

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière :

Télécommunication

Spécialité :

Systemes de télécommunications

Thème :

Conception et réalisation d'une antenne patch rectangulaire de fréquence 2.4GHz

Réalisé par :

Adjout hadda ikram

Dirigé par :

Pr. H. Meliani

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier « Allah » le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la force et la patience pour mener ce travail à terme.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur le Professeur MELIANI HAMZA d'avoir accepté de diriger ce travail et pour son aide précieux et ses conseils et pour m'avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques et aussi pour sa disponibilité.

Je remercie particulièrement les Membres du jury qui ont accepté de lire et de juger mon travail.

Je tiens à remercier Melle Boumaaza kawther qui n'a pas hésité à m'aider à installer le simulateur CST et à m'aider à son utilisation.

Mes remerciements vont au Professeur S. Hebib qui nous a permis l'utilisation de l'analyseur de réseau du laboratoire LDIC pour faire les mesures nécessaires des caractéristiques de l'antenne patch.

En fin, je tiens à remercier mes parents qui m'ont soutenu et conseillé durant tout mon parcours scolaire.

Dédicace

A mon cher père

Papa Rien au monde ne vaut les efforts que tu as fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Tu es celui qui a tout fait juste pour me voir réussir. « Merci papa ».

Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma chère mère

Maman qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mes chers frères :

Je vous dirai tout simplement merci pour votre aide et votre soutien et encouragement, je vous aime.

A mon promoteur :

Mes sincères dédicaces à mon promoteur Mr H. Meliani

Résumé

Poussés par l'engouement du public, les systèmes de réception en télécommunication sont devenus portables et les antennes se sont miniaturisées. L'utilisation d'antennes imprimées est devenue donc usuelle dans les systèmes de radiocommunications. Ce type d'antennes présente de nombreux avantages tels que le faible poids, le faible volume et épaisseur réduite, le faible coût de fabrication, la compatibilité avec des circuits intégrés.

Dans le travail que nous présentons dans ce mémoire, en premier lieu nous avons étudié les caractéristiques d'une antenne patch rectangulaire travaillant aux fréquences de 2.4GHz-2.5GHz qui correspondent à la norme IEEE802.11b, g et n dont la principale application est la technologie WiFi. Afin d'augmenter le gain faible de ce type d'antennes, nous avons étudié un réseau d'antennes constitué de quatre antennes identiques à celle suscitée. L'étude a été menée en utilisant le simulateur électromagnétique CST (Computer Simulation Technology). En deuxième lieu nous avons réalisé le circuit imprimé d'antennes simulées et mesuré leurs caractéristiques en utilisant un analyseur de réseau. Les différents résultats obtenus sont présentés et discutés.

Mots clés : antenne patch, Fréquence, WiFi, CST, Télécommunication

Abstract

Driven by public enthusiasm, telecommunication reception systems have become portable and antennas have become miniaturized. The use of printed antennas has become commonplace in radiocommunication systems. This type of antenna has many advantages such as low weight, low volume and reduced thickness, low manufacturing cost, compatibility with integrated circuits.

In the work that we present in this thesis, we first studied the characteristics of a rectangular patch antenna working at the frequencies of 2.4GHz-2.5GHz which correspond to the IEEE802.11b, g et n standards, the main application of which is WiFi technology. In order to increase the low gain of this type of antennas, we studied an antenna array made up of four antennas identical to the one cited above. The study was achieved using the CST (Computer Simulation Technology) electromagnetic simulator.

Second, we made a printed circuit of the two types of simulated antennas and measured their characteristics using a network analyzer. The various obtained results are presented and discussed.

Keywords : patch antenna, Frequency, WiFi, CST, Telecommunication

الملخص

بدافع الحماس العام، أصبحت أنظمة استقبال الاتصالات محمولة وأصبحت الهوائيات مصغرة. ولذلك أصبح استخدام الهوائيات المطبوعة مألوفًا في أنظمة الاتصالات الراديوية. يتميز هذا النوع من الهوائي بالعديد من المزايا مثل الوزن الخفيف والحجم المنخفض والسماكة المنخفضة وتكلفة التصنيع المنخفضة والتوافق مع الدوائر المتكاملة.

في العمل الذي نقدمه في هذه الأطروحة، درسنا أولاً خصائص هوائي الشريط الصغير المستطيل الذي يعمل على ترددات من 2.4 جيجا هرتز إلى 2.5 جيجا هرتز والتي تتوافق مع ، والتطبيق الرئيسي لها هو تقنية IEEE802.11b، g، n معايير من أجل زيادة الكسب المنخفض لهذا النوع من الهوائيات، WiFi قمنا بدراسة مجموعة الهوائيات المكونة من أربعة هوائيات مماثلة لتلك المذكورة أعلاه. أجريت الدراسة باستخدام جهاز المحاك الكهرومغناطيسية

CST (Computer Simulation Technology).

ثانيًا، صنعنا دائرة مطبوعة لنوعين من الهوائيات المحاكاة وقمنا بقياس خصائصها باستخدام جهاز محلل الشبكة

تم عرض ومناقشة النتائج المختلفة التي تم الحصول عليها

الكلمات الرئيسية: هوائي الشريط الصغير، التردد، Wifi، CST، الاتصالات

Listes des acronymes et abréviations et symboles

Bp : La Bande Passante.

C : Célérité de la lumière dans le vide ou l'air.

CST : Computer Simulation Technology

D : La directivité.

dB : décibel.

$E\theta, E\phi$: Les champs électriques de radiations.

\vec{E} : Le champ électrique.

er : L'efficacité de rayonnement.

G : Le gain.

Gpf : La distance entre les bords d'encoche et la ligne de transmission.

GPS : Global Positioning System.

Gr : La radiation de conductance du patch.

h : L'épaisseur de substrat.

H : le champ magnétique.

\vec{k} : Vecteur unitaire.

k_0 : Le module du Vecteur d'onde dans l'air.

L_{eff} : La longueur effective.

Lf : la longueur de la ligne d'alimentation.

Lp : La longueur du Patch.

Ls : la longueur du substrat.

P_A : la puissance électrique en entrée.

Pf : Distance de l'encoche.

P_{in} : la puissance incidente de l'antenne.

P_r : Puissance de rayonnement.

P_{ref} : la puissance réfléchie retournée à la source de l'antenne.

$P(\theta, \phi)$: la puissance rayonnée dans une direction donnée.

R_{pertes} : résistance des pertes.

R_{rad} : résistance de radiation.

S_{11} : Le coefficient de réflexion.

t : L'épaisseur de patch.

TOS : Taux d'onde stationnaire.

$\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$: Vecteurs unitaires.

W_f : La largeur de la ligne d'alimentation.

Wi-Fi : Wireless fidelity.

WLAN : Wireless Local Area Network.

W_s : la largeur du substrat.

W_p : largeur de patch.

Z_c : l'impédance caractéristique.

Z_{in} : l'impédance d'entrée.

2D et 3D : Deux et trois dimensions.

β : Constant de propagation.

ϵ_r : La permittivité relative.

ϵ_{eff} : Permittivité effective.

ϵ_{eff} : la constante diélectrique efficace.

ΔL : L'extension de la longueur.

λ_0 : Longueur d'onde.

Φ : Flux Magnétique.

φ : Phase par rapport l'axe (xy).

θ : Phase par rapport l'axe (yz).

θ_{-3dB} : L'ouverture mi- puissance.

(θ_0, ϕ_0) : la direction de rayonnement maximale.

ω : Pulsation.

η : rendement.

Tables des matières

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	III
الملخص.....	IV
Listes des acronymes et abréviations.....	V
Table des matières.....	VII
Liste des figures.....	XIII
Liste des tableaux.....	XVI
Introduction Générale.....	1

Chapitre I : Généralité sur les antennes Patchs micro ruban

I.1 Introduction	2
I.2 Historique	2
I.3 Description d'antennes patchs	2
I.3.1 Le substrat.....	3
I.3.2 Le patch.....	4
I.3.3 Le plan de masse.....	4
I.4 Principe de fonctionnement	4
I.5 Caractéristiques des antennes patchs	5
I.5.1 Diagramme de rayonnement.....	5
I.5.2 La directivité.....	6
I.5.3 Le gain.....	6
I.5.4 Rendement.....	6
I.5.5 Modèle électrique d'une antenne.....	6
I.5.6 Le coefficient de réflexion (S11) « return Loss »	7
I.5.7 La bande passante.....	7
I.5.8 la polarisation.....	8
I.6 Méthodes d'alimentation	8
I.6.1 Sonde coaxiale	8
I.6.2 Ligne Microruban (Micro strip Line Feed).....	9
I.6.3 Couplage par fente (Aperture Coupled Feed).....	9
I.6.4 Ligne microbande en sandwich (Proximity-coupled feed).....	9
I.7 Méthodes d'analyse	11
I.7.1 Méthodes analytiques.....	11
I.7.2 Méthodes numériques.....	11
I.8 Les avantages et les inconvénients	12
I.8.1 Les avantages.....	12
I.8.2 Les inconvénients.....	12

I.9 Les Applications	13
I.10 Réseaux d'antennes.....	13
I.10.1 Définition.....	13
I.10.2 Types de réseaux d'antennes.....	13
I.10.2.1 Réseaux linéaires.....	14
I.10.2.2 Réseaux circulaires.....	14
I.10.2.3 Réseaux planaires.....	14
I.11 Conclusion.....	14

Chapitre II. Etude des performances d'une antenne patch rectangulaire

II.1 Introduction.....	15
II.2 Cahier des charges de travail.....	15
II.3 La bande 2.4 GHz.....	15
II.4 Dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 2.4$ GHz.....	16
II.4.1 Dimensions du patch.....	17
II.4.2 Dimensions du substrat.....	18
II.4.3 Différentes valeurs des paramètres géométriques de l'antenne.....	18
II.5 Paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence 2.3-2.5GHz...18	
II.5.1 Coefficient de réflexion (paramètre S11) en fonction de la fréquence.....	18
II.5.2 Bande passante.....	19
II.5.3 Taux d'onde stationnaire TOS.....	19
II.5.4 Diagramme de rayonnement.....	20
II.5.5 Gain	23
II.5.6 Directivité.....	26
II.5.7 Rendement.....	27
II.6 conclusion.....	28

Chapitre III. Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires avec deux différentes configurations

III.1 Introduction	29
III.2 Première configuration d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires (4*1)	29
III.2.1 Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (première configuration)	29
III.2.2 Bande passante (première configuration)	30
III.2.3 Taux d'onde stationnaire (TOS) (première configuration)	31
III.2.4 Diagramme de rayonnement (première configuration)	31
III.2.5 Gain (première configuration)	34
III.2.6 Directivité (première configuration)	38
III.2.7 rendement (première configuration)	39
III.3 Deuxième configuration d'un réseau d'antennes patch (4*1)	39
III.3.1 Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (deuxième configuration)	40
III.3.2 Bande passante (deuxième configuration)	41
III.3.3 Taux d'onde stationnaire (TOS) (deuxième configuration)	41
III.3.4 Diagramme de rayonnement (deuxième configuration)	42
III.3.5 Gain (deuxième configuration)	45
III.3.6 Directivité (deuxième configuration)	48
III.3.7 Rendement (deuxième configuration)	49
III.4 Comparaison des résultats	50
III.5 Conclusion	50

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

IV.1	Introduction.....	52
IV.2	Réalisation d'antenne patch rectangulaire.....	52
IV.3	Mesures d'antenne patch réalisé.....	53
IV.4	Résultats de la Mesure du paramètre S11 de l'antenne patch rectangulaire.....	54
IV.5	Conclusion.....	56

Liste des Figures

Chapitre I. Généralité sur les antennes Patchs micro ruban

Figure I.01 : Forme générale d'une antenne patch rectangulaire.....	3
Figure I.02 : différentes formes d'éléments rayonnants.....	3
Figure I.03 : Diagramme de rayonnement polaire d'une antenne patch rectangulaire E ($\varphi = 0$, $\varphi = 90$)	5
Figure I.04 : Modele d'impédance complexe d'une antenne.....	7
Figure I.05 : La Bande passante.....	8
Figure I.06 : Alimentation par sonde coaxiale.....	9
Figure I.07 : Alimentation par ligne microruban.....	9
Figure I.08 : Alimentation par fente.....	10
Figure I.09 : Alimentation couplée par ligne enterrée (Ligne microbande en sandwich).....	10
Figure I.10 : Types Alimentation du réseau d'antenne Microruban.....	13

Chapitre II. Etude des performances d'une antenne patch rectangulaire

Figure II.01 : l'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne microruban.....	16
Figure II.02 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.....	19
Figure II.03 : Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne patch rectangulaire.....	20
Figure II.04 : Diagramme de Rayonnement d'antenne patch rectangulaire dans le plan ($\phi=0^\circ$).....	21
Figure II.05 : Diagramme de Rayonnement d'antenne patch rectangulaire dans le plan ($\phi=90^\circ$).....	22
Figure II.06 : le Gain d'antenne patch rectangulaire dans le plan ($\phi=0^\circ$).....	23
Figure II.07 : le Gain d'antenne patch rectangulaire dans le plan ($\phi=90^\circ$).....	24
Figure II.08 : le Gain en 3D d'antenne patch rectangulaire.....	25
Figure II.09 : Directivité en 3D d'antenne patch rectangulaire.....	26

Chapitre III. Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

Figure III.01 : Structure du réseau d'antennes patches rectangulaires (4*1) (1 ^{er} configuration)	29
Figure III.02 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (1 ^{er} configuration)	30
Figure III.03 : TOS du réseau (4*1) en fonction de f_r (1 ^{er} configuration)	31
Figure III.04 : Diagramme de Rayonnement du réseau d'antennes patches rectangulaires dans le Plan ($\phi=0^\circ$) (1 ^{er} configuration)	32
Figure III.05 : Diagramme de Rayonnement du réseau d'antenne patch rectangulaire dans le plan ($\phi=90^\circ$) (1 ^{er} configuration)	33
Figure III.06 : le Gain du réseau d'antennes patch rectangulaire dans le plan ($\phi=0^\circ$) (1 ^{er} configuration)	34
Figure III.07 : le Gain du réseau d'antennes patch rectangulaire dans le plan ($\phi=90^\circ$) (1 ^{er} configuration)	35
Figure III.08 : le Gain en 3D du réseau d'antennes patches rectangulaires(1 ^{er} configuration)	37
Figure III.09 : la directivité du réseau d'antennes patches rectangulaires(1 ^{er} configuration)	38
Figure III.10 : Structure du réseau d'antennes patches rectangulaires (4*1) (2 ^{eme} configuration)	40
Figure III.11 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (2 ^{eme} configuration)	41
Figure III.12 : TOS du réseau (4*1) en fonction de f_r (2 ^{eme} configuration)	41
Figure III.13 : Diagramme de Rayonnement du réseau d'antennes patches rectangulaires dans le plan ($\phi=0^\circ$) (2 ^{eme} configuration)	42
Figure III.14 : Diagramme de Rayonnement du réseau d'antennes patches rectangulaires dans le plan ($\phi=90^\circ$) (2 ^{eme} configuration)	43
Figure III.15 : le Gain du réseau d'antennes patches rectangulaires dans le plan ($\phi=0^\circ$) (2 ^{eme} configuration)	45
Figure III.16 : le Gain du réseau d'antennes patches rectangulaires dans le plan ($\phi=90^\circ$) (2 ^{eme} configuration)	46
Figure III.17 : le Gain en 3D du réseau d'antennes patches rectangulaires (2 ^{eme} configuration)	47

Figure III.18 : la directivité du réseau d'antennes patches rectangulaires (2 ^{eme} configuration)	48
---	----

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

Figure IV.01 : masque d'antenne patch rectangulaire.....	52
Figure IV.02 : Masque d'antenne patch réalisée.....	53
Figure IV.03 Antenne réalisée avec son plan de masse.....	53
Figure IV.04: antenne patch réalisé connecté avec l'analyseur de réseau.....	54
Figure IV.05 : paramètre S11 sur l'analyseur réseau.....	55
Figure IV.06 : paramètre S11 simulé avec CST.....	56
Figure IV.07 : paramètre S11 mesuré avec analyseur réseau.....	56

Liste des tableaux

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne patch rectangulaire

Tableau II.01 : Cahier des charges de l'antenne patch.....	15
Tableau II.02 : Les caractéristiques de la bande 2.4GHz.....	16
Tableau II.03 : paramètres de l'antenne patch rectangulaire.....	18
Tableau II.04 : gain max d'antenne en dBi pour les plans ($\phi=0^\circ$) et ($\phi=90^\circ$).....	25
Tableau II.05 : Valeurs du rendement de l'antenne patch rectangulaire.....	27
Tableau II.06 : Les caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire.....	28

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

Tableau III.01 : paramètres du réseau d'antennes patch 1 ^{ère} configuration.....	29
Tableau III.02 : Gains max du réseau d'antennes (1 ^{ère} configuration) en dBi pour les plans ($\phi=0^\circ$) et ($\phi=90^\circ$).....	36
Tableau III.03 : valeurs du rendement du réseau d'antennes (1 ^{ère} configuration)	39
Tableau III.04 : paramètres du réseau d'antennes patch 2 ^{ème} configuration.....	40
Tableau III.05 : Gains max du réseau d'antennes (2 ^{ème} configuration) en dBi pour les plans ($\phi=0^\circ$) et ($\phi=90^\circ$).....	47
Tableau III.06 : valeurs du rendement du réseau d'antennes (2 ^{ème} configuration).....	49
Tableau III.07 : Comparaison entre les résultats de simulation d'une antenne patch et du réseau d'antennes (4*1).....	50

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

Tableau IV.01 : Tableau comparatif entre les caractéristiques mesurées et simulées de l'antenne patch rectangulaire.....	55
--	----

Introduction Générale

Aujourd'hui l'industrie des télécommunications porte un grand intérêt à la miniaturisation des circuits et composants électroniques. En ce qui concerne les objets communicants cet effort se concentre notamment sur les antennes qui sont devenues des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

Il existe de nombreuses antennes cependant leur intégration dans les dispositifs électroniques et informatiques occupe un espace important. C'est à cela que l'antenne patch tire son avantage. Cette antenne est caractérisée par sa petite taille, son faible coût, son profil bas, sa possibilité de se mettre en réseaux, sa portabilité et ses bonnes performances. Ces caractéristiques lui permettent d'être intégrée aisément dans les circuits imprimés.

Les antennes patch deviennent de plus en plus utiles car elles peuvent être imprimées directement sur un circuit imprimé. Elles sont de plus en plus répandues sur le marché de la téléphonie mobile.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire, consiste en l'étude, la conception et la réalisation sur circuit imprimé d'une antenne patch rectangulaire et d'un réseau de quatre antennes simple.

Notre mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

Le premier chapitre est consacré à une description générale des antennes imprimées. Leur principe de fonctionnement et leurs caractéristiques et applications sont passés en revue. Leurs méthodes d'alimentation et d'analyse, ainsi leurs avantages et inconvénients sont aussi passés en revue.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception et l'étude des performances d'une antenne patch rectangulaire travaillant aux fréquences de 2.4GHz-2.5GHz qui correspondent à la norme IEEE802.11b, g et n dont la principale application est la technologie WiFi.

Le troisième chapitre est dédié à l'étude des performances de deux structures d'un réseau d'antennes constitué de quatre antennes identiques à celle étudiée au chapitre 2 suscitée. Dans ce cas aussi, l'étude a été menée en utilisant le simulateur électromagnétique CST.

Dans le quatrième chapitre on présente le circuit imprimé que nous avons réalisé, de l'antenne patch rectangulaire étudiée au deuxième chapitre. On présente aussi ses différentes caractéristiques que nous avons mesurées à l'aide d'un analyseur de réseau au niveau du laboratoire DIC du département d'électronique. Les résultats pratiques sont ensuite comparés à ceux obtenus par simulation.

Une conclusion générale clôt notre mémoire de fin d'études.

Chapitre I : Généralités sur les antennes patches micro ruban

I.1 Introduction

Dans ce qui suit nous allons donner un bref historique des antennes patch. Ensuite on passe en revue le principe de fonctionnement de ces antennes, leurs caractéristiques fondamentales telles que le gain, la directivité, le rendement, le coefficient de réflexion, le diagramme de rayonnement, la bande passante et la fréquence de résonance. On présente aussi leurs méthodes d'alimentation et d'analyse, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

I.2 Historique

Le concept des antennes patch a été proposé par Deschamps en 1953. Ce n'est qu'aux années soixante-dix que les premières applications de ce type d'antennes ont vu le jour. Par la suite, les caractéristiques des patches micro rubans rectangulaires furent publiées par Howell. De son côté, Weinschel, développa plusieurs géométries de patches micro rubans pour l'usage en réseau cylindrique. La première analyse mathématique d'une grande variété de patches de micro ruban fut publiée en 1977. A la fin des années 70, les antennes micro rubans sont devenues plus connues et utilisées dans divers systèmes de communications. De nos jours, elles sont très utilisées dans les appareils téléphoniques, les ordinateurs portables, les systèmes embarqués comme les missiles, fusées, satellites. [1]

I.3 Description d'une antenne patch

Une antenne patch est une antenne plane de forme particulière. Elle se compose d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique dont la surface porte un ou plusieurs éléments métalliques. Elle se présente sous différentes formes et tailles. Elle a plusieurs qualités souhaitables, y compris un diagramme de rayonnement large qui lui permet d'être intégrée dans des réseaux bidimensionnels.

Les éléments et les lignes d'alimentation de ces antennes sont généralement photogravés sur le substrat diélectrique. Ces antennes sont à profil bas, conformables aux surfaces planes et non planes, simples et peu coûteuses à fabriquer en utilisant la technologie moderne des circuits imprimés. Elles sont mécaniquement robustes lorsqu'elles sont montées sur des surfaces rigides [2].

La structure de base de l'antenne patch est représentée par (la figure I.01) avec les différentes dimensions suivantes :

L : Longueur du patch

t : épaisseur du patch

W : Largeur du patch

h : épaisseur du substrat

Chapitre I : Généralités sur les antennes patchs micro ruban

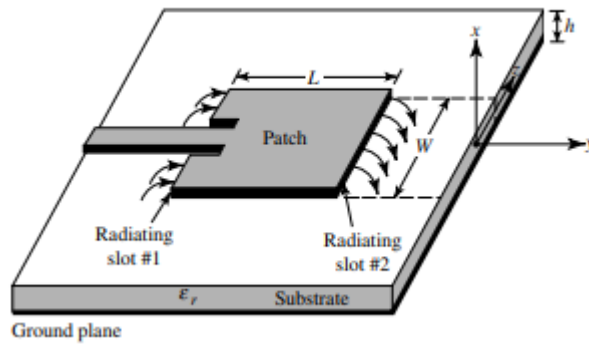


Figure I.01 : Forme générale d'une antenne patch rectangulaire.[2]

La forme du patch conducteur peut être variée. Elle influe sur la nature du rayonnement. (La figure I.02) représente les formes les plus fréquemment utilisées.

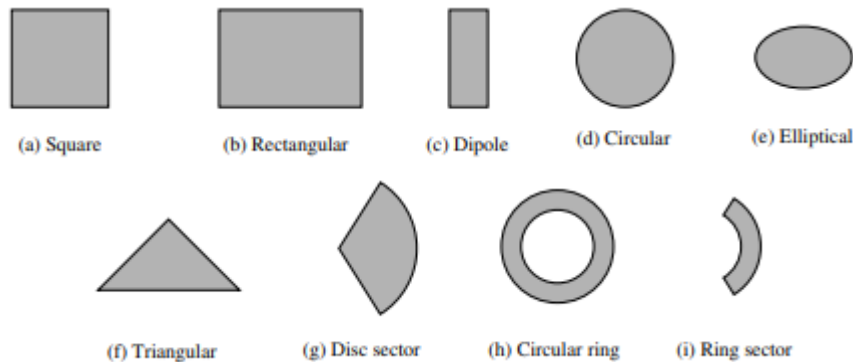


Figure I.02 : différentes formes d'éléments rayonnants. [2]

I.3.1 Le substrat

Il existe de nombreux substrats utilisables pour la conception d'antennes micro ruban, et leurs constantes diélectriques sont généralement de l'ordre de ($2,2 < \epsilon_r < 12$). Celles qui sont les plus souhaitables pour de bonnes performances d'antenne sont des substrats épais dont le diélectrique constant est dans la partie inférieure de la plaque car ils offrent une meilleure efficacité, plus grande bande passante, champs vaguement liés pour le rayonnement dans l'espace, mais au détriment de plus grande taille de l'élément. Des substrats minces avec des constantes diélectriques plus élevées sont souhaitables pour les circuits micro-ondes car ils nécessitent des champs étroitement liés pour minimiser le rayonnement et le couplage, et conduisent à des tailles d'éléments plus petites [2]. Le but du substrat est principalement de fournir un support mécanique des éléments de patch rayonnants et pour maintenir l'espacement de précision requis entre le patch et son plan de masse. Avec une constante

Chapitre I : Généralités sur les antennes patches micro ruban

diélectrique plus élevée du matériau du substrat, la taille du patch peut également être réduite [3].

1.3.2 Le patch

Le Patch est la partie métallique de l'antenne (cuivre) qui peut être de forme rectangulaire, carrée, circulaire, triangulaire, annulaire ou elliptique. Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission (micro-ruban) qui doit présenter une adaptation d'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion [4].

- Longueur du patch :

La longueur du patch détermine les fréquences de résonance de l'antenne. Elle est légèrement inférieure à la longueur d'onde dans le diélectrique. A cette fréquence d'opération, λ dépend de la constante diélectrique efficace ϵ_{eff} . [5]

- Largeur du patch :

La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance et sur le diagramme de rayonnement de l'antenne. Par contre, elle joue un rôle pour l'impédance d'entrée de l'antenne et la bande passante à ses résonances [5].

1.3.2 Le plan de masse

C'est une surface de cuivre permettant de faire rayonner la partie supérieure de l'antenne. Par conséquent, le diagramme de rayonnement de l'antenne patch est directif [5].

1.4 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une antenne patch rectangulaire, est basé sur la création des champs électrique et magnétique dans le substrat entre patch et le plan de masse. Ce phénomène permet le rayonnement des ondes qui se propagent dans l'air avec une vitesse de propagation dans le vide v_0 égale à la vitesse de la lumière dans l'espace $c = v_0 = 3.108m/s$. Deux modèles sont utilisés pour comprendre le fonctionnement d'une antenne patch et déterminer des formules analytiques de leur rayonnement et de leur impédance d'entrée. Pour le premier modèle, une antenne patch peut être vue comme une ligne de transmission (ligne micro ruban) ouverte à chacune de ses extrémités. Ces 2 discontinuités se comportent comme deux extrémités rayonnantes.

La deuxième manière de traiter une antenne patch est de la considérer comme une cavité résonante, formée par le patch, le plan de masse et les 4 bords. En basse fréquence, la cavité peut être considérée comme une capacité qui stocke des charges et dans laquelle un champ électrique uniforme est créé entre le patch et le plan de masse [6].

I.5 Les caractéristiques des antennes patchs

Les performances d'une antenne peuvent être évaluées à partir de ses paramètres tels que la directivité, le diagramme de rayonnement, la bande passante, la polarisation, etc. et qui sont présentés ci-dessous.

I.5.1 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement (la figure I.03) représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace (θ_0, ϕ_0) dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale. Il est important de noter que le diagramme de rayonnement n'a de sens que si l'onde est sphérique. On trace dans le diagramme de rayonnement la fonction caractéristique de rayonnement $r(\theta, \phi)$, qui varie entre 0 et 1 selon la direction. Celui-ci peut se représenter sous différentes formes. En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans horizontaux ($\theta = 90^\circ$) et verticaux ($\phi = \text{constante}$), ou bien dans les plans E et H.

Le rayonnement d'une antenne patch rectangulaire est similaire à celui d'un dipôle orienté dans l'axe x. La polarisation du champ rayonnée est rectiligne. Le rayonnement est dépendant de θ et ϕ . Il est concentré dans le lobe principal orienté vers la verticale du patch ($\theta = 0^\circ$). En raison du plan de masse, le rayonnement ne se fait que dans le demi-plan au-dessus du plan de masse. [6]

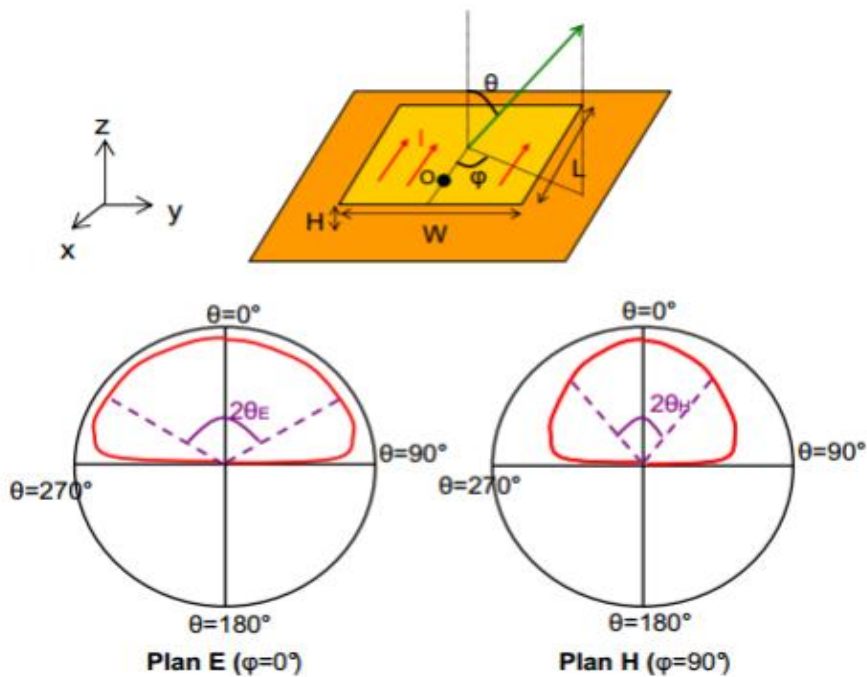


Figure I.03 : Diagramme de rayonnement polaire d'une antenne patch rectangulaire ($\phi = 0, \phi = 90$). [6]

I.5.2 La directivité

La directivité $D(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport entre la puissance Rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \phi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope. Elle donnée par l'expression suivante [6] :

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_R} \quad (1.01)$$

I.5.3 Le gain

Le gain $G(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \phi)$ sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maxima $I(\theta_0, \phi_0)$. Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_A} \Rightarrow G = 4\pi \frac{P(\theta_0, \phi_0)}{P_A} \quad (1.02)$$

I.5.4 Rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée P_A sous forme de puissance rayonnée P_R . On le définit comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie. Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. D'après les équations (I.01) et (I.02), le rendement relie le gain et la directivité suivant la relation donnée ci-dessous. Il est donné par [6] :

$$P_R = \eta \cdot P_A \Rightarrow G = \eta \cdot D \quad (1.03)$$

I.5.5 Modèle électrique d'une antenne :

D'un point de vue électrique, une antenne passive peut être modélisée par un circuit équivalent RLC (Figure I.04, valable pour une antenne dipôle) et l'impédance Z_{in} vue à l'entrée de l'antenne est donnée par l'équation 1.05. A noter que les valeurs du modèle ne sont valides que sur des bandes étroites [6].

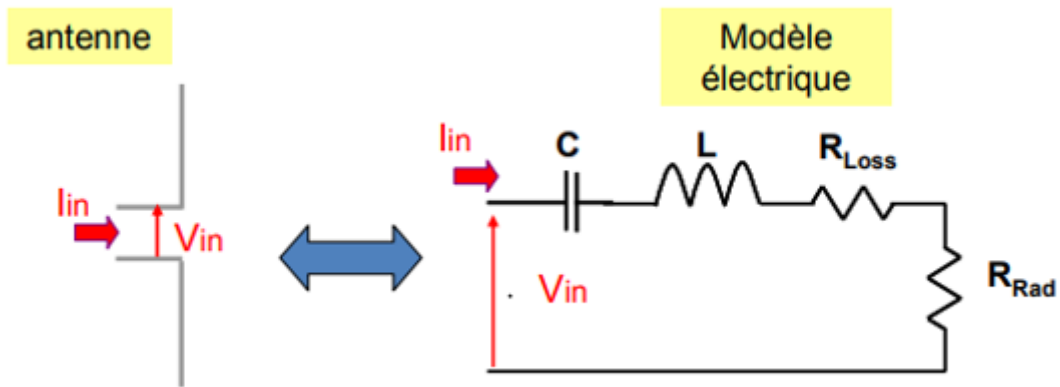


Figure I.04 : Modèle d'impédance complexe d'une antenne. [6]

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in} \quad (1.04)$$

Où

$R_{in} = R_{rad} + R_{pertes}$: la partie active, avec

R_{rad} : résistance de radiation

R_{pertes} : résistance des pertes

$X_{in} = L\omega - \frac{1}{C\omega}$ partie réactive

1.5.6 Le coefficient de réflexion (**S11**) « return Loss »

Le coefficient de réflexion est un paramètre important lorsqu'on examine une antenne. C'est le rapport entre l'onde réfléchie en entrée de l'antenne et l'onde incidente. Il dépend de l'impédance d'entrée Z_{in} de l'antenne et de l'impédance caractéristique Z_c (en général $Z_c = 50\Omega$). Il est donné par [6] :

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (1.05)$$

1.5.7 La bande passante

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique est d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB sur la bande passante [6].

Chapitre I : Généralités sur les antennes patchs micro ruban

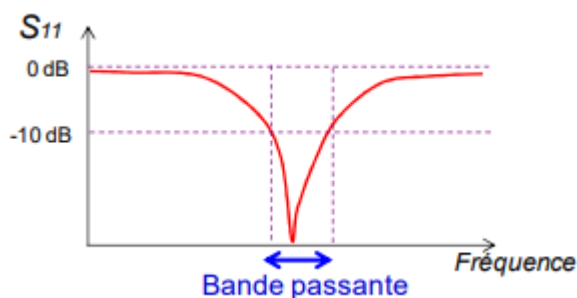


Figure I.04 : La Bande passante. [6]

I.5.8 La Polarisation

La polarisation d'une onde dépend de la géométrie et de la polarisation électrique de l'antenne émettrice. Pour déterminer la polarisation d'une antenne on utilise les propriétés de symétrie du champ électromagnétique. La plupart des antennes présentent des polarisations rectilignes. Dans une utilisation terrestre, les antennes peuvent être montées horizontalement ou verticalement, donnant à l'antenne une polarisation horizontale ou verticale. En termes d'installation et d'encombrement, une antenne verticale est meilleure. Cependant, le choix de la polarisation dépend surtout des conditions de propagation. Par exemple, la propagation d'une onde électromagnétique dans un environnement réel dépend de sa polarisation. L'utilisation conjointe des polarisations horizontales et verticales (diversité de polarisation) permet de compenser les effets parasites du canal de propagation. [6]

I.6 Méthodes d'alimentation

Il existe de nombreuses configurations qui peuvent être utilisées pour alimenter des antennes micro ruban. Les quatre les plus populaires sont la ligne micro ruban, la sonde coaxiale, le couplage d'ouverture et la proximité accouplement [2].

I.6.1 Sonde coaxiale

Dans cette méthode, le conducteur interne du câble coaxial est relié au rayonnement patch tandis que le conducteur extérieur est connecté au plan de masse (la figure I.05). L'alimentation de la sonde coaxiale est facile à fabriquer et à assortir. Elle a peu de radiations parasites. Cependant, la sonde coaxiale a une bande passante étroite et il est plus difficile à modéliser, surtout pour les substrats épais ($h > 0,02\lambda_0$). [2]

Chapitre I : Généralités sur les antennes patches micro ruban

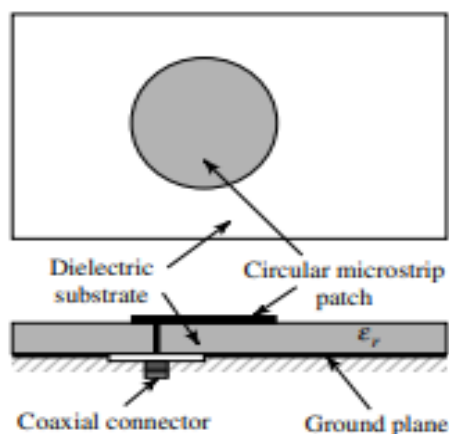


Figure I.05 : Alimentation par sonde coaxiale. [2]

1.6.2 Ligne microruban (Micro strip Line Feed)

Cette technique que nous avons utilisée dans notre travail est la moins coûteuse et la plus aisée à réaliser. Elle est simple à adapter au patch. L'antenne, (la Figure I.06), est connectée à une ligne d'impédance caractéristique qui est fonction de sa largeur, épaisseur et le matériau du diélectrique utilisé. Le choix de la ligne d'alimentation peut s'effectuer de la façon suivante : une fois la dimension de l'élément rayonnant choisie, l'impédance en bord est soit mesurée à l'aide d'une ligne d'alimentation d'impédance caractéristique 50Ω , soit calculée.

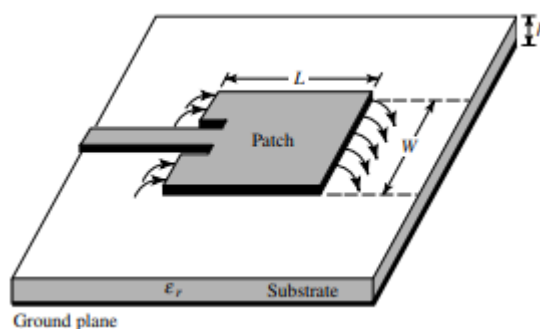


Figure I.06 : Alimentation par ligne micro ruban. [2]

1.6.3 Couplage par fente (Aperture Coupled Feed)

Le couplage par fente est représenté par (la figure I.07). Le couplage à travers la fente peut être modélisé en utilisant la théorie de Bethe, qui est également utilisé pour tenir compte du couplage à travers une petite ouverture dans un plan conducteur. Cette théorie a été utilisée avec succès pour analyser des coupleurs de guides d'ondes utilisant le couplage par trous. Dans cette théorie, la fente est représentée par un dipôle électrique normal équivalent pour tenir compte de la composante normale (à la fente) du champ électrique, et un équivalent dipôle magnétique horizontal pour tenir compte de la composante tangentielle (à la fente) du

Chapitre I : Généralités sur les antennes patches micro ruban

champ magnétique. Si le slot est centré en dessous du patch, où idéalement le mode dominant du champ électrique est nul alors que le champ magnétique est maximum, le couplage magnétique dominera [2].

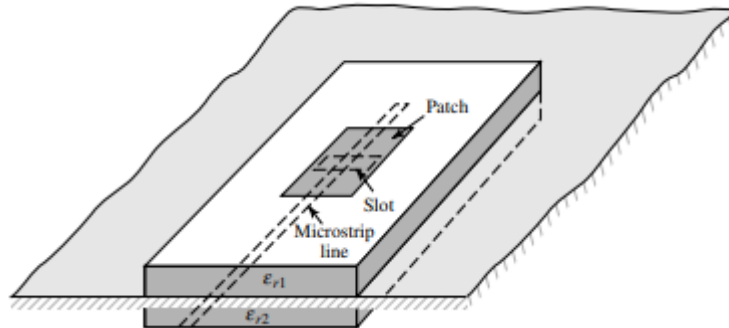


Figure I.07 : Alimentation par fente. [2]

1.6.3 Ligne microbande en sandwich (Proximity-coupled feed)

L'alimentation par ligne microbande en sandwich est schématisée par (la figure I.08). Le couplage a la plus grande bande passante (jusqu'à 13 %). Il est assez facile à modéliser et a un faible rayonnement parasite. Cependant sa fabrication est un peu plus difficile, la longueur du talon d'alimentation et le rapport largeur/ligne du patch peuvent être utilisés pour contrôler le patch [2].

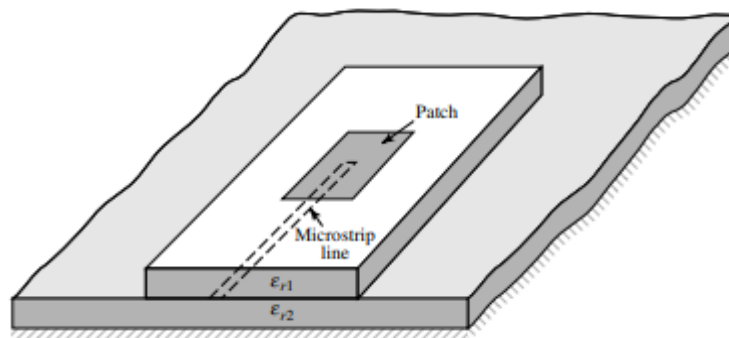


Figure I.08 : Alimentation couplée par ligne enterrée (Ligne microbande en sandwich). [2]

I.7 Méthodes d'analyse

I.7.1 Méthodes analytiques

- Modèle de la ligne de transmission :

Le modèle de ligne de transmission est simple, intuitivement attrayant et rapide en calcul, mais il souffre d'une précision limitée. Par exemple, ce modèle n'a pas le rayonnement de bords non rayonnants du patch, et il n'a pas de couplage mutuel entre les deux fentes rayonnantes. Bien que ce modèle ait conduit à une version bien améliorée, il manque la flexibilité et la généralisation de l'analyse d'autres formes de patch. [3]

- Modèle de la cavité :

Tout radiateur micro ruban peut être considéré comme une cavité ouverte délimitée par le patch et son plan de masse. Les bords ouverts peuvent également être représenté par des parois magnétiques rayonnantes. [3]

I.7.2 Méthodes numériques

- **La méthode des moments (MOM) :**

La méthode des moments est une méthode bidimensionnelle (2D) d'intégration. Elle est considérée comme très précise et inclut les effets de couplage entre deux éléments de courant de surface ainsi que l'effet d'onde de surface dans le diélectrique. Le temps de calcul de cette méthode est plus important que le modèle de la ligne de transmission et le modèle de cavité. [3]

- **La méthode des éléments finis (FEM) :**

La méthode des éléments finis est une technique numérique de résolution de problèmes décrits par des équations dérivées partielles ou peut être formulée comme une minimisation fonctionnelle. C'est une méthode tridimensionnelle dans laquelle un domaine d'intérêt est représenté comme un assemblage d'éléments finis. Les fonctions d'approximation en éléments finis sont déterminées en termes de valeurs nodales d'un champ physique recherché. Un problème physique continue est transformé en un problème d'éléments finis discrétisés avec des valeurs nodales inconnues. Pour un problème linéaire, un système d'équations algébriques linéaires doit être résolu. Les valeurs à l'intérieur des éléments finis peuvent être récupérées à l'aide de valeurs nodales.

Deux caractéristiques de la méthode des éléments finis mérités d'être mentionnés :

L'approximation par morceaux du champ physique sur les éléments finis fournit une bonne précision même avec des fonctions d'approximation simples.

L'approximation localisée conduit à des systèmes d'équations parcimonieux pour un problème discrétisé. Ceci aide à résoudre des problèmes avec un très grand nombre d'inconnues nodales.

Chapitre I : Généralités sur les antennes patchs micro ruban

• La méthode des différences finies (FDTD) :

Cette méthode est une méthode tridimensionnelle. Elle permet de résoudre des équations différentielles en approximant des dérivées avec des différences finies. Le domaine spatial et l'intervalle de temps (le cas échéant) sont discrétisés ou divisés en un nombre fini d'étapes, et la valeur de la solution en ces points discrets est approximée en résolvant des équations algébriques contenant des différences finies et des valeurs des nœuds voisins. Cette méthode convertit les équations différentielles ordinaires (ODE) ou les équations aux dérivées partielles (PDE), qui peuvent être non linéaires, en un système d'équations linéaires pouvant être résolues par des techniques d'algèbre matricielle. Aujourd'hui, les FDM sont l'une des approches les plus courantes pour la résolution numérique des EDP, avec les méthodes des éléments finis.

I.8. Les avantages et les inconvénients

Il y a des avantages ainsi que des inconvénients associés à l'antenne patch [3].

I.8.1 Les avantages

- Faible masse, faible volume,
- Faible épaisseur.
- Possibilité d'être imprimée sur des substrats souples.
- Possibilité d'être intégrée dans des appareils électroniques transportables (Téléphones mobiles, ordinateurs personnels (PC), assistants personnels (PDA), récepteurs portables GPS, transpondeurs RFID, appareils photos numériques).
- Facilités de fabrication
- Mise en réseau
- Intégration aisée de composants ou de circuits actifs hybrides (Réseaux linéaires ou planaires Technologie MIC « composants rapportés »).
- Faible coût de fabrication (Production automatisée de masse).

I.8.2 Les inconvénients

- Bande passante souvent étroite, de l'ordre de 2 à 5 %. [2]
- Directivité faible pour un élément seul. Le gain peut être augmenté lors de la mise d'éléments en réseau.
- Faible tenue en puissance (Quelques watts à quelques dizaines de watts).
- Rendement limité de surface : [4]
 - ✓ Par les pertes diélectriques
 - ✓ Par l'excitation d'ondes de surface dans le diélectrique.
 - ✓ Par les pertes dans les lignes d'alimentation
- Risque de rayonnement parasite dû aux jonctions avec l'alimentation ou à la limitation du plan de masse.
- Difficulté d'élaborer des antennes à haute pureté de polarisation.
- Problème de tolérances de fabrication si les motifs imprimés sont petits

I.9. Les applications

Les antennes patchs sont utilisées dans de nombreuses applications, les principales applications sont :

- Diverses technologies de télécommunication comme le Bluetooth, le Wifi, le GPS (Global Positioning System).
- Système de RADAR pour les véhicules pour connaître la distance par rapport à un obstacle par exemple.
- Guidage des missiles et des avions dans l'aviation civile.
- La Téléphonie mobile.
- Les télécommunications spatiales.

I.10 Réseaux d'antennes

I.10.1 Définition

L'idée est de combiner le rayonnement de plusieurs éléments rayonnants afin d'accroître le rayonnement de l'antenne dans une ou plusieurs directions données. Le réseau d'antennes (la figure I.09) comprend les différents éléments rayonnants ainsi que les structures permettant de modifier l'excitation de chaque élément rayonnant. Les éléments peuvent être quelconques : dipôles, patchs, fentes rayonnantes. L'unique condition est que la mise en réseau de ces éléments ne modifie pas leurs caractéristiques propres. Par rapport aux éléments rayonnants, le gain et l'angle d'ouverture du réseau d'antenne seront donc modifiés [6].

Il y a deux types d'alimentations d'un réseau d'antennes en série ou en parallèle ou la combinaison des deux (la figure I.09).

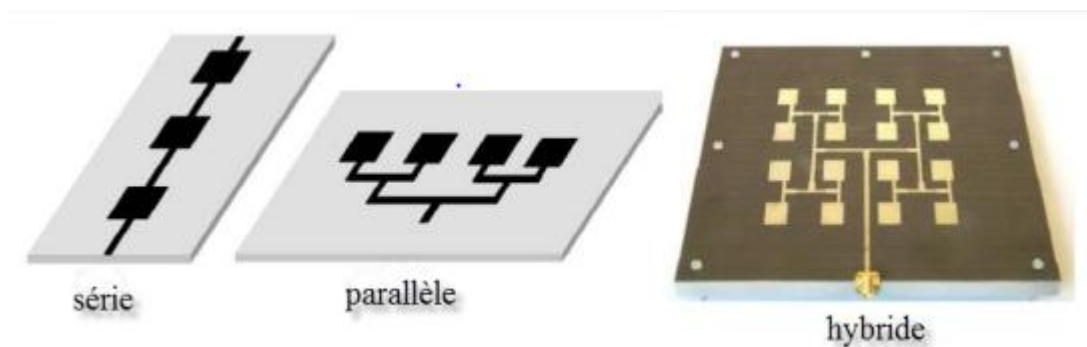


Figure I.09 : Types Alimentation de réseau d'antenne patch.

I.10.2 Types de réseaux d'antennes

Il existe plusieurs configurations géométriques des réseaux d'antennes que l'on peut regrouper comme suit : réseau linéaire, réseau circulaire, réseau planaire (forme rectangulaire ou circulaire).

Chapitre I : Généralités sur les antennes patchs micro ruban

I.10.2.1 Réseaux linéaires

Un réseau linéaire est un réseau où les sources sont alignées le long d'une ligne droite et espacées d'une distance constante. Dans ce cas, les propriétés de la mise en réseau apparaissent dans le plan contenant les sources et la normale aux sources élémentaires, soit pour $\phi=0$ dans le repère choisi. [7]

I.10.2.2 Réseaux circulaires

Un réseau circulaire est un réseau où les éléments rayonnants sont répartis sur le périmètre d'un cercle et d'espacements égaux, Le plan où l'analyse de réseau se limite est le plan horizontal. Il est caractérisé par les coordonnées polaires. [8]

I.10.2.3 Réseaux planaires

Un réseau planaire est un arrangement d'antennes dans un plan, Il y a deux formes de réseaux planaires [9] [10].

- Le réseau planaire de forme rectangulaire qui est une généralisation du plan du réseau linéaire. Le cas le plus simple à mettre en équation correspond à la mise en réseau selon un maillage rectangulaire d'éléments rayonnants.
- Le réseau planaire de forme circulaire est une configuration intéressante car il permet une répartition azimutale des lobes secondaires et réduit ainsi leurs niveaux.

I.11. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les éléments de base des antennes patch rectangulaires tels que leurs structures, leurs principes de fonctionnement, leurs caractéristiques (le gain, la directivité, le coefficient de réflexion...), leurs méthodes d'alimentations, les méthodes d'analyses, leurs avantages et inconvénients, ainsi que les domaines de leurs applications. En dernier lieu, une présentation de quelques types des réseaux d'antennes clôt ce chapitre.

Le chapitre suivant portera sur la conception et l'étude des performances de ce type d'antennes aux fréquences 2.4GHz et 2.5GHz en utilisant le simulateur CST.

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

II.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de concevoir et d'étudier les performances des antennes patches rectangulaires alimentées par des lignes micro ruban de fréquences de travail $f_0 = 2.4\text{GHz}$. Le logiciel utilisé pour la simulation de l'antenne s'appelle CST (Computer Simulation Technology). Il s'agit d'un outil puissant qui étudie et simule des structures complexes en trois dimensions. Il est exploité notamment pour le calcul des paramètres S11, TOS, le gain et la visualisation du diagramme de rayonnement en 2D ou 3D.

II.2 Cahier des charges de travail

Les caractéristiques de l'antenne à réaliser dans ce projet sont données dans le tableau II.1 suivant :

Paramètres		Valeurs
La Bande Passante		[2.3 GHz _2.5 GHz]
Adaptation	L'Industrie	$S_{11} \leq -6 \text{ dB}$
	La Recherche	$S_{11} \leq -10 \text{ dB}$
Taille		Plus compact possible
Alimentation		Ligne micro ruban avec $Z=50 \Omega$
Type de Substrat (existant sur le marché algérien)		FR4 époxy ($h = 1.6 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 4.4$, $\mu_r=1$, $\delta=0.02$)
Tableau II.01 : Cahier des charges de l'antenne patch.		

II.3 La bande 2.4 GHz

La bande 2.4 GHz dite bande S devient très utilisée, Elle appartient à la bande ISM (Industriel, scientifique et médicale). Le spectre radio affecté au Wi-Fi débute à 2 400 MHz, il se termine à 2 483,5 MHz. La puissance maximale autorisée (à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments) ou PIRE (puissance isotrope rayonnée équivalente) est de 100 mW en France dans la bande des 2,4 GHz.

La plupart de dispositifs tels que les dispositifs Bluetooth, les téléphones sans fil, les micro-ondes, et l'ordinateur utilisent la fréquence de 2.4 GHz. Il est recommandé de sélectionner la bande 2,4 GHz si vous utilisez des ordinateurs pour accéder à Internet pour une navigation simple et envoyer des e-mails. Ces applications ne prennent pas trop de bande passante et fonctionnent bien à une plus grande distance. La 5 GHz a un spectre plus large sans fil disponible comparé avec la 2.4 GHz, ce qui donne des performances plus significatives puisque la 5 GHz est généralement utilisée pour l'utilisation qui nécessite un débit ininterrompu. C'est pourquoi il est recommandé pour diffuser les médias en streaming et le transfert de la musique, des photos, et des vidéos sur votre réseau domestique. [11]

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

Les caractéristiques de la bande 2.4GHz sont données dans le tableau suivant [11] :

Bande	2.4 GHz
Canal	Trois canaux sans chevauchement
Norme	Sans fil-B, G, et N
Gamme du réseau	Plus large portée
Interférence	Supérieure
Tableau II.02 : Les caractéristiques de la bande 2.4GHz.	

II.4 Dimensions optimales de l'antenne patch rectangulaire de fréquence de travail $f_0 = 2.4 \text{ GHz}$

Pour une meilleure pratique, on a envisagé d'illustrer la procédure de caractérisation des antennes à l'aide du simulateur CST, (la figure II.1) montre un exemple d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban.

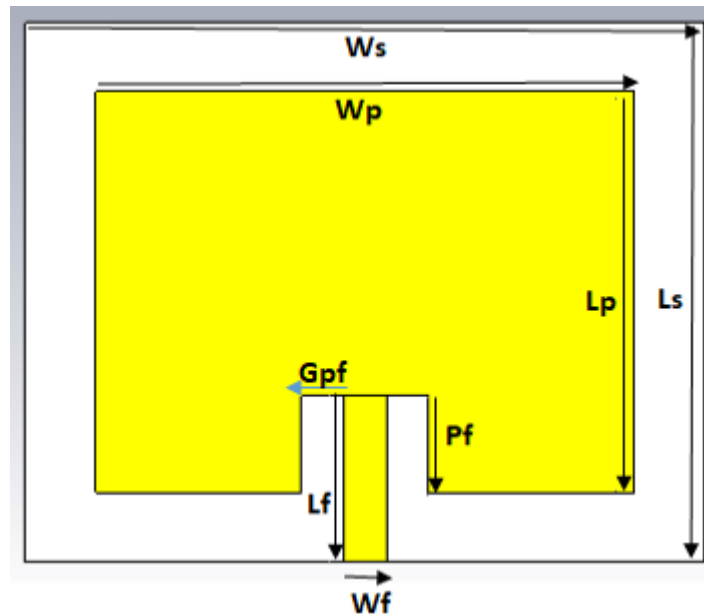


Figure II.01 : l'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro rubane.

Pour pouvoir dimensionner l'antenne patch, il faut d'abord fixer la fréquence de travail de l'antenne et choisir le substrat qui est caractérisé par sa permittivité ϵ_r . L'épaisseur du substrat a une influence majeure sur le comportement de l'antenne. En effet, le choix de son épaisseur suit la condition (2.01) suivante : [12]

$$0.003\lambda \leq h \leq 0.05 \lambda \quad (2.01)$$

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

Avec λ : longueur d'onde.

Et h : épaisseur du substrat.

Puisque notre fréquence de travail est de 2.4 GHz, on a alors :

$$0.375 \leq h \leq 6.25 \text{ [mm]} \quad (2.02)$$

II.4.1 Dimensions du patch

- Largeur W_p du patch :

La largeur du patch est donnée par l'équation (2.03) ci-dessous : [6]

$$W_p = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.03)$$

Où :

c : la vitesse de la lumière.

f_0 : la fréquence de résonance.

ϵ_r : la constante diélectrique du substrat.

- Longueur L_p du patch :

Les ondes se propagent à la fois dans le milieu diélectrique et dans l'air dans une ligne micro ruban. Pour la modélisation, ces deux milieux sont remplacés par un seul milieu caractérisé par une constante diélectrique relative effective ϵ_{reff} telle que : [6]

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w_p} \right]^{-1/2} \quad (2.04)$$

h : étant la hauteur du substrat.

En effet, la longueur L_p du patch est égale à sa longueur effective donnée ci-dessous retranchée de deux ΔL qui correspond au débordement de champ. La longueur ΔL est donnée par l'équation (2.05) ci-dessous : [6]

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3)}{(\epsilon_e - 0.258)} + \frac{\frac{w_p}{h} + 0.264}{\frac{w_p}{h} + 0.8} \quad (2.05)$$

La longueur effective est donnée par : [6]

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.06)$$

La longueur L_p du patch devient alors : [6]

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.07)$$

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

II.4.2 Dimensions du substrat

Le substrat est caractérisé par sa longueur minimale L_s et sa largeur minimale W_s . Ces dimensions sont données par les relations suivantes : [12]

$$L_s = 6h + L \quad (2.08)$$

$$W_s = 6h + W \quad (2.09)$$

Le plan de masse a les mêmes dimensions que le substrat. [12]

II.4.3 Différentes valeurs des paramètres géométriques de l'antenne

Les différentes valeurs des paramètres géométriques de notre antenne sont données dans le tableau II.03 suivant. Elles ont été calculées en utilisant le calculateur des sites donnés ci-dessous :

- https://www.emtalk.com/mscalculator.php?er=5.6&h=1.575&h_units_list=hmm&f=2.4&Zo=70.71&EL=90&Operation=Synthesize&Wa=2.501078307611&W_units_list=Wmm&La=15.459174688634&L_units_list=Lmm
- <https://www.emtalk.com/mpacalculator.php>

Parametres	Ws	Ls	Wp	Lp	H	Ht	Wf	Lf	Pf	Gpf
Longueur (mm)	48	39	38	29	1.6	0.035	3	12	7	3

Tableau II.03 : paramètres de l'antenne patch rectangulaire.

Les dimensions de l'antenne en millimètres sont : $W_s \times L_s = 48 \times 39$.

II.5 Paramètres caractéristiques de l'antenne sur la bande de fréquence [2.3-2.5] GHz

Les résultats des différents paramètres de la simulation de l'antenne patch rectangulaire sont donnés ci-dessous :

II.5.1 Coefficient de réflexion (paramètre S_{11}) en fonction de la fréquence

La figure II.2 présente les variations du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence sur laquelle on peut lire la valeur minimum de $S_{11} = -15.805$ dB pour la fréquence 2.4204 GHz. L'antenne résonne bien à la fréquence souhaitée d'environ 2.4204 GHz avec $S_{11} = -15.805$ dB < -10 dB.

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

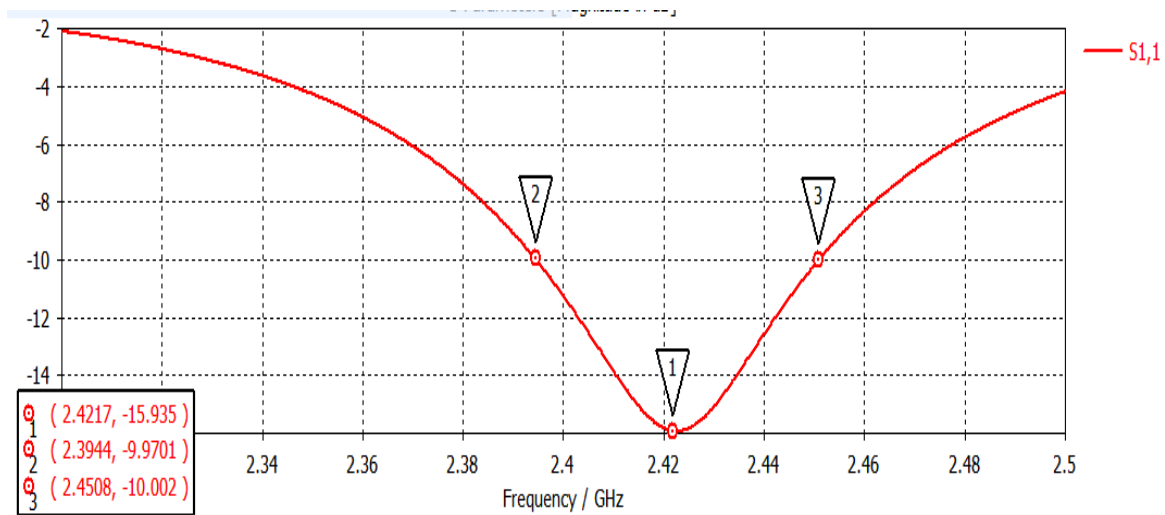


Figure II.02 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

II.5.2 bande passante

La bande passante peut être déduite à partir du graphe du paramètre S_{11} en considérant un certain seuil, généralement (-10dB). A partir de (la figure II.02), on trouve la valeur de la bande passante de l'antenne égale à :

$$Bp = \Delta f = f2 - f1 \\ = 2.4508 - 2.3944 = 0.0564GHz = 56.4 MHz.$$

Il est à noter que la configuration de la largeur de canal à une valeur égale (ou supérieure) à 40MHz permet d'utiliser 2/3 de la totalité de la bande Wi-Fi ; ce qui cause plus d'interférences. Il est conseillé d'utiliser 40MHz dans les zones Wi-Fi moins encombrées et 20MHz dans celles plus encombrées. [11]

II.5.3 Taux d'Ondes Stationnaires(TOS)

La figure II.03 présente les variations du Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne rectangulaire en fonction de la fréquence f dans l'intervalle [2.3GHz _2.5GHz].

D'après la figure la valeur minimum du TOS est égale à 1.387 a la fréquence 2.4204GHz.

En pratique, la bonne adaptation est réalisée lorsque la valeur du TOS est inférieure à 2 : [2]

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

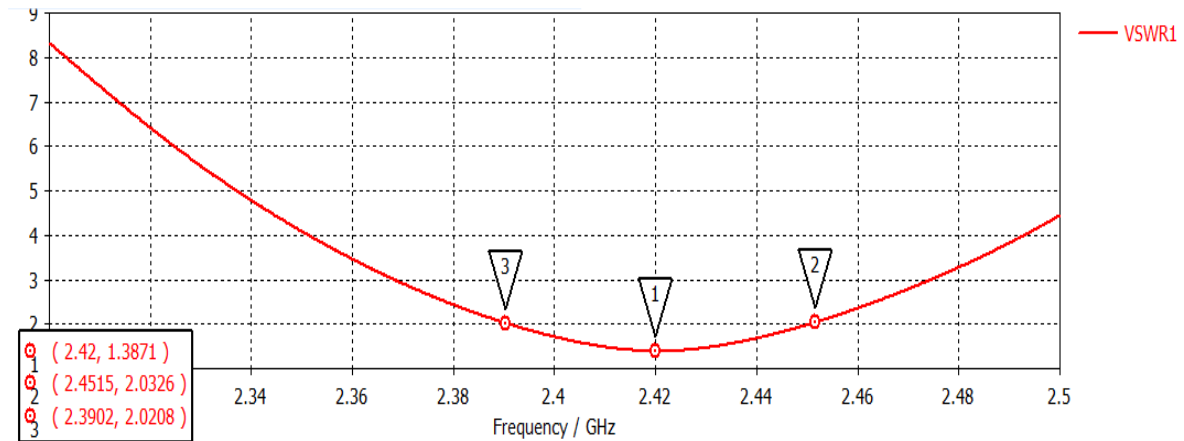


Figure II.03 : Taux d'Onde Stationnaire (TOS) de l'antenne patch rectangulaire.

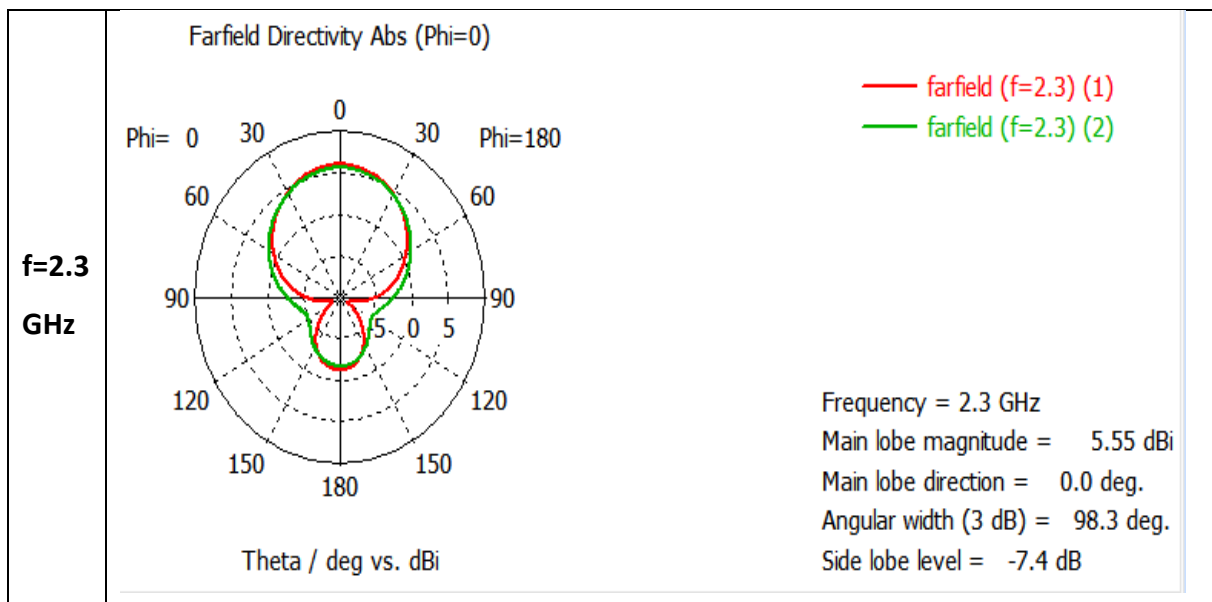
II.5.4 Diagrammes de rayonnement

La figure II.04 présente le diagramme de rayonnement en 2D de l'antenne dans le plan E ($\phi = 0^\circ$) à la fréquence $f=2.3$ GHz, $f= 2.4$ GHz et $f2.5=$ GHz.

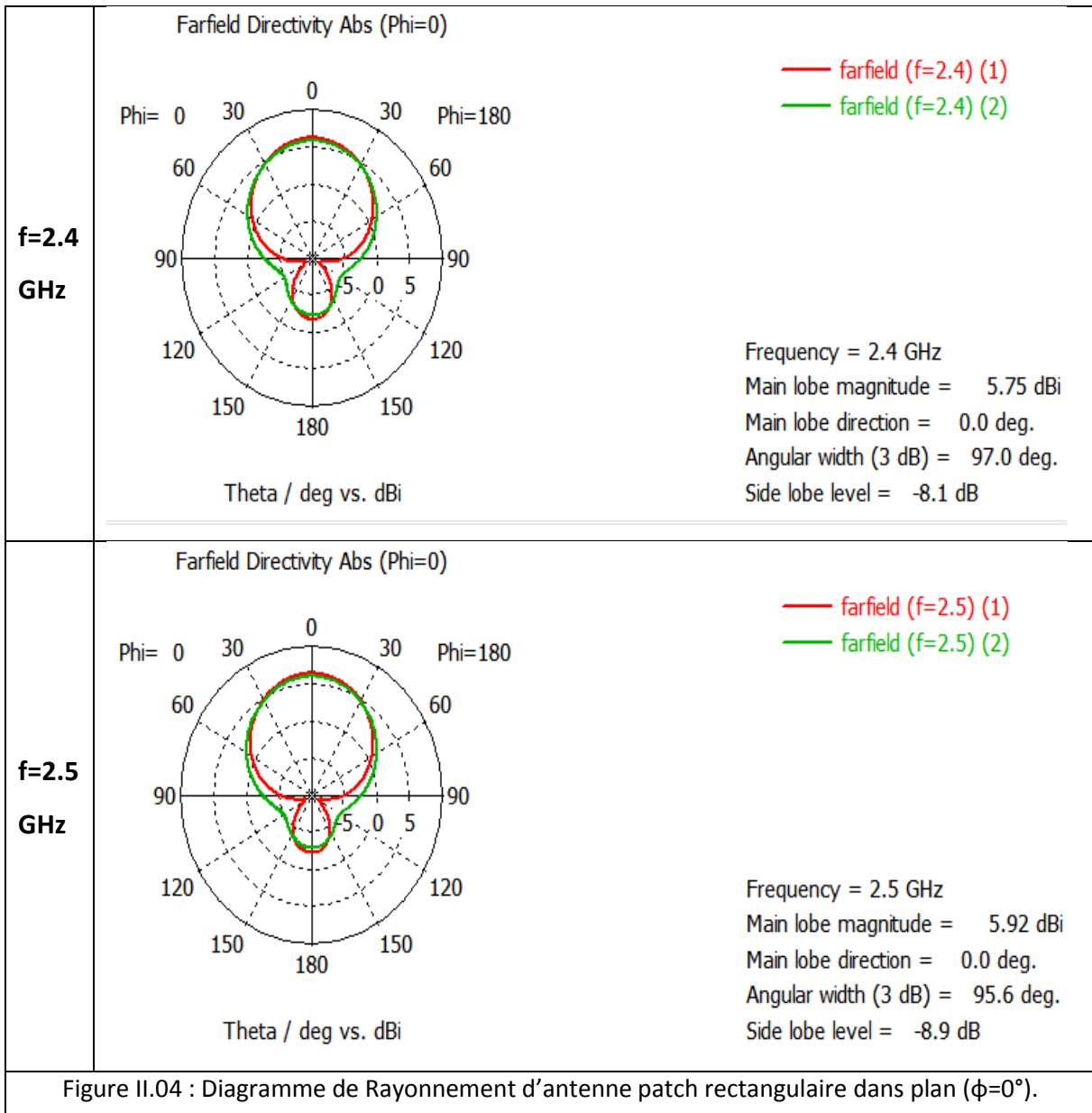
A partir de cette figure on constate que lobe principal est égal à 5.55 dBi pour la fréquence $f=2.3$ GHz, et 5.75 dBi pour la fréquence $f=2.4$ GHz, et 5.92 dBi pour la fréquence $f=2.5$ GHz.

Concernant l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de cette antenne est égale à 98.3° pour la fréquence 2.3 GHz et 97° pour la fréquence 2.4 GHz et 95.6° pour la fréquence 2.5 GHz.

Et ce qui concerne le lobe secondaire de cette antenne est égale à -7.4 dB pour la fréquence 2.3 GHz et -8.1 dB pour la fréquence 2.4 GHz et -8.9 dB pour la fréquence 2.5 GHz.



Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire



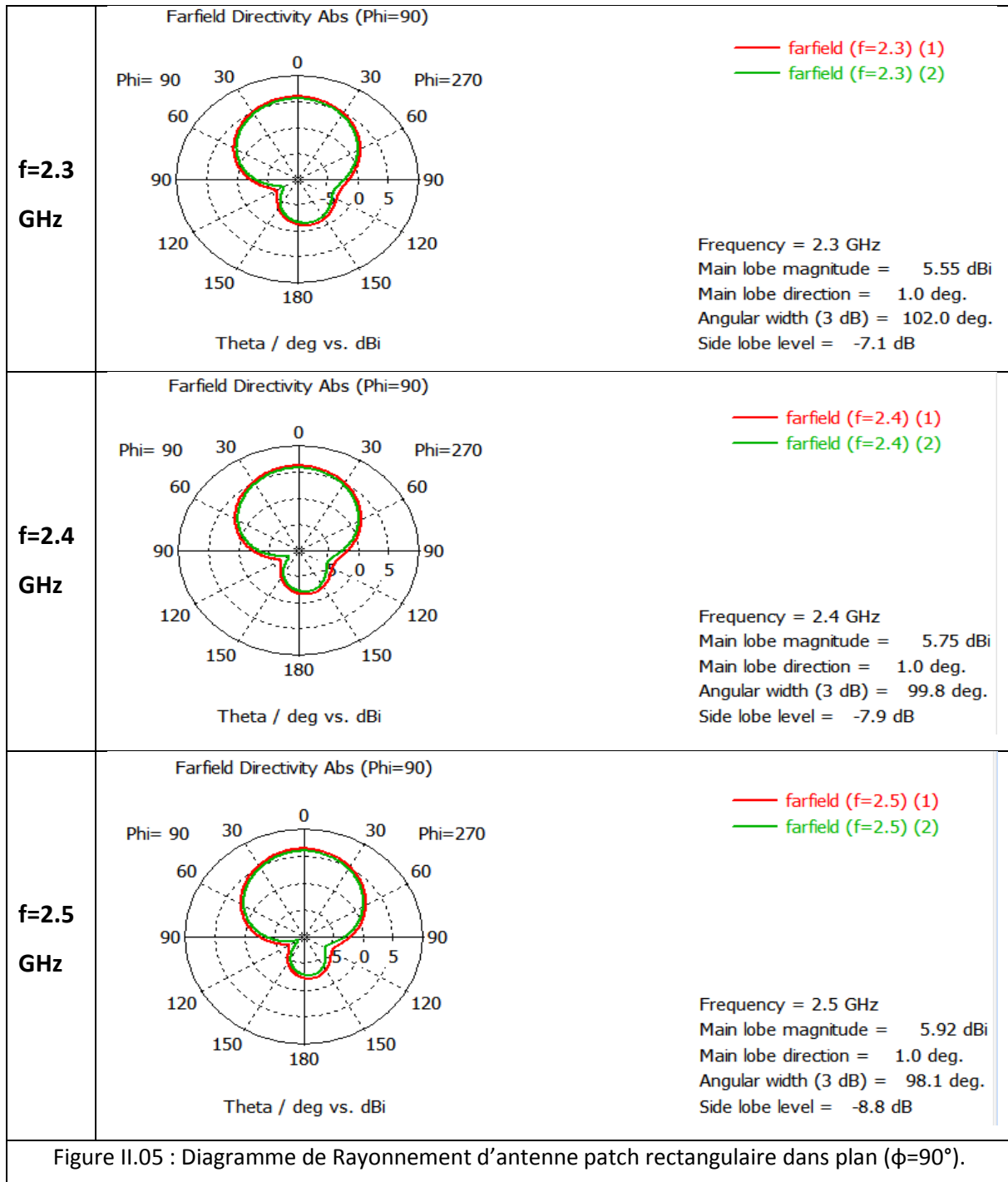
La figure II.05 présente le diagramme de rayonnement en 2D de l'antenne dans le plan E ($\phi = 90^\circ$) à la fréquence $f=2.3$ GHz, $f= 2.4$ GHz et $f2.5=$ GHz.

A partir de cette figure on constate que lobe principal est égal à 5.55 dBi pour la fréquence $f=2.3$ GHz, et 5.75 dBi pour la fréquence $f=2.4$ GHz, et 5.92 dBi pour la fréquence $f=2.5$ GHz.

Concernant l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de cette antenne est égale à 102° pour la fréquence 2.3 GHz et 99.8° pour la fréquence 2.4 GHz et 98.1° pour la fréquence 2.5 GHz.

Et ce qui concerne le lobe secondaire de cette antenne est égale à -7.1 dB pour la fréquence 2.3 GHz et -7.9 dB pour la fréquence 2.4 GHz et -8.8 dB pour la fréquence 2.5 GHz.

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire



Remarque :

Le diagramme de rayonnement d'antenne patch dans le plan ($\phi=0^\circ$) montre que l'antenne est plus directive que celle dans le plan ($\phi=90^\circ$).

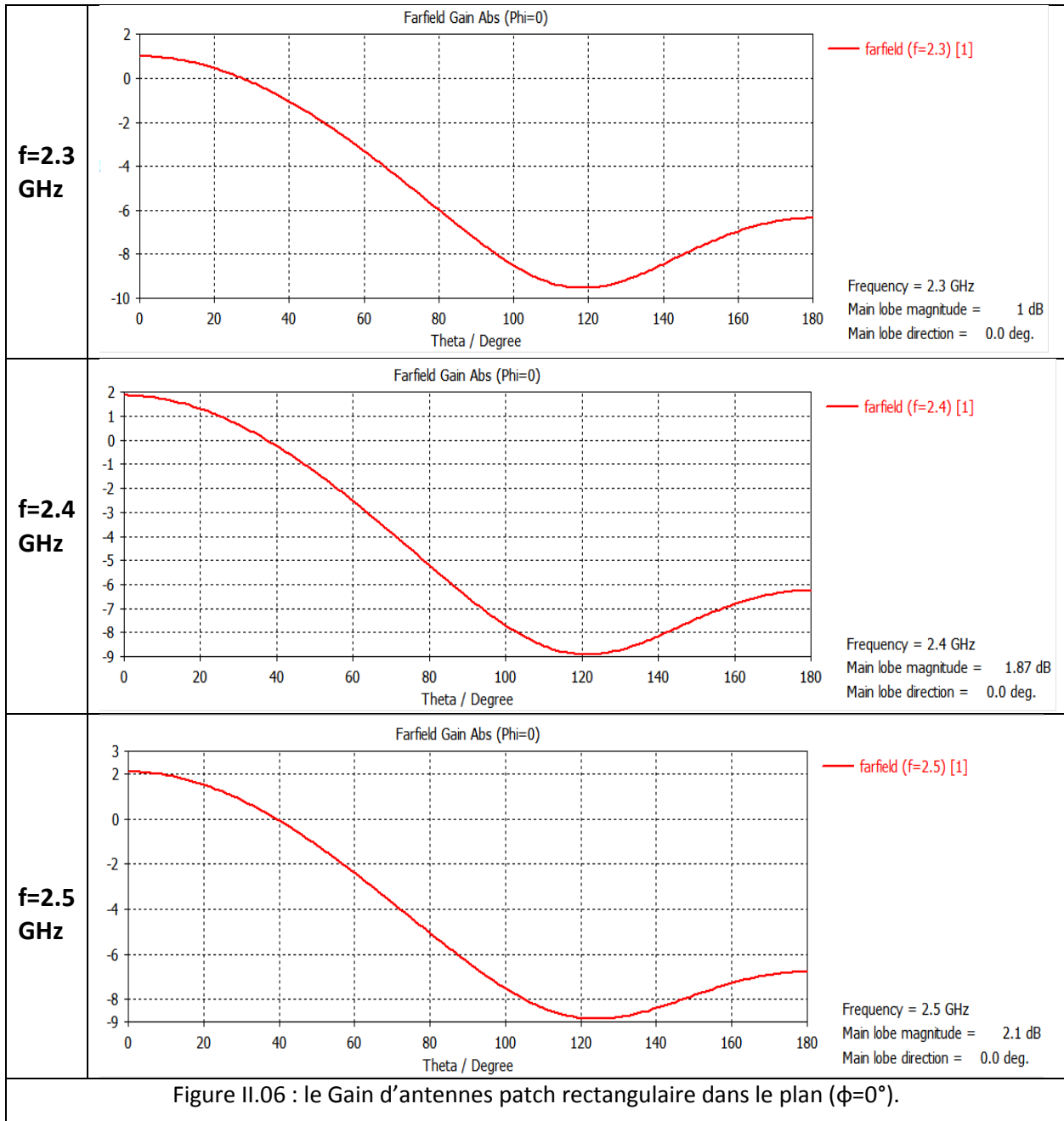
Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

II.5.5 Gain

• Gain en 2D

La figure II.06 présente le Gain d'antennes sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz]

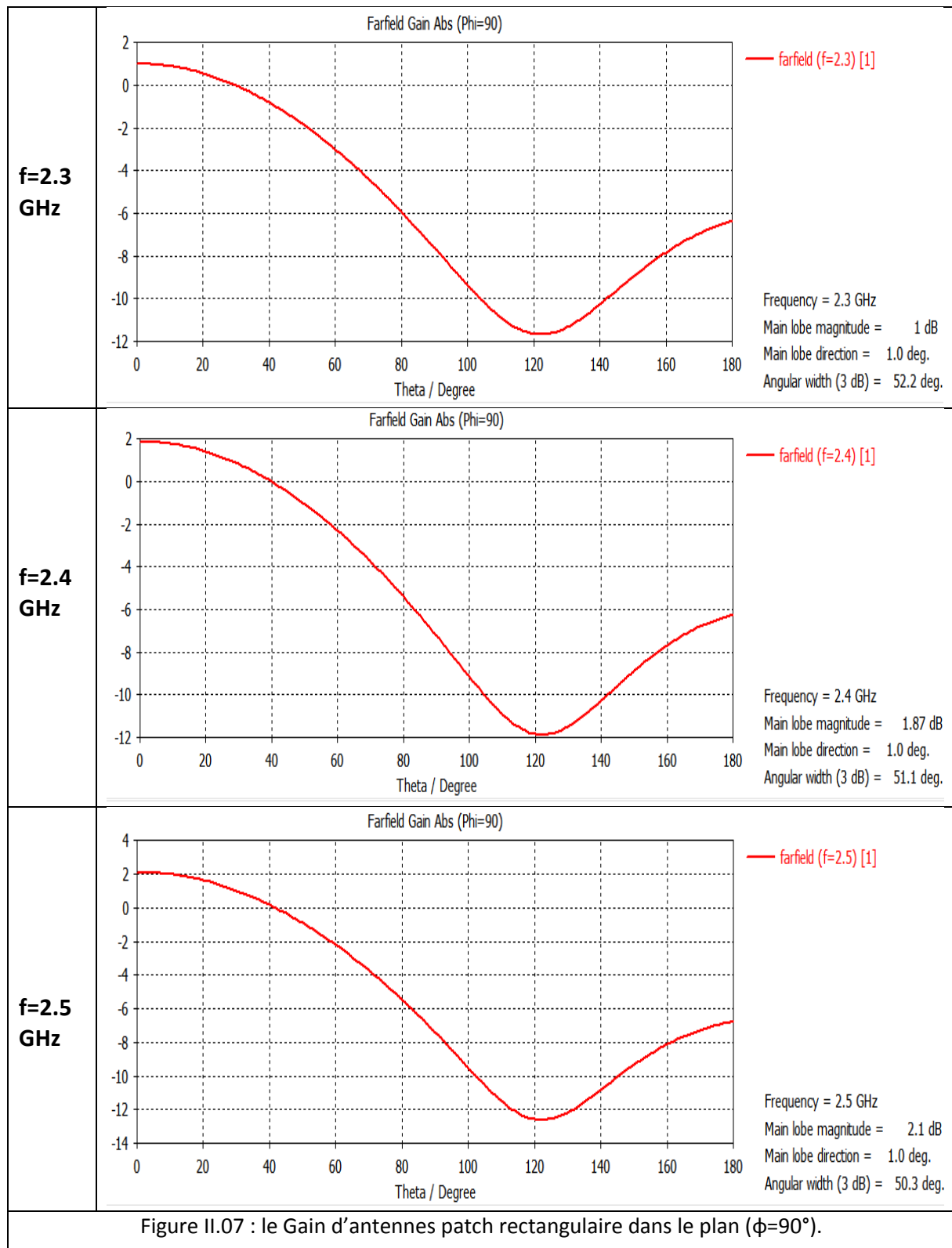
Dans le plan $\varphi = 0^\circ$, d'après cette figure on constate que lorsque la fréquence augmente le gain aussi augmente.



La figure II.07 présente le Gain d'antenne sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz]

Dans le plan $\varphi = 90^\circ$, d'après cette figure on constate aussi dans ce cas que lorsque la fréquence augmente le gain aussi augmente.

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire



Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

Les gains max sont récapitulés dans le tableau II.03 qui indique la variation du gain en fonction de la fréquence :

Fréquences (GHz)	2.3	2.4	2.5
Gain max (dB) Plan ($\phi=0^\circ$)	1	1.87	2.1
Gain max (dB) Plan ($\phi=90^\circ$)	1	1.87	2.1

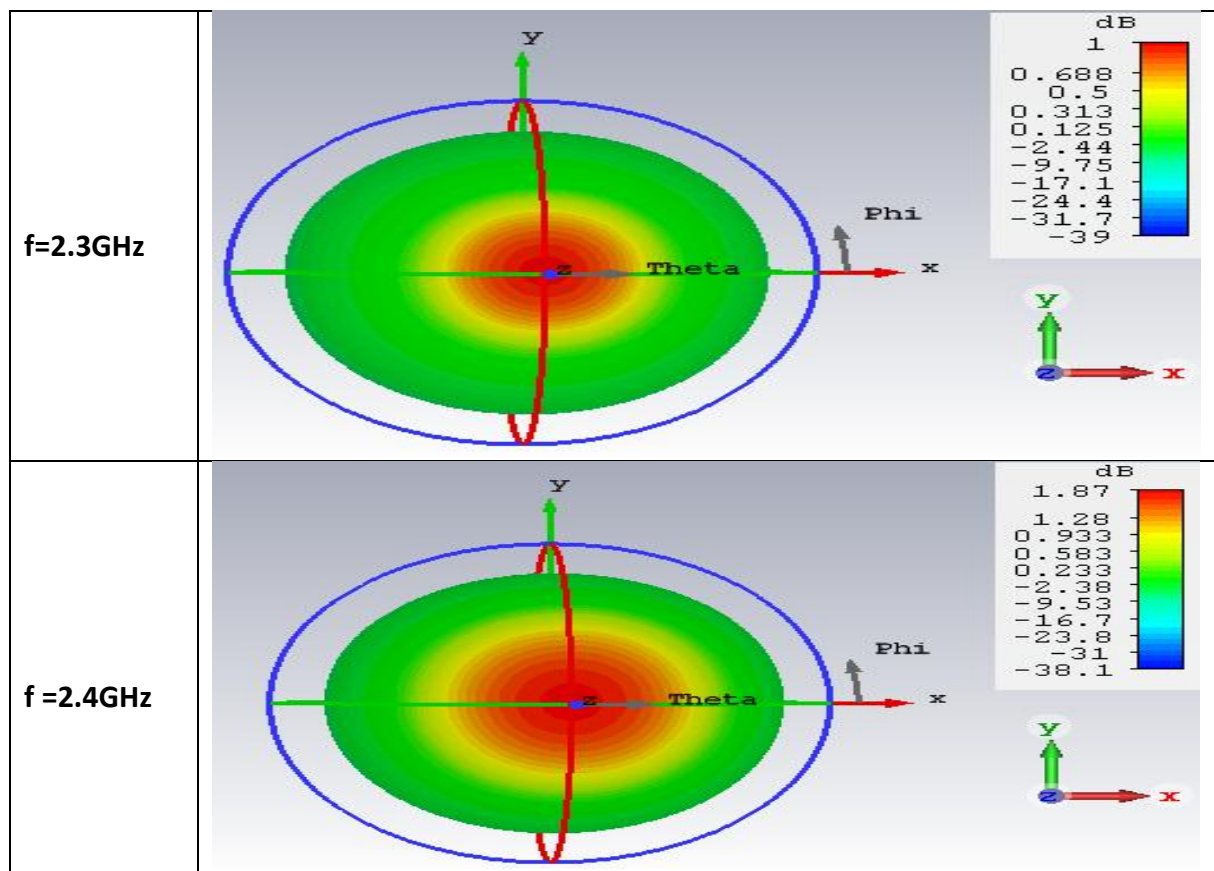
Tableau II.04 : gain max d'antenne en dB pour les plans ($\phi=0^\circ$) et ($\phi=90^\circ$).

Remarque :

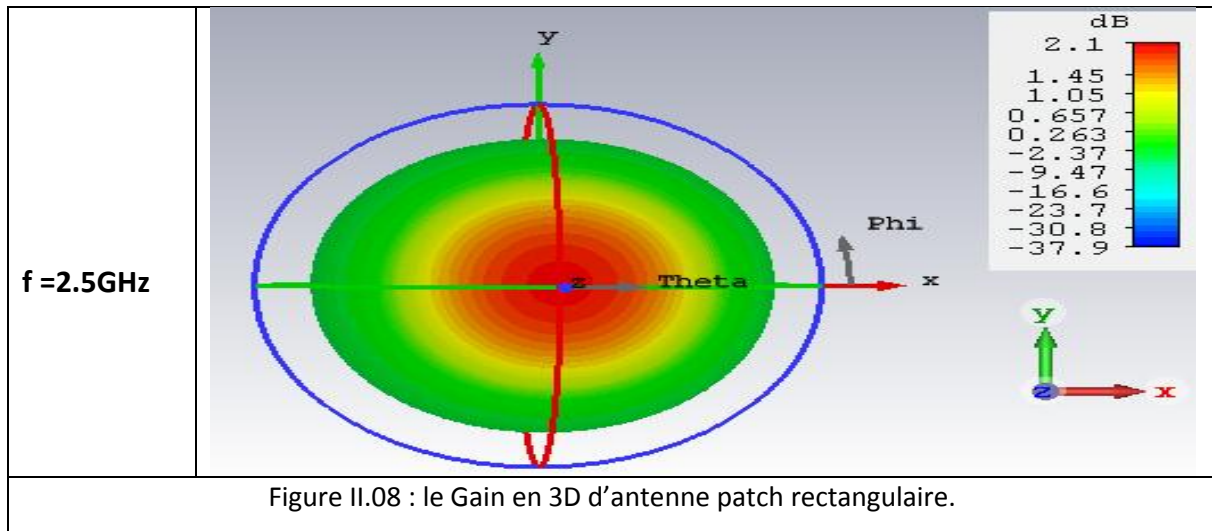
D'après le tableau II.03 on remarque que les valeurs du gain pour une fréquence donnée sont les mêmes pour les deux plans.

• **Gain en 3D :**

La figure II.08 présente le Gain d'antennes patch rectangulaire en 3D sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz].



Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire



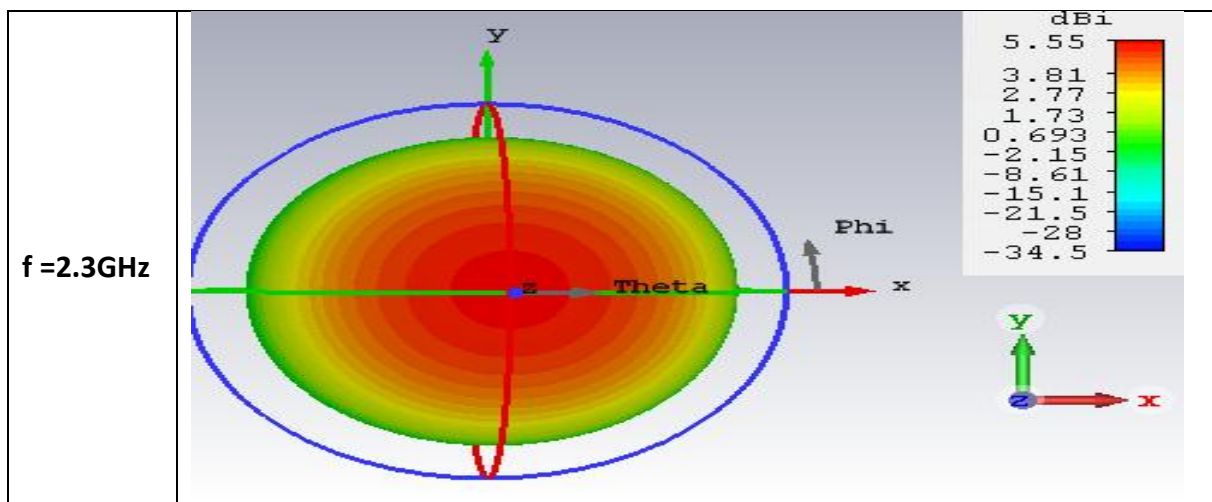
Remarque :

D'après la figure on constat que lorsque la fréquence augmente le gain aussi augmente.

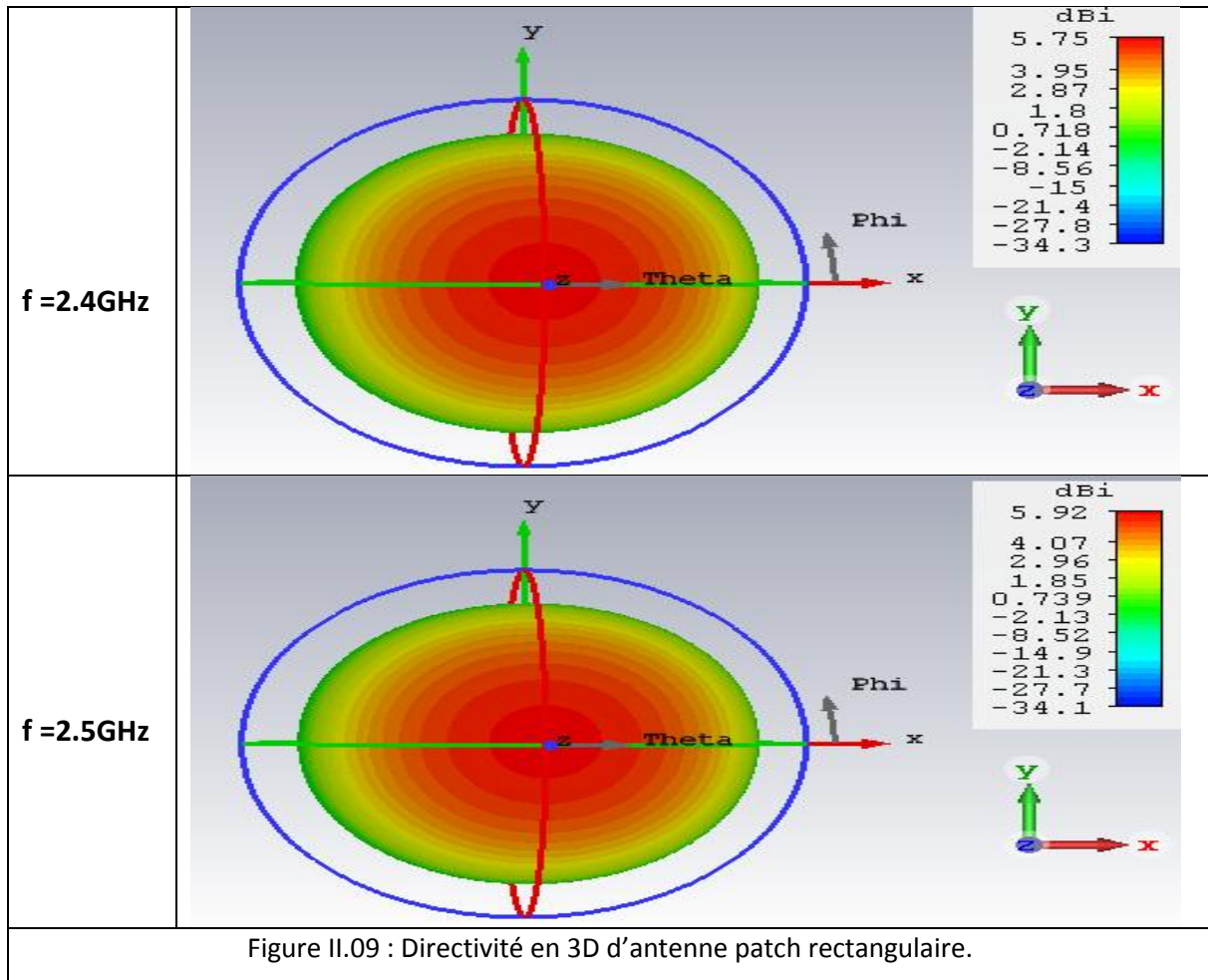
II.5.6 Directivité

La figure II.09 présente le diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne patch rectangulaire pour différentes valeurs de la fréquence de travail de l'antenne patch rectangulaire.

A partir de cette figure on constate que lorsque la fréquence augmente la directivité aussi augmente. Pour la fréquence 2.3 GHz la valeur de la directivité est $D= 5.55\text{dBi}$. Pour la fréquence 2.4 GHz la directivité devient $D=5.75\text{ dBi}$, et à la fréquence 2.5 GHz elle est de $D=5.92\text{dBi}$.



Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire



II.5.7 Rendement

Le rendement de l'antenne est calculé utilisant l'équation suivante :

$$G = \eta D \tag{2.11}$$

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Fréquence	G (gain) dB	D (directivité) dB	η (rendement)
2.3 GHz	1	5.55	18.018 %
2.4 GHz	1.87	5.75	32.521%
2.5 GHz	2.1	5.92	35.472 %

Tableau II.05 : Valeurs du rendement de l'antenne patch rectangulaire.

Remarque :

D'après le tableau ci-dessus, on constate que les trois paramètres de l'antenne G, D, η augmentent avec l'augmentation de la fréquence.

Chapitre II : Etude des performances d'une antenne PATCH rectangulaire

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé une antenne patch rectangulaire et étudié ces performances à savoir le paramètre S_{11} et la Bande passante, TOS, l'ouverture à mi-puissance, le Gain, la directivité et le rendement, dans la bande de fréquence 2.3GHz-2.5GHz. Pour ce faire nous avons utilisé le simulateur CST (Computer Simulation Technology). L'antenne simulé est bien adaptée pour sur la bande de fréquence 2.393GHZ-2.448GHZ. Les différents résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Les performances d'antenne						
S₁₁	Bp	TOS	Θ_{-3dB}	G	D	η
-15.805 Db	55.3 MHz	1.387	97°	1.87 dB	5.75 dB	32.521 %

Tableau II.06 : Les caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire.

Afin d'améliorer les différents paramètres mentionnés dans le tableau ci-dessus, on va étudier les performances d'un réseau d'antenne patch rectangulaire constitué de quatre antennes identiques à celle étudiée dans ce chapitre.

Chapitre III : Étude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

III.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de concevoir et d'étudier les performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires alimentées par des lignes micro ruban de fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{GHz}$ en utilisant le simulateur CST (Computer Simulation Technology). Dans ce qui suit, nous allons étudier les performances deux structures différentes.

III.2 Première configuration d'un réseau d'antennes patches rectangulaires (4*1)

La figure III.01 : représente la structure du réseau (4*1) d'antennes de fréquence de travail $f_0=2.4\text{GHz}$, obtenue en connectant en série 4 antennes patches identiques à celle étudiée au chapitre II, avec une séparation de $\lambda_0/2$ entre les antennes.

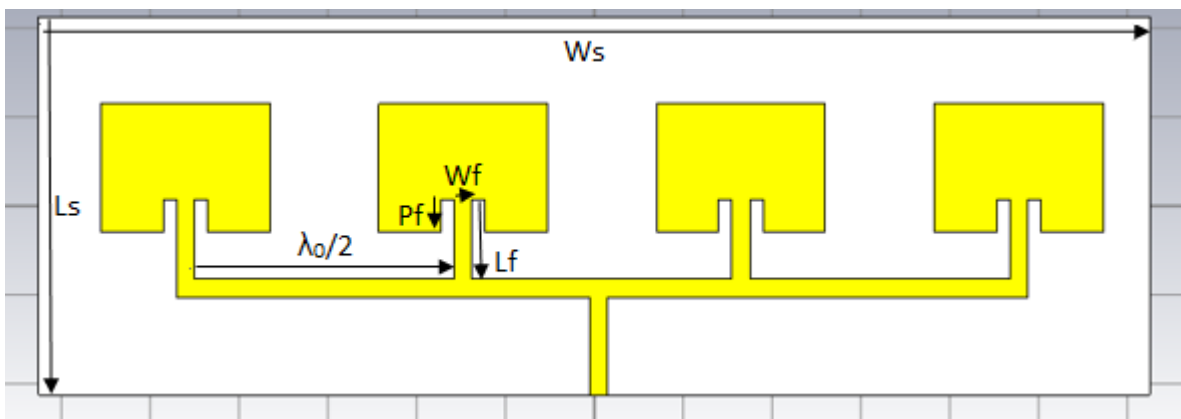


Figure III.01: Structure du réseau d'antennes patches rectangulaires (1^{er} configuration).

Les différentes valeurs des paramètres géométriques de notre réseau d'antennes patch 1^{ère} configuration sont données dans le tableau III.01 suivant

Parametres	Ws	Ls	Wp	Lp	h	ht	Wf	Lf	Pf	$\lambda_0/2$
Longueur (mm)	250	85	38	29	1.6	0.035	4	18	7.5	62.5

Tableau III.01 : paramètres du réseau d'antennes patch 1^{ère} configuration.

Les résultats obtenus par simulation, en utilisant le logiciel CST sur la bande de fréquence 2.3-2.5 GHz sont donnés ci-dessous :

III.2.1 Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (première configuration)

La figure III.02 présente les variations du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence sur laquelle on peut lire la valeur minimum de S11= -33.4637 dB pour la fréquence 2.4954GHz.

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

Le réseau d'antennes résonne bien à la fréquence d'environ 2.4954 GHz avec $S_{11} = -33.4637\text{dB} < -10\text{ dB}$.

Cette figure se compose de trois zones :

La 1^{ère} zone dans l'intervalle [2.3-2.34], dans laquelle $S_{11} < -10\text{ dB}$ donc Le réseau d'antennes résonne bien.

La 2^{ème} zone dans l'intervalle [2.34-2.452], où S_{11} est supérieure à la valeur théorique de -10dB requise pour un bon fonctionnement du réseau d'antennes.

La 3^{ème} zone dans l'intervalle [2.452-2.5], où $S_{11} < -10\text{ dB}$ dans laquelle le réseau d'antennes peut être utilisé.

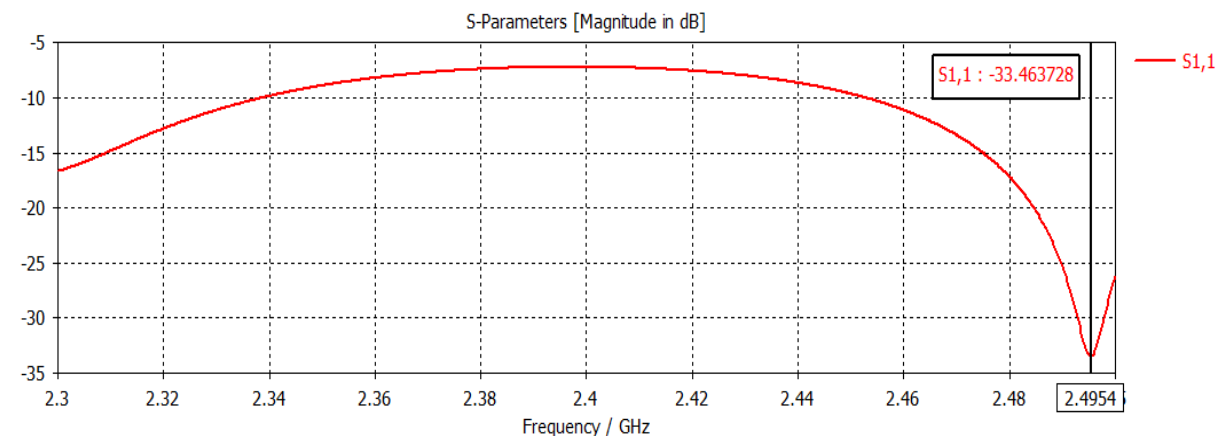


Figure III.02 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (1^{er} configuration).

III.2.2 Bande passante (première configuration)

La bande passante peut être déduite à partir du graphe du paramètre S11 en considérant un certain seuil, généralement (-10dB). A partir de (la figure III.02), on trouve qu'il y a trois bandes passantes, mais on ne peut pas calculer la bande passant de la 3^{ème} zone :

Bande passante de La 1^{ère} zone :

$$Bp = \Delta f = f2 - f1$$

$$= 2.34 - 2.3 = 0.04\text{ GHz} = 40\text{ Mhz}$$

Bande passante de La 2^{ème} zone :

$$Bp = \Delta f = f2 - f1$$

$$= 2.452 - 2.34 = 0.112\text{ GHz} = 112\text{ MHz}$$

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

III.2.3 Taux d'onde stationnaire (TOS) (première configuration)

La figure III.03 représente les variations du Taux d'Onde Stationnaire (TOS) du réseau d'antennes (4*1) en fonction de la fréquence f dans l'intervalle [2.3GHz _2.5GHz]. D'après cette figure la valeur minimum du TOS est égale à 1.04336dB à la fréquence 2.4954 GHz. En pratique, la bonne adaptation est réalisée lorsque la valeur du TOS est inférieure à 2. Cette figure se compose de trois zones :

La 1^{ère} zone dans l'intervalle [2.3-2.343], dans laquelle le TOS < 2 donc on a une bonne adaptation.

La 2^{ème} zone dans l'intervalle [2.343-2.448], dans laquelle le TOS > 2dB et de ce faite le réseau d'antenne ne présente pas une bonne adaptation d'impédance.

La 3^{ème} zone dans l'intervalle [2.448-2.5], dans laquelle le TOS < 2 dB et où le réseau présente une bonne adaptation d'impédance.

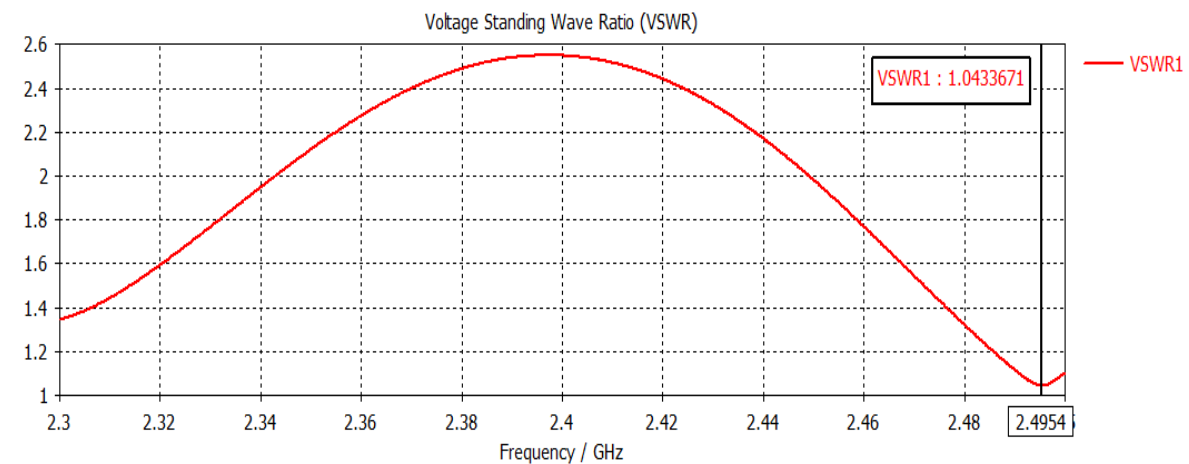


Figure III.03 : TOS du réseau (4*1) en fonction de f (1^{er} configuration).

III.2.4 Diagramme de rayonnement (première configuration)

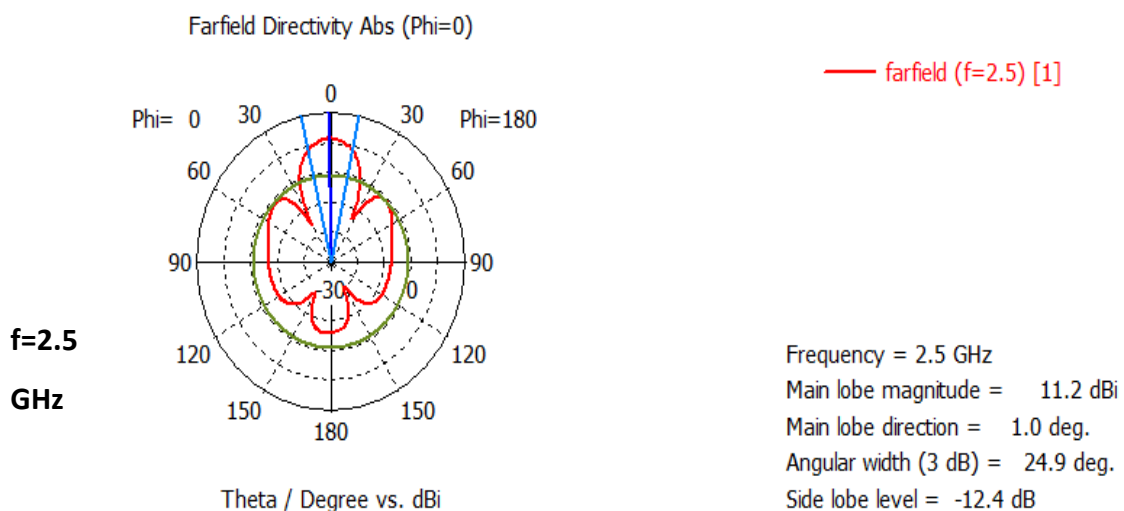
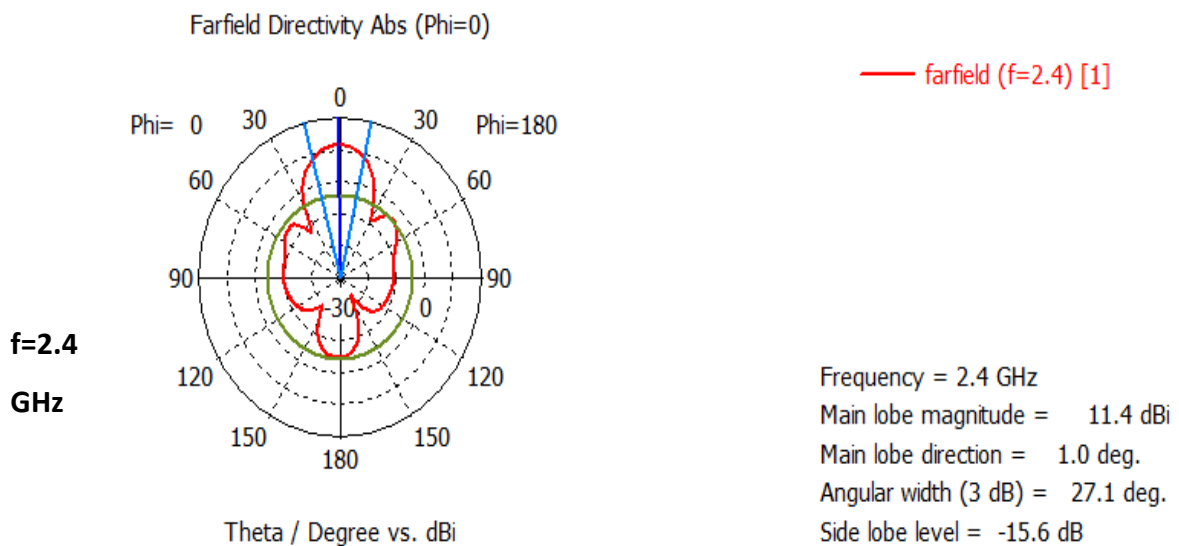
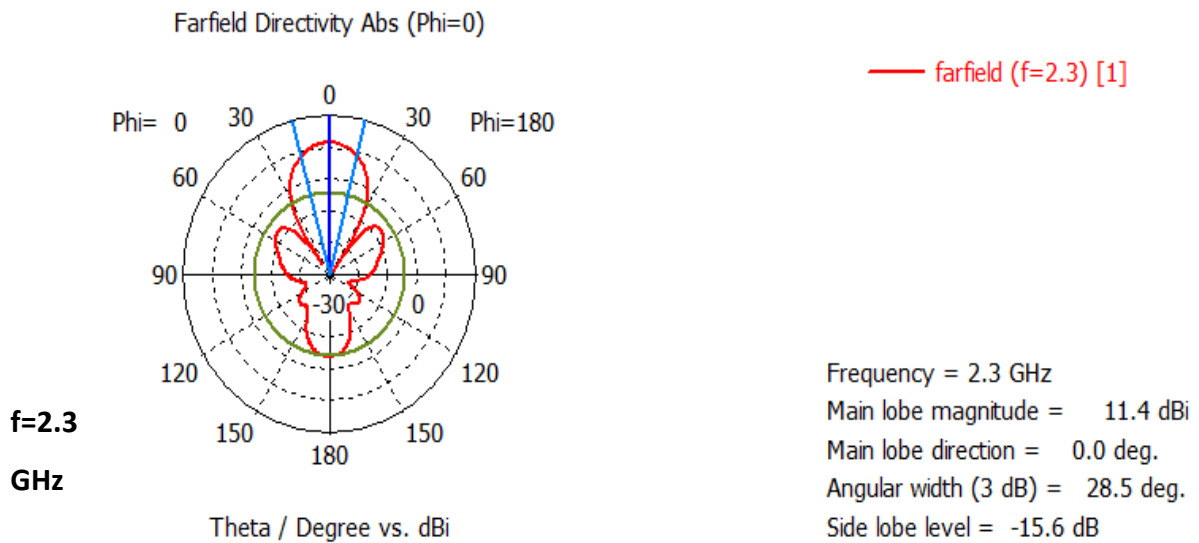
La figure III.04 présente le diagramme de rayonnement en 2D du réseau d'antennes patches dans le plan E ($\phi = 0^\circ$) à la fréquence $f=2.3$ GHz, $f= 2.4$ GHz et $f=2.5$ GHz.

A partir de cette figure on constate que lobe principal est égal à 11.4 dBi pour la fréquence $f=2.3$ GHz, et 11.4 dBi pour la fréquence $f=2.4$ GHz, et 11.2 dBi pour la fréquence $f=2.5$ GHz.

Concernant l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de ce réseau est égale à 28.5° pour la fréquence 2.3 GHz et 27.1° pour la fréquence 2.4 GHz et 24.9° pour la fréquence 2.5 GHz.

Le réseau présente un lobe secondaire égale à -15.6 dB pour la fréquence 2.3 GHz et -15.6 dB pour la fréquence 2.4 GHz et -12.4 dB pour la fréquence 2.5 GHz.

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires avec deux différentes configurations



Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

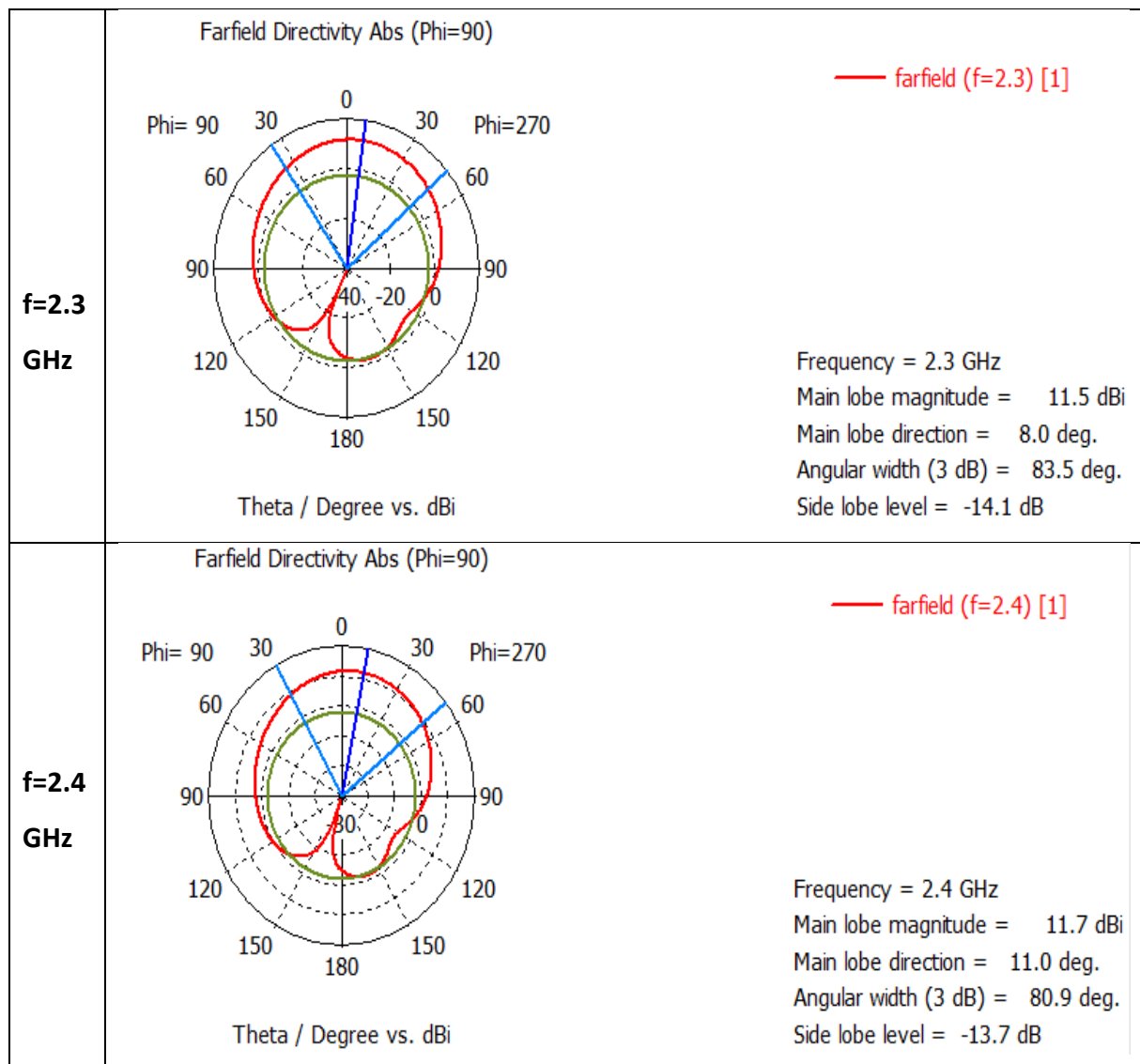
Figure III.04 : Diagramme de Rayonnement du réseau d'antennes patches rectangulaires dans plan ($\phi=0^\circ$)(1^{er} configuration).

La figure III.05 présente le diagramme de rayonnement en 2D du réseau d'antennes patches dans le plan E ($\phi = 90^\circ$) à la fréquence $f=2.3$ GHz, $f= 2.4$ GHz et $f2.5=$ GHz.

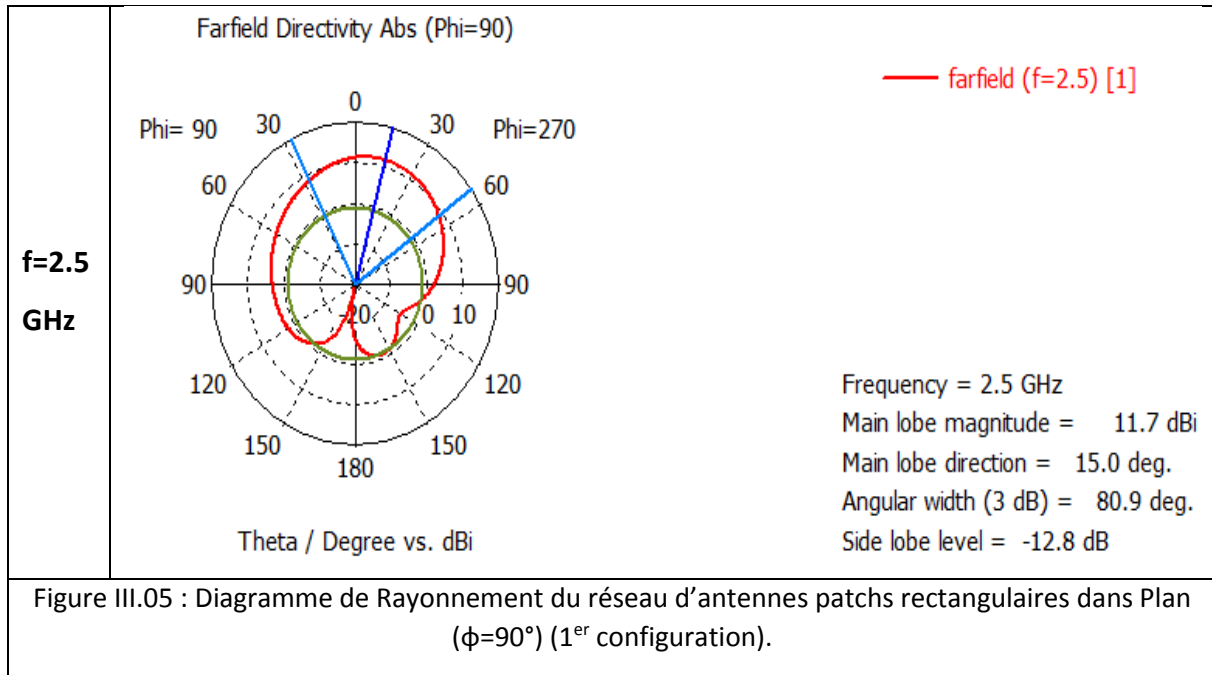
A partir de cette figure on constate que lobe principal est égal à 11.5 dBi pour la fréquence $f=2.3$ GHz, et 11.7 dBi pour la fréquence $f=2.4$ GHz, et 11.7 dBi pour la fréquence $f=2.5$ GHz.

A partir de cette figure on constate que l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de ce réseau est égale à 83.5° pour la fréquence 2.3 GHz et 80.9° pour la fréquence 2.4 GHz et 80.9° pour la fréquence 2.5 GHz.

Le réseau présente un lobe secondaire égale à -14.1 dB pour la fréquence 2.3 GHz et -13.7 dB pour la fréquence 2.4 GHz et -12.8 pour la fréquence 2.5 GHz.



**Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires
avec deux différentes configurations**



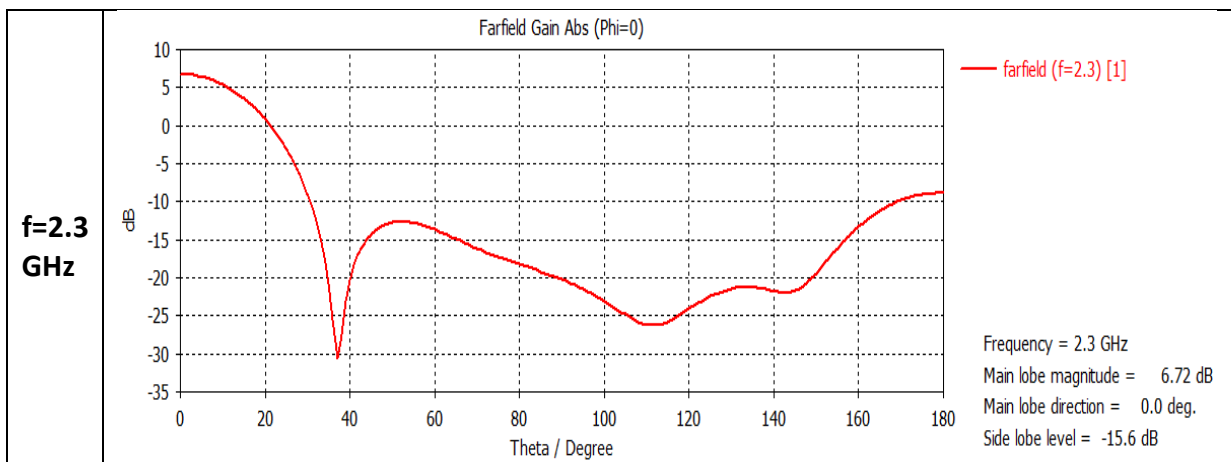
Remarque :

D'après Les différents diagramme de rayonnement présentés ci-dessus, le réseau d'antennes patches est plus directif dans le plan($\phi=0^\circ$) que dans le plan ($\phi=90^\circ$).

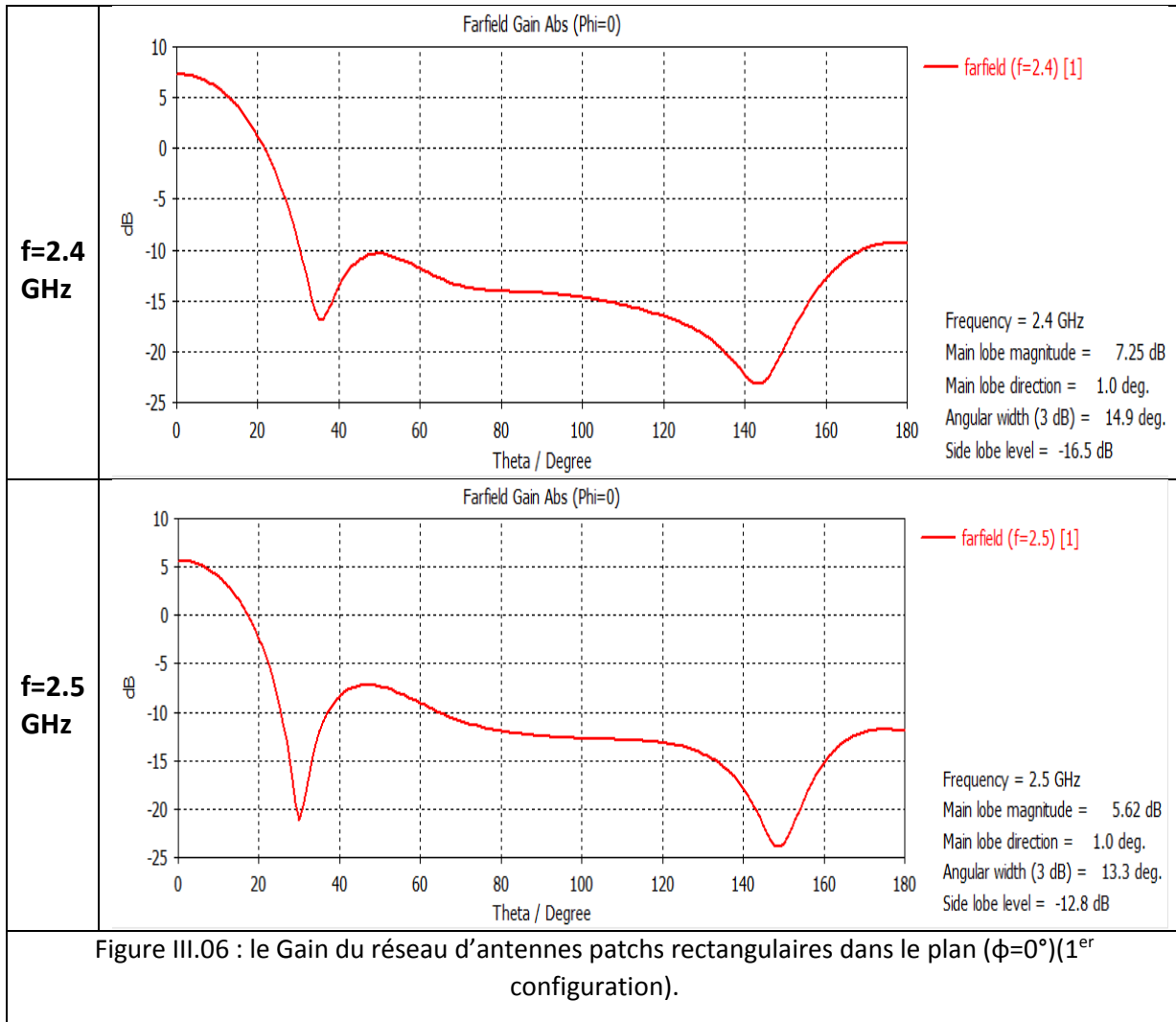
III.2.5 Gain (première configuration)

- **Gain en 2D**

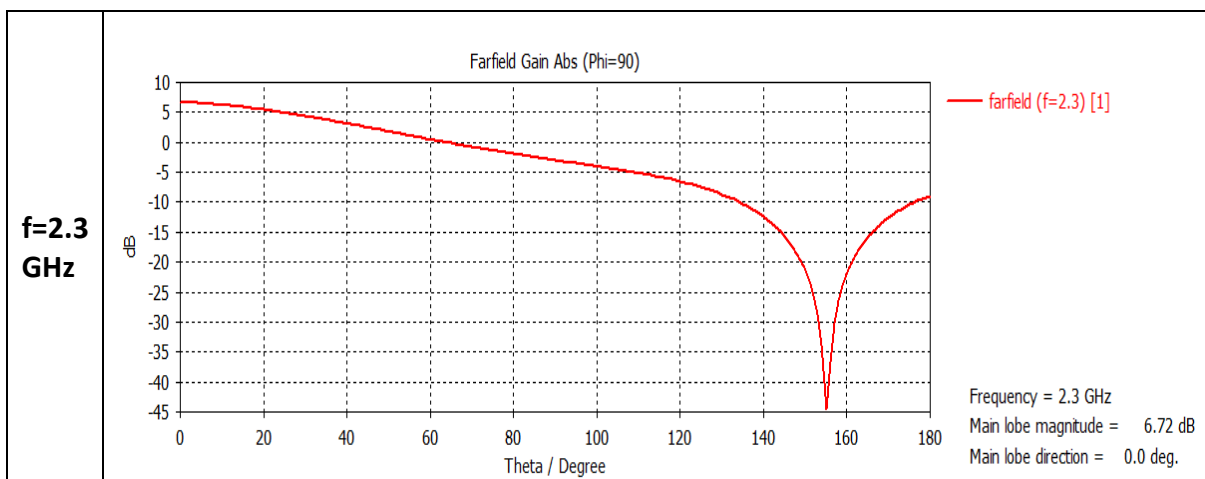
La figure III.06 présente le Gain du réseau d'antennes sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz] dans le plan $\varphi = 0^\circ$. D'après cette figure, on constate que le gain maximum est obtenu pour la fréquence de 2.4 GHz.



**Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires
avec deux différentes configurations**



La figure III.07 présente le Gain du réseau d'antennes sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz] dans le plan ($\varphi = 90^\circ$), d'après cette figure on constate que le gain maximum est obtenu pour la fréquence de 2.4 GHz.



Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires avec deux différentes configurations

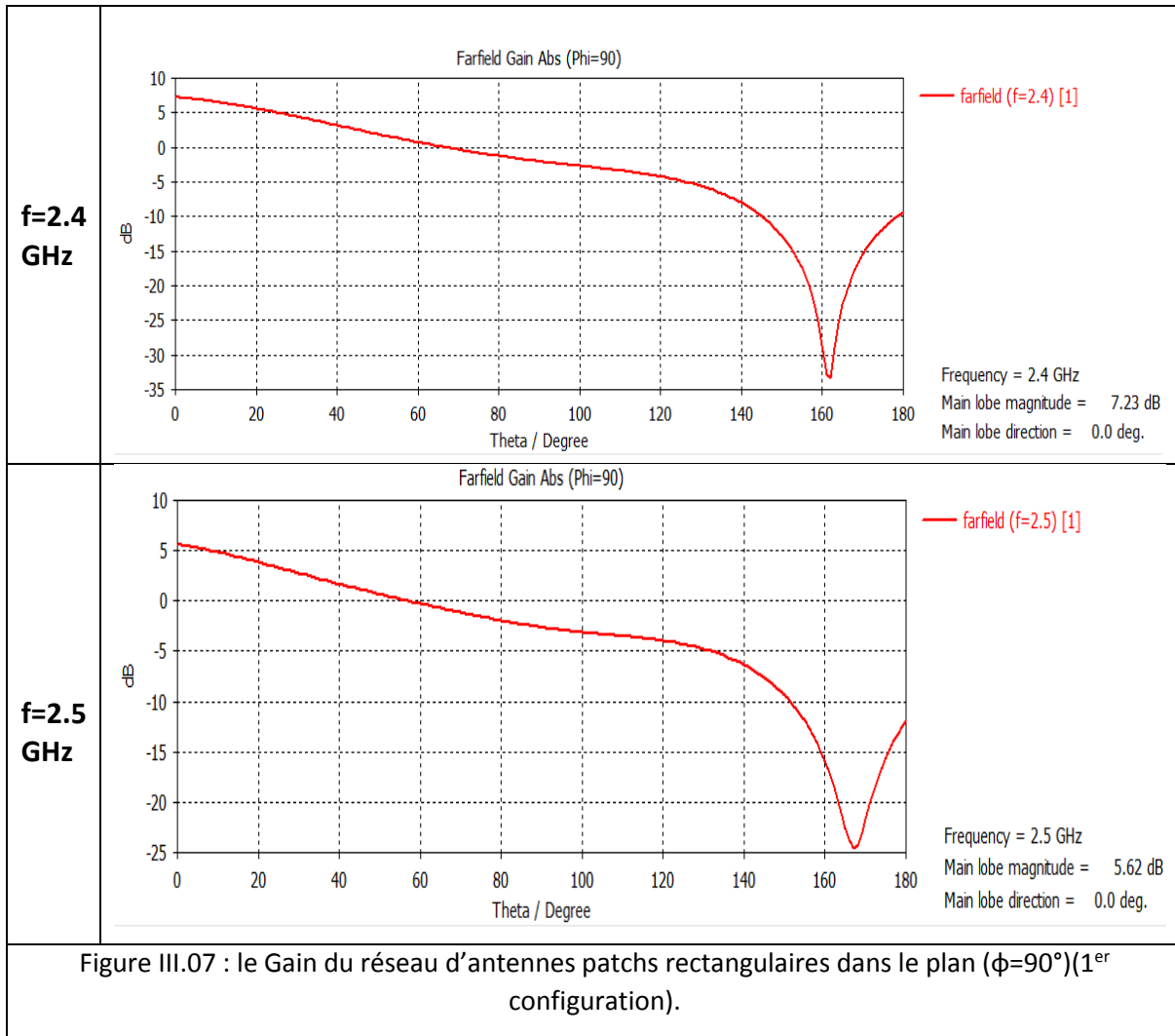


Figure III.07 : le Gain du réseau d'antennes patchs rectangulaires dans le plan ($\phi=90^\circ$)(1^{er} configuration).

Les gains max sont récapitulés dans le tableau II.02 qui indique la variation du gain en fonction de la fréquence :

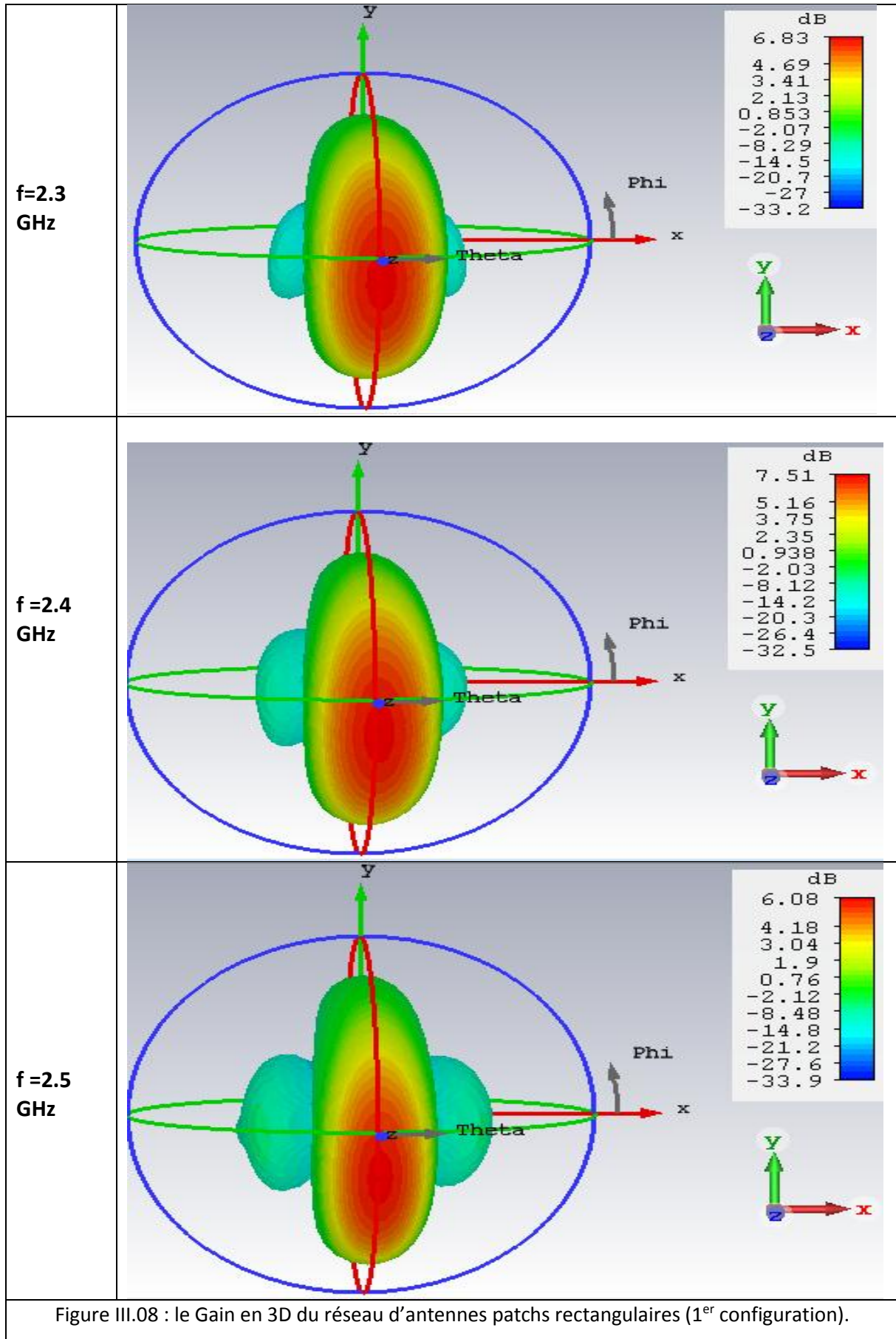
Fréquence en GHz	2.3	2.4	2.5
Gain max (dBi) Plan ($\phi=0^\circ$)	6.828	7.539	5.731
Gain max (dBi) Plan ($\phi=90^\circ$)	6.618	7.533	5.931

Tableau III.02 : gain max du réseau d'antennes pour 1^{ere} configuration en dBi pour les plans ($\phi=0^\circ$) et ($\phi=90^\circ$).

- **Gain en 3D**

La figure III.08 présente le Gain du réseau d'antennes patchs rectangulaires en 3D sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz].

**Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires
avec deux différentes configurations**

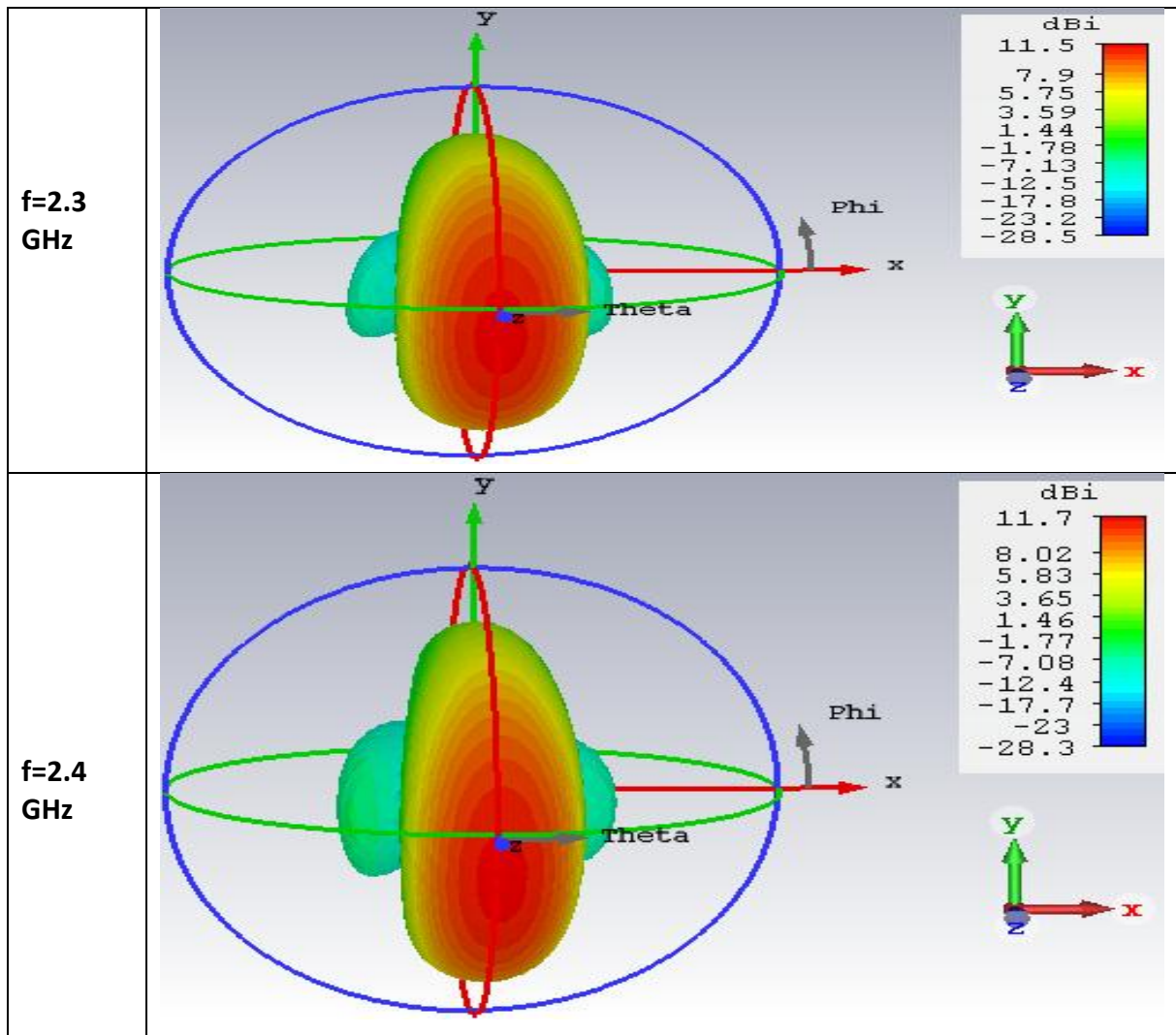


Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires avec deux différentes configurations

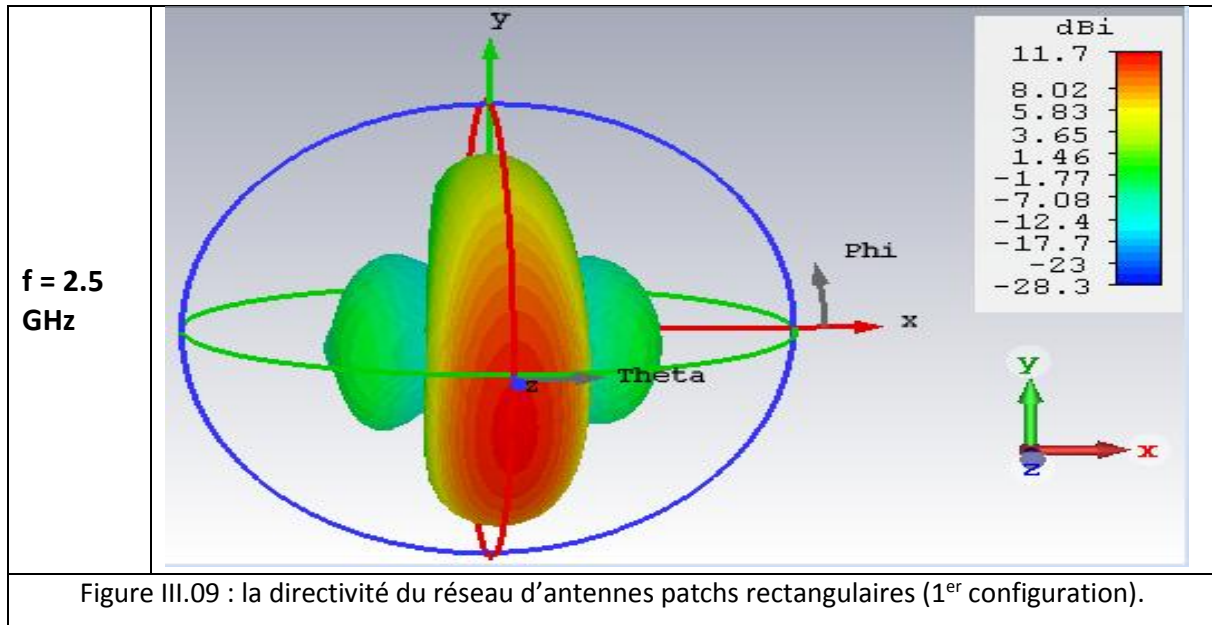
III.2.6 Directivité (première configuration)

La figure III.09 présente le diagramme de rayonnement en 3D du réseau d'antennes patchs rectangulaires pour différentes valeurs de la fréquence de travail de ce réseau.

A partir de cette figure, on constate que lorsque la fréquence augmente la directivité aussi augmente. A la fréquence 2.3 GHz la valeur de la directivité est $D= 11.5\text{dBi}$, et à la fréquence 2.4 GHz la directivité devient $D=11.7\text{ dBi}$, et à la fréquence 2.5 GHz elle est égale à $D=11.7\text{ dBi}$.



Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires avec deux différentes configurations



III.2.7 rendement (première configuration)

Le rendement est calculé en utilisant l'équation suivante :

$$G = \eta D$$

Les résultats de ce rendement sont consignés dans le tableau suivant :

Fréquence	G(gain)	D(directivité)	η (rendement)
2.3 GHz	6.83	11.5	59.39 %
2.4 GHz	7.51	11.7	64.18%
2.5 GHz	6.08	11.7	51.96%

Tableau III.03 : valeurs du rendements du réseau d'antennes patchs pour la 1^{ere} configuration.

Remarque :

D'après ce tableau on remarque que la valeur maximum des différents paramètres du réseau d'antennes est obtenue pour la fréquence 2.4GHz.

III.3 Deuxième configuration d'un réseau d'antennes patch (4*1)

La figure III.10 : représente la structure de la deuxième configuration du réseau (4*1) d'antennes patchs rectangulaires composée de quatre antennes comme celle étudiée dans le chapitre II.

**Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires
avec deux différentes configurations**

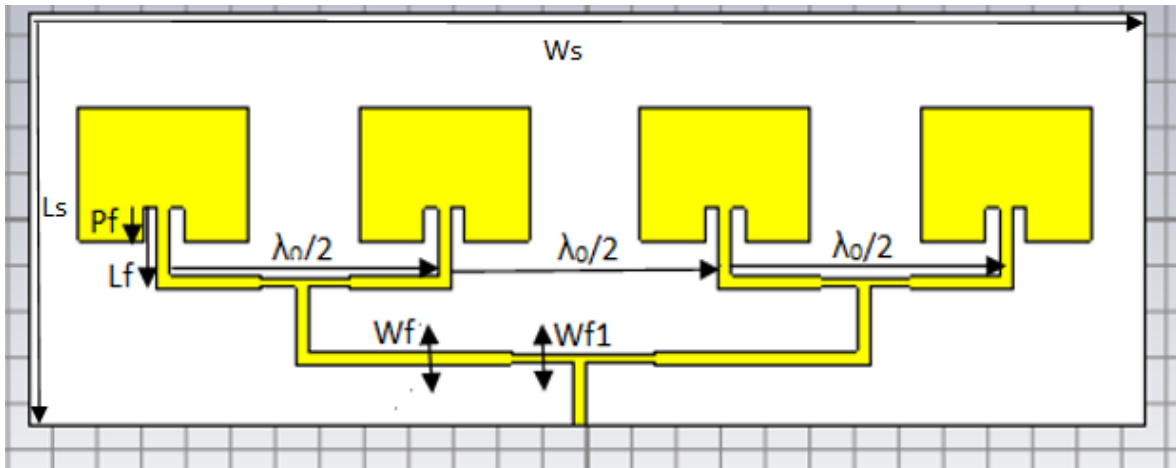


Figure III.10 : Structure du réseau d'antennes patchs rectangulaires (2^{ème} configuration).

Les différentes valeurs des paramètres géométriques de notre réseau d'antennes patch 2^{ème} configuration sont données dans le tableau III.04 suivant :

Parametres	Ws	Ls	Wp	Lp	h	ht	Wf	Lf	Pf	$\lambda_0/2$
Longueur (mm)	250	90	38	29	1.6	0.035	3	14	7	62.5

Tableau III.04 : paramètres du réseau d'antennes patch 2^{ème} configuration.

Dans ce qui suit, on va étudier les différents Paramètres caractéristiques de la deuxième configuration du réseau d'antennes patchs sur la bande de fréquence 2.3-2.5GHz.

III.3.1 Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (deuxième configuration)

La figure III.11 présente les variations du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. On peut lire la valeur minimum de S11= -22.115 dB pour la fréquence 2.3954GHz. Dans la bande 2.3409GHz-2.4448GHz, le paramètre S11 est inférieur à -10dB, ce qui permet de conclure que le réseau est bien adapté à la fréquence de travail $f_0=2.4$ GHz.

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

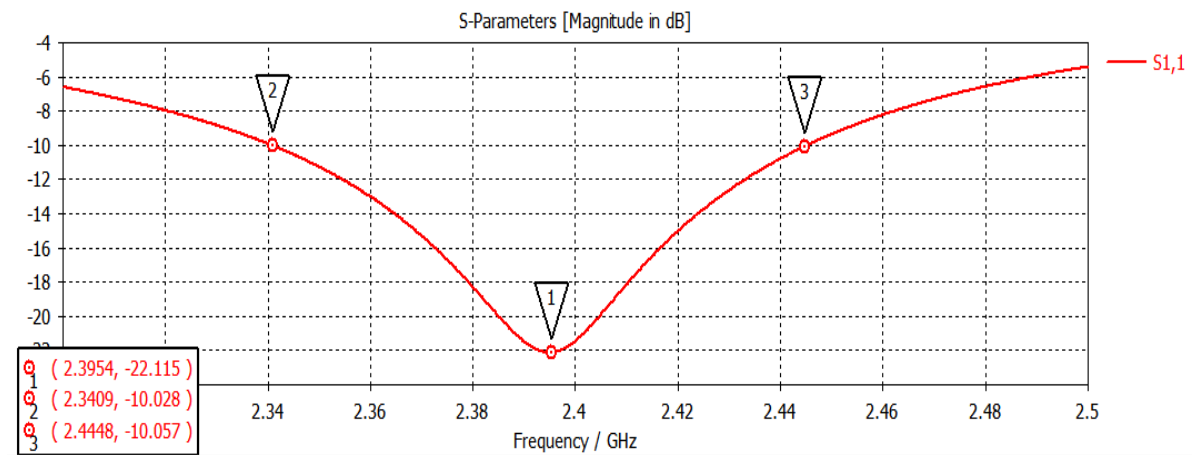


Figure III.11 : Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence (2^{ème} configuration).

III.3.2 Bande passante (deuxième configuration)

La bande passante peut être déduite à partir du graphe du paramètre S11 en considérant un certain seuil, généralement (-10dB). A partir de (la figure III.11), on trouve la valeur de la bande passante de réseau d'antennes égale à :

$$Bp = \Delta f = f2 - f1$$

$$= 2.4448 - 2.3409 = 0.1039 \text{ GHz} = 103.9 \text{ MHz}.$$

III.3.3 Taux d'onde stationnaire (TOS) (deuxième configuration)

La figure III.12 représente les variations du Taux d'Onde Stationnaire (TOS) du réseau d'antennes patches (4*1) en fonction de la fréquence dans l'intervalle [2.3GHz _2.5GHz]. D'après cette figure la valeur minimum du TOS est égale à 1.1715dB à la fréquence 2.3965 GHz. Le réseau d'antennes est bien adapté dans la bande de fréquence du cahier des charges, puisqu'en pratique, la bonne adaptation du réseau est réalisée lorsque la valeur du TOS est inférieure à 2.

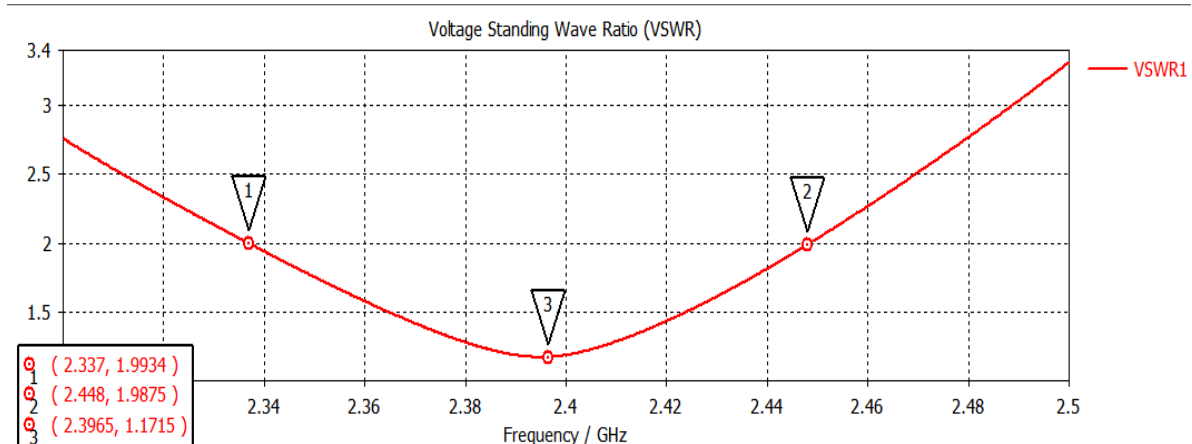


Figure III.12 : TOS du réseau (4*1) en fonction de f_r (2^{ème} configuration).

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

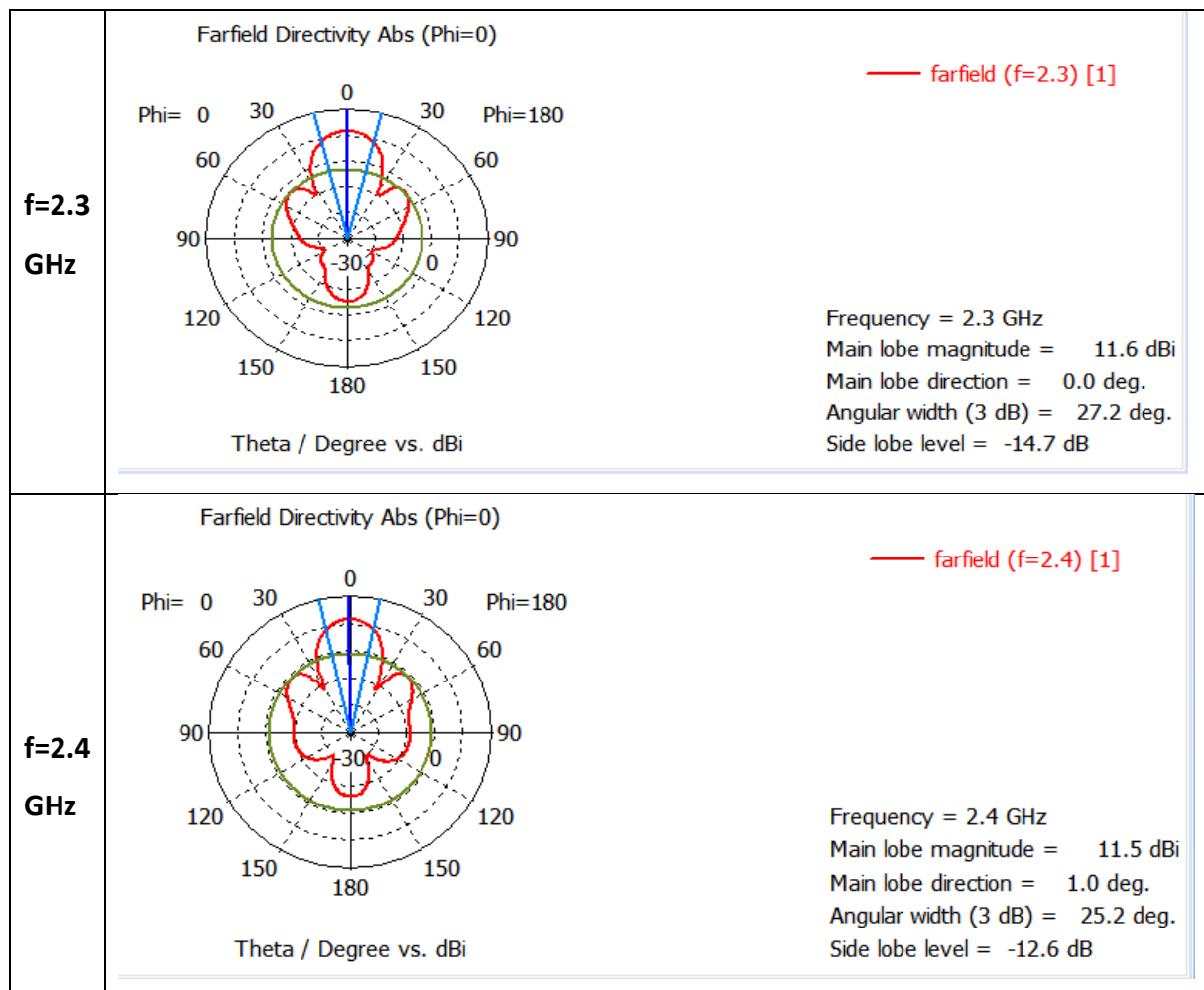
III.3.4 Diagramme de rayonnement (deuxième configuration)

La figure III.13 présente le diagramme de rayonnement en 2D du réseau d'antennes patches dans le plan E ($\phi = 0^\circ$) à la fréquence $f=2.3$ GHz, $f= 2.4$ GHz et $f=2.5$ GHz.

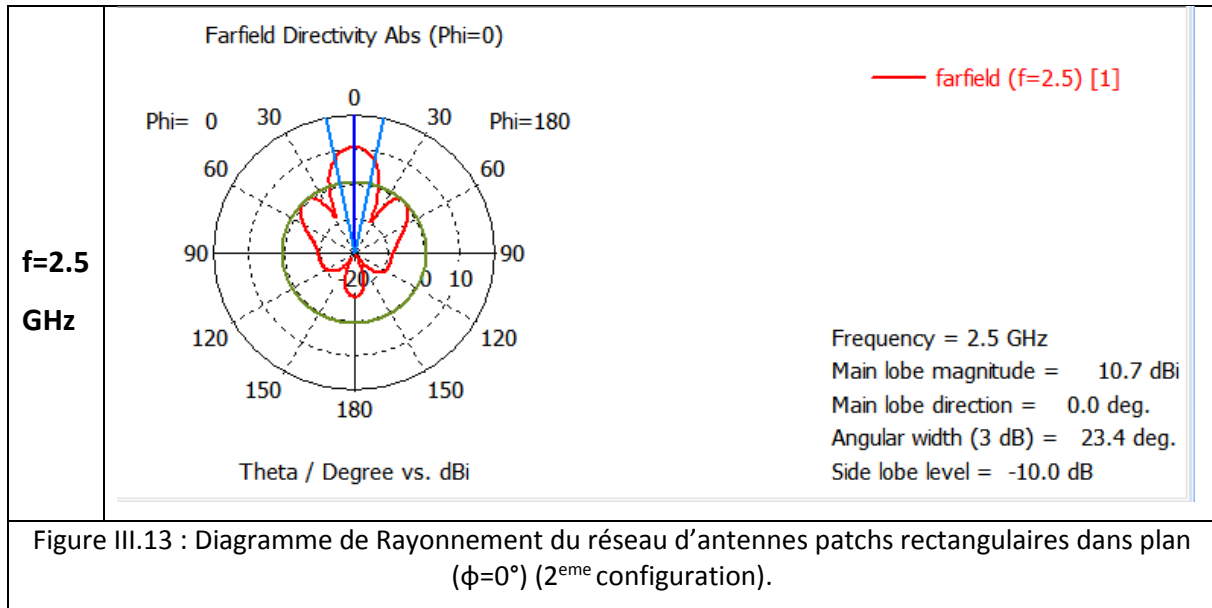
A partir de cette figure on constate que lobe principal est égal à 11.6 dBi pour la fréquence $f=2.3$ GHz, et 11.5 dBi pour la fréquence $f=2.4$ GHz, et 10.7 dBi pour la fréquence $f=2.5$ GHz.

Concernant l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de ce réseau est égale à 27.2° pour la fréquence 2.3 GHz et 25.2° pour la fréquence 2.4 GHz et 23.4° pour la fréquence 2.5 GHz.

Le réseau présente un lobe secondaire égale à -14.7 dB pour la fréquence 2.3 GHz et -12.6 dB pour la fréquence 2.4 GHz et -10 dB pour la fréquence 2.5 GHz.



Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

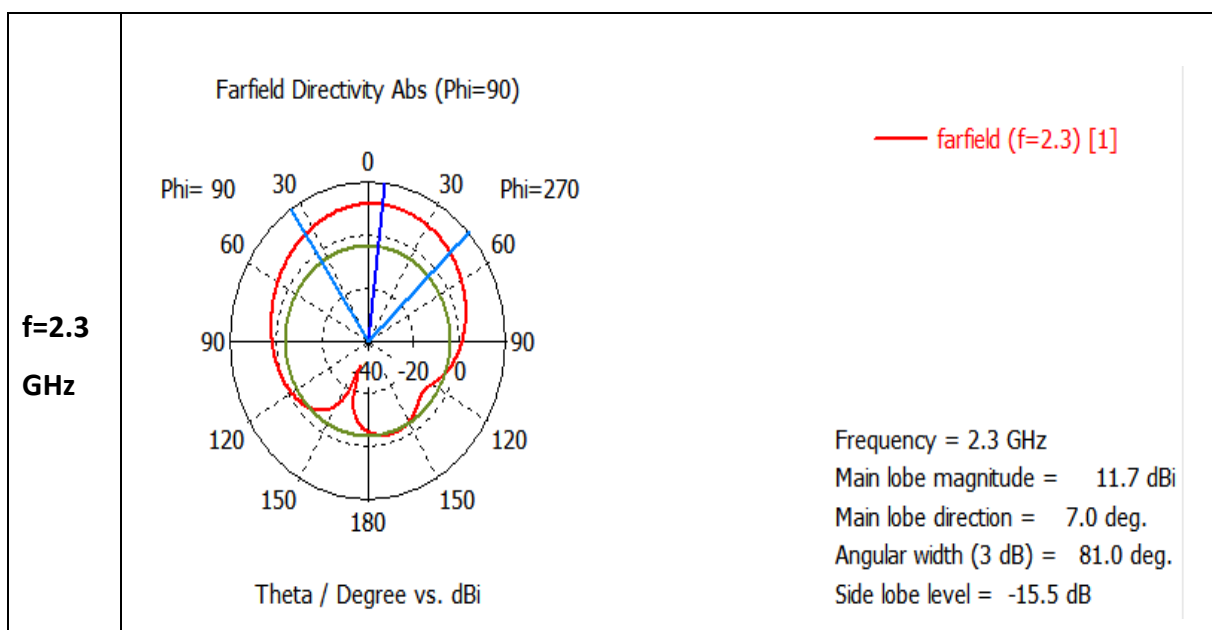


La figure III.14 présente le diagramme de rayonnement en 2D du réseau dans le plan E ($\phi = 90^\circ$) à la fréquence $f=2.3$ GHz, $f= 2.4$ GHz et $f=2.5$ GHz.

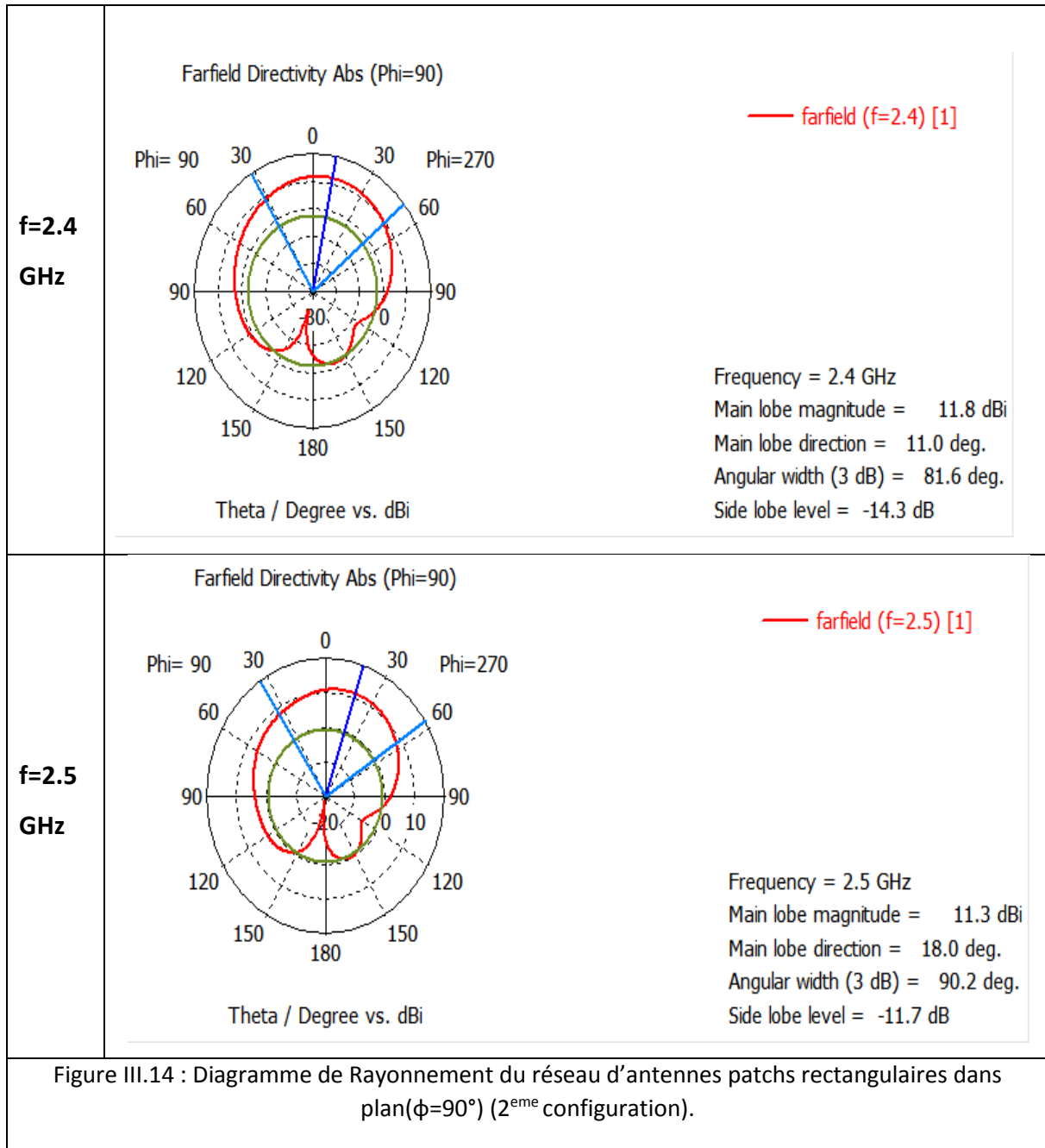
A partir de cette figure on constate que lobe principal est égal à 11.7 dBi pour la fréquence $f=2.3$ GHz, et 11.8 dBi pour la fréquence $f=2.4$ GHz, et 11.3 dBi pour la fréquence $f=2.5$ GHz.

Concernant l'ouverture à mi- puissance Θ_{-3dB} de ce réseau égale à 81° pour la fréquence 2.3 GHz, et 81.6° pour la fréquence 2.4 GHz, et 90.2° pour la fréquence 2.5 GHz.

Le réseau présente un lobe secondaire égale à -15.5 dB pour la fréquence 2.3 GHz et -14.3 dB pour la fréquence 2.4 GHz et -11.7 dB pour la fréquence 2.5 GHz.



Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations



Remarque :

D'après Les différents diagramme de rayonnement présentés ci-dessus, le réseau d'antennes patches est plus directif dans le plan($\phi=0^\circ$) que dans le plan ($\phi=90^\circ$).

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

III.3.5 Gain (deuxième configuration)

- Gain en 2D

La figure III.15 présente le Gain du réseau d'antennes sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz] dans le plan ($\varphi = 0^\circ$), D'après cette figure on constate que le gain maximum est obtenu pour la fréquence de 2.4 GHz.

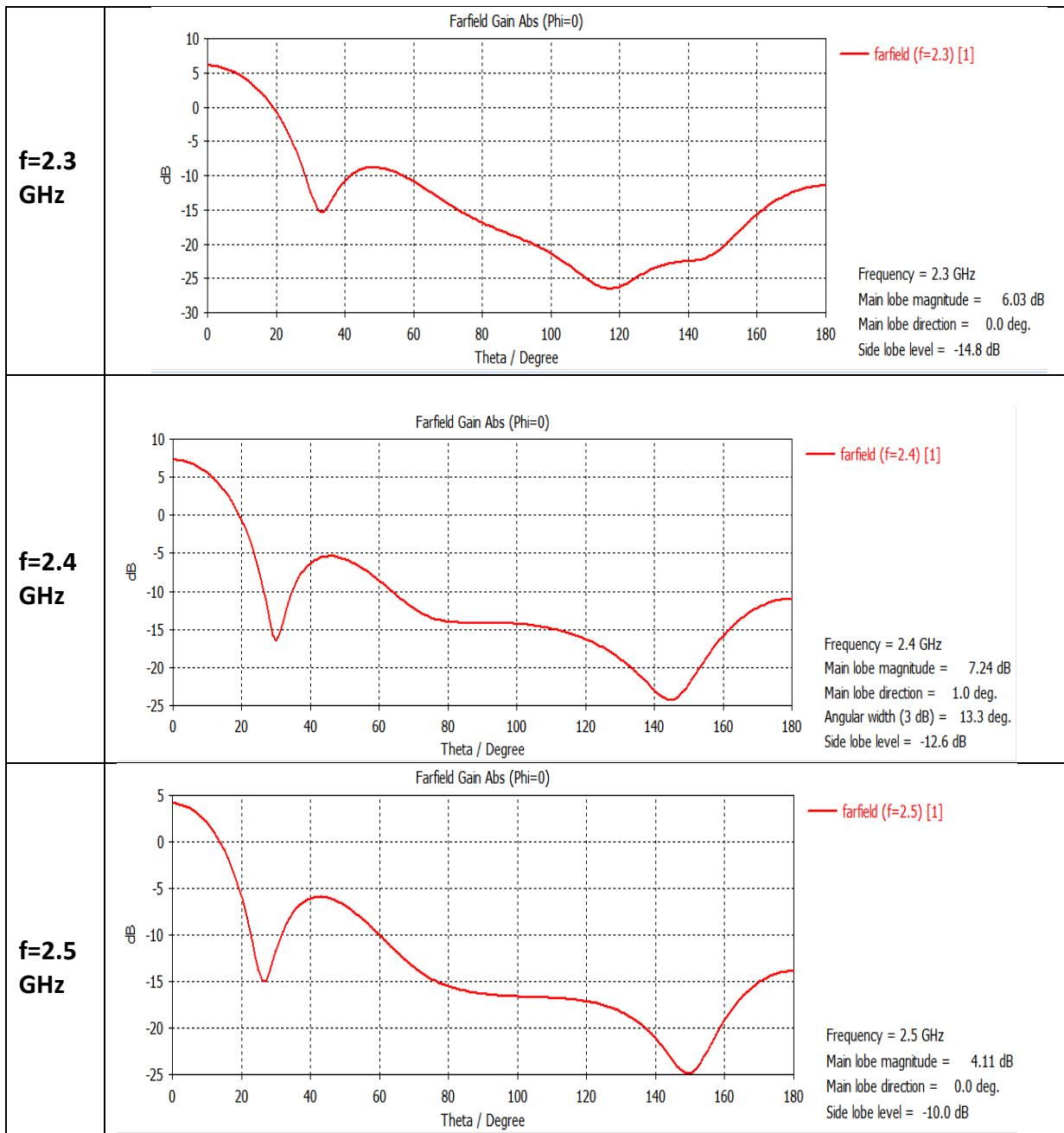
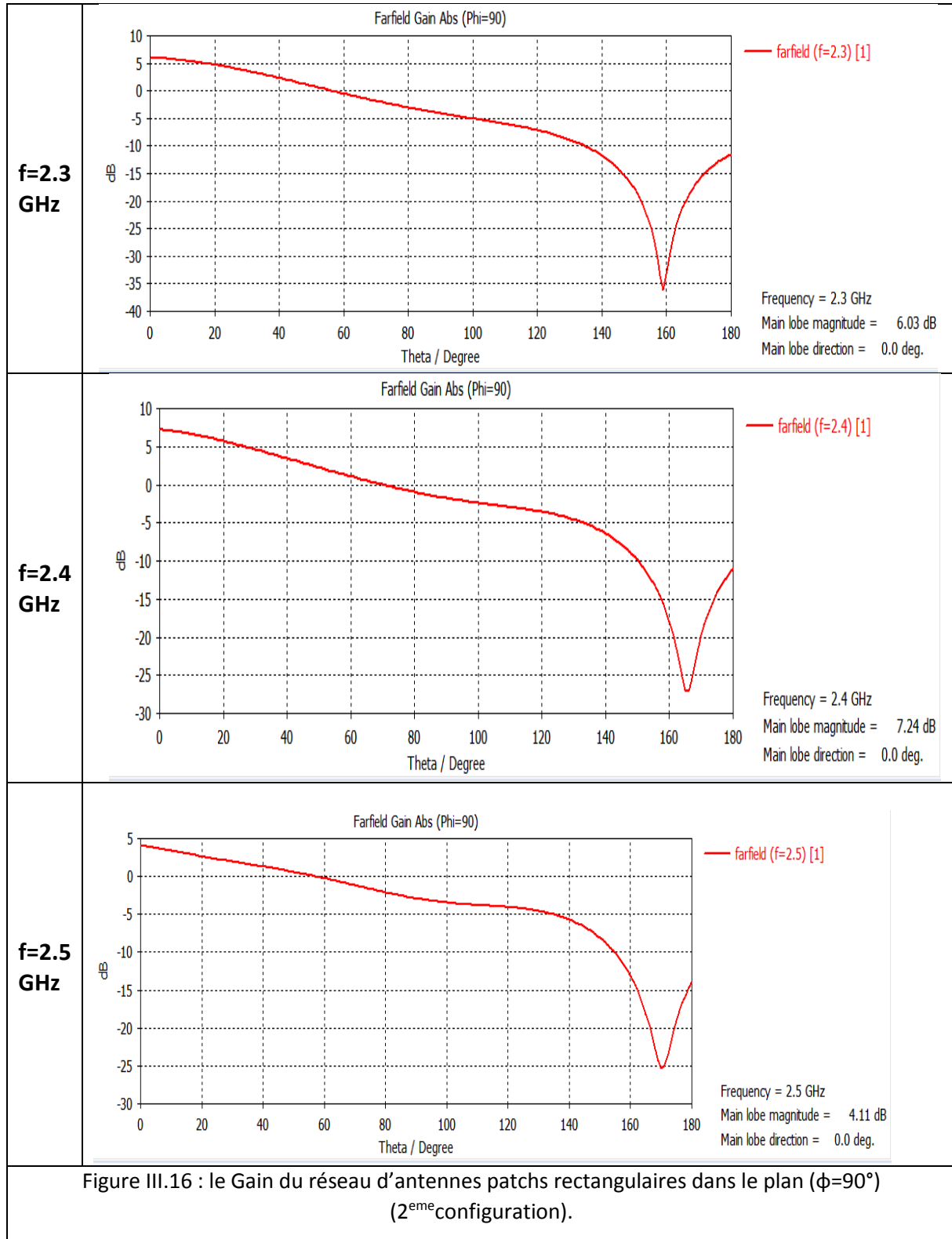


Figure III.15 : le Gain du réseau d'antennes patches rectangulaires dans le plan ($\phi=0^\circ$) (2^{ème} configuration).

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

La figure III.16 présente le Gain du réseau d'antennes sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz] dans le plan ($\varphi = 90^\circ$), d'après cette figure on constate que le gain maximum est obtenu pour la fréquence de 2.4 GHz.



Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

Les gains max sont récapitulés dans le tableau II.05 qui indique la variation du gain en fonction de la fréquence :

Fréquence en GHz	2.3	2.4	2.5
Gain max (dBi) Plan ($\phi=0^\circ$)	6.03	7.24	4.11
Gain max (dBi) Plan ($\phi=90^\circ$)	6.03	7.24	4.11

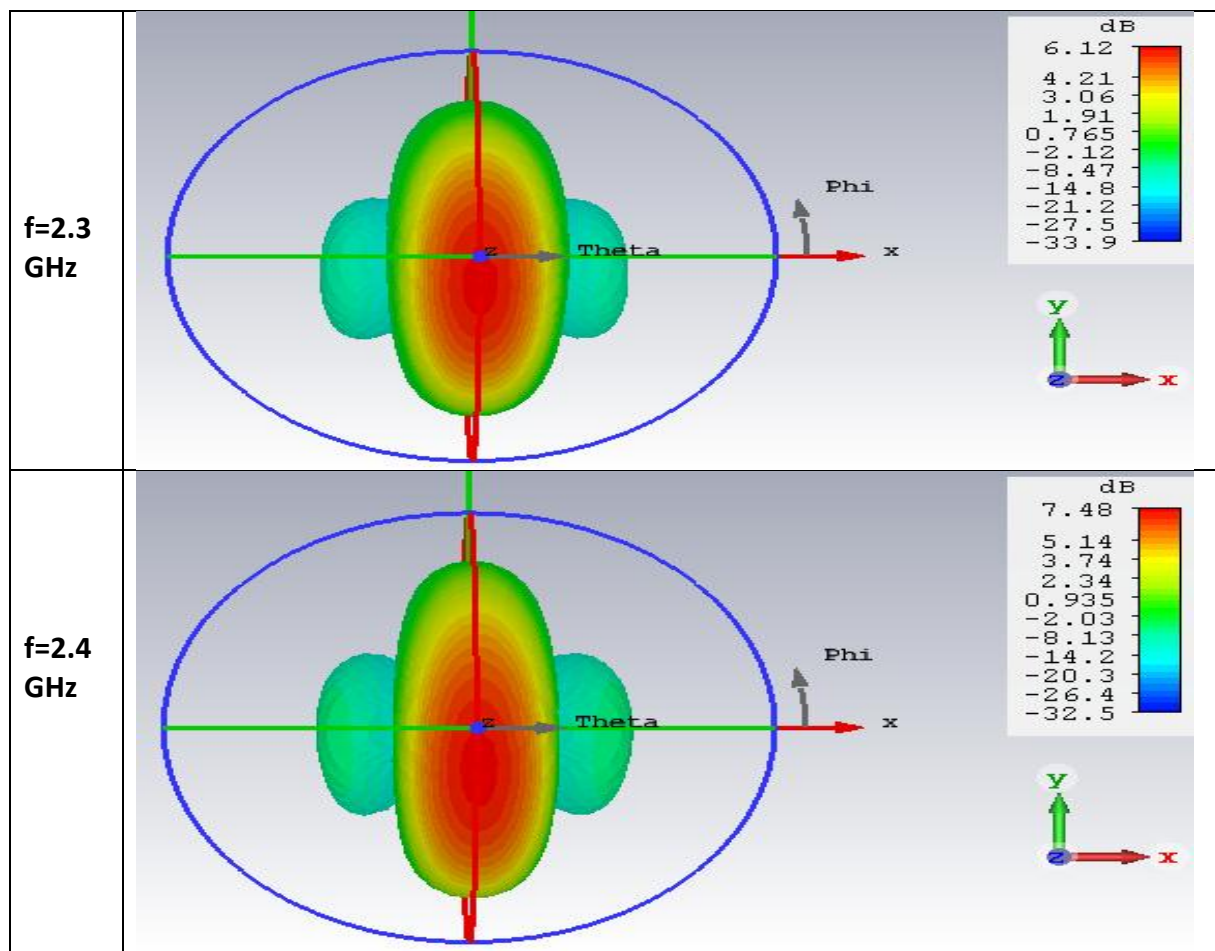
Tableau III.05 : gains max du réseau d'antennes pour la (2^{ème} configuration) en dBi pour les plans ($\phi=0^\circ$) et ($\phi=90^\circ$).

Remarque :

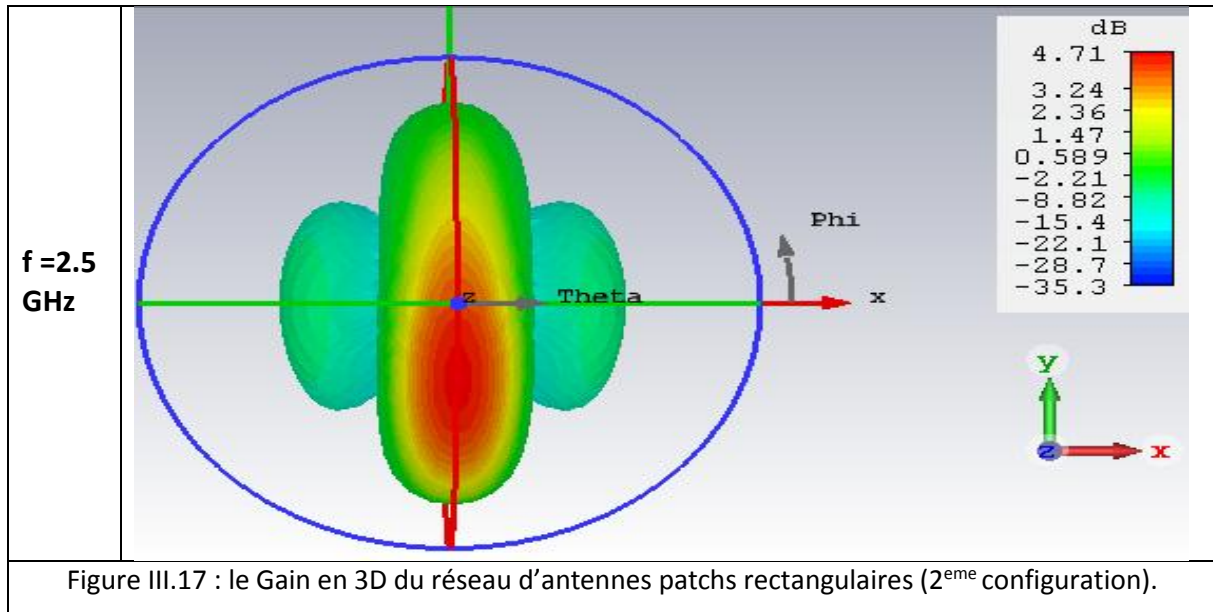
D'après le tableau III.05 on remarque que les valeurs du gain pour une fréquence donnée sont les mêmes pour les deux plans.

• **Gain en 3D**

La figure III.17 présente le Gain du réseau d'antennes patches rectangulaires en 3D sur la bande de fréquence [2.3GHz _2.5GHz].



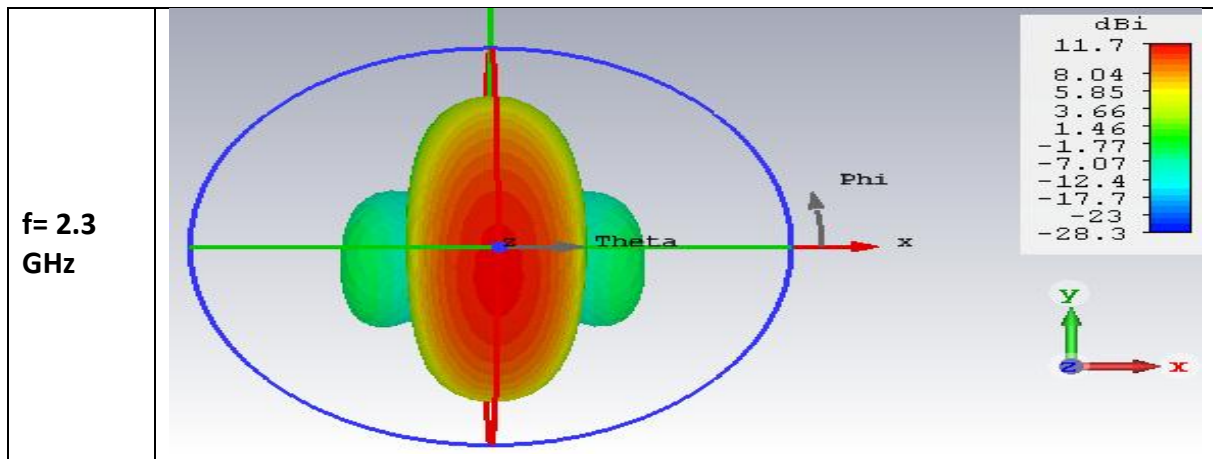
Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations



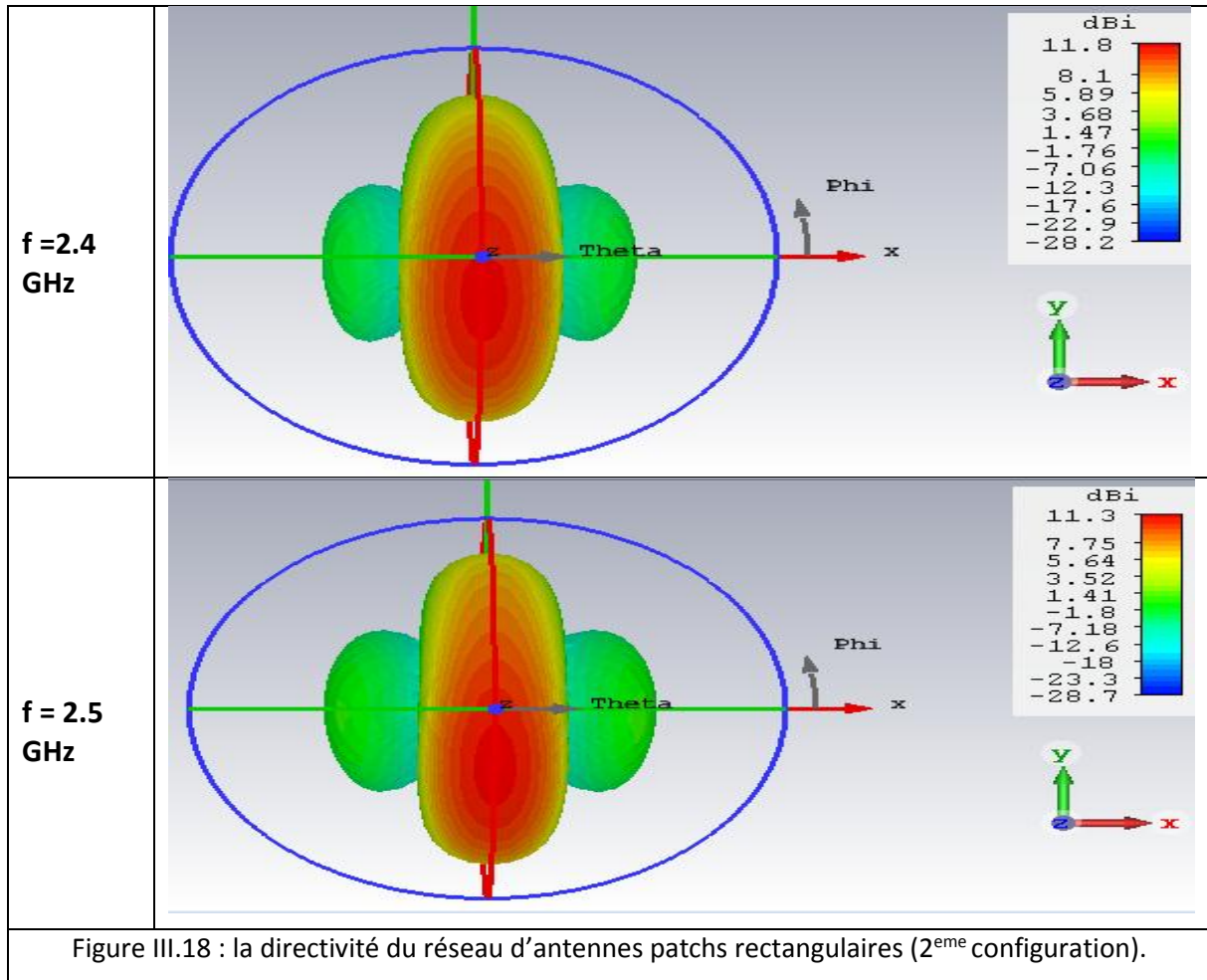
III.3.6 Directivité (deuxième configuration)

La figure III.18 présente le diagramme de rayonnement en 3D du réseau d'antennes patches rectangulaires pour différentes valeurs de la fréquence de travail de ce réseau.

A partir de cette figure on constate que lorsque la fréquence augmente la directivité aussi augmente. A la fréquence 2.3 GHz la valeur de la directivité est $d= 11.7$ dBi, a la fréquence 2.4 GHz la directivité devient $d=11.8$ dBi , et à la fréquence 2.5 GHz elle est $D=11.3$ dBi.



**Chapitre III : Étude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires
avec deux différentes configurations**



III.3.7 Rendement (deuxième configuration)

Le rendement est calculé en utilisant l'équation suivante :

$$G = \eta D$$

Les résultats de ce rendement sont consignés dans le tableau suivant :

Fréquence	G(gain)	D(directivité)	η (rendement)
2.3 GHz	6.12	11.7	52.30%
2.4 GHz	7.48	11.8	63.38%
2.5 GHz	4.71	11.3	41.68%

Tableau III.06 : valeurs du rendement du réseau d'antennes patches pour la 2^{ème} configuration.

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patches rectangulaires avec deux différentes configurations

Remarque :

D'après ce tableau on remarque que les résultats des différents paramètres du réseau d'antennes sont meilleurs pour la fréquence 2.4GHz.

III.4 Comparaison des résultats

A titre de comparaison des trois types d'antennes étudiées dans ce chapitre, le tableau ci-dessous présente les différents paramètres de ces antennes à la fréquence de travail $f_0 = 2.4\text{GHz}$. Dans le Tableau ci-dessous sont représentés les différents résultats de simulation. On constate qu'en passant d'une antenne patch simple à un réseau d'antennes les performances du réseau d'antennes sont nettement meilleures.

Antenne	S11 (dB)	TOS	G (dB)	D (dB)	er (%)
Antenne patch simple	[2.3944-2.4508] GHz -15.935	[2.390 2.451]GHz 1.387	1.87	5.75	32.52%
Réseau (4*1) 1 ^{ere} configuration	[2.34-2.452] GHz -7.198	[2.343-2.448] GHz 2.549	7.51	11.7	64.81%
Réseau (4*1) 2 ^{eme} configuration	[2.34-2.444] GHz -22.115	[2.337-2.44] GHz 1.1715	7.48	11.8	63.38 %

Tableau III.07 : comparaison entre résultats de simulation d'antenne patch et réseau d'antennes (4*1).

D'après les trois types d'antennes étudiées on constate que les performances du réseau d'antennes patches (4*1) de la 2^{eme} configuration sont nettement meilleures.

Concernant le réseau d'antennes de la 1^{ere} configuration le paramètre S11 est supérieure à -10dB dans l'intervalle [2.34-2.452] GHz, et le TOS est supérieur à 2 dans l'intervalle [2.34-2.448] GHz, donc ce réseau ne présente pas une bonne adaptation d'impédance dans la fréquence souhaitée $f_0=2.4\text{ GHz}$.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre on a simulé, en utilisant le simulateur CST, un réseau d'antennes patch rectangulaires (4*1) avec deux différentes configurations. On a étudié les performances de chacune d'elles à savoir le paramètre S11 et la Bande passante, le TOS, l'ouverture à mi-puissance, le Gain, la Directivité et le Rendement, avec la fréquence de travail $f_0=2.4\text{GHz}$. Ensuite on a présenté les résultats de simulation suivis par des commentaires. D'après les résultats obtenus des deux configurations on constat que la 2^{emme} configuration présente une bonne adaptation d'impédance dans la fréquence souhaitée $f=2.4\text{GHz}$. Par contre le réseau de la 1^{ere} configuration, on n'a pas pu atteindre à la bonne adaptation d'impédance pour cette.

D'après les résultats obtenu Les performances du réseau d'antenne patch de la 2^{eme} configuration sont supérieures à celle d'une antenne patch rectangulaire. La valeur du Gain

Chapitre III : Etude des performances d'un réseau d'antennes patchs rectangulaires avec deux différentes configurations

max du réseau d'antennes est de 7.24 dBi, et il est de 1.87dB pour l'antenne patch rectangulaire. Pour ce qui est la directivité, sa valeur pour le réseau d'antennes est 11.8 dBi et il est de 5.92 pour l'antenne patch rectangulaire. L'inconvénient du réseau d'antennes est que ces dimensions sont relativement grandes par rapport à l'antenne patch simple. Pour miniaturiser ces antennes il faudrait les utiliser à des fréquences plus élevés.

Dans Le chapitre suivant on va présenter le circuit imprimé que nous avons réalisé, de l'antenne patch rectangulaire étudiée au deuxième chapitre, et ses différentes caractéristiques que nous avons mesurées à l'aide d'un analyseur de réseau, et comparés Les résultats pratiques avec ceux obtenus par simulation.

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter l'antenne patch que nous avons réalisé à partir de celle étudiée au deuxième chapitre. On présente aussi la courbe de son paramètre S11 mesuré à l'aide d'un analyseur de réseau au niveau du laboratoire DIC du département d'électronique, Ensuite les résultats simulé et mesuré sont comparés.

IV.2 Réalisation d'antenne patch rectangulaire

La réalisation du circuit imprimé de l'antenne patch rectangulaire simulée dans le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au niveau de la société **Almitech** [13].

Le prix de revient de cette réalisation qui s'est élevé à 975.00 DA est exorbitant. Pour cette raison d'ailleurs qu'on n'a pas réalisé le circuit imprimé du réseau d'antennes étudié au troisième chapitre. On a soudé le connecteur de type sma avec la ligne d'alimentation de l'antenne au niveau du département. Le connecteur a couté 500 DA.

La figure IV.01 représente le masque d'antenne patch réalisée.

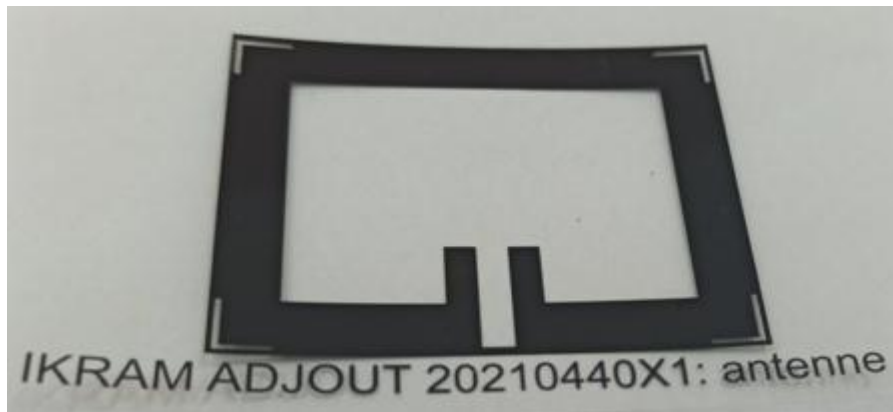
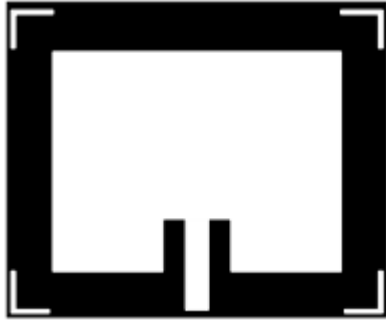


Figure IV.01 : masque d'antenne patch rectangulaire.

La figure IV.02 représente le masque de la face supérieure et le plan de masse de l'antenne faits en utilisant le logiciel **diptrace** (avec l'aide de Melle K. Boumaaza) et utilisés pour la réalisation de l'antenne.

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire



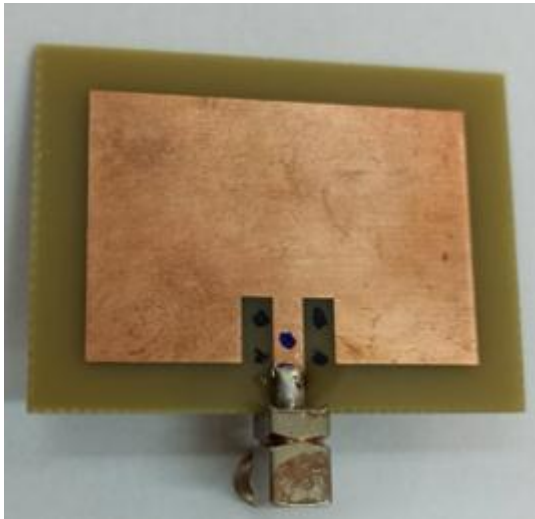
Face supérieure de l'antenne



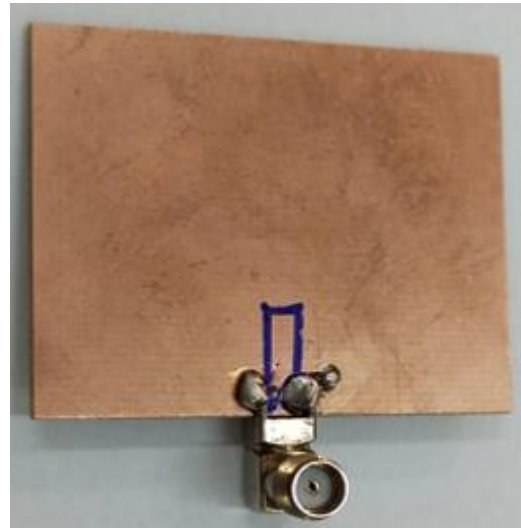
Plan de masse de l'antenne

Figure IV.02 : Masque d l'antenne patch réalisée.

La figure IV.03 représente l'antenne réalisée avec son plan de masse



Face supérieure de l'antenne



Plan de masse de l'antenne

Figure IV.03 Antenne réalisée avec son plan de masse.

IV.3 Mesures d'antenne patch réalisé

Dans cette section sont présentées les différentes étapes utilisées pour la mesure du paramètre S11 en fonction de la fréquence.

La mesure a été faite à l'aide de l'analyseur de réseau appartenant au laboratoire DIC du département d'électronique. L'appareil est de type **ROHDE&SCHWARZ ZVL NETWORK ANALYZER**. Il permet de faire des mesures dans la bande allant de 9 KHz à 3GHz.

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

La première étape effectuée était de calibrer l'analyseur de réseau. Ensuite on a connecté l'antenne patch à l'appareil de mesure et on a obtenu la courbe du paramètre S11 comme le montre La figures IV.04 ci-dessous.



Figure IV.04: antenne patch réalisé connecté avec l'analyseur de réseau.

IV.4 Résultats de la Mesure du paramètre S11 de l'antenne patch rectangulaire

La figure IV.05 représente la courbe des variations du coefficient de réflexion S11 mesuré en fonction de la fréquence. On note la valeur minimum du paramètre S11= -27.923 dB pour la fréquence 2.434GHz. Ce résultat montre que l'antenne réalisée est bien adaptée à la fréquence souhaitée d'environ 2.434 GHz.

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

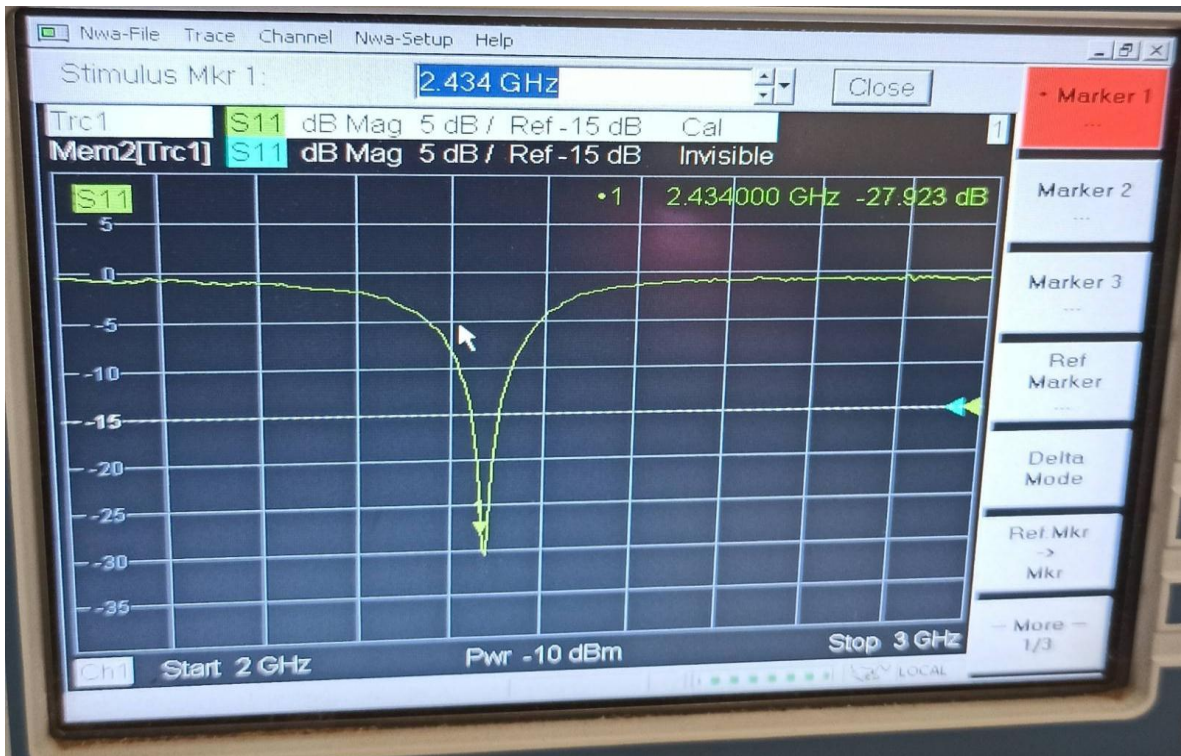


Figure IV.05 : paramètre S11 sur l'analyseur réseau.

Le tableau ci-dessous montre les résultats obtenus par simulation et par mesure et lus à partir des figures (IV.06) et (IV.07) ci-dessous. Ces figures sont tracées avec le logiciel CST sur lequel nous avons importé les données mesurées transférées de l'analyseur de réseau à l'aide d'une clé de stockage USB.

Type de données	Bande passante (GHz)	Fréquence(GHz)	Paramètre S11 (dB)
Simulées	56.4MHz	2.4217	-15.935
Mesurées	58MHz	2.434	-29.201
Erreur (%)	2.75%	0.5%	45.42%

Tableau IV.01 : Tableau comparatif entre les caractéristiques mesurées et simulées de l'antenne patch rectangulaire

Les résultats du tableau ci-dessous, montrent que les valeurs des caractéristiques de l'antenne patch obtenues par simulation proches de celles obtenues par mesure expérimentale. A titre d'exemple

- L'erreur entre la bande passante simulée et mesurée est de 2.75%
- L'erreur entre la fréquence de résonance simulée et mesurée est de 0.5%

Chapitre IV : Réalisation et mesure d'une antenne patch rectangulaire

- La valeur du coefficient de réflexion S11 est inférieur à -10dB dans les deux cas. Ce qui prouve que l'antenne présente une bonne adaptation d'impédance à sa fréquence de résonance.

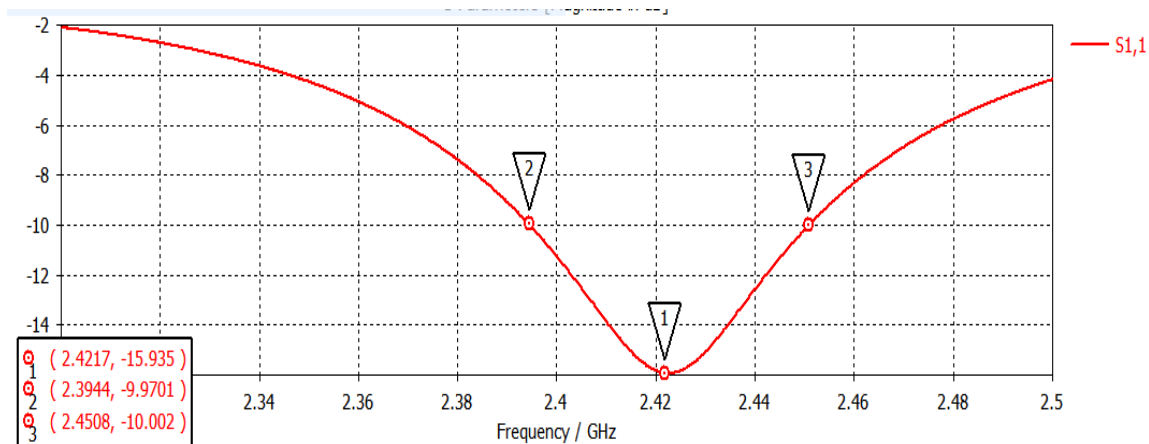


Figure IV.06 : paramètre S11 simulé avec CST.

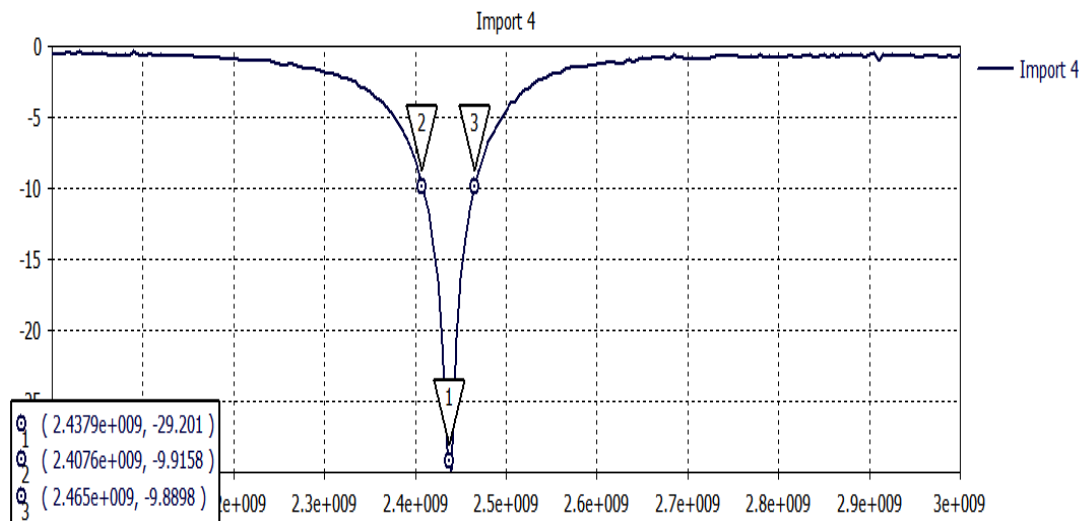


Figure IV.07 : paramètre S11 mesuré avec analyseur réseau.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'antenne patch que nous avons réalisé. Nous avons aussi évalué expérimentalement certaines caractéristiques de l'antenne telles que la bande passante, la fréquence de résonance ainsi que le coefficient de réflexion S11. Les résultats trouvés par simulation sont très proches de ceux que nous avons mesurés à l'aide de l'analyseur de réseau. L'antenne réalisée répond donc avec satisfaction au cahier des charges fixés.

Conclusion Générale

L'objectif principal de ce travail était la conception d'une antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne de transmission micro ruban et un réseau d'antennes patch rectangulaires avec deux différentes configurations dans la bande 2.4 GHz. Pour ce faire on a utilisé un simulateur CST (Computer Simulation Technology).

Dans le premier chapitre nous avons présenté l'essentiel de la théorie des antennes patch tels que les caractéristiques de l'antenne (S_{11} , TOS, La bande passante, Le Gain, La Directivité et l'efficacité de rayonnement), leurs applications et leurs méthodes d'alimentation et d'analyse, ainsi leurs avantages et les inconvénients, et une description sur un réseau d'antennes patch.

Le deuxième chapitre était consacré à la conception d'une antenne patch rectangulaire de fréquence de résonance autour de 2.4GHz en utilisant le simulateur CST. Les valeurs obtenues des caractéristiques de l'antenne conçue de l'antenne sont : Gain (G) = 1.87dB, Directivité (D) = 5.75 dB, Rendement (ϵ_r) = 32.521%. Le gain obtenu pour cette antenne est de faible valeur.

Pour améliorer le gain de l'antenne nous avons conçu un réseau d'antenne patch (4*1) avec deux différentes configurations dans le troisième chapitre. D'après les résultats obtenus des deux configurations on constate que la 2^{ème} configuration, composée de deux fois deux antennes en parallèle, présente une bonne adaptation d'impédance pour la fréquence souhaitée $f=2.4\text{GHz}$. Les valeurs obtenues des caractéristiques du réseau d'antennes de la 2^{ème} configuration sont : Gain (G) = 7.48dB, Directivité (D) = 11.8 dB, Rendement (ϵ_r) = 63.38%. Ces résultats sont nettement meilleurs que ceux obtenus pour l'antenne patch rectangulaire simple. L'inconvénient du réseau d'antennes est que ces dimensions sont relativement grandes par rapport à l'antenne patch simple. Pour miniaturiser ces antennes il faudrait les utiliser à des fréquences plus élevés. Par ailleurs, les problèmes sur l'utilisation de l'antenne patch se reposent sur sa faible bande passante et son faible gain.

Dans le quatrième chapitre nous avons présenté le circuit imprimé de l'antenne patch rectangulaire simple que nous avons réalisé. Nous avons aussi présenté la courbe de son paramètre S_{11} mesuré à l'aide d'un analyseur de réseau au niveau du laboratoire DIC du département d'électronique. Les résultats pratiques sont ensuite comparés à ceux obtenus par simulation.

Il se trouve que les résultats trouvés par simulation sont très proches de ceux que nous avons mesurés à l'aide de l'analyseur de réseau.

Références bibliographique

- [1]: Bahl, Bhartia, 'Microstrip Antenna ', Artech House, 1980.
- [2] : Constantine A. Balanis, 'ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN' A JOHN WILEY & SONS, INC. 2005.
- [3] : Constantine A. Balanis, 'MODERN ANTENNA HANDBOOK' A JOHN WILEY & SONS, INC,2008.
- [4] : Leila Chouitti, 'contribution à l'étude d'antenne imprimées rectangulaires doubles bandes et multi-bandes tenant compte de l'effet de couplage', Thèse magistère, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.
- [5]: K. Carver, 'A Leaky Wave Analysis of the High-Gain Printed Antenna Conguration', Proceedings of the Workshop on Printed Antenna Technology », New Mexico State University, Las Cruces, 1979.
- [6]: Alexandre Boyer alexandre.boyer@insa-toulouse.fr www.alexandre-boyer.fr
- [7]: J.L. Allen,'A Theoretical Limitation on the Formation of Lossless Multiple Beams in Linear Arrays', IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 9, No. 7, pp. 350-352, Juillet 1961.
- [8]: D. E. N. Davies, 'Circular Arrays: Their Properties and Potential Applications', IEE Second International Conference on Antennas and Propagation, pp. 1–10, April 1981.
- [9]: O. A. Civil, P. H. Pathak, P. Janpugdee' and B. A., 'Mu Surface Waves On a Finite Planar Dipole Array in Free Space', IEEE Trans. Antenna Propagation, pp 78-81, 2002.
- [10]: S.K. Rao, 'Parametric Design and Analysis of Multiple-Beam Reflector Antennas for Satellite Communications', IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 4, pp. 26-34, Août 2003.
- [11] : <https://www.linksys.com/be/support-article?articleNum=134478>.
- [12] : A. S. Gandhi, ' Antenna design, simulation and fabrication', Visvesvaraya National Institute of Technology (Deemed University), 2006.
- [13]: Société : Almittech, PHONE :023611931 ou 023611932, Mobile :0550909073 ou 0550910852, EMAIL : circuit@almittech-dz.com, Adresse : Lot J01 Villa N07 GARIDI 01, Kouba.

ANNEXE

A.1 Présentation du simulateur CST (Computer Simulation Technology)

CST permet la construction d'un système complet composé d'antennes (ou de plusieurs antennes), de réseaux d'adaptation ou d'alimentation, et de l'environnement à un niveau schématique et tridimensionnel. [A1]

CST Studio Suite est un outil d'électromagnétisme informatique développé par Dassault Systèmes Simulai. Il contient plusieurs méthodes de simulation différentes, notamment la technique d'intégration finie (FIT), la méthode des éléments finis (FEM), la matrice de ligne de transmission (TLM), la méthode multipolaire rapide multiniveau (MLFMM) et la méthode des particules dans la cellule (PIC), ainsi que solveurs multiphasiques pour d'autres domaines de la physique avec des liens avec l'électromagnétisme.

En tant qu'outil de conception électromagnétique, CST Studio Suite est principalement utilisé dans des secteurs tels que les télécommunications, la défense, l'automobile, l'aérospatiale, l'électronique et les équipements médicaux. Une application de CST Studio Suite est la conception et le placement d'antennes et d'autres composants radiofréquences.

A.2 les étapes de concevoir une antenne patch rectangulaire de $f_0 = 2.4\text{GHz}$

- **Création d'un nouveau projet**

D'abord on va cliquer sur l'icône du logiciel CST sur le bureau, on obtient la fenêtre représentée dans (la figure A2.1) et on clique sur la cellule New and Recent et une autre clique sur New Template.

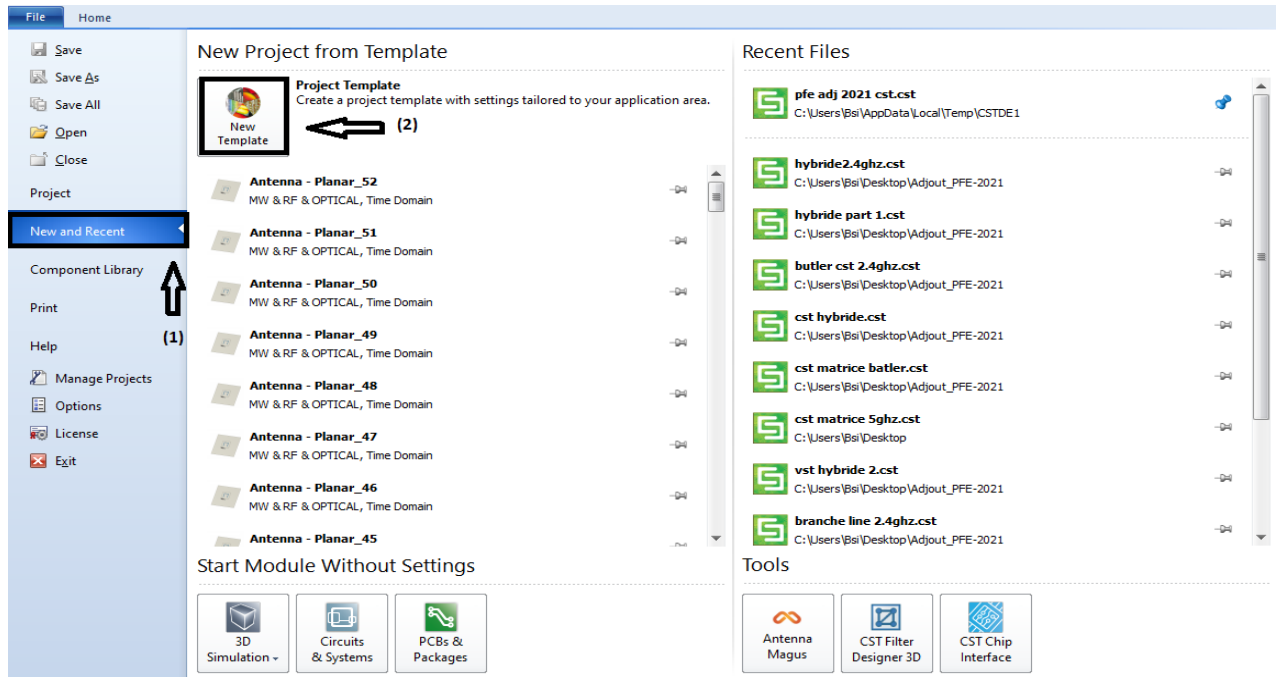


Figure A2.1 : ouverture du nouveau projet.

On obtient la fenêtre suivante qui affiche des choix multiples pour la simulation (la figure A2.2) et on choisit MW & RF & Optical ensuite Antennes et on clique sur Next :

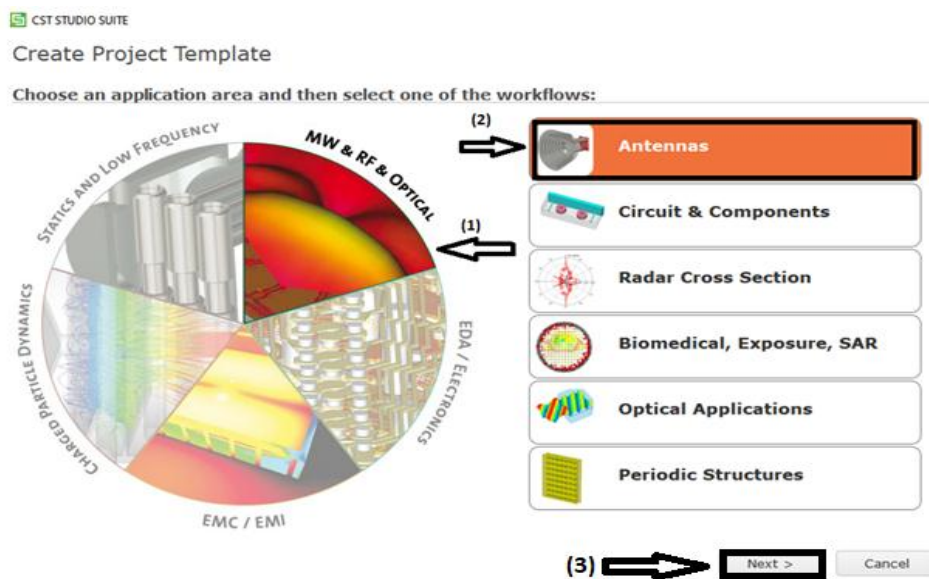



Figure A2.2 : ouverture du nouveau projet suite.

Ensuite on clique sur Planar (Patch,Slot,etc...) dans la fenêtre suivante (la figure A2.3).

 CST STUDIO SUITE

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas

Please select a workflow:

Waveguide (Horn, Cone, etc.)	Planar (Patch, Slot, etc.)	Wire	Phased Array, Unit Cell
Mobile Phone, Integrated	Reflector	Dielectric Resonator	RFID

(2)

< Back	Next >	Cancel
--------	------------------	--------

Figure A2.3 : ouverture du nouveau projet suite.

On choisit ensuite Time domain comme suivant (la figure A2.4) :



Figure A2.4 : ouverture du nouveau projet suite (domaine d'étude).

Maintenant on peut choisir les unités dans la fenêtre Units (la figure A2.5) comme suivant :

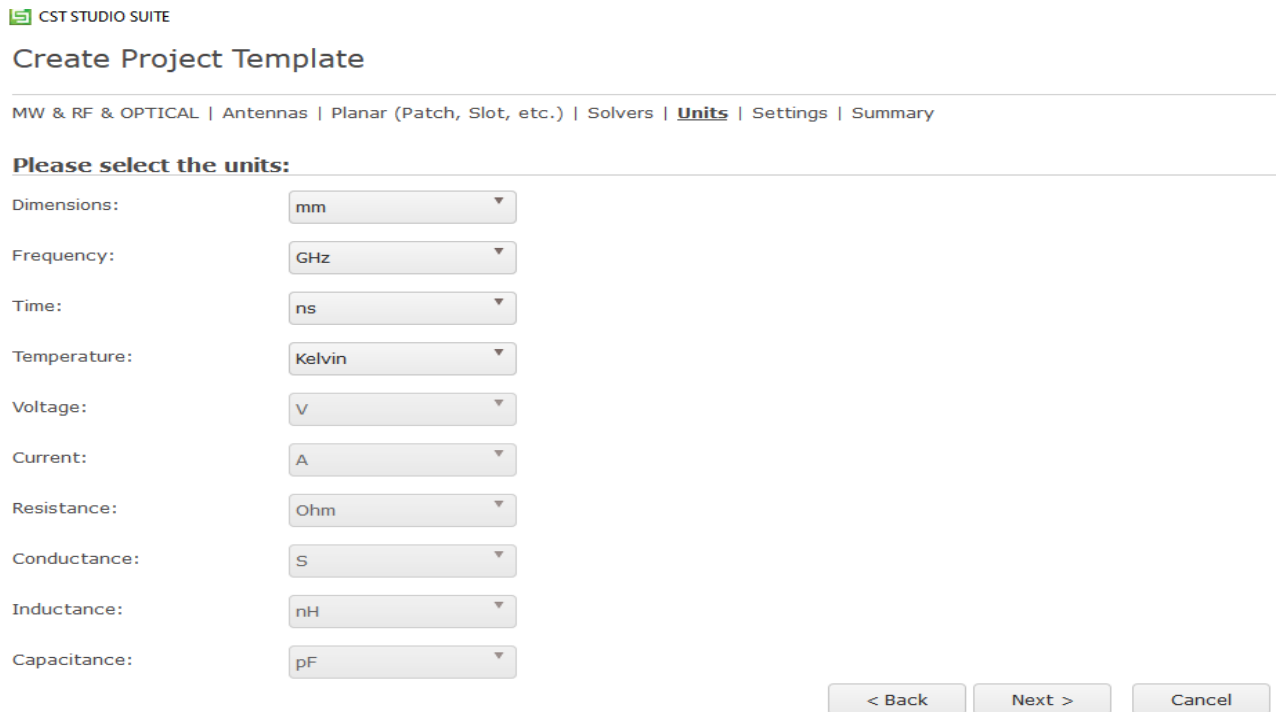



Figure A2.5 : ouverture du nouveau projet suite (choix des unités).

On va aussi limiter la bande de fréquence qu'on doit étudier les performances de notre antenne (la figure A2.6) :

 CST STUDIO SUITE

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Planar (Patch, Slot, etc.) | Solvers | Units | **Settings** | Summary

Please select the Settings

Frequency Min.: GHz


Frequency Max.: GHz

Monitors: E-field H-field Farfield Power flow Power loss

Define at GHz
Use semicolon as a separator to specify multiple values.
e.g. 20;30;30.1;30.2;30.3

Figure A2.6 : ouverture du nouveau projet suite (bande de fréquence d'étude).

Maintenant tous les paramètres sont bien réglés (la figure A2.7), et on est prêt pour commencer la conception :


 CST STUDIO SUITE

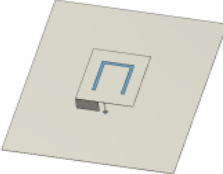
Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Planar (Patch, Slot, etc.) | Solvers | Units | Settings | **Summary**

Please review your choice and click 'Finish' to create the template:

Template Name:

Solver	Units	Settings
 Time Domain	- Dimensions: mm - Frequency: GHz - Time: ns - Temperature: Kelvin	- Frequency Min.: 2.3 GHz - Frequency Max.: 2.5 GHz - Monitors: E-field, H-field, Farfield, Power flow, Power loss - Define At: 2.3;2.4;2.5



Antennas which consist of flat radiating elements, e.g. printed microstrip, PIFA, slot, spiral or monopole geometries.

Figure A2.7 : ouverture du nouveau projet suite.

A.3 Conception de l'antenne Patch Rectangulaire

Après qu'on termine le réglage des paramètres, on aura la fenêtre de travail suivante (la figure A3.1) sur laquelle on va faire conception et simulation.

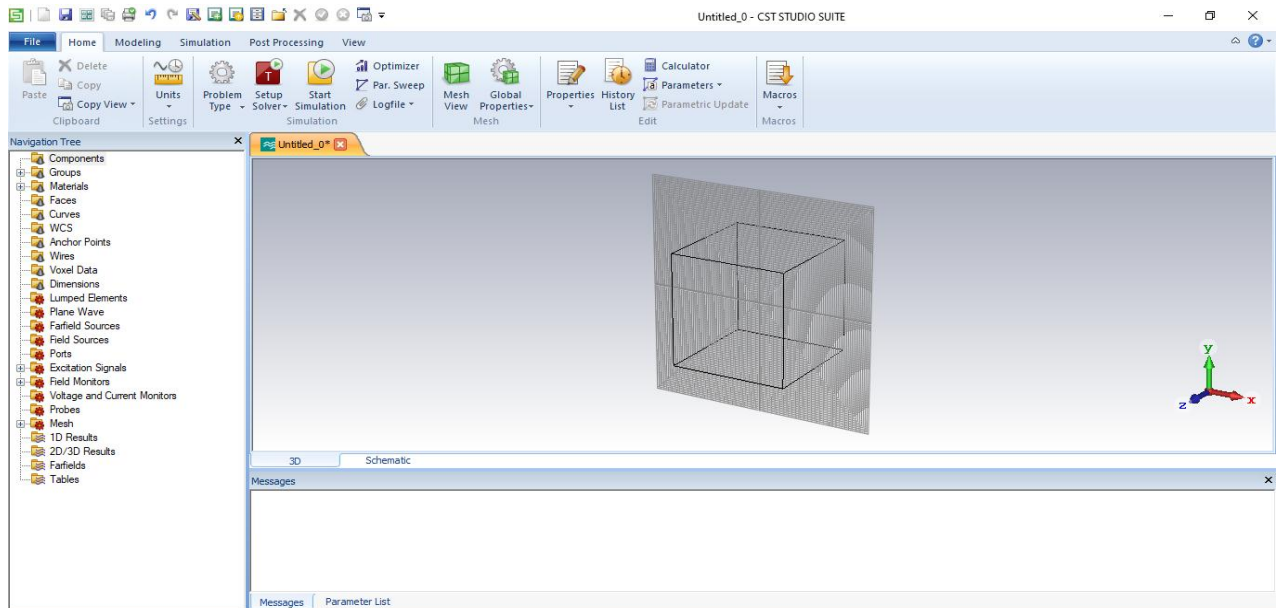


Figure A3.1 : fenêtre de travail du logiciel CST.

On commence la conception en utilisant les outils shapes dans la case de Modeling comme suivant (la figure A3.2) :

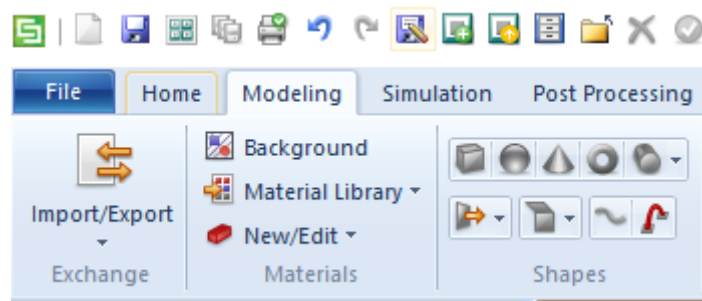
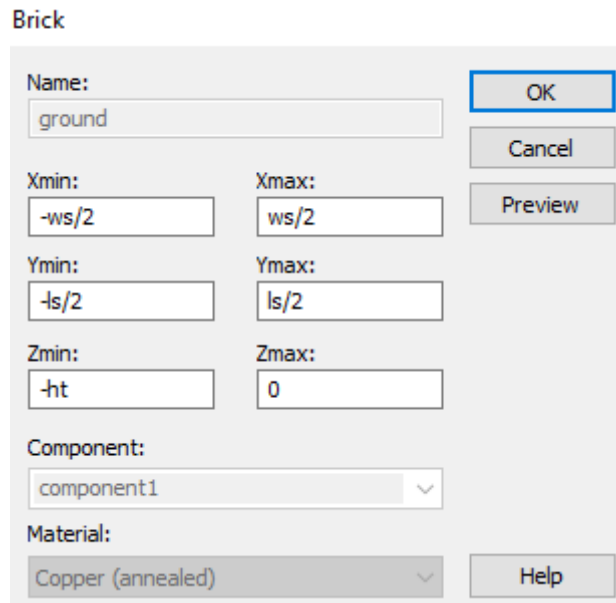


Figure A3.2 : les outils de conception.

- **Dimensionnement du plan de masse**

On utilise le cube pour tracer les dimensions des composants de notre antenne patch ensuite on fait entrer les longueurs nécessaires pour les dimensionner et les positionner. Dans la petite fenêtre nous pouvons choisir le type de matériel utilisé dans la bibliothèque du logiciel, ce dernier contient tous les paramètres électriques des matériaux organisés par ordre alphabétique.

Après qu'on remplit tous les longueurs et type de matériaux on clique sur ok et on commence à donner les valeurs des longueurs qui sont exprimées avec des lettres (la figure A3.3).



FigureA3.3: Les parameters du plan de masse.

Après qu'on a terminé, le plan de masse partiel s'affiche dans la fenêtre du travail comme suivant (la figure A3.4) et on peut changer l'angle de vision avec les outils de visions.

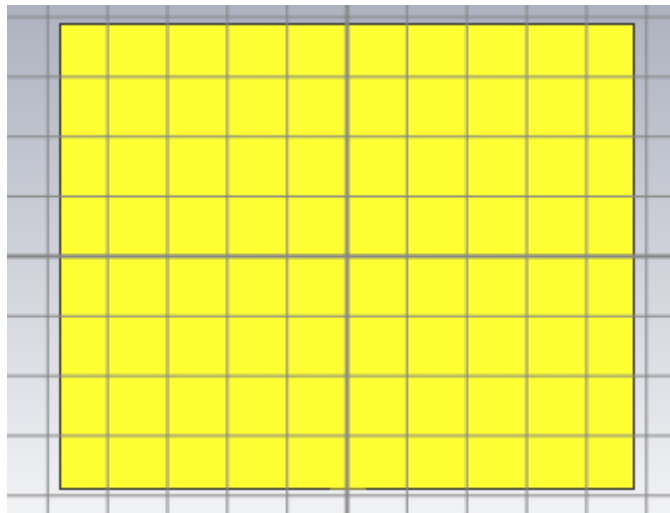
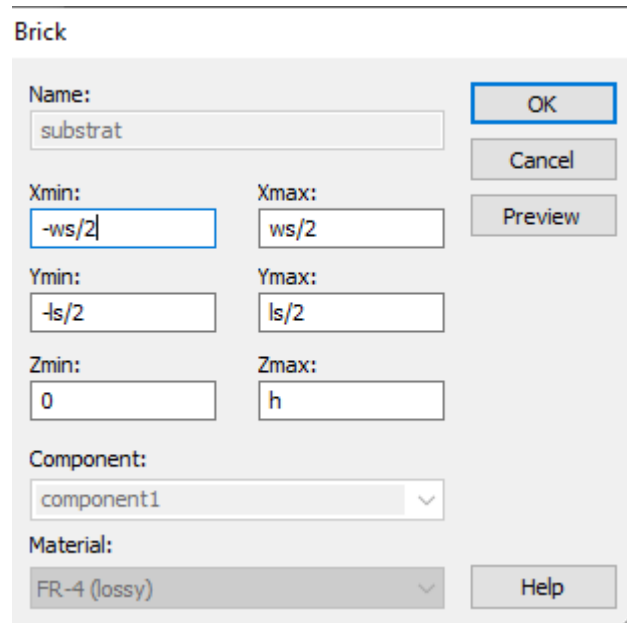


Figure A3.4 : fin de dimensionnement du plan de masse partiel.

- **Dimensionnement du substrat**

Pour faire dimensionnement du substrat on va refaire les mêmes étapes précédentes en changeant le type de matériel vers le FR-4 (lossy) (la figure A3.5).



FigureA3.5: Les parameters du substrate.

Et Voilà Substrat FR4 bien alignée avec le plan de masse partiel (la figure A3.6).

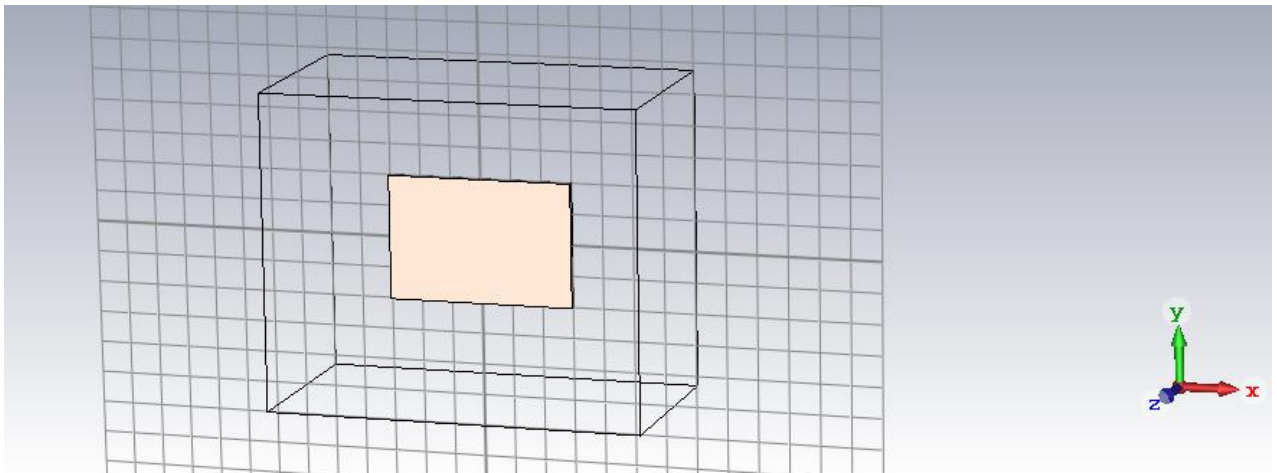
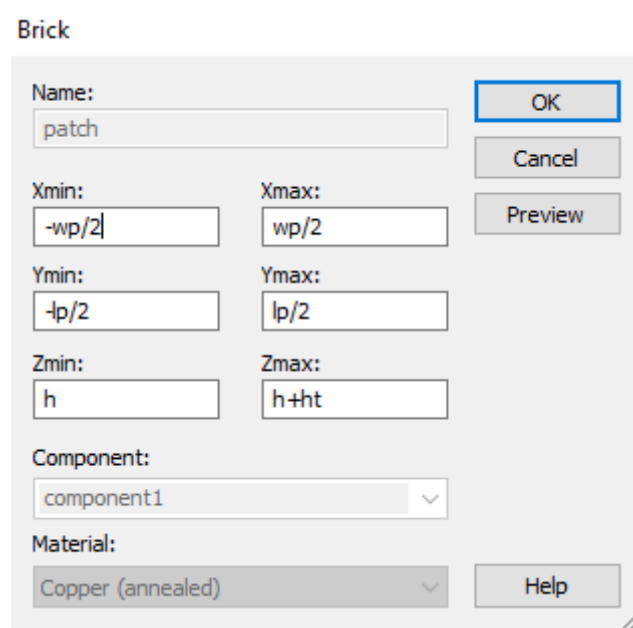


Figure A3.6 : fin de dimensionnement du substrat.

- Dimensionnement du patch

On va refaire les memes etapes pour le patch (la figure A3.7).



FigureA3.7: Les parameters du patch.

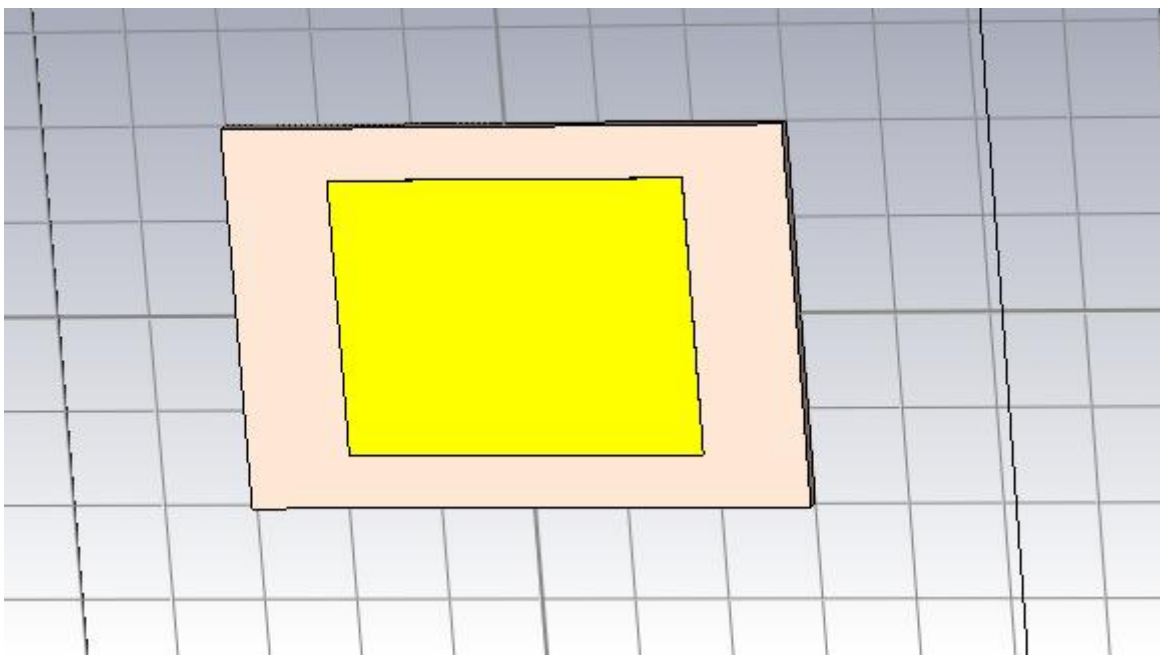


Figure A3.8 : fin de dimensionnement du patch.

- **Dimensionnement du ligne micro ruban**

On répète les mêmes étapes avec la ligne micro-ruban (feedline) (la figure A3.9).

Brick

Name: feed

Xmin: $-wf/2$ Xmax: $wf/2$

Ymin: $-lp/2$ Ymax: $-lp/2+yf$

Zmin: h Zmax: $h+ht$

Component: component1

Material: Copper (annealed)

OK Cancel Preview Help

Figure A3.9: Les parameters du la ligne micro ruban.

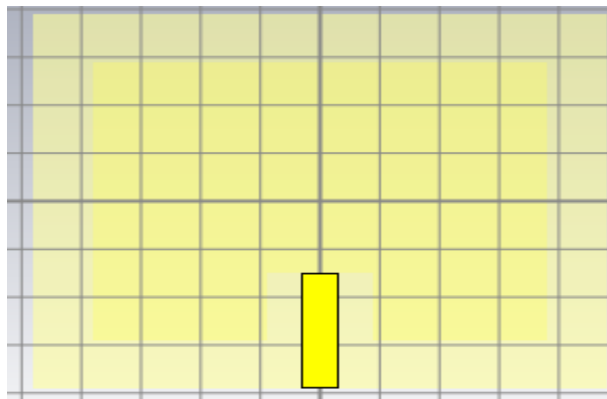


Figure A3.10 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban.

- **Dimensionnement du l'encoche**

On répète aussi les mêmes étapes avec l'encoche.

Brick

Name: slot

Xmin: $-wf/2-sf$ Xmax: $wf/2+sf$

Ymin: $-lp/2$ Ymax: $-lp/2+yf$

Zmin: h Zmax: $h+ht$

Component: component1

Material: Copper (annealed)

OK Cancel Preview Help

Figure A3.11: Les parameters du l'encoche.

Maintenant pour avoir une forme unie pour le patch et feedline on utilise le paramètre subtract dans Boolean pour fusionner les 2 parties, avant tout nous devons sélectionner les deux composants patch et slot dans la liste components trouvée à Navigation tree (la figure A3.12).

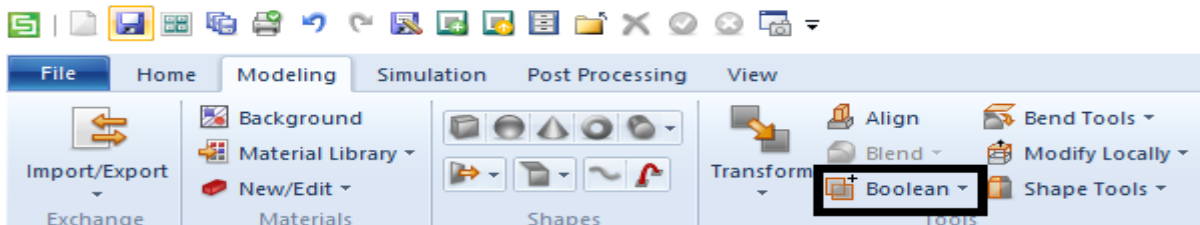


Figure A3.12 : l'outil boolean.

La liste des paramètres garde tous les valeurs des longueurs utilisées dans dimensionnement avec la possibilité de les modifier (la figure A3.13).

Name	Expression	Value	Description	Type
ws	= 48	48		Undefined
ls	= 39	39		Undefined
h	= 1.6	1.6		Undefined
wp	= 38	38		Undefined
lp	= 29	29		Undefined
ht	= 0.035	0.035		Undefined
wf	= 3	3		Undefined
yf	= 7	7		Undefined
k	= 6.7	6.7		Undefined
sf	= 3	3		Undefined

Figure A3.13: les valeurs des longueurs utilisées dans dimensionnement d'antenne patch rectangulaire.

- **L'alimentation de l'antenne patch**

L'étape suivante est l'alimentation, dans cette étape on utilise les outils picks (la figure A3.14) pour sélectionner une face de l'antenne avec une double cliquer comme illustrée dans la figure.

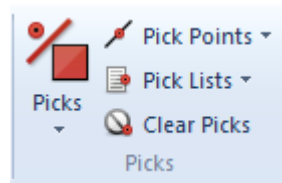


Figure A3.14 : les outils picks.

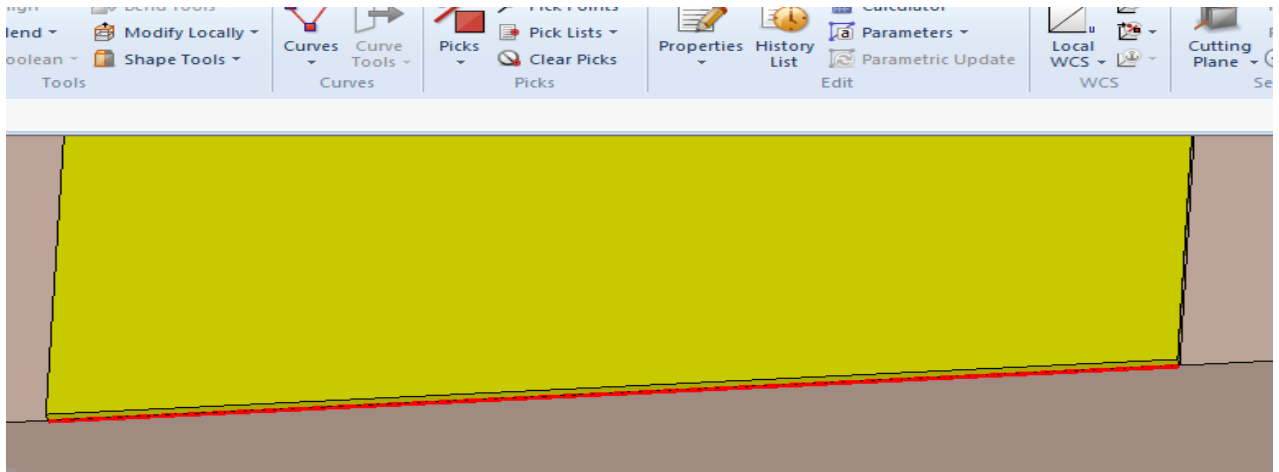


Figure A3.15 : sélection du diélectrique du connecteur.

Puis, on trouvera les sources d'alimentations dans la fenêtre Simulation, et on choisit Waveguide port (la figure A3.16).

Une fenêtre sera affichée (la figure A3.16), on clique sur ok pour avoir le point d'excitation vue dans (la figure A3.17).

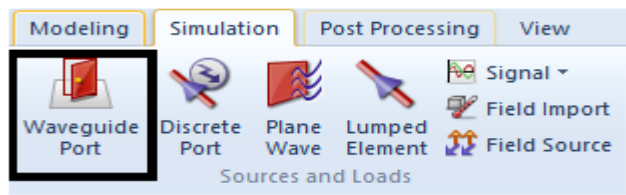


Figure A3.16 : sélection du Waveguide Port.

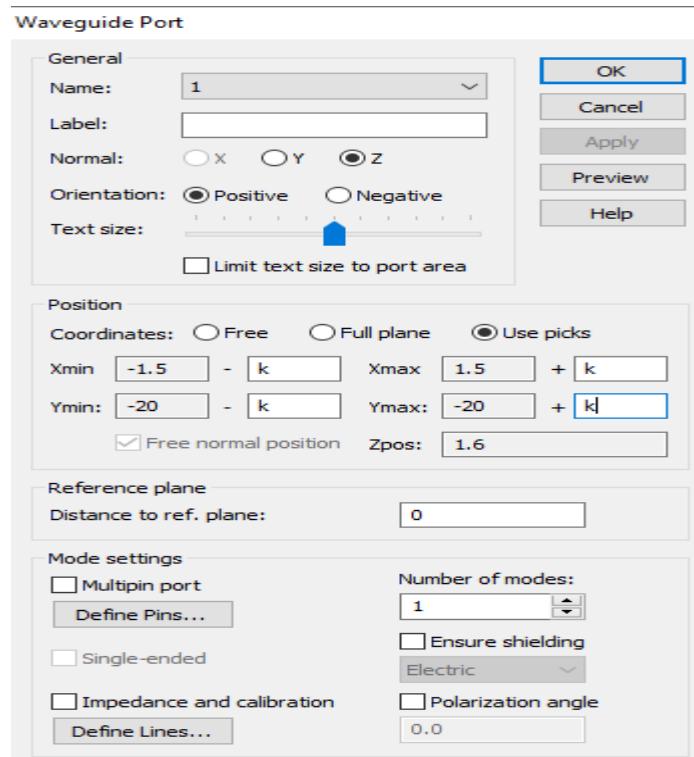


Figure A3.17 : création du port.

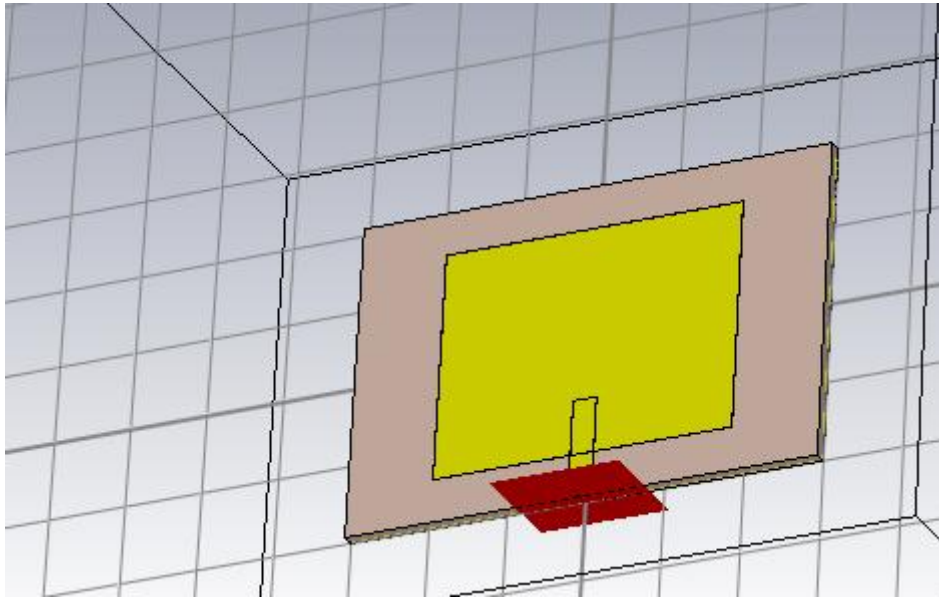


Figure A3.18 : fin de conception de l'antenne patch rectangulaire.

Avant le lancement de la simulation on va sauvegarder notre projet, en allant à la fenêtre file (la figure A3.19) puis on choisisse la destination de la sauvegarde après une clique sur save as, et on clique sur enregistrer.

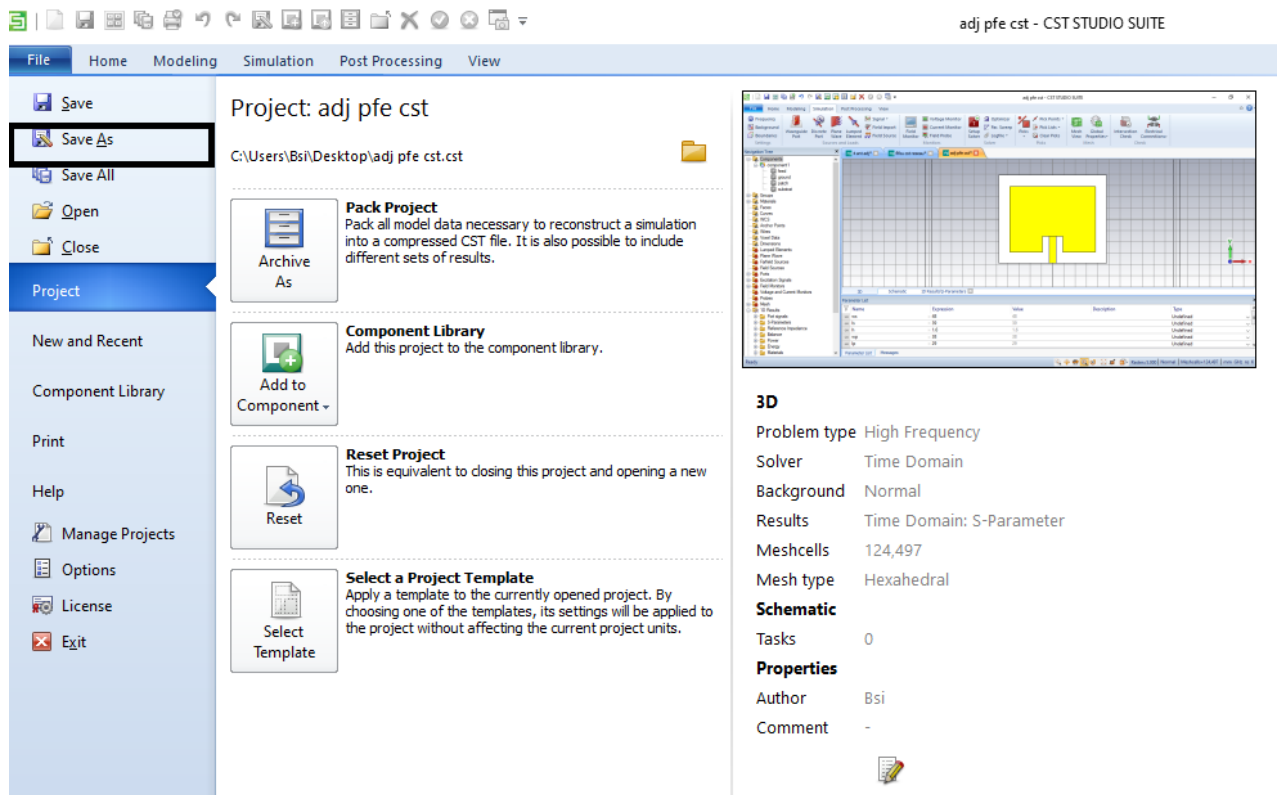


Figure A3.19 : sauvegarde du projet.

Dans la dernière étape, on choisit Start simulation dans la fenêtre Home (la figure A3.20) pour le lancement de la simulation.



Figure A3.20 : sélection du Start simulation.

A.4 Conception du réseau d'antennes Patches (1^{ère} configuration)

Pour la réalisation d'un réseau (4*1) d'antennes patch de fréquence de travail $f_0=2.4\text{GHz}$, on prend l'antenne simulé dans le chapitre II, en connectant en série 4 antennes patches identiques, avec une séparation de $\lambda_0/2$ entre les antennes.

Tout d'abord en commence par dimensionnement d'antenne patch comme celle simulé dans le chapitre II, en suit on crée 4 autres antenne patches on clique au droit de la souris sur l'antenne patch dans composants en suit sur transform et on obtient l'image suivant.

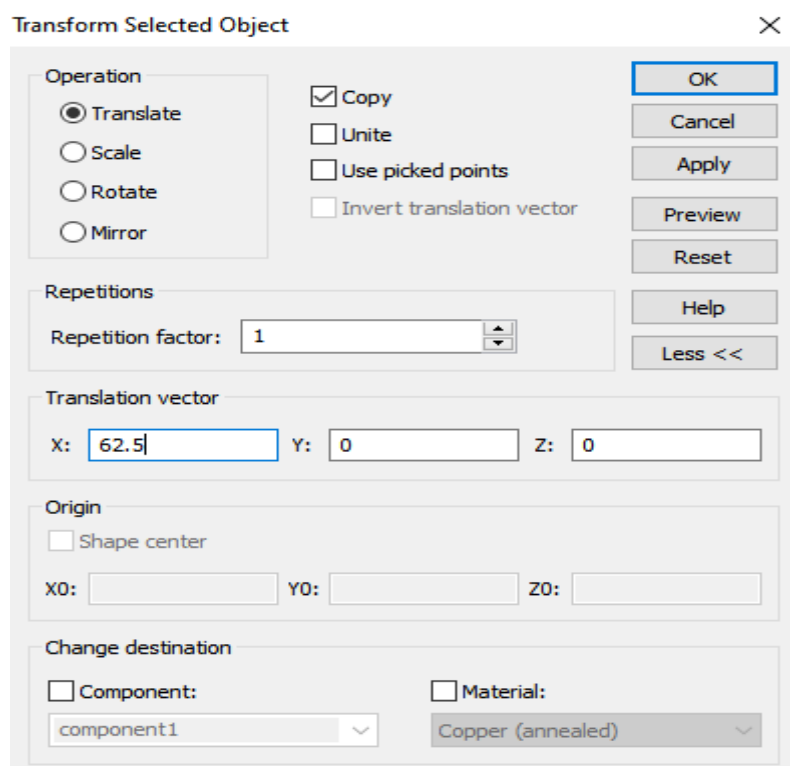


Figure A4.1 : sélection de transforme objet.

On refait le même travail deux fois pour obtenir quatre patch avec séparation de $\lambda_0/2$ entre chaque patch (la figure A4.2).

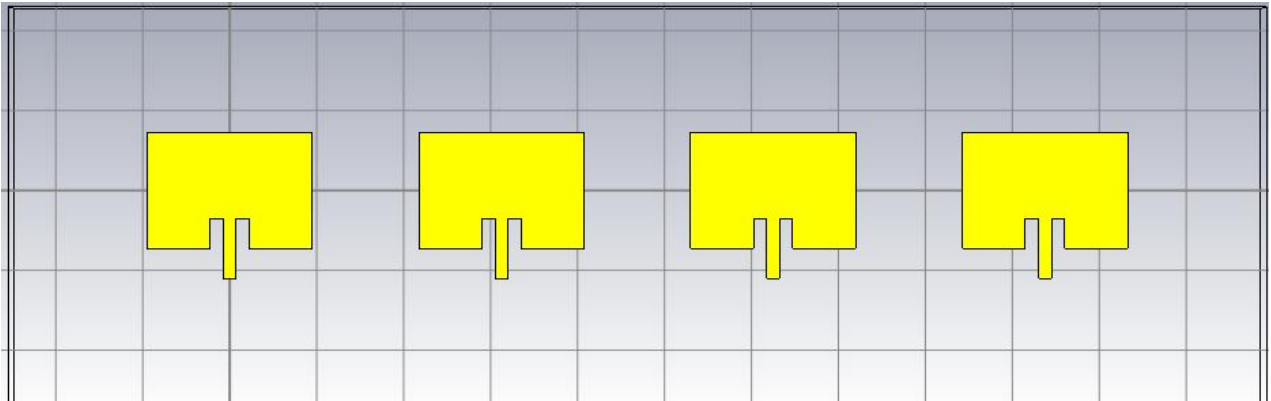


Figure A4.2 : fin de dimensionnement de quatre antenne patch.

- **Dimensionnement du ligne micro ruban horizontal**

Dans l'étape qui suit on collecter les quatre antennes on utilise le paramètre add dans Boolean

Après en connectant les quatre antennes patches avec une ligne d'alimentation.

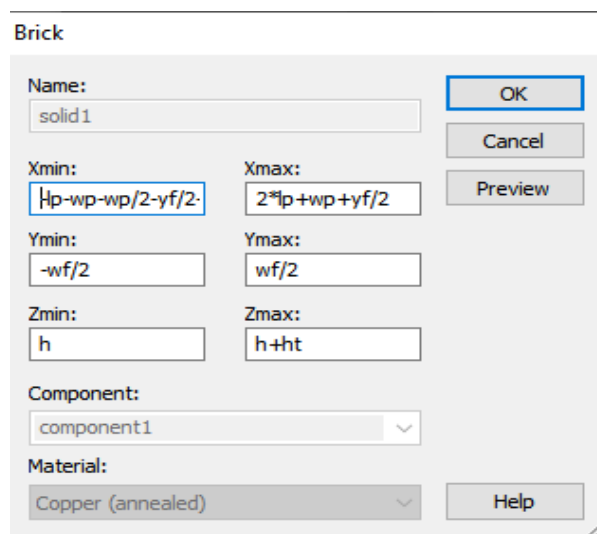


Figure A4.3 : les paramètres du la ligne micro ruban horizontal.

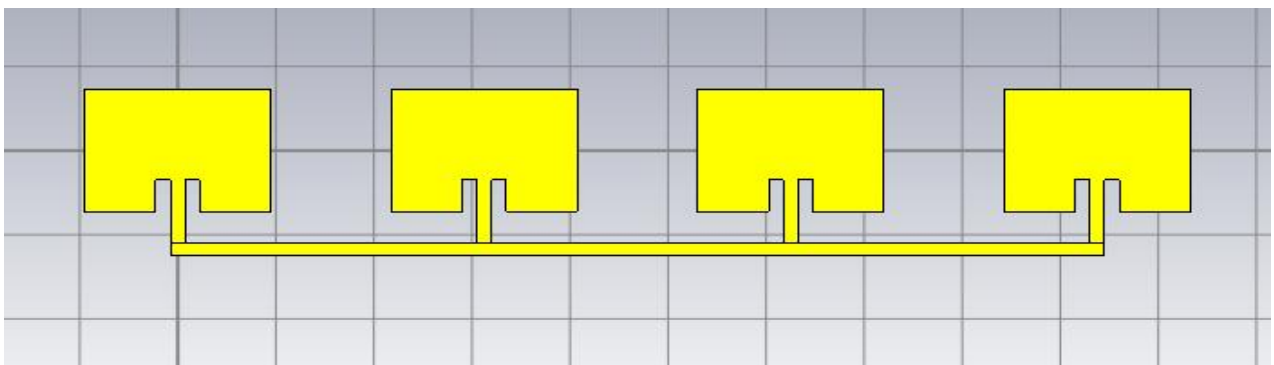


Figure A4.4 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban horizontal.

- Dimensionnement du ligne micro ruban vertical

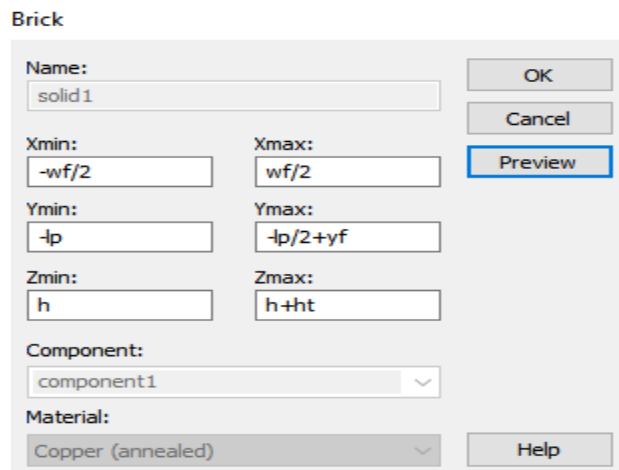


Figure A4.5: Les parameters du la ligne micro ruban vertical.

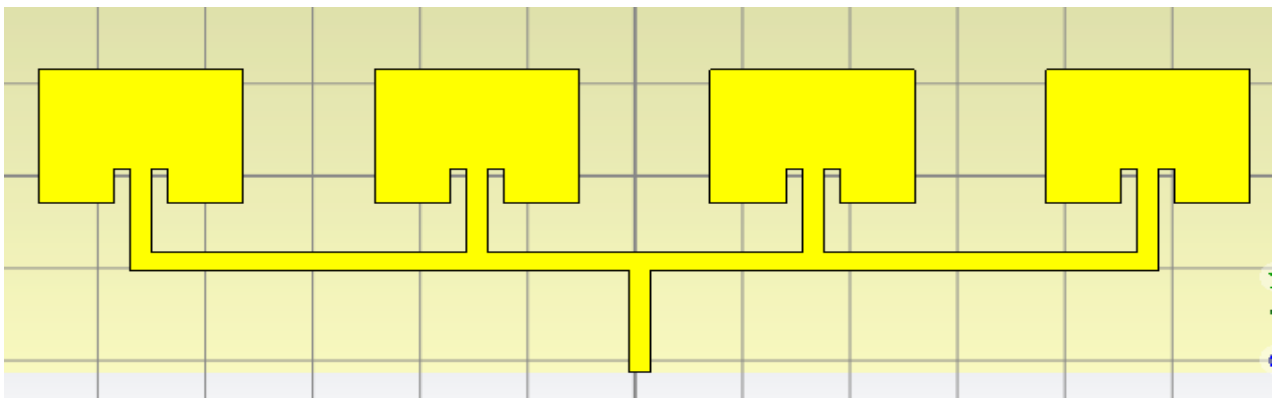


Figure A4.6 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban vertical.

- Dimensionnement du substrat et plan de masse

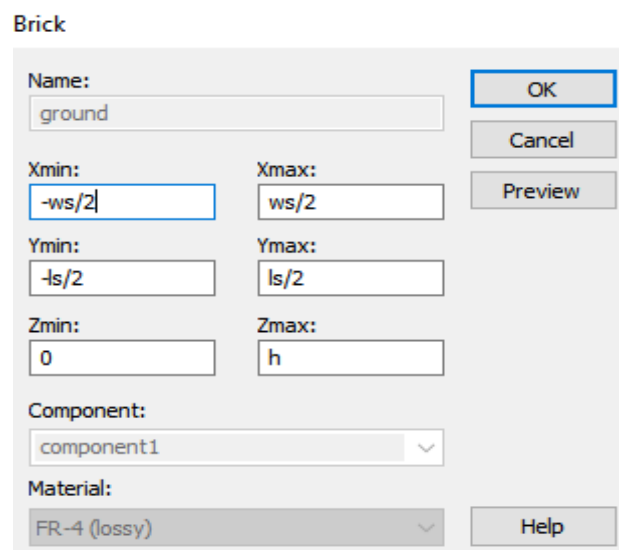


Figure A4.7: Les parameters substrate.

trick

Name: solid1 OK

Xmin: -ws/2 Xmax: ws/2 Cancel

Ymin: -ls/2 Ymax: ls/2 Preview

Zmin: -ht Zmax: 0

Component: component1

Material: Copper (annealed) Help

Figure A4.8: Les paramètres plan de masse.

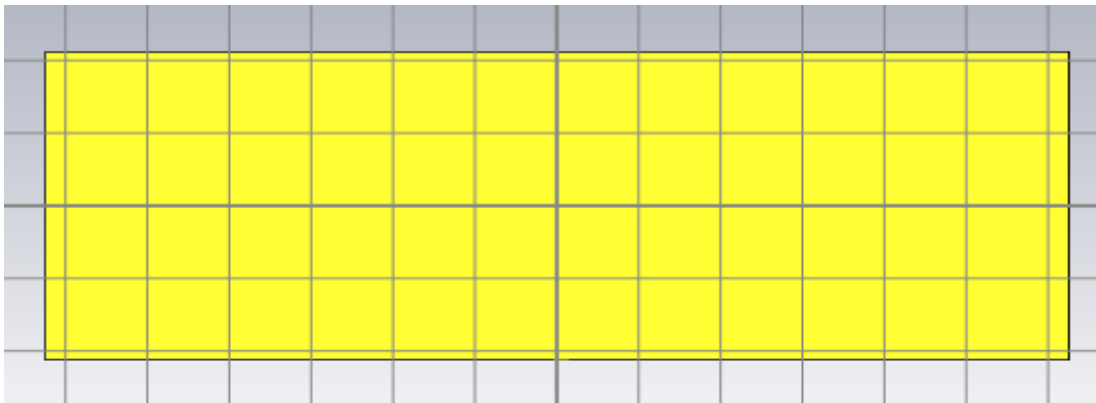


Figure A4.9 : fin de dimensionnement du plan de mase.

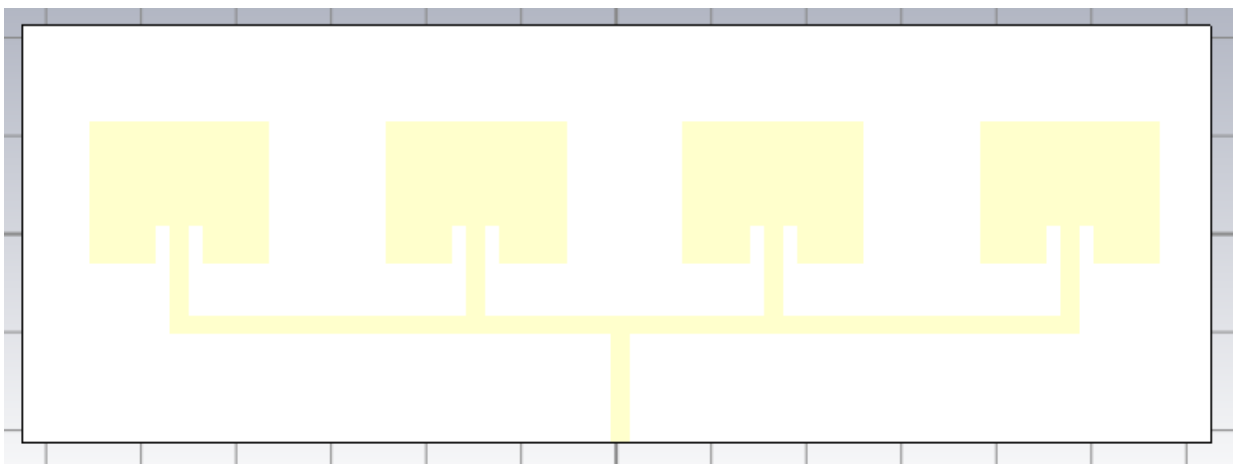


Figure A4.10 : fin de dimensionnement du substrat.

La liste des paramètres garde tous les valeurs des longueurs utilisées dans dimensionnement avec la possibilité de les modifier (la figure A4.11).

Parameter List					
Name	Expression	Value	Description	Type	
wp	= 38	38		Undefined	
lp	= 29	29		Undefined	
h	= 1.6	1.6		Undefined	
ht	= 0.035	0.035		Undefined	
wf	= 4	4		Undefined	
yf	= 7.5	7.5		Undefined	
sf	= 3	3		Undefined	
ws	= 250	250		Undefined	
ls	= 85	85		Undefined	

Figure A4.11 : les valeurs des longueurs utilisées dans dimensionnement.

L'étape suivante est l'alimentation, dans cette étape on utilise les outils picks pour sélectionner une face de l'antenne, les mêmes étapes qu'on a fait avec l'antenne patch rectangulaire.

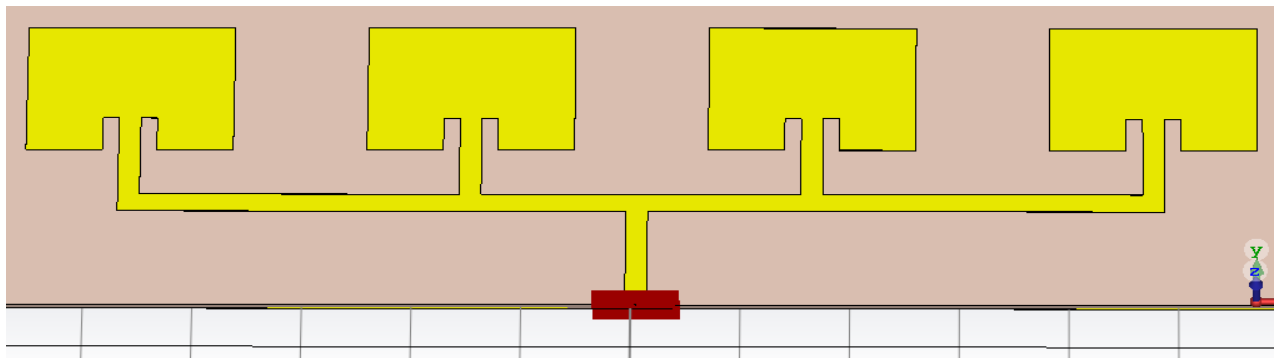


Figure A4.12 : fin de conception du réseau d'antennes patch 1^{ère} configuration.

Dans la dernière étape, on choisisse Start simulation dans la fenêtre Home pour Le lancement de la simulation.

A.5 Conception du réseau d'antennes Patches (2^{ème} configuration)

Pour la réalisation du ce réseau d'antenne on refait presque les mêmes étapes qu'on a fait dans la 1^{ère} configuration avec une séparation de $\lambda_0/2$ entre chaque patch.

Tout d'abord en commence par dimensionnement d'antenne patch on crée un autre antenne patch on clique au droit de la souris sur patch dans components en suit sur transform.

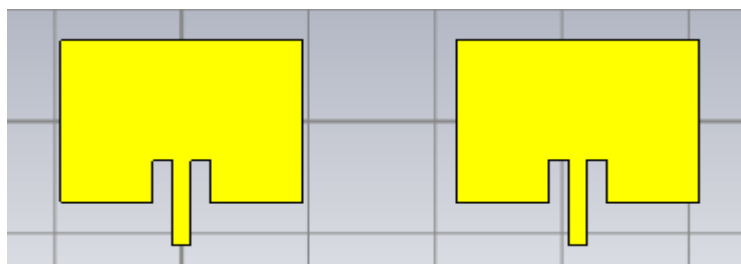


Figure A5.1 : fin de dimensionnement de deux antennes patches.

- **Dimensionnement du ligne micro ruban horizontal (1)**

En suit en connectant les deux antennes patches avec des lignes d'alimentations.

Brick

Name: feed 2

Xmin: $-yf-wf$ Xmax: $yf+2*wf$

Ymin: $-wf/2$ Ymax: $wf/2$

Zmin: h Zmax: h+ht

Component: component1

Material: Copper (annealed)

OK Cancel Preview Help

Figure A5.2 : les paramètres du la ligne micro ruban horizontal (1).

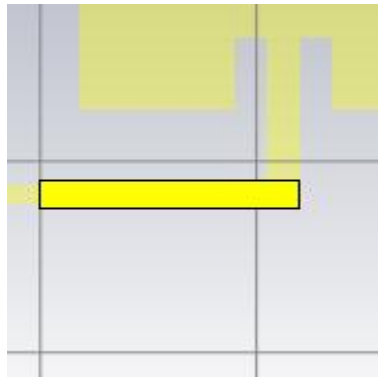


Figure A5.3 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban horizontal (1).

- **Dimensionnement du ligne micro ruban horizontal (2)**

Brick

Name: line2

Xmin: $-lp/2$ Xmax: $lp/2+wf$

Ymin: $-wf1/2$ Ymax: $wf1/2$

Zmin: h Zmax: h+ht

Component: component1

Material: Copper (annealed)

OK Cancel Preview Help

Figure A5.4 : les paramètres du la ligne micro ruban horizontal (2).

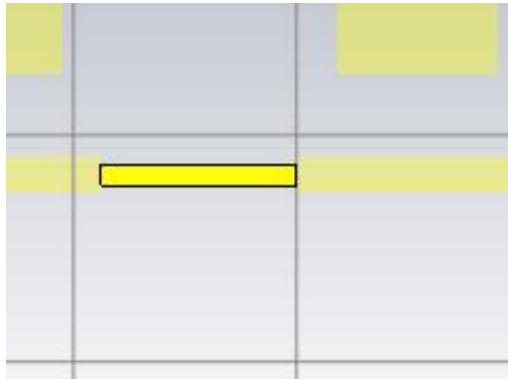


Figure A5.5 : fin de dimensionnement de la ligne micro ruban horizontal (2).

- Dimensionnement du ligne micro ruban vertical

Brick

Name:

Xmin: Xmax:

Ymin: Ymax:

Zmin: Zmax:

Component:

Material:

Figure A5.6 : les paramètres de la ligne micro ruban vertical (1).

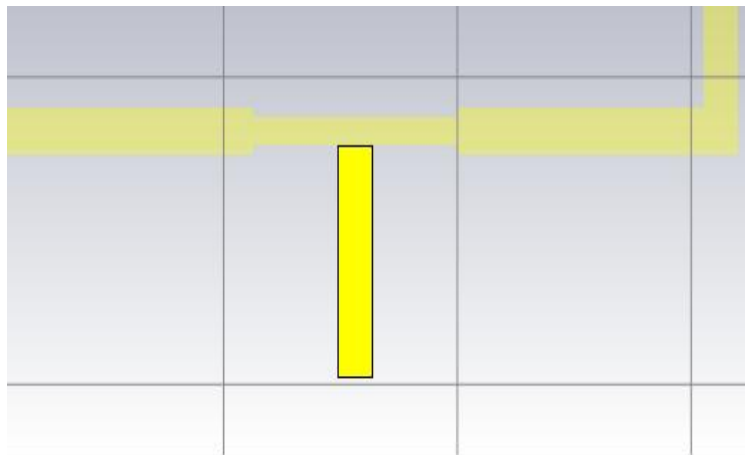


Figure A5.7 : fin de dimensionnement de la ligne micro ruban vertical (1).

En suit on crée un autre réseau d'antennes patchs (2*1) identique, avec une séparation de $\lambda_0/2$ avec chaque antenne patch on clique au droit de la souris sur réseau dans composants en suit sur transform et on obtient l'image suivant.

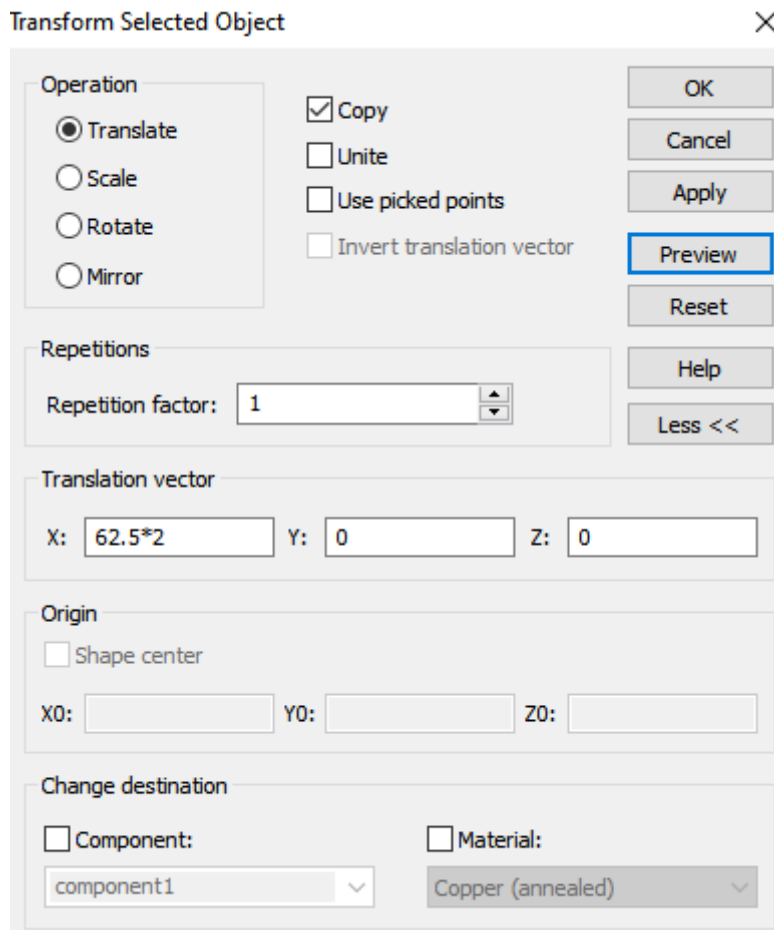


Figure A5.8 : sélection de transforme objet.

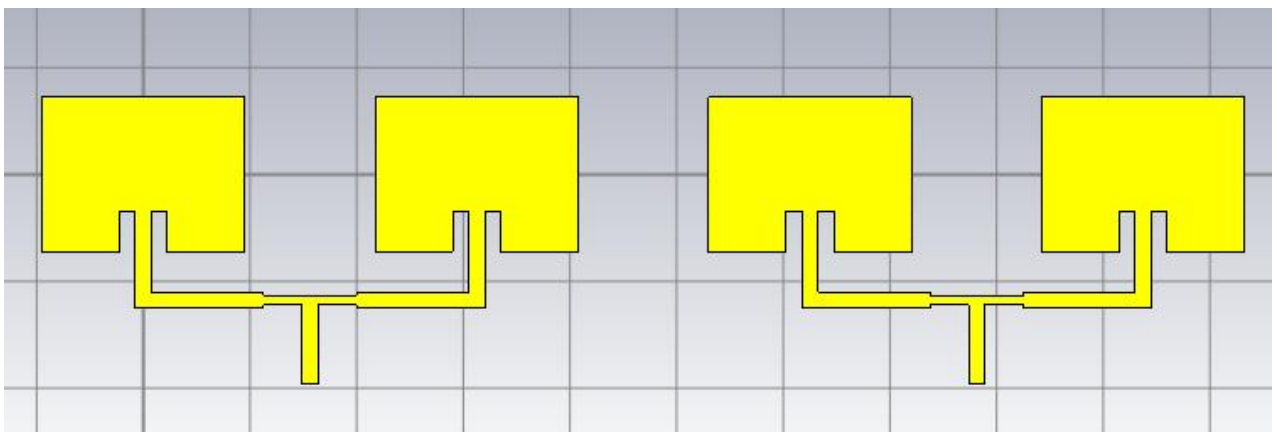


Figure A5.9 : fin de dimensionnement de deux réseau d'antennes patchs (2*1).

- **Dimensionnement du ligne micro ruban horizontal (3)**

En connectant les deux réseau d'antennes patches (2*1) avec des lignes d'alimentations (la figure A5.10) et (figure A5.11).

Brick

Name: line1

Xmin: $-wp/2-yf$ Xmax: $wp/2+yf/2$

Ymin: $-wf/2$ Ymax: $wf/2$

Zmin: h Zmax: $h+ht$

Component: component1

Material: Copper (annealed)

Buttons: OK, Cancel, Preview, Help

Figure A5.10 : les paramètres du la ligne micro ruban horizontal (3).

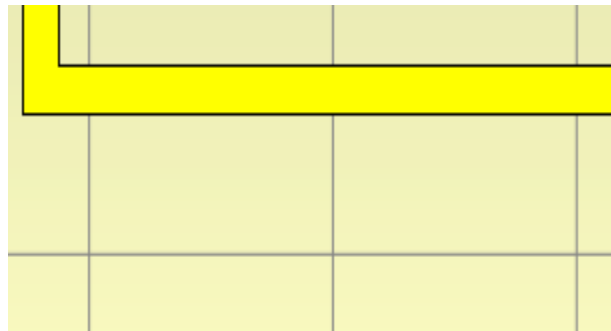


Figure A5.11 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban horizontal (3).

- **Dimensionnement du ligne micro ruban horizontal (4)**

Brick

Name: line2

Xmin: $-lp/2$ Xmax: $lp/2+wf$

Ymin: $-wf1/2$ Ymax: $wf1/2$

Zmin: h Zmax: $h+ht$

Component: component1

Material: Copper (annealed)

Buttons: OK, Cancel, Preview, Help

Figure A5.12 : les paramètres du la ligne micro ruban horizontal (4).

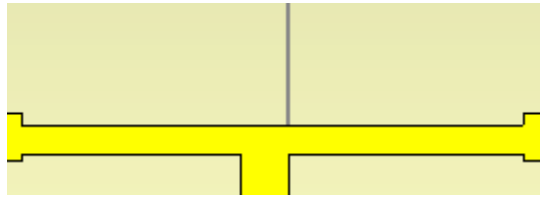


Figure A5.13 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban horizontal (4).

- **Dimensionnement du ligne micro ruban vertical (2)**

Brick

Name:

Xmin: Xmax:

Ymin: Ymax:

Zmin: Zmax:

Component:

Material:

Buttons: OK, Cancel, Preview, Help

Figure A5.14 : les paramètres du la ligne micro ruban vertical (2).

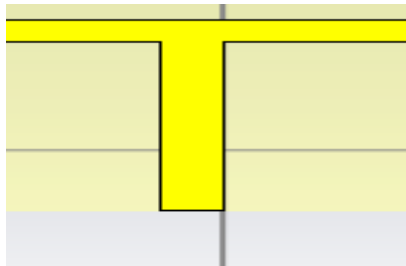


Figure A5.15 : fin de dimensionnement du la ligne micro ruban vertical (2).

- **Dimensionnement du substrat**

Brick

Name:

Xmin: Xmax:

Ymin: Ymax:

Zmin: Zmax:

Component:

Material:

Buttons: OK, Cancel, Preview, Help

Figure A5.16: Les parameters substrate.

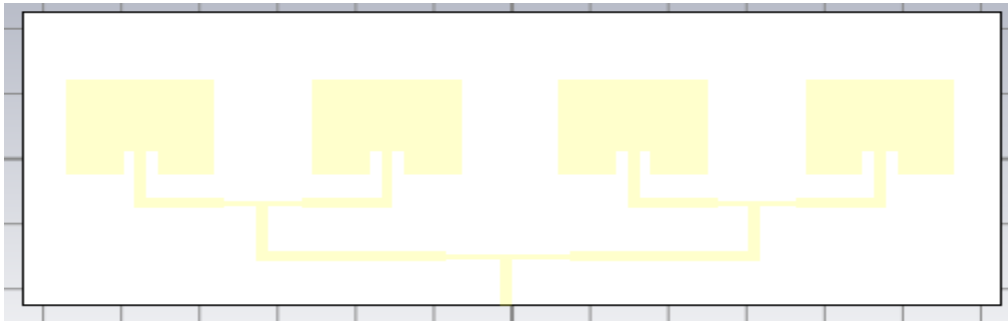


Figure A5.17 : fin de dimensionnement du substrat.

- **Dimensionnement du plan de masse**

Brick

Name:	<input type="text" value="ground"/>	<input type="button" value="OK"/>	
		<input type="button" value="Cancel"/>	
		<input type="button" value="Preview"/>	
Xmin:	<input type="text" value="-ws/2"/>	Xmax:	<input type="text" value="ws/2"/>
Ymin:	<input type="text" value="-ls/2"/>	Ymax:	<input type="text" value="ls/2"/>
Zmin:	<input type="text" value="-ht"/>	Zmax:	<input type="text" value="0"/>
Component:	<input type="text" value="component1"/>		
Material:	<input type="text" value="Copper (annealed)"/>	<input type="button" value="Help"/>	

Figure A5.18: Les paramètres plan de masse.

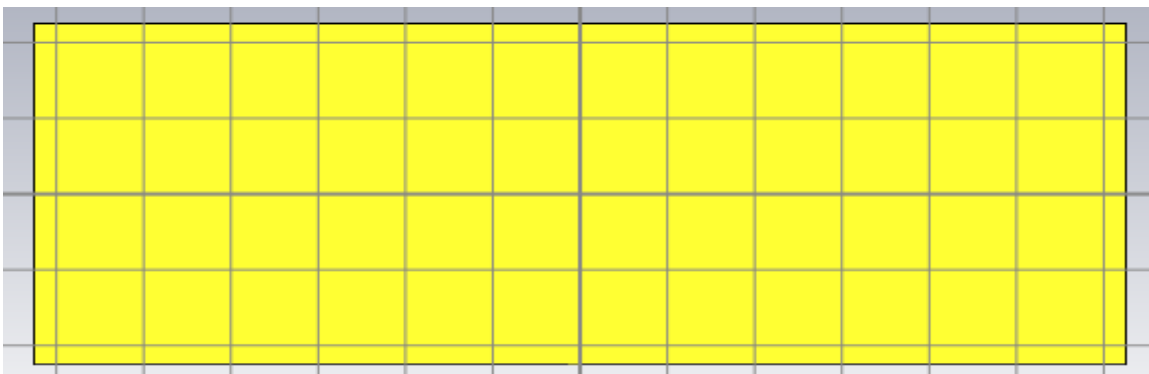


Figure A5.19 : fin de dimensionnement du plan de masse.

La liste des paramètres garde tous les valeurs des longueurs utilisées dans dimensionnement avec la possibilité de les modifier (la figure A5.20).

Name	Expression	Value	Description	Type
wp	= 38	38		Undefined
lp	= 29	29		Undefined
h	= 1.6	1.6		Undefined
ht	= 0.035	0.035		Undefined
wf	= 3	3		Undefined
ls	= 90	90		Undefined
yf	= 7	7		Undefined
sf	= 3	3		Undefined
wf1	= 1.8	1.8		Undefined
ws	= 250	250		Undefined

Figure A5.20 : les valeurs des longueurs utilisées dans dimensionnement.

L'étape suivante est l'alimentation, dans cette étape nous utilisons les outils picks pour sélectionner une face de l'antenne, les mêmes étapes qu'on a fait avec l'antenne patch rectangulaire.

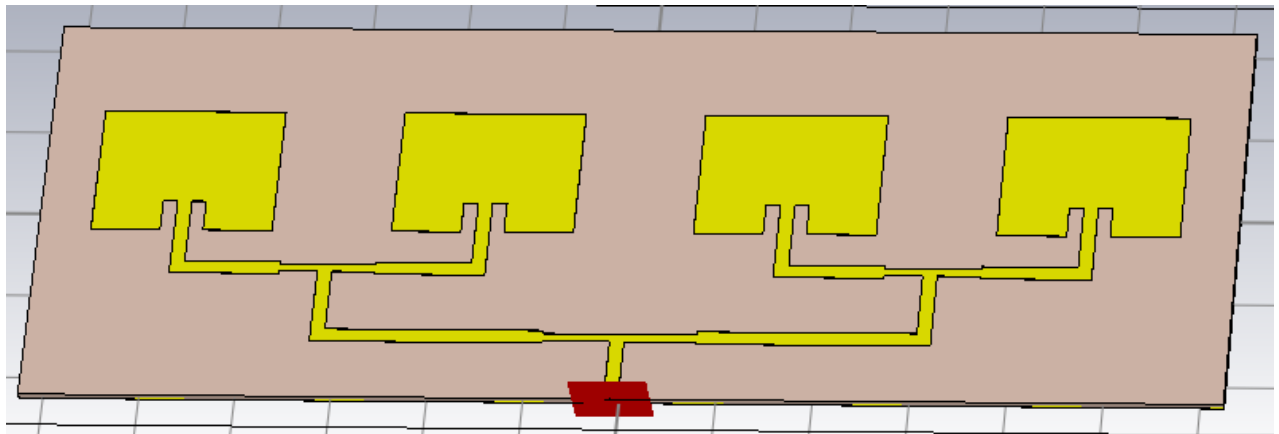


Figure A5.21 : fin de conception du réseau d'antennes patch 2^{ème} configuration.

Dans la dernière étape, nous choisissons Start simulation dans la fenêtre Home pour le lancement de la simulation.

Tous ce qui concernent les résultats nécessaires de la simulation se trouvent dans ces cases (Paramètres S11, diagramme de rayonnement, gain ...etc) (la figure A5.22).

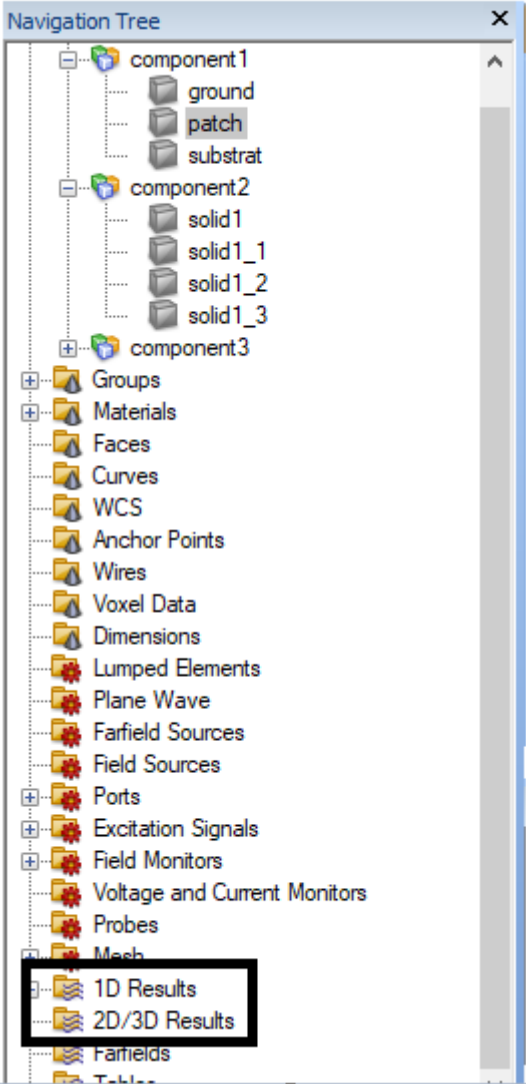


Figure A5.22 : les résultats de simulation dans Navigation Tree.

Références bibliographique de l'annexe

[A1] : State of the art antenna simulation with CST STUDIO SUITE.