

République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université–AinTémouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunication



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en Réseau et  
Télécommunication  
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
Filière : Télécommunication  
Spécialité : Réseaux Et Télécommunication  
Thème

---

## Les antennes imprimées pour la 5G

---

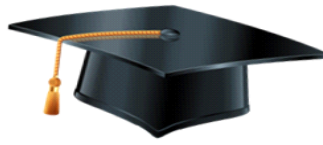
Présenté par:

Mme: GHAOUTI Meriem

Devant le jury composé de :

	Nom &Prénom	Grade	Université
Président	Mr AMEZIANE Djamel	MAA	U.A.T.B.B
Examinatrice	Mr BOUKHOBZA Abdelhafid	MCA	U.A.T.B.B
Encadrante	Mme MOULESSEHOUL Wassila	MCB	U.A.T.B.B

*Année universitaire : 2022-2023*



## REMERCIEMENTS

*Je profite de cette occasion pour remercier :*

*Avant tout, ALLAH, le tout puissant, qui m'a donné le  
Courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.*

*Tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.*

*Mes parents, mes frères et mes sœurs et surtout mon mari pour leur  
sincère soutien.*

*L'ensemble du personnel Enseignant et Administratif de  
L'université d'Ain Temouchent spécialement **Dr BENMOUSSET**.*

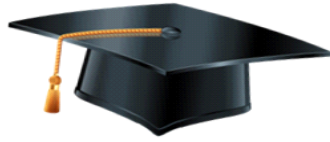
*Un remerciement et une reconnaissance particulière à mon  
Encadrante Mme **MOULESSEHOUL Wassila** pour ses conseils  
Avérés, ses efforts et son écoute particulière.*

*Je n'oublie pas de remercier ma copine **YAHY Salima**,  
Pour son aide morale,*

*Je finis par remercier mes deux enfant **Maram** et **Mohamed Younes** pour  
leurs Douaa.*

# Merci à Tous

***Meriem***



# DEDICACE

*C'est avec une joie que je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont été une source  
d'inspiration et de volonté.*

*A ma mère et mon père et à mon mari Habib*

*Je le dédie à mes très chers frères Mohamed et Redouane et sœurs Nour El houda  
et Khouloud et à mes neveux et mes nièces mes cousins et cousines spécialement*

*Asmaa et Lakhdar*

*A toute ma grande famille GHAOUTI et GOMRI à ma belle-famille*

*KHADRAOUI, surtout ma*

*Grand-mère et mes oncle GOMRI Chikh et Abdelkader.*

*Une dédicace à tous mes amis : Salima, Badra*

*Et tous ceux qui connaissent GHAOUTI Meriem.*

*Une dédicace spéciale à mes enfants Maram et Mohamed Younes Abderahim.*

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire*

*À tout qui mon soutenir sincèrement .*

## **Résumé:**

L'objectif de ce travail consiste à étudier et simuler une antenne imprimée rectangulaire pour les applications dédiées à la 5G, utilisant le logiciel CST MWS adapté pour la conception d'antennes. La bande passante a été élargie utilisant la technique de fentes sur le plan de masse. Les résultats présentés concernent les caractéristiques les plus importantes de l'antenne, tels que le coefficient de réflexion, le diagramme de rayonnement, le gain et le rapport d'onde stationnaire (ROS) de l'antenne.

## **الخلاصة:**

الهدف من هذا العمل هو دراسة ومحاكاة هوائي مطبوع مستطيل للتطبيقات المخصصة لشبكات الجيل الخامس ، باستخدام برنامج CST MWS المكيف لتصميم الهوائي. تم توسيع النطاق الترددي باستخدام تقنية شق مستوى الأرض. تتعلق النتائج المقدمة بأهم خصائص الهوائي ، مثل معامل الانعكاس ومخطط الإشعاع والكسب ونسبة الموجة الدائمة (SWR) للهوائي.

## **Abstrat :**

The objective of this work is to study and simulate a rectangular printed antenna for applications dedicated to 5G, using the CST MWS software adapted for antenna design. Bandwidth has been widened using the ground plane slit technique. The results presented concern the most important characteristics of the antenna, such as the reflection coefficient, the radiation pattern, the gain and the standing wave ratio (SWR) of the antenna.

## Sommaire :

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE :</b> .....	<b>6</b>
<b>I.1 INTRODUCTION</b> .....	<b>8</b>
<b>I.2 ANTENNE IMPRIMÉE OU PATCH :</b> .....	<b>8</b>
<b>I.3 STRUCTURE D'UNE ANTENNE IMPRIMÉE :</b> .....	<b>8</b>
<b>I.4 LES DIFFÉRENTES FORMES D'UNE ANTENNE PATCH :</b> .....	<b>9</b>
<b>I.5 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :</b> .....	<b>10</b>
<b>I.6 TECHNIQUES D'ALIMENTATION DES ANTENNES PATCH :</b> .....	<b>11</b>
<b>I.6.1 Alimentation par contact :</b> .....	<b>11</b>
<b>I.6.2 Alimentation par proximité :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.7 DOMAINE D'APPLICATION DES ANTENNES IMPRIMÉES</b> .....	<b>15</b>
<b>I.8 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ANTENNES IMPRIMÉES</b> .....	<b>15</b>
<b>I.9 LES TECHNIQUES D'ADAPTATION :</b> .....	<b>16</b>
<b>I.9.1 L'adaptation par quart d'onde :</b> .....	<b>16</b>
<b>I.9.2 L'adaptation par STUB :</b> .....	<b>16</b>
<b>Figure I.10 l'adaptation par stub</b> .....	<b>17</b>
<b>I.9.3 Adaptation avec encoches</b> .....	<b>17</b>
<b>I.10 CONCLUSION</b> .....	<b>17</b>
<b>II.1 INTRODUCTION:</b> .....	<b>19</b>
<b>II.2 BREF HISTORIQUE:</b> .....	<b>19</b>
<b>II.3 LA 5<sup>-ÈME</sup> GÉNÉRATION:</b> .....	<b>20</b>
<b>II.4 VISION DE 5G:</b> .....	<b>22</b>

<b>II.4.1 Application:</b> .....	<b>23</b>
<b>II.4.2 Scénarios d'utilisation:</b> .....	<b>24</b>
<b>II.5 QUELES SONT LES FRÉQUENCES UTILISÉES POUR LA 5G :</b> .....	<b>25</b>
<b>II.6 CONCLUSION:</b> .....	<b>25</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE :</b> .....	<b>42</b>

## **Liste des Tableaux :**

### **Chapitre I :**

Tableau I.1: Avantages et inconvénients de différentes techniques

### **Chapitre II :**

Tableau II.1:Résumé des générations de communications mobiles.

Tableau II.2: Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R.

Tableau II.3: Comparaison entre les couches OSI et5G

### **Chapitre III :**

Tableau III.1 Liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne .

Tableau III.2 des dimensions de l'antenne

## **Liste des Figures :**

### **Chapitre I :**

Figure I.1 Exemple d'antennes patch

Figure I.2: structure d'une antenne patch rectangulaire

Figure I.3: Différentes formes d'antennes patch

Figure I.4: Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

Figure I.5: Alimentation par une ligne micro ruban.

Figure I.6: Alimentation par une sonde coaxiale.

Figure I.7: Alimentation par couplage électromagnétique.

Figure I.8: Alimentation par couplage à une ligne micro ruban par ligne micro ruban à travers une fente dans le plan de masse d'alimentations

Figure I.9 : adaptation par quart d'onde.

Figure I.10 : adaptation par stub

Figure I.11 : adaptation par encoche.

### **Chapitre II :**

Figure II.1: Evolution des générations de réseaux mobiles.

Figure II. 2: Evolution des applications de la 4G vers la 5G.

Figure II. 3: Scénarios d'utilisation des IMT pour 2020 et au-delà.

### **Chapitre III :**

Figure III.1 Organigramme de conception d'antenne

figure III.2 Le choix de l'environnement de simulation et le type d'antenne,

Figure III.3 Choix du domaine de résolution, les unités

Figure III.4 : Choix de la gamme de fréquence d'étude

Figure III.5 : L'antenne patch initial après réalisation sous CST suite

Figure III.6 Le paramètre  $S_{11}$  en fonction de la fréquence (structure initial)

Figure III.10 Antenne patch après réalisation des deux fentes

Figure III.11 Le paramètre  $S_{11}$  après réalisation des fentes

Figure III.12 Le rapport d'onde stationnaire après réalisation des fentes.

Figure III.13 Le gain après réalisation des fentes.

Figure III.14 La directivité après réalisation des fentes.

Figure III.15 Le paramètre  $S_{11}$  pour  $w_i=0.7\text{mm}$ .

Figure III.16 Le gain pour  $w_i=0.7\text{mm}$ .

Figure III.17 La directivité le gain pour  $w_i=0.7\text{mm}$ .



Figure III.18 Réalisation du patch avec encoches.

Figure III.19 Paramètre  $S_{11}$  après réalisation des encoches.

Figure III.20 Le gain après réalisation des encoches.

Figure III.21 La directivité après réalisation des encoches.

Figure III.22 Le coefficient de réflexion après adaptation de l'antenne.

Figure III.23 Le gain après adaptation de l'antenne.

Figure III.24 La directivité après adaptation de l'antenne.

Figure III.26 Réalisation des fentes dans le plan de masse (1ère structure).

Figure III.27 Le paramètre  $S_{11}$  (1<sup>ère</sup> structure du plan de masse).

Figure III.28 Le gain après réalisation des fentes au niveau du plan de masse (1ère structure).

Figure III.29 La directivité après réalisation des fentes au niveau du plan de masse (1ère structure).

Figure III.31 Le VSWR après réalisation des fentes au niveau du plan de masse (1ère structure).

Figure III.37 La 2<sup>ième</sup> structure du plan de masse.

Figure III.38 Le paramètre  $S_{11}$  après la modification des fentes du plan de masse.

Figure III.39 le gain après la modification des fentes 2<sup>ième</sup> structure du plan de masse.

Figure III.40 la directivité après la modification des fentes 2<sup>ième</sup> structure du plan de masse.

Figure III.42 La structure finale du plan de masse.

Figure III.43 le paramètre  $S_{11}$  La structure finale du plan de masse.

Figure III.44 le VSWR de la structure finale du plan de masse.

Figure III.45 La structure finale du plan de masse.

Figure III.46 La directivité de la structure finale du plan de masse.

## **Liste des abréviations :**

Db : Décibel

5G : Cinquième génération.

4G : Quatrième génération.

3G : Troisième génération.

2G : Deuxième génération

1G : Première génération

ITU : Union International des Télécommunications.

3GPP (3rd Génération Partnerhip Project)

l'UIT : Union internationale des télécommunications

IMT : Institut mines-télécom

EMBB: Enhanced Mobile Broadband :

V2V : Véhicule to véhicule

HD: Haute diffusion

V2I : Véhicule to station

OSI : Open système interconnexion

MAC : Adresse mac

Ip : Internet protocol

TCP : Transmission control protocol.

BS : Base station

MIMO : Multi input multi output

UDN: Ultra Dense Network.

SDMA: Spatiale division multiple access

CST: Computer simulation technology.

3D: Trois dimensions

2D: Deux dimensions

V<sub>swr</sub>: voltage standing wave ratio (rapport d'onde stationnaire).

# INTRODUCTION GENERALE

## **Introduction Générale :**

Nous adhérons à une profonde évolution dans le domaine des télécommunications c'est la téléphonie mobile de la cinquième génération des réseaux sans fils qui a été prévue à fin de répondre à des multitudes de cas d'usage ; sur un périmètre large, adressant non seulement le grand public mais également les grands secteurs, de la télévision par satellites, ou des applications radar...etc.

Ces systèmes de télécommunications permettent généralement l'échange d'informations dans différents milieux. Ils peuvent être décomposés en deux parties: une partie servant au traitement des signaux électriques contenant les informations à transmettre et une seconde partie permettant la transformation de ces signaux électriques en ondes électromagnétiques rayonnées dans l'espace. Cette dernière fonction est assuré par des dispositifs appelés « antennes ».

Une antenne est un dispositif permettant de transformer l'énergie électromagnétique guidée en énergie électromagnétique rayonnée en émission et inversement en réception.

L'étude des problèmes électromagnétiques de rayonnement et de propagation revient souvent à la résolution des équations de Maxwell sous leur forme intégrale ou différentielle.

La résolution d'un système électromagnétique, à partir des équations de Maxwell nécessite une phase de simulation numérique. De ce fait, plusieurs logiciels sont employés parmi eux le CST qui présente une interface très évoluée et souple pour le design et pour la visualisation des résultats.

Le manuscrit présenté dans ce projet a pour objectif la conception d'une antenne patch rectangulaire pour les applications de la 5G. Notre travail est décomposé en trois chapitres:

**Chapitre I:** Nous présentons un aperçu historique sur les antennes imprimés, leurs description, domaine d'applications leurs caractéristiques, leur type d'alimentation ainsi les avantages et les inconvénients de celle-ci.

**Chapitre II:** Comprend un bref historique sur la 5G cinquième génération de la téléphonie mobile, les fréquences attribuées pour celle-ci ainsi les domaines d'applications

**Chapitre III:** Ce chapitre est dédié à la conception et la simulation de l'antenne

patch, nous présentons au début les étapes à suivre pour créer un projet sous CST ensuite son étude paramétrique essentiellement ses caractéristiques principales qui sont : le coefficient de réflexion en dB, le diagramme de rayonnement, le gain et la directivité et ensuite la modification réalisé sur l'antenne à fin de l'adapter à la fréquence de la cinquième génération qui est (3.5 GHZ) et aussi l'amélioration de la bande passante.

# CHAPITRE I

## CHAPITRE I

### GENERALITES SUR LES ANTENNES IMPRIMEES

### GENERALITES SUR LES ANTENNES IMPRIMEES

## I.1 Introduction

Dans les applications aéronautiques, aérospatiales et militaires où le faible volume, le faible poids, le faible coût, les hautes performances et la facilité de mise en œuvre sont les principales exigences, les antennes faiblement profilées sont une nécessité. Aujourd'hui, avec l'explosion des télécommunications, ces contraintes se retrouvent dans les applications commerciales sans fils. Pour répondre à ces exigences un nouveau type d'antenne a été proposé : les antennes imprimées.

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la définition des antennes imprimées. Nous donnerons ensuite leurs domaines d'utilisation, leurs avantages ainsi que leurs inconvénients et les différentes techniques d'alimentation. Finalement, nous terminerons ce chapitre en rappelant brièvement le principe de quelques méthodes numériques d'analyse de ces antennes.

## I.2 Antenne imprimée ou patch :

Le concept d'antennes patch est apparu dans les années 50, mais le véritable développement ne s'est fait que dans les années 70. Les antennes imprimées ou micro ruban, ou « patch » en anglais sont des éléments rayonnants planaires. L'antenne est réalisée par gravure d'un circuit imprimé. De par leur technologie de fabrication, celles-ci peuvent être intégrées au plus près des circuits électroniques en occupant un volume réduit et se conformant à différents types de surface. Leur principal avantage réside dans leur faible coût de fabrication. Les antennes patch sont utilisées dans de nombreuses applications à partir des bandes VHF (Figure I-1). [2]

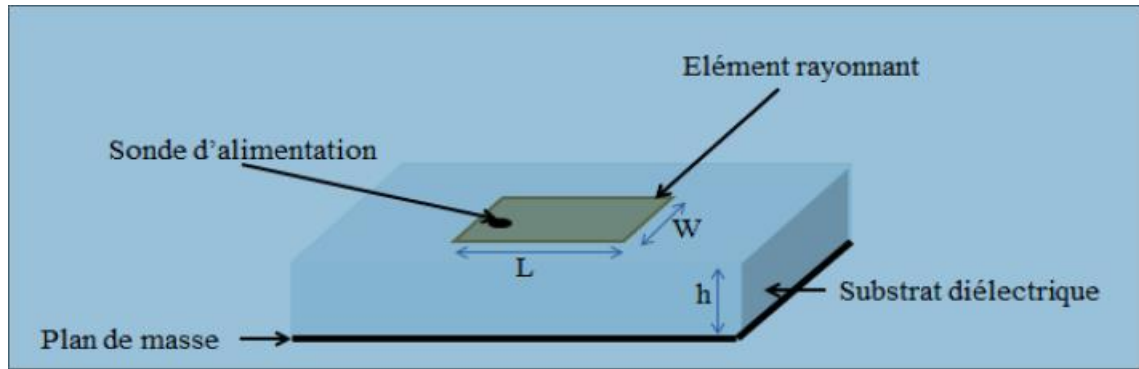


**Figure I.1** Exemple d'antennes patch [2]

## I.3 Structure d'une antenne imprimée :

Une antenne patch consiste en un élément métallique de forme quelconque (rectangulaire, circulaire, à fente, ou formes plus élaborées) déposé sur la surface d'un substrat diélectrique qui présente sur l'autre face un plan conducteur (plan de masse). Une antenne patch rectangulaire est l'antenne patch la plus courante, sa structure est détaillée ci-

dessous:



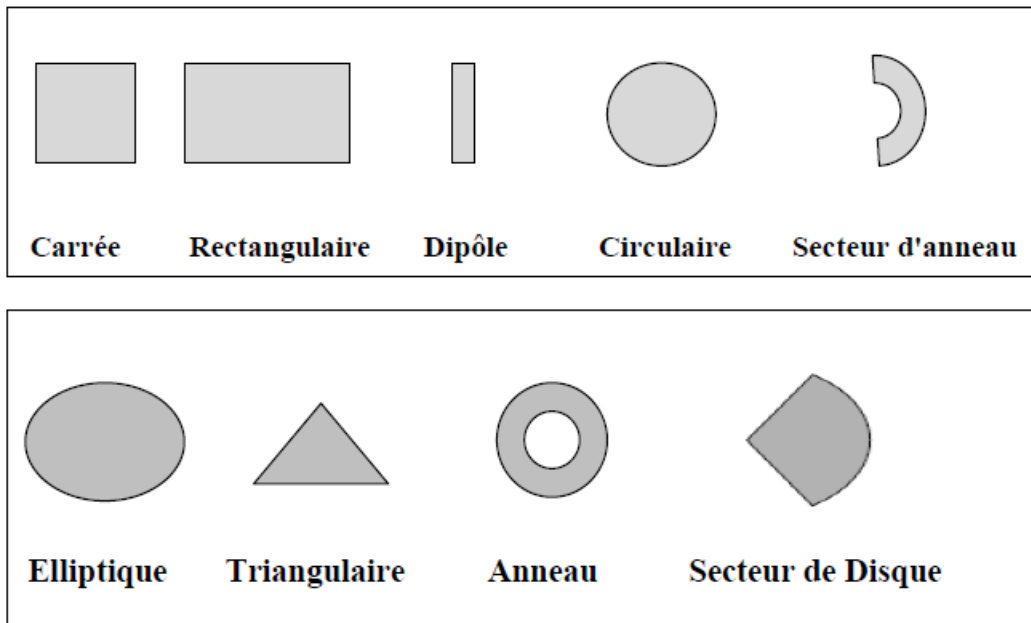
**Figure I.2:** structure d'une antenne patch rectangulaire

Les dimensions du patch sont généralement de l'ordre de la demi-longueur d'onde. Le choix de la longueur est guidé par la fréquence de résonance à donner à l'antenne. Le plan de masse ne pouvant pas être infini, il peut être égal à trois ou quatre fois la longueur d'onde, ce qui représente parfois un encombrement trop important. Un plan de masse plus petit conduira à une modification des propriétés de l'antenne. Les caractéristiques du substrat influent sur celles de l'antenne. En général, sa permittivité doit être faible, il doit être d'épaisseur négligeable devant la longueur d'onde et présenter de faibles pertes.

- Le plan de masse (ground plane) : est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.
- Un substrat diélectrique (dielectric substrate) : composé d'un matériau isolant, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde et de permittivité relative ( $2,2 < \epsilon_r < 12$ ). Il est utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et améliorer la bande passante de l'antenne. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques d'épaisseur importante et de faible permittivité pour avoir une grande efficacité et une large bande passante.
- L'élément rayonnant (patch) : est une partie métallique de forme et de taille à définir selon l'application, à géométrie variable (circulaire, rectangulaire, triangulaire ...etc.). Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission (micro-ruban) qui doit être adaptée d'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion.

#### **I.4 Les différentes formes d'une antenne patch :**

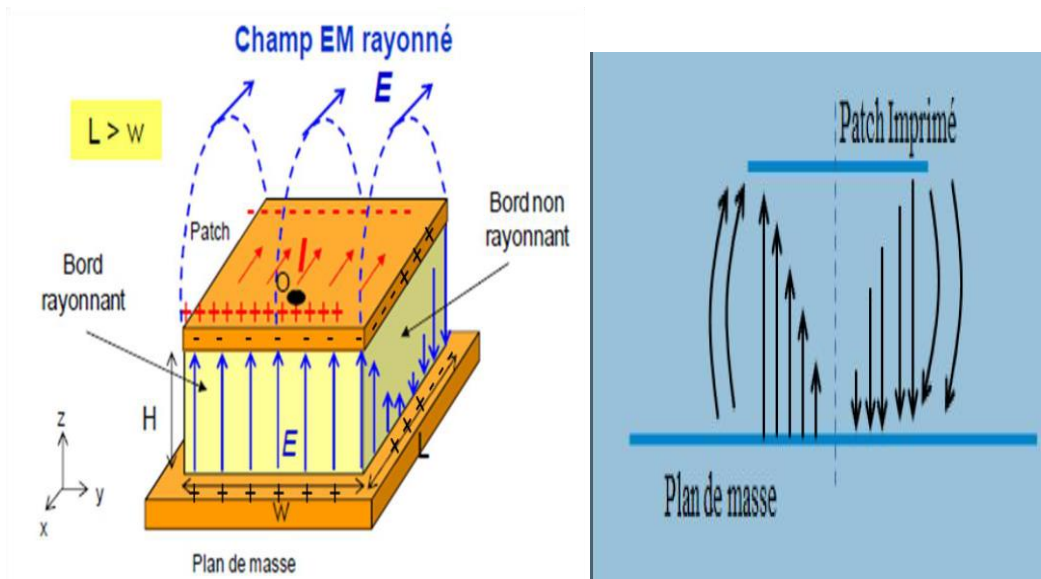
L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure suivante montre ces différentes formes. [3]



**Figure I.3:** Différentes formes d'antennes patch

### I.5 Principe de fonctionnement :

Dans sa configuration originale, le comportement de l'antenne est contrôlé à l'aide d'une sonde de courant connectée entre le patch rayonnant et le plan de masse, ce qui va provoquer l'apparition et la distribution de charges qui s'établit au-dessus et en dessous de l'élément, entre le plan de masse et le substrat.



**Figure I.4:** Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire



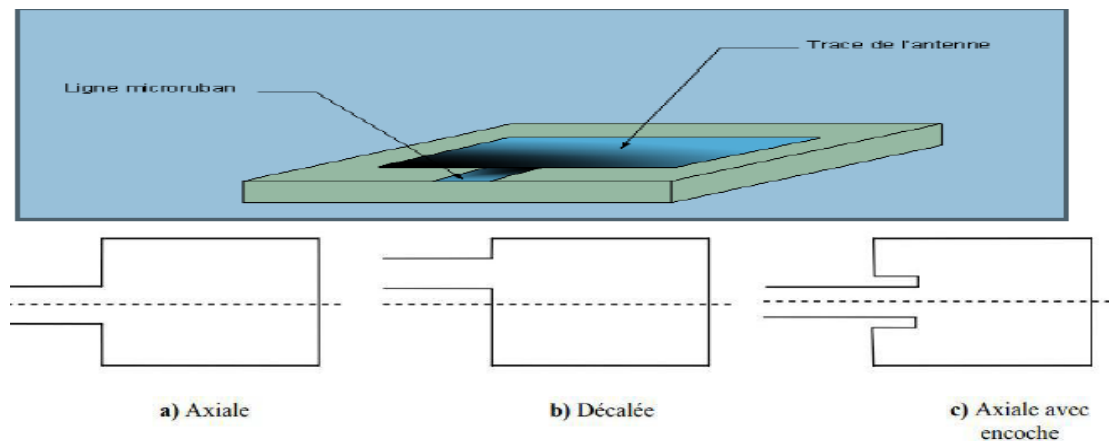
Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné ; celui généré par les bords séparés par  $L$  étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'additionner de manière constructive et optimale, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ. Ces deux bords sont donc appelés fentes rayonnantes.

## I.6 Techniques d'alimentation des antennes patch :

L'alimentation des antennes patch est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception, plusieurs techniques ont été alors considérées dans ce but, on peut classer ces techniques en deux grandes catégories [4] :

### I.6.1 Alimentation par contact :

#### ❖ Alimentation par une ligne micro ruban :

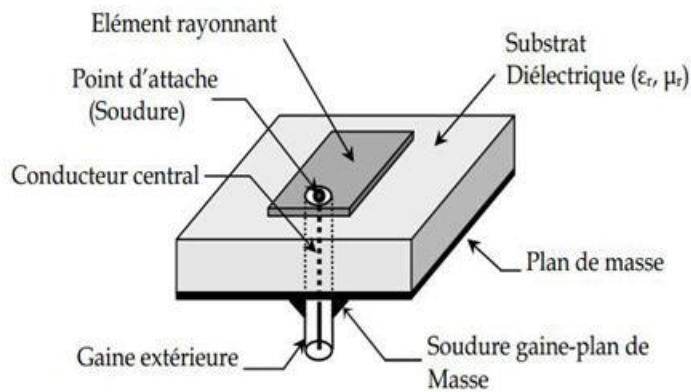


**Figure I.5:** Alimentation par une ligne micro ruban.

L'alimentation la plus simple consiste à utiliser une ligne micro ruban sur le même plan que le patch rayonnant. [5]

#### ❖ Alimentation par une sonde coaxiale :

- ❖ Le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le plan de masse et le diélectrique, il est directement soudé à l'élément rayonnant en un point où l'adaptation est obtenue, alors que le conducteur extérieur est relié au plan de masse (Figure I.6).
- ❖ Cette technique est adaptée à une alimentation séparée de chaque élément du réseau. Elle est simple à réaliser.
- ❖ La position de l'alimentation détermine le type de mode excité, de plus elle contrôle l'adaptation de l'élément. Cependant, cette technique d'alimentation pose des problèmes technologiques du fait du percement du substrat et des soudures sur chaque élément rayonnant, surtout pour les grands réseaux.

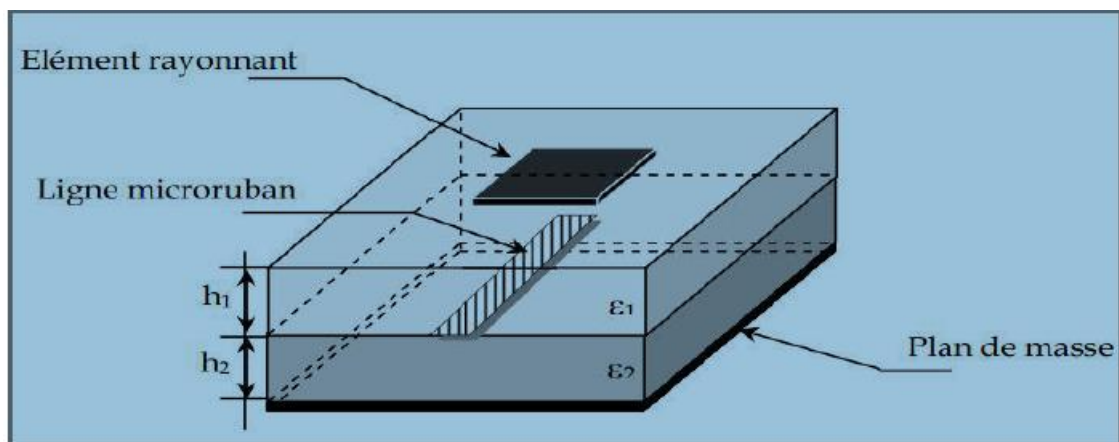


**Figure I.6:** Alimentation par une sonde coaxiale.

## I.6.2 Alimentation par proximité :

### a) Alimentation par couplage électromagnétique :

❖ L'antenne est constituée de deux substrats diélectriques entre lesquels est située la ligne d'alimentation. L'élément rayonnant est imprimé sur le substrat supérieur (figure I.7). L'excitation se fait par couplage électromagnétique. Cette technique permet d'améliorer la bande passante mais elle est difficile à réaliser.



**Figure I.7:** Alimentation par couplage électromagnétique.

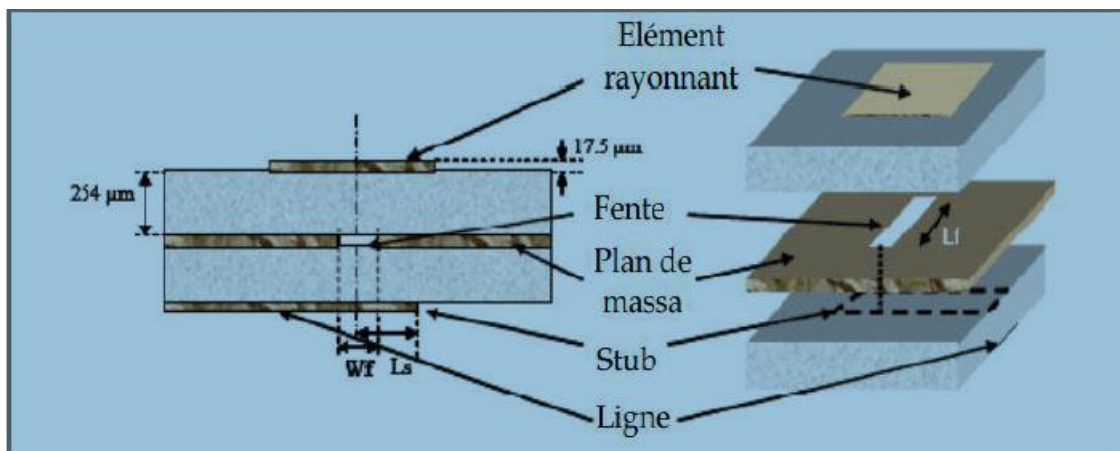
### b) Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse:

❖ L'élément rayonnant et la ligne micro-ruban d'alimentation sont placés de part et d'autre du plan de masse. La fente de couplage dans le plan de masse permet la circulation de l'énergie entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant (figure I.8). Cette méthode nécessite un positionnement précis de la fente.

- ❖ Elle apporte les avantages suivants :
- ❖ - Isolation du circuit d'alimentation par l'intermédiaire du plan de masse. De ce fait,

un rayonnement parasite faible, en fait ce rayonnement parasite se situe au-dessous du plan de masse, ce qui n'est pas la direction de propagation.

- Adaptation facile à réaliser en raison de grand nombre de paramètres comme la taille de l'ouverture et la longueur du stub de la ligne d'alimentation.
- ❖ Mais cette technique présente quelques inconvénients, tels que :
  - Faible bande passante, mais peut être améliorée en jouant sur l'épaisseur du diélectrique et en superposant plusieurs éléments rayonnants.
  - Difficile à mettre en œuvre,



**Figure I.8:** Alimentation par couplage à une ligne micro ruban par ligne micro ruban à travers une fente dans le plan de masse.

Une comparaison entre l'alimentation avec contact (par sonde coaxiale et par ligne micro ruban) et l'alimentation sans contact (par couplage, par guide d'onde coplanaire, et par couplage par fente), se résume dans le tableau suivant:

Méthodes		Avantages	Inconvénient
Alimentation avec contact	Sonde Coaxiale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de pertes par rayonnement de ligne</li> <li>- Sélection possible d'un mode privilégié</li> <li>- Obtention d'une impédance d'entrée adéquate par positionnement de la sonde</li> <li>- Prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats faible hauteur.</li> <li>- Technique de perçage simple jusqu'à 10 GHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>l'augmentation du rayonnement parasite.</li> <li>- Partie selfique ramenée par l'âme du connecteur à prendre en compte.</li> <li>- Technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique.</li> <li>- Difficile à exciter chaque élément d'un réseau seul</li> </ul>
	Ligne microruban	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédé technologique plus simple par gravure sur la même face de l'antenne et du circuit d'alimentation</li> <li>- Adaptation de l'aérien possible par contact pénétrant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rayonnement parasite de la discontinuité ligne-aérien.</li> <li>- Rayonnement parasite possible du circuit de distribution en millimétrique.</li> <li>- Structure figée après Gravure</li> </ul>
Alimentation Sans contact	Par couplage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dessin du circuit d'alimentation modifiable par rapport aux aériens</li> <li>- Bande passante plus large par augmentation de la hauteur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deux couches de substrat Requises</li> <li>- Difficulté pour l'intégration de dispositifs actifs et pour la dissipation de chaleur.</li> </ul>
	Couplage par fente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réalisation du circuit de distribution et de l'aérien indépendantes</li> <li>- séparation électromagnétique des deux couches</li> <li>- Possibilité d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technologie plus couteuse et complexe (positionnement des deux couches, quatre faces de métallisation)</li> <li>- Intégration sur un support mécanique nécessitant des précautions</li> <li>- Rayonnement arrière parasite de la fente lorsque celle-ci résonne au voisinage de l'élément</li> </ul>

**Tableau I.1:** Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentations

[4][6]

## **I.7 Domaine d'application des antennes imprimées**

Les domaines d'applications des antennes imprimées sont de plus en plus variés, les principales applications sont :

- ❖ La téléphonie mobile,
- ❖ Les radars,
- ❖ Les télécommunications spatiales,
- ❖ La télémétrie des missiles et la télésurveillance,
- ❖ Guidage des missiles et télédétection

## **I.8 Avantages et inconvénients des antennes imprimées**

La technologie des antennes imprimées est issue de celle des circuits imprimés ce qui leur confère certains avantages par rapport aux antennes classiques (cornet, dipôle filaire,) dont :

- ❖ Un poids léger et un volume petit,
- ❖ Possibilité d'intégration des éléments actifs, directement sur le même substrat (oscillateurs, amplificateurs, modulateurs,),
- ❖ Simples, robustes et non encombrantes,
- ❖ La faculté de se conformer à des surfaces courbes (ailes d'avions, missiles,),
- ❖ Faible coût de fabrication, par conséquent peut être fabriquées en grande quantité.
- ❖ Une épaisseur et un encombrement minimes,
- ❖ Elles peuvent être polarisées linéairement ou circulairement par simple changement de la position d'alimentation.

Elles présentent cependant quelques inconvénients tels que :

- ❖ Faible rendement,
- ❖ Faible puissance d'émission,
- ❖ Pureté de polarisation difficile à obtenir,
- ❖ Faible bande passante (1 à 5 %),

## I.9 Les techniques d'adaptation :

Pour chaque système qui transforme l'énergie sur une ligne de transmission a besoin d'adaptation car la ligne transforme l'impédance de charge en une autre valeur d'impédance au droit de la source. Ce que voit la source dépend donc de l'impédance de charge, de la longueur électrique de la ligne et de son impédance caractéristique.

### I.9.1 L'adaptation par quart d'onde :

Dans la construction de circuits hyper fréquences, on recherche souvent l'adaptation, c'est à dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) de celle obtenue en fin de circuit. Dans le domaine des moyennes fréquences c'est 75 ohm, en HF c'est 50 ohm, Pour ce la, on dispose des différentes techniques dont une est l'adaptation par quart d'onde.

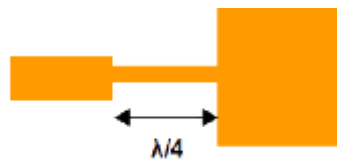


Figure I.9 Adaptation par quart d'onde.

### I.9.2 L'adaptation par STUB :

A partir de la charge, grâce à un tronçon de ligne d'impédance caractéristique  $Z_c$  et de longueur adéquate  $L$ , le point représentant l'admittance  $L0 = \frac{1}{ZL0}$  parcourt un cercle jusqu'à ce que celui-ci croise le cercle représentant les admittances du type , l'adaptation en partie réelle est ainsi réalisée. L'adaptation de la partie imaginaire se fait en ramenant dans le plan une partie imaginaire pure grâce à un stub en un circuit ouvert (open stub) ou en court-circuit (short stub). La solution retenue est généralement celle présentant le plus faible encombrement. Le raisonnement peut se faire en impédance mais il est plus facile de travailler dès le départ en admittance pour faire la somme des impédances parallèles ramenées.

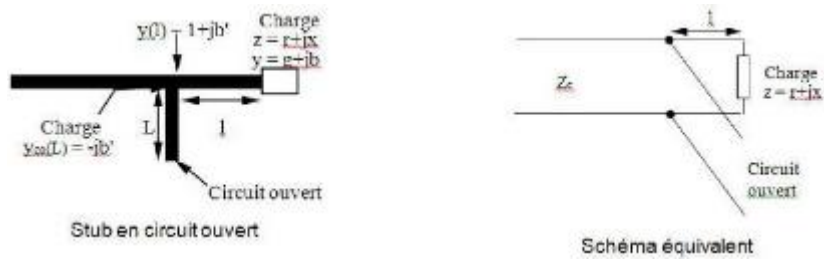


Figure I.10 l'adaptation par stub

### I.9.3 Adaptation avec encoches

Pour adapter l'antenne, on utilise des encoches, il suffit de modifier la géométrie du patch (Les dimensions des encoches comme montre la figure ci-dessous :

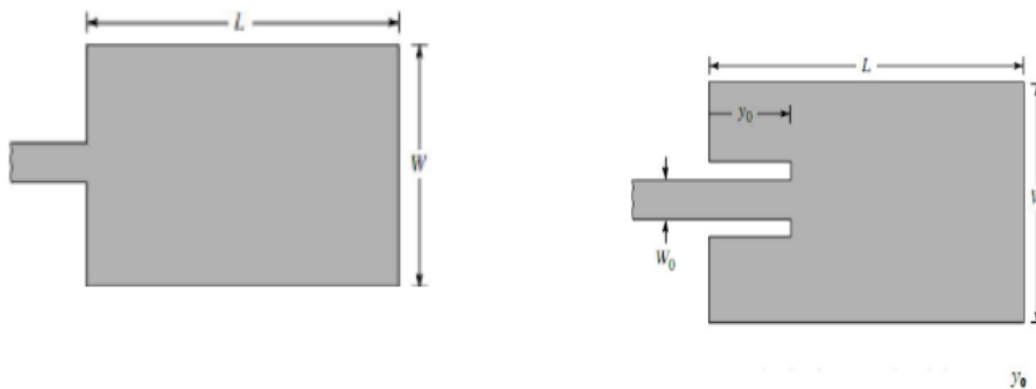


Figure I.11 patch adapté par encoches de longueur

### I.10 Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet de généralités sur les antennes imprimées, leurs techniques d'alimentation les plus utilisées telles que la ligne microruban, le câble coaxiale,.....leurs principes de fonctionnement, ainsi que leurs emplois dans différents services et secteurs de communication et autres.

Chapitre II  
Chapitre II  
Aspects Généraux Sur la 5G  
Aspects Généraux Sur la 5G



## II.1 Introduction:

La cinquième génération (5G) de la téléphonie mobile sans fil est l'une des technologies les plus récentes dans le domaine des communications sans fil. Cette avancée devrait fournir un très grand service en termes de rapidité, de diversité et de facilité. La 5G nous conduira à une «communauté de communication durable » où les appareils mobiles joueront un plus grand rôle dans le changement positif de la vie quotidienne des gens.

Il y a beaucoup de questions et de discussions sur la définition des caractéristiques clés de la 5G, donc dans ce chapitre nous allons fournir un large aperçu sur des récentes informations concernant la 5<sup>ème</sup> génération.

## II.2 Bref Historique:

Le réseau de la téléphonie mobile a été historiquement et principalement divisé en quatre générations. Chaque génération a des caractéristiques spécifiques qui la distinguent par rapport aux autres. Chaque génération est différente de l'autre en termes de la fréquence, le débit de données, le nombre maximum d'utilisateurs ...etc.

En observant la figure II.1, nous voyons une période de 10 ans entre les principales générations de technologies de communication sans fil.

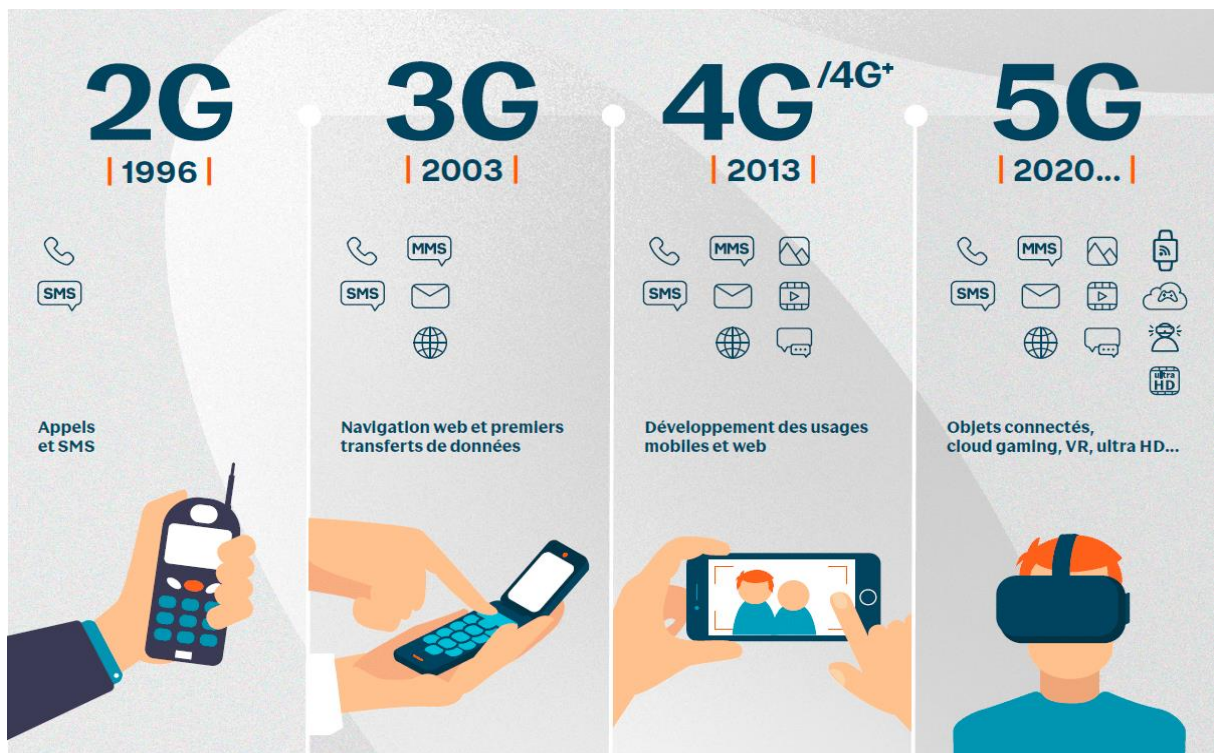


Figure II.1: Evolution des générations de réseaux mobiles.

Le tableau II.1 récapitule les caractéristiques spécifiques des différentes générations de systèmes de communication mobiles.

Génération	1G	2G	3G	4G	5G
1 <sup>ère</sup> année de déploiement	1981	1992	2001	2010	2020
Débit de données	2Kb/s	64Kb/s	2Mb/s	100Mb/s	10Gb/s
				800MHz	28GHz
Fréquences	900MHz	900MHz et 1,8GHz	800/900MHz, 1,7 à 1,9GHz, 2100MHz	900MHz, 1800MHz, 2100MHz, 2600MHz	37GHz, 39GHz, 64 – 71 GHz
Description fonctionnelle générale	Téléphones cellulaires analogiques	Téléphones cellulaires numériques (GSM/CDMA)	Première bande passante mobile utilisant des protocoles IP (WCDMA2000)	Le haut débit mobile sur un standard unifié (LTE)	Internet tactile - Améliorer le réseau de communication M2M

Tableau II.1: Résumé des générations de communications mobiles.

### II.3 La 5<sup>ème</sup> Génération:

La 5G (réseaux mobiles ou systèmes sans fil de 5<sup>ème</sup> génération) englobe un ensemble de technologies qui constituent la prochaine grande phase des normes de télécommunications mobiles à partir de l'évolution des normes actuelles 4GLTE (évolution

à long terme). Le réseau 5G est validé par l'ITU (International Télécommunication Union) et le consortium 3GPP (3rd Génération Partnerhip Project). La mise en œuvre des normes devrait entrer officiellement en vigueur vers 2020. Il n' ya pas de définition unique de 5G. Cependant, dans la définition la plus simple possible, 5G est la cinquième génération de réseaux cellulaires. C'est la prochaine étape dans la technologie mobile, ce que les téléphones et les tablettes du futur seront utilisés pour les données.

Chaque génération de réseau a une durée de vie d'environ 20ans .Les travaux sur la 4G ont débuté en 2003 pour un lancement en 2010 et jusqu'en 2030. De son côté, la 5G est en réflexion depuis 2012, pour un lancement commercial en 2020.

Une nouvelle génération de téléphonie mobile est spécifiée principalement par deux acteurs : l'un concerne les exigences de performance technique IMT-2020 de l'UIT-R (Union internationale des télécommunications) qui s'achève en février 2017, l'autre est le rapport technique sur les scénarios et les exigences 3GPP (Projet de hanche pour les partenaires de troisième génération) qui est achevé en mars 2017.

5G vise à fournir un débit de données très élevé pour un grand nombre d'utilisateurs et à prendre en charge plusieurs communications simultanément pour déployer un grand nombre de capteurs, et également améliorer l'efficacité spectrale du réseau.

#### II.4 Vision de 5G:

Les systèmes de communication mobiles et sans fil 5G nécessiteront un mélange de nouveaux concepts de système pour augmenter l'efficacité spectrale et énergétique. Les visions et les exigences pour les systèmes sans fil 5G sont décrites ci-dessous.

Capacités clés	Définition	Valeurs
Débit Maximal de données	Débit de données maximum atteignable par utilisateur	20Gb/s
Taux de données expérimenté par l'utilisateur	Débit de données minimum atteignable pour un utilisateur dans un environnement réseau réel	0.1–1Gb/s
Latence	Durée entre la transmission d'un paquet de Données du nœud source et la réception réussie au Nœud de destination	1 ms par voie hertzienne
Mobilité	Vitesse relative entre le récepteur et l'émetteur sous Certaines conditions de performance	500 km/h
Densité de connexion	Nombre total d'appareils connectés par unité de Surface	$10^6 / \text{km}^2$
Efficacité énergétique	Nombre de bits pouvant être transmis par joule d'énergie	100 fois comparé avec IMT–Avancé
Efficacité du spectre	Débit de données par unité de ressource spectrale par cellule (ou par unité de surface)	3–5 fois comparé avec IMT–Avancé

**Tableau II.2:** Capacités et valeurs clés 5G de l'UIT-R.

**II.4.1 Application:**







Le besoin de plus de données sur les réseaux sans fil, la demande d'un service de meilleure qualité et la baisse des prix sont parmi les facteurs qui ont conduit à l'émergence de réseaux de la cinquième génération. L'un des plus grands avantages de la 5G est sa capacité à créer un réseau mondial. Ce réseau mondial repose sur l'utilisation de toutes les communications disponibles.

**Agriculture :** Développe par l'utilisation de capteurs et de moteurs, par exemple, pour mesurer et relier la qualité du sol, la pluie, la température et le vent pour surveiller la croissance des cultures.

**Véhicules:** De nombreuses applications concernent la communication sans fil intelligente, par exemple pour réguler les routes, assurer la communication entre véhicule et véhicule et éviter les accidents.

**Santé:** comprend plusieurs améliorations mineures ou complexe, comme des exercices de contrôle, capteur de la santé des consommateurs, la connectivité sans fil dans les hôpitaux, le suivi des patients, la télésanté, la chirurgie à distance, etc.

La 5G va avoir sans doute de nombreuses autres applications et progrès incroyables dans tous les domaines.

	Aujourd'hui	Transition vers la 5G	Avec la 5G
 Réseau de radio-communication mobile à large bande	Internet, audio et vidéo partout	Outils supplémentaires	Expériences réelles avec 4K, AR (réalité augmentée) et VR (réalité virtuelle)
 Mobilité, transport et logistique	Informations à la demande	Informations en temps réel, mise en réseau des véhicules	Commande autonome
 Sécurité publique	Communication de données	Transmission des plans de bâtiments, photos et vidéos	Analyse en temps réelle de vidéos en haute définition, drones
 Production	Automatisation des processus	Surveillance à distance	Télécommande et commande de robot depuis le nuage
 Energie	Appareils de mesure et réseau électrique intelligent	Gestion des ressources et automatisation	Intelligence des machines et contrôle en temps réel
 Santé	Mise en réseau des médecins et des patients	Soins en ligne: Surveillance et administration de médicaments	Opérations à distance

**FigureII. 2:** Evolution des applications de la 4G vers la5G.

### II.4.2 Scénarios d'utilisation:

Les scénarios d'utilisation envisagés pour les IMT à l'horizon 2020 et au-delà peuvent être globalement classés comme suit:

#### A-Large bande mobile améliorée (EMBB:Enhanced Mobile Broadband) :

Le haut débit (EMBB) est dédié à toutes les applications et à tous les services, ainsi que la connectivité haut débit en extérieur et en intérieur avec uniformité de qualité de service, même en bordure de cellule. Il peut fournir des capacités haut débit entre 100 et 1000 fois la capacité des systèmes mobiles pour les téléphones mobiles, la réalité virtuelle et l'optimiseur, la vidéo 3D et la vidéo HD.

#### B-Communications massives de type machine (MMTC : Massive Machine-Type Communications):

Ces scénarios fournissent des connexions à très faible latence, nécessitant environ une milli seconde ou moins, avec des temps de transmission plus courts pour les services réseau avec des exigences extrêmes de disponibilité, de latence et de fiabilité maximale, par exemple. Le terme V2X pour les applications de communications et de fabrication industrielle. Ce terme comprend (V2V) pour l'échange d'informations entre les participants de la circulation en utilisant un véhicule à véhicule, (V2P) de véhicule à piéton ou de véhicule à l'infrastructure (V2I) des communications qui fournissent la sécurité du trafic, l'efficacité, la santé en ligne et la gestion des villes intelligentes (Smart City).

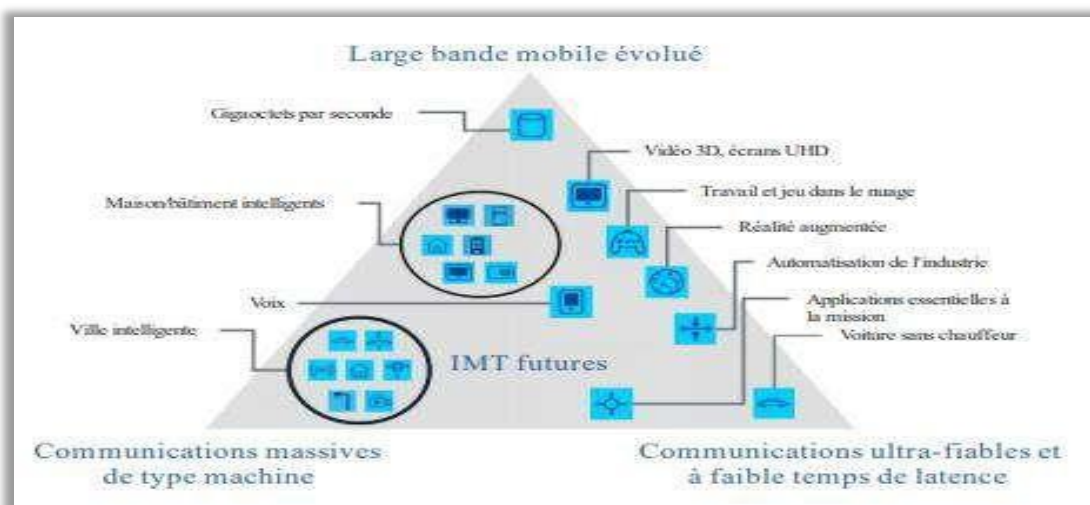


Figure II. 3: Scénarios d'utilisation des IMT pour 2020 et au-delà.

## II.5 Quelle sont les fréquences utilisées pour la 5G :

Comme nous l'avons dit, les fréquences utilisées en 5G sont regroupées en deux grands ensembles : le groupe FR1 avec les basses fréquences 5G sub-6, sous les 6 GHz, et le groupe FR2 avec les hautes fréquences mmWave avec une longueur d'onde de l'ordre du millimètre.

En tout, la 5G telle que définie par le 3GPP intègre un peu moins de 50 bandes de fréquences différentes pour le premier groupe FR1. Le deuxième groupe est beaucoup plus maigre et ne comprend que quatre bandes de fréquences différentes.

En France, voici les bandes de fréquences qui seront utilisées pour la 5G sub-6 :

- ✓ n78 : 3,5 GHz
- ✓ À cela s'ajoutent les bandes de fréquences mmWave :
- ✓ n258 : 26 GHz
- ✓ Et les bandes de fréquence 4G LTE réutilisées pour la 5G :
- ✓ n1 : 2100 MHz
- ✓ n3 : 1800 MHz
- ✓ n7 : 2600 MHz
- ✓ n20 : 800 MHz
- ✓ n28 : 700 MHz

## II.6 Conclusion:

Comme nous l'avons vu dans le présent chapitre, l'intégration des réseaux de la 5G est très prometteuse pour un monde plus intelligent, plus sain, et plus confortable grâce à l'application de technologies et d'outils de pointe et de mises à jour à tous les niveaux.

Certaines tendances typiques sont résumées comme suit:

- ✓ Croissance explosive du trafic de données : il y aura une croissance énorme du trafic. Le trafic mondial de données augmentera de plus de 200 fois entre 2010 et 2020 et d'environ 20 000 fois entre 2010 et 2030.
- ✓ Augmentation significative des appareils connectés : alors que les principaux appareils personnels devraient rester des téléphones intelligents. Le nombre des autres types d'appareils, y compris les appareils portables et les appareils MTC, continue d'augmenter.
- ✓ Poursuite de l'émergence de nouveaux services : différents types de services seront exploités, tels que les services fournis par les entreprises, les industries verticales, les sociétés Internet, ... etc.

# Chapitre III

## simulation et résultats



**II-1 Introduction :**

Ce chapitre a pour objectif la conception d'une antenne imprimée fonctionnant dans la bande des fréquences de la 5G allant de [3.4-3.8]GHz, pour cela un logiciel adapté sera une étape incontournable dans le but de gain de temps et d'optimisation de structure aux paramètres désirés. Pour cela, nous avons choisi un outil de simulation électromagnétique CST MWS qui étudie et simule des structures complexes en trois dimensions. Il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonance, la visualisation du diagramme de rayonnement en 3D, l'impédance d'entrée,... Pour concevoir ces antennes, nous allons suivre l'organigramme suivant :

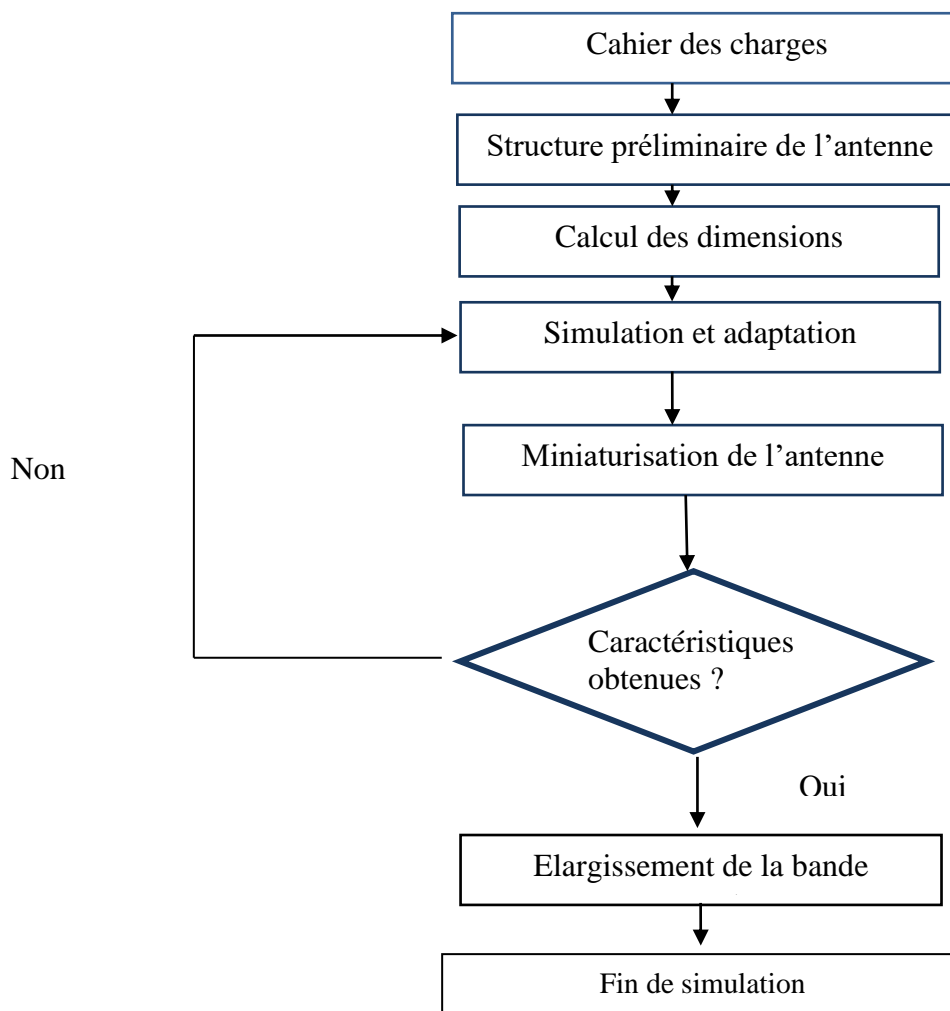


Figure III.1 Organigramme de conception d'antenne sous CST

### **III-2 Description du Logiciel de Simulation CST :**

CST Micro wave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 dimensions basée sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales finies (Finité Intégration Technique). Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3 dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle [21].

### **III.3. Conception et Simulation d'antennes :**

Le développement et la simulation d'une antenne dans la bande de fréquence de [3.4- 3.8] GHz peut être divisé en deux aspects généraux :

1. Simulation d'une antenne résonante à 3.5 GHz.
2. Amélioration et élargissement de la bande passante.

#### **III.3.1. Conception de l'antenne patch résonante à 3.5 GHz :**

##### **III.3.1.1. Structure de l'antenne :**

L'antenne proposée est un patch rectangulaire de type Copper (cuivre) gravé sur un Substrat de diélectrique FR4 qui a une permittivité relative  $\epsilon_r = 4.3$  et une tangente de perte  $\tan \delta = 0,018$ , avec une épaisseur de 1.6mm, le tout est imprimée sur un plan de masse.

### III.3.1.2 Simulation d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban :

Les paramètres de calcul sont présentés dans le Tableau de calcul suivant:

Paramètre de l'antenne patch rectangulaire		Equations
Patch	La largeur	$W_p = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon r + 1}}$
	Constant diélectrique ( $\epsilon_{eff}$ )	$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$
	La longueur	$L_p = \frac{c}{2fr \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L$
	L'extension de la longueur ( $\Delta L$ )	$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left( \frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left( \frac{w}{h} + 0.8 \right)}$
Substrat et plan de masse	La longueur	$L_g = L_p + L + (6 \times h)$
	La largeur	$W_g = W_p + (6 \times h)$
La longueur de la ligne	Simple	$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2fr \sqrt{\epsilon_{eff}}}$
	Quart d'onde	$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4fr \sqrt{\epsilon_{eff}}}$

**Tableau III.1 :** Paramètres de l'antenne patch rectangulaire [12]

$h$  : l'épaisseur du substrat  
 $fr$  : fréquence de résonance.

Le tableau III.1 montre les valeurs des paramètres d'antenne initiale proposée calculés à partir des équations à la fréquence de résonance de 3.5GHz :

Paramètre d'antenne	Dimension en (mm)	L'appellation
L	13	Longueur de la ligne
Lg	71.5	Longueur du substrat
W	3.11	Largeur de la ligne
Wg	35.05	Largeur du substrat
Wp	25.01	Largeur du patch
Lp	20.21	Longueur du patch
$fr$	3.5	Fréquence de résonance
$\epsilon r$	4.3	Permittivité relative

Tableau III.2 des dimensions de l'antenne

Après avoir calculé toutes les dimensions, nous pouvons simuler le modèle dans CST et vérifier la théorie.

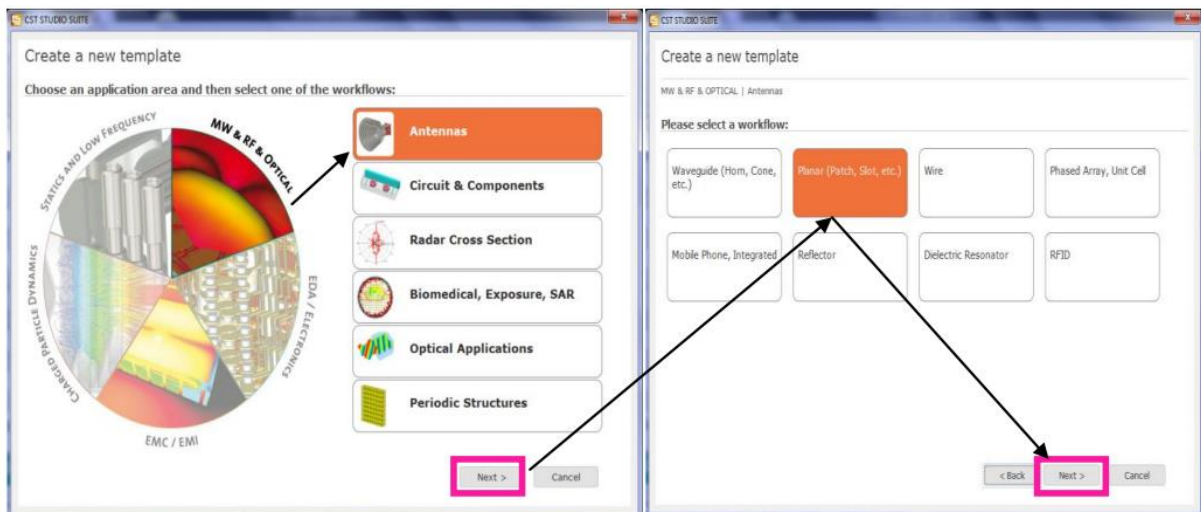


Figure III.2 le Choix de l'environnement de simulation et le type d'antenne,

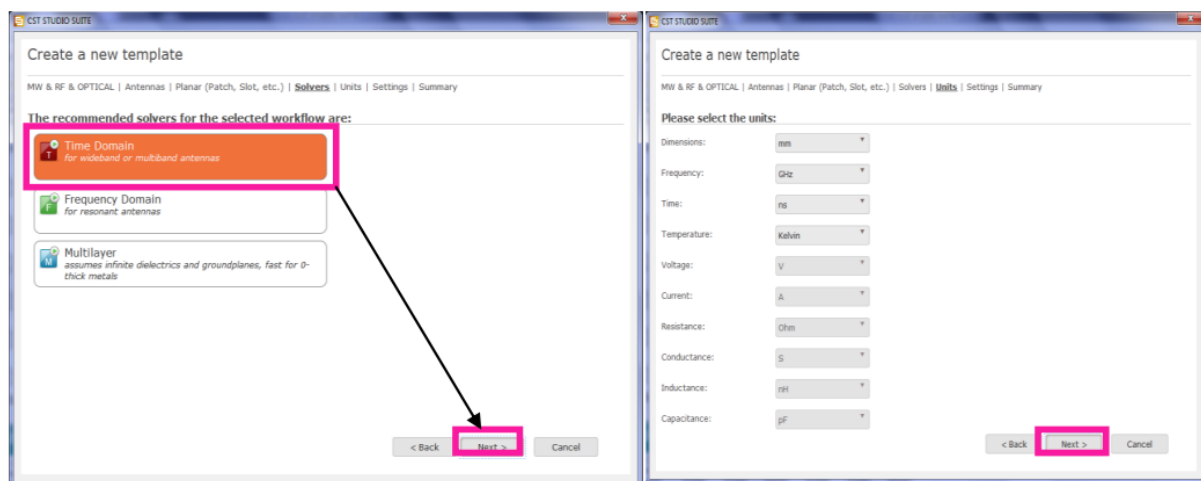


Figure III.3 choix du domaine de résolution, les unités

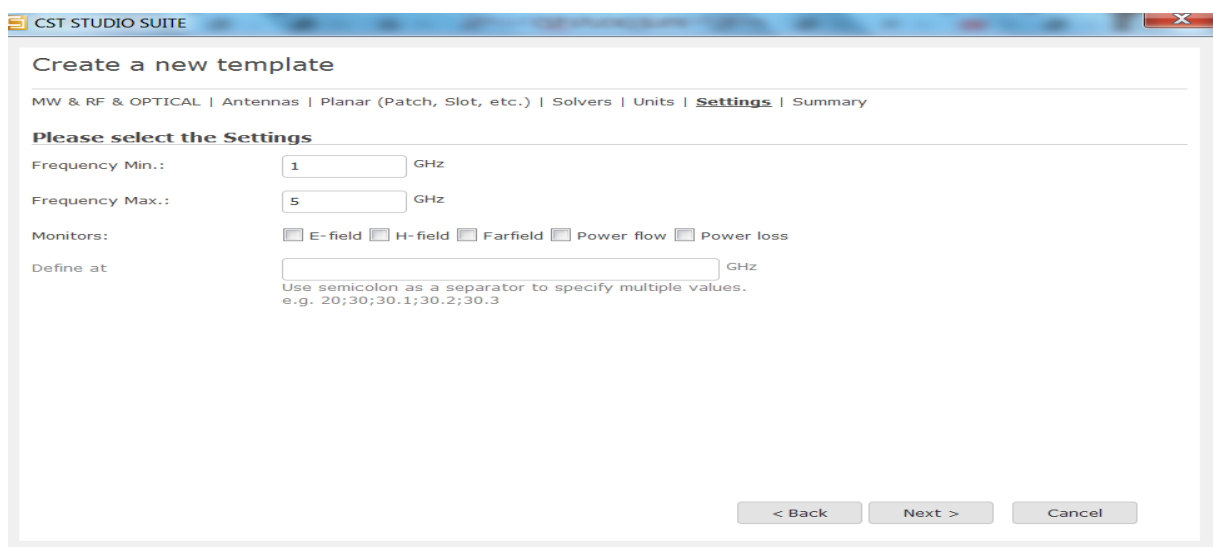
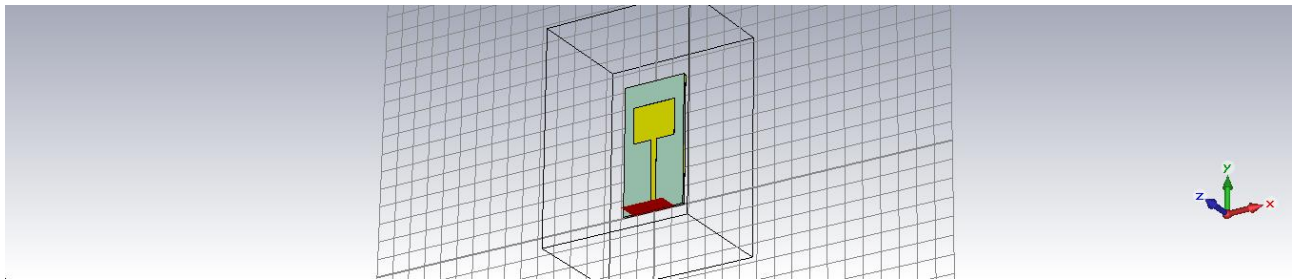


Figure III.4 : Choix de la gamme de fréquence d'étude

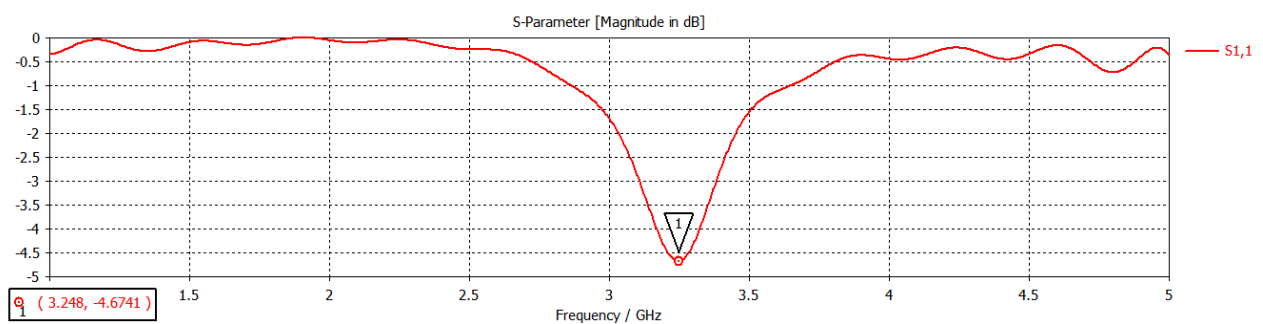
Maintenant on passe à la conception de l'antenne sous CST à partir des résultat de

calcul obtenu suivant le tableau III.1, la figure III.5 montre notre antenne imprimée alimentée par la ligne micro ruban.



**Figure III.5 :** L'antenne patch initial après réalisation sous CST suite

Nous lançons l'analyse du coefficient de Réflexion ( $S_{11}$ ) de l'antenne patch, nous remarquons qu'il présente un comportement non adéquat, comme le montre la figure si dessous, l'antenne résonne à la fréquence de 3.248 GHz avec un coefficient de réflexion de -4.67dB, qui ne répond pas à cette exigence de conception.



**Figure III.6** le paramètre  $S_{11}$  en fonction de la fréquence (structure initial)

Donc antenne à besoin d'une adaptation car le paramètre  $S_{11}$  n'est pas approprié, alors on doit commencer d'abord par la réalisation des fentes.

### III.3.1.3 Adaptation de l'antenne patch :

Pour adapter l'antenne, on utilise la méthode des fentes sur le patch, il suffit de modifier sa géométrie.

➤ Pour une largeur de fente **Wi=0.6mm** : la structure est représentée par la figure ci-dessus:

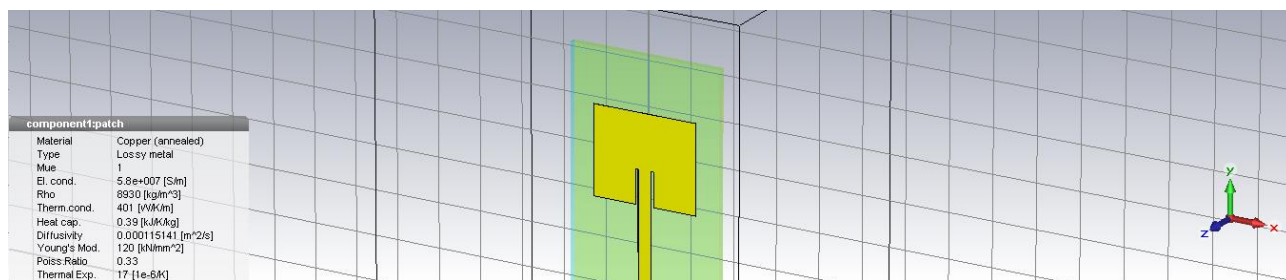


Figure III.10 antenne patch après réalisation des deux fentes

- **Mesure du coefficient de réflexion S11**

Pour une largeur de fente  $w_i=0.6\text{mm}$  Le paramètre  $S_{11}$  est représenté comme suit:

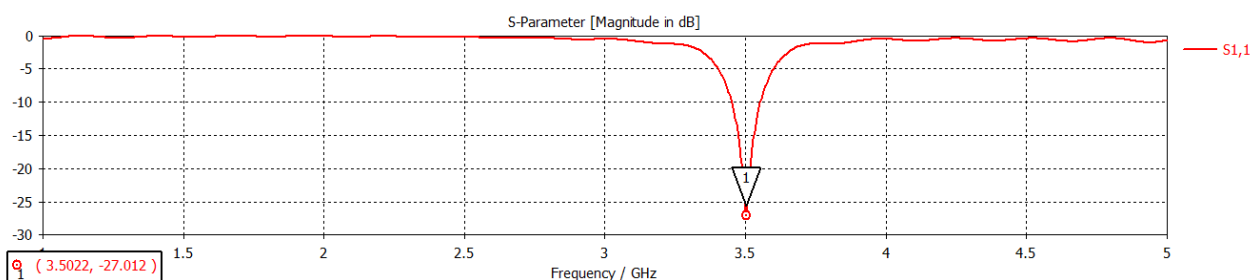


Figure III.11 le paramètre  $S_{11}$  après réalisation des fentes

- **Mesure du VSWR ou le rapport d'onde stationnaire :**

Dans les notes d'application d'antennes, l'adaptation de l'antenne est souvent caractérisée par le rapport d'onde stationnaire (ROS) ou Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Lorsqu'il y a désadaptation, la réflexion d'une partie de l'onde incidente et l'addition avec l'onde incidente conduit à l'apparition d'une onde stationnaire dans la ligne qui relie l'antenne à la source (ou au récepteur). [25]

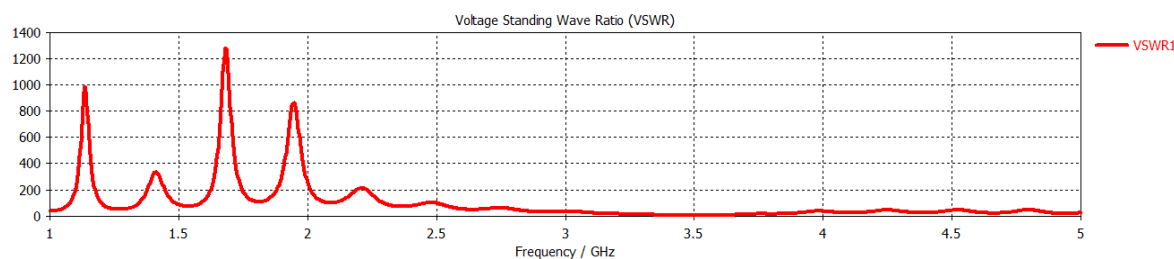
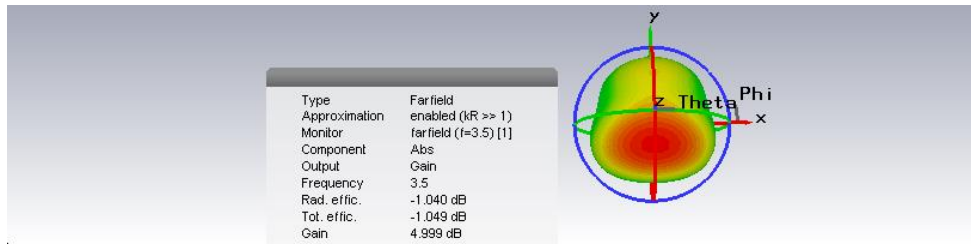


Figure III.12 le rapport d'onde stationnaire après réalisation des fentes

Comme le paramètre  $S_{11}$ , le rapport d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 3.5 GHz, nous avons relevé un TOS est  $<2$ , ce qui confirme que notre antenne est bien adaptée.

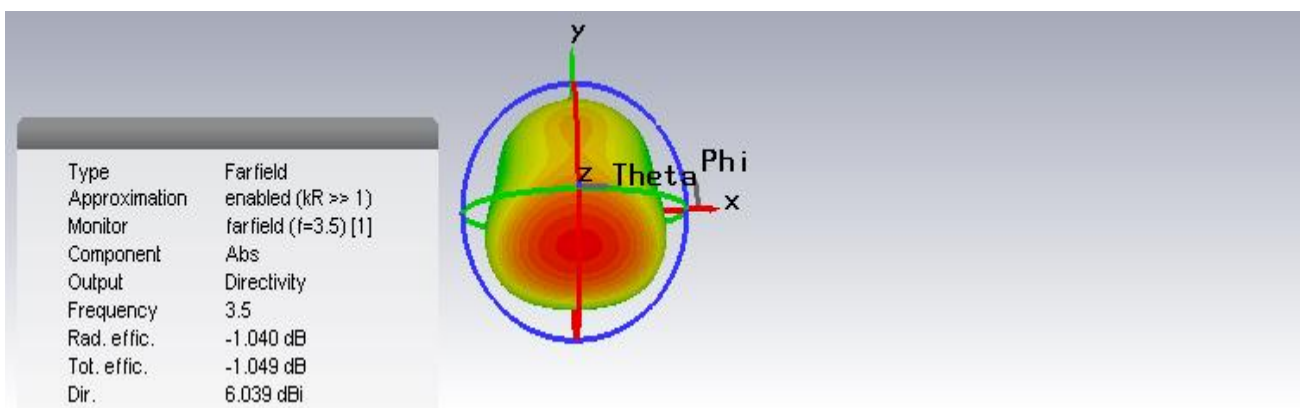
- **Mesure du gain :**



**Figure III.13** Le gain après réalisation des fentes

le Gain obtenu après simulation est de 4.99 dB à la fréquence de 3.5GHz, qui représente un bon gain

- **Mesure de la directivité :**

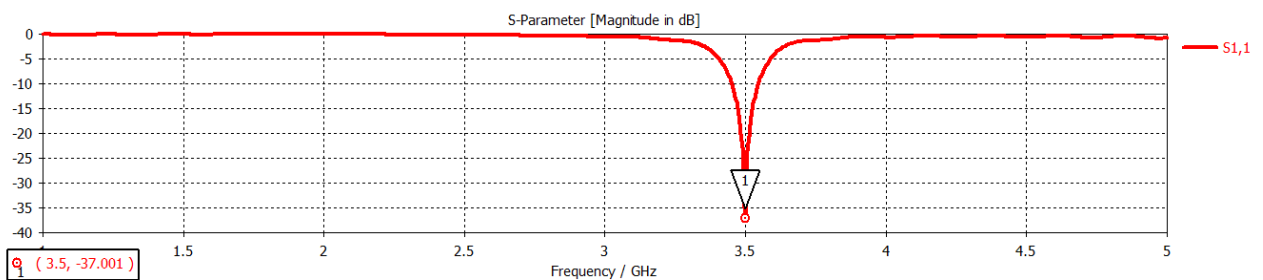


**Figure III.14** La directivité après réalisation des fentes

La directivité obtenue après simulation est de 6.03 dB à la fréquence de 3.5GHz.

- Pour une largeur de fente **wi=0.7mm** :

- **Mesure du coefficient de réflexion S11**



**Figure III.15** le paramètre S11 pour wi=0.7mm

Le coefficient de réflexion (S11) de l'antenne vaut -37.09 dB à la fréquence de résonance, répondant ainsi à cette exigence de conception.

- **Mesure du gain :**

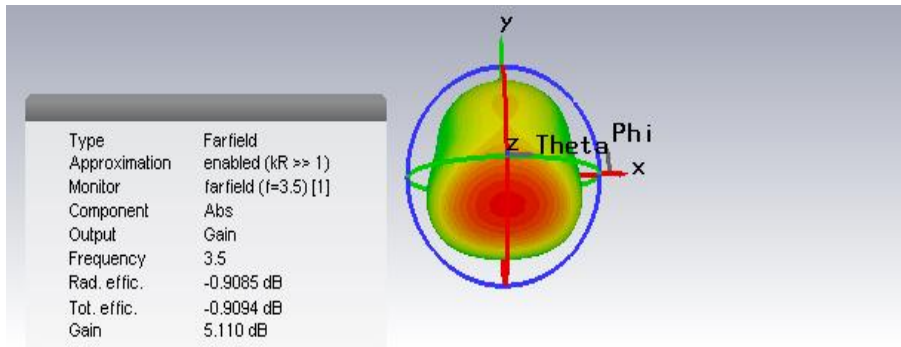


Figure III.16 le gain pour  $w_i=0.7\text{mm}$

- **Mesure de la directivité :**

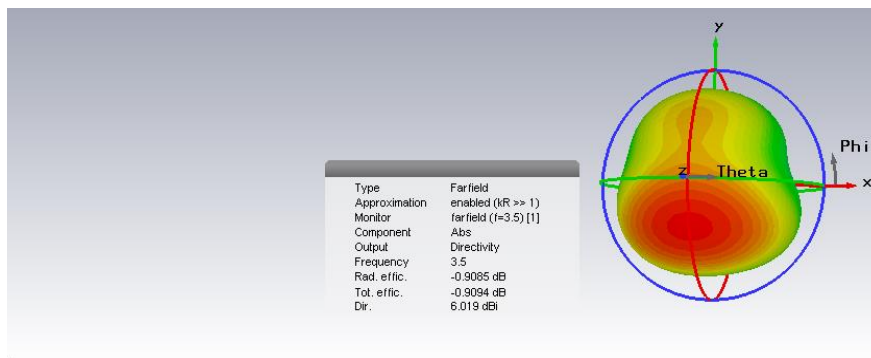


Figure III.17 la directivité le gain pour  $w_i=0.7\text{mm}$

Nous remarquons que le gain et la directivité ont augmenté lorsqu'on a élargie la largeur de la fente.

### III.3.1.4 Nouvelle structure d'antenne imprimée

Nous proposons une nouvelle structure de l'antenne définie sur la figure III.18, c'est une antenne qui contient des encoches, comme montré sur la figure III.18:

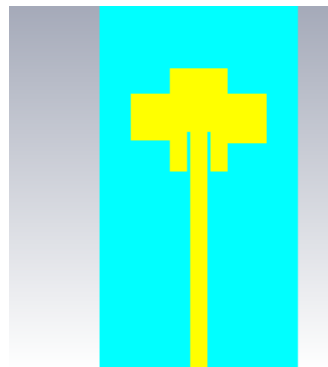


Figure III.18 réalisation du patch avec encoches

- **Mesure de S11:**



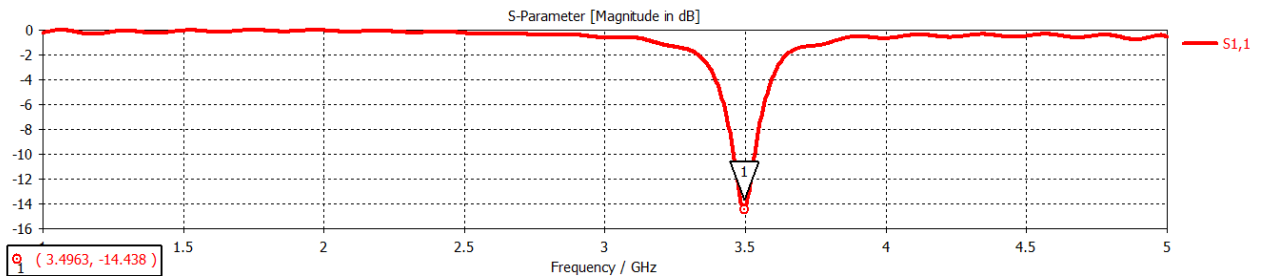


Figure III.19 paramètre  $S_{11}$  après réalisation des encoches

- Mesure du gain :

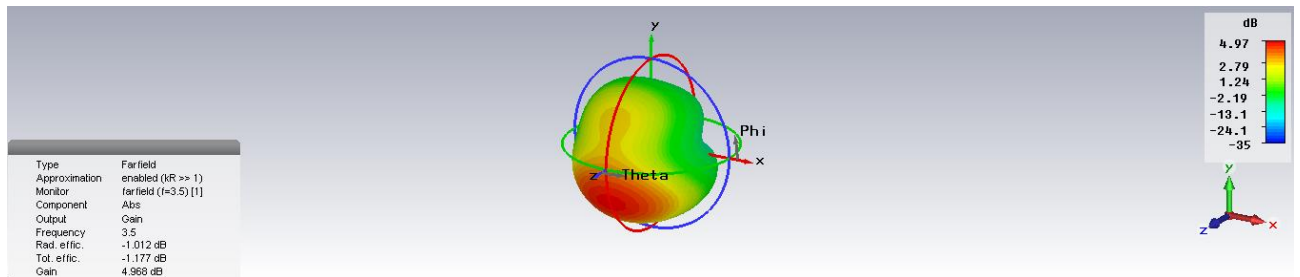


Figure III.20 Le gain après réalisation des encoches

- Mesure de la directivité:

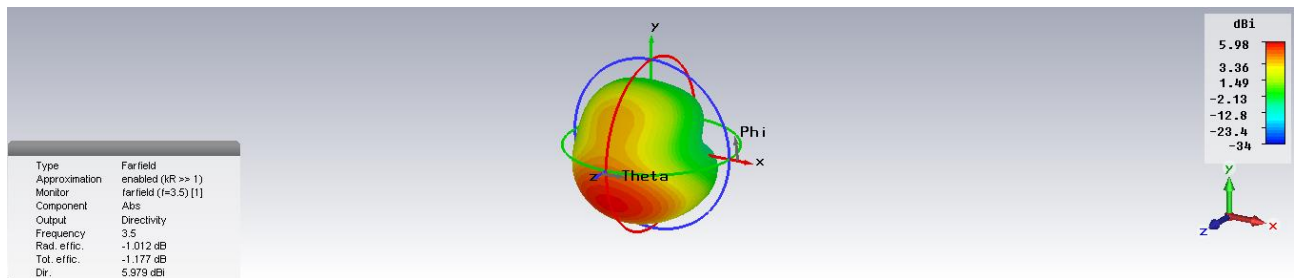


Figure III.21 La directivité après réalisation des encoches

On remarque que la nouvelle structure du patch a besoin d'une adaptation à la fréquence de résonance 3.5 GHz ainsi d'améliorer le paramètre  $S_{11}$

Le paramètre  $S_{11}$  après adaptation du patch en modifiant la largeur de la fente  $w_i$

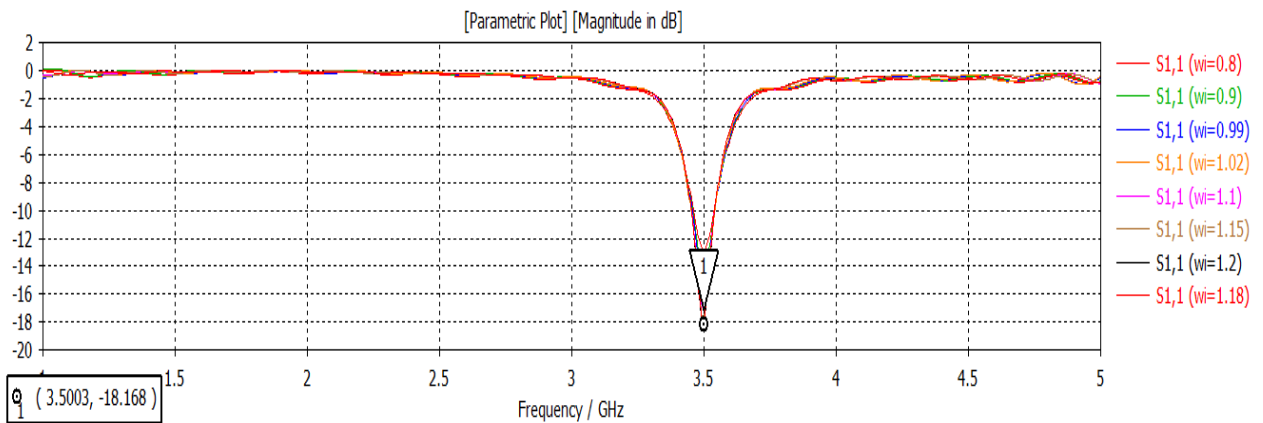


Figure III.22 Le coefficient de réflexion après adaptation de l'antenne

- Le gain après adaptation du patch avec encoches:

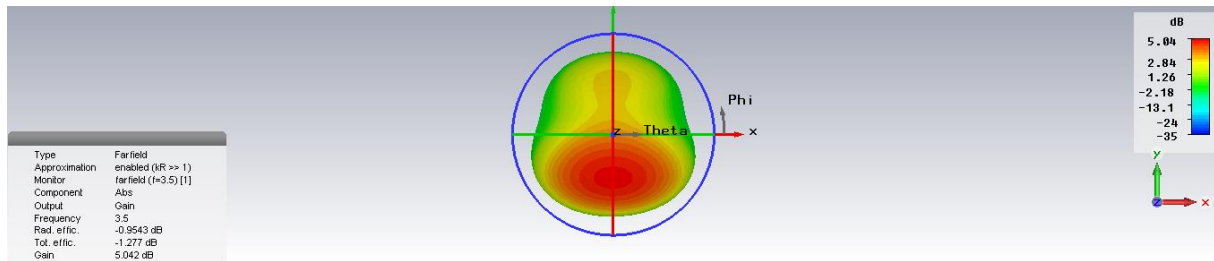


Figure III.23 Le gain après adaptation de l'antenne

- La directivité après adaptation du patch avec encoches :

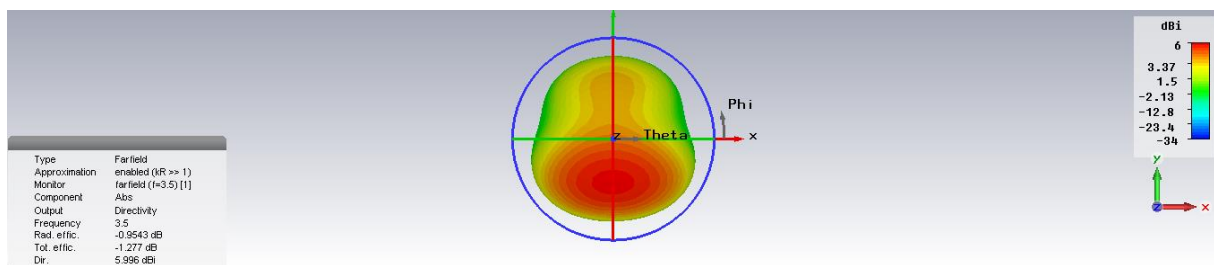


Figure III.24 La directivité après adaptation de l'antenne

Cette antenne est directive, et elle a un gain important dont son maximum est de 5.99 db.

### III.3.2. Amélioration de la bande passante :

La bande passante de l'antenne détermine la bande de fréquences où le coefficient de réflexion est inférieur au seuil arbitrairement défini. La bande passante est généralement proportionnelle à la bande de fréquence avec un facteur de réflexion inférieur à -10 dB. Sur une bande passante donnée, il est possible d'observer plusieurs minima donc plusieurs fréquences de résonance [26]. La bande passante est définie par la formule suivante :

$$BP = \frac{f_2 - f_1}{f_r}$$

Avec  $f_2$ : la fréquence maximale et  $f_1$  la fréquence minimale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB et  $f_r$  c'est la fréquence centrale [27].

Parmi les techniques d'élargissement de la bande passante au niveau du -10 dB c'est de créer des fentes au niveau du plan de masse, et voici quelques réalisations:

#### ➤ Structure du 1er plan de masse

Nous allons créer 3 fentes sous formes de rectangles symétriques, comme le montre la figure:

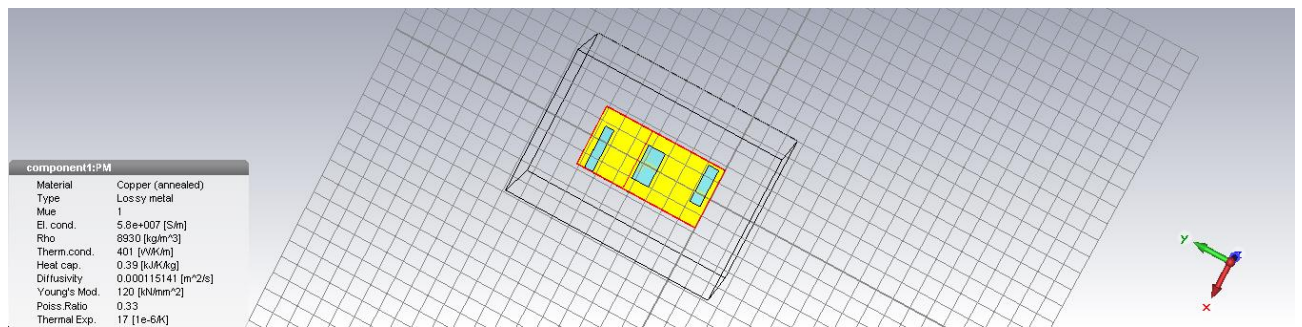


Figure III.26 Réalisation des fentes dans le plan de masse

- Le Paramètre S<sub>11</sub> après réalisation des fentes au niveau du plan de masse :

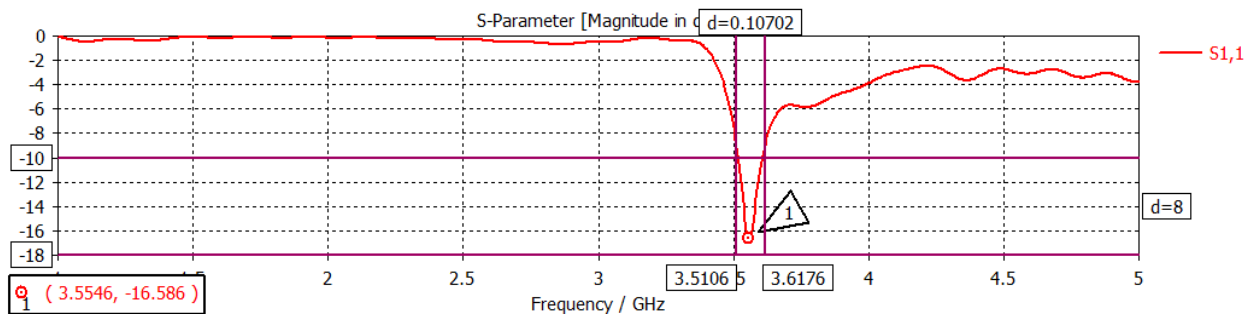


Figure III.27 Le paramètre S<sub>11</sub>

Le coefficient de réflexion vaut -16.68 à la fréquence de résonance, la bande passante est de:

Calcul de la bande passante

$$Bp = \frac{3.61 - 3.51}{3.55} * 100 = 2.81\%$$

- Le gain

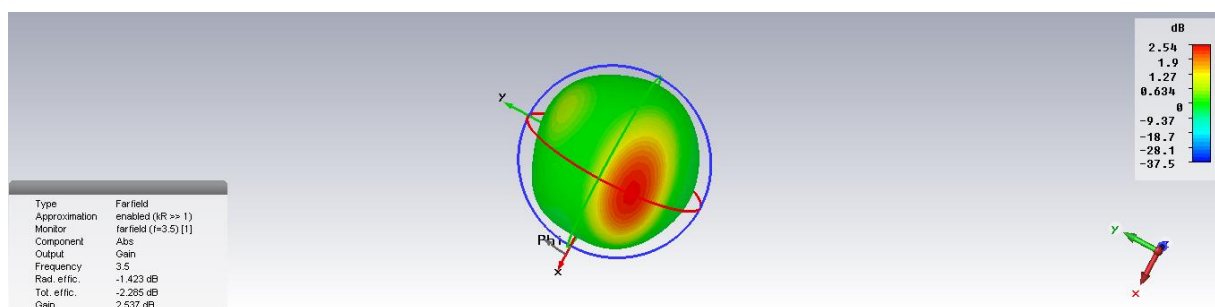
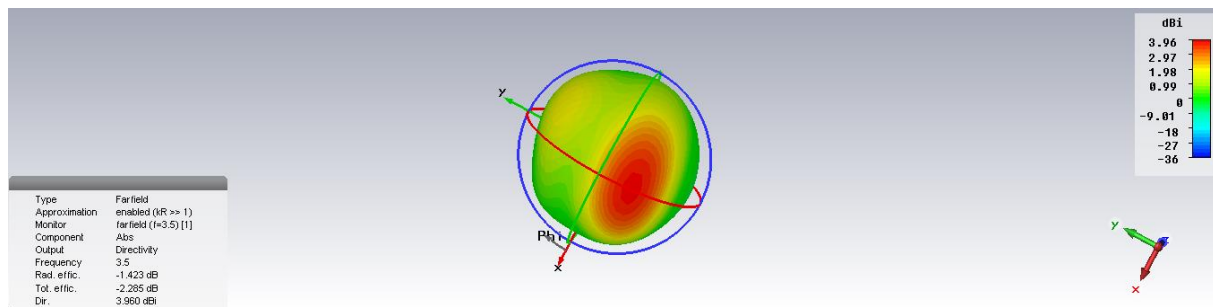


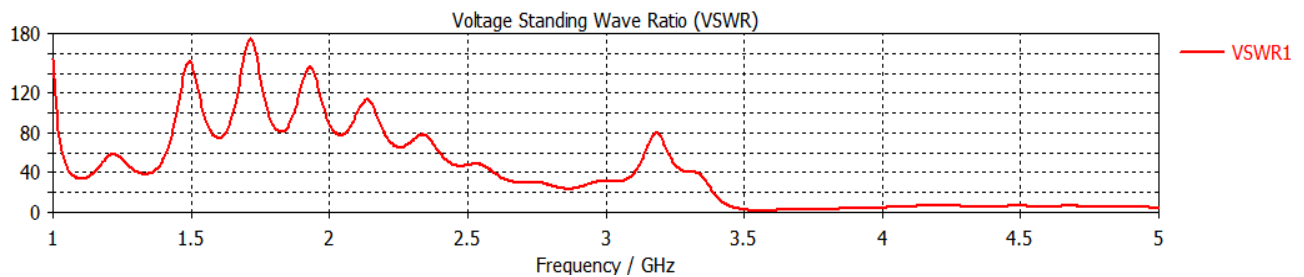
Figure III.28 Le gain après réalisation des fentes au niveau du plan de masse

- La directivité



**Figure III.29** La directivité après réalisation des fentes au niveau du plan de masse.

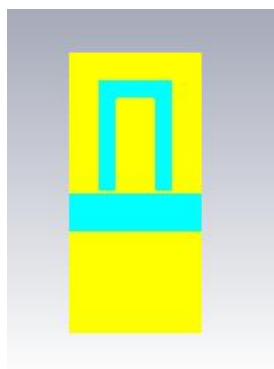
- **Le VSWR**



**Figure III.31** Le VSWR après réalisation des fentes au niveau du plan de masse

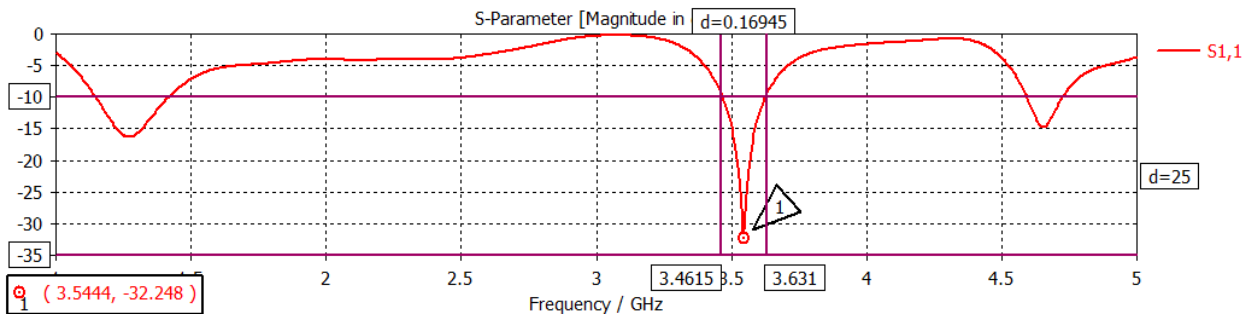
- **Structure du 2ème plan de masse**

A fin d’aboutir à un paramètre  $S_{11}$  adéquat nous avons modifié les dimensions des fentes sur le plan de masse comme le montre la figure III.32:



**Figure III.37** La 2ème structure du plan de masse

- **Le paramètre  $S_{11}$**



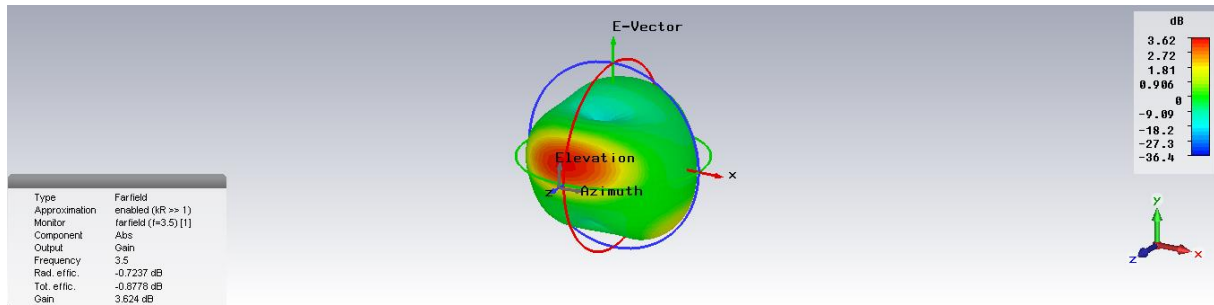
**Figure III.38** Le paramètre S11 après la modification des fentes du plan de masse

Le paramètre S11 vaut -32.24 dB à la fréquence de résonance, donc nous avons une bonne adaptation

Calcul de la bande passante :

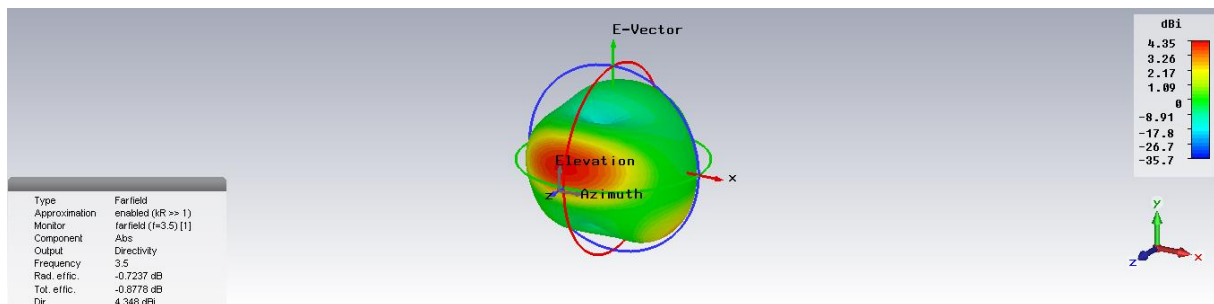
$$Bp = \frac{3.63 - 3.46}{3.54} * 100 = 4.8 \%$$

- **Le gain :**



**Figure III.39** Le gain après la modification des fentes du plan de masse

- **La directivité :**



**Figure III.40** La directivité après la modification des fentes du plan de masse

➤ **Structure de la 3ème structure du plan de masse**

nous remarquons qu'on a besoin d'élargir plus la bande passante, pour avoir un fonctionnement totale dans la bande de [3.4-3.8]GHz

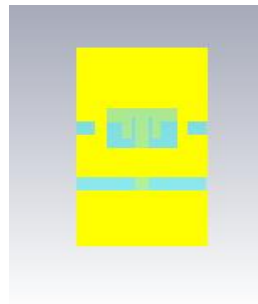


Figure III.42 La structure finale du plan de masse

Le paramètre  $S_{11}$  et la bande passante après adaptation

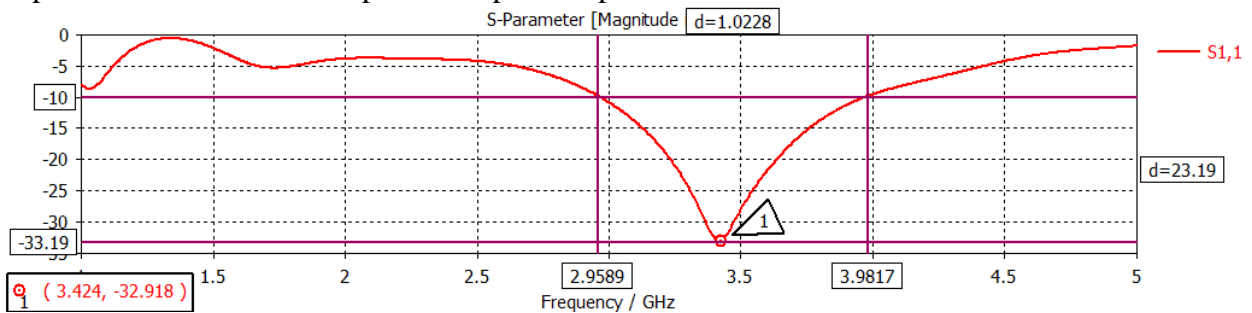


Figure III.43 Le paramètre  $S_{11}$  La structure finale du plan de masse

Le coefficient de réflexion est de -32.91 dB à la fréquence de résonance, il y a une bonne adaptation

Calcul de la bande passante :

$$B_p = \frac{3.98 - 2.95}{3.42} * 100 = 30.11\%$$

Nous remarquons qu'avec cette structure, nous avons une bonne adaptation dans toute la bande souhaitée qui est de [3.4-3.8] GHz.

- Le VSWR :

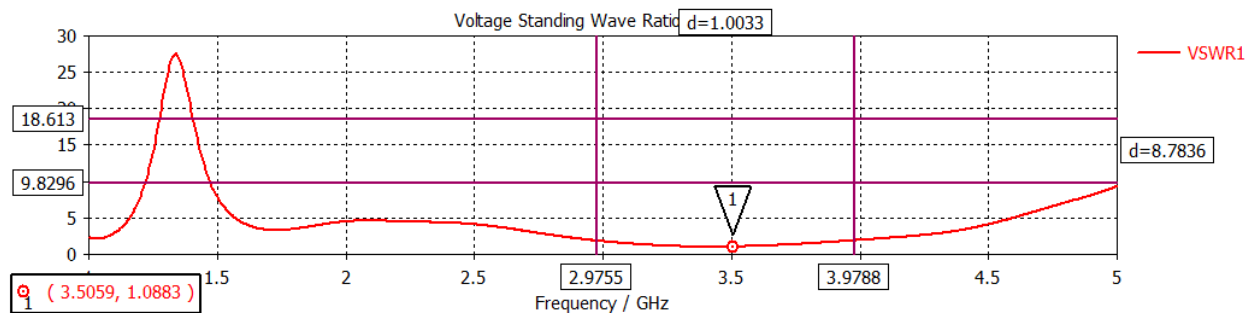


Figure III.44 Le VSWR de la structure finale du plan de masse

- Le gain :

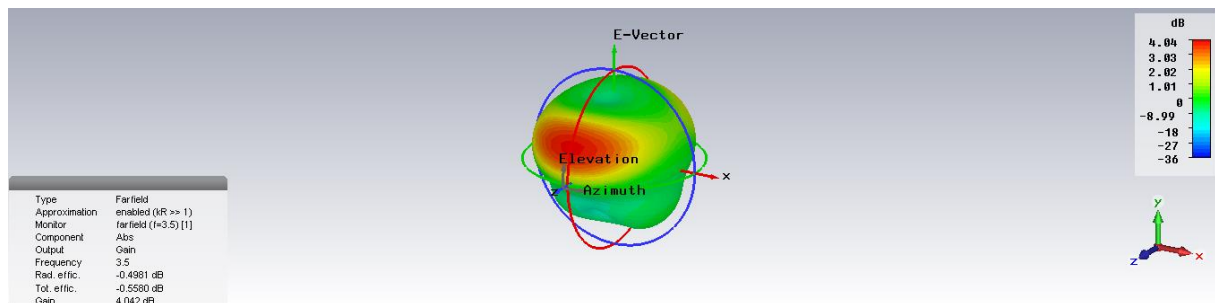


Figure III.45 La structure finale du plan de masse

- La directivité :

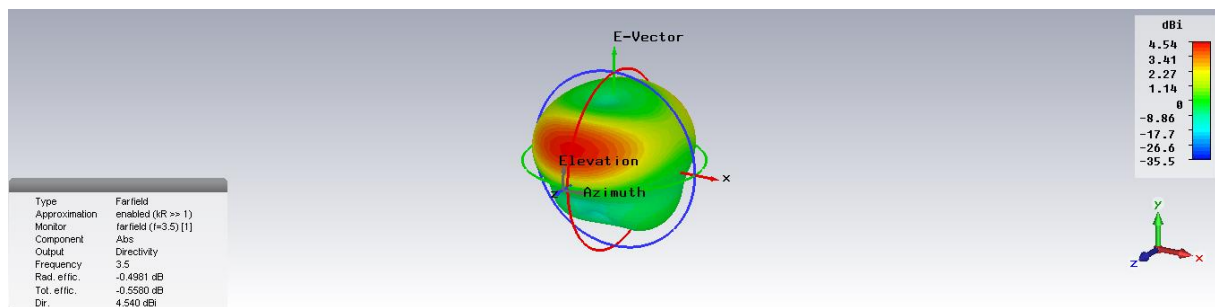


Figure III.46 La directivité de la structure finale du plan de masse.  
La bande passante

### III-4 Conclusion :

Dans ce chapitre on a étudié la conception et la simulation de l'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban en utilisant le logiciel CST.

La technique d'insertion des fentes et des encoches sur le patch ainsi que la technique du plan de masse partiel pour élargir la bande passante a donner des résultats de simulations très satisfaisants en termes de paramètre de réflexion S11, de gain et de directivité. L'antenne patch proposée est bien adaptée dans la bande de fréquence de la 5G qui est de [3.4-3.8] GHz.

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

Les travaux réalisés dans ce projet de fin d'étude s'inscrivent dans le domaine de la modélisation et la simulation d'antennes imprimées pour une importante application de télécommunication récente la 5G.

La première partie de ce document consiste à donner un aperçu sur les antennes imprimées, leurs caractéristiques, les différentes techniques d'alimentations, ainsi que les différents domaines d'applications

La seconde partie est consacrée à la 5G, en commençant par un bref aperçu de cette dernière, son historique, les fréquences utilisées pour le réseau de la 5G, ....

La dernière partie est consacré à la simulation d'une antenne 5G fonctionnant dans la bande de [3.4-3.8]GHz, des calculs théoriques ont été faites pour la conception sous le logiciel CST MWS d'une antenne rectangulaire, une technique d'adaptation a été faite pour l'amélioration des caractéristiques de l'antenne imprimée, ensuite l'amélioration de la bande passante a été apporté en ajoutant des fentes sur le plan de masse.

Comme perspective de ce travail une réalisation d'antenne avec des mesures est nécessaire pour ce type d'application.



## Bibliographie

[1] ADIL KAMIL, « conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 ghz-10.6 ghz) », Université du Québec, 2011.

[2] Alexandre Boyer : institue nationale des sciences appliquées de Toulouse 5eme année Réseau et Télécom, Toulouse 2011.

[3] Balanis.A, « Antennatheoryanalysis and design », Paris 2005.

[4] Benomar Ahmed, Thèse du doctorat « Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques.Application aux Réseaux de Télécommunications. Electronique ». Université de Limoges,2015.

[5] odile Picon et coll : « Les Antennes Théorie, conception et application », Paris, 2009.

[6] Soltane Samia, Diplôme de Magister « Etude Et Caractérisation D'antennes Imprimées Pour Système Ultra-large Bande», Université Mohamed Khider – Biskra, 2015.

[1] I.J.Bahl, P. Bhartia, “Microstrip antennas”Artech. House, U.S.A.,1980.

[2] J.R. James, P.S Hall, C. Wood, “ Microstrip antennas. Theory andDesign”,IEE Electromagnetic, Waves Series 12 Peter Peregrinus Ltd, Stevenage, U.K., 1981. [3] W.L. Stuzman, G. Thiele, “Antenna, Theory and Design”, John Wiley & Sons,1981.

[4] K.F. Lee, “ Principles of antennas theory”, John Wiley & Sons,U.S.A,1984. [5] K.R. Carver, W.H. James, “Microstrip antennastechnology”.IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-32, No. 8, pp. 884-887, 1984.

[6] J. P. Daneil, G. Dubost, C. Terret, J. Citerne, M. Drissi, “Research on planar antennas and arrays " Structures Rayonnantes " ”. IEEE Antennas and

Propagation Magazine, Vol. 35, No. 1, pp. 14-38, 1993.

[7] D.M. Pozar, "Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstrip Line" *Elect Letters*, vol. 21, pp. 49-50, Jan. 1985.

[8] B. Belentepe, "A Simple Equivalent Model for Electromagnetically Coupled Microstrip Patch Antenna", *Journée Internationale de Nice sur les antennes*, France, Symposium proceeding, pp. 91-94, Nov 1994.

[9] C.A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", Second Edition. United States of America. John Wiley & Sons, pp. 734, 1997. [10] J.M.

Ribero, R. Staraj, J.P. Damiano, "Analytical Models for Fast Analysis and Synthesis of various Printed Antennas" *Antennas and associated systems for mobile satellite communication*, pp. 508-515, 1997.

[11] G. Mur, "Absorbing boundary conditions for the finite difference approximation of the time domain electromagnetic field equations", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, vol. 23, pp. 377-382, 1981.

[12] D. H. Choi, and W. J. Hofer, "The finite-difference time-domain method and its application to eigenvalue problems", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 34, pp. 1464-1470, 1986.

[13] T. G. Jurgens, A. Taflov, K. R. Umashankar, and T. G. Moore, "Finite difference time domain modeling of curved surface", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 36, pp. 357-366, 1992.

[14] P. A. Tirkas, and C. A. Balanis, "Finite-difference time-domain technique for radiation by horn antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium Digest*, vol. 3, pp. 1750-1753, 1991.

[15] W. J. R. Hofer, "The transmission line matrix theory and applications", *IEEE Trans. On Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-33, n° 10, pp. 882-893, October 1985.

[16] Poman Ph. SO, Eswarappa, and W. J. R. Hofer, "A two dimensional transmission line matrix microwave field simulator using new concepts and procedures", *IEEE Trans. Microwave and Theory Tech.*, vol.

MTT-37, n°12, pp. 1877-1884, December 1989.

[17] P. B. Johns and R. L. Beurle, "Numerical solution of 2 dimensionalscattening problems using a transmission line Matrix", Proceeding IEE, vol. 118, pp. 1203-1208, September 1971.

[18] S. Akhtarzad, and P. B. Johns, "Three dimensional transmission linematrixcomputer analysis of microstrip Resonators", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.,vol.23, pp. 990-997, December 1975.

[19] R. Mittra and T. Itoh, "Analytical and numerical studies of therelativeconvergence phenomenon using in the solution of an integral equation by moment method", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT-20, n° 2, pp. 96-104, February1972.

[20] J.P. Mosig, "Les Structures Microrubans : Analyse au MoyendesEquations Intégrales". Thèse de l'école polytechnique fédérale de lausanne,1983.

[21] N. Belgacem « Conception Des Antennes Pifa Mono-Bande Et Multi-Bandes Gsm, Dcs,Pcs, Umts Et Wifi Pour Téléphones Mobiles » Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2013.

[22] H. Chorfi « Conception D'un Nouveau Système D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Mémoire de Master, Université Québec Abitibi-Témiscamingue 2012.

[23] D. Ameziane « Etude Et Optimisation D'antennes Fractales Plaquées » Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2008.

[24] F.A. Belainine, M.A. Salmi « Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Repliement Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4ghz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2013.

[25]A. Boyer, « support de cours énoncé de travaux dirigés », Cours 5 éme année réseau et Télécom. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2011,

[26] E. Dreina « Conception, Optimisation et Intégration Rf d'un Système

d'antennes Miniatures Multi Capteurs utilisant La diversité en Vue d'augmenter les performances Radio d'un Terminal Mobile 4g » Thèse Doctorat, Université de Grenoble, 01 juillet 2010.

[27] S.Vergerio « Recherche Des Caractéristiques Optimales D'antennes Multi-Capteurs Pour Les Systèmes Mimo » Thèse Doctorat, Université de Provence, 06 juillet 2007.