

# Modélisation des Antennes Imprimées Multicouches de type Bowtie par des Circuits Equivalents pour l'Applications RADAR

S. DIDOUH, M. ABRI et F. T. BENDIMERAD

Laboratoire de Télécommunications, Département de Génie Electrique

Faculté de Technologie, Université Abou-Bekr Belkaïd -Tlemcen

BP 230, Pôle Chetouane, 13000 Tlemcen- Algérie

**Résumé**— Cet article présente la modélisation des antennes imprimées multicouches par le modèle de la ligne de transmission pour la conception des antennes à éléments rayonnants de type nœud-papillon (bow-tie). En premier lieu une antenne seule multicouches sera conçue fonctionnant à la fréquence 8 GHz pour l'application radar. En second lieu nous appliquons ce modèle au réseau d'antennes nœud-papillon multicouches alimentée en arborescence.

Le modèle développé permet de tenir compte de l'ensemble des caractéristiques électriques et géométrique des antennes et leurs systèmes d'adaptation. Afin de valider le modèle proposé, les résultats de simulation obtenus seront comparés à ceux obtenus par la méthode des moments. Les résultats de simulations seront présentés et discutés

**Mots clés**- Antennes imprimées multicouches, modèles de la ligne de transmission, élément de type nœud-papillon, modélisation, réseau d'antennes.

## I. INTRODUCTION

Le marché des télécommunications connaît un essor considérable depuis les récents progrès réalisés dans le domaine des antennes. Les utilisateurs ont tendance à favoriser l'utilisation de dispositifs légers, de faible coût et peu encombrants. Les antennes imprimées permettent largement de répondre à ces exigences [1, 2, 3,4]. Leurs structures souples et parfois conformables permettent de les intégrer facilement dans divers systèmes de télécommunications. Permis ces antennes, les antennes nœud-papillon qui sont définie comme une représentation

bidimensionnelle des antennes coniques. La géométrie est constituée de deux triangles symétriques par rapport au point d'alimentation [5]. Ce type d'antenne est largement utilisé dans nombreuses applications telle que Les systèmes radars [6,7], Les applications sans fil et Les stations mobiles [8,9]

Les inconvénients majeurs de ce type d'antennes résident dans leur faible bande passante (quelques pourcentages), gain restreint, faible puissance admissible (quelques dizaines de Watts). L'association en réseaux de plusieurs antennes imprimées permet de compenser ces limitations et l'amélioration de leurs performances.

Depuis l'avènement de ce type d'antennes, plusieurs méthodes d'analyse ont été utilisées, Les plus connus sont le modèle de la cavité, de l'équation intégrale et de la ligne de transmission. Nous présentons ici le modèle le plus simple, celui de la ligne de transmission

Dans le cadre de cet article, nous cherchons à concevoir et à utiliser des modèles électriques équivalents simples et précis d'antenne multicouches de type bow-tie alimentée par couplage a travers une ouverture ainsi qu'au réseau, qui permettent de tenir compte de l'ensemble des caractéristiques géométriques, électriques et technologiques des éléments rayonnants et de leurs systèmes d'adaptation.

## II. Modélisation de l'antenne Noud-papillon multicouches par le modèle de la ligne de transmission

Ce modèle représente l'antenne imprimée par deux fentes rayonnantes de largeur  $W$  et de hauteur  $h$  séparées par une ligne de transmission de longueur  $L$ .

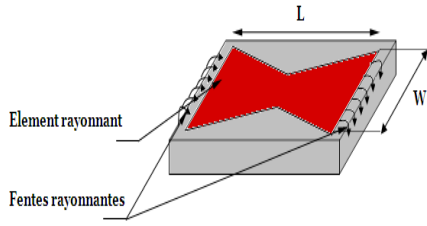


Figure 1. Principe du modèle de la ligne de transmission

Le tableau suivant illustre les équations utilisées pour déterminer les dimensions de l'antenne [10, 11,12]:

Paramètre d'antenne	Equation	légende
largeur efficace de l'antenne (W)	$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$	$f_r$ : fréquence de résonance $\epsilon_r$ : permittivité relative du substrat $h$ : l'épaisseur du substrat
constante diélectrique ( $\epsilon_{eff}$ )	$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{h}{W} \right]^{-1}$	
l'extension de la longueur ( $\Delta L$ )	$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)}$	
longueur réelle (L)	$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff} \mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L$	
longueur effective ( $L_{eff}$ )	$L_{eff} = L + 2\Delta L$	

Le circuit équivalent de l'antenne nœud papillon multicouches alimentée par couplage à travers une ouverture est représenté sur la figure 2.

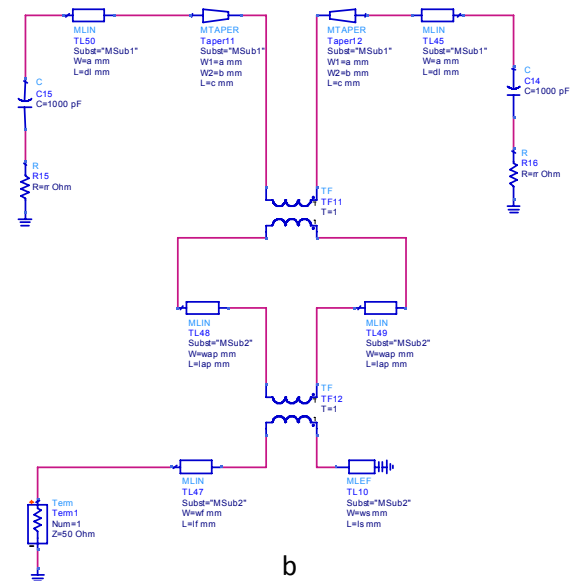
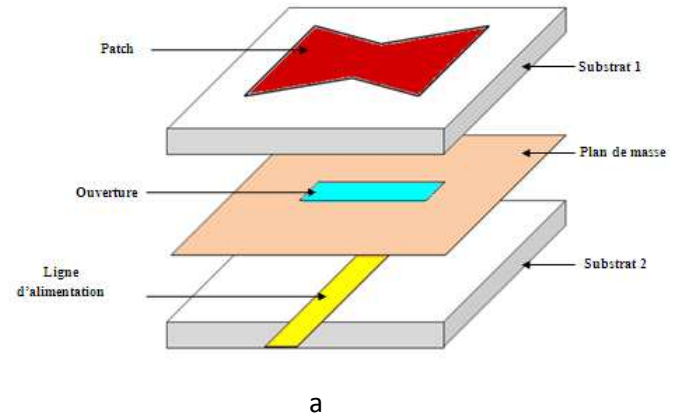


Figure 2. Configuration d'une structure multicouche alimentée à travers une ouverture avec son circuit équivalent

Dans cette technique et comme la représente la figure 2, l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation sont complètement séparés par le plan de masse. Le couplage électromagnétique entre le pavé rayonnant et la ligne microruban s'effectue grâce à une fente rectangulaire, électriquement petite effectuée dans le plan de masse.

Les couplages électromagnétiques entre les couches sont représentés par des transformateurs [13]. Deux transformateurs sont utilisés pour modéliser le couplage entre l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation.

Le rapport de transformateur  $n_1$  est donné par :

$$n_1 = \frac{L_a}{L}$$

Et le seconde transformateur  $n_2$  peut être approchée par l'expression [14]:

$$n_2 = \frac{L_a}{\sqrt{W}h}$$

La capacité est donnée par l'expression suivante [15] :

$$C(\varepsilon) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{h \gamma_n \gamma_m} + \frac{1}{2\gamma_n} \left( \frac{\varepsilon_{\text{reff}}(\varepsilon_r, h, W)}{c_0 Z(\varepsilon_r = 1, h, W)} \right) - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{h}$$

$$\gamma_j = \begin{cases} 1, & j = 0 \\ 2, & j \neq 0 \end{cases}$$

### III. RESULTATS DE SIMULATION

Dans ce papier, nous allons traiter l'antenne de type nœud-papillon alimentées par couplage à travers une ouverture fonctionnant à la fréquence 8 GHz pour l'application RADAR, ainsi le cas d'un réseau en comparant les résultats obtenues par le modèle de la ligne de transmission (MLT) avec celui de la méthode des moments MoM.

L'objectif est d'obtenir les caractéristiques radioélectriques de l'antenne : coefficient de réflexion, l'impédance d'entrée, la phase et le rapport d'onde stationnaire.

Les dimensions et les paramètres de l'antenne nœud-papillon multicouche fonctionnant à la fréquence 8 GHz sont illustrés sur le tableau suivant :

Eléments d'antenne	Dimensions/Paramètres
Elément rayonnant	Longueur $L=21,6$ mm Largeur $W_1=14,1$ mm $W_2=10,29$ mm
Substrat 1	permittivité relative $\varepsilon_1=2.54$ . hauteur $h_1=1.6$ mm. tangente de perte $tg\delta_1=0.019$ .
Ouverture (fente)	Longueur $L_{ap}=16$ mm. Largeur $W_{ap}=0,4$ mm.
Ligne d'alimentation	Longueur $L_f=10$ mm. Largeur $W_f=3.81$ mm. Longueur de stub $L_s=3.5$ mm. Impédance caractéristique $Z_c=50 \Omega$

### III.1. Antenne nœud-papillon fonctionnant à la fréquence 8 GHz

Tout d'abord, nous allons étudier le cas d'une antenne seule pour l'application RADAR, puis le cas d'un réseau. Cette antenne a été optimisée pour fonctionner à la fréquence de 8 GHz, Au début cette antenne a été simulée par le modèle de la ligne de transmission ensuite par la méthode des moments. Le masque de l'antenne est représenté sur la figure ci-dessous.

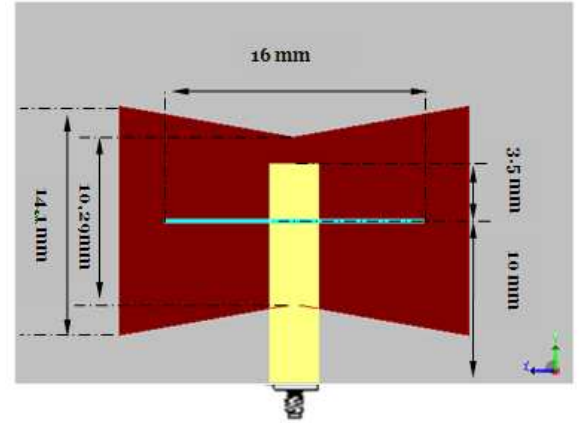


Figure 3. Masque de l'antenne nœud-papillon multicouche fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

Le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne nœud-papillon multicouche fonctionnant à la fréquence 8 GHz ainsi obtenu est présenté sur la figure 4.

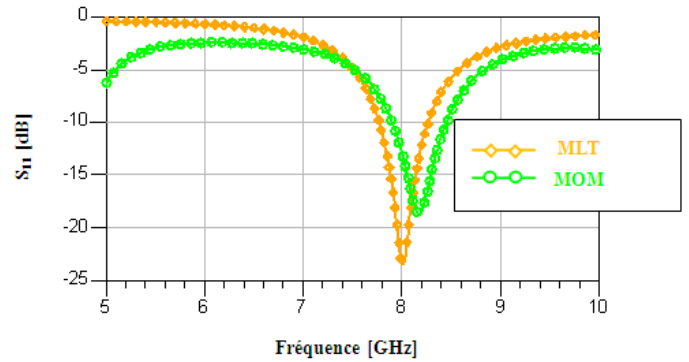
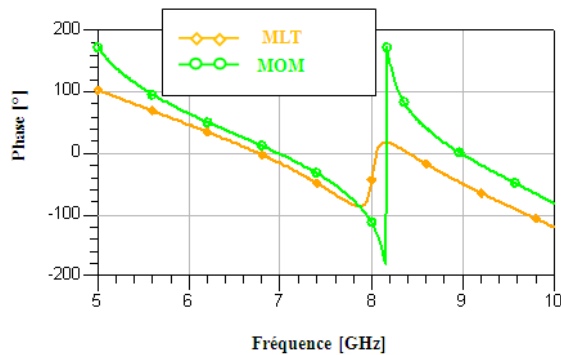


Figure 4. Coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne nœud-papillon multicouche fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

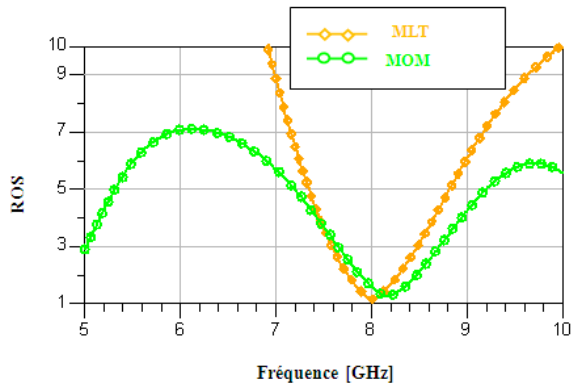
D'après la figure 4, on constate que la résonance de l'antenne est correctement prédite à 8 GHz avec un pic de -23,46 dB par le modèle de la ligne de transmission, on observe un léger décalage au niveau de fréquence de résonance par la méthode des moments avec un pic de -18,71 dB.

Sur la figure 5, on présente la phase réfléchie obtenue par une simulation issue du modèle de la ligne de transmission et la méthode des moments.



**Figure 5.** Phase réfléchie à l'entrée de l'antenne nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

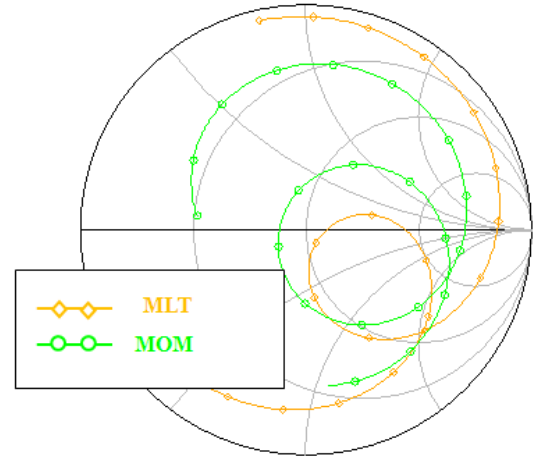
Le rapport d'onde stationnaire à l'entrée de l'antenne nœud-papillon multicouches est présenté sur la figure ci-dessous.



**Figure 6.** R.O.S à l'entrée de l'antenne nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

Selon le résultat montré sur la figure ci-dessous, on observe que le niveau de R.O.S est au voisinage de l'unité pour les deux modèles (modèle de la ligne de transmission et la méthode des moments), ce qui implique la bonne adaptation de l'antenne.

Les lieux d'impédance sont représentés sur la figure 7.



**Figure 7.** Lieux d'impédance d'entrée à l'entrée de l'antenne nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

D'après la figure 7, on remarque que les deux courbes ont presque la même allure, ceci justifie la bonne concordance entre les deux modèles.

### III. 2. Réseau d'antennes alimentées en arborescence

On considère un réseau constituée de six antennes de forme nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz, le réseau est alimentée en arborescence, le circuit d'alimentation possède une entrée et six éléments rayonnants en sortie. La puissance est divisée entre ces éléments.

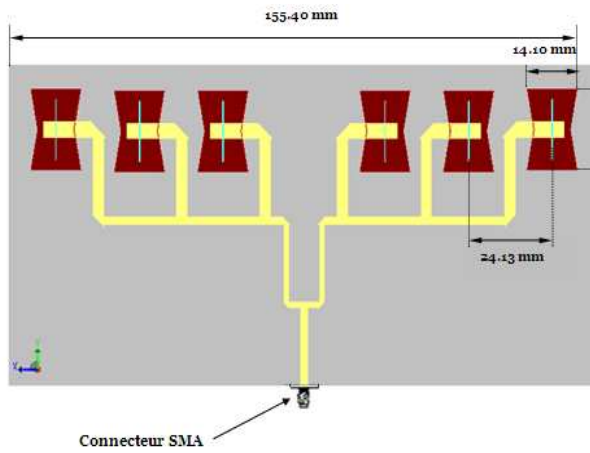
#### Réseau d'antennes fonctionnant à 8GHz

Nous allons essayer de concevoir un réseau constituée de six antennes de forme nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

La simulation se fait par le modèle proposé qui est le modèle de la ligne de transmission et celle de la méthode des moments pour la comparaison. Le réseau est alimenté par un câble coaxial de 50  $\Omega$ . La puissance est distribuée à différentes antennes via un diviseur en arborescence qui possède une entrée et six éléments rayonnants en sortie.

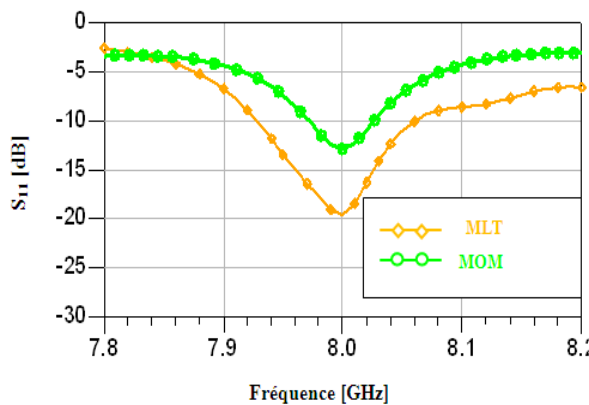
Les éléments rayonnants sont positionnés périodiquement avec un pas  $d=\lambda g/2$  pour éviter le couplage inter-élément

Sur la figure 8, on représente le masque de ce réseau d'antennes ainsi optimisé avec ces dimensions.



**Figure 8.** Masque du réseau d'antennes nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

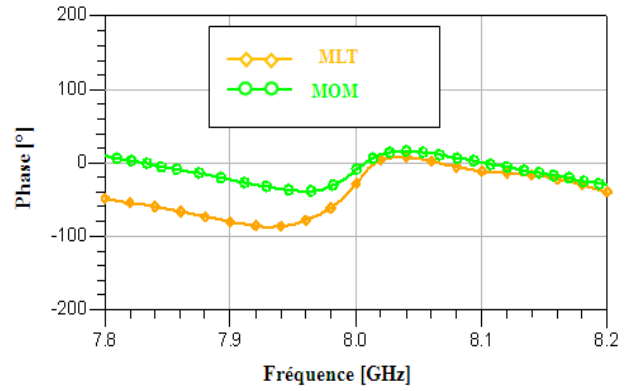
La figure 9, représente la simulation du coefficient de réflexion du réseau d'antennes en fonction de la fréquence.



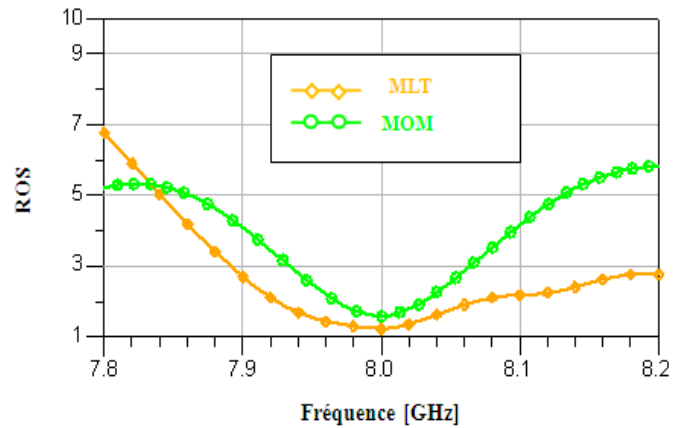
**Figure 9.** Coefficient de réflexion à l'entrée du réseau nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

D'après la figure 9, on constate que la résonance du réseau d'antennes est correctement prédite à 8 GHz par les deux modèles, on a un coefficient de réflexion de -19,60 dB par le modèle de la ligne de transmission et de -12,84 dB par la méthode des moments.

La phase réfléchie à l'entrée du réseau d'antennes est montrée sur la figure 10. On remarque très bien que la phase est nulle par les deux modèles.



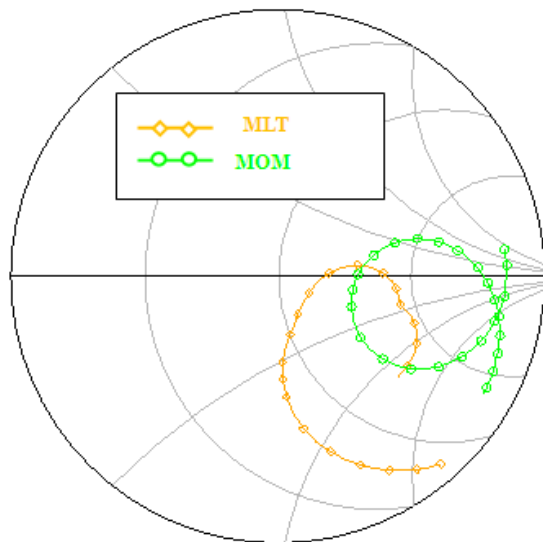
**Figure 10.** Phase réfléchie à l'entrée du réseau d'antennes nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.



**Figure 11.** R.O.S à l'entrée de réseau d'antennes nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

D'après la figure schématisant le rapport d'onde stationnaire obtenu par le modèle de la ligne de transmission et celle de la méthode des moments, nous constatons que les deux rapports sont assez proches de l'unité à la fréquence de résonance.

Les lieux d'impédance d'entrée sont représentés sur la figure 12.



**Figure 12.** Lieux d'impédance d'entrée à l'entrée de réseau d'antennes nœud-papillon multicouches fonctionnant à la fréquence 8 GHz.

#### IV. CONCLUSION

Dans ce papier nous avons présenté les résultats de simulation de l'antenne nœud-papillon alimentée par une fente basée sur une technologie multicouches.

Des bons résultats de simulations ont été obtenus en comparant le modèle de la ligne de transmission à celui de la méthode des moments. Les résultats obtenus s'avèrent très intéressants et montrent l'intérêt de l'utilisation des antennes nœud-papillon multicouches pour l'application RADAR et d'autres applications de télécommunications.

#### REFERENCES

- [1] D. M. Pozar, «*Microstrip Antennas*», Proc. IEEE, vol. 80, 1992, pp 79 -91.
- [2] J. F. Zurcher & F. E. Gardiol, «*Broadband Patch Antenna*», Artech House, Boston, London
- [3] D. Bidou, «Contribution à l'Etude d'Antennes Fort Gain, Applications dans le Domaine Millimétrique», Thèse de doctorat université de Limoges
- [4] L. Freytag, « Conception, Réalisation et Caractérisation d'Antennes Pour Stations de Base des Réseaux de Télécommunication Sans Fil », Thèse de doctorat université de Limoges, Novembre 2004.
- [5] A. Kazemipour<sup>1</sup>, X. Begaud, « Modèle filaire d'une antenne large-bandes bipolarisation de géométrie complexe », 14èmes Journées Nationales Microondes Nantes, France, Mai 2005.
- [6] Uduwawala, D. et al., «A deep parametric study of resistor-loaded bowtie antennas for ground penetrating radar applications using FDTD», *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*, vol. 42, No. 4, pp. 732- 742, Jun. 2004.
- [7] Birch, M. and Palmer K. D., «Optimized bowtie antenna for pulsed low frequency ground-penetrating radar», *Proceeding of SPIE*, vol. 4758, 2002.
- [8] George, J. et al.: «New compact microstrip antenna», *Electron. Lett.*, 1996, **32**, pp. 508-509.
- [9] Y. Lin. and S. Tsai, « “Analysis and design of broadside-coupled striplines-fed bowtie antennas», *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 46, No. 3, pp. 459-460, Mar. 1998
- [10] C.A.Banalis, «*Antenna Theory: Analysis and Design*», John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [11] T. A. Millikgan, «*Modern Antenna Design*», 2<sup>nd</sup> ed. , IEEE Press, John Wiley & Sons inc., 2007.
- [12] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, «*Microstrip Antenna Design Handbook*», Artech House inc., 2001.
- [13] P. J. Soh, m. K. A. Rahim, a. Asrokin and m. Z. A. Abdul aziz , «design, modeling, and performance comparison of feeding techniques for a microstrip patch antenna », *jurnalteknologi*, 47(d) dis. 2007: 103–120, universiti teknologi Malaysia, october 2008.
- [14] 14 Himdi, M., Daniel, J. P., and C. Terret, «Transmission line analysis of aperture-coupled microstrip antenna », *Electronics Letters*, vol.25, no. 18, Aug. 1989, pp. 1229-1230.
- [15] A.FERCHICHI, N.SBOUI and A.GHARSSALLAH, « A Modified Bow Tie Antenna for RFID Application », unité de recherche Circuits et Systèmes d'électroniques Haute Fréquences, Faculté des sciences de Tunis, SETIT 2009.