

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Electronique  
Laboratoire LDCCP

Mémoire de Master en électronique

# Etude et conception d'un réseau d'antennes en technologie microruban.

**DERBAL Mohammed Cherif**

Sous la direction de  
**M. Pr. R. AKSAS**

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juin 2017

## Composition du Jury :

Président	M. M. TRABELSI	Pr.	ENP
Promoteurs	M. R. AKSAS	Pr.	ENP
	M. K. FERTAS	M.A.	ESM
Examineur	M. B. BOUSSEKSOU	M.A.	ENP

**ENP 2017**



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Electronique  
Laboratoire LDCCP

Mémoire de Master en électronique

# Etude et conception d'un réseau d'antennes en technologie microruban.

**DERBAL Mohammed Cherif**

Sous la direction de  
**M. Pr. R. AKSAS**

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juin 2017

## Composition du Jury :

Président	M. M. TRABELSI	Pr.	ENP
Promoteurs	M. R. AKSAS	Pr.	ENP
	M. K. FERTAS	M.A.	ESM
Examineur	M. B. BOUSSEKSOU	M.A.	ENP

**ENP 2017**

# Dédicace

À ma famille

À mes amis

# Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein de l'école nationale polytechnique. Il a été dirigé par Monsieur **Rabia AKSAS**, Professeur à l'ENP, et Monsieur **Khalil FERTAS**, Maître assistant de l'Ecole Supérieure du Matériel (ESM). Je les remercie pour m'avoir fait bénéficier de leurs grandes connaissances scientifiques ainsi que pour le temps, la patience qu'ils m'ont accordés et les précieux conseils qu'ils m'ont généreusement prodigués. Ils m'ont laissé une grande liberté dans le choix et l'orientation de mes travaux tout en sachant me guider. Je tiens à souligner la qualité de leurs observations pertinentes, leur grande rigueur scientifique et leur investissement dans cette étude.

Je remercie vivement Monsieur **Mohammed TRABELSI**, Professeur à l'école nationale polytechnique, de nous avoir accepté la présidence de notre jury de PFE.

Nous exprimons notre reconnaissance à Messieurs **Boualem BOUSEKSOU**, Maître assistant à l'école nationale polytechnique, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail.

Je voudrais aussi remercier tous les enseignants de département d'électronique de l'école nationale polytechnique.

Un grand merci pour toutes les personnes qui m'ont aidés, soutenus et encouragés pendant la réalisation de mon master.

Je pense bien sûr à mes parents, à mes familles, à mes amis et à mes camarades de promotion.

Enfin, je remercie toute personne ayant contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

## ملخص

لقد أصبحت الهوائيات المطبوعة ضرورية في مختلف المجالات فهي تملك مزايا جيدة من حيث التصغير والتكلفة. مشكلتهم الرئيسية هي أن لديهم مكاسب منخفضة. وسيركز هذا العمل على تصميم مجموعة هوائيين التي تحصل عليها بالطريقة الجينية من أجل تحسين مكاسبها. سيتم استخدام برنامج CST للمحاكاة.

**الكلمات المفتاحية:** مجموعة الهوائي، الخوارزمية الجينية، الهوائيات المطبوعة، تعزيز، برنامج CST للمحاكاة.

## Abstract

Microstrip antennas have become an indispensable tool for different areas. They have several advantages in terms of miniaturization and cost. Their main problem is that they have a low gain. This master will focus on the design of a two antennas array obtained by the genetic method in order to improve their gain. The CST software will be used for the simulation.

**Keywords:** Antenna array, Genetic algorithm, Microstrip antenna, Gain enhancement.

## Résumé

Les antennes microruban sont devenues un outil indispensable pour de différents domaines. Elles ont plusieurs avantages en termes de miniaturisation et coût. Leur problème majeur est qu'elles présentent un faible gain. Ce master est dédié à la conception d'un réseau de deux antennes obtenues par la méthode génétique afin d'améliorer leur gain. Le logiciel CST sera utilisé pour effectuer la simulation.

**Mots clés:** Réseau d'antennes, Algorithme génétique, Antenne microruban, Amélioration du gain.

# Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des notations

<b>Introduction générale</b>	<b>11</b>
<b>1 Etat de l'art</b>	<b>12</b>
1.1 Structure de l'antenne microruban . . . . .	12
1.2 Les avantages et limitations des antennes microruban . . . . .	13
1.3 Techniques d'alimentation d'une antenne microruban . . . . .	14
1.3.1 Alimentation par ligne microruban . . . . .	14
1.3.2 Alimentation par connecteur coaxial . . . . .	15
1.3.3 Alimentation par fente (couplage) . . . . .	16
1.3.4 Alimentation par effet de proximité (couplage) . . . . .	16
1.4 Adaptation d'impédance . . . . .	16
1.5 Conception d'une antenne microruban . . . . .	17
1.6 Diagramme de rayonnement . . . . .	18
<b>2 Réseaux d'antennes imprimées</b>	<b>19</b>
2.1 Avantages et inconvénients des réseaux d'antennes imprimées . . . . .	20
2.1.1 Avantages . . . . .	20
2.1.2 Inconvénients . . . . .	20

2.1.3	Méthode de conception des réseaux d'antennes imprimées . . . . .	21
2.2	Etude de l'antenne de base . . . . .	21
2.2.1	Diagramme de rayonnement . . . . .	22
2.3	Structure du réseau . . . . .	23
2.4	Simulation . . . . .	25
2.5	Discussion des résultats . . . . .	28
2.5.1	Comparaison du module du coefficient de réflexion . . . . .	28
2.5.2	Comparaison du gain . . . . .	28
2.6	Conclusion . . . . .	30
	<b>Bibliographie</b>	<b>31</b>

# Table des figures

1.1	Structure d'une antenne microruban. [1]	12
1.2	Quelques formes utilisées pour les antennes [1]	13
1.3	Alimentation par ligne microruban [1]	14
1.4	Alimentation par connecteur coaxial [1]	15
1.5	Alimentation par fente [1]	16
1.6	Alimentation par effet de proximité [1]	17
1.7	Adaptation d'impédance par une ligne quart d'onde [2]	17
2.1	Réseaux d'antennes imprimées [3].	19
2.2	Architecture de base des réseaux d'antennes.	20
2.3	Structure de départ.	21
2.4	Coefficient de réflexion de l'antenne de départ.	22
2.5	Diagramme de rayonnement en 3D pour les trois résonances.	23
2.6	Diagramme de rayonnement dans le plan $\phi = 90^\circ$ pour les trois résonances.	23
2.7		24
2.8		24
2.9	Coefficient de réflexion du réseau de deux antennes.	25
2.10	Coefficient de réflexion du réseau de deux antennes.	26
2.11	Coefficient de réflexion du réseau d'antennes et l'antenne de départ.	26
2.12	Diagramme de rayonnement du réseau en 3D pour les trois résonances.	27
2.13	Diagramme de rayonnement du réseau dans le plan $\phi = 90^\circ$ pour les trois fréquences de résonances.	27
2.14	Evolution du gain en fonction de la fréquence dans les trois bandes étudiées.	29

# Liste des tableaux

2.1	Comparaison du module coefficients de reflexion dans les trois frequences.	28
2.2	Comparaison du gain. . . . .	29

# Liste des abréviations

CST Computer Simulation Technology

# Liste des notations

$\epsilon_r$	Permittivité relative
$S_{11}$	Coefficient de réflexion
$L_f$	Longueur de la ligne d'alimentation (mm)
$W_f$	Largeur de la ligne d'alimentation (mm)
$Z_f$	impédance caractéristique de la ligne d'alimentation ( $\Omega$ )
$h$	Hauteur du substrat (mm)
$f_r$	Fréquence de résonance (Hz)
$L_p$	Longueur de patch (mm)
$W_p$	Largeur de patch (mm)

# Introduction générale

Les antennes imprimées sont conçues pour satisfaire les exigences posées par l'évolution de la technologique qui tend aussi vers la miniaturisation des dispositifs électroniques et des systèmes de télécommunications. Avec leurs faibles dimensions, leurs performances, leur flexibilité les rend particulièrement adaptables aux engins mobiles (satellite, avion, bateau) et leur souplesse qui leur permettent d'épouser n'importe quelle forme de surface (plane ou conformée), ces antennes ont prouvé leur efficacité et tendent à remplacer les antennes classiques définitivement. Leur association en réseau, qui font l'objet de recherches approfondies, permet en outre d'améliorer leurs performances, et de réaliser des fonctions particulières mieux adaptées à certains types d'application telles que : le balayage électronique.

Ce mémoire de master est dédié à l'étude et la conception d'un réseau d'antennes imprimées pour une antenne multibandes qui fonctionne en trois bandes, dans le but d'améliorer son gain.

Le premier chapitre est consacré à donner une brève introduction sur les antennes microstrip et sur l'état de l'art sur les réseaux d'antennes imprimées.

Le deuxième et dernier chapitre est dédié la conception d'un réseau d'antennes imprimées.

# Chapitre 1

## Etat de l'art sur les antennes microruban

### 1.1 Structure de l'antenne microruban

Comme on peut le voir dans la figure 1.1, une antenne microruban est constituée d'un patch rayonnant d'un des deux côté d'un substrat de constante diélectrique  $\epsilon_r \leq 10$  [4] (page 1) et d'un plan de masse de l'autre côté. Le plan de masse est suffisamment grand par rapport à l'élément rayonnant de telle sorte à limiter l'effet d'onde de surface présent sur les extrémités de l'antenne. [2]

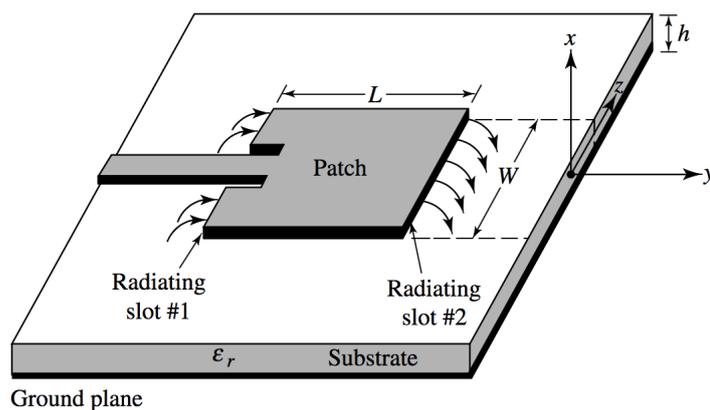


FIGURE 1.1 – Structure d'une antenne microruban. [1]

On peut utiliser n'importe quelle forme pour les deux faces de l'antenne, mais on utilise généralement des formes régulières pour simplifier l'analyse et la prédiction des perfor-

mances. Les formes les plus utilisées sont représentés dans la figure 1.2.

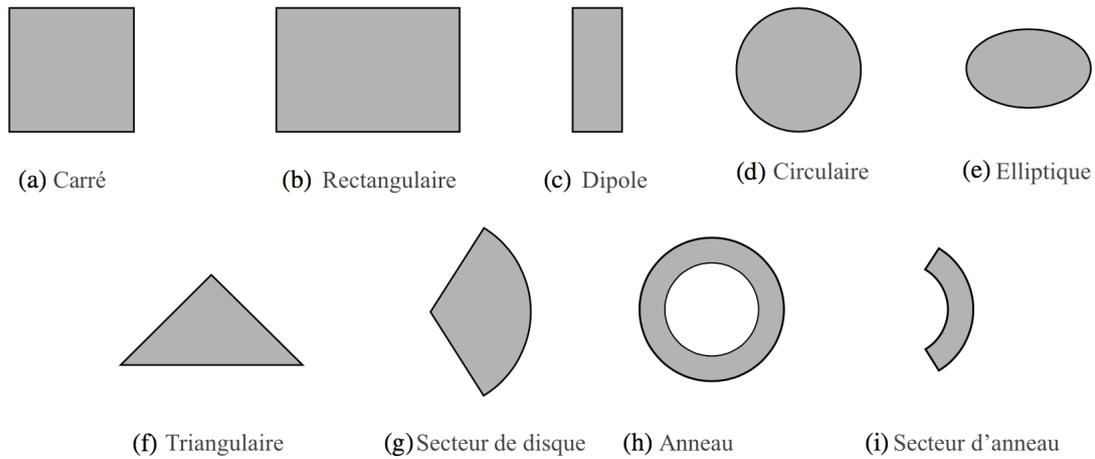


FIGURE 1.2 – Quelques formes utilisées pour les antennes [1]

Idéalement, on utilise une constante diélectrique  $\epsilon_r \leq 2.5$  afin d'augmenter l'effet de rayonnement des champs de débordement appelés en anglais "fringe fields", mais on utilise généralement une constante diélectrique  $\epsilon_r \geq 4$  [4]. Certains substrats sont flexibles et permettent de travailler avec plus de structures. Les antennes microrubans sont conformes et peuvent être placées sur des structures géométriques tridimensionnelles tels que les missiles, les vitres de véhicules...

## 1.2 Les avantages et limitations des antennes microruban

Les antennes microrubans ont plusieurs avantages, en commençant par leurs large bande d'utilisation (de 100 MHz jusqu'à 100 GHz).

Parmi les avantages des antennes microrubans, on a :

- Elles sont légères et peuvent être utilisées sur d'autres formes géométriques.
- Facilité de réalisation.
- Faible coût de production.
- Facilité de créer des réseaux pour améliorer la directivité et pour le balayage électronique.
- Les lignes d'alimentation et les réseaux d'adaptation sont fabriqués simultanément.

- Le choix de polarisation se fait tout simplement en changeant l'alimentation.

Cependant, ces antennes ont des limitations d'utilisation :

- Bande passante réduite (1% jusqu'à 5%)
- Un faible gain, de l'ordre de 6 dB

## 1.3 Techniques d'alimentation d'une antenne microruban

Les antennes microrubans peuvent être alimentées directement par une connection électrique : ligne microruban ou connecteur coaxial ; mais parce qu'elles ne consomment pas beaucoup d'énergie, on peut trouver d'autres modes d'excitation (par couplage, ...)

La classification qu'on va utiliser dans la suite est tirée de [1] et [?].

### 1.3.1 Alimentation par ligne microruban

L'alimentation par ligne microruban consiste à alimenter l'élément rayonnant par une ligne de faible largeur par rapport à ce dernier, imprimée sur le même côté du substrat (Fig. 1.3). Cette technique est facile à implémenter et permet de réaliser des réseaux d'antennes sur le même substrat afin d'augmenter la directivité et le gain.

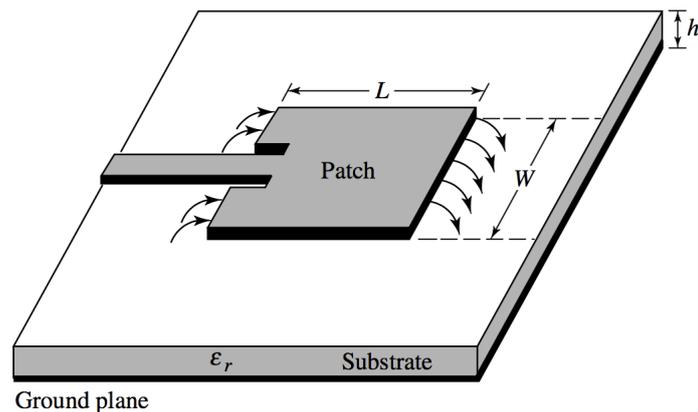


FIGURE 1.3 – Alimentation par ligne microruban [1]

La ligne d'alimentation est caractérisée par son impédance caractéristique  $Z_f$ . La relation entre la largeur  $W_f$  et l'impédance caractéristique de la ligne  $Z_f$  est la suivante :

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{ref}}} \ln\left[\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h}\right], & \text{pour } \frac{W}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ref}} \left[\frac{W}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{h} + 1.44\right)\right]}, & \text{pour } \frac{W}{h} > 1 \end{cases} \quad (1.1)$$

Expression de synthèse de lignes [5] [2]

$$\frac{W_f}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}, & \text{pour } W_f < 2h \\ \frac{2}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right], & \text{pour } W_f > 2h \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\text{avec } \begin{cases} A = \frac{Z_f}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \\ B = \frac{377\pi}{2Z_f \sqrt{\epsilon_r}} \end{cases}$$

### 1.3.2 Alimentation par connecteur coaxial

Cette technique consiste à alimenter l'élément rayonnant à travers le substrat. L'âme centrale du câble SMA est reliée directement à l'élément rayonnant et le conducteur extérieur est soudé au plan de la masse. Ainsi, on peut changer la position d'alimentation de l'antenne ce qui permet d'avoir l'adaptation entre le connecteur SMA ( $50\Omega$  en général) avec l'élément rayonnant. Cette technique présente un faible rayonnement parasite et une faible bande passante, elle est aussi difficile à modéliser [?].

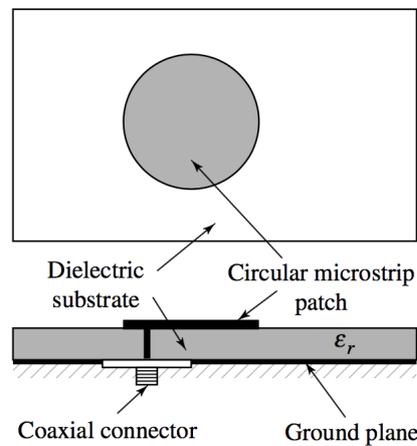


FIGURE 1.4 – Alimentation par connecteur coaxial [1]

### 1.3.3 Alimentation par fente (couplage)

L'alimentation par fente repose sur le phénomène de couplage électromagnétique. Le couplage existe entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant à travers une fente dans un conducteur qui se trouve au milieu de deux substrats superposés (Fig. 1.5). Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant.

En général, un diélectrique avec une permittivité élevée est utilisé pour le substrat inférieur et un diélectrique épais avec une permittivité faible pour le substrat supérieur [?].

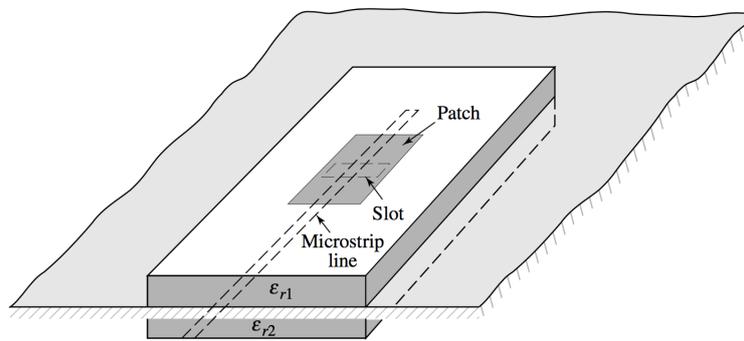


FIGURE 1.5 – Alimentation par fente [1]

### 1.3.4 Alimentation par effet de proximité (couplage)

Ce type d'alimentation repose aussi sur le phénomène de couplage électromagnétique. La différence dans ce cas est que la ligne d'alimentation est située entre l'élément rayonnant et le plan de masse (Fig. 1.6). Cette configuration présente une large bande passante et facilite l'adaptation mais elle est difficile à réaliser [?].

## 1.4 Adaptation d'impédance

Pour adapter l'impédance d'entrée du patch à celle de la ligne d'alimentation de  $50\Omega$ , on va utiliser la méthode de la ligne quart d'onde (figure 1.7). La longueur de cette dernière vaut le quart de la longueur d'onde dans le milieu :

$$L_s = \frac{\lambda}{4\sqrt{\epsilon_e}} \quad (1.3)$$

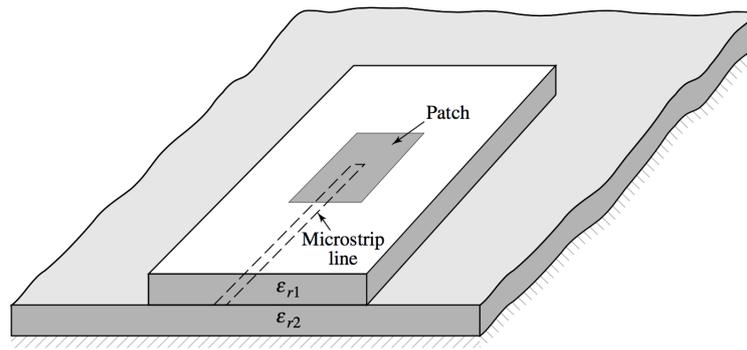


FIGURE 1.6 – Alimentation par effet de proximité [1]

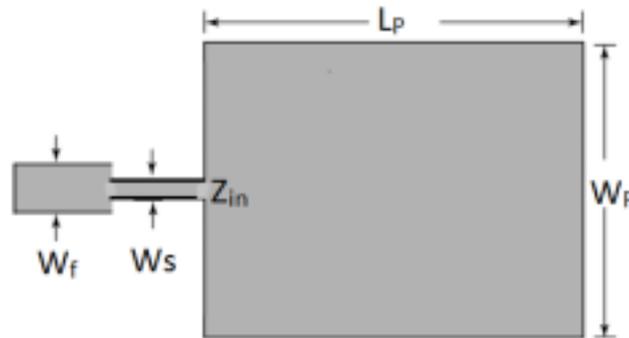


FIGURE 1.7 – Adaptation d'impédance par une ligne quart d'onde [2]

Concernant son impédance caractéristique  $Z_s$ , on peut la calculer en utilisant

$$Z_s = \sqrt{Z_{in} Z_0} \quad \text{tel que} \quad Z_0 = 50\Omega$$

Finalement, on utilise l'expression 1.2 pour déduire la largeur de la ligne quart d'onde  $W_s$ .

## 1.5 Conception d'une antenne microruban

La conception d'une antenne microruban consiste à spécifier :

- la constante diélectrique du substrat  $\epsilon_r$
- la fréquence de résonance  $f_r$
- la hauteur du substrat  $h$

A partir de ces données, il faut déterminer : La longueur du patch  $L_p$  et sa Largeur  $W_p$ . La procédure de conception selon Balanis [1] est La suivante :

1. La première étape consiste à calculer la largeur du patch, qui est donnée par la formule 1.4 :

$$W_p = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1.4)$$

2. La deuxième étape consiste à trouver la constante diélectrique effective  $\epsilon_{reff}$  du substrat en utilisant 1.2
3. Une fois la largeur du patch  $W_p$  trouvée, on détermine  $\Delta L$  qui est l'allongement de la longueur dû au champ de débordement dans le sens de la longueur. Son expression est donnée par :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W_p}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W_p}{h} + 0.8\right)} \quad (1.5)$$

4. A partir de 1.5, on déduit la longueur du patch  $L_p$  qui :

$$L_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - \Delta L \quad (1.6)$$

## 1.6 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace.

Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la puissance restante.

## Chapitre 2

# Réseaux d'antennes imprimées

Comme a été mentionné précédemment, les antennes imprimées sont largement employées de nos jours, puisqu'elles permettent de répondre à de nombreuses contraintes imposées par certains systèmes de télécommunication. Leurs formes et dimensions favorisent leur intégration sur de nombreux mobiles (avion, voiture, missile, téléphone portable...).

L'utilisation d'une antenne imprimée unique s'avère souvent insuffisante pour répondre aux contraintes de rayonnement imposées [3]. Des caractéristiques spécifiques comme un gain élevé ou un lobe principal conformé ne peuvent généralement être obtenues que par le regroupement de plusieurs sources rayonnantes pour former un réseau d'antennes imprimées (fig 2.1).

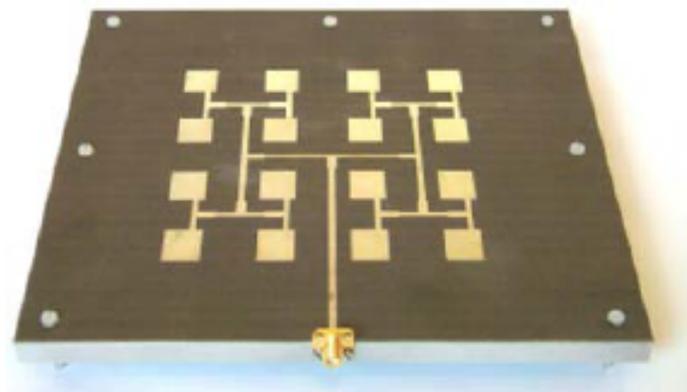


FIGURE 2.1 – Réseaux d'antennes imprimées [3].

Il existe plusieurs architectures pour concevoir un réseau d'antennes imprimées, les plus

simples, sont obtenus avec des sources identiques qui se déduisent les unes des autres par translation pour former des réseaux linéaires (fig 2.2a) et des réseaux planaires (fig 2.2b).

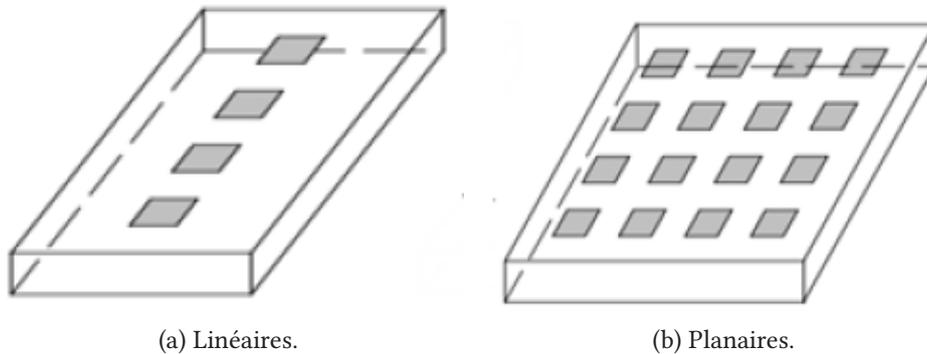


FIGURE 2.2 – Architecture de base des réseaux d'antennes.

## 2.1 Avantages et inconvénients des réseaux d'antennes imprimées

### 2.1.1 Avantages

- Faible poids et l'encombrement réduit (en particulier en épaisseur).
- La possibilité de générer la polarisation circulaire est également très intéressante dans de nombreuses applications telles que les télécommunications spatiales, la navigation, les systèmes radars [6].
- La mise en réseau permet d'atteindre des gains élevés.
- La possibilité de jouer sur de nombreux facteurs pour adapter le diagramme notamment aux exigences les plus variées des cahiers des charges.

### 2.1.2 Inconvénients

- la complexité de réalisation compte tenu des précisions à assurer sur les faibles largeurs des différentes lignes aux fréquences de travail élevées.
- Tout en étant acceptable, le niveau de gain d'un réseau d'antennes imprimées demeure en dessous de celui de certains dispositifs rayonnants micro-ondes.

### 2.1.3 Méthode de conception des réseaux d'antennes imprimées

Quel que soit le cahier des charges à respecter, la démarche reste la même pour concevoir un réseau d'antennes imprimées. Les principales étapes de la conception sont :

- Etude de l'élément de base.
- Détermination de la géométrie du réseau : nombre d'éléments et leurs espacements.
- Mise au point du circuit de distribution à partir de la théorie des lignes permettant de ramener une impédance de  $50 \Omega$  au niveau de la connexion.
- analyse rigoureuse pour affiner les dimensions de dispositif rayonnant compte tenu d'un cahier des charges imposé.

## 2.2 Etude de l'antenne de base

La structure de départ (Fig 2.3) consiste en un pavé rayonnant  $18\text{mm} \times 14\text{mm}$  imprimé au-dessus d'un plan de masse plein de dimensions  $40\text{mm} \times 35\text{mm}$ . Cette antenne est réalisée sur un substrat de type FR4 de permittivité relative  $\epsilon_r=4.3$ , de hauteur  $h=1,6 \text{ mm}$  et des pertes  $(\tan \alpha)= 0.0019$ . L'alimentation est réalisée par une ligne micro-ruban de longueur  $L_f = 12\text{mm}$ , et de largeur  $W_f = 3.1\text{mm}$  adaptée à une impédance caractéristique de  $50 \Omega$ .

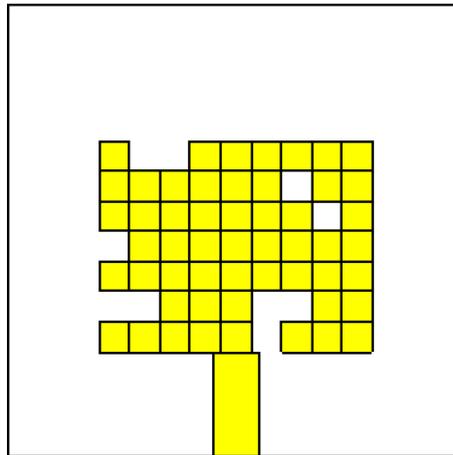


FIGURE 2.3 – Structure de départ.

Cette antenne est construite par les algorithmes génétiques afin de fonctionner dans trois bandes de fréquence. La simulation du coefficient de réflexion de cette antenne est illustrée sur la figure 2.4.

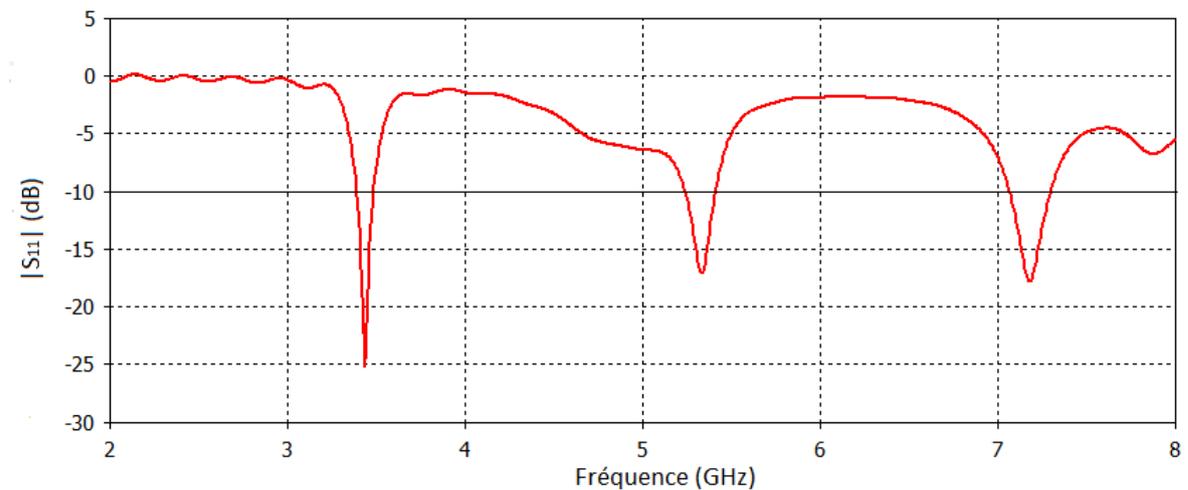


FIGURE 2.4 – Coefficient de réflexion de l'antenne de départ.

Cette figure montre que l'antenne a une adaptation de l'ordre de -25 dB à la fréquence 3.43 GHz avec une largeur de bande de 2.72 %, d'une adaptation de l'ordre de -17 dB à la fréquence 5.33 GHz avec une largeur de bande de 3.51 %, et de -18 dB à la fréquence 7.18 GHz avec une largeur de bande de 3.14 %.

### 2.2.1 Diagramme de rayonnement

La figure (2.5) représente le diagramme de rayonnement en 3D tandis que la figure (2.6) représente le diagramme de rayonnement en coordonnées polaires pour les trois fréquences de résonances

(a)  $f=3.43$  GHz. (b)  $f = 5.33$  GHz et (c)  $f=7.18$  GHz.

Pour la fréquence de 3.43 GHz, le gain maximum est de 1.69 dB. La direction du lobe principal est  $6.0^\circ$  avec une ouverture à  $-3dB$  de  $99.1^\circ$ .

Pour la fréquence de 5.33 GHz, le gain maximum est de 2.43 dB. La direction du lobe principal est  $12.0^\circ$  avec une ouverture à  $-3dB$  de  $86^\circ$ .

Pour la fréquence de 7.18 GHz, le gain maximum est de 3.7 dB. La direction du lobe principal est  $18.0^\circ$  avec une ouverture à  $-3dB$  de  $74^\circ$ .

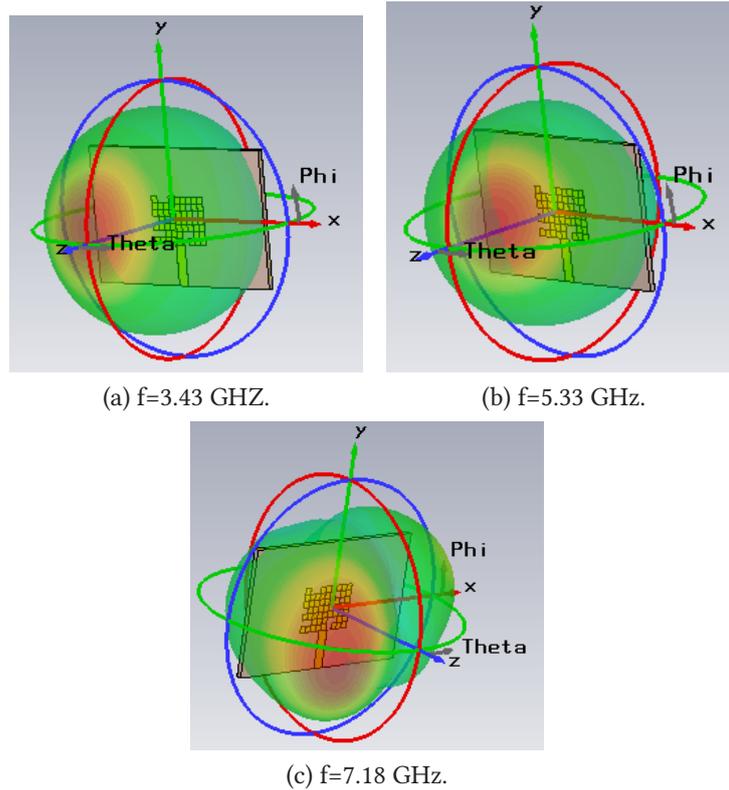


FIGURE 2.5 – Diagramme de rayonnement en 3D pour les trois résonances.

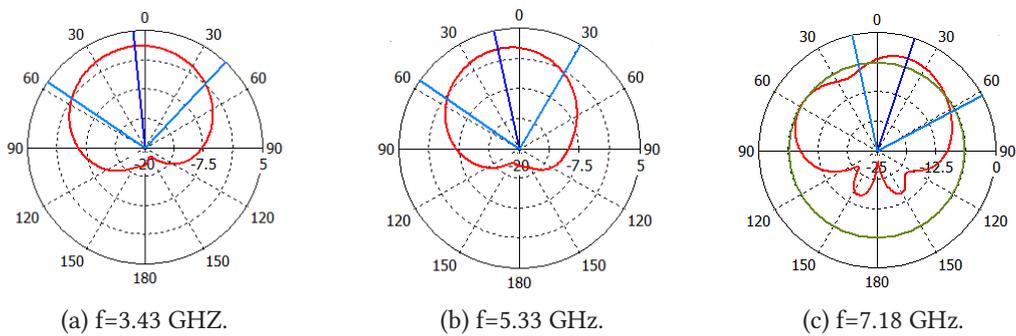


FIGURE 2.6 – Diagramme de rayonnement dans le plan  $\phi = 90^\circ$  pour les trois résonances.

## 2.3 Structure du réseau

On propose de construire un réseau à deux antennes afin d'améliorer les performances de l'antenne (gain). La figure 2.7 représente l'antenne conçue en utilisant le logiciel CST.

Le réseau que l'on a adopté (fig. 2.7) est alimenté en utilisant un circuit d'alimentation en T. Ce diviseur a été choisi pour sa simplicité.

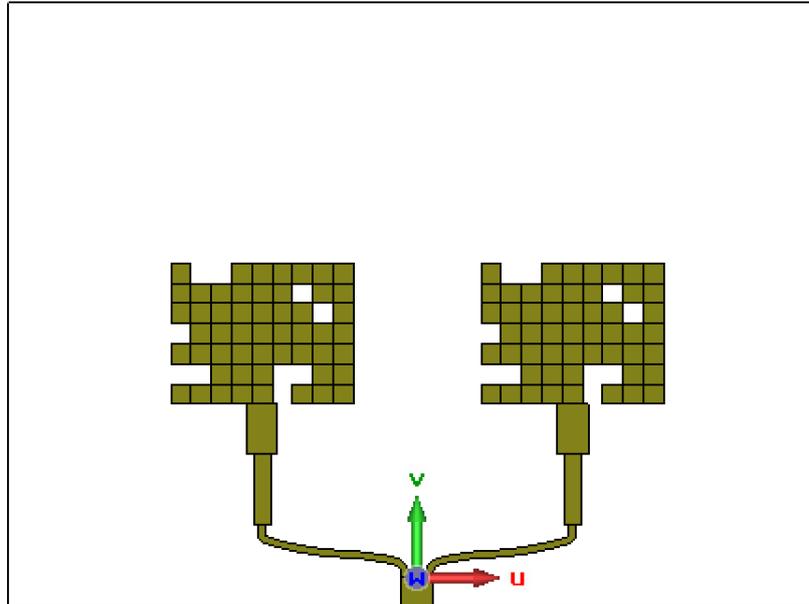


FIGURE 2.7

Les dimensions du diviseur en T sont données dans la figure 2.8

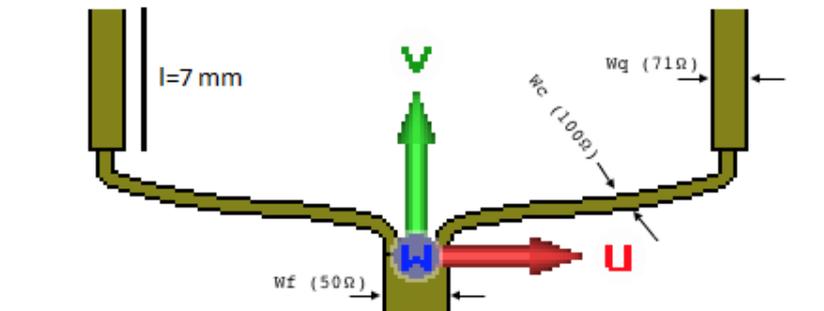


FIGURE 2.8

Ce diviseur est utilisé pour alimenter équitablement les différents éléments d'un réseau à partir d'une seule source. Le circuit d'alimentation (2.9) utilisé pour alimenter les deux éléments du réseau est un diviseur de puissance de l'accès d'entrée (port SMA) vers les accès 1 et 2.

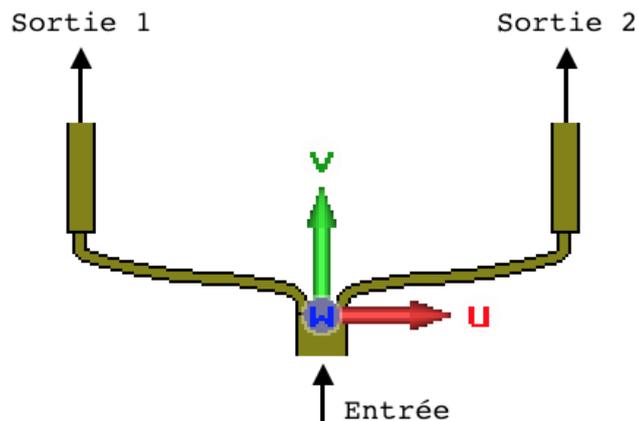


FIGURE 2.9 – Coefficient de réflexion du réseau de deux antennes.

La structure consiste en une ligne d'excitation  $50\Omega$  soudée au connecteur SMA. Cette ligne est connectée à deux lignes en parallèle d'impédance caractéristique de  $100\Omega$ . Chacune de ces lignes est courbée conduisant à une partie différente du réseau. La fin de chaque ligne est liée à une ligne quart d'onde  $75\Omega$ . L'impédance de cette ligne est calculée en utilisant l'équation 2.1

$$Z = \sqrt{Z_0 \times Z_{in}} \quad (2.1)$$

L'extrémité de la ligne quart d'onde est liée à l'antenne patch d'impédance d'entrée  $50\Omega$ .

### Remarques

1. Relier la ligne quart d'onde directement à l'antenne ne changera pas les résultats de simulation car l'impédance d'entrée sera la même.
2. On peut aussi relier les deux lignes quart d'onde à la ligne d'alimentation centrale sans changer les résultats de simulation. On a choisi d'ajouter les deux lignes de  $100\Omega$  pour les raisons pratiques suivantes :
  - La longueur de la courbure est difficile à mesurer.
  - On doit éloigner les deux pavés rayonnants pour éviter l'interférence.

## 2.4 Simulation

La simulation du coefficient de réflexion de cette antenne est illustrée sur la figure 2.10.

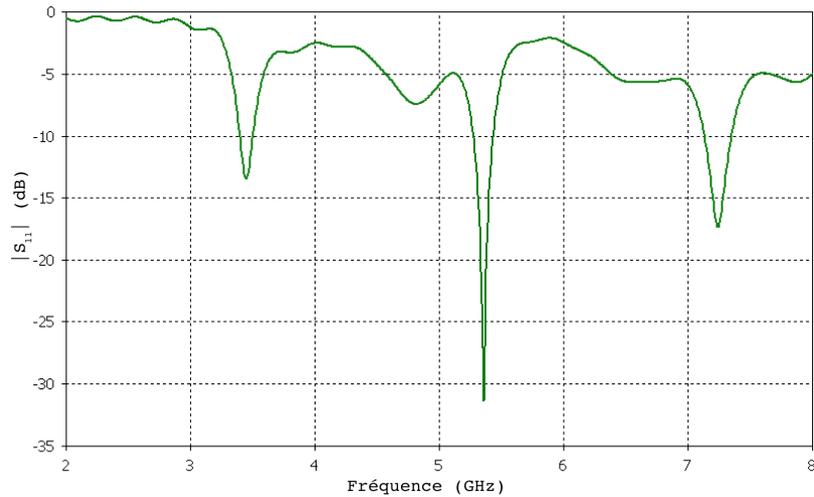


FIGURE 2.10 – Coefficient de réflexion du réseau de deux antennes.

Cette figure montre que l'antenne a une adaptation de l'ordre de -13 dB à la fréquence 3.45 GHz avec une largeur de bande de 2.78 %, d'une adaptation de l'ordre de -32 dB à la fréquence 5.36 GHz avec une largeur de bande de 2.99 %, et de -17 dB à la fréquence 7.24 GHz avec une largeur de bande de 2.90 %.

La figure 2.11 représente le module du coefficient de réflexion du réseau d'antennes avec l'antenne de départ.

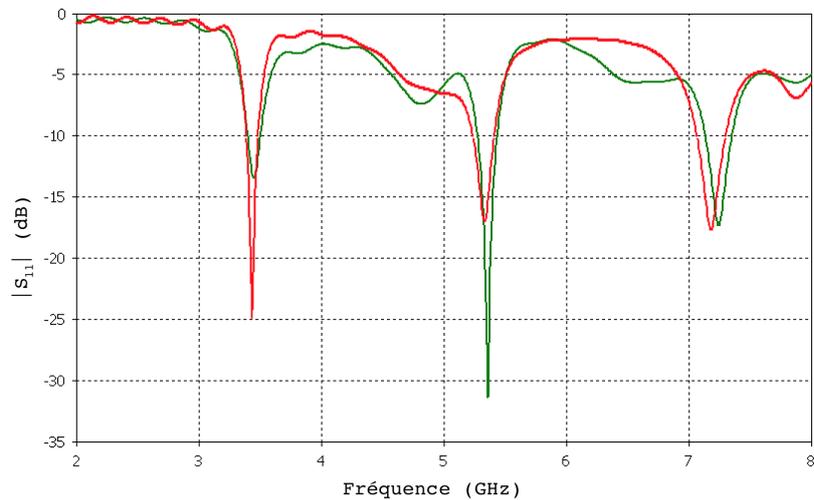


FIGURE 2.11 – Coefficient de réflexion du réseau d'antennes et l'antenne de départ.

### Diagramme de rayonnement

La figure (2.12) représente le diagramme de rayonnement en 3D tandis que la figure (2.13) représente le diagramme de rayonnement en coordonnées polaires pour les trois fréquences de résonances :

1.  $f=3.45$  GHz.
2.  $f = 5.36$  GHz
3.  $f=7.24$  GHz.

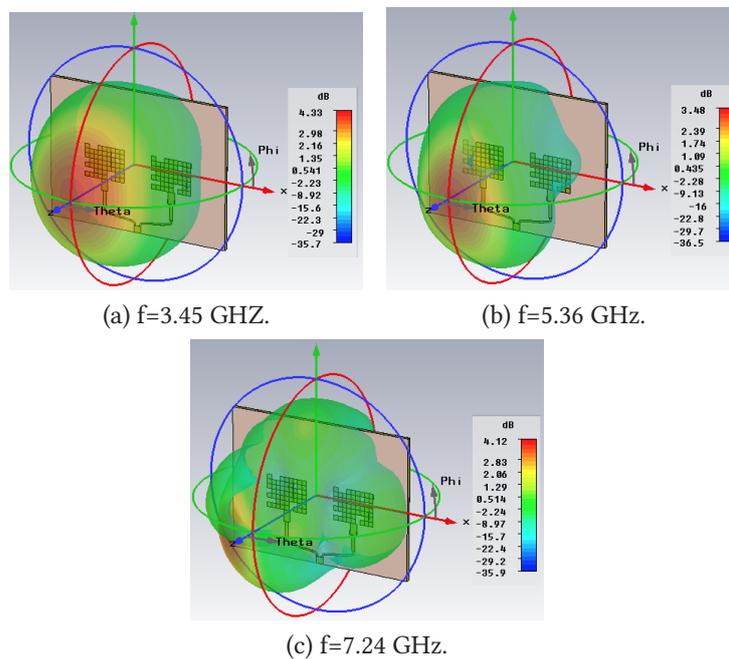


FIGURE 2.12 – Diagramme de rayonnement du réseau en 3D pour les trois résonances.

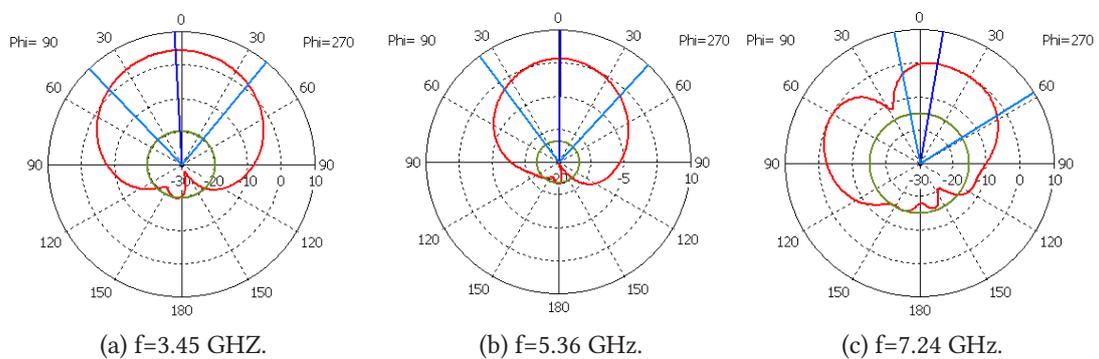


FIGURE 2.13 – Diagramme de rayonnement du réseau dans le plan  $\phi = 90^\circ$  pour les trois fréquences de résonances.

Pour la fréquence de 3.45 GHz, le gain maximum est de 4.33 dB. La direction du lobe principal est  $3.0^\circ$  avec une ouverture à  $-3dB$  de  $83.1^\circ$ .

Pour la fréquence de 5.36 GHz, le gain maximum est de 3.48 dB. La direction du lobe principal est  $1.0^\circ$  avec une ouverture à  $-3dB$  de  $79.0^\circ$ .

Pour la fréquence de 7.24 GHz, le gain maximum est de 4.12 dB. La direction du lobe principal est  $10.0^\circ$  avec une ouverture à  $-3dB$  de  $68.9^\circ$ .

## 2.5 Discussion des résultats

### 2.5.1 Comparaison du module du coefficient de réflexion

Le tableau 2.1 donne le module du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, pour l'antenne de départ et le réseau d'antennes .

Fréquence	$ S_{11}(dB) $ de l'antenne simple	$ S_{11}(dB) $ du réseau de deux antennes
Fréquence 1	-25	-13
Fréquence 2	-17	-32
Fréquence 3	-18	-17

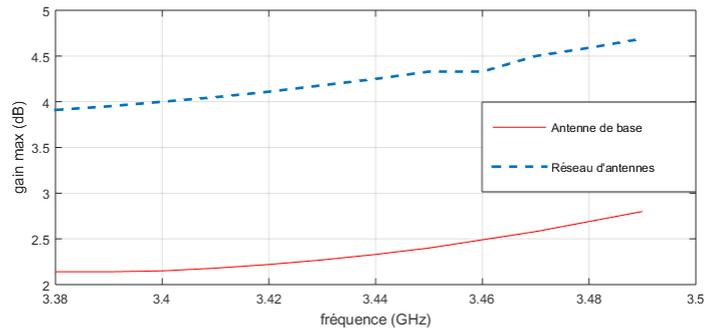
TABLE 2.1 – Comparaison du module coefficients de reflexion dans les trois frequences.

On observe que le réseau d'antenne reste toujours adapté dans les fréquences de travail.

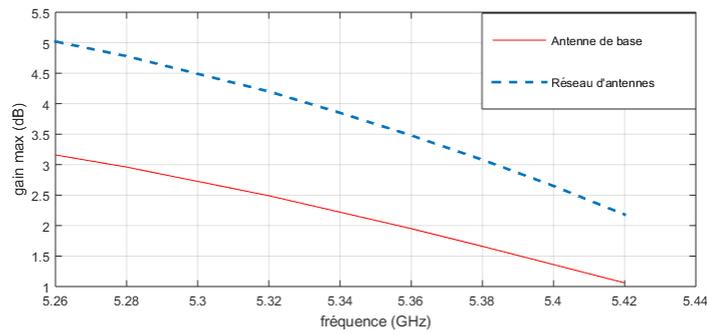
### 2.5.2 Comparaison du gain

Les figures 2.14 représentent les variations fréquentielles du gain maximal en trois bandes de fréquence qui nous intéressent.

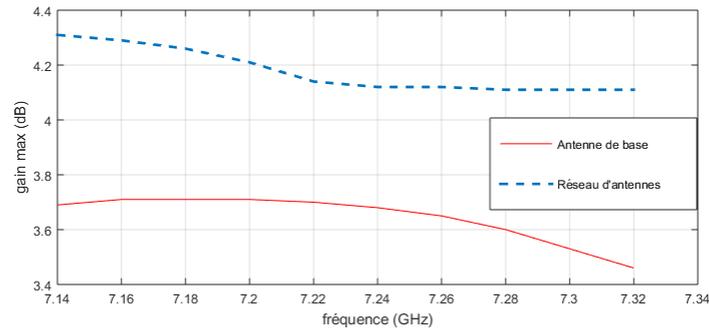
Le tableau 2.2 résume les résultats essentiels des trois graphes.



(a) Première bande de fréquence.



(b) Deuxième bande de fréquence.



(c) Troisième bande de fréquence.

FIGURE 2.14 – Evolution du gain en fonction de la fréquence dans les trois bandes étudiées.

Fréquence	Gain de l'antenne simple (dB)	Gain du réseau de deux antennes (dB)
Fréquence 1	1.69	4.33
Fréquence 2	2.43	3.48
Fréquence 3	3.70	4.12

TABLE 2.2 – Comparaison du gain.

On observe que le gain dans le cas d'un réseau d'antennes est nettement plus large que le gain d'une seule antenne. Ce qui répond à nos attentes.

## 2.6 Conclusion

Ce mémoire a été dédié à la conception d'un réseau d'antennes microruban. Les résultats de simulation montre bien l'augmentation de gain du réseau par rapport l'antenne de base.

# Bibliographie

- [1] Constantine A. Balanis. *Antenna Theory : Analysis and Design*. Wiley-Interscience, 2005.
- [2] K.Abdelouahab. Etude et conception d'une antenne microruban rectangulaire adaptée par ligne quart d'onde. Master's thesis, Ecole Nationale Polytechnique, 2015.
- [3] R. AKSAS. *Antennes - Théorie et Applications*. Ellipses, 1980.
- [4] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon. *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, 2001.
- [5] J. R. James. *Microstrip Antenna Theory and Design*. Electromagnetic Waves. Institution of Engineering and Technology, 1981.
- [6] H. AKSAS. Conception et réalisation d'antennes réseaux imprimées larges-bandes a motifs optimisés. Master's thesis, Ecole Militaire Polytechnique, 2014.