

Etude du couplage entre tags RFID UHF à fort degré de confinement

[Study of the coupling between UHF RFID tags with high degree of confinement]

Gbamélé K. Fernand, Ouattara Y. Bérenger, Fofana Siaka, and Doumbia Issa

Laboratoire des Signaux et Systèmes, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: When RFID tags are brought closer to each other, the acquisition by the radio frequency reader of the data they contain becomes difficult because of the strong coupling related to the respective radiation of their antennas. This radiation is at the origin of the birth of mutual impedances adapting the antenna and its integrated chip. This article proposes an electrical modeling of this coupling for different configurations of RFID tags. The approach is based on two-port network theory and antenna arrays. The coupling capacity between tags is determined on the one hand by using a numerical simulation based on the finite elements and on the other hand from an analytical model with the parameters of the antenna. The analytical results are in good agreement with the numerical results. The working frequency is the 868 MHz ISM band.

KEYWORDS: RFID tags, patch antenna, antenna array, mutual coupling, coupling capability.

RESUME: Lorsque des étiquettes RFID sont rapprochées les unes des autres, l'acquisition par le lecteur radiofréquence des données qu'elles contiennent devient difficile à cause du fort couplage lié au rayonnement respectif de leurs antennes. Ce rayonnement est à l'origine de la naissance d'impédances mutuelles désadaptant l'antenne et sa puce intégrée. Cet article propose une modélisation électrique de ce couplage pour différentes configurations d'étiquettes RFID. L'approche est basée sur la théorie du réseau à deux ports et des réseaux d'antennes. La capacité de couplage entre tags est déterminée d'une part en utilisant une simulation numérique basée sur les éléments finis et d'autre part à partir d'un modèle analytique avec les paramètres de l'antenne. Les résultats analytiques concordent bien avec les résultats numériques. La fréquence de travail est la bande ISM 868 MHz.

MOTS-CLEFS: tags RFID, antenne patch, réseau d'antennes, couplage mutuel, la capacité de couplage.

1 INTRODUCTION

Parmi les technologies de communication sans fil, l'identification par radiofréquence RFID « RadioFrequency Identification » en anglais est devenue incontournable. Le système RFID est constitué deux entités : le lecteur qui est connecté à une base de données et l'étiquette appelée aussi tag qu'on accole à l'objet à identifier. Le tag est formé d'une antenne et d'une puce électronique contenant des données (un identifiant ou une URL). De nos jours, la technologie RFID est présente dans de nombreux secteurs tels que la grande distribution, le paiement sans contact (NFC), le domaine agricole pour la traçabilité du bétail etc. Avec l'avènement de l'Internet des objets (IoT), la technologie RFID sera présente au cœur des interconnexions avec un déploiement massif dans tous les secteurs d'activités [1]-[2]. Dans la logistique par exemple, plusieurs produits électroniquement étiquetés sont emballés dans un même carton et placés sur des palettes. Ce fort confinement des étiquettes forme ainsi un réseau d'antennes passives (ou parasites). Dans un tel scénario, la performance du tag devient fortement dépendante de la position et de l'orientation par rapport aux tags envoisnants [4], [5]. Un fort couplage entre tags a pour conséquence une désadaptation entre l'antenne et la puce du tag rendant invisible ces derniers par le lecteur RFID [3]. D'une

manière générale, pour mesurer le couplage mutuel entre les tags à fort degré de confinement suivant les configurations de ces dernières, deux approches sont généralement proposées : une approche entièrement où les coefficients de couplage sont obtenus en fonction de la géométrie des antennes ou bien une approche numérique par les logiciels commerciaux où les coefficients de transmission entre ports des antennes sont mesurés [6] [7]. Parmi les modèles analytiques, dans [8] des formules ont été développées pour déterminer le coefficient de couplage entre deux antennes patch gravées un même substrat. Les auteurs ont montré que ce coefficient de couplage est dépendant des paramètres géométriques liés à la configuration des antennes. L'approche ainsi est valide pour le cas de deux antennes cependant devient difficilement applicable lorsqu'il s'agit d'un confinement de plusieurs antennes.

Le formalisme appliqué dans cet article est une méthode hybride qui combine à la fois la modélisation numérique et l'approche analytique permettant de prendre en compte toutes les configurations entre les tags mais également leur nombre. Le modèle analytique est basé sur la matrice à deux ports des impédances Z ou des admittances Y . L'étude des quadripôles permet de déterminer les relations liant les tensions et les courants sur des antennes étroitement couplées [9]. La simulation quand à elle permet d'extraire les paramètres Y et d'en déduire la capacité de couplage. Ces simulations ont été réalisées avec le logiciel HFSS « High Frequency Structure Simulator » [10]. L'article est divisé en quatre parties. La première partie présente les caractéristiques de l'antenne utilisée pour les tags. Dans le chapitre II, nous proposons un modèle électrique de cette antenne. Le chapitre III est consacré à la formalisation du couplage mutuel entre deux tags identiques. Enfin dans la dernière partie, nous présentons les résultats de simulation en comparaison avec le modèle analytique développé dans [8].

2 CIRCUIT ÉQUIVALENT DU PATCH

2.1 GÉOMÉTRIE DE L'ANTENNE

Le choix de l'antenne de l'étiquette est un patch rectangulaire. La structure est conçue pour fonctionner dans la bande RFID UHF 868MHz. La géométrie de l'antenne est représentée dans la figure 1. Elle est montée sur un matériau diélectrique ayant une épaisseur $h = 1,6\text{mm}$. Le diélectrique utilisé est la résine époxy FR4 de permittivité $\epsilon_r = 4,4$. L'antenne est constituée d'une ligne d'alimentation microruban, d'un élément rayonnant rectangulaire dans lequel nous avons inséré des encoches pour l'adaptation en impédance.

Le tableau ci-dessous donne les dimensions des différents éléments constitutifs de l'antenne patch.

Tableau 1. Paramètres du tag

Paramètres	Dimension (mm)
Largeur du patch : W_p	105,1695
Longueur du patch : L_p	81,8
Longueur de la ligne d'alimentation : L_f	73,6325
Longueur de l'encoche : L_N	30,5225
Largeur de l'encoche : W_N	3,375
Largeur de la ligne d'alimentation : W_f	3.015

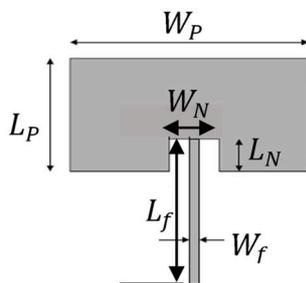


Fig. 1. Antenne patch rectangulaire avec encoches

2.2 SIMULATION DE L'ANTENNE

Dans la figure 2, l'antenne proposée a été modélisée en utilisant le logiciel commercial HFSS [10]. L'évolution du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'excitation est tracée dans la figure 3. L'antenne est bien adaptée à l'impédance 50 Ω dans la bande ISM 868 MHz ($S_{11} \leq -10dB$). La bande passante de l'antenne est de 10MHz. Le diagramme de rayonnement de l'antenne est donné par la figure 4.

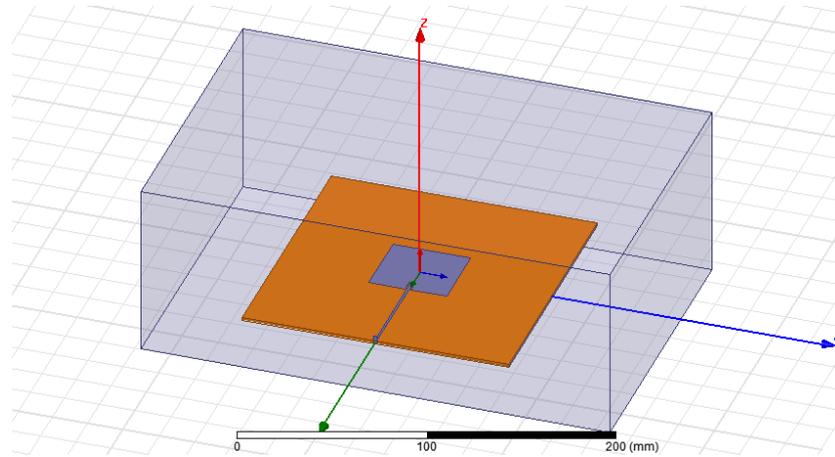


Fig. 2. Conception d'une antenne à patch unique avec HFSS

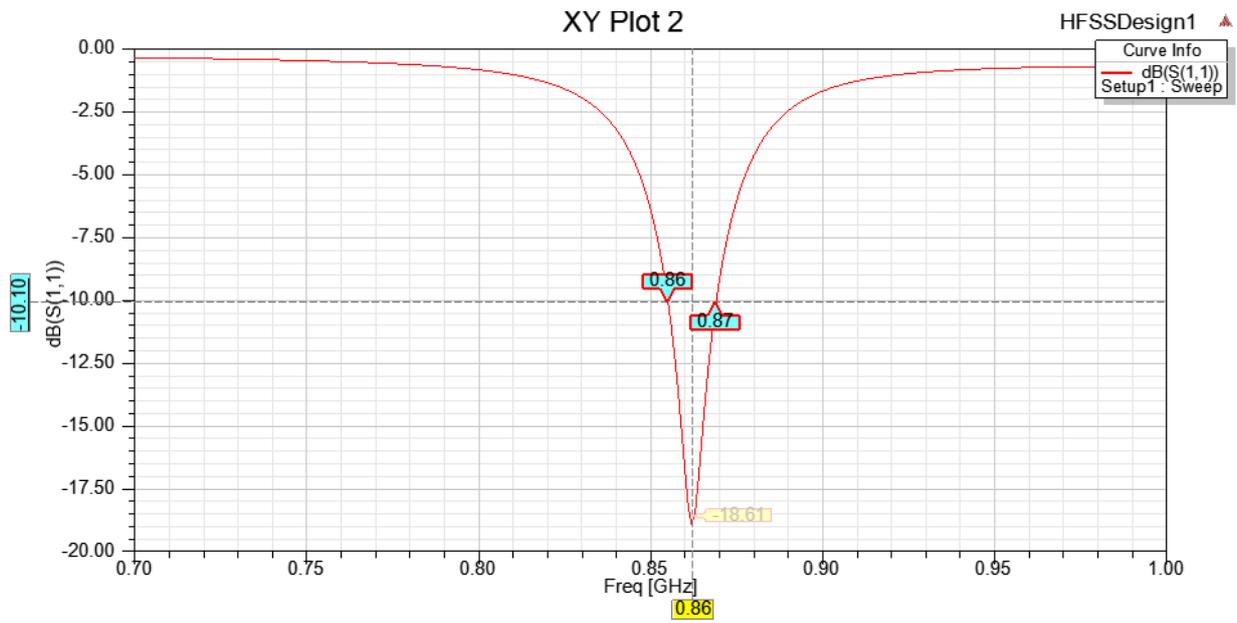


Fig. 3. Coefficient de réflexion S_{11} du tag

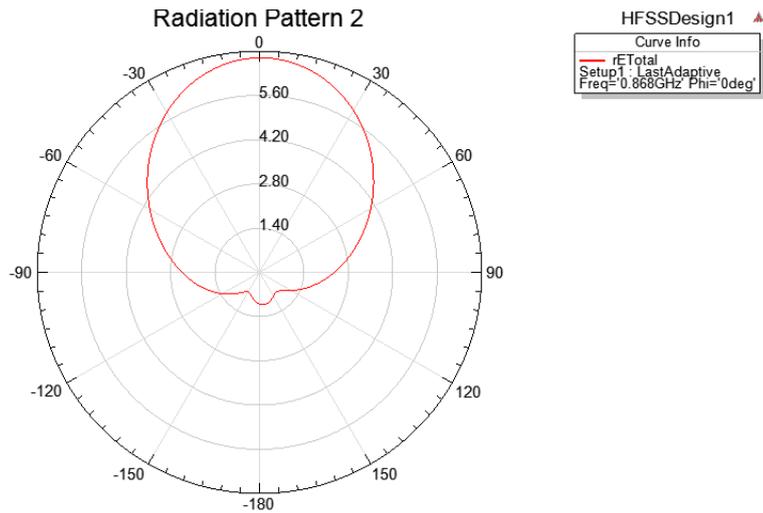


Fig. 4. Diagramme de rayonnement du tag dans le plans

2.3 CIRCUIT ÉLECTRIQUE DE L'ANTENNE PATCH AVEC ENCOCHES

La couplage entre les antennes peut être modélisé numériquement par les logiciels commerciaux (HFSS, ADS etc) en mesurant le paramètre S_{12} qui représente le couplage, l'avantage de ne prendre en compte que les paramètres les plus prédominants dans le fonctionnement de l'antenne. La simplicité du modèle coefficient de transmission entre deux antennes. Toutefois, ces simulations deviennent rapidement exigeantes en espace mémoire lorsque le nombre d'antennes croit. La représentation d'une antenne par un circuit équivalent électrique permet ainsi un gain de temps dans l'étude du couplage entre plusieurs tags dans un emballage. Le modèle électrique de l'antenne de l'étiquette est représenté dans la figure 5. Nous avons suivi les étapes ci-dessous :

- a. La ligne d'alimentation est une ligne microruban considérée sans pertes. Le modèle électrique d'une telle ligne est un circuit LC parallèle [11-12]; l'inductance et la capacité du modèle électrique sont notées respectivement L_f et C_f sur la figure 5.

L'admittance caractéristique de la ligne microruban peut être donnée par :

$$Y_f = \frac{1}{j\omega C_f + \frac{1}{j\omega C_f + \frac{1}{j\omega L_f}}} \quad (1)$$

- b. Le patch microruban rectangulaire est considéré comme une combinaison en parallèle d'une résistance R_1 , d'une inductance L_1 et de la capacité C_1 . L'admittance du patch est donnée par la formule dessous [12-13] :

$$Y_p = \frac{1}{R_1} + j(\omega C_1 + \frac{1}{\omega L_1}) \quad (2)$$

- c. Circuit équivalent de l'encoche

Quand une encoche est sur le patch, la distribution du courant est modifiée dans la structure rayonnante par rapport au rayonnant normal du patch. Par conséquent, cette perturbation modifie le circuit équivalent du patch initial (voir figure 1) en introduisant une inductance série supplémentaire et une capacité série. Le circuit équivalent final de l'encoche est une combinaison en parallèle d'une résistance R_2 , l'inductance L_2 et la capacité C_2 est représenté sur la figure 5 [12-13]. L'admittance du patch est donnée par la formule (3):

$$Y_2 = \frac{1}{R_2} + j(\omega C_2 + \frac{1}{\omega L_2}) \quad (3)$$

- d. On peut noter que les deux circuits résonnants, patch rectangulaire et l'encoche chargée, sont couplés par inductance mutuelle L_M et capacité mutuelle C_M [14-15]. L'admittance du couplage encoche et patch est donnée par la formule (4) :

$$Y_M = \frac{1}{j\omega L_M + \frac{1}{j\omega C_M}} \quad (4)$$

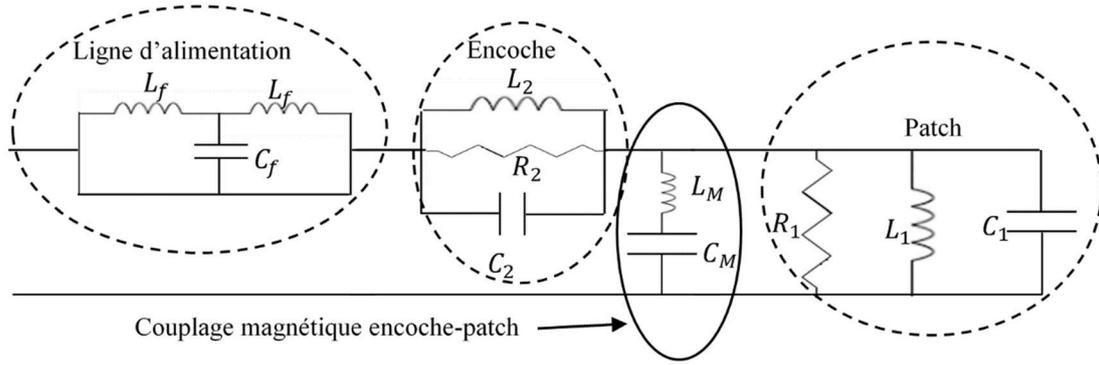


Fig. 5. Modèle électrique de l'antenne avec encoches

Le circuit équivalent en blocs d'admittances est donné par la figure 6. Par conséquent, l'admittance d'entrée Y_1 du système patch rectangulaire, de la ligne d'alimentation et de l'encoche peut être calculée à partir de la figure 6 est donnée par la relation (5) :

$$Y_1 = \frac{1}{\frac{1}{Y_f} + \frac{1}{Y_2} + \frac{1}{Y_M + Y_p}} \quad (5)$$

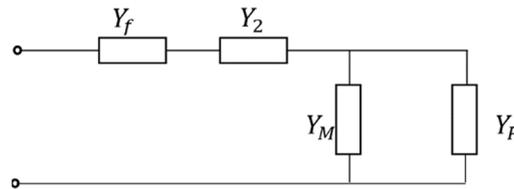


Fig. 6. Circuit équivalent de l'antenne

3 CONFIGURATIONS DE TAGS ET MODELISATION DU COUPLAGE

Considérons deux tags voisins (tag1 et tag2) dans un emballage de n tags identiques. Dans cet emballage les tags peuvent être disposés de façon aléatoire ou rangés. La distance $d = s/\lambda$ entre tags est supposée faible (voir figure 7). Le lecteur RFID communique avec ces tags dans cette configuration afin de récupérer la donnée qu'ils contiennent.

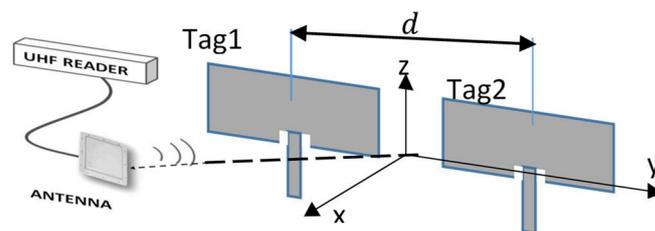


Fig.7. Configuration de deux tags RFID UHF couplés

Quelque soit la configuration des tags dans l'emballage, le circuit équivalent de deux tags voisins est représenté dans la figure 8. Le système est constitué des modèles électriques des tags1 et 2, des capacités de couplage C_{p1} , C_{p2} et C_{12} . La capacité C_{pj} représente la capacité de superposition (verticale) du tag j respectivement avec les tags au dessus et en dessous de ce dernier. La capacité C_{ij} est la capacité de proximité planaire des tags i et j.

Pour la détermination des capacités de couplage, nous utilisons le formalisme des réseaux à deux ports caractérisés par la relation [7] :

$$[I] = [Y]. [V] \quad (6)$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Avec Y la matrice d'admittance. On définit les éléments de la matrice à partir de la figure 8 par les relations suivantes :

$$Y_{11} = Y_1 + j\omega C_{P1} \quad (8)$$

$$Y_{12} = -j\omega C_{12} \quad (9)$$

Avec $Y_{11} = Y_{22}$ les admittances d'entrée des tags 1 et 2. Le niveau de couplage est donné par l'admittance mutuelle Y_{12} ou Y_{21} .

L'objectif étant de déterminer la capacité de couplage C_{12} , nous avons procédé comme suit :

L'admittance mutuelle Y_{12} a été obtenue à partir d'une analyse numérique électromagnétique rigoureuse avec la méthode des éléments finis du logiciel HFSS. La capacité de couplage C_{12} est déduite du paramètre Y_{12} par la relation (9) qui les lie. Les résultats numériques ainsi obtenus sont comparés avec ceux présentés par la formule analytique de G. Dubost et al [8] qui donne l'impédance mutuelle de deux patches couplés sur le même substrat. Les auteurs modélisent le couplage mutuel entre deux antennes à partir de l'expression analytique du paramètre d'impédance mutuelle Z_{12} donnée ci-dessous :

$$Z_{12} = \frac{25}{2\pi^8} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left(\frac{\lambda_0}{W}\right)^3 \left(\frac{\lambda_0}{s}\right)^2 \sin\left(\frac{\pi W}{\lambda_0}\right) \cdot \exp\left(-j2\pi \frac{s}{\lambda_0}\right) \quad (10)$$

μ_0 : perméabilité du vide ; ϵ_0 : permittivité du vide

λ_0 : longueur d'onde

W : largeur de l'antenne

s : distance centre à centre entre antennes.

Nous déduisons la capacité de couplage C_{12} par la relation suivante :

$$C_{12} = \left| -\frac{Y_{12}}{j\omega} \right| = \left| -\frac{1}{j2\pi f Z_{12}} \right| \quad (11)$$

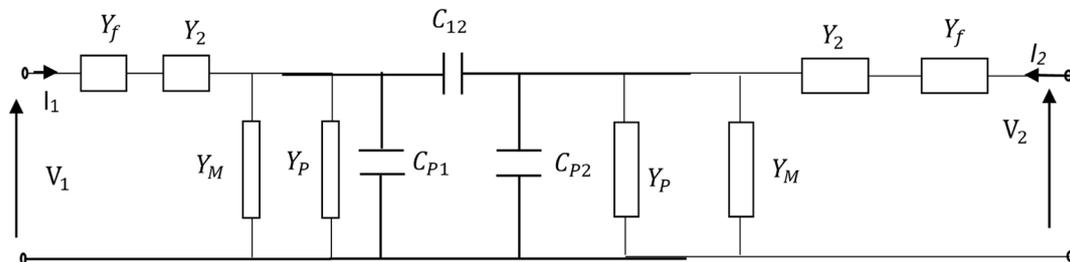


Fig. 8. Circuit électrique équivalent de deux patches.

4 SIMULATIONS ET RESULTATS

4.1 SIMULATIONS AVEC HFSS

Les différentes configurations des antennes modélisées sous HFSS sont présentées dans les figures 10 et 13. La fréquence de simulation est de 868MHz. Nous faisons varier la distance entre les tags pour $0,2\lambda \leq s \leq 3\lambda$. Nous calculons la capacité de couplage C_{12} pour deux configurations de tags : dans la première configuration, les tags sont placés dans le même plan et dans la seconde configuration les tags sont disposés, l'un au dessus de l'autre (superposés). Les figures 12 et 15 montrent la variation de cette capacité de couplage calculées à partir des résultats d'admittances mutuelles Y_{12} simulées (figure 11 et 14).

4.1.1 CONFIGURATION 1 : TAGS PLACÉS DANS LE MÊME PLAN

La capacité de couplage calculée à partir de l'admittance Y_{12} est tracée à la figure 12. Le couplage entre les tags n'intervient que pour des distances $s \leq 0,5\lambda$. La valeur de la capacité de couplage pour $s \leq 0,5\lambda$ varie peu et vaut $C_{12} = 0,25\text{pF}$. Le couplage ici est essentiellement lié aux courants de bord des antennes des deux tags. Etant donné les longueurs des extrémités des antennes $l \sim 0,5\lambda$, il s'agit bien d'un couplage entre dipôles demi-onde.

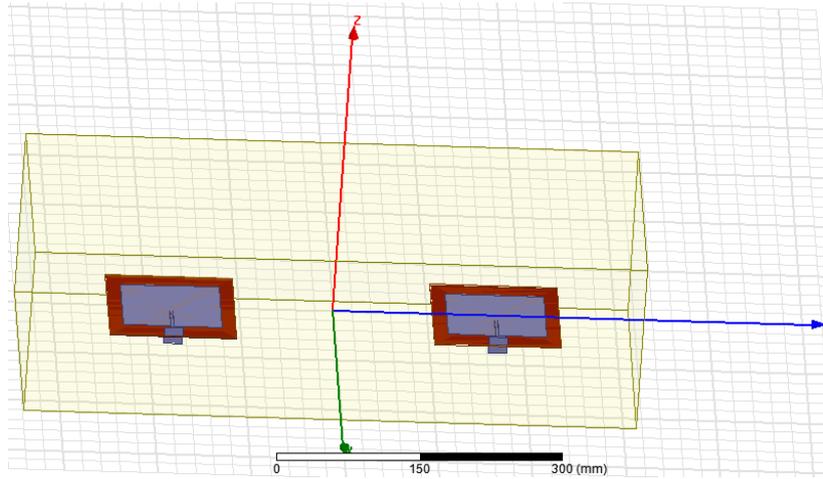


Fig.10. Simulation du réseau de deux antennes patch placés côte à côte avec HFSS

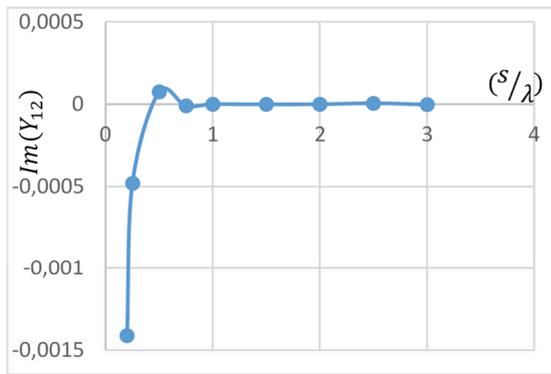


Fig.11. Partie imaginaire de l'admittance mutuelle Y_{12} pour la configuration 1.

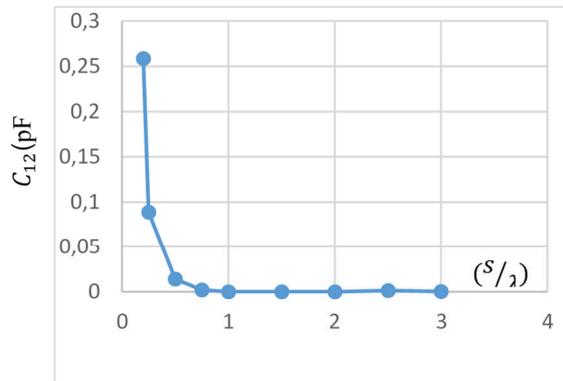


Fig.12. Capacité de couplage entre deux tags pour la configuration 1.

4.1.2 CONFIGURATION 2 : TAGS SUPERPOSÉS

Nous faisons varier verticalement la distance s entre les tags comme présenté à la figure 13.

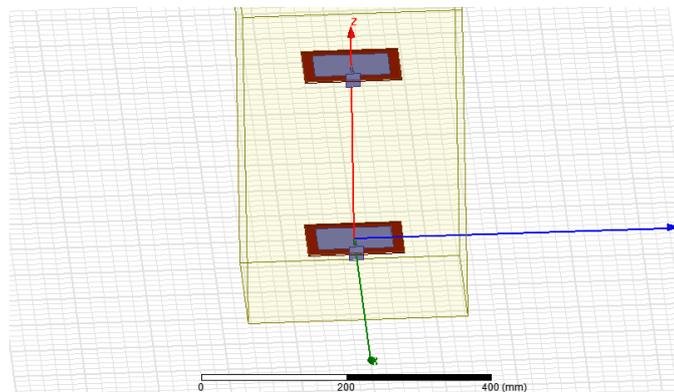


Fig. 13. Simulation du réseau de deux antennes patch placés l'un au dessus de l'autre avec HFSS

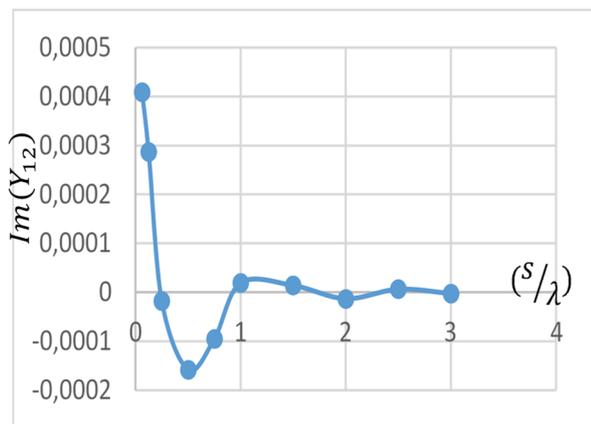


Fig. 14 .Partie imaginaire de l'admittance mutuelle Y_{12} pour la configuration 2

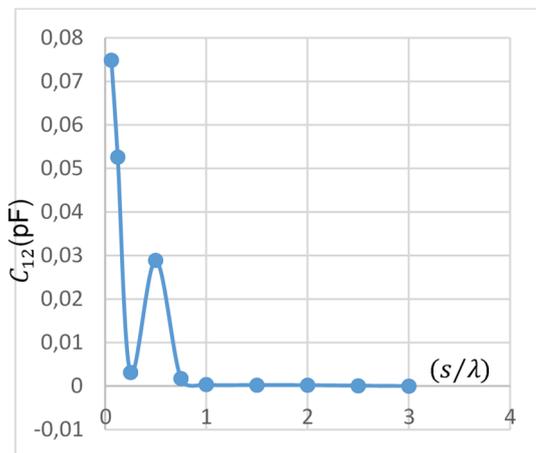


Fig. 15 . Capacité de couplage pour la configuration 2

Pour cette configuration , nous observons le même phénomène de couplage que dans la configuration 1 mais avec une capacité de couplage faible d'un facteur 10. La superposition des tags utilisant comme antennes des patches a pour avantage de reduire le rayonnement arriere des antennes. Dans cette configuration, la proximité des tags a peu d'influence sur la désadaptation de l'antenne et de sa puce.

4.2 VALIDATION DES RÉSULTATS

Dans cette partie nous comparons les résultats obtenus par la méthode hybride proposée avec celle analytique présentée dans [8]. Etant donné qu'il est presque introuvable des études dans la littérature sur la configuration 2, seule la configuration 1 des tags a été validée. La capacité de couplage est obtenue à partir des formules (9) et (11).

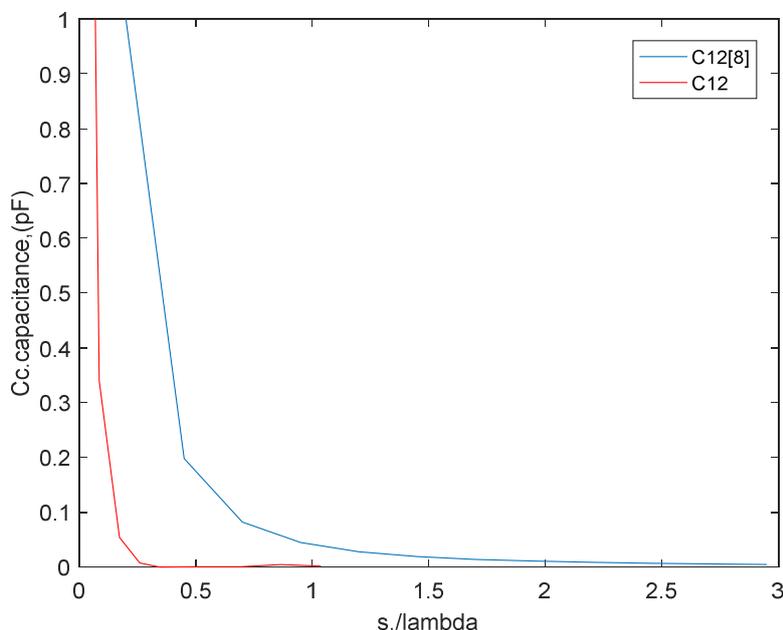


Fig. 16. Capacité de couplage entre les tags

La figure 16 montre que les deux approches donnent les mêmes allures des capacités de couplage en fonction de la distance. On note néanmoins un écart de valeurs qui peut être lié aux valeurs additives de capacité qui ne sont pas prises en compte. En effet, une antenne adaptée produit moins de rayonnement parasite qu'une antenne non adaptée. La présence d'encoches

dans nos antennes peut expliquer les valeurs plus faibles de capacité de couplage. Dans [8], les antennes sont étudiées sur un même substrat favorisant donc la propagation des ondes de surface entre antennes.

5 CONCLUSION

Dans cette contribution nous avons proposé un circuit équivalent de deux tags couplés dans la bande RFID UHF 868 MHz. La capacité de couplage a été déduite par une méthode hybride combinant les simulations par un logiciel commercial et des formules analytiques. Les valeurs des capacités de couplage obtenues montrent que la configuration la plus sensible au couplage est celle qui dispose les tags dans un même plan. Les résultats sont concordants avec la littérature et ouvrent des perspectives pour évaluer le couplage de plusieurs empilements de tag dont les antennes ne sont pas forcément des antennes patch.

RÉFÉRENCES

- [1] K. Finkenzeller "RFID Handbook" 2^e edition 2003.
- [2] A. Venna, E. Peret, S Tedjini, "High-Capacity Chipless RFID TAG In Sensitive to the polarization" IEEE Trans. on Antenna and Propagation, 2012; pp.60-69.
- [3] P.V. Nikitin, V.S. Rao, and S, Lazar, "An overview of near field UHF RDIF" IEEE RFID Conference, 2007, pp.167-174.
- [4] A. Key, "Near-field gain of aperture antennas" IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol.8. no.6. Nov. 1960.pp. 586-593.
- [5] J.M.Taylor, A Terzuoli, "On the concept of near field radar cross section", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Jul. 1997. Vol. 2. pp. 1172-1185.
- [6] A. Shameli et al, "A UHF Near-Field RFID system with Fully Integrated Transponder", IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, vol.56.no.5, Part 2, 2008, pp. 1267-1277.
- [7] A.Hafiane, O.Picon, L Cirio, "Etude du couplage de deux antennes imprimées par la Methode FDTD", JNM Mai 1999. ELECTRONICS LETTERS 10th July 2003 Vol. 39 No. 14
- [8] G. DUBOST, Y. BAO, "Couplages entre sources imprimées actives Analyse d'un réseau fini & deux dimensions de sources plates actives Application au balayage électronique" Ant. Télécom, 48, n0 9-10, 1993.
- [9] Pace, "Asymptotic formulas for coupling between two antennas in the Fresnel region", IEEE transaction on Antennas and Propagation, vol.17 no.3.May.1969, pp.285-291.
- [10] High Frequency Structure Simulator (HFSS) v15, Ansoft Corporation, Pittsburgh, PA, 2015
- [11] G. Kumar, and K.P Ray, "Broadband Microstrip Antenna" USA, Artech House, 2003.
- [12] M. Meada "Analysis of gap in microstrip Transmission Line", IEEE Trans. Antennas and Propagation .32, 1972, pp. 1375-1379.
- [13] I. J. Bahal and P. Bartia, "Microstrip patch antenna", Artech House, 1990.
- [14] Zheng, X.X. and F. Yang, "Study of slit cut microstrip antenna and its application" Microwave Optical Technology. Lett, 18, 1998, pp. 297-300.
- [15] Bahl, I. J. "Lumped Elements for RF and Microwave Circuits", Artech House, Boston, 2003.
- [16] I. Salonen, C. Icheln, and P. Vainikainen "Microstrip antenna circuit model and linear pattern correction ". The 11th International Symposium on Antenna technology and applied electromagnetic. ANTEM Saint-Malo France, pp. 128-183, June 15-17 2005.