

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Département d'Electronique et Des Télécommunications



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Electronique

Spécialité : Signal et communication

Présenté par : MEDDOUR Meriem

BENKEDDA Siham

Thème

Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz

Soutenu publiquement

Le 25/05/2017

Devant le jury composé de:

M. BELHEDRI Abdelkrim	M.A (B)	Encadreur	UKM Ouargla
M. MEKIMAH Boualem	M.A (A)	Co-Encadreur	UKM Ouargla
M. CHEBBARA Fouad	M.C. (A)	Président	UKM Ouargla
Melle. ELOUAZENE Hassiba	M.A.(B)	Examinatrice	UKM Ouargla

Année 2016-2017

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant pour la force, la santé et la sagesse qu'il nous a toujours donné et que sans lui rien n'aurait accompli.

Nous tiens a remercier nos encadreur de recherche le professeur

Mr. A.BELHEDRI pour les efforts qu'il a faits en nous dirigeant durant nos cursus. La confiance et les encouragements prodigués qui ont mené à la finalisation de notre projet de maîtrise.

Également, nous voudrions exprimer notre gratitude envers Mr. BMEKIMAH qui est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

On n'oublie pas nos parents pour leurs contributions, leurs soutiens et leur patience.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.



Dédicace

A mes chers parents

*Pour leurs soutien et tous les efforts qu'on m'a donnée le long
mon parcours, et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.*

A mes chers frères et sœurs

À toute ma famille

Proche soit-elle ou lointaine

Et ma chère amie S.BENKEDDA, Et à mes amis

A.BENOUAER, S.TAHRINE.

A tous mes collègues.

À mon encadreur Mr. A.BELHEDRI pour son encadrement

attentif et pour le

Soutien constant qu'ils n'ont cessé de me prodiguer

*Mr. B.MEKIMAH qui a fait leur possible pour
m'avoir aidé à améliorer la qualité du manuscrit.*

MEDDOUR Meriem



Dédicace

Je dédie cet humble mémoire :

- ❖ *À mes chers et respectueux parents vraiment aucune dédicace ne saurait exprimer mon attachement, mon amour et mon affection, je vous offre ce modeste travail en témoignage de tous les sacrifices et l'immense tendresse dans vous m'avez toujours su me combler.*

Puisse dieu tous puissant vous garder et vous procurer santé et bonheur.

- ❖ *À mon encadreur MR. A.BELHEDRI pour ses précieux conseils, ses incessants encouragements et La confiance qu'il nous avons témoigné.*
- ❖ *À ma sœur, mes frères, mes tantes et toute ma famille en témoignages de mon profond respect*
- ❖ *À tous mes amis Aïchouche, Soumia, Chaïma, Hanan, Marwa, Meriem, Narimane, et à toutes les personnes qui ont une place spéciale dans mon cœur et ma vie*
- ❖ *En fin à ma binôme Meriem et ma à souhaite beaucoup de réussite dans sa vie.*

BENKEDDA SIHAM



Table des matières

Remerciements	I
<i>Dédicace</i>	II
<i>Dédicace</i>	III
Introduction Générale	1
Références Bibliographiques	5
Chapitre I :Généralités sur les antennes microbandes.....	8
1.1Introduction.....	9
1.2. Description d'une antenne microbande	9
1.2.1. Les différentes formes d'une antenne microbande.....	10
1.2.2. Les substrats	10
1.2.2.1. Les matériaux diélectriques utilisés	11
1.3 Les techniques d'excitation d'une antenne microbande.....	11
1.3.1. Alimentation directe (avec contact).....	11
1.3.1.1. Alimentation par ligne microbande	11
1.3.1.2. Alimentation par câble coaxiale.....	12
1.3.2. Alimentation par couplage (sans contact)	13
1.3.2.1. Alimentation par ouverture (fente)	13
1.3.2.2. Alimentation Par Proximité	13
1.4 Principe de fonctionnement d'une antenne microbande.....	14
1.5. Méthodes d'analyse	16
1.5.1. Méthodes approximatives (analytiques)	16
1.5.1.1 Le modèle de la ligne de transmission	16
1.5.1.2 Le modèle de la cavité	18
1.5.2. Méthodes numériques.....	19
1.5.2.1. Méthodes des éléments finis	19
1.5.2.2. Méthodes des différences finies	19
1.5.2.3. La méthode TLM	19
1.5.2.4. La méthode des moments.....	20
1.6. Avantages et inconvénients des antennes microbandes	20
1.7. Applications	21
1.8. Conclusion	21
Références bibliographiques	23
Chapitre II Les paramètres caractéristiques de l'antenne patchs.....	26

2.1. Introduction.....	27
2.2. Définition d'une antenne	27
2.3. Le rôle d'une antenne	28
2.3.1. Bloc d'émission	29
2.3.2. Bloc de réception	29
2.3.3. Réciprocité.....	29
2.4. Paramètres caractéristiques d'une antenne	30
2.4.1. Impédance d'entrée.....	30
2.4.2. Résistance de rayonnement	31
2.4.3. Le coefficient de réflexion et le R.O.S	31
2.4.4. La fréquence de résonance et la bande passante	32
2.4.5. Zones de rayonnement	33
2.4.5.1. Zone de Rayleigh.....	34
2.4.5.2. Zone de Fresnel.....	34
2.4.5.3. Zone de Fraunhofer	34
2.4.6. Diagramme de rayonnement	35
2.4.7. Angle d'ouverture.....	37
2.4.8. Directivité	38
2.4.9. Gain	38
2.4.10. Rendement	39
2.4.11. Facteur de qualité	39
2.4.12. Polarisation.....	40
2.4.13. Température de bruit	41
2.5. Conclusion	42
Références bibliographiques	43
Chapitre III Résultats et discussion	45
3.1. Introduction.....	46
3.2. Résultats	46
3.2.1. Antenne conventionnelle	46
3.2.1.1. Coefficient de réflexion.....	47
3.2.1.2. Taux d'onde stationnaire (VSWR)	47
3.2.1.3. Diagramme de rayonnement	48
3.2.1.4. Gain	48
3.2.1.5. Directivité	49

3.2.1.6. Courant de surface.....	49
3.2.2. Antenne rectangulaire coplanaire (CPW).....	50
3.2.2.1. Coefficient de réflexion.....	51
3.2.2.2. Taux d'onde stationnaire (VSWR).....	51
3.2.2.3. Diagramme de rayonnement.....	52
3.2.2.4. Gain.....	52
3.2.2.5. Directivité.....	53
3.2.2.6. Courant de surface.....	53
3.2.3. Antenne rectangulaire coplanaire (CPW) avec réflecteur.....	54
3.2.3.1 Coefficient de réflexion.....	55
3.2.3.2 Taux d'onde stationnaire (VSWR).....	56
3.2.3.3 Diagramme de rayonnement.....	56
3.2.3.4. Gain.....	57
3.2.3.5. Directivité.....	57
3.2.3.6. Courant de surface.....	57
3.2.4. Tableaux de comparaison.....	58
3.3. Discussion et interprétation des résultats.....	59
3.4. Tableau de comparaison avec [4].....	60
3.5. Conclusion.....	60
Références bibliographiques.....	62
Conclusion générale.....	63
Résumé	

Liste des figures

Figure 1.1: Structure typique d'une antenne microbande.....	9
Figure 1.2: Différentes formes d'antennes patch.....	10
Figure 1.3 : Alimentation par ligne microbande.....	12
Figure 1.4 : Antenne micro ruban alimenté par sonde	12
Figure 1.5 : Alimentation couplée par ouverture	13
Figure 1.6 : Alimentation couplée par proximité.....	14
Figure 1.7 : Trajectoires des rayons dans une antenne microbande (coupe). La figure montre l'existence de trois régions distinctes.....	14
Figure 1.8 : Modèle de la ligne de transmission d'une antenne microbande.....	18
Figure 1.9 : Modèle de la cavité.....	19
Figure 2.1 : Rayonnement d'une antenne.....	28
Figure 2.2 : Schéma de principe d'un système de communication radio.....	28
Figure 2.3 : Représentation de l'impédance de l'antenne.....	30
Figure 2.4 : Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne.....	33
Figure 2.5: Lignes de champs produites par une antenne demi-onde.....	34
Figure 2.6: La densité de puissance rayonnée par l'antenne.....	35
Figure 2.7 : Exemple de diagramme de rayonnement 3D en valeurs logarithmiques.....	36
Figure 2.8 : Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E, en dB.....	36
Figure 2.9 : Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB.....	36
Figure 2.10 : a) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en coordonnées polaires, en fonction de u , en dB. b) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H en coordonnées polaires, en fonction de u , en dB.....	37
Figure 2.11 : Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture.....	37

Figure 2.12: Exemples de diagramme de rayonnement d'antenne.....	40
Figure 2.13: Représentation de la polarisation verticale et horizontale.....	40
Figure 2.14 : Température équivalente de bruit.....	41
Figure 3.1 : Antenne microbande rectangulaire, alimenté par feed-line de dimension $W \times L = 3.518\text{mm} \times 24\text{mm}$, la dimension de patch est $W_p \times L_p = 27.3\text{mm} \times 14\text{mm}$, l'épaisseur de substrat $h = 1.524\text{mm}$ son matériau est Rogers RO4003C, de constant diélectrique $\epsilon_r = 3.38$, les dimensions de substrat et le plan de masse est $W_s \times L_s = 46\text{mm} \times 30\text{mm}$	47
Figure 3.2 : Le paramètre S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence en (GHz).....	47
Figure 3.3 : Le paramètre VSWR (taux d'onde stationnaire).....	47
Figure 3.4 : Diagramme de rayonnement en (3D).....	48
Figure 3.5: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$ et 0°).....	48
Figure 3.6 : Courbe représentant la variation du gain en fonction de la fréquence.....	48
Figure 3.7 Courbe représentant la variation de la directivité en fonction de la fréquence.....	49
Figure 3.8 : Le courant de surface.....	49
Figure 3.9 : Antenne microbande rectangulaire coplanaire, alimenté par feed-line de dimension $W \times L = 2.523\text{mm} \times 24\text{mm}$, la dimension de patch est $W_p \times L_p = 12\text{mm} \times 11\text{mm}$, l'épaisseur de substrat $h = 1.524\text{mm}$ son matériau est Rogers RO4003C, de constant diélectrique $\epsilon_r = 3.38$, les dimensions de ce substrat est $W_s \times L_s = 26\text{mm} \times 24\text{mm}$ et le gap ($g=0.2$), l'encoche $r = 1.1\text{mm}$	50
Figure 3.10 : Le paramètre S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence en (GHz).....	51
Figure 3.11 : Le paramètre VSWR (taux d'onde stationnaire).....	51
Figure 3.12 : Diagramme de rayonnement en (3D).....	51
Figure 3.13: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$ et 0°).....	52
Figure 3.14 : Courbe présente la valeur max du gain.....	52
Figure 3.15 : Courbe présente la valeur max de la directivité.....	52

Figure 3.16 : Le courant de surface.....	53
Figure 3.17 : Antenne microbande rectangulaire coplanaire avec réflecteur, alimenté par feed-line de dimension $W \times L = 2.523\text{mm} \times 24\text{mm}$, la dimension de patch est $W_p \times L_p = 12\text{mm} \times 11\text{mm}$, l'épaisseur de substrat $h = 1.524\text{mm}$ et l'épaisseur de réflecteur $h_1 = 0.305\text{mm}$ son matériau est Rogers RO4003C, de constant diélectrique $\epsilon_r=3.38$, les dimensions de ce substrat et le réflecteur est $W_s \times L_s = 26\text{mm} \times 24\text{mm}$ et le gap ($g = 0.2$), le gap d'air $h_0 = 14.73\text{mm}$ et l'encoche $r = 1.1\text{mm}$	54
Figure 3.18 : Le paramètre S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence en (GHz) de différentes valeurs d'épaisseur h_1	54
Figure 3.19 : Le paramètre VSWR (taux d'onde stationnaire) de différentes valeurs d'épaisseur h_1	55
Figure 3.20 : Diagramme de rayonnement en (3D).....	55
Figure 3.21: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$ et 0°) de différentes valeurs d'épaisseur h_1	55
Figure 3.22 : Courbe présente la valeur du gain de différentes valeurs d'épaisseur h_1	56
Figure 3.23 : Courbe présente la valeur de directivité.....	56
Figure 3.24 : Le courant de surface.....	56

Listes des tables

Tableau 3.1 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne conventionnelle.....	52
Tableau 3.2 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne coplanaire.....	56
Tableau 3.3 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne coplanaire (CPW) + réflecteur.....	60
Tableau 3.4 : Tableau Comparatif entre les trois différentes antennes.....	60
Tableau 3.5 : Comparaison de nos résultats calculé avec de celle de la référence [4].....	62

Introduction Générale

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les applications dans ce domaine qui ont attiré plus d'attentions sont les antennes. Elles sont 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.

Aujourd'hui les antennes planaires connaissent un grand intérêt chez les chercheurs à cause de leurs nombreuses utilisations. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes microbandes sont les communications en haute fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux de positionnement par satellite (GPS), la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil (Wireless Local Area Network), la communication entre deux mobiles et dans des nouveaux domaines tels que la médecine ou le téléphone mobile. Cette large et importante utilisation de ces antennes est due essentiellement aux divers avantages qu'elles peuvent offrir par rapport aux antennes classiques tels que : faible poids, volume et épaisseur, coût de fabrication très faible, une production en série facile, possibilité de mise en réseau et l'intégration d'éléments discrets et la conformabilité facilitant l'implantation sur tout type de support [1], [2]. Cependant, ce type d'antenne présente des limites notamment la bande passante étroite [3], [4], une excitation possible d'ondes de surface [5], [6], un rayonnement faible et une directivité relativement peu élevée [7], [8]. Dans le but de contrôler et optimiser les performances de l'antenne telles que la bande passante et l'ouverture du faisceau de rayonnement ; plusieurs structures ont été proposées comme l'utilisation de plusieurs couches diélectriques qui offre des degrés de liberté additionnelles au concepteur [9], [10]. Malheureusement, ces techniques peuvent affecter considérablement les performances de l'antenne tels que le poids et le volume.

Plusieurs méthodes et modèles sont proposés pour analyser les antennes microbandes. Ils peuvent être classés en deux groupes :

Le premier groupe rassemble les méthodes simples. Ces méthodes sont basées sur certaines suppositions physiques qui aboutissent généralement à des formules

simples. Parmi ces méthodes on trouve le modèle de la ligne de transmission et celui du modèle de cavité. Les inconvénients spécifiques à ces méthodes sont :

- Il est difficile de déterminer toutes les caractéristiques de l'antenne.
- Ces méthodes sont limitées à des formes géométriques simples.

Le deuxième groupe contient les Méthodes d'analyses rigoureuses. Ces méthodes sont fondées sur la base de formalismes mathématiques complexes, et ne peuvent conduire à des résultats exploitables que par le biais d'une résolution numériques. Les méthodes les plus reconnues sont la méthode aux différences finies [11]-[15], la méthode des éléments finies [16]-[19] et la méthode des équations intégrales conjointement avec la méthode des moments [20]-[23]. Ces méthodes permettent d'analyser des antennes de formes très variées mais ce pendant elles nécessitent un temps de calcul relativement important. Les deux groupes de méthodes que nous venons d'exposer, ne sont pas les seuls moyens théoriques permettant de prévoir les caractéristiques des antennes microbandes. Aujourd'hui, il existe des logiciels commerciaux de simulation électromagnétique qui ont prouvé leurs performances dans l'analyse de ces antennes. Les logiciels les plus célèbres sont le logiciel HFSS, le CST et le logiciel IE3D.

L'objectif de notre travail est la conception avec le simulateur CST d'une antenne microbande de forme rectangulaire permettant d'émettre ou de recevoir dans la bande de fréquence 5 GHz (bande WiFi).

Notre mémoire comporte trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous parlerons des généralités sur les antennes patches. On commencera par leur description, principe de fonctionnement et les différentes techniques d'alimentation. Après nous évoquerons les différentes méthodes d'analyse ainsi que les avantages et les inconvénients de ces antennes.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons une étude basée sur les paramètres principales d'une antenne, tels que la bande passante, le gain, la directivité, le rendement.....etc.

Le troisième chapitre sera consacré aux résultats de simulation. Le simulateur CST sera exploité pour la conception de trois structures d'antennes : une structure

conventionnelle, une structure coplanaire et la même structure coplanaire avec réflecteur. Les trois structures seront simulées et les résultats seront comparés. La structure qui sera retenue devra couvrir toute la bande WiFi 5 GHz avec un gain, une directivité et un rendement acceptables.

Références Bibliographiques

- [1] J. R James, G. John, and C. M. Hall “Millimeter-Wave hybrid dielectric-microstrip antenna array” Proc. Inst. Elec. Eng. Vol. 131, No6, pp 341-350. Dec 1984.
- [2] A. K. Bhattacharyya and R. Garg, “Input impedance of annular ring microstrip antenna using circuit theory approach” IEEE trans. Antenna propagate, vol AP-33, pp369-374, Apr 1985
- [3] B. D. Popovic, J. Schoenberg, and Z. B. popovic, “Broadband quasimicrostrip antenna” IEEE Trans. Antennas Propagat, vol 43, pp1148-1152. Oct 1995.
- [4] D. M. Pozar. “Considerations for millimeter wave printed antennas”, IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol AP-31, PP 740-747, Sept. 1983.
- [5] G. Elazar and M.Kisliuk, “microstrip linear slot array antenna for X-band”, IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol 36, PP 1144-1147, Aug. 1988.
- [6] C. Peixeiro and A.M. Barbosa “leaky and surface waves in anisotropic printed antenna structures”, IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol 40, PP 566-569, May. 1992.
- [7] A.K. Bhattacharjee, S.R.B Chaudhuri, A. Mukherjee, D. R. Poddar, and S. K. Chowdhury “ Input impedance of rectangular microstrip antennas” Proc. Inst. Elec. Eng. Vol. 135, No5, pp 351-352, oct. 1988
- [8] A.K. Bhattacharjee, S.R.B Chaudhuri, D. R. Poddar, and S. K. Chowdhury “ Equivalence of radiation properties of square and circular microstrip patch antennas” IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol38, PP 1710-1711, oct. 1990.
- [9] J. T. Bernhard and C. J. Tousignant “Resonant frequencies of rectangular microstrip antennas with flush and spaced dielectric supersaturates”, IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol 47,pp. 302-308, Feb 1999
- [10] M. Haridim, D. Shukrun, and H. Matzner, “ A novel broadband triple-layer triangular patch antenna”, Microwave Opt. Technol. Lett, vol 40, no 1,pp 66-70, Jan 2004.
- [11] T.Itoh and W.Menzel, “A full-wave analysis method for apen microstip structures” IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol AP 29, PP 63-67, Jan. 1981.
- [12] K. Agi, M. Mojahedi, B. Minhas, E. Schamiloglu, and K. J. Malloy, “ The effects

of an electromagnetic crystal substrate on a microstrip patch antenna” IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol. 50, pp. 451-456, Apr. 2002.

[13] M. El Brak and M. Essaïd, “Rigorous analysis of conformal microstrip patch antennas using the FDTD method” Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 37 no.5, pp. 372-376, June 2003.

[14] Y.X. Guo, K. M. Luk, and K. F. Lee, “L-probe fed thick- substrate patch antenna mounted on a finite ground plane,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp. 1955- 1963, Aug. 2003.

[15] W. Y. Wu and C. W. Kuo, “Direct application of the S24 FDTD methode to antenna pattern computation,” Microwave Opt. Technol. Lett., vol. 40, no. 4, pp. 289-292, Feb. 2004.

[16] F. Bilotti, L. Vegni, and A. Toscano, “Radiation and scattering features of patch antennas with bianisotropic substrates,” IEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp. 449-456, Mar. 2003.

[17] F. Bilotti, A. Toscano, and L. Vegni, “FEM-BEM formulation for the analysis of cavitybacked patch antennas on chiral substrates,” IEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp. 306-311, Feb. 2003.

[18] C. W. Wu, L. C. Kempel, and E. J. Rothwell, “Mutual coupling between patch antennas recessed in an elliptic cylinder,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp. 2489-2492, Sep. 2003.

[19] F. Bilotti, and L. Vegni, “Chiral cover effects on microstrip antennas,” IEE Trans. Antennas Propagat., vol. 51, pp. 2891-2898, Oct. 2003.

[20] D. Chatterjee and R. G. Plumb, “Some convergence considerations in space-domain moment method analysis of class of wide-band microstrip antennas,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 48, pp.147-160, Feb. 2000.

[21] F. Bilotti and C. Vegni, “Rigorous and efficient full-wave analysis of trapezoidal patch antennas,” IEE Trans. Antennas propagate., vol. 49, pp. 1773-1776, Dec. 2001.

[22] F. Bilotti and C. Vegni, "MoM entire domain basis functions for convex polygonal patch," *J. Electromag. Waves Applicat.*, vol. 17, no. 11, pp. 1519-1664, 2003.

[23] A. Kedar, K. K. Gupta, and N. D. Kartaria, "Spectral-domain modeling of superconducting microstrip structures: Transmission lines and resonators," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 41, no. 1, pp. 55-59, Apr. 2004.

Chapitre I : Généralités sur les antennes microbandes

1.1 Introduction

Les antennes microbandes, souvent appelées antennes micro rubans ou patches, sont largement utilisées dans la bande de fréquences micro-ondes, à cause de leur simplicité et compatibilité avec la technologie des circuits imprimés faisant d'elles une structure faciles à produire.

Le concept d'antenne microbande a été proposé pour la première fois par Deschamps en 1953. Un brevet a été publié en France en 1955 par Gutton et Baissinot. Dès le début des années 1970 [1] [2], grâce au développement de la technologie des circuits imprimés et la disponibilité de substrats de bonnes qualité avec des pertes minimales et des propriétés mécaniques meilleures, plusieurs applications d'antennes microbandes ont été réalisées [1]. Faiblement profilées, ces antennes sont largement utilisées en particulier dans les communications mobiles et personnelles [3] [4]. Dans ce chapitre nous présentons la description et le principe de fonctionnement, les avantages, les inconvénients des antennes patches, ainsi que les différents types d'alimentation.

1.2. Description d'une antenne microbande

Une antenne microbande, comme il est représentée dans la figure 1.1, est constituée d'un mince conducteur métallique de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposé sur un substrat diélectrique dont la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse [1].

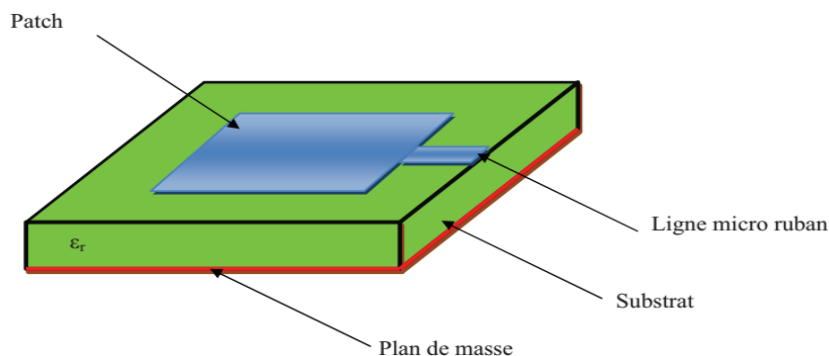


Figure 1.1: Structure typique d'une antenne microbande [5].

1.2.1. Les différentes formes d'une antenne microbande

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication. Généralement les caractéristiques de l'antenne dépendent de la forme et des dimensions du patch ; de l'épaisseur et de la constante diélectrique du substrat et de la technique d'excitation [2]. La figure 1.2 montre ces différentes formes [6].

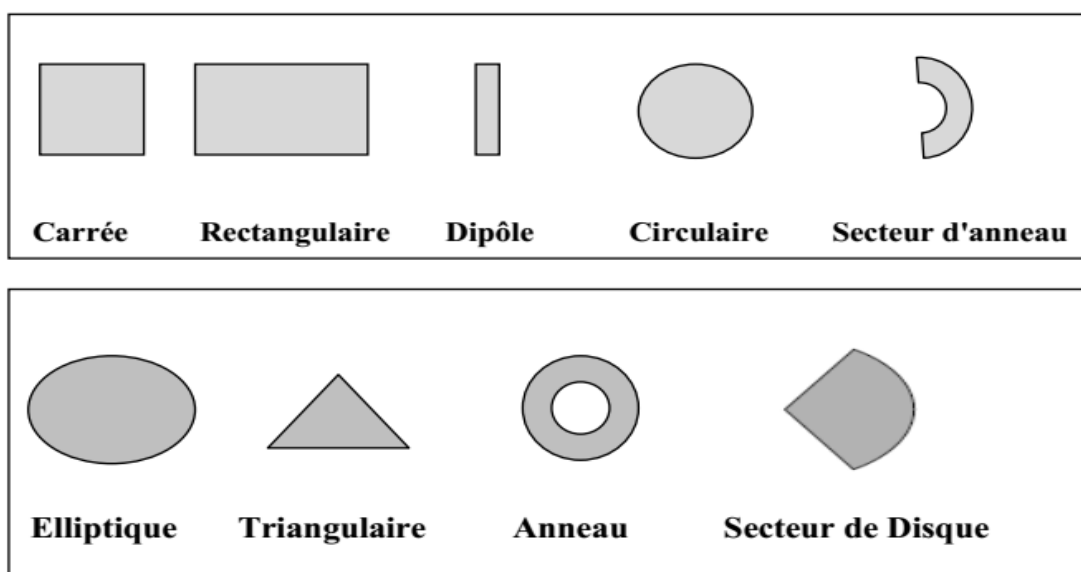


Figure 1.2: Différentes formes d'antennes patch.

1.2.2. Les substrats

Il existe une multitude de matériaux diélectriques pour les substrats. Les paramètres importants sont : le diélectrique ($2 < \epsilon_r < 16$) dans la bande RF ou micro-ondes). La classe des valeurs de la constante diélectrique du substrat s'étale de 2.2 à 12 pour opérer aux fréquences allant de 1 à 100GHz [7]. Les pertes dans le diélectrique qui sont représentés par une tangente ($0.0001 < \delta < 0.06$) ou la partie imaginaire de la constante diélectrique [2] [8]. A cause de leur faible cout, leur facilité de fabrication et leurs bonnes surfaces d'adhésion, les plastics sont couramment utilisés dans la bande RF. Une autre considération à prendre en compte dans le choix du substrat est l'effet de la constante diélectrique sur les caractéristiques de radiation. Une grande constante diélectrique entraine, généralement, une faible radiation des patches [2].

1.2.2.1. Les matériaux diélectriques utilisés

Le substrat joue un rôle double dans la technologie microbande. Il est à la fois un matériau diélectrique, où viennent se graver les circuits, et une pièce mécanique, car il supporte la structure. Cela implique des exigences à la fois sur le plan mécanique et électrique parfois difficiles à concilier, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde de fonctionnement ($h \ll \lambda_0$). Le substrat diélectrique affecte le comportement et les performances électromagnétiques de l'antenne. On préfère souvent utiliser des substrats à faibles pertes diélectriques ($\tan \delta < 10^{-3}$) qui favorisent le rendement de l'antenne et ceux à permittivité relative faible ($\epsilon_r < 3$) qui améliorent le rayonnement tout en diminuant les pertes par ondes de surface pour une hauteur donnée [2]. Les matériaux utilisés sont [9] : Les matériaux céramiques, Les matériaux semi-conducteurs, Les matériaux ferromagnétiques, Les matériaux synthétiques, etc.

1.3 Les techniques d'excitation d'une antenne microbande

L'excitation est un point très important en étudiant des antennes imprimées. En effet, l'énergie est fournie à l'élément rayonnant d'une manière où on peut influencer directement sur son rayonnement et modifier ses performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif. Les méthodes d'alimentation des antennes microbandes peuvent être classées en deux catégories :

Les alimentations par contact (par sonde ou ligne micro ruban).

Les alimentations par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou fente) [10].

1.3.1. Alimentation directe (avec contact)

Dans cette technique d'alimentation avec contact, On peut distinguer deux types.

1.3.1.1. Alimentation par ligne microbande

Cette technique consiste à placer une ligne micro-ruban (généralement de 50 Ohms) en contact avec l'élément rayonnant (Figure 1.3). La longueur de la ligne est considérée plus petite que les dimensions du patch. Ce principe assez simple à réaliser fournit la possibilité de fabriquer une structure planaire sur un substrat diélectrique.

Cet avantage est l'origine d'une large utilisation d'une alimentation micro-ruban dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes [11].

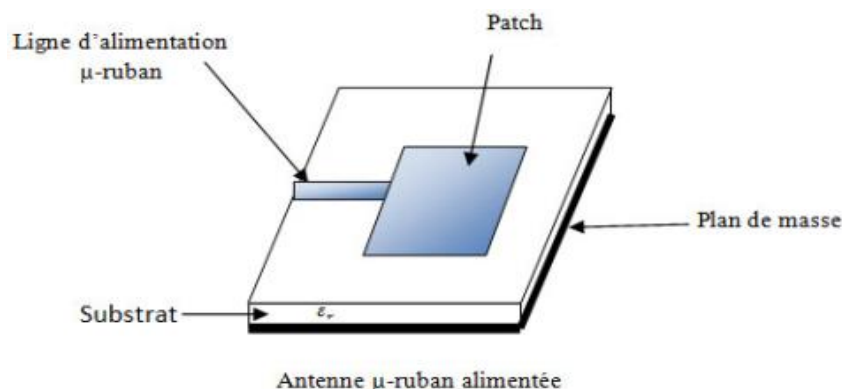


Figure 1.3 : Alimentation par ligne microbande [1].

1.3.1.2. Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation avec câble coaxiale ou alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans (Figure 1.4). Dans ce cas, le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication. Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément rayonnant [12].

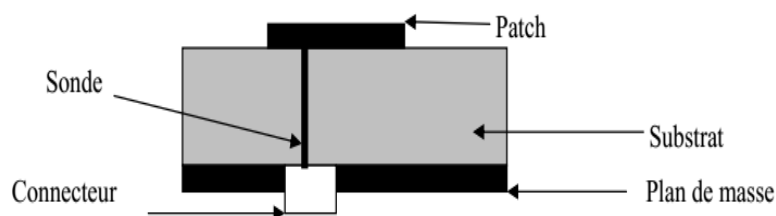


Figure 1.4 : Antenne micro ruban alimenté par sonde [12].

1.3.2. Alimentation par couplage (sans contact)

1.3.2.1. Alimentation par ouverture (fente)

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique la figure 1.5. La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Le plan de masse isole la ligne d'alimentation de l'élément rayonnant et limite l'interférence de l'élément parasite sur le diagramme de rayonnement et offre une plus grande pureté de polarisation [2]. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch. Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante [10].

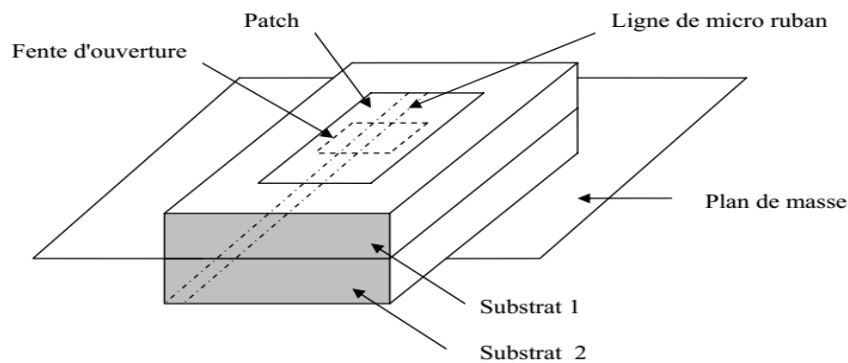


Figure 1.5 : Alimentation couplée par ouverture [10].

1.3.2.2. Alimentation Par Proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur la figure 1.6, deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur [10].

La meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la figure 1.6. L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre [13].

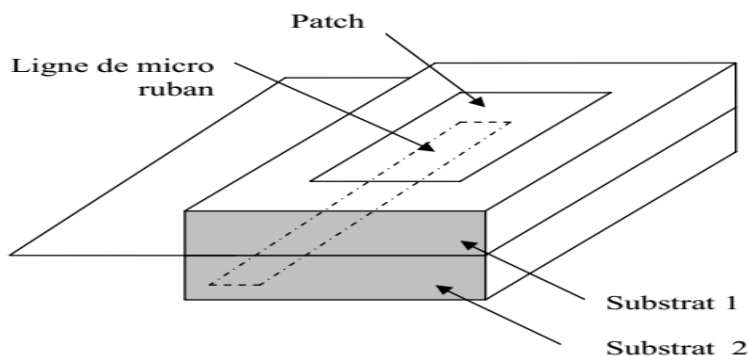


Figure 1.6 : Alimentation couplée par proximité [10].

1.4 Principe de fonctionnement d'une antenne microbande

Pour comprendre comment fonctionne une antenne microbande, considérons la coupe donnée dans la figure 1.7. Au point **a** du conducteur supérieur, on a déposé une source ponctuelle (densité de courant de surface), qui rayonne dans toutes les directions. Une partie du signal émis est réfléchié par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains des rayons aboutissent sur l'arête du conducteur (point **b**), qui les diffracte.

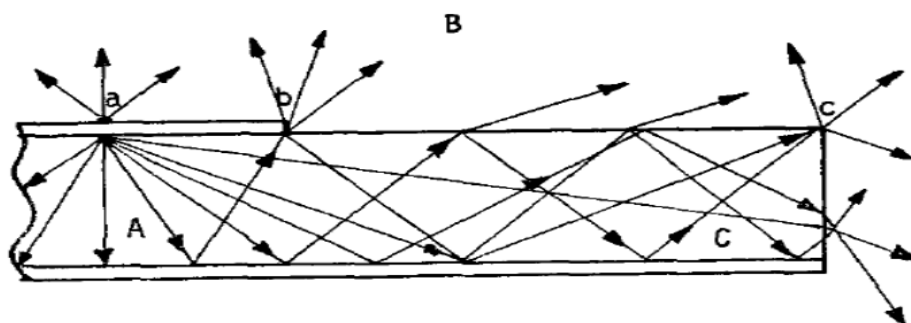


Figure 1.7 : Trajectoires des rayons dans une antenne microbande (coupe). La figure montre l'existence de trois régions distinctes.

Cette figure peut être divisée en trois régions distinctes :

Région A : dans le substrat, entre les deux plans conducteurs, les rayons sont de plus en plus concentrés. Le champ électromagnétique s'accumule dans cette région de l'espace.

Cette propriété est très utile pour la propagation du signal le long d'une ligne microbandes.

Région B : dans l'air, au dessus du substrat, le signal se disperse librement dans l'espace et contribue au rayonnement de l'antenne. Comme les courants de surface circulent surtout sur face inférieure du conducteur supérieur (coté diélectrique) [2], le rayonnement paraît surtout être émis par le voisinage immédiat des arêtes. Certains modèles simplifiés mettent à profit cette constatation : ils considèrent le rayonnement d'un ensemble de fentes fictives, situées sur le pourtour de l'antenne.

Région C : certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasante et restent piégés à l'intérieur du diélectrique. Il s'agit du mécanisme de la réflexion totale, dont font usage les fibres optiques. Une onde de surface est alors guidée par le bord du diélectrique, ne contribuant pas directement au rayonnement de l'antenne. Toutefois, quand cette onde atteint le bord du substrat (point **c**), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite. Dans le cas d'une antenne en réseau, l'onde de surface crée un couplage entre les éléments du réseau. Le diagramme de rayonnement de l'antenne peut être perturbé par la présence d'ondes de surface, notamment au niveau des lobes secondaires. On pourrait en principe faire usage des ondes de surface pour alimenter les éléments d'un réseau.

On peut associer des plages de fréquence aux trois régions précédentes :

Plage de fréquence A : en basse fréquence, les champs restent surtout concentrés dans la région A. il y a alors propagation sans rayonnement. La structure qui en résulte est une ligne de transmission ou un des éléments dérivés.

Plage de fréquence B : à plus haute fréquence, le rayonnement dans l'air devient significatif et la structure se comporte comme une antenne. Il reste néanmoins une importante concentration des champs entre les deux conducteurs (énergie réactive emmagasinée dans la zone du champ proche). Comme les diélectriques présentent toujours certaines pertes, il en résulte une absorption du signal. Le rendement d'une antenne microbandes reste de ce fait assez modeste.

Plage de fréquence C : bien qu'une onde de surface puisse, en principe, se propager quelle que soit la fréquence du signal, c'est surtout au dessus d'une certaine fréquence limite que ces ondes jouent un rôle significatif. La structure devient alors un lanceur d'ondes de surface. Elle ne peut plus être utilisée comme antenne, à moins que l'on ne

dispose d'une transition adéquate, qui effectue le passage d'une onde de surface à une onde rayonnée.

1.5. Méthodes d'analyse

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'analyse des antennes microbandes. La plupart de ces méthodes peuvent être classés dans une des deux catégories : **méthodes approximatives** et **méthodes rigoureuses** (Full-wave) [14] [15].

Les méthodes approximatives sont basées sur des hypothèses simplificatrices donc elles ont des limitations et elles fournissent des solutions moins précises. Elles sont généralement utilisées pour la modélisation des antennes à élément unique à cause de la difficulté rencontrée dans la modélisation du couplage entre les différents éléments. Cependant, elles offrent un bon aperçu physique avec un temps de calcul généralement très petit. Les méthodes rigoureuses tiennent compte de tous les mécanismes importants de l'onde et s'appuient énormément sur l'utilisation d'algorithmes numériques efficaces. Lorsqu'elles sont appliquées convenablement, les méthodes rigoureuses sont très précises et peuvent être employées pour la modélisation d'une variété d'antennes y compris les antennes réseaux. Ces méthodes ont tendance à être plus complexes et fournissent moins d'aperçu physique. Souvent, elles nécessitent plus de calculs et donc un temps de calculs élevé [14] [16].

1.5.1. Méthodes approximatives (analytiques)

Les méthodes approximatives prennent en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle en question. Parmi ces méthodes, on cite :

- Le modèle de la ligne de transmission ;
- Le modèle de la cavité.

1.5.1.1 Le modèle de la ligne de transmission

Le modèle de la ligne de transmission est considéré comme le plus simple. Ce modèle exploite l'analogie qui existe entre un patch d'une antenne imprimée et un tronçon d'une ligne de transmission ayant deux bords rayonnants. Ce modèle prend en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des

approximations, permettant la modélisation du modèle. Dans le modèle de la ligne de transmission, l'inconnu à déterminer est la constante de propagation. Les pertes par rayonnement sont incluses dans le coefficient d'atténuation de la constante de propagation. Cependant, cette technique ne rend pas compte des effets des modes d'ordre supérieur [2].

La fréquence de résonance pour le mode T_{m0} peut être évalué à :

$$f_{rm} = \frac{mc}{2(L+\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (1.1)$$

Avec

$$\Delta L = 0.412t \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{t}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{t}+0.8\right)} \quad (1.2)$$

c : vitesse de la lumière

m : indice du mode

L : longueur du patch

Le mode dominant est le mode T_{10}

ϵ_{reff} est la constante diélectrique effective. Elle représente la constante diélectrique, homogène et fictive, de la structure réelle air-substrat comme il est illustré sur la figure 1.11.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + 10 \frac{t}{W}\right)^{-\alpha\beta} \quad (1.3)$$

$$\text{Avec } \alpha = 1 + \frac{1}{49} \log \frac{\left(\frac{W}{t}\right)^4 + \left(\frac{1}{52} \frac{W}{t}\right)^2}{\left(\frac{W}{t}\right)^4 + 0.432} + \frac{1}{18.7} \log \left[1 + \left(\frac{1}{18.1} \frac{W}{t}\right)^3\right]$$

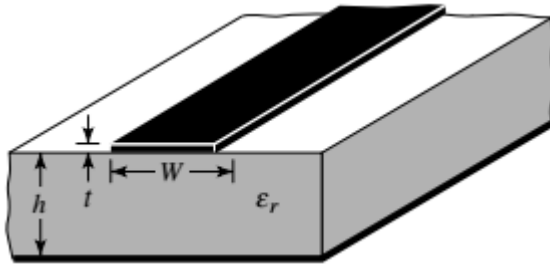
$$0.564 \left(\frac{\epsilon_{reff} - 0.9}{\epsilon_{reff} + 0.3}\right)^{0.053}$$

Dans d'autres littératures, l'équation (1.3) s'écrit :

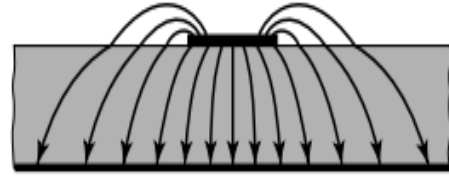
$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + 10 \frac{t}{W}\right)^{-1/2}$$

Ou

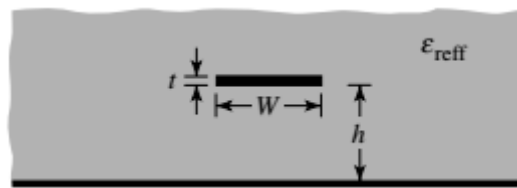
$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{t}{W}\right)^{-1/2}$$



Ligne microstrip



Lignes du champs électrique



Ligne fictive avec constante diélectrique fictive

Figure 1.8 : Modèle de la ligne de transmission d'une antenne microbande.

1.5.1.2 Le modèle de la cavité

La structure imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux murs électriques en bas par un plan de masse en $z = 0$, en haut par une plaque conductrice en $z = h$, et par des murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les débordements des champs sur les bords de l'antenne. Pour l'excitation, on prend pour modèle un courant électrique J parallèle à l'axe oz (Figure 1.12) et répartie uniformément.

Pour calculer le champ interne à la cavité, on utilise la méthode dite de raccord de mode. Elle consiste à diviser la cavité en deux régions I et II dépourvues de sources et ensuite à résoudre l'équation de Helmholtz (sans second membre) dans chaque région. Les champs lointains sont donnés par le rayonnement des ouvertures verticales et la puissance totale rayonnée est obtenue en intégrant le champ lointain dans tout le demi-espace supérieur [14].

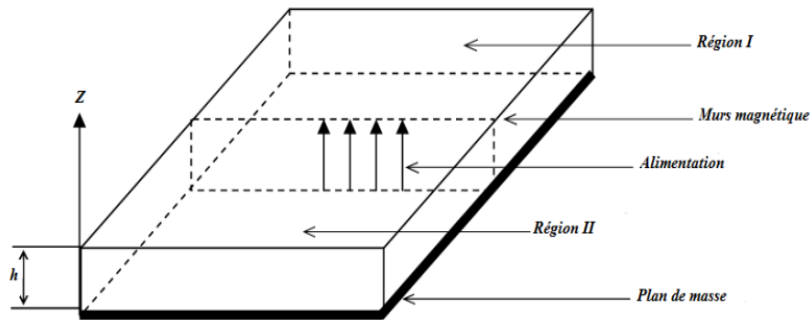


Figure 1.9 : Modèle de la cavité [17].

1.5.2. Méthodes numériques

1.5.2.1. Méthodes des éléments finis

La méthode des éléments finis basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode. Cette méthode permet de calculer, en chaque point des éléments divisant l'espace, les champs électriques qui minimisent la fonction d'énergie [18]. La méthode des éléments finis est implémentée dans quelques codes commerciaux tels que le fameux logiciel HFSS d'Ansoft [16].

1.5.2.2. Méthodes des différences finies

Elle notée **F.D.T.D.** Elle permet de calculer à chaque instant discret de l'espace, les composantes du champ électromagnétique dans chaque cellule élémentaire du volume tridimensionnel. On applique la transformée de Fourier à la réponse temporelle pour obtenir la réponse fréquentielle du système [19].

La méthode des différences finies a été implémentée dans des logiciels commerciaux tels que Fidelity de Zeland [16].

1.5.2.3. La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM

La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM permet de discrétiser les champs et les courants de la structure étudiée en petits éléments, chacun de ces éléments est considéré comme un ensemble de ligne de transmission et les calculs s'effectuent directement dans le domaine temporel [19].

1.5.2.4. La méthode des moments

L'utilisation de la méthode des moments dans les problèmes électromagnétiques a été développée pour la première fois par Newman [20], est une manière de résolution d'équations intégrales qui permet de réduire celles-ci en un système d'équations linéaires appliqués aux structures planaires ou quasi-planaires sur les structures 2D [21].

1.6. Avantages et inconvénients des antennes microbandes

Les antennes microbandes ont de nombreux avantages comparés aux antennes micro-ondes classiques et par conséquent plusieurs applications dans la large gamme de fréquences allant de 100MHz à 50GHz sont réalisables. Parmi ces avantages, on peut citer [14]:

- Faible poids, petit volume, configuration planaire, faible épaisseur ;
- Faible coût de fabrication, production en masse possible;
- Ces antennes peuvent être placées sur les missiles, les fusées et les satellites sans modifications importantes ;
- Les antennes ont de petites aires de rayonnement ;
- La polarisation linéaire comme pour le cas des antennes plaques rectangulaire et circulaire (gauche ou bien droite) est possible avec de légers changements dans la position de l'alimentation ;
- L'utilisation de deux fréquences de travail est possible ;
- Les antennes microbandes sont compatibles avec les constructions modulaires (Composants monolithiques tels que les oscillateurs, les alternateurs variables, les interrupteurs, les modulateurs, les mélangeurs, les déphaseurs et peuvent être adaptées directement sur le substrat) ;
- Les lignes d'alimentation et les circuits d'adaptation d'impédance sont fabriqués simultanément avec la structure de l'antenne.

Comme les antennes microbandes ont des avantages; elles ont aussi quelques inconvénients comparées aux antennes micro-ondes classiques tels que [22] :

- Bande passante étroite;
- Gain plus faible dû aux pertes ;
- Limitations pratiques sur le gain (au maximum à 20dB) ;
- La performance du rayonnement longitudinal est faible ;
- L'isolation entre les éléments rayonnants et l'alimentation est faible ;
- Possibilité d'excitation des ondes de surface ;
- Capacité de manipulation à faible énergie.

1.7. Applications

Vu l'explosion technologique dans le domaine des télécommunications et les recherches scientifiques continues, concernant les antennes imprimés, et vu les exigences multiples dans le domaine de la communication, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes microbandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications [23]. Parmi ces applications on cite:

- Les télécommunications par satellites.
- La commande et contrôle.
- La télémétrie.
- Les équipements portatifs.
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation.

1.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement les antennes microbandes. Nous avons parlé de leur description, les techniques d'excitation, le principe de fonctionnement, le phénomène d'ondes de surface. Après avoir évoqué les différentes méthodes d'analyse, nous avons discuté des avantages et des inconvénients. Finalement l'étude de ces paramètres est importante et permet de concevoir une antenne en fonction de ses applications.

Références bibliographiques

- [1] MEDDOUR Meriem, caractérisation des antennes microrubans par l'approche d'onde unique, mémoire de Master, Université d'Elhadj Lakhder, Batna, 2015.
- [2] M. BELHEDRI.A, "Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique", mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.
- [3] DR. JOHN L. VOLAKIS, "ANTENNA ENGINEERING HANDBOOK," FOURTH EDITION, McGraw-Hill, 2007.
- [4] M. TOUATI Houssein Eddine, Conception et simulation d'une antenne microruban circulaire, mémoire de Master, Université de Mohammed Khider, Biskra, 2014.
- [5] M. TEBACHE Soufiane, Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées, mémoire de Magister, Université de Mohammed khider, Biskra, 2013.
- [6] C.A. Balanis «Analysis Design, Third Edition» Copyright 2005 John Wiley & Sons, Inc. page 811.
- [7] Djoublija Linda, Contribution à l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application à la forme triangulaire, de doctorat, Université de Constantine, 2012.
- [8] ZHINING CHEN, MICHAEL Y.W.CHIA, "Broadband Planar Antennas Design and Applications," Institute for Infocom Research, Singapore, John Wiley & Sons, 2006.
- [9] Fadila BENMEDDOUR, "Etude et Réalisation d'un Résonateur Microruban de Forme Circulaire," Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2012.
- [10] CHOUTI Leila, Contribution à l'étude des antennes imprimé rectangulaire double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage mémoire de Magister, Université de Constantine, 2009.
- [11] L. I. Basilio, M. A. Khayat, J. Williams , S. A. Long, "The dependence of the input impedance on feed position of probe and microstrip line fed patch antennas", IEEE transactions Antennas Propagat, Vol. 49, pp. 45-47, Janvier 2001.

- [12] A. Boufrioua, Contribution à l'analyse d'une antenne microbande circulaire par la méthode spectrale et le modèle de la cavité, thèse de magistère, Institut d'électronique, Université de Constantine. 2000.
- [13] Constantine A. Balanis, "Antenna theory analysis and design", A John Wiley & Sons, INC Publication, Third Edition. Hoboken, New Jersey 2005.
- [14] MEKIMAH Boualem, Etude du fonctionnement en mode bi fréquence des patches microbandes empilés et excentrés, mémoire de Magister, Université de Ouargla.
- [15] M. Titaouine, "Analyse des antennes microrubans de forme arbitraire par la méthode des moments et le modèle généralisé de la cavité," Thèse de Doctorat, Université de Sétif, Sept.2007.
- [16] F. Chebbara, "Etude des caractéristiques de résonance et de rayonnement des antennes microbandes réalisées avec des matériaux ayant une anisotropie de type électrique et magnétique," Thèse de doctorat, université de Batna, juin 2011.
- [17] BOUFRIOUA Amel, Contribution à l'étude des antennes à patch résistif et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant, Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2006.
- [18] CH. ZEBIRI, EFFET De l'anisotropie Tensorielle sur les paramètres Des structures planaires Contribution à une réalisation d'un résonateur microruban, Université de Constantine.2011.
- [19] Y. TIGHILT, identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones, thèse de doctorat en électronique, Université de Sétif, juin 2011.
- [20] E. H. Newman, and P.Tylyathan, "Analysis of microstrip antennas using moment methods", IEEE Transaction on Antennas and Propagations, Vol. AP-29, N°. 1, pp. 47-53, January 1989.
- [21] P. R. Haddad and D. M. Pozar "Anomalous mutual coupling between microstrip antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. 42, N°. 11, pp.1545-1549, November 1994.
- [22] Punit S. Nakar, "Design of compact microstrip patch antenna for use in Wireless/cellular devices," Thèse de Master, Florida state university, college of engineering, 2004.

[23] Juan R. Mosing, Fred E. Gardiol, "Rayonnement d'une antenne microbande de forme arbitraire," Ann. Télécommun., vol. 40, no.3-4, 1985.

Chapitre II : Les paramètres caractéristiques d'une antenne

2.1. Introduction

Les premières antennes sont apparues à la fin du XIXe siècle, à une époque où les travaux sur l'électromagnétisme ont connu un développement considérable. Depuis, leur réalisation n'a cessé d'évoluer, d'abord, grâce aux progrès scientifiques de l'électromagnétisme, plus tard, sous la pression de nombreuses demandes technologiques dans des domaines d'application variés [1]. L'essor actuel des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisateurs : télécommunications mobiles, satellites, télévision, radio, identification, objets communication, ... etc. Malgré cette grande diversité, toutes les antennes ont en commun de transformer un signal guidé en un signal rayonnant (ou réciproquement), dans un spectre électromagnétique relativement large allant des ondes radio aux hyperfréquences. Actuellement la course à l'innovation concernant les systèmes de communication entraîne des études poussées dans le domaine des antennes.

Dans ce chapitre nous présenterons les principes fondamentaux d'antennes, le rayonnement et les différents paramètres d'antennes.

2.2. Définition d'une antenne

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes. D'après cette norme, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio [2]. Plus concrètement, c'est un dispositif qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, les convertit en ondes électromagnétiques et les diffuse dans l'espace libre lorsque l'antenne est en mode d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La figure 2.1 en fait une illustration très simple [3].

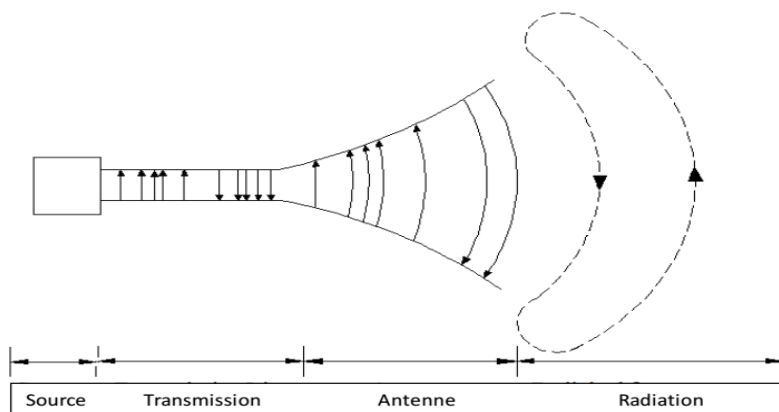


Figure 2.1 : Rayonnement d'une antenne.

2.3. Le rôle d'une antenne

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

- Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.
- Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées
- Transmettre le plus fidèlement possible une information [4].

Si nous considérons un système de communication sans fil le plus simple qui soit, celui ci serait composé d'un bloc d'émission et d'un bloc de réception. Ces deux blocs seraient séparés par un canal de propagation dans lequel le signal émis transite avant d'être reçu comme le montre la figure 2.2 :

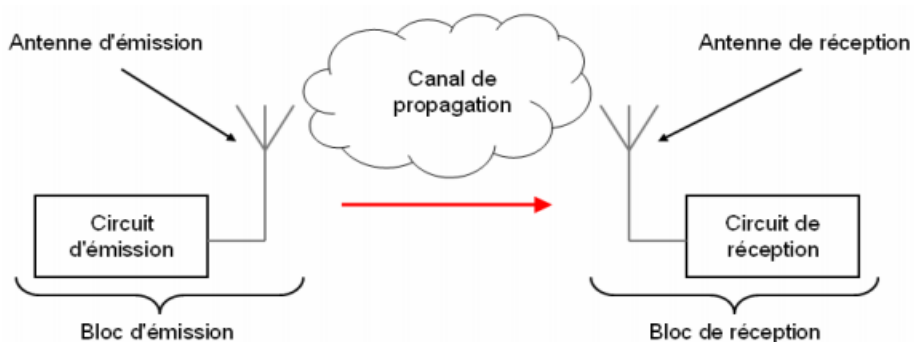


Figure 2.2 : Schéma de principe d'un système de communication radio.

2.3.1. Bloc d'émission

Au niveau du bloc d'émission, le circuit d'émission fournit à sa sortie un courant haute fréquence, généralement modulé, qui va être transformé en ondes électromagnétiques capables de se propager dans le canal, c'est l'antenne d'émission qui assure ce rôle.

2.3.2. Bloc de réception

A l'inverse au niveau du bloc de réception, lorsque les ondes atteignent le récepteur c'est à l'antenne de réception qu'incombe le rôle de les transformer en courant susceptible d'être traité par le circuit de réception.

Ainsi une antenne peut se définir par sa fonction : c'est un transducteur passif qui convertit les grandeurs électriques d'un conducteur ou d'une ligne de transmission (tension et courant) en grandeurs électromagnétiques dans l'espace (champ électrique et champ magnétique) et inversement. Une antenne peut donc indifféremment être utilisée à la réception ou à l'émission; de plus comme le montre le théorème de réciprocité de Lorentz [5], l'ensemble des caractéristiques d'une antenne sont identiques que l'antenne soit utilisée comme antenne d'émission ou de réception. Ceci est très intéressant car cela signifie qu'un objet communicant disposant d'une partie émission et d'une partie réception pourra utiliser la même antenne [6].

2.3.3. Réciprocité

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque. Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité. Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas [7].

Dans les parties qui suivent nous allons préciser quelles sont les paramètres qui définissent de manière exhaustive une antenne.

2.4. Paramètres caractéristiques d'une antenne

De nombreux paramètres sont utilisés pour décrire les caractéristiques et les performances des antennes tels que l'impédance d'entrée, le coefficient de réflexion, la directivité, le gain, le rendement, ainsi que les diagrammes de rayonnement...etc [4].

2.4.1. Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée d'une antenne est définie comme le rapport entre la tension et le courant aux bornes de l'antenne ou comme le rapport entre les composantes appropriées des champs électriques et magnétiques. L'expression de l'impédance d'entrée d'une antenne Z_{ant} se décompose en une partie réelle R_{ant} et une partie imaginaire X_{ant} et s'écrit comme suit :

$$Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant} \quad (2.1)$$

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

La partie réelle de l'impédance R_{ant} regroupe une partie due aux pertes ohmiques et diélectriques des matériaux et la résistance de rayonnement de l'antenne et elle s'écrit comme suit :

$$R_{ant} = R_{pertes} + R_{ray} \quad (2.2)$$

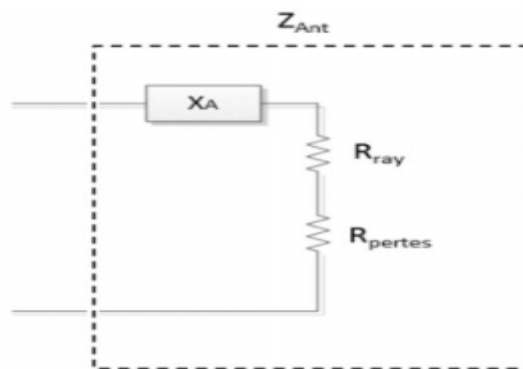


Figure 2.3 : Représentation de l'impédance de l'antenne [8].

Pour s'assurer que la puissance a été transférée de l'alimentation vers l'antenne, il est nécessaire d'avoir une adaptation d'impédance. Le transfert maximal de puissance est obtenu lorsque l'impédance de la ligne d'alimentation Z_c est égale à

l'impédance conjuguée de l'antenne et comme le coefficient de réflexion (S_{11}) est en fonction de la fréquence alors Z_{ant} varie aussi avec la fréquence. Cette impédance d'entrée en fonction de S_{11} est donnée par la formule [1] [8] :

$$Z_{ant} = Z_c \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (2.3)$$

2.4.2. Résistance de rayonnement

Pour les antennes, la puissance totale émise $\langle P_t \rangle$ est reliée au courant crête (En utilisant le courant efficace $I_{rms} = I_{crête}/\sqrt{2}$, on obtient $\langle P_t \rangle = R_{ri} I_{in,rms}^2$) \bar{I}_{in} mesuré à l'entrée de l'antenne via la résistance de rayonnement vue à l'entrée R_{ri} qui n'est pas une résistance dissipative physique :

$$\langle P_t \rangle = \frac{1}{2} R_{ri} I_{in}^2 \quad (2.4)$$

Cette résistance s'ajoute à celle des pertes joules (ou pertes en général) pour former la partie réelle de l'impédance de l'antenne :

$$R_a = R_{ri} + R_{pertes} \quad (2.5)$$

R_{pertes} : est la résistance qui provoque :

- Les pertes ohmiques ou thermiques R_{ohm} ;
- Les pertes dans le diélectrique R_{die} ;
- Les pertes de retour (conductivité du sol) pour les monopoles R_{sol} .

La résistance R_{ri} est la responsable du rayonnement de l'antenne, car sans elle aucune puissance active fournie à l'antenne n'est émise. On a donc intérêt à l'avoir la plus élevée possible pour accroître l'importance des champs rayonné.

Le symbole R_r est réservé à la résistance de rayonnement, laquelle est calculée à partir de l'amplitude maximale de la distribution du courant sur l'antenne :

$$\langle P_t \rangle = \frac{1}{2} R_r I_{max}^2 \quad (2.6)$$

Si l'amplitude maximale se situe au niveau des bornes, alors $R_r = R_{ri}$ [9].

2.4.3. Le coefficient de réflexion et le R.O.S

Le coefficient de réflexion d'une antenne représente le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies.

Pour une antenne d'impédance Z_{ant} , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_c , le coefficient de réflexion peut être défini comme suite :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \quad (2.7)$$

Avec : $Z_c = 50 \text{ ohm}$.

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

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log(S_{11}) \quad (2.8)$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini négativement, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal [1].

Dans la pratique, l'adaptation est caractérisée par le module du coefficient de réflexion ou, le plus souvent, par le "Rapport d'Onde Stationnaire" (R.O.S.) [4].

Lorsque l'adaptation n'est pas parfaite, la partie de l'onde réfléchie se superpose à l'onde incidente pour ne former qu'une seule onde, appelée onde stationnaire. Il se définit comme le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'onde stationnaire. Le ROS ou, en anglais, VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio peut également s'exprimer à partir du coefficient de réflexion que nous venons de définir à travers l'expression :

$$ROS = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.9) [6]$$

Le terme de TOS (Taux d'Ondes Stationnaires) peut être utilisé à la place de ROS [4].

2.4.4. La fréquence de résonance et la bande passante

La bande passante d'une antenne définit donc la plage de fréquence dans laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil fixé arbitrairement. Généralement la bande passante correspond à la plage de fréquence pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur de -10dB. Mais dans certaines applications, ce niveau peut être relevé à -6 dB ce qui permet de relâcher certaines contraintes lors de la conception d'une antenne, c'est le cas, par exemple, pour certaines antennes de téléphone mobile. Il est cependant communément admis que si le seuil auquel est considéré la bande passante n'est pas précisé, il s'agit de la bande passante pour un

Chapitre 2 : Les paramètres caractéristiques d'une antenne

S_{11} inférieur à -10dB. La figure 2.4 montre le paramètre S_{11} d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à -10 dB. Dans cet exemple la bande passante qui s'exprime en Hertz (Hz) est de 226 Mhz.

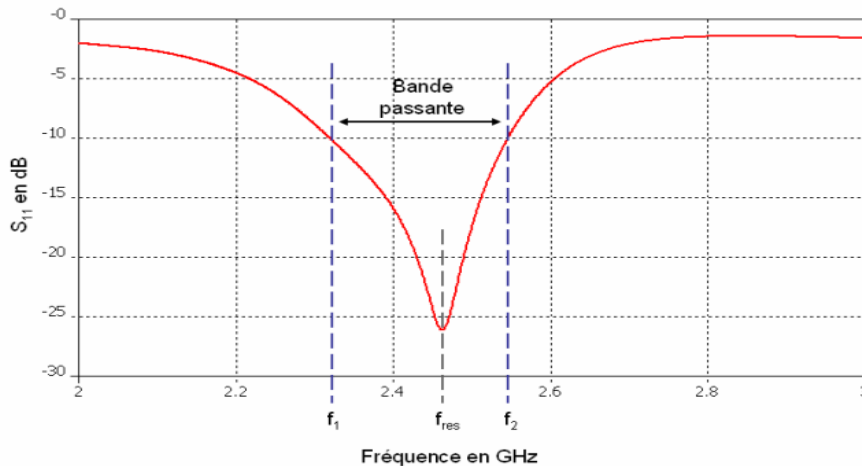


Figure 2.4 : Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne

La fréquence de résonance, f_{res} correspond à la fréquence pour laquelle l'antenne est la mieux adaptée, c'est-à-dire pour laquelle le coefficient de réflexion est le plus faible. Sur une bande passante donnée, il est possible d'observer plusieurs minima donc plusieurs fréquences de résonance [6].

La bande passante est définie par la formule suivante :

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \quad (2.10)$$

Avec f_2 et f_1 la fréquence maximale et la fréquence minimale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB (voire -6dB) et f_c la fréquence centrale [10].

Afin de comparer des structures d'antennes, on exprime souvent la bande passante, BP, d'une antenne en pourcentage par rapport à la fréquence de résonance 2.1 [6].

$$BP(\%) = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100 \quad (2.11)$$

2.4.5. Zones de rayonnement

Les champs dans la proximité de l'antenne sont extrêmement complexes à analyser. La figure 2.5 montre un exemple des lignes de champ produites par une antenne demi-onde [11].

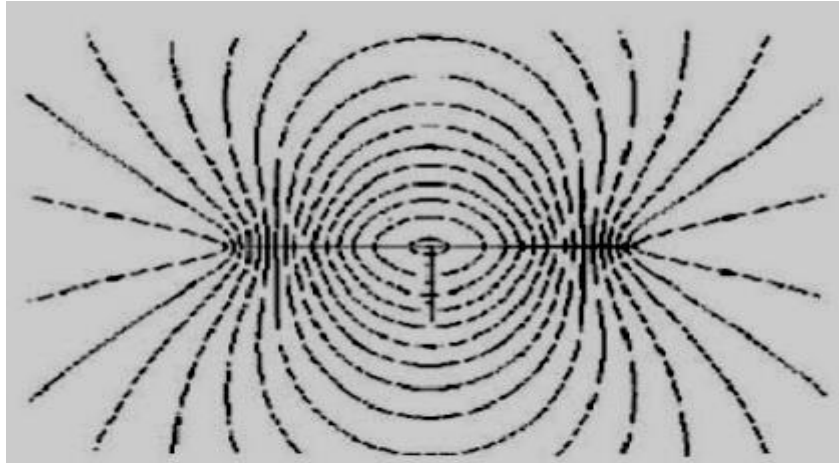


Figure 2.5: Lignes de champs produites par une antenne demi-onde [11].

D_{se} est le diamètre de la surface équivalente de l'antenne et r la distance à l'antenne. Les physiciens ont défini plusieurs zones autour de l'antenne (voir figure 2.6).

2.4.5.1. Zone de Rayleigh

Dans cette zone de champ proche (ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur. A courte distance (par rapport à la longueur d'onde) pour $r < \frac{D_{se}^2}{2\lambda}$ la densité de puissance est quasi constante (tube d'énergie). Les champs varient peu en fonction de la distance mais ils sont très complexes à analyser.

2.4.5.2. Zone de Fresnel

Elle se situe entre les deux extrêmes. Ici les champs varient avec de fortes oscillations. Dans cette zone $\frac{D_{se}^2}{2\lambda} < r < \frac{2D_{se}^2}{2\lambda}$: la densité de puissance est fluctuante.

2.4.5.3. Zone de Fraunhofer

Dans la zone du champ lointain (ou de Fraunhofer), à grande distance par rapport à la longueur d'onde, les champs sont rayonnés sous la forme d'une onde quasiment plane. Dans cette zone, $r > \frac{2D_{se}^2}{2\lambda}$, la densité de puissance décroît en $\frac{1}{r}$.

Chapitre 2 : Les paramètres caractéristiques d'une antenne

Quel que soit le type d'antenne, on obtient invariablement des champs dont les expressions mathématiques indiquent des variations en $\frac{1}{r}$, $\frac{1}{r^2}$, $\frac{1}{r^3}$. On interprète ces variations des champs selon la distance comme [11]:

- les termes en $\frac{1}{r}$ correspondent au rayonnement.
- les termes en $\frac{1}{r^2}$ de E sont reliés à l'induction.
- les termes en $\frac{1}{r^3}$ de E et en $\frac{1}{r^2}$ de H proviennent de l'électrostatique.

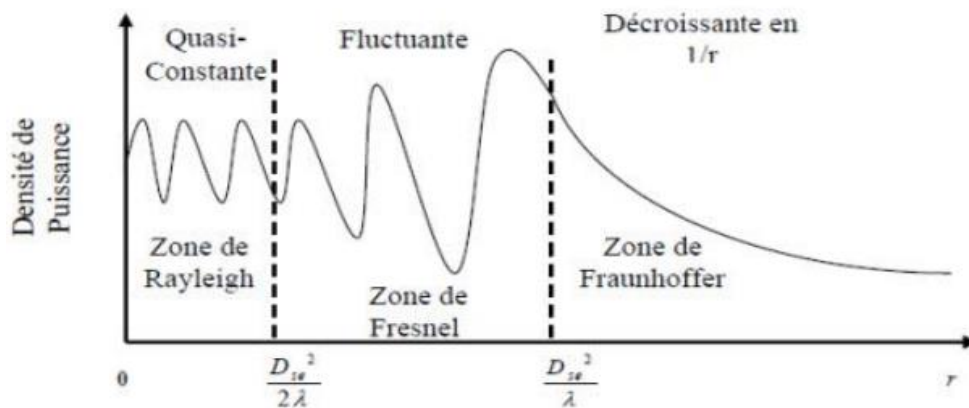


Figure 2.6: La densité de puissance rayonnée par l'antenne [11].

2.4.6. Diagramme de rayonnement

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de diagramme de rayonnement. La direction du maximum de rayonnement est appelée l'axe de rayonnement de l'antenne. La représentation de cette fonction donne les caractéristiques du rayonnement dans l'espace. Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : le plan E et le plan H. Le plan E est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique. Le plan H est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique.

Certaines représentations en trois dimensions ont l'avantage de montrer toutes les directions de rayonnement dans l'espace (figure 2.7) mais permettent difficilement une appréciation quantitative. La figure est en coordonnées logarithmiques. Ceci permet de mieux voir les détails pour les faibles valeurs, dans les lobes latéraux.

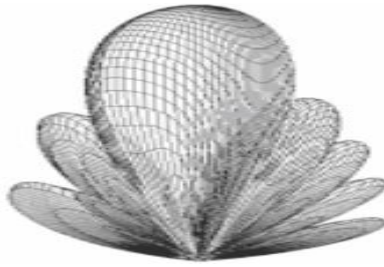


Figure 2.7 : Exemple de diagramme de rayonnement 3D en valeurs logarithmiques.

Le diagramme de rayonnement, généralement en coordonnées logarithmiques, est présenté soit en coordonnées rectangulaires, soit en coordonnées polaires, dans les deux plans perpendiculaires (E et H). Le diagramme de rayonnement de la figure 2.7 est présenté ci-dessous sous ces différentes formes. Les coordonnées rectangulaires sont utilisées sur la figure 2.8 pour présenter le diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E et, sur la figure 2.9, dans le plan H. Sur la figure 2.10, la représentation en coordonnées polaires est utilisée pour représenter ces diagrammes.

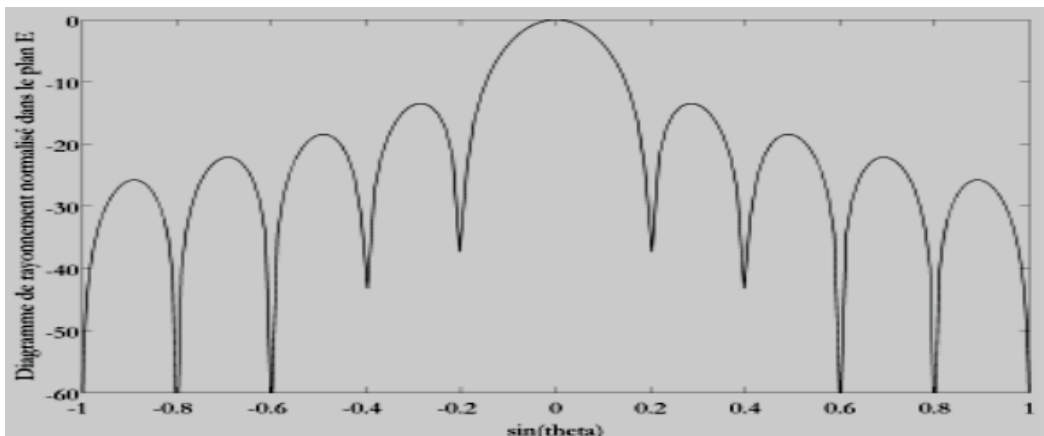


Figure 2.8 : Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E, en dB.

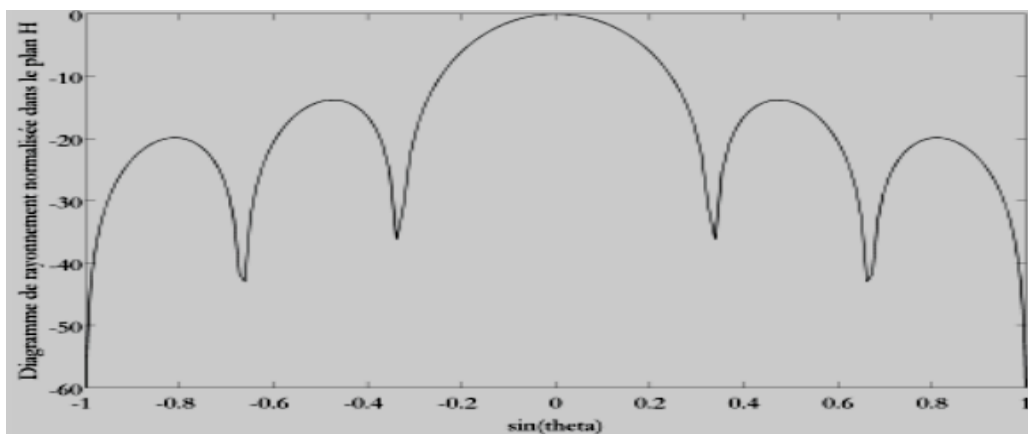


Figure 2.9 : Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB.

Dans les plans E et H, respectivement. La valeur du maximum est de 0 dB, obtenu dans la direction du maximum qui correspond à de l'axe de l'antenne.

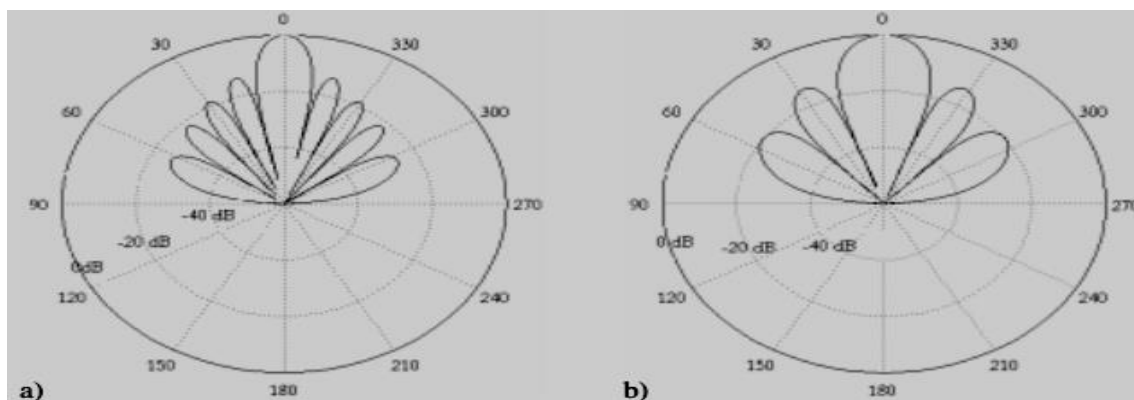


Figure 2.10 : a) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en coordonnées polaires, en fonction de u , en dB.

b) Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H en coordonnées polaires, en fonction de u , en dB.

Le lobe principal est défini entre les deux minima de chaque côté du maximum. Des maxima secondaires apparaissent de chaque côté. Ils constituent les lobes secondaires [7].

2.4.7. Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture (beamwidth) caractérise la largeur du lobe principal. L'angle d'ouverture à 3 dB $2\theta_3$ représente la portion de l'espace dans lequel la majeure partie de la puissance est rayonnée. Il s'agit de l'angle entre les 2 directions autour du lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal.

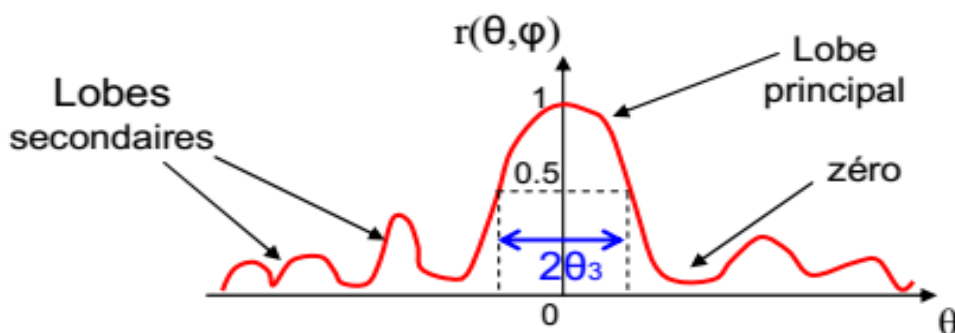


Figure 2.11 : Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture.

D'autres grandeurs sont utilisées pour caractériser l'ouverture d'une antenne et sa capacité à focaliser la puissance rayonnée dans une direction donnée. On trouve l'angle entre la direction de rayonnement maximale et le premier zéro. Pour caractériser la direction verticale du lobe principale, on utilise l'angle d'élévation. En pratique, cet angle doit être ajusté à toute installation d'antenne en lui ajoutant un *tilt*. Celui-ci peut être contrôlé mécaniquement (ajustement à l'installation de l'angle que fait l'antenne avec la verticale) ou électriquement (par le contrôle de phase des excitations de chaque élément rayonnant de l'antenne [12]).

2.4.8. Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée [13].

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_R} \quad (2.12)$$

$P(\theta, \varphi)$: La puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, φ) .

P_R : La puissance totale rayonnée.

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope [14].

2.4.9. Gain

La puissance rayonnée par une antenne varie généralement selon la direction considérée. Le gain d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport de la puissance rayonnée dans cette direction $P(\theta, \varphi)$ à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation et il est exprimé par (2.13) [13] [14].

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \quad (2.13)$$

P_A : La puissance d'alimentation d'une antenne.

La relation entre le gain et la directivité d'une antenne est donnée par l'équation suivante [14].

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (2.14)$$

η : Le rendement.

2.4.10. Rendement

Soit P_A la puissance d'alimentation d'une antenne. Cette puissance est transformée en une puissance rayonnée P_R . Dans le sens de l'émission, la puissance rayonnée est inférieure à la puissance d'alimentation [15] [16]. L'antenne est un transformateur imparfait. Il y a des pertes lors de la transformation d'énergie, comme dans tout système. L'efficacité de l'antenne est définie par :

$$\eta = \frac{P_R}{P_A} \quad (2.15)$$

Elle permet de mesurer le taux de transformation. C'est un rendement au sens thermodynamique du terme : $\eta \leq 1$

Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. En comparant les équations 2.12-13, on voit que le rendement relie le gain et la directivité [4] :

$$P_R = \eta \cdot P_A \Rightarrow G = \eta \cdot D \quad (2.16)$$

2.4.11. Facteur de qualité

D'un point de vue électrique, une antenne peut être vue comme un circuit résonant RLC. La bande passante BW (bande passante à 3 dB de la valeur du champ) est liée au facteur de qualité Q du circuit RLC à la fréquence de résonance f_{res} . Le facteur de qualité représente la quantité de résistance présente lors de la résonance (pour un circuit résonant série comme le montre l'équation (2.17)).

$$Q = \frac{f_{res}}{BW} \Rightarrow \frac{1}{Q} = \frac{R_{ant}}{2\pi f_{res} L_{ant}} \quad (2.17)$$

Une antenne avec un fort facteur de qualité rayonne très efficacement à la fréquence de rayonnement sur une bande de fréquence étroite, ce qui peut limiter les interférences hors bande. Cependant, si la bande passante est trop étroite, tout signal émis ou reçu près des bornes de la bande de fréquence de fonctionnement sera atténué. Une antenne avec un faible facteur de qualité est considérée comme large

bande si la fréquence supérieure f_2 est au moins égale à environ deux fois la fréquence inférieure f_1 [4].

2.4.12. Polarisation

La polarisation est un paramètre très important dans la caractérisation d'une antenne [6], elle est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique. La polarisation est en général décrite par une ellipse. La polarisation linéaire et la polarisation circulaire sont deux cas spéciaux de polarisation elliptique. La polarisation initiale d'une onde radio est déterminée par l'antenne. Avec la polarisation linéaire, le vecteur de champ électrique reste tout le temps dans le même plan. Le champ électrique peut laisser l'antenne dans une orientation verticale, une orientation horizontale ou dans un angle entre les deux. Le rayonnement verticalement polarisé est légèrement moins affecté par des réflexions dans le chemin de transmission et l'angle de rayonnement plus bas. Les antennes omnidirectionnelles ont toujours une polarisation verticale. Avec la polarisation horizontale, de telles réflexions causent des variations dans la force du signal reçu. Les antennes horizontales sont moins sensibles aux interférences causées par les humains, car celles-ci sont généralement polarisées verticalement [8] [1].

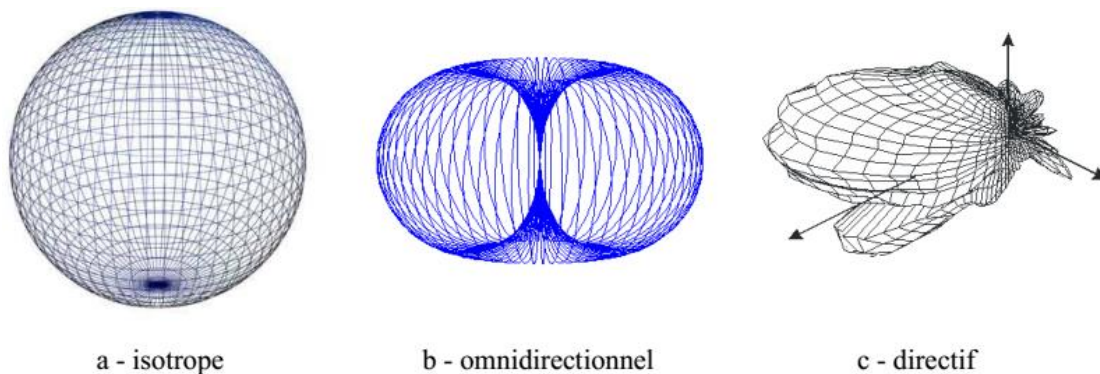


Figure 2.12: Exemples de diagramme de rayonnement d'antenne.

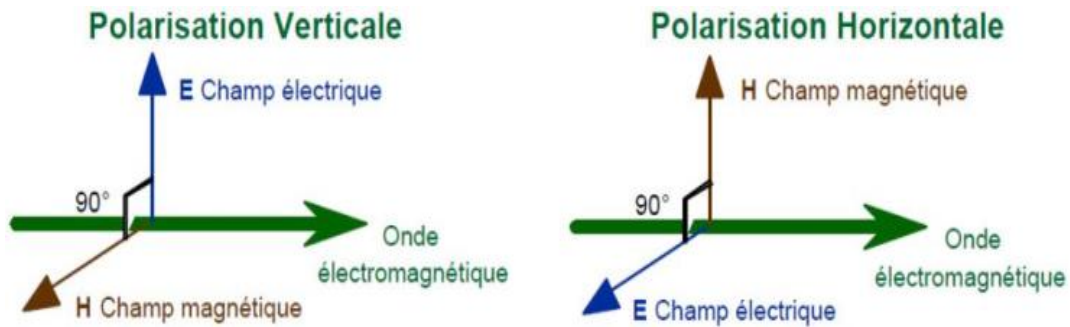


Figure 2.13: Représentation de la polarisation verticale et horizontale [8].

2.4.13. Température de bruit

En télécommunication, la puissance d'un signal reçu n'est pas suffisant pour en déduire la qualité du signal ou le risque d'erreur binaire s'il s'agit d'un signal numérique. En effet, il est nécessaire de connaître le rapport signal à bruit. Le niveau de bruit fixe le seuil de réception. Bien que le récepteur introduise une quantité non négligeable de bruit (pris en compte au travers du facteur de bruit ou noise figure), nous ignorerons son effet dans ce cours et nous nous limiterons au bruit disponible en sortie de l'antenne.

Dans un récepteur, l'antenne constitue la source de bruit placé sur son entrée. Ce bruit peut provenir des interférences électromagnétiques, notamment si elles existent sur la bande de fonctionnement de l'antenne. Mais bien que les antennes ne soient pas large bande, elles restent capables de coupler une part non négligeable des signaux hors bande. Considérons le cas où il n'y a pas d'interférences. Le bruit proviendra des pertes de l'antenne et du rayonnement émis par l'environnement. Le bruit dépend du diagramme de rayonnement de l'antenne, de la direction d'où provient le bruit et de l'état du milieu environnant.

On définit la puissance de bruit d'une antenne P_N par la relation suivante.

$$P_N = KT_{ant}B \quad (2.18)$$

Où k est la constante de Boltzmann ($k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$), B la bande de fréquence considérée et T_{ant} la température de bruit de l'antenne. La température de bruit de l'antenne est donc un facteur de proportionnalité qui caractérise le bruit issu de l'environnement et capté par l'antenne. Elle dépend de la température des objets se trouvant dans le diagramme de rayonnement de l'antenne. La figure ci dessous donne les températures équivalentes des milieux pointés par une antenne.

Corps	Température de bruit
Terre, eau	290K
Antenne terrestre	190K
Antenne télécom spatiale	20 K

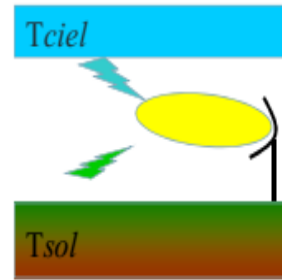


Figure 2.14 : Température équivalente de bruit.

La température de bruit d'une antenne terrestre peut donc être divisée en deux : la contribution du ciel, qui présente une température basse et variant avec l'état du ciel, et celle de la Terre dont la température de bruit est proche de sa température ambiante. La température de bruit de l'antenne est donnée par l'équation suivante [12] :

$$T_{ant} = \frac{T_{Terre}}{4\pi} \iint_{Terre} G(\theta, \varphi) d\Omega + \frac{1}{4\pi} \iint_{Terre} T_{Ciel}(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) d\Omega \quad (2.19)$$

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes attachés à définir ce qu'était une antenne, le rôle d'une antenne, ensuite nous avons également présenté leurs principaux paramètres caractéristiques tels que l'impédance d'entrée, résistance de rayonnement, la fréquence de résonance et la bande passante ainsi que la directivité, le gain, le rendement et le facteur de qualité. Nous avons conclu ce chapitre par la température de bruit.

Références bibliographiques

- [1] Z. Bachir, Modélisation d'une antenne micro ruban compacte, Master académique, Université Echahid Hamma Lakhdar-El oued. 2015.
- [2] Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, 2005, John Wiley & Sons, INC.
- [3] A. Kamil, Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz), grade du Maître ès sciences (M.Sc), Université du Québec, 2011.
- [4] A.BENOMAR, Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications, Docteur de l'Université de Tlemcen et Docteur de l'Université de Limoges, 2015.
- [5] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design: Wiley-Interscience, 2005.
- [6] DREINA Emmanuel, Conception, optimisation et intégration RF d'un système d'antennes miniatures multi capteurs utilisant la diversité en vue d'augmenter les performances radio d'un terminal mobile 4G, Docteur de l'Université de Grenoble délivré par l'Institut polytechnique de Grenoble, 2010.
- [7] Odile Picon et coll; "Les antennes Théorie, conception et applications"; DUNOD, Paris, 2009, ISBN 978-2-10-054245-1.
- [8] Belainine Fayçal Abderahmen, Salmi Mohamed Arezki;" Etude de la miniaturisation des antennes par repliement – Application pour la conception d'une antenne 2.4 GHz "; Mémoire de Master en Système Télécommunications, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2013-2014.
- [9] Dominic Grenier, Antenne et propagation radio, Université Laval Québec, Canada G1V 0A6, Hiver 2017.
- [10] Sophie Vergerio, Recherche des caractéristiques optimales d'antennes multi-capteurs pour les systèmes MIMO, Docteur de l'Université de Provence, 2007.
- [11] Benabadji Selma, Lallam Chafika; Conception et modélisation d'une antenne microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile; Mémoire présenté pour obtenir le diplôme de Master en Télécommunications, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2012.

Chapitre 2 : Les paramètres caractéristiques d'une antenne

- [12] Alexandre Boyer, Antennes, Support de cours Enonce de travaux dirigés, Institut National des sciences Appliquées de Toulouse.
- [13] P. F. Combes, Circuits Passifs, Propagation, Antennes, Micro-ondes Tome 2, Dunod, 1997.
- [14] C. Hamid, Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique, Maitrise en Ingénierie, Université de Québec à Chicoutimi, Mai 2012.
- [15] J.D. Kraus, Antennas, Mc Graw-Hill book company, New York, USA, 1950.
- [16] J.R. James, P.S. Hall, C. Wood, Microstrip antenna theory and design, Peter Peregrinus Ltd, pp. 103-109, New York, USA, 1981.

Chapitre III : Résultats et discussion

3.1. Introduction

Les bandes de fréquences ouvertes pour les usages Wifi sont les bandes de fréquence mobiles 2.4GHz (2400-2483.5) MHz et 5GHz (5150-5875) MHz. Ces bandes de fréquences sont disponibles en émission et en diffusion point à point ou point à multi point.

Notre antenne est conçue pour couvrir toute la bande Wifi 5 GHz. Elle est réalisée et simulée avec le simulateur CST (Computer Simulation Technology). Elle est alimentée par une ligne microstrip 50Ω .

La phase de conception est passée par trois étapes. En premier lieu, une antenne de type conventionnelle (plan de masse au dessous du substrat) a été réalisée. Ensuite, un plan de masse (de type coplanaire) est placé au même plan que l'élément rayonnant, pour augmenter la bande passante. A la fin, un réflecteur est composé d'un nouveau substrat et d'un plan de masse est placé à une distance h_0 au dessous du premier substrat. Cette dernière structure a été retenue à cause de ses performances qui sont relativement meilleures que celles des deux premières structures.

3.2. Résultats

3.2.1. Antenne conventionnelle

La figure 3.1 ci-dessous explicitent de près la structure de l'antenne patch simulée. La visualisation 3D permet de bien cerner les différents composants, à savoir, l'antenne patch, la ligne d'alimentation, le port d'excitation, le substrat diélectrique.

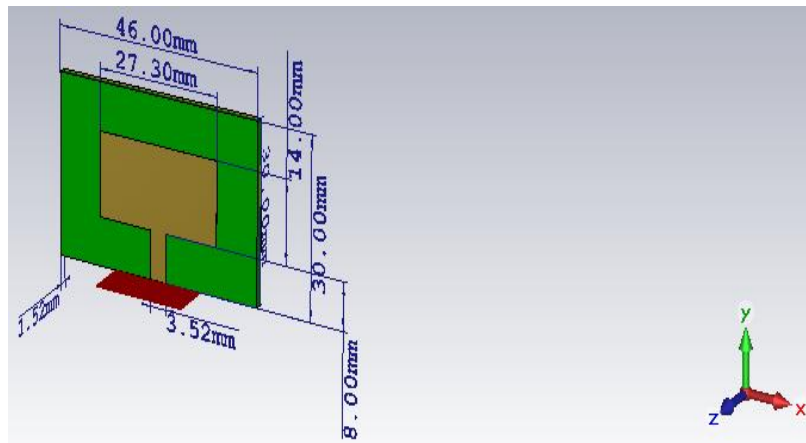


Figure 3.1 : Antenne microbande rectangulaire, alimenté par feed-line de dimension $W \times L = 3.518\text{mm} \times 24\text{mm}$, la dimension de patch est $W_p \times L_p = 27.3\text{mm} \times 14\text{mm}$, l'épaisseur de substrat $h = 1.524\text{mm}$ son matériau est Rogers RO4003C, de constant diélectrique $\epsilon_r = 3.38$, les dimensions de substrat et le plan de masse est $W_s \times L_s = 46\text{mm} \times 30\text{mm}$.

3.2.1.1. Coefficient de réflexion

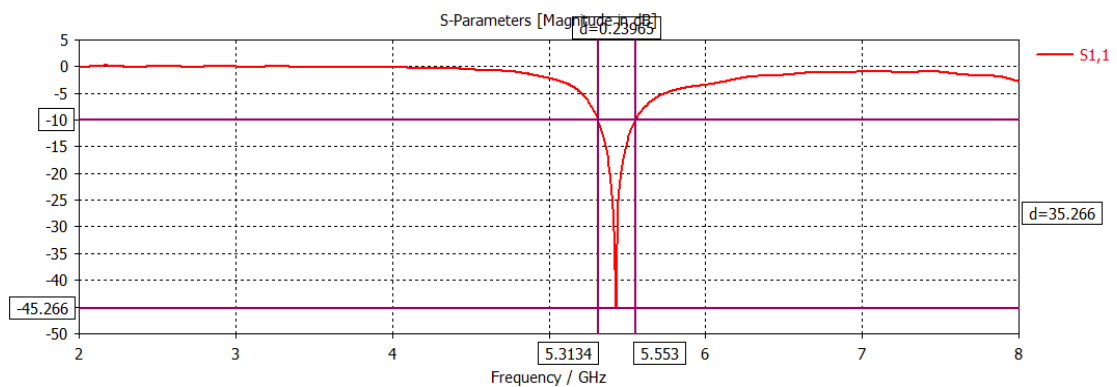


Figure 3.2 : S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence

3.2.1.2. Taux d'onde stationnaire (VSWR)

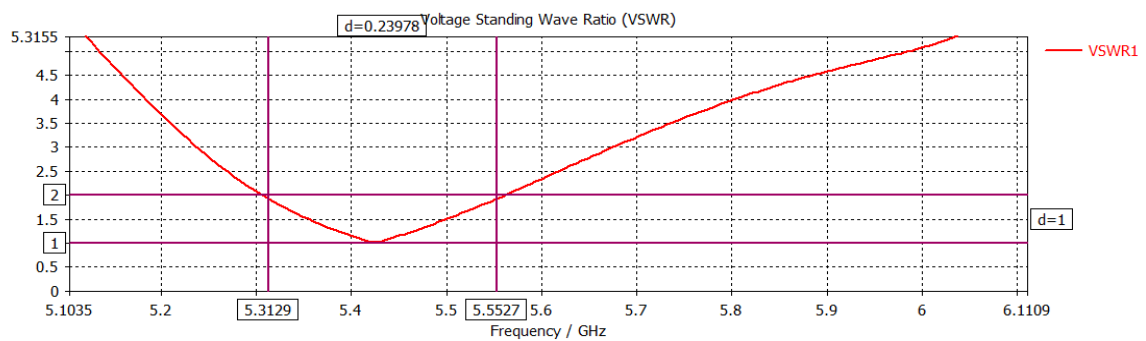


Figure 3.3 : VSWR en fonction de la fréquence

Les figures 3.2 et 3.3 montrent les courbes respectives du coefficient de réflexion et du taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

3.2.1.3. Diagramme de rayonnement

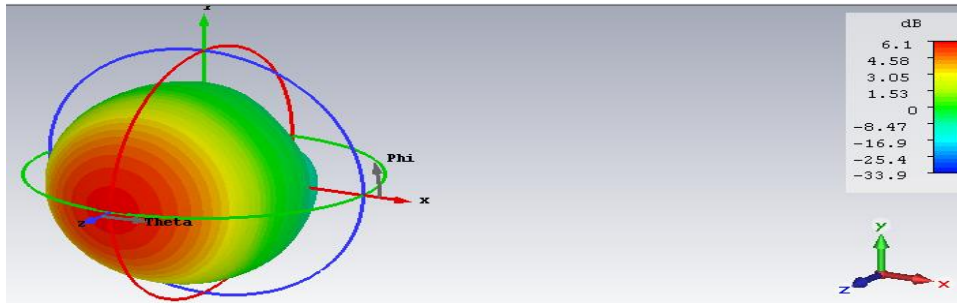


Figure 3.4 : Diagramme de rayonnement en 3D

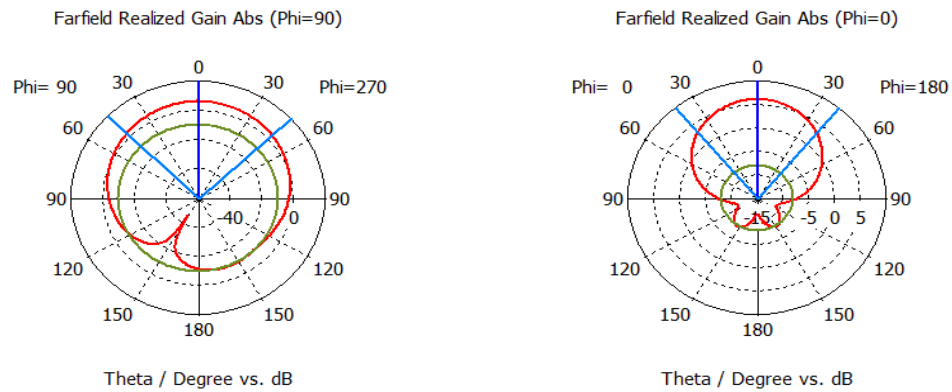


Figure 3.5: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$ et 0°).

3.2.1.4. Gain

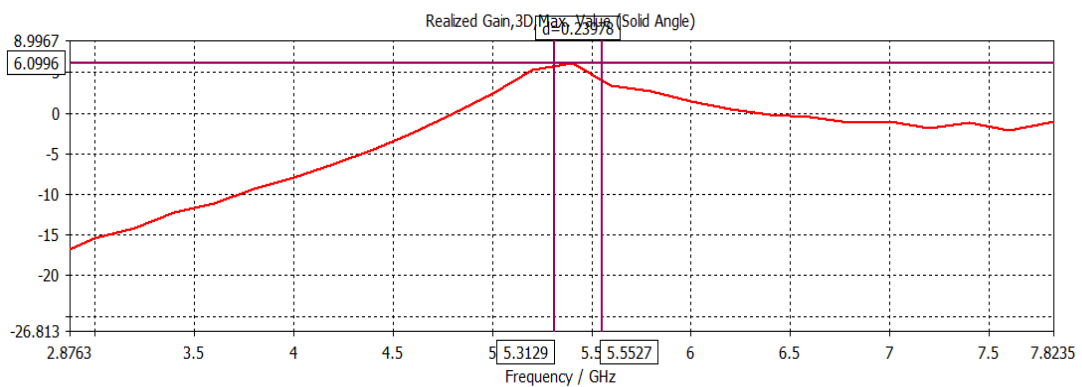


Figure 3.6 : Gain en fonction de la fréquence.

3.2.1.5. Directivité

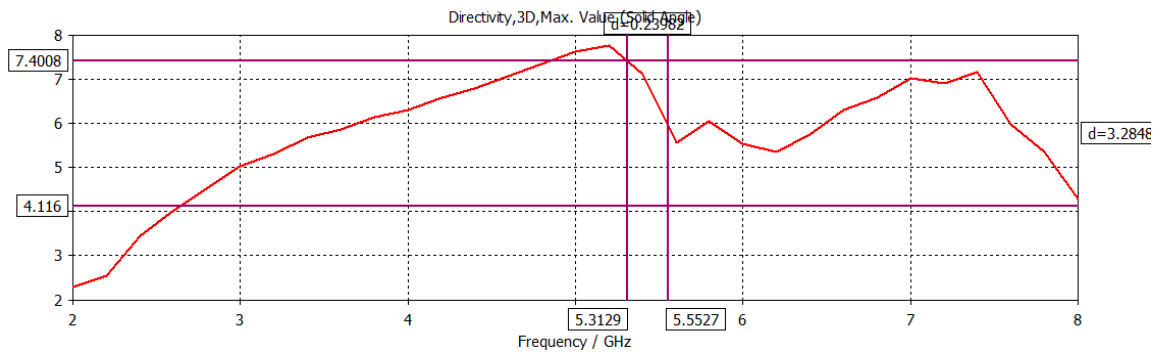


Figure 3.7 Directivité en fonction de la fréquence.

3.2.1.6. Courant de surface

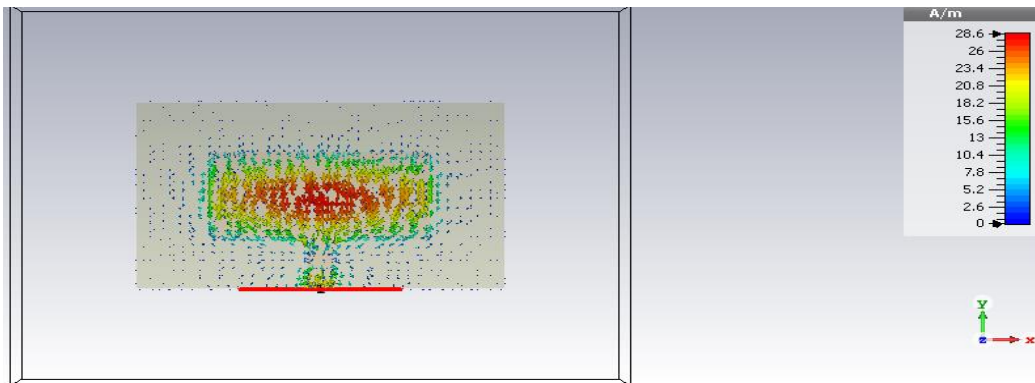


Figure 3.8 : Courant de surface.

Les résultats de l'antenne conventionnelle sont résumés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne conventionnelle.

Caractéristiques	Antenne conventionnelle
Dimension (mm)	46 x 30
S_{11} (min) à 5.42GHz	-45.266
BP (%)	4.412
VSWR (min) à 5.42GHz	1.01
Gain (dB) à 5.4GHz	6.0995
Directivité (dBi) à 5.3GHz	7.40
F/B ratio (dBi)	21.42
Rendement (%)	74.12
Facteur de qualité	22.63
Courant de surface (A/m)	28.6

- ✓ L'antenne conventionnelle a des résultats acceptables tels que la directivité et un bon rapport avant-arrière. Cette antenne rayonne dans la direction de l'axe z, avec un angle d'ouverture 88.6° , mais elle présente une bande passante étroite.
- ✓ Comme cette antenne a des grandes dimensions, le courant de surface est relativement faible. Lorsque la bande passante est étroite, le facteur de qualité augmente.

Comme cette antenne présente une bande passante étroite, on souhaite réaliser un autre type d'antenne afin d'améliorer cet inconvénient.

3.2.2. Antenne rectangulaire coplanaire (CPW)

Les structures coplanaires présentent une bande passante relativement large par rapport aux structures simples [1-3]. La figure 3.9 présente la structure d'une antenne de type coplanaire qui un plan de masse placé au même plan que l'élément rayonnant, ce dernier contient un slot (fente) utilisé pour réduire les courant de surface.

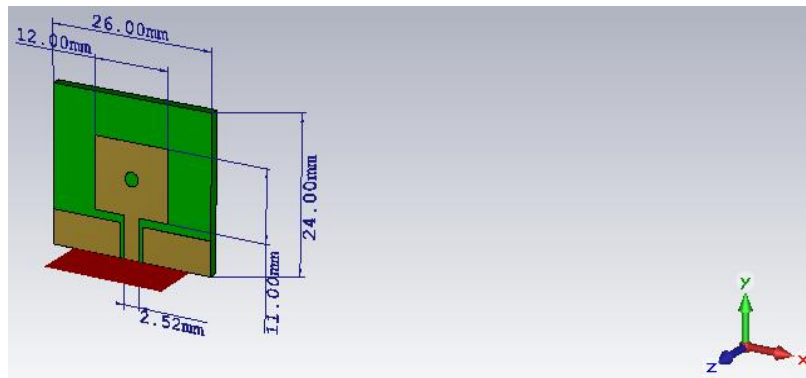


Figure 3.9 : Antenne microbande rectangulaire coplanaire, alimenté par feed-line de dimension $W \times L = 2.523\text{mm} \times 24\text{mm}$, la dimension de patch est $W_p \times L_p = 12\text{mm} \times 11\text{mm}$, l'épaisseur de substrat $h = 1.524\text{mm}$ son matériau est Rogers RO4003C, de constant diélectrique $\epsilon_r = 3.38$, les dimensions de ce substrat est $W_s \times L_s = 26\text{mm} \times 24\text{mm}$ et le gap ($g=0.2$), l'encoche $r = 1.1\text{mm}$.

3.2.2.1. Coefficient de réflexion

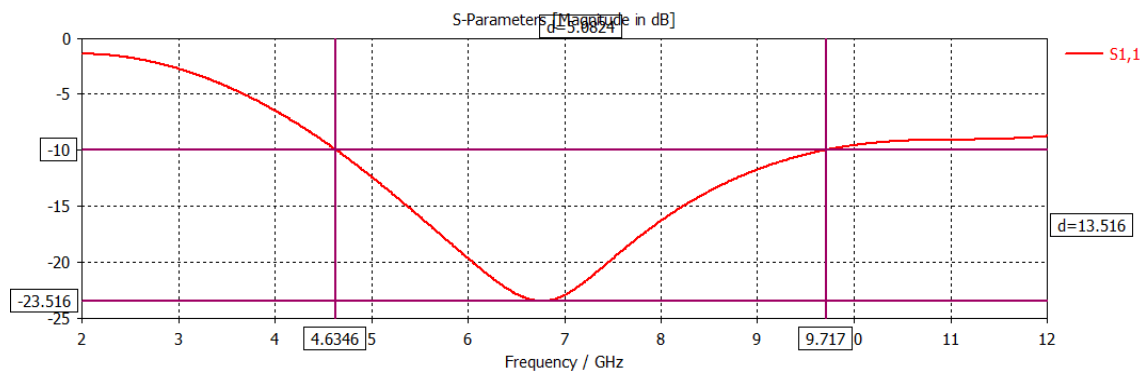


Figure 3.10 : S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence

3.2.2.2. Taux d'onde stationnaire (VSWR)

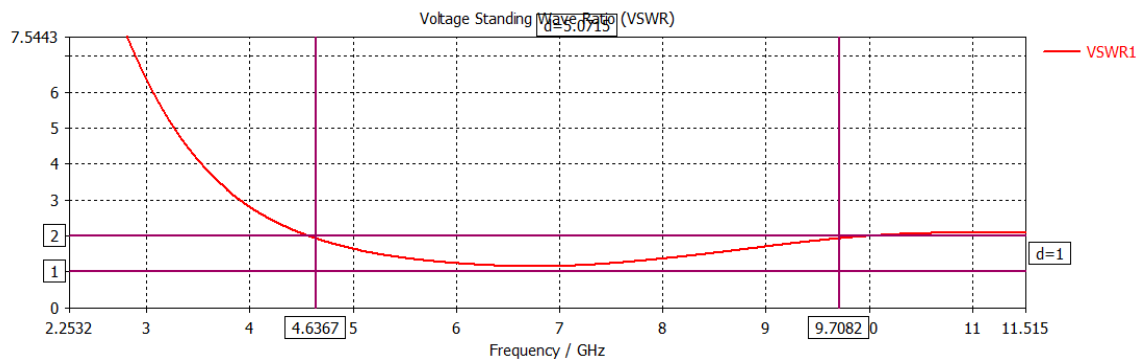


Figure 3.11 : VSWR en fonction de la fréquence

3.2.2.3. Diagramme de rayonnement

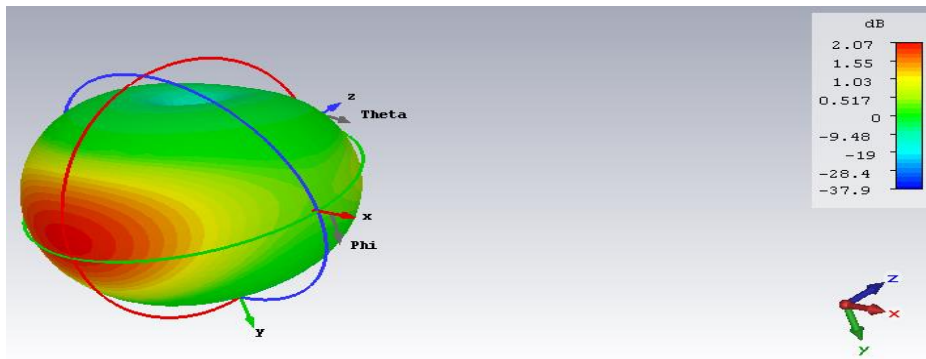


Figure 3.12 : Diagramme de rayonnement en 3D

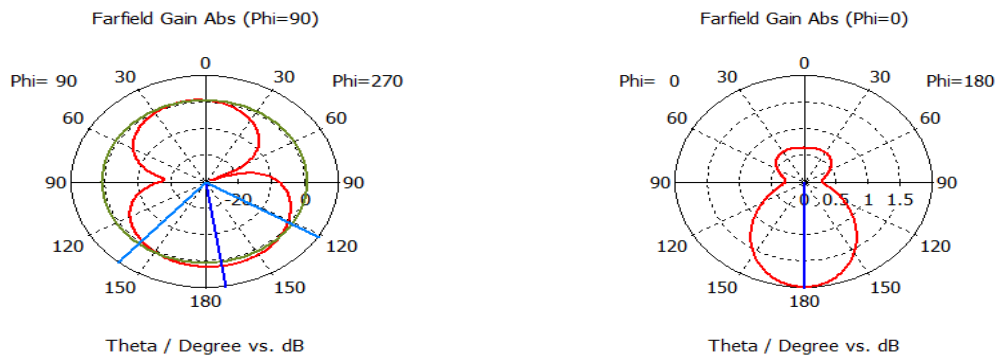


Figure 3.13: Diagramme de rayonnement (phi=90° et 0°).

On voit que la direction de rayonnement de l'antenne selon l'axe -z.

3.2.2.4. Gain

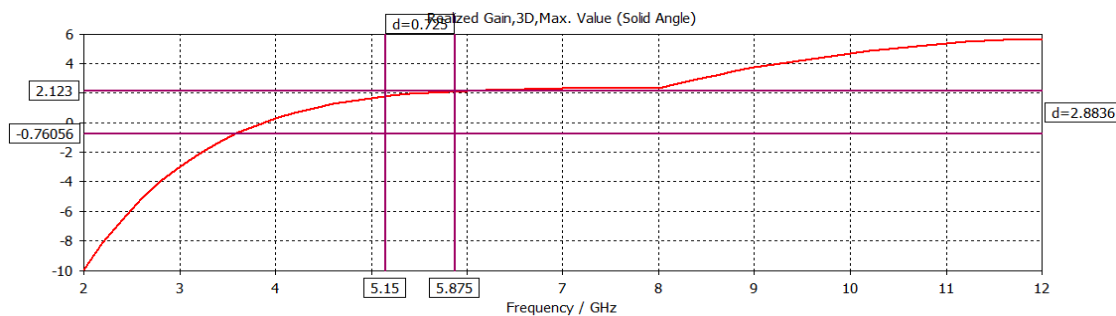


Figure 3.14 : Gain en fonction de la fréquence

3.2.2.5. Directivité

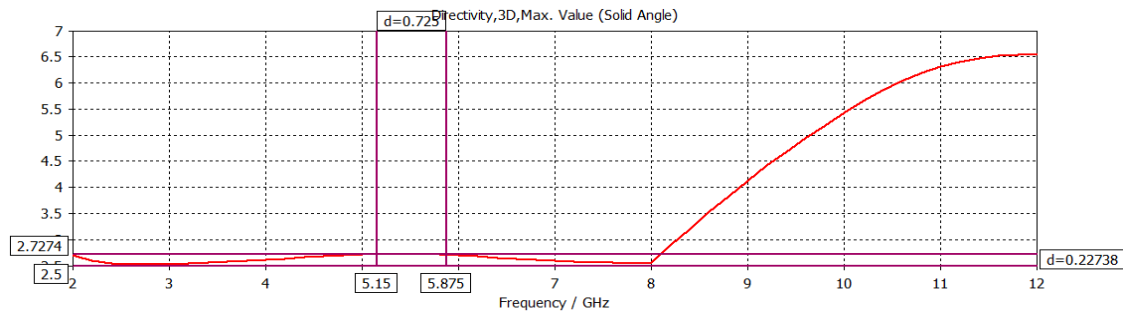


Figure 3.15 : Directivité en fonction de la fréquence

3.2.2.6. Courant de surface

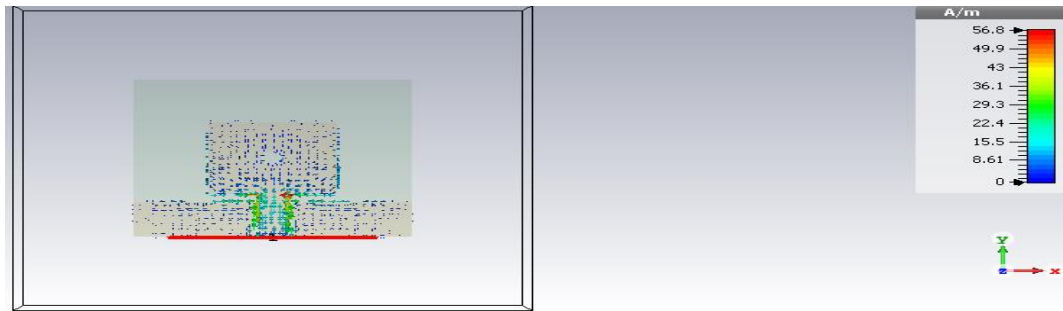


Figure 3.16 : Courant de surface.

Les résultats de l'antenne coplanaire (CPW) sont résumés dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne coplanaire.

Caractéristiques	Antenne coplanaire (CPW)
Dimension (mm)	26 x 24
$S_{11}(\text{min})$ à 6.74GHz	-23.509
BP (%)	70.746
VSWR (min) à 6.74GHz	1.14
Gain (dB) à 5.4GHz	2.12
Directivité (dBi) à 5.4GHz	2.72
F/B ratio (dBi)	4.02
Rendement (%)	87.09
Facteur de qualité	1.33
Courant de surface (A/m)	56.8

A partir du tableau 3.2, on constate que les paramètres de cette antenne ont été améliorés considérablement par rapport à la première structure.

- ✓ On observe une augmentation importante au niveau de la bande passante,
- ✓ Une réduction des dimensions de l'antenne.
- ✓ Un rendement relativement meilleur.
- ✓ L'inconvénient est que le gain et la directivité sont très faibles.

3.2.3. Antenne rectangulaire coplanaire (CPW) avec réflecteur

La figure 3.17 montre une structure d'antenne coplanaire dont on a ajouté un réflecteur composé d'un nouveau substrat et d'un plan de masse placé à une distance h_0 au dessous de premier substrat.

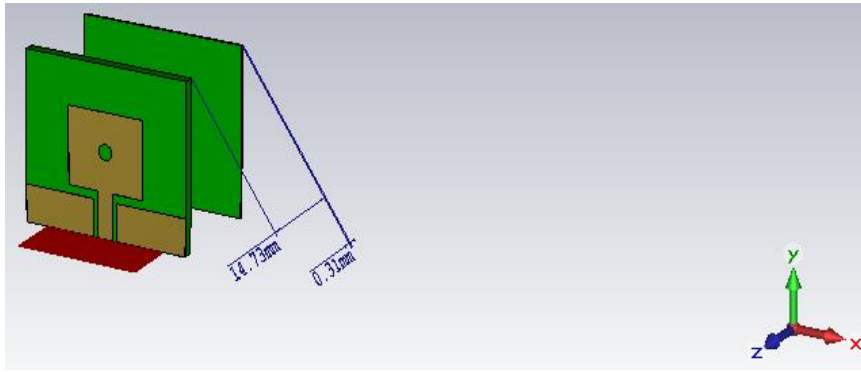


Figure 3.17 : Antenne microbande rectangulaire coplanaire avec réflecteur, alimenté par feed-line de dimension $W \times L = 2.523\text{mm} \times 24\text{mm}$, la dimension de patch est $W_p \times L_p = 12\text{mm} \times 11\text{mm}$, l'épaisseur de substrat $h = 1.524\text{mm}$ et l'épaisseur de réflecteur $h_1 = 0.305\text{mm}$ son matériau est Rogers RO4003C, de constant diélectrique $\epsilon_r=3.38$, les dimensions de ce substrat et le réflecteur est $W_s \times L_s = 26\text{mm} \times 24\text{mm}$ et le gap ($g = 0.2$), le gap d'air $h_0 = 14.73\text{mm}$ et l'encoche $r = 1.1\text{mm}$.

3.2.3.1 Coefficient de réflexion

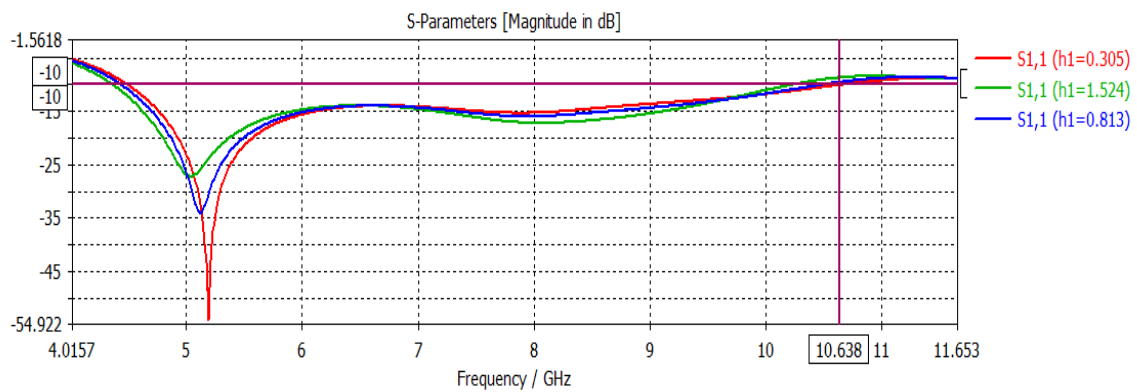


Figure 3.18 : S_{11} en (dB) en fonction de la fréquence pour différentes valeurs d'épaisseur h_1

Les courbes de la figure 3.18 montrent que la valeur optimale de h_1 est égale à 0.305mm, qui donne un coefficient de réflexion $S_{11} = -53.995$ dB avec un décalage de la bande passante de 404MHz vers les hautes fréquences.

3.2.3.2 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

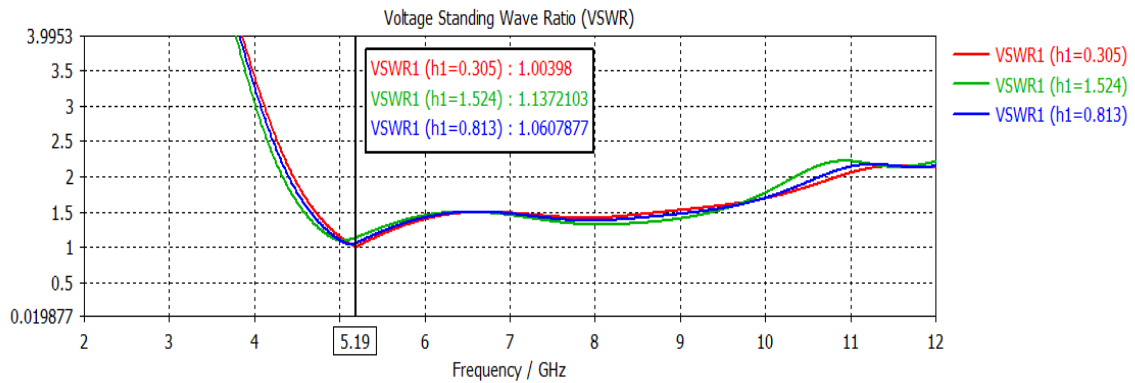


Figure 3.19 : VSWR pour différentes valeurs de h_1 .

3.2.3.3 Diagramme de rayonnement

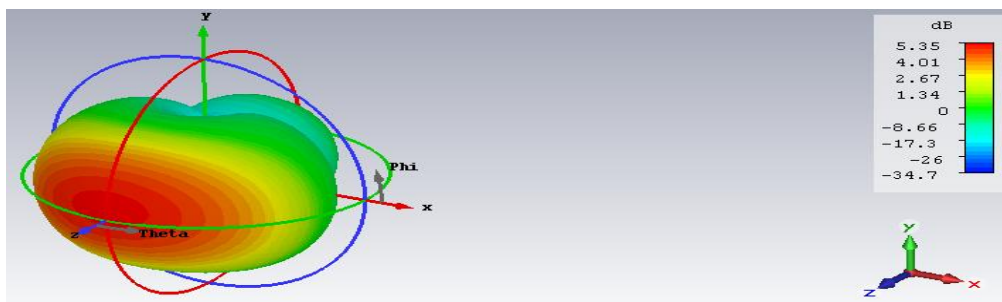


Figure 3.20 : Diagramme de rayonnement en (3D).

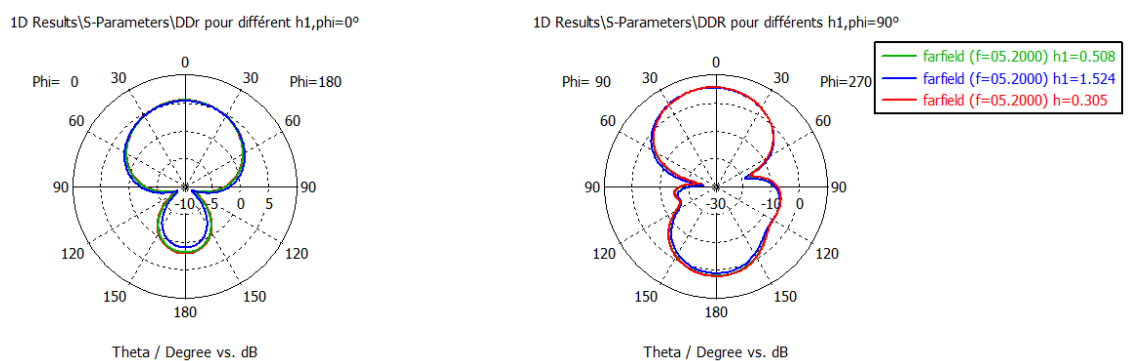


Figure 3.21: Diagramme de rayonnement ($\phi=90^\circ$ et 0°) pour différentes valeurs de h_1 .

La figure 3.21 montre les diagrammes de rayonnement des trois valeurs d'épaisseur de substrat de réflecteur en cordonné polar avec les deux coupe d'angle $\phi=90^\circ$ et

0°. Nous avons choisis la valeur de $h_1=0.305\text{mm}$ puisqu'elle a le meilleur gain et directivité.

3.2.3.4. Gain

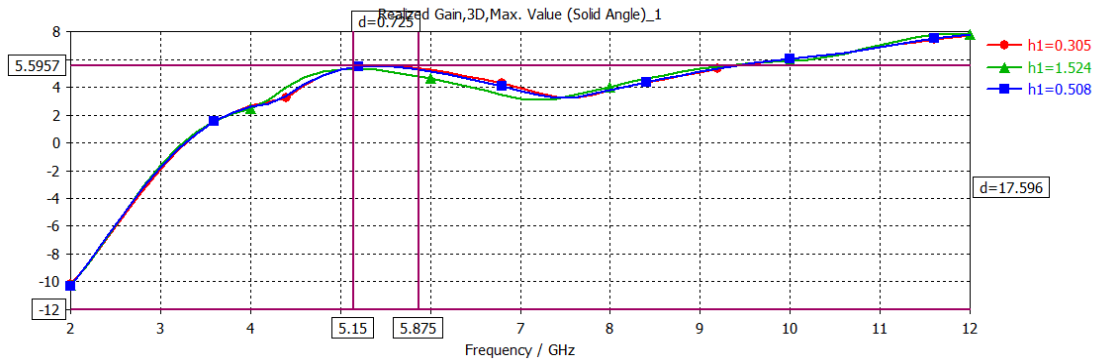


Figure 3.22 : Gain pour différentes valeurs de h_1

3.2.3.5. Directivité

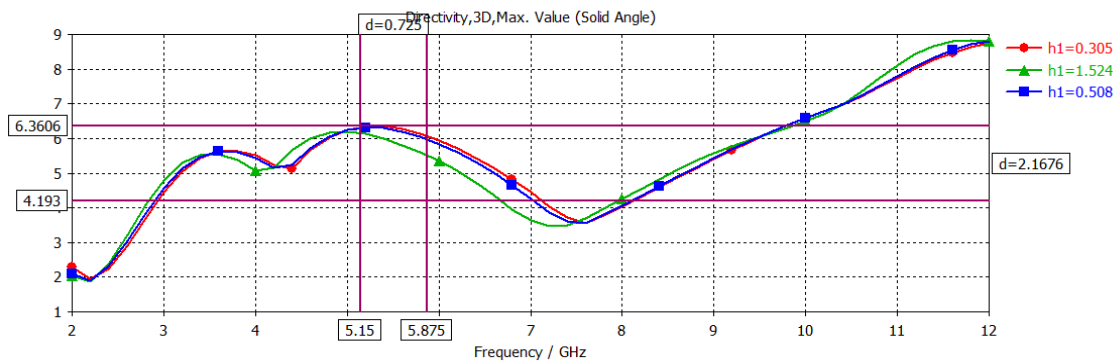


Figure 3.23 : Directivité pour différentes valeurs de h_1

3.2.3.6. Courant de surface

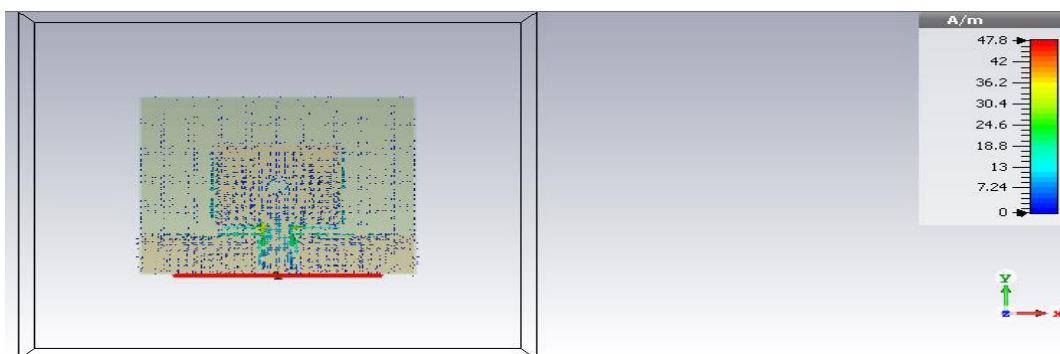


Figure 3.24 : Courant de surface.

Les résultats de l'antenne coplanaire (CPW) + réflecteur sont résumés dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Les paramètres caractéristiques de l'antenne coplanaire (CPW) avec réflecteur,

Caractéristiques	Antenne coplanaire + réflecteur
Dimension (mm)	26 x 24
S_{11} (min)	-53.955
BP (%)	82.07
VSWR (min)	1.01
Gain (dB) à 5.4GHz	5.59
Directivité (dBi) à 5.4GHz	6.36
F/B ratio (dBi)	9.26
Rendement (%)	83.94
Facteur de qualité	0.84
Courant de surface (A/m)	47.8

Les valeurs du tableau 3.3 montrent l'effet du réflecteur sur l'amélioration des performances de l'antenne.

3.2.4. Tableaux de comparaison

Le tableau 3.4 résume les résultats de simulations des trois structures d'antennes.

Tableau 3.4 : Tableau Comparatif entre les trois différentes antennes.

Caractéristiques	Antennes		
	Antenne conventionnelle	Antenne coplanaire (CPW)	Antenne coplanaire + réflecteur
Dimension (mm)	46 x 30	26 x 24	26 x 24
S_{11} (min)	-45.266	-23.509	-53.955
BP (%)	4.412	70.746	82.26
VSWR (min)	1.01	1.14	1.01
Gain (dB)	6.0995	2.12	5.59
Directivité (dBi)	7.40	2.72	6.36
F/B ratio (°)	21.42	4.02	9.26
Angle d'ouverture(°)	78.8	98	68.1
Rendement (%)	74.12	87.09	83.94
Facteur de qualité	22.63	1.33	0.84
Courant de surface (A/m)	28.6	56.8	47.8

Une comparaison a été faite sur les trois types d'antenne, On a vu que les performance ont été améliorés durant le changement de chaque structure, le plan de masse de type coplanaire a l'effet d'élargir la bande passante et aussi le réflecteur a augmenté la bande et le gain surtout de façon considérable.

3.3. Discussion et interprétation des résultats

- ✓ Les résultats de l'antenne conventionnelle présente une bande passante étroite et un gain satisfaisant par rapport aux autres antennes.
- ✓ On a trouvé que l'antenne coplanaire (CPW) de dimension 26mm x 24mm a des résultats acceptables mais mieux que l'antenne précédente.

- ✓ D'après le tableau 3.4 l'antenne coplanaire avec réflecteur donne un bon résultat, le coefficient de réflexion $S_{11} = -53.955\text{dB}$ à une fréquence de résonance proche de la fréquence souhaitée qui est de l'ordre de 5GHz. La bande passante à -10 dB est de 6.20GHz autour de la fréquence de résonance (5.2 GHz) dans l'intervalle 4.46 GHz 10.66 GHz.
- ✓ Le diagramme de rayonnement de cette antenne permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal ($\phi=0^\circ$) ou dans le plan vertical ($\phi=90^\circ$) incluant le lobe le plus important. En observant le diagramme de rayonnement 3D, on peut constater que la plupart du rayonnement va dans la direction z avec un angle d'ouverture de 68.1° . Cette antenne est directive, il a un gain important maximum 5.59dB.
- ✓ Il atteint un meilleur rendement égal à 83.94%.
- ✓ Selon le tableau 3.4, on remarque que la structure d'antenne avec réflecteur a été retenue à cause de ses performances qui sont relativement meilleures que celles des deux premières structures car le réflecteur affecte considérablement sur la bande passante et le gain.

3.4. Tableau de comparaison avec [4]

Dans le tableau 3.5, les résultats sont comparés avec ceux de la référence [4]. Nous constatons qu'il y a une amélioration du gain de 1.727 dB, une amélioration du rendement de 26.18% et une amélioration de la bande passante de 47.48%.

Tableau 3.5 : Comparaison de nos résultats calculé avec de celle de la référence [4].

Antennes	Caractéristiques		
	Rendement (%)	BP (%)	Gain Max(dB)
Notre antenne	83.94	82.26	5.59
[4]	56.23	34.78	3.783

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'effet d'un plan de masse de type coplanaire et même le réflecteur sur les performances de l'antenne. On a aussi traité

les résultats numériques sous formes des courbes et des tableaux, pour pouvoir les comparer avec les travaux déjà faits et disponibles.

Les résultats de l'antenne coplanaire avec réflecteur peuvent être utilisés pour travailler dans la bande wifi 5GHz. Ses dimensions permettent de l'intégrer dans un modem (Modulateur Démodulateur) wifi.

Références bibliographiques

- [1] M. Naser-Moghadasi, R. A. Sadeghzadeh, T. Sedghi, T. Aribi, and B. S. Virdee, Member, IEEE, ‘‘UWB CPW-Fed Fractal Patch Antenna With Band-Notched Function Employing Folded T-Shaped Element’’, IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 12, 2013.
- [2] C.-J. Wang, and Y.-C. Lin, ‘‘New CPW-fed monopole antennas with both linear and circular polarisation,’’ IEE Microw. Antennas Propag., vol. 2, no. 5, pp. 466-472, 2008.
- [3] Y.B. Chen, X.F. Liu, Y.C. Jiao, and F.S. Zhang, ‘‘CPW-fed broadband circularly polarized square slot antenna,’’ Electron Letters vol. 42, no. 19, pp. 1074–1075, Sept. 2006.
- [4] Md. Ashikur Rahman, Moinul Hossain, Ibnul Sanjid Iqbal, Syed Sobhan, ‘‘ Design and Performance Analysis of A Dual-band Microstrip Patch Antenna for Mobile WiMAX, WLAN, Wi-Fi and Bluetooth Applications’’, 3rd international conference on informatics, electronics & vision 2014.

Conclusion générale

Conclusion générale

Une antenne microbande a été proposée. La conception et la simulation avec le simulateur CST, s'est déroulée en trois phases. En premier lieu, une antenne conventionnelle a été réalisée. Mais cette antenne souffre d'une bande passante étroite, ce qui ne lui permet pas de couvrir toute la bande WiFi 5150-5875 MHz, malgré qu'elle possède un gain, une directivité et un rendement acceptables.

Pour élargir la bande passante, nous avons opté pour une antenne avec une alimentation coplanaire (CPW). Cette technique est largement utilisée pour la conception d'antennes larges bandes ou ultra larges bandes (ULB). Dans ce contexte, une antenne CPW, possédant des dimensions réduites par rapport à l'antenne conventionnelle, a été réalisée. Les résultats obtenus peuvent satisfaire les besoins en bande passante, mais le gain et la directivité sont devenus faibles par rapport à l'antenne conventionnelle.

Finalement, un plan réflecteur est placé à une distance au-dessous du substrat de l'antenne. Ce réflecteur est composé d'un nouveau substrat, d'épaisseur faible par rapport à celui de l'antenne, et d'un plan de masse. Les résultats obtenus, après simulation, exhibent un gain, une directivité et un rendement importants par rapport à celui du CPW. La bande passante obtenue, lui permet d'avoir d'autres utilisations dans le spectre radio fréquence.

Cette antenne présente une large bande passante avec un gain et un rendement relativement importants. Elle peut fonctionner dans la bande WiFi 5 GHz. Ses dimensions lui permettent d'être intégrée dans un modem WiFi.

Résumé

Ce mémoire fait l'objet de la conception et la simulation d'une antenne micro bande fonctionnant dans la bande WiFi 5 GHz. Ces opérations ont été faites en trois étapes.

En premier lieu, une antenne de type conventionnel a été réalisée. Cette antenne ne satisfait pas les besoins en bande passante pour couvrir toute la bande.

En deuxième lieu, une antenne de type coplanaire (CPW) a été réalisée pour améliorer la bande passante. Le gain et la directivité restent relativement faibles vis-à-vis de l'antenne précédente.

Finalement, un réflecteur a été placé à une certaine distance au-dessous de l'antenne, pour favoriser une réflexion selon l'axe de z positif, dans le but d'améliorer le gain et la directivité de l'antenne.

Mots clés : Antenne microbande, bande passante, gain, bande WiFi 5GHz.

Abstract

In this paper, a patch antenna is designed to work in the WiFi band 5 GHz. The antenna is designed and simulated using the CST Software. This process has been done in three steps.

First, a conventional antenna has been realized. This antenna suffers from a low bandwidth (BW) and cannot cover the entire band.

Second, a CPW type antenna has been realized to improve the BW. The gain and the directivity remain low, compared to those of the conventional antenna.

Finally, a reflector is placed at a certain distance under the antenna, in order to enhance the reflexion along the positif z axis, which in its turn, enhances the gain and the directivity of the antenna.

Key words : Microstrip antenna, bandwidth, gain, 5GHz WiFi band.

ملخص

موضوع هذه المذكرة هو تصميم ومحاكاة هوائي الشريط الصغير الذي يعمل في النطاق واي فاي 5 غيغاهرتز. ومررت هذا العمل على ثلاث مراحل.

أولاً، تم تنفيذ نوع تقليدي من الهوائي. هذا الهوائي لا يلبي متطلبات عرض النطاق الترددي لتغطيته بأكمله.

ثانياً، تم إجراء هوائي من نوع متحد المستوى (CPW) لتحسين عرض النطاق الترددي. مع ذلك يبقى الكسب والاتجاهية منخفضان نسبياً وجهاً لوجه مع الهوائي السابق.

وأخيراً، تم وضع العاكس على بعد مسافة من الهوائي، لتعزيز الانعكاس على طول محور ض الإيجابي، من أجل تحسين الأرباح وتوجه الهوائي.

الكلمات الدالة : هوائي دقيق، عرض النطاق الترددي، الكسب، نطاق لاسلكي 5 غيغاهرتز.