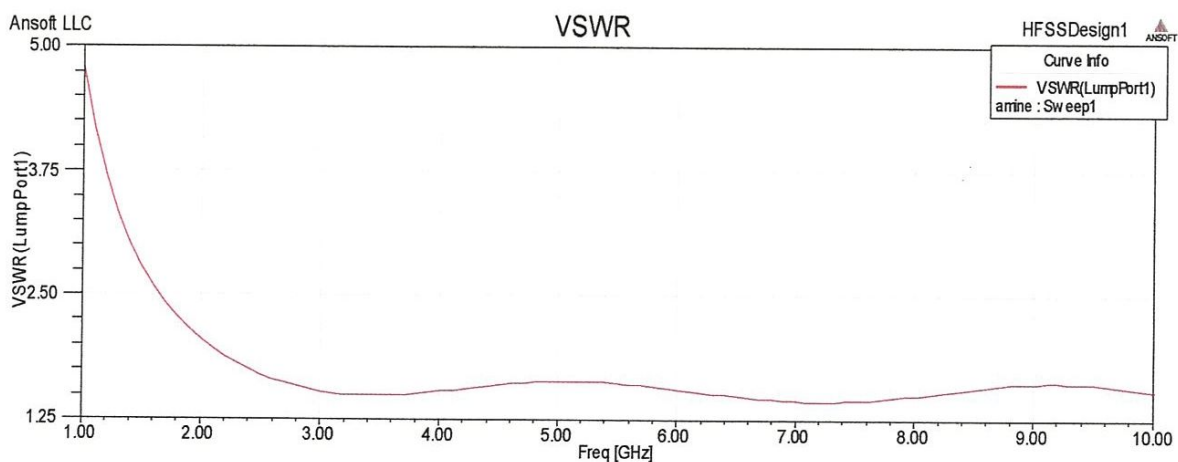


Figure V.3 : La simulation de VSWR



## V.2.4. Le diagramme de rayonnement

### V.2.4.1. Le diagramme de rayonnement sur le plan H :

Les diagrammes de rayonnement simulés de l'antenne dans le plan H (yz) pour trois fréquences différentes 3.5, 5.5 et 8 GHz sont présentés dans la figure (V.4). Les motifs de plan H sont assez omni directionnel comme prévu.

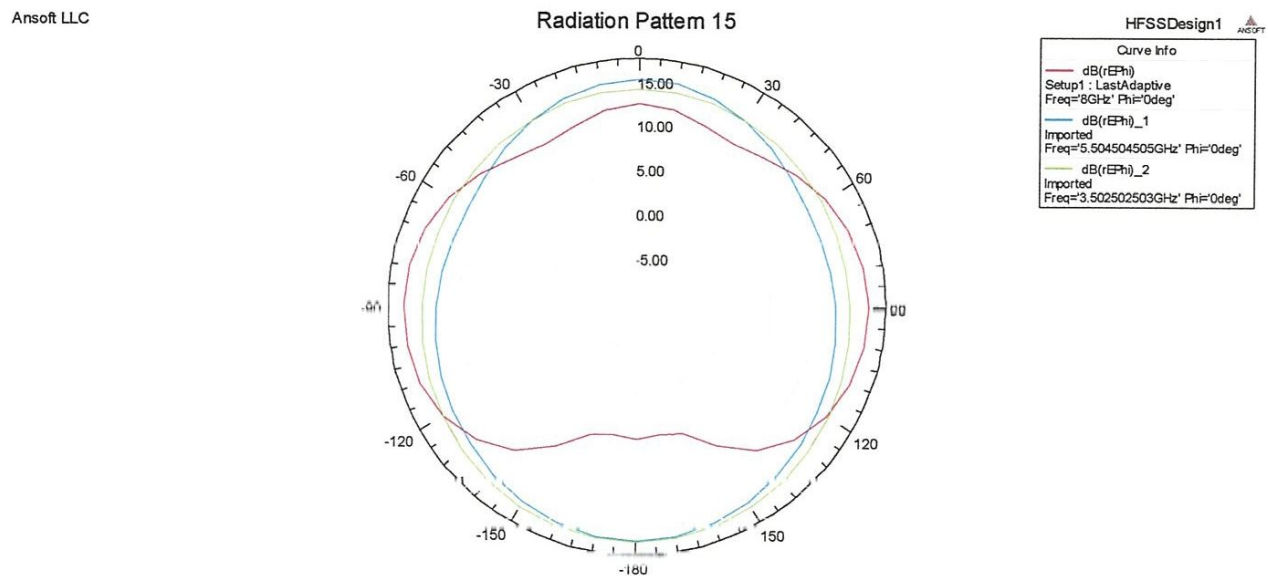


Figure (V.4) : Le diagramme de rayonnement de différente fréquence sur le plan H

Le H est sous forme d'une cercle et diminuer au fur et à mesure que la fréquence augmente.

### V.2.4.2. Le diagramme de rayonnement sur le plan E

Les diagrammes de rayonnement simulés de l'antenne dans le plan E (xz) pour trois fréquences différentes 3.5, 5.5 et 7 GHz sont présentés dans la figure (V.5).

Ansoft LLC

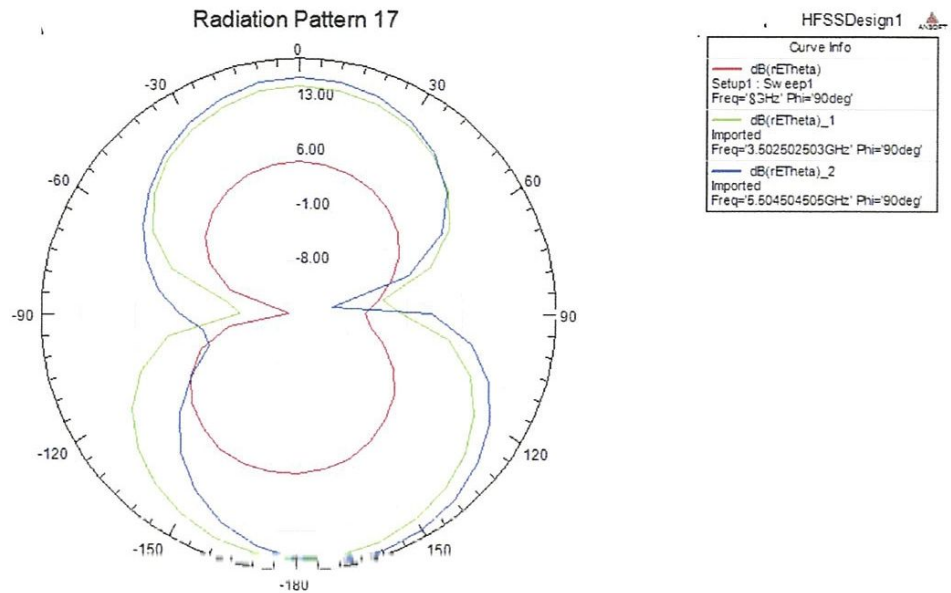


Figure (V.5) : Le diagramme de rayonnement de déférant fréquence sur le plan E.

Le E est sous forme de numéro huit et diminuer au fur et à mesure que la fréquence augmente.

### V.3 .La nouvelle antenne ULB

#### V.3.1.Géométrie de base

L'antenne simulé avec Ansoft HFSS est représenté sur la figure (V.6).Cet élément alimenté par une ligne micro ruban  $50 \Omega$  de largeur « B »et longueur « D », possédant un plan de masse au dessous du substrat définit par « C ».

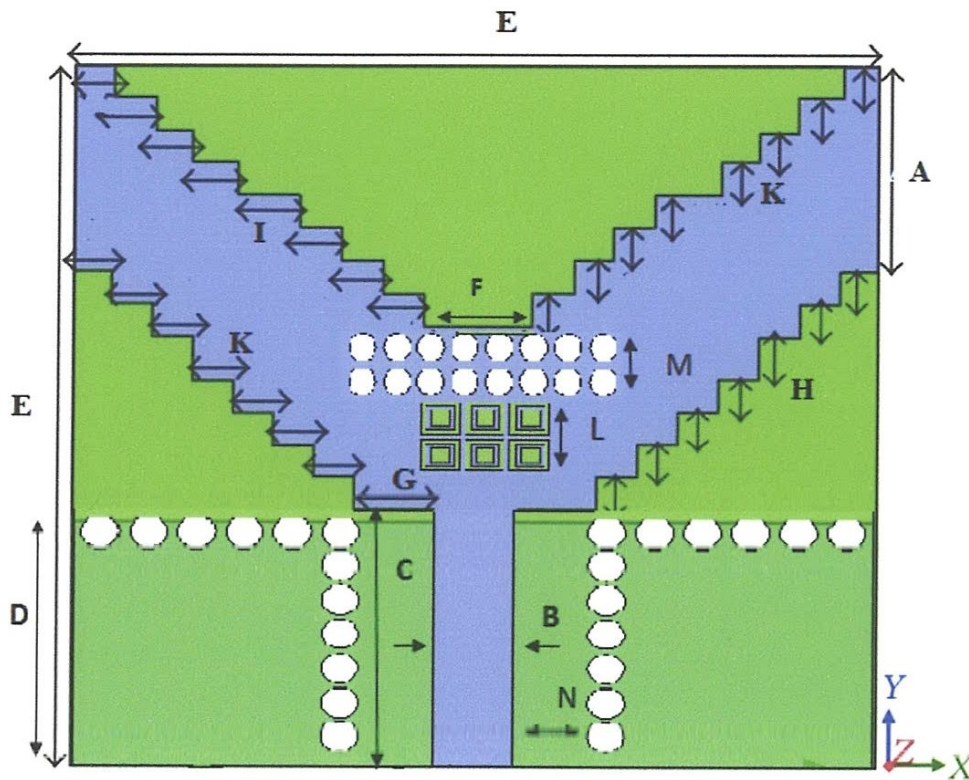


Figure (V.6) : La géométrie de l'antenne avec EBG

Les paramètres géométriques sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Dimensions (mm)
A	9.5
B	3
C	12
D	11.5
E	31
F	4
G	3
H	2
I	2.5
K	1.5
L	3.5
M	3.2
N	2.8

Tableau (V .2) : Les dimensions d'antenne avec EBG



### V.3.2. La ligne d'alimentation

L'alimentation d'antenne est assuré par une ligne micro ruban d'une impédance caractéristique  $50 \Omega$ .

#### V3.2.1 . Le coefficient de réflexion

D'après la figure (V.7) on peut constater que notre antenne est bien adaptées avec une grande bande passant entre [3.1-10.6]

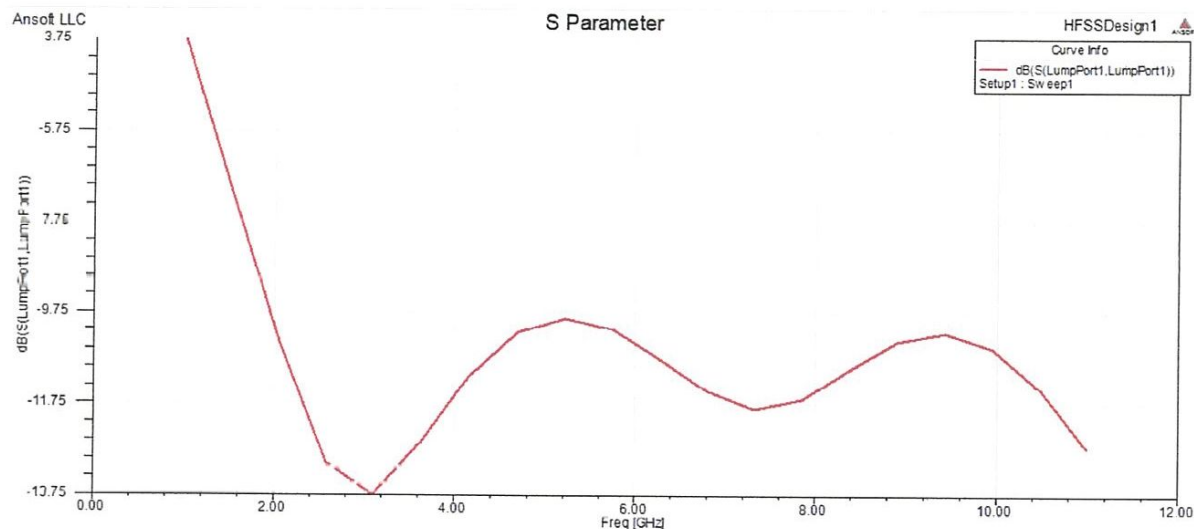


Figure (V.7) : variation de coffecient de reflixon

### V.3.3.Simulation de VSWR

Une étude paramétrique de l'antenne UWB a été effectuée, pour la simulation on a utilisé le logiciel HFSS pour voir comment les dimensions des structures affectent les performances de notre antenne. Dans cette étude la bande a été filtrée si le ROS (Rapport d'Ondes Stationnaires) « VSWR »  $\geq 2$ .

On a utilisé dans notre étude cette équation pour mesurer les différentes dimensions de fente :

$$\Delta L = \frac{C}{2F\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (V.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (V.2)$$

C : La vitesse de la lumière.

$\Delta L$  : la dimension totale de la fente.

F : La fréquence de résonance.

$\epsilon_r$  : La permittivité relative.

$\epsilon_{eff}$  : La permittivité relative.

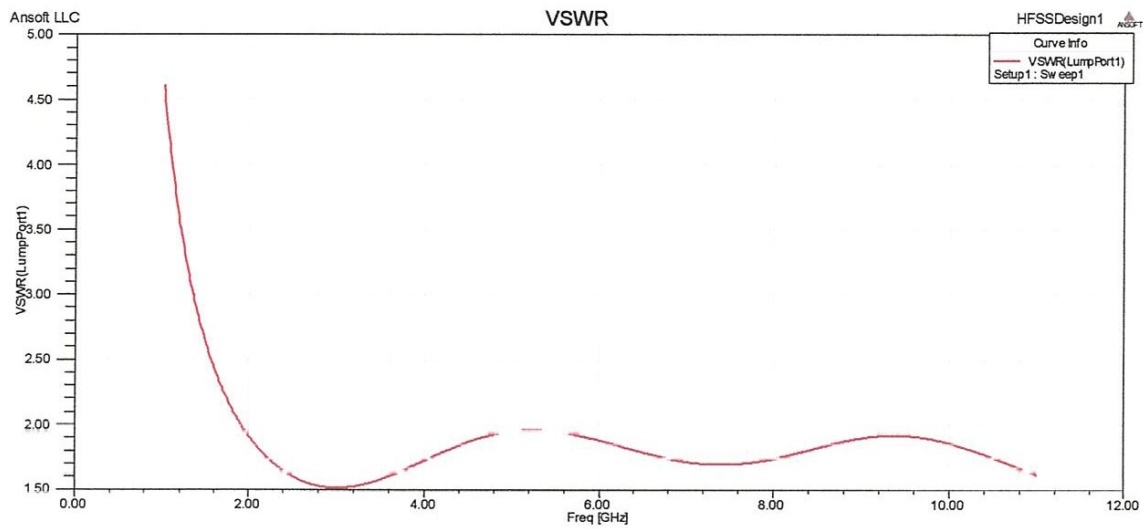


Figure (V.8) : La simulation de VSWR d’une nouvelle antenne avec EBG

**V.3.3.1. Le substrat utilisé**

Le substrat utilisé pour la simulation de cette antenne est de type Epoxy « FR4 » avec une permittivité relative  $\epsilon_r=4.4$  et une épaisseur  $h=1.6\text{mm}$ .

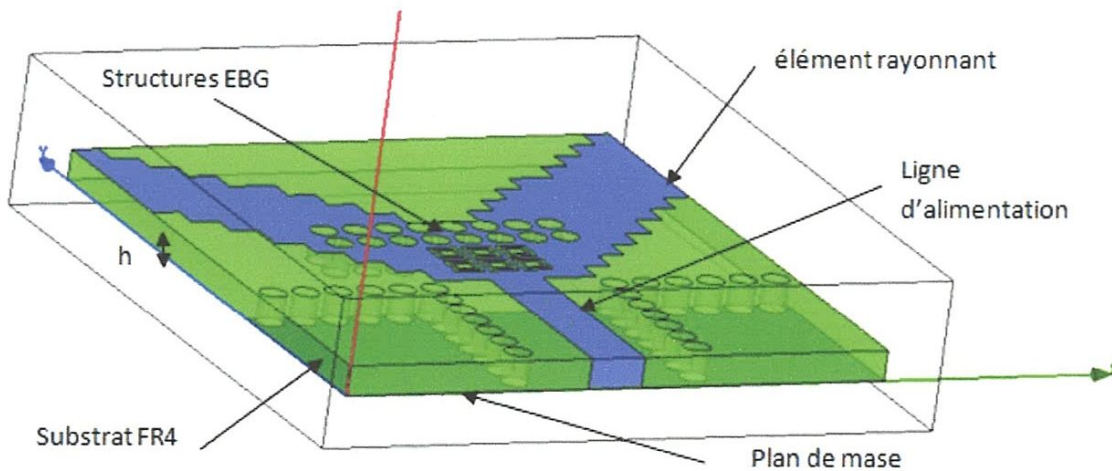


Figure (V.9): Représentation en 3D de la structure de l’antenne ULB avec EBG

### V.3.4. Les structures :

Nous avons appliqué un ensemble des caractéristiques dans la nouvelle antenne et nous avons distribué sur trois parties :

#### V.3.4.1. Les structures S1 :

Des structure EBG exactement six structures a été développé à sens inverse dans le milieu de l'élément rayonnant

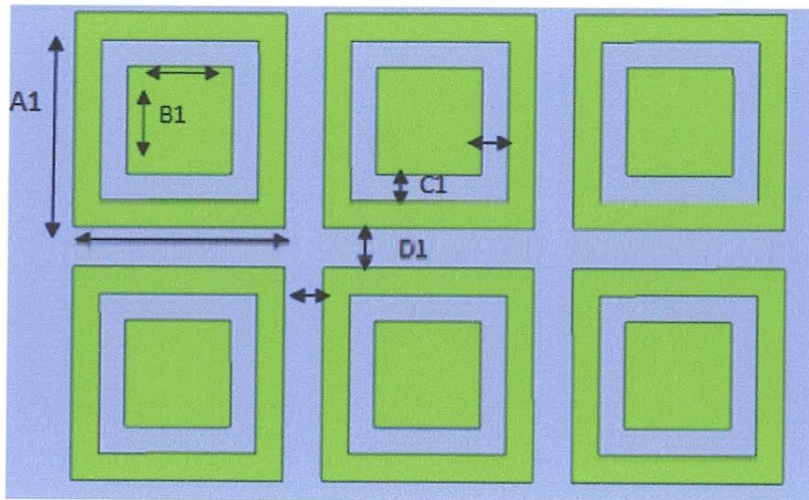


Figure (V.10) : structures au niveau bas de l'élément rayonnant

Les paramètres géométriques sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Dimensions (mm)
A1	1.6
B1	0.8
C1	0.2
D1	0.3

Tableau (V.3) : Dimensions optimale des structures S1

#### V.3.4.2. Structures S2 :

Deux lignes de cylindres chaque ligne contient 8 cylindre avec un épaisseur  $h$ , dans la partie haut de l'élément rayonnant



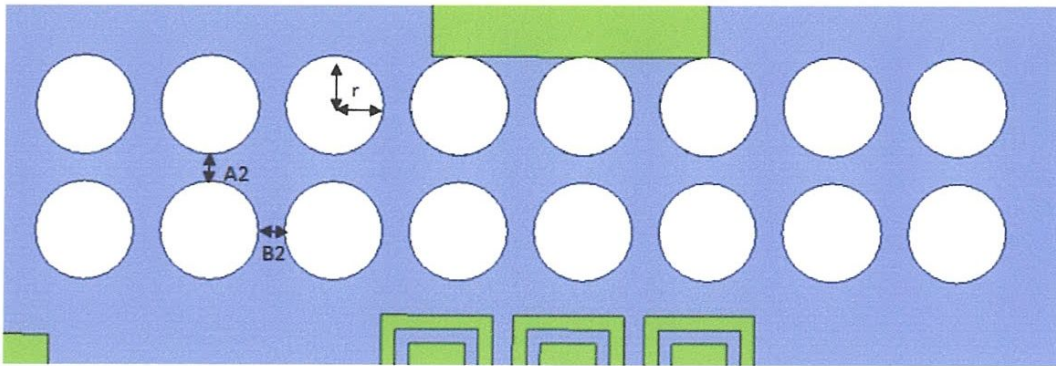


Figure (V.11) : structures au niveau haut de l'élément rayonnant

Les paramètres géométriques sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Dimensions (mm)
A2	0.4
B2	0.4
R	0.7

Tableau (V.4) : Dimensions optimale des structures S2

#### V.3.4.3. Structures S3 :

Deux lignes de cylindres perpendiculaire chaque ligne contient 7 vertical et 6 horizontal cylindre avec un épaisseur  $h$  dans la droite de le plan de masse. et un autre analogue a la gauche par rapport au la ligne d'alimentation

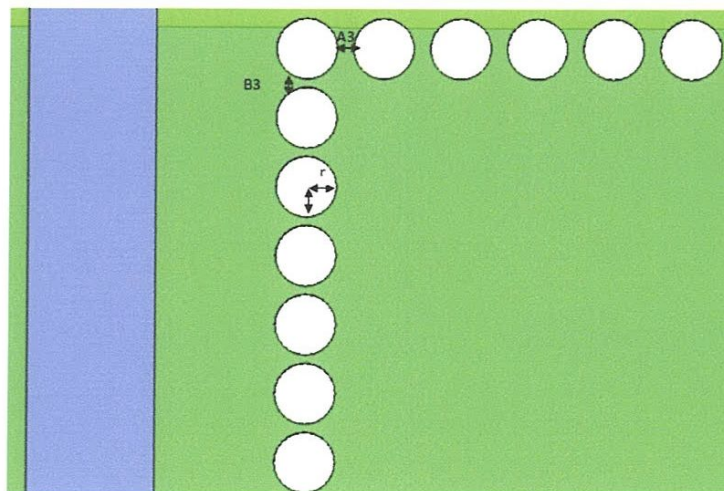


Figure (V.12) : structures au niveau droit de plan de masse

Les paramètres géométriques sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Dimensions (mm)
A3	0.4
B3	0.2
R	0.7

Tableau (V.5) : Dimensions optimale des structures S3

### V.3.5. Le diagramme de rayonnement

#### V.3.5.1. Le diagramme de rayonnement sur le plan H :

Les diagrammes de rayonnement simulés de l'antenne dans le plan H (yz)

Ansoft LLC

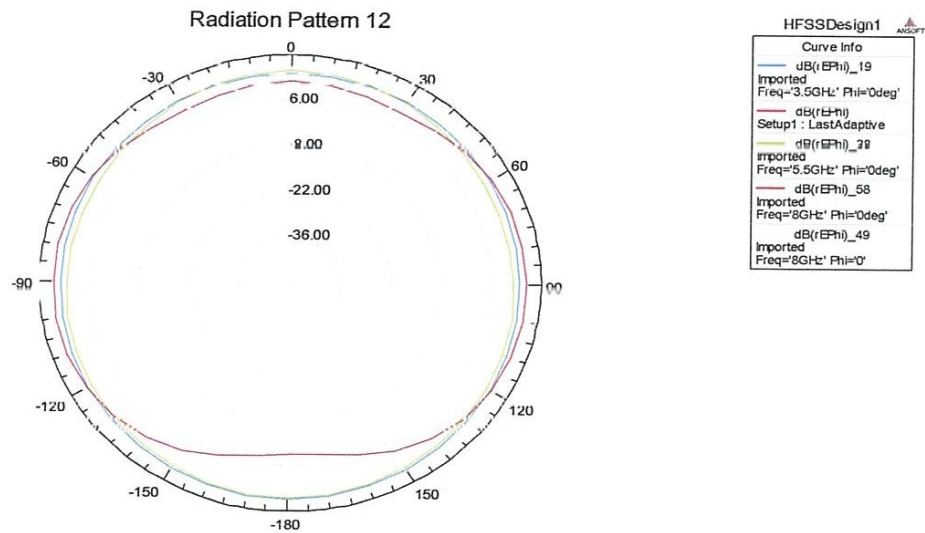


Figure (V.13) : Le diagramme de rayonnement de différente fréquence sur le plan H

Le H est sous forme d'une cercle et diminuer au fur et à mesure que la fréquence augmente.

#### V.3.5.2. Le diagramme de rayonnement sur le plan E

Les diagrammes de rayonnement simulés de l'antenne dans le plan E (xz) pour

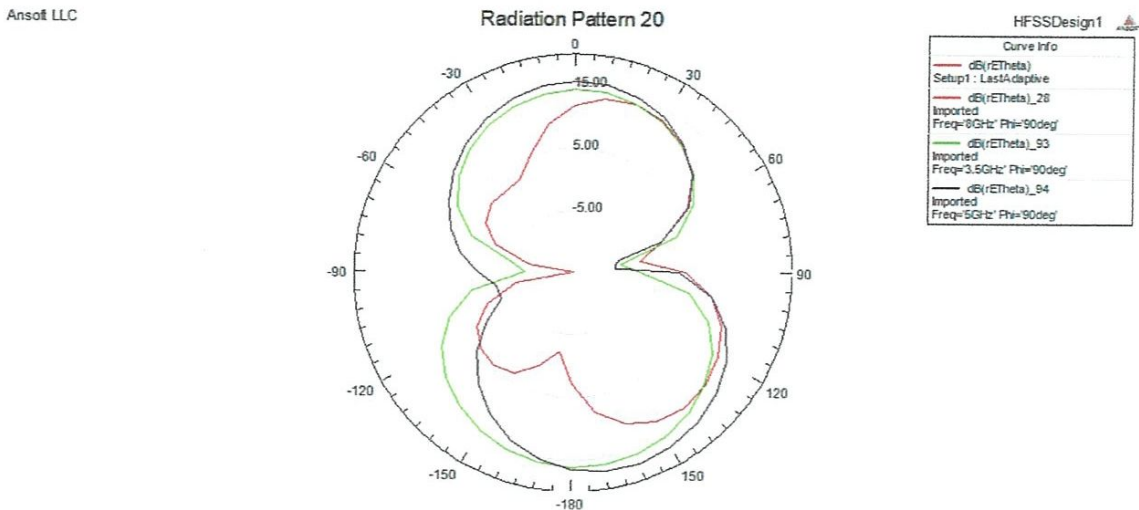


Figure (V.14) : Le diagramme de rayonnement de différente fréquence sur le plan E

Le E est sous forme de numéro huit et diminuer au fur et à mesure que la fréquence augmente.

### V.3.6. L'impédance d'entre :

D'après la figure (V.15) on peut constater que notre antenne est bien avec une grande bande passant entre [3.1-10.6]

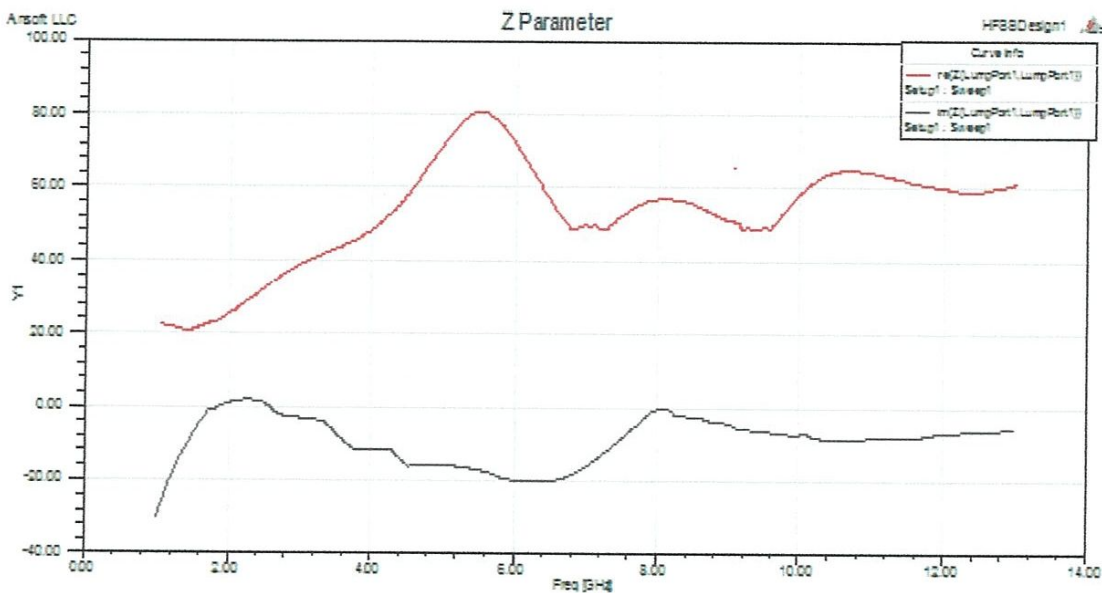


Figure (V.15) : Représentation de partie réelle et imaginaire de l'impédance en fonction de la fréquence

A la bande de fréquence de notre antenne [3.1-10.6] GHz la partie imaginaire est nulle et inférieure à 0 par contre la partie réelle est environ ou supérieure à 50 Ω



### V.3.7. Le peak gain

La figure (V.16) présente le peak gain de l'antenne proposée avec et sans les structures EBG en fonction de la fréquence. Dans la bande 3.1 GHz à 10.6 GHz on constate que le peak gain de la nouvelle antenne avec des structure EBG en augment par rapport a le peak gain de l'antenne de référence en fonction de la fréquence. Ce qui démontre que notre antenne proposée est bonne.

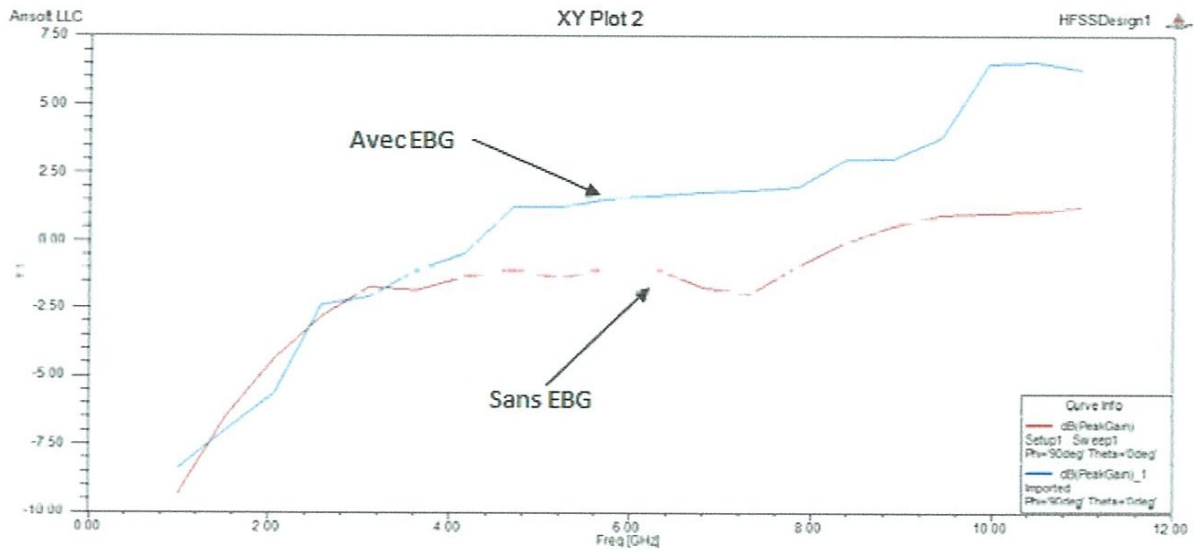


Figure (V.16) : peak gain d'antenne avec et sans EBG en fonction de la fréquence

#### V.3.7.1. L'influence de changement des rayons

Dans cette partie on va étudier l'influence de changement des dimensions des rayons sur la bande de fréquence 3,1-10.6 GHz. Les dimensions optimales des rayons des cylindres des structures sont mentionnées sur le tableau suivant :

Rayon	Dimensions (mm)
Notre antenne r	0.7
r1	0.5
r2	0.6
r3	0.8

Tableau (V.6): Dimensions optimale des rayons

La figure (V.17) présente les peak gains de l'antenne proposée avec 3 influences différent dans les rayons des cylindres des structures EBG en fonction de la fréquence. Dans la bande 3.1 GHz à 10.6 GHz on constate que le peak gain dans tous les influences est faible

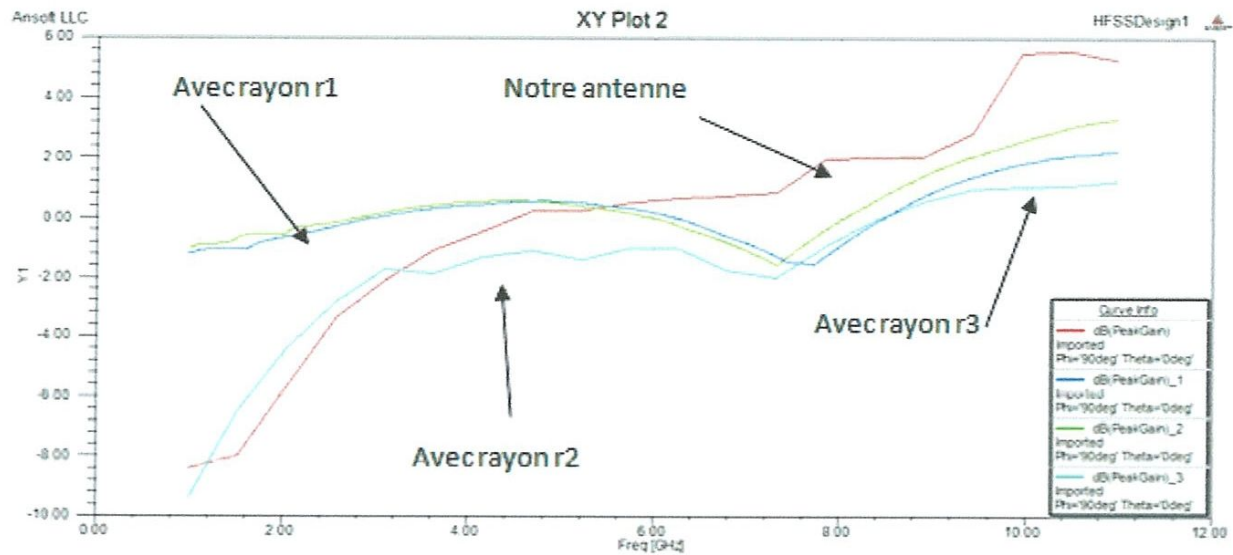


Figure (V.17) : le peak gain avec différents rayons

#### V.4. La réalisation de l'antenne proposée

Nous avons réalisé l'antenne ULB proposée. La réalisation est faite au niveau du laboratoire TLC .de notre département d'Electronique et Télécommunications en basant sur la technologie des circuits imprimés. La caractérisation des modèles réalisés est effectuée au niveau du laboratoire cité précédemment.

##### V.4.1. Les étapes de réalisation

En tenant compte des étapes de conception citées dans ce chapitre, nous avons réalisé notre antenne en utilisant comme substrat l 'Epoxy ' ayant une permittivité relative  $\epsilon_r=4.4$  et d'épaisseur  $h= 1.6$  mm.

Le tableau V.7 et V.8 qui récapitulent les propriétés de l'antenne réalisée.

Matériaux	Paramètres
Plan de masse : cuivre	$5.8 \times 10^7$ S/m
Substrat : FR4 (époxy)	$\epsilon_r = 4.4$
Patch : cuivre	$5.8 \times 10^7$ S/m

Tableau (V.7) : propriétés de matériaux

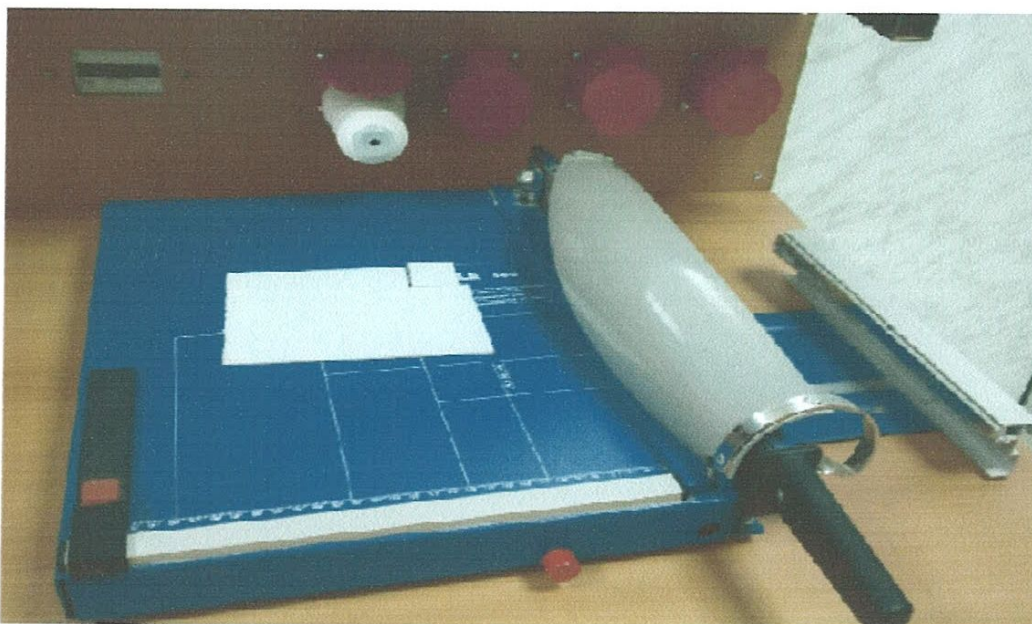
Elément	Aire (mm×mm)	Epaisseur (mm)
Substrat	31×31	h= 1.6
Plan de masse	31×11.5	0.1
Patch (W×L)	31×19	0.1
Ligne micro ruban a 50 Ω	3×12	0.1

Tableau (V.8) : paramètre de l'antenne

La réalisation d'antennes imprimée s'effectue selon les étapes suivantes :

➤ **1<sup>ère</sup> étape : Tracage d'antenne simulée**

On a tracé la forme d'antenne simulée avec précision de la géométrie d'antenne proposée. On a utilisé le papier calque pour notre opération. Couper la plaque de substrat « Epoxy », on respecte les dimensions de l'antenne 31×31 mm. La figure (V.18) présente cette étape.



La figure (V.18) : L'étape de traçage

➤ **2<sup>ème</sup> étape : Insolation**

On couvre les tracés par un encre noir, puis on les attaque par l'ultra-violet. La figure (V.19) présente l'antenne après cette opération.



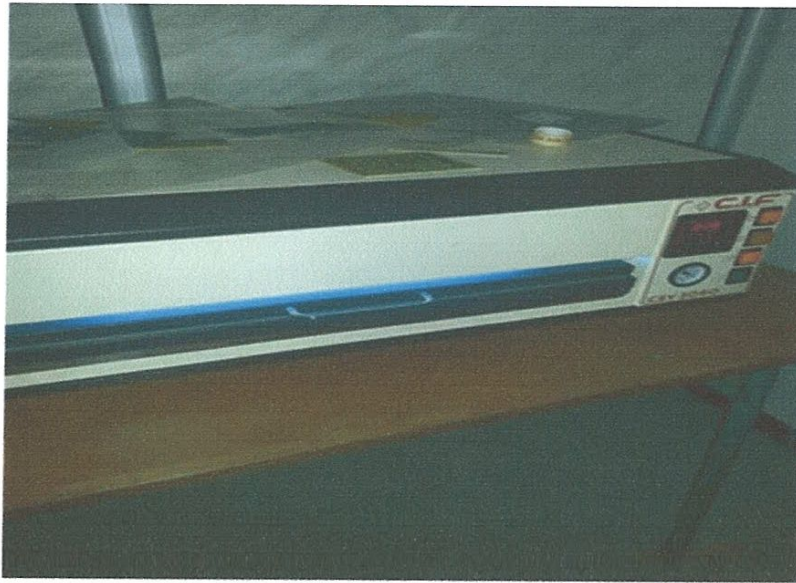


Figure (V.19) : Insolation d'antenne simulée

➤ **3<sup>ème</sup> étape : Révélation**

On met la plaquette dans une cuvette contenant NaOH . Figure(V.20) présente l'antenne après cette opération.



Figure(V.20) : La révélation d'antenne simulée.

#### ➤ 4<sup>ème</sup> étape : Gravure

la gravure est s'effectue dans une machine contenant PerChlorure de Fer, elle va attaquer la partie non protégée de l'ultra-violet et elle l'enlève. La figure(V.21) présente notre antenne réalisée dans le laboratoire.



La figure(V.21) : L'antenne ULB proposée dans l'étape de gravure

#### V.4.2. Réalisation des résultats de simulation

Après modélisation et simulation, l'antenne est réalisée suivant les procédures de conception d'une antenne imprimée .

Malheureusement, la réalisation est stoppé à cause des matériaux mauvais qualités a laboratoire de département d'électronique et télécommunication a université 08 mai 1945 Guelma. Surtout dans la dernière étape, Spécialement les plaques des époxy de 2 face est la machine de gravure ne marche pas.

#### V.5. Conclusion

Dans ce travail nous avons proposé une nouvelle antenne ULB avec caractéristique de augmentation performances dans la bande de fréquence « 3,1-10.6 » GHz de système de communication sans fil.

A travers cette partie, nous avons vu les outils de la technologie des circuits imprimés. Enfin, nous pouvons dire que les résultats trouvés par la simulation d'une antenne compacte monopôle qui rayonne à 3.1\_10.6 GHz se conforme bien avec les résultats trouvés par l'étude théorique . Le résultat obtenu montre que si les performances de la nouvelle antenne est augment.

# Conclusion général



## Conclusion Général

L'allocation par l'organisme de régulation des systèmes de communication des Etats-Unis, le 14 février 2002, d'un spectre sans licence de 3,1 à 10,6 GHz, dédié aux système Ultra Large Bande offre la possibilité d'exploiter d'énorme potentiels en terme de capacité de canal à des courts distances et à de faible niveau de puissance rayonné. Cette perspective séduit de nombreuses grande sociétés et laboratoires de recherches qui proposent alors différentes solutions afin de répondre aux besoins des réseaux sans fil.

Au cours de ces travaux de mémoire, nous avons abordé le problème de faible gain des antennes par la proposition d'une nouvelle antenne Ultra Large Bande avec caractéristique bande interdit électromagnétique

En premier lieu nous avons commencé par une étude générale sur les antennes et nous présentons la technologie ultra large bande et les antennes Ultra Large Bande. Ensuite nous avons exposé les fonctionnalités des structures EBG ainsi que Les différent techniques de ces structures utilisées sur les antennes ULB.

En fin, une étude d'un compact monopôle avec caractéristique de bande interdit électromagnétique pour les systèmes de communication sans fil . Pour la structure bande interdit électromagnétique nous avons utilisé la technique d'ajout d'une structure a bande interdit a sens inverse comme un fente. Ainsi que nous avons étudié en détail les trous qui nous appliqué dans le substrat et l'élémentrayonnant .Le résultat obtenu montre que si le gain de la nouvelle antenne est augment.

Pour atteindre notre objectif, des simulations numériques avec le logiciel HFSS sont réalisées. Ce logiciel nous a permis de nous rapprocher du meilleur cas pratique. A travers ses simulations nous avons étudié le comportement physique, électrique et de rayonnement de différentes antennes plaquées (la fréquence de résonance, la largeur de bande, diagramme de rayonnement du gain,...) en fonction des paramètres qui intervient dans la conception (propriétés des matériaux, paramètres de l'antenne,...).

D'après une comparaison entre l'antenne simulée et l'étude théoriques, nous pouvons dire que les résultats très proches.

En ce qui concerne les perspectives de ces travaux, trois axes de recherche futurs méritent considération. Le premier vise à l'amélioration des performances des antennes présentées. En effet, si la faisabilité de certaines fonctionnalités a effectivement été prouvée ; il apparaît néanmoins possible au vu de l'expérience acquise de pousser les performances

fréquentielles, spatiales ou géométriques (au sens de la compacité de l'antenne, de sa robustesse, du nombre de composants employés ...) de ces antennes.

Un second axe important est celui de la fidélité des simulations. Au cours de la thèse, certaines antennes ont été réalisées, et si leur fonctionnalité a bien été démontrée expérimentalement, l'adéquation entre mesure et simulation n'est pas parfaite. Plusieurs solutions pourraient permettre de résoudre partiellement le problème, ou tout du moins de réduire cet écart.

Le dernier axe concerne le développement des nouvelles fonctionnalités des antennes ULB basés sur les caractéristiques de bande interdite électromagnétiques

- [1] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Equations\\_de\\_Maxwell](http://fr.wikipedia.org/wiki/Equations_de_Maxwell)
- [2] Application de l'EMPLAN dans l'analyse de quelques structures imprimées rayonnantes. Mémoire de Fin d'Etudes pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Télécommunications Soutenu en Juin. 2004
- [3] les antennes ultra large bande xavier begaud
- [4] :Naidja Ammar et Khalfallah Amar «Etude des performances d'une antenne Intelligente »Mémoire pour obtenir Master Académique en télécommunication Juin 2012.
- [5] Lotfi Djouane « Analyse rigoureuse d'une plaque microbande rectangulaire sur plan de masse avec ouverture rectangulaire par la méthode des moments et les dyades hybrides de Green » mémoire de magister en électronique de l'université de Batna
- [6]: <http://www.louisreynier.com>
- [7] : [www.techniques-ingenieur.fr/base.../antennes.../antennes\\_imprimees\\_c3310/](http://www.techniques-ingenieur.fr/base.../antennes.../antennes_imprimees_c3310/)
- [8] Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunications Institut des télécommunications d'Oran AbdelhafidBoussouf "Les antennes planaire pour les communications UWB" Melle BRAIKIA Nacera Melle MOHAMMEDI BOUZINA Souaad
- [9] Ultra WidebandAntennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging Ben Allen (Editor), MischaDohler (Editor), Ernest Okon (Editor), Anthony Brown (Editor), David Edwards (Editor).
- [10]: Ahmad Elsayed Ahmad « Conception d'antennes réseaux aux performances optimisées par la prise en compte des couplages inter-éléments. Application à la formation de faisceau et à la polarisation circulaire »Thèse doctorat de l'université de Limoges 2010
- [11] Communications Ultra Large Bande : le canal de propagation radioélectrique (Collection technique et scientifique des télécommunications)De Bernard UGUEN (Auteur), PatricePAJUSCO (Auteur), TALOM Friedman TCHOFFO (Auteur), Pascal PAGANI (Auteur).
- [12] : [http://www.f5axg.org/les\\_types\\_dantenne.html](http://www.f5axg.org/les_types_dantenne.html)
- [13] : Anne Claire LEPAGE « Analyse et optimisation d'antennes tridimensionnelles . applications à la conception d'antennes compactes intégrées dans un système de communication ultra-large bande » thèse doctorat de l'université de Paris 2005.



- [14] : Chouti Leila « Contribution à l'étude d'antennes imprimés rectangulaires double bande et multi bandes
- [15] :L.Reynier « Liaisons hertziennes 3 – Antennes » Paris 2008.
- [16] :Jean-Philippe Muller « Les antennes pdf»
- [17] : Robert Berranger F5NB « Généralité sur les antennes HF (amateur) » article publié dans radio-REF mai 2005.
- [18] : [www.techniques-ingenieur.fr/base.../antennes.../antennes-imprimées-e3310/](http://www.techniques-ingenieur.fr/base.../antennes.../antennes-imprimées-e3310/)
- [19] : BarkatOuarda « Etude et synthèse des caractéristiques de réseaux d'antennes imprimées Supra conductrices dans la bande millimétrique » Thèse de doctorat de l'université Mentouri Constantine décembre 2009.
- [20] : AblaBehloul « Contribution à l'étude des antennes microstrip supraconducteur de forme triangulaire» mémoire de magister en électronique de l'université Mentouri Constantine Avril 2010.
- [21] : Hafedh ben Ibrahim Gaha «Analyse et conception des antennes fractales applications la télécommunication large bande » Thèse de doctorat juillet 2007.
- [22] :AddaciRafik «Evaluation de la fréquence de résonance complexe et de la bande passante d'une antenne microbande rectangulaire par la méthode neuro spectrale » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en électronique 16/10/2006, Université de Constantine
- [23] : BoussahaSoumia «Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communication » mémoire de magister à l'Université de 8 mai 1945 Guelma 2012.
- [24] : Philippe Lombard «Etude de l'impact de Filtrage et des Non-Linearités sur les Signaux ULB dans les Front-End Radiofréquence et les Réseaux Hybrides Optique-Radio»Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble, décembre 2007.
- [25] : Laurence BABOUR" Etude et conception d'antenne ultra large bande Miniaturisées en Impulsionnel"Thèse de doctorat de l'université de Bordeaux Grenoble, mai 2009.
- [26] M. KOSHIBA, Y. TSUJI, S. SASAKI « High-Performance AbsorbingBoundary Conditions for Photonic Crystal Waveguide Simulations » IEEE Microwave and wireless components letters, vol. 11, [26] VANBESIEN, DANGLLOT, LIPPENS "Structures .guide d'onde actives par ingénierie de BIP" Congrès [27] O. VANBESIEN, J. .DANGLLOT, D. LIPPENS « a smart K-band resonant switch based on photonic band gap .engineering » 29th EuMC, Munich 1999. NM Arcachon 2001 No 4, April 2001.

- [27] : MatoiyaBoura et Irankunda Alida « Etude des performances d'un système de communication DS-UWB »Licence académique en Télécommunication Juin 2011.
- [28] M. THEVENOT "Analyse comportementale et conception des matériaux diélectriques à BIP. Application à l'étude et à la conception de nouveaux types d'antennes." Thèse de doctorat- n°34-1999- Université de Limoges- 1999
- [29] M.M SIGALAS, R.BISWAS , Q.LI ,D.CROUCH, W. LEUNG, R .  
.JACKOBWOODBURY, B.LOUGH, S.NIELSEN , S. McCALAMONT, G. TUTTLE,  
K.M. HO "Dipoleantennas on photonic band gap crystals- Experiment and simulation "  
M.O.T.L / Vol 15, N°3, June 20 1997 – pp153-158 .
- [30] : ZianiKerarti Djalal" Etude et conception d'antenne ultra large bande " mémoire de magister en Télécommunication de l'Université Abou BakrBelkaid-Tlemcen en 2011.
- [31] S. COLLARDEY and al "MetallicPhotonic Band Gap Propagation Modes characterization" Microwave and opticaltechnologyletters .
- [32] M. THEVENOT "Analyse comportementale et conception des matériaux diélectriques à BIP. Application à l'étude et à la conception de nouveaux types d'antennes." Thèse de .doctorat- n°34-1999- Université de Limoges- 1999 .
- [33] :A. Sibille, C. Roblin, S. Bories, A.C. Lepage, X. Begaud « Conception et caractérisation d'antennes ULB pour communications multimédia haut débit » 75739 PARIS 2004.
- [34] : Nicolas Fortino «Conception et caractérisation d'antennes impriméespour systèmes Ultra Large Bande impulsionnels »Thèse de doctorat à l'université de Nice-Sophia Antipolis Février 2006.
- [35] :<http://www.ulbforum.org>.
- [36] C.CHEYPE, C. SERIER, M. THEVENOT, T. MONEDIERE, A. REINEIX, B. JECKO  
"An electromagneticbandgapresonatorantenna" IEEE Trans on Antennas and  
Propagation, Sept 2002, Vol. 50, N°9, pp -[37] C. CHEYPE "Etude et utilisation des  
propriétés des matériaux BIPs à défaut pour la conception d'antennes" Thèse de  
doctorat- n°34-2001- Université de Limoges- 2001 1285.
- [37] :Chouti Leila « Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage »" mémoire de magister en Electronique [38] : Mohamad Mroué «Intégration et Performances d'Architectures de Transmetteur Radio ULB » Séminaire SCEE 2009.Université Mentouri-Constantine 2009.



- 
- [39] L. LEGER "Nouveaux développement autour des potentialités de l'antenne BIE planaire" Thèse de doctorat- n°27-2004- Université de Limoges- 2004.
- [40] C. SERIER "Conception, réalisation et caractérisation d'antennes à bande interdite photonique. Application au fort gain" Thèse de doctorat- n°57-2002- Université de Limoges- 2002 .
- [41] L. FREYTAG "Conception, réalisation et caractérisation d'antennes pour station de base des réseaux de télécommunication sans fil" Thèse de doctorat- n°29-2004- Université de Limoges- 2004 .
- [42] E. RODES, T. JAFFRE, M. DIBLANC, M. THEVENOT, B. JECKO "Design of a bidirectionnal directive antenna using a metallic EBG structure" JINA 2004 – 13th International Symposium on Antennas 8 -10 November 2004, Palais des congrès – session 2 n°2 .
- [43] S. ENOCH, G. TAYEB, P. SABOUROUX, N. GUERIN et P. VINCENT "A metamaterial for directive emission" *Physical Review Letters*, Volume 89, Novembre 2002.
- [44] N. GUERIN, S. ENOCH, G. TAYEB, P. SABOUROUX, et P. VINCENT « Étude et réalisation d'antennes directives compactes » 8èmes Journées de Caractérisation Micro-ondes et Matériaux, La Rochelle (France), 2004.
- [45] E. YABLONOVITCH "Photonic Band-Gap crystals" *Phys.: Condens. Matter* 5, No 16, April 1993, pp. 2443-2460 .
- [46] E. YABLONOVITCH "Photonic Band-Gap structure" *J. Opt. Society* Vol 10, p.283-293, Feb 1993 .
- [47] E. YABLONOVITCH "Photonic crystals semi conductors of light" *Scientific American* .
- [48] A. POLMAN, P. WITZIUS "Materials science aspects of photonic crystals" Guest editors *MRS bulletin* August 2001 .
- [49] M. PLIHAL, A.A MARADUDIN "Photonic band structure of twodimensional systems: the triangular lattice" *Phys .Rev B / vol 44* 1991 – pp 8565.



- 
- [50] G.S SMITH, M.P KESLER, J.G MALONEY "Dipole antennas used with all dielectric photonic band gap reflector: gain, field, patterns and input impedance crystals" . M.O.T.L / Vol 21, N°3, May 5 1999 – pp191-196.
- [51] M.M SIGALAS, R.BISWAS , Q.LI ,D.CROUCH, W. LEUNG, R . JACKOB SWOODBURY, B.LOUGH, S.NIELSEN , S. McCALAMONT, G. TUTTLE, K.M. HO "Dipole antennas on photonic band gap crystals- Experiment and simulation " M.O.T.L / Vol 15, N°3, June 20 1997 – pp153-158 .
- [52] G. KIRIAKIDIS, N. KATSARAKIS "Fabrication of 2-D and 3-D PBG crystals in the GHz and THz regions" Mater. Phys. Mech (2000) .
- [53] M. M. SIGALAS, C. T. CHAN, K. M. HO and C. M. SOUKOULIS "Metallic photonic band-gap materials" Appl. Phys. Letters (1995).
- [54] M. THÉVENOT, A. REINEIX, B. JECKO "F.D.T.D. approach for modelling P.B.G. structure" 1999 IOP Publishing Ltd .
- [55] M. S. DENIS "Contribution à l'étude des matériaux à bandes interdites photoniques. Applications dans le domaine des antennes imprimées" Thèse de doctorat- n°40-1998- Université de Limoges- 1998.
- [56] O. VANBESIEN, J. DANGLLOT, J. CARBONELL, M. FERNANDEZ et D. LIPPENS "Matériaux à gap de photons" Congrès JCMM - Le Touquet 2001
- [57] G. POLASNE, L. DESCLOS, M. MADIHIAN, J. LENORMAND, Ph. GESLIN "Etude paramétrique des matériaux à bande interdite photonique métallique (BIPM)" Congrès JCMM - Le Touquet 2001
- [58] E. R. BROWN, C. D. PARKER, E. YABLONOVITCH « Radiation properties of a planar antenna on a photonic -crystal substrate » J. Opt. Soc. Am. B., vol. 10, No 2, February 1993.
- [59] H-Y. D. YANG , N. G. ALEXOPOULOS, E. YABLONOVITCH "Photonic Bandgap Materials for High-Gain Printed Circuit Antennas" IEEE Trans. on Antennas and Prop., vol. 45, No 1, January 1997.

- 
- [60] I. RUMSEY, M. PIKET-MAY, P. KEITH KELLY « Photonic Bandgap Structures Used as filters in Microstrip Circuits » IEEE Microwave and Guided Wave Letter, vol. 8, No 10, October 1998.
- [61] C. A. KYRIAZIDOU, H. F. CONTOPPANAGOS, W. M. MERILL, N. G. ALEXOPOULOS "Artificial versus Natural Crystals: Effective Wave Impedance of Printed Photonic Bandgap Materials", IEEE Trans. On Antennas and Prop., vol. 48, No 1, January 2000.
- [62] B. LENOIR, D. BAILLARGEAT, S. VERDEYME, P. GUILLON « Finite element method for rigorous design of microwave band pass filter device using periodic metallic lattice » 29th European Microwave Conference, Munich 1999.
- [63] E. R. BROWN, O. B. McMAHON, C. D. PARKER "Photonic crystal antenna substrates" Lincoln Laboratory Journal 1 1998 .
- [64] M. THEVENOT, A. REINEIX, B. JECKO "A dielectric photonic parabolic reflector" Microwave and optical Tech. Letters, Vol.21, N°6, June 20 1999, pp. 411- 414 .
- [65] M. THEVENOT, C. CHEYPE, A. REINEIX, B. JECKO "Directive Photonic Band Gap Antenna" IEEE Transactions on Microwaves Theory and Tech. Vol 47 Nov 99.
- [66] C. SERIER, C. CHEYPE, R. CHANTALAT, M. THEVENOT, T. MONEDIERE, A. REINEIX, B. JECKO "1-D Photonic Band Gap resonator" Microwaves and Optical Technology Letters vol 29 June 2001 .
- [67] R. CHANTALAT "Optimisation d'un réflecteur spatial à couverture cellulaire pour l'utilisation d'une antenne à bande interdite électromagnétique multi sources" Thèse de doctorat- n°36-2003- Université de Limoges- 2003 .
- [68] O. VANBESIEN, J. DANGLLOT, D. LIPPENS « a smart K-band resonant switch based on photonic band gap engineering »
- [69] C. CHEYPE "Etude et utilisation des propriétés des matériaux BIPs à défaut pour la conception d'antennes" Thèse de doctorat- n°34-2001- Université de Limoges- 2001

## List acronymes

TEM = Transverse Electro-Magnétique.

ISM = Industrie, Science et Médical,

SMA = Connecteur SMA

UWB – ultra wide bande

WPAN= Le réseau personnel sans fil

FCC = Federal Communications Commission

GPR = radar à pénétration de sol;

ROS –Le rapport d'ondes stationnaires

TSA = Tapered Slot Antenna

MoM = la méthode des moments

FEM = la méthode des éléments finis .

FDTD = la méthode des différences finies .

TLM = la méthode de la matrice des lignes de transmissions

DoD = département de la défense

IRMA = Impulse Radio Multiple Access

IEEE = L'Institute of Electrical and Electronics Engineers

DS-UWB = sequence direct ultra large bande

TH-UWB = saut temporel ultra large bande

PPM = Pulse-Position Modulation



PAM = Pulse-Amplitude Modulation

BPSK = Binary Phase-Shift Keying

OOK = On-Off Keying

CDMA = Code Division Multiple Access.

EDMA = Echo Division Multiple Access

FDMA = Frequency Division Multiple Access

TDMA = Time Division Multiple Access

ART = Autorité de régulation des télécommunications française

PDA = Personal Digital Assistant

DSSS = Direct Sequence Spread Spectrum

FEC = Forward Error Correction

BIE = bandes interdites électromagnétique

BIP = Bandes Interdites Photoniques

EBG = bandes interdites électromagnétique

PBG = Photonic Band Gap

TE = champ électrique parallèle aux barreaux de la structure

TM = champ électrique perpendiculaire aux barreaux

## Liste de figures

Figure (I.1): représentation du vecteur aux coordonnées sphérique.....	5
Figure( I.2): Onde TEM.....	5
Figure (I.3) : Zone de radiation d'une Antenne.....	7
Figure( I.4) : Types d'antennes.....	9
Figure (I.5) : Le dipôle quart d'onde.....	9
Figure( I.6) : Antenne cadre.....	10
Figure(I.7) : Antenne parabolique.....	11
Figure(I.8): Antenne cornet.....	12
Figure (I.9) : Antenne Yagi Uda.....	12
Figure(I.10) : Guide d'onde à fentes.....	13
Figure (I.11): Antenne à éléments imprimés (patch).....	14
Figure (I.12) : Divers types d'éléments rayonnants.....	15
Figure (I.13) : Alimentation par ligne Micro ruban.....	16
Figure (I.14) : Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale.....	17
Figure (I.15) : Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande à travers une fente dans le plan de masse.....	18
Figure(I.16) : Alimentation par couplage électromagnétique à une ligne microbande.....	19
Figure (I.17) : Alimentation par guide d'ondes coplanaires.....	20
Figure(I.18): Alimentation par fibre optique.....	20
FigureI.19 : Représentation en quadripôle.....	21
FigureI.20) : l'ouverture.....	24
Figure(I.21) : Source élémentaire liée au repère des coordonnées sphériques.....	25
Figure(I.22) : Définitions des plans principaux (E et H).....	26
Figure(I.23) : Tracé du digramme de puissance et caractérisation des lobes et de leurs largeur.....	27

Figure(II.1) :Fréquence et puissance des différentes technologies sans fil.....	31
Figure(II.2) : Comparaison de performances en fonction de la distance(source :Intel).....	32
Figure(II.3) :Les différentes formes de pulsations.....	33
Figure(II.4): Les différentes types de modulations.....	34
Figure(II.5):Schéma d'émetteur générique.....	35
Figure(II. 6) :Caractéristiques de l'antenne PICA.....	38
Figure(II.7) :Masque d'émission pour les radars et l'imagerie médicale.....	39
Figure(II.8) :Masque d'émission pour les systèmes d'imagerie et de surveillance.....	40
Figure(II.9) :Masque d'émission en intérieur.....	40
Figure(II.10) :Masque d'émission en extérieur.....	41
Figure(II.11) :Masque proposé par l'ETSI(en intérieur).....	41
Figure(II.12) :Masque proposé pour les systèmes portables.....	42
Figure(II.13) :Détection de personnes.....	43
Figure(III.1): Antenne spirale logarithmique.....	48
Figure(III.2) : Antenne spirale conique.....	49
Figure(III.3) :Antenne spirale d'Archimède.....	50
Figure (III.4) : paramètre d'une antenne log-périodique circulaire.....	51
Figure(III.5): Antenne log périodique de forme trapézoïdale.....	52
Figure(III.6): Antenne LPDA.....	52
Figure(III.7): Antennes biconiques.....	53
Figure(III.8) : Antenne discône.....	54
Figure(III. 9): Monopole circulaire/ elliptique.....	55
Figure(III.10): Monopôle triangulaire.....	55
Figure(III. 11): Antenne Cornet ULB.....	56
Figure(III. 12):Antenne à transition progressive(Vivaldi).....	57
Figure(IV -1 ) : Principe du miroir de Bragg.....	63
Figure(IV-2) :Exemples de structures périodiques 1D, 2D et 3D.....	64
Figure(IV -3) :Structure 1 D et son diagramme de dispersion.....	65
Figure(IV -4) :Exemples de différents réseaux 2D.....	65
Figure(IV -5) :Bandes interdites en fonction du réseau et du type de polarisation.....	66
Figure(IV-6) : Différentes structures 3D comme la structure cubique (1), le tas de bois (2),la structure multicouches (3), les opales ou opales inversées (4) et la Yablonovite (5).....	67
Figure(IV-7) : Exemples de surfaces sélectives en fréquence(SSF).....	68



Figure(IV-12) : Différents types de défauts basés sur la rupture de la périodicité du motifElémentaire.....	72
Figure(IV-13): Exemple de dimension du défaut.....	73
Figure (V.1) : La géométrie de l'antenne.....	78
Figure (V.2): Représentation en 3D de la structure de l'antenne ULB.....	79
Figure (V.3) : La simulation de VSWR.....	80
Figure (V.4) : Le diagramme de rayonnement de différente fréquence sur le plan H.....	81
Figure (V.5) : Le diagramme de rayonnement de déférant fréquence sur le plan E.....	82
Figure (V.6) : La géométrie de l'antenne avec EBG.....	83
Figure (V.7) : variation de coefficient de reflixion.....	84
Figure (V.8) : La simulation de VSWR d'un nouvelle antenne avec EBG.....	85
Figure (V.9): Représentation en 3D de la structure de l'antenne ULB avec EBG.....	85
Figure (V.10) : structures au niveau bas de l'element rayonnant.....	86
Figure (V.11) : structures au niveau haut de l'element rayonnant.....	87
Figure (V.12) : structures au niveau droit de plan de mase.....	87
Figure (V.13) : Le diagramme de rayonnement de différente fréquence sur le plan H.....	88
Figure (V.14) : Le diagramme de rayonnement de différente fréquence sur le plan E.....	89
Figure (V.15) : Représentation de partie réelle et imaginaire de l'impédance en fonction de la fréquence.....	89
Figure (V.16) : peak gain d'antenne avec et sans EBG en fonction de la fréquence.....	90
Figure (V.17) : le peak gain avec différents rayons.....	91
Figure(V.18) :L'étape de traçage .....	92
Figure (V.19) : Insolation d'antenne simulée.....	93
Figure(V.20) : La révélation d'antenne simulée.....	93
Figure(V.21) : L'antenne ULB proposée dans l'étape du gravure .....	94

---

---

## Liste des tableaux

Tableau(I.2) : Comparaison entre les différentes techniques d'alimentations.....	19
Tableau (II.1) : les distances des types de modulation.....	35
Tableau(III.1) : Comparaison entre les différents types des antennes ULB.....	58
Tableau (V .1) : Les dimensions d'antenne.....	79
Tableau (V .2) : Les dimensions d'antenne avec EBG.....	83
Tableau (V.3) : Dimensions optimale des structures S1.....	86
Tableau (V.4) : Dimensions optimale des structures S2.....	87
Tableau (V.5) : Dimensions optimale des structures S3.....	88
Tableau (V.6) : Dimensions optimale des rayons.....	90
Tableau (V.7) : propriétés de matériaux .....	91
Tableau (V.8) : paramètre de l'antenne.....	92