

Antennes lecteurs RFID à polarisation circulaire pour application robotique

Sami Hebib^{1,2}, Sofiene Bouaziz^{1,2}, Hervé Aubert^{1,2}, Frédéric Lerasle^{1,2}

¹ CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

² Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France
hebib@laas.fr : correspondant principal

Résumé

Dans ce papier, une nouvelle antenne lecteur RFID à polarisation circulaire a été développée pour la chaîne de radiolocalisation du robot Rackham du LAAS-CNRS. Cette antenne (20 cm x 20 cm) permet de couvrir la totalité de bande RFID UHF (860-960 MHz) et présente un gain simulé de 4dBi. Deux exemplaires de cette antenne ont été fabriqués et mesurés. Les tests en radiolocalisation de ces antennes montrent leur conformité aux exigences de l'application robotique considérée.

1. Introduction

La capacité qu'à un robot mobile de suivre une tierce personne dans un lieu public est un point clé pour interagir de manière efficace avec le monde qui l'entoure. Ceci nécessite d'avoir des chaînes de radiolocalisation capables de suivre une personne précise grâce à de nombreux systèmes de capteurs embarqués. Parmi ces systèmes, on peut citer l'utilisation récente de l'identification à base de radiofréquences appelé communément RFID. En effet, les radio-étiquettes (*tags*) RFID sont capables d'émettre un signal contenant leur identifiant unique en réponse à une requête envoyée par un lecteur. Afin de construire un tel système autour du robot Rackham du LAAS-CNRS, nous avons développé une antenne lecteur RFID à polarisation circulaire permettant une intégration aisée sur la surface cylindrique de ce robot. Cette antenne est compatible avec la totalité de la bande RFID UHF (860-960 MHz : 869 MHz pour l'Europe, 915MHz pour les Etats-Unis et 960 MHz pour l'Asie). La solution proposée est constituée de 4 éléments rayonnants en « L inversé » distribués en croix. La polarisation circulaire est obtenue à l'aide d'un circuit d'alimentation intégré (synthèse de la polarisation circulaire). L'antenne et son circuit d'alimentation peuvent être plaqués directement sur la coque extérieure du robot. La simulation de la solution proposée ici montre des diagrammes de rayonnement ouverts (angle d'ouverture (-3dB) de 110° et gain de 4dBi) et une bande passante de l'ordre de 13% centrée sur 900 MHz. Les tests en radiolocalisation confirment les bonnes performances de l'antenne développée.

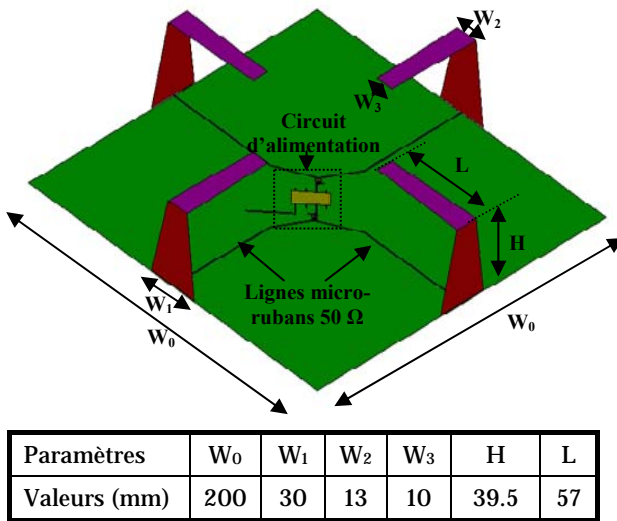
2. Description de l'application et de l'antenne proposée

Il s'agit d'implémenter une chaîne de radiolocalisation en technologie RFID sur le robot Rackham [1] du LAAS-CNRS. La coque métallique de ce robot est de forme cylindrique de 118 cm de hauteur et 52 cm de diamètre. Afin d'avoir une couverture optimale de l'espace à surveiller, huit antennes lecteur RFID seront montées sur cette coque. Ces antennes doivent être à polarisation circulaire et facilement intégrables sur la surface cylindrique du robot. Egalement, elles doivent être adaptées à des étiquettes RFID en bande UHF (860MHz-960MHz). Enfin, un gain minimum de 3dBi est nécessaire afin d'exploiter pleinement la puissance de sortie du module lecteur RFID disponible. Afin de répondre à ces besoins, nous avons proposé une antenne formée de 4 éléments rayonnants en « L inversé » et distribués en croix (voir Fig. 1(a)). Quatre cales en polystyrène ont été utilisées pour maintenir mécaniquement ces éléments rayonnants. Une antenne analogue (mais sans circuit d'alimentation) a été proposée dans [2]. L'antenne occupe une surface de 20cm x 20cm (conformée par la suite) et présente une hauteur de 4 cm. Les autres dimensions de l'antenne sont données par le tableau de la figure 1(a). Les paramètres W_1 , W_2 et W_3 jouent principalement sur l'adaptation et la bande passante de l'antenne. Les paramètres W_0 , L , H permettent de régler le gain de l'antenne, la forme des ses diagrammes de rayonnement et l'isolation entre ses quatre éléments rayonnants. L'excitation de l'antenne est réalisée à l'aide d'un circuit d'alimentation intégré (voir Fig. 1(b)) permettant de synthétiser la polarisation circulaire [3]. Ceci est obtenu en fournissant à l'entrée des 4 éléments rayonnants des signaux d'amplitudes égales et un déphasage entre éléments de 90°. Afin que ce circuit soit compact et peu perturbant du rayonnement de l'antenne, nous avons opté pour sa réalisation en composants commerciaux miniaturisés montés en surface. Ainsi, ce circuit électronique est constitué d'un coupleur 180° (Réf: SCPJ-2-9) et de deux coupleurs 90° (Réf: QCN-12A) commandés du fabricant Mini-Circuits [4]. Deux charges 50Ω miniaturisées (boîtier 0402) ont été utilisées sur les deux ports isolés des coupleurs 90°. Le circuit ainsi formé est réalisé sur un substrat Taconic

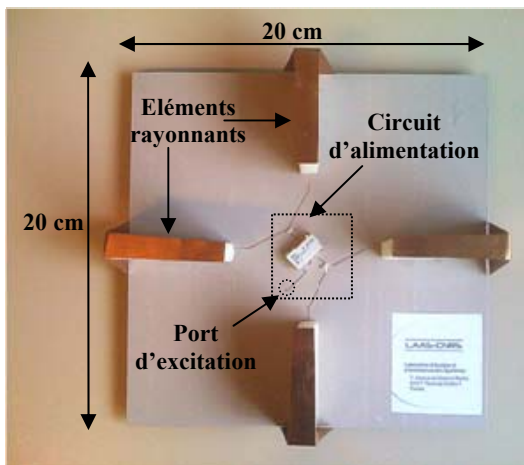
souple d'épaisseur $h=635\mu\text{m}$ ($\epsilon_r=9.5$ et $\tan\delta=8.10^{-4}$) dont la face arrière métallisée sert également comme plan de masse des 4 éléments rayonnants. Des lignes micro-rubans $50\ \Omega$ sont réalisées au dessous des éléments rayonnants [5] pour les relier au circuit d'alimentation situé au milieu de l'antenne. La simulation électromagnétique montre que l'ensemble du circuit d'alimentation et des lignes micro-rubans d'aménée participent très peu au rayonnement de l'antenne.

3. Résultats de simulation

La conception et la simulation électromagnétique de l'antenne proposée ont été réalisées à l'aide de l'outil *IE3D* de *Zeland*. Des techniques originales ont été développées pour obtenir la bande passante voulue (13% de bande) et centrée sur la fréquence de 900 MHz. Les coefficients de réflexion simulés aux quatre entrées de l'antenne sont montrés sur la Figure 2.



(a)



(b)

Figure 1. Antenne lecteur RFID : (a) Model de simulation et ses dimensions ; (b) Photographie de l'antenne réalisée.

A la fréquence de fonctionnement centrale de l'antenne (900MHz) le diagramme de rayonnement (simulé) obtenu est ouvert et symétrique (voir Fig. 3). Un gain maximal de 4dBi est obtenu. Le rayonnement arrière observé est dû à la taille finie du plan de masse. Ce rayonnement sera plus faible après report de l'antenne sur la coque métallique extérieure du robot *Rackham*.

4. Résultats de mesure

4.a. Circuit d'alimentation

Avant de monter les quatre éléments rayonnants en « L inversé », le circuit d'alimentation a été caractérisé tout seul (Figure 4). Les résultats de la mesure des paramètres S de ce circuit sont donnés en amplitude (Figure 5) et en phase (Figure 6). Ils valident la conception et la réalisation de ce circuit (amplitudes voisines sur les 4 ports d'alimentation des éléments rayonnants et alimentation en quadrature de phase dans la bande de fréquence désirée allant de 860MHz à 960MHz). Les éléments rayonnants seront donc alimentés pour rayonner en polarisation circulaire.

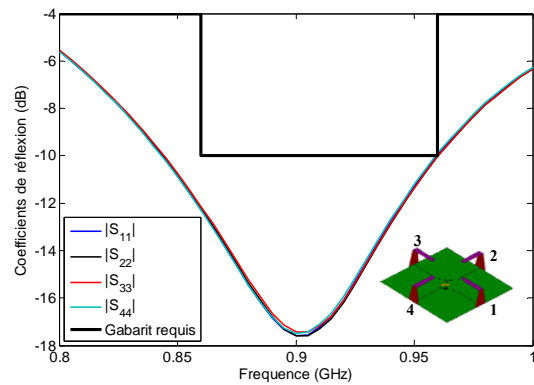


Figure 2. Coefficients de réflexion (simulés)

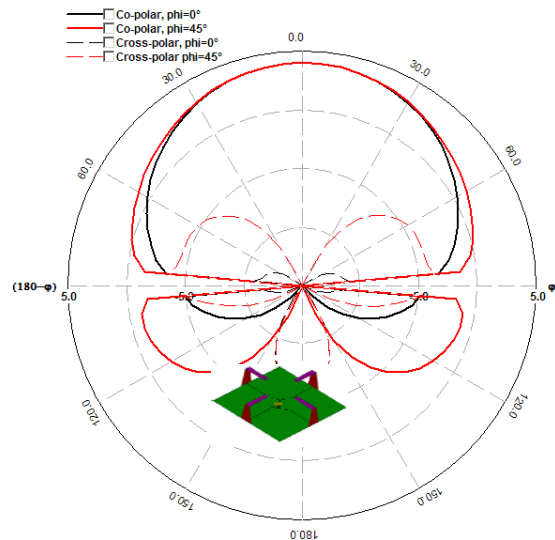


Figure 3. Diagramme de rayonnement (simulé) de l'antenne à 900MHz

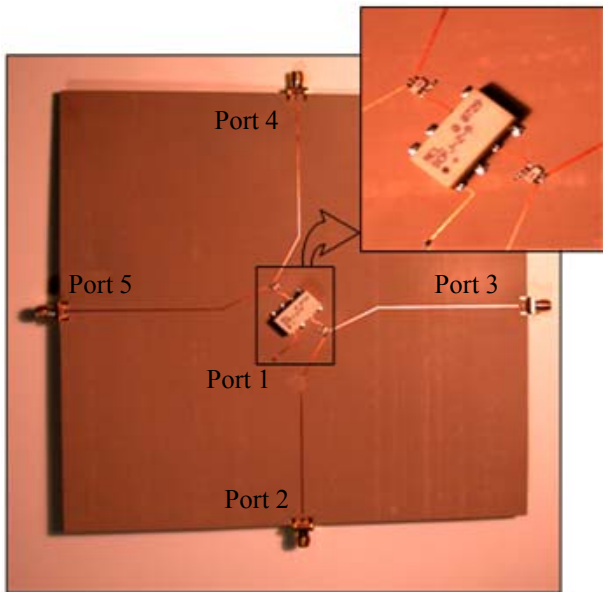


Figure 4. Configuration de test du circuit d'alimentation réalisé sur substrat flexible

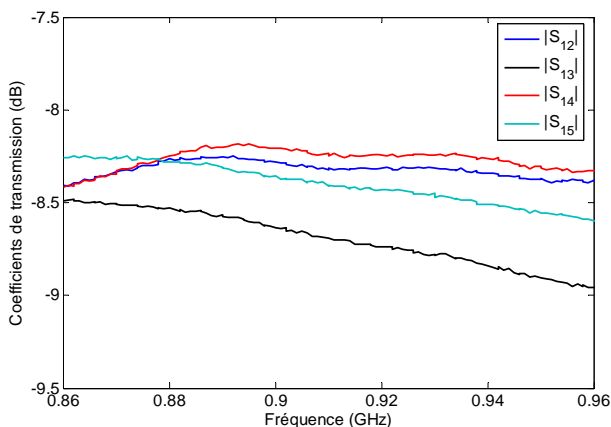


Figure 5. Amplitudes (mesurées) du coefficient de transmission sur les 4 ports du circuit d'alimentation dans la bande passante demandée (moins de 1 dB de différence entre ces amplitudes).

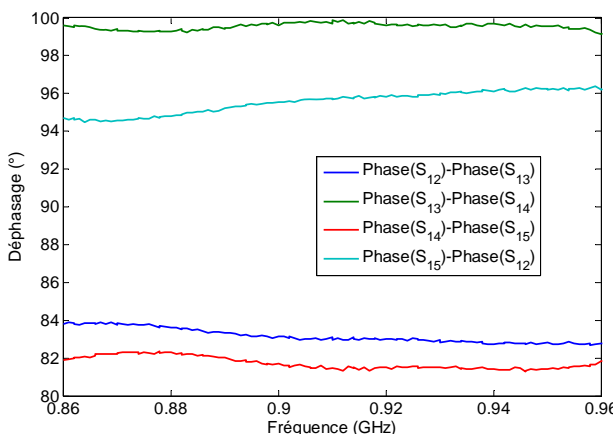


Figure 6. Différences de phase entre deux ports successifs (ces déphasages sont de 90° à 10° près).

4.b. Antenne avec circuit d'alimentation

Le coefficient de réflexion mesuré en entrée de l'antenne finale (celle représentée sur la figure 1(b)) est donné sur la Figure 7. Une bande passante en adaptation d'impédance (pour $|S_{11}| < -10$ dB) de plus de 600MHz est obtenue. Cette large bande passante est due à l'influence du circuit d'alimentation constitué de coupleurs relativement large bande. En effet, ces derniers masquent toute réflexion des points d'excitation des 4 éléments rayonnants de l'antenne. Cette mesure ne permet pas donc de conclure sur l'adaptation de l'antenne dans la bande requise allant de 860MHz à 960MHz (gabarit requis indiqué sur la Figure 7). Les mesures de la section suivante permettront de valider le bon fonctionnement de l'antenne réalisée et ainsi ses bonnes performances en adaptation.

5. Tests des antennes en radiolocalisation

Ces tests ont pour but d'estimer la portée et l'angle de détection des antennes par l'analyse probabiliste de la détection des radio-étiquettes RFID. La configuration adoptée pour le test de deux antennes lecteurs RFID réalisées est illustrée par la Figure 8. En effet, N radio-étiquettes sont positionnées de manière précise dans l'environnement grâce à un système de positionnement 3D (*Motion capture*). Le robot se déplace alors dans l'environnement. Pour chaque position du robot, les radio-étiquettes détectées par chacune des antennes sont relevés, ainsi que la position du robot. Les mesures prises avec différentes orientations et distances entre le robot et les radio-étiquettes permettent alors de construire une carte probabiliste du diagramme de rayonnement d'une antenne dans le plan d'élévation $\varphi=0^\circ$. Il est alors possible de trouver une corrélation entre le gain de l'antenne et son diagramme de rayonnement en distance et azimut. Ce diagramme est construit hors-ligne à l'aide de mesures effectuées précédemment. Elles permettent alors de confirmer ou d'infirmer le bon fonctionnement des antennes dans une chaîne de radiolocalisation.

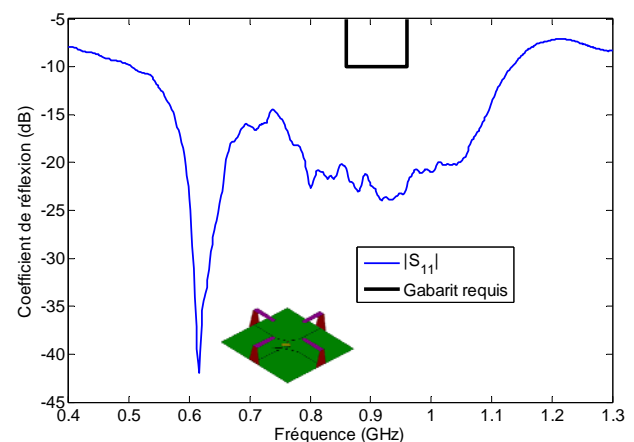


Figure 7. Coefficient de réflexion (mesuré) en entrée de l'antenne réalisée (comparé au gabarit requis en termes d'adaptation)

Le diagramme tracé sur la Figure 9 confirme la forme du diagramme de rayonnement trouvé en simulation électromagnétique (Figure 3). Ces résultats présentent un large angle de détection de 90° autour de l'axe central de l'antenne. La portée maximale de l'antenne est de 3m fiable sur tout l'angle de détection.



Figure 8. Configuration de la validation des antennes réalisées.

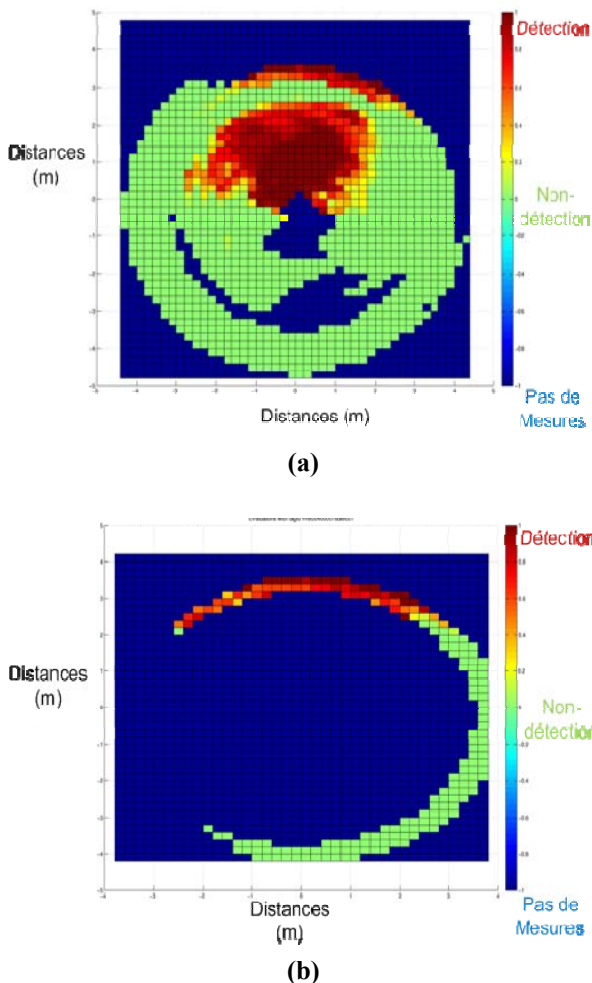


Figure 9. Résultats obtenus pour (a) radio-étiquette 1 et (b) radio-étiquette 2 placées à 3m du robot dans différents angles de portée pour une seule antenne.

Plus généralement, hormis une zone aveugle située aux environ de 2.5m (peut être due à un manque de mesures), le diagramme de rayonnement d'une antenne semble cohérent avec les simulations électromagnétiques réalisées. L'utilisation de huit antennes est préconisée pour la couverture optimale de la totalité de l'espace entourant le robot. Aux vues des fortes contraintes matérielles, il semble que la solution envisagée correspond de manière quasi-optimale aux besoins d'un tel contexte.

6. Conclusion et perspectives

Une antenne à polarisation circulaire pour lecteur RFID fonctionnant entre 860-960MHz a été conçue et réalisée. L'antenne de taille 20 cm x 20 cm et imprimée sur substrat souple présente l'avantage d'être facilement conformable sur la surface cylindrique du robot *Rackham* du LAAS-CNRS. Le diagramme de rayonnement et le gain de l'antenne conçue permettent une couverture optimale de l'espace à surveiller. Une série de tests a été menée afin d'estimer les performances des antennes réalisées. Les résultats obtenus ont confirmé le bon fonctionnement des antennes proposées avec une portée de 3m fiable sur tout l'angle de détection. Des études complémentaires sont en cours afin d'étudier les possibilités de réduire : 1) la taille de l'antenne en considérant des antennes à polarisation linéaire et 2) le nombre d'antennes nécessaire pour une couverture optimale de la totalité de l'espace entourant *Rackham*.

7. Remerciements

Les auteurs remercient J. Rayssac et P. Marcoul pour leur participation à la réalisation des antennes, ainsi que T. Germa pour les tests en radiolocalisation.

8. Bibliographie

- [1] A. Clodic and al., "Rackham: An interactive robot-guide," in the 15th IEEE International Workshop on Robots and Human Interactive Communication (ROMAN), pp. 502-509, 2006.
- [2] B. Rama Rao, M. A. Smoliniski, Cuong C. Quach, E. N. Rosario, "Triple-Band GPS Trap-Loaded Inverted L Antenna Array", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 38, p. 35-37, 2003.
- [3] S. Hebib, H. Aubert, O. Pascal, "Etude de faisabilité du circuit d'alimentation d'une antenne multi-bandes à polarisation circulaire pour application GPS/Galileo, " Rapport final d'étude R&T, Convention CNES no. 70941/00, Décembre 2007.
- [4] <http://www.minicircuits.com>
- [5] M. L. Xiao, S. Ouyang, Z.P. Nie, "Design and performance analysis of compact planar inverted-L diversity antenna for handheld terminals", *International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS)*, pp. 186-189, 2008.