



HAL
open science

Distance de Lecture en Technologie RFID Sans Puce

Nicolas Barbot, Etienne Perret

► **To cite this version:**

Nicolas Barbot, Etienne Perret. Distance de Lecture en Technologie RFID Sans Puce. XXII èmes Journées Nationales Microondes 2022, Jun 2022, Limoges, France. hal-04033737

HAL Id: hal-04033737

<https://hal.science/hal-04033737>

Submitted on 17 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distance de Lecture en Technologie RFID Sans Puce

N. Barbot¹, E. Perret¹

¹Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, LCIS, F-26000 Valence, France
nicolas.barbot@lcis.grenoble-inp.fr

Résumé — Cet article présente une comparaison entre la distance de lecture pour la technologie RFID UHF et celle de la RFID sans puce en environnement réel. À partir du modèle présenté, la distance de lecture est déterminée analytiquement sur les canaux non isolés pour la technologie sans puce. Pour ces tags, la distance de lecture ne peut pas être prédite directement par l'équation radar et présente de sérieuses limitations puisque ces tags sont des systèmes linéaires invariants dans le temps. Cette nouvelle borne ne dépend pas de la puissance émise ni de la sensibilité du lecteur mais repose sur la notion d'environnement résiduel. Nous montrons que cette quantité est le paramètre clé pour évaluer la distance de lecture d'un système RFID sans puce.

1. Introduction

La technologie sans puce permet de réduire significativement le coût d'un tag RFID en retirant la puce classiquement utilisée pour stocker et rétrodiffuser l'identifiant du tag. En outre, de nombreux efforts ont été déployés en chipless, à la fois sur la conception du tag et du lecteur, pour combler l'écart avec la technologie UHF. Cependant, les performances en termes de capacité de codage et de portée de lecture profitent encore largement à la RFID classique.

Cet article résume les résultats présentés dans [1] et permet d'introduire une borne en distance pour la technologie chipless. Cette borne est basée sur le concept d'environnement résiduel qui est le paramètre clé pour évaluer la distance de lecture de tout système RFID sans puce. De plus, cette borne est significativement plus faible que la borne associée à la technologie UHF passive (limitée par la puissance d'activation de la puce) basée sur l'équation de Friis, et/ou la borne associée à la technologie UHF semi-passive (limitée par la sensibilité du lecteur) basée sur l'équation du radar. Ces résultats permettent d'accroître la compréhension et les limites inhérentes à la RFID sans puce.

2. Modèle Analytique

Supposons que nous envoyons une impulsion $x(t)$ de densité spectrale d'énergie $|X(f)|^2$ vers un tag sans puce, dans un environnement qui réfléchit et éventuellement déforme une fraction du signal émis. En réception, le signal reçu peut s'écrire :

$$y_{tot}(t) = x(t) * [ah(t) + e_1(t)] \quad (1)$$

où a représente l'atténuation aller-retour en espace libre entre le lecteur et le tag. De plus, $e_1(t)$ est la réponse impulsionnelle de l'environnement vue par les antennes et prend en compte le couplage entre les antennes et/ou les réflexions sur différents objets présents dans l'environnement. Notez que $h(t)$ et $e_1(t)$ sont tous deux des systèmes linéaires invariants dans le temps. De plus, la puissance associée au second terme est généralement significativement plus élevée que celle reçue du tag. Pour compenser l'environnement, une deuxième mesure sans le tag est nécessaire :

$$y_e(t) = x(t) * e_2(t) \quad (2)$$

où $e_2(t)$ est la réponse impulsionnelle de l'environnement sans le tag. Notez que $e_1(t)$ et $e_2(t)$ ne sont généralement pas identiques, possiblement en raison d'une modification de l'environnement entre les deux mesures, et/ou du fait du couplage entre le tag et l'antenne (ou tout autre objet environnant). La réponse du tag est obtenue en retranchant la mesure du tag avec l'environnement (1) et la mesure sans le tag (2) :

$$y(t) = ax(t) * h(t) + x(t) * [e_1(t) - e_2(t)] \quad (3)$$

Notez que $e_1(t) - e_2(t)$ est défini dans ce qui suit, comme la réponse impulsionnelle de l'environnement résiduel. Cette grandeur est principalement liée à la modification de l'environnement vu par les antennes lors des deux mesures.

En prenant la transformée de Fourier de (3) pour obtenir le signal dans le domaine fréquentiel, il vient :

$$Y(f) = aX(f) \cdot H(f) + X(f) \cdot [E_1(f) - E_2(f)] \quad (4)$$

En pratique, la Densité Spectrale d'Énergie (DSE) associée à $|X(f) \cdot [E_1(f) - E_2(f)]|^2$ est bien plus grande que la sensibilité du lecteur (liée au plancher de bruit de l'instrument). De plus, étant donné que le tag et l'environnement résiduel sont des systèmes linéaires invariants dans le temps, l'augmentation de l'énergie de l'impulsion permet d'augmenter l'énergie rétrodiffusée par le tag mais aussi celle de l'environnement résiduel avec exactement la même proportion.

La distance de lecture maximale d'un tag sans puce peut alors être extraite en trouvant la distance d où la DSE reçue du tag est supérieure à celle reçue de l'environnement résiduel :

$$|aX(f) \cdot H(f)|^2 \geq |X(f) \cdot [E_1(f) - E_2(f)]|^2 \quad (5)$$

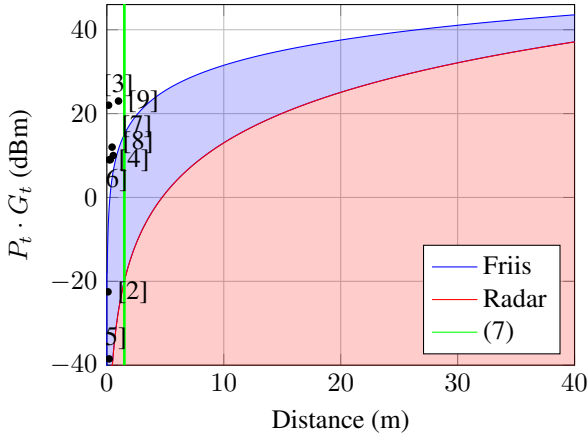


Figure 1. Distance de lecture théorique vs. EIRP pour la technologie RFID passive et semi-passive à 915 MHz en espace libre. Distance de lecture en RFID Chipless obtenue par (7) en vert.

Après simplification, en remplaçant a par sa valeur et en reconnaissant l'expression du RCS du tag $\sigma(f)$ et la fonction de transfert de l'environnement résiduel (notée $\epsilon(f)$), nous avons :

$$\frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma(f)}{(4\pi)^3 d^4} \geq |\epsilon(f)|^2 \quad (6)$$

Finalement, la distance de lecture en chipless peut être exprimée par :

$$d_c \leq \sqrt[4]{\frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma(f)}{(4\pi)^3 |\epsilon(f)|^2}} \quad (7)$$

A noter que, contrairement à la distance de lecture prédite par l'équation de Friis (valable pour la technologie RFID passive) et à l'équation du radar (valable pour la technologie RFID semi-passive), cette expression ne dépend pas de la puissance émise ni de la sensibilité du lecteur et est généralement significativement inférieure à l'équation du radar. Aussi, cette expression est valable pour tous les canaux où une isolation parfaite entre émetteur et récepteur ne peut être maintenue *i.e.*, tous canaux soumis à un couplage et/ou des réflexions ce qui est le cas pour tous les environnements réels, de la chambre anéchoïque aux environnements intérieurs non stationnaires. De plus, (7) permet de séparer clairement la contribution du tag *i.e.*, $\sigma(f)$ et la contribution de l'environnement résiduel *i.e.*, $|\epsilon(f)|^2$ sur la distance de lecture. Enfin, (7) reste valable même si des techniques de post-traitement (*e.g.*, filtrage temporel) sont appliquées sur le signal reçu (seuls $\sigma(f)$ et $|\epsilon(f)|^2$ doivent être estimés pour la technique considérée).

La Fig. 1 compare la distance de lecture maximale du de la technologie UHF passive (donnée par l'équation de Friis), semi-passive (donnée par l'équation du radar) en fonction de la puissance isotrope rayonnée équivalente pour une fréquence de 915 MHz. La borne correspondant à la technologie sans puce (7) est elle aussi ajoutée sur cette même courbe pour un dipôle court-circuité et un environnement résiduel de -60 dB (ce qui correspond à une

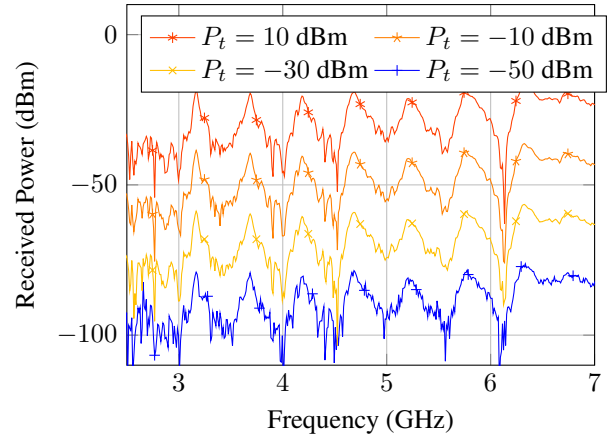


Figure 2. Received power in cross-polarization with the tag introduced in [4] as a function of the transmitted power.

mesure en environnement réel avec un VNA). Les distances de lecture mesurées pour des tags chipless extraites de la littérature [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] ont aussi été placées sur la figure.

Ainsi, la borne théorique déterminée est en très bon accord avec les distances de lecture mesurées. Cette distance ne peut pas être améliorée en augmentant la puissance utilisée en émission.

3. Résultats

Les tags sans puce étant des systèmes linéaires invariants dans le temps, ils présentent fondamentalement le même comportement que tout autre objet présent dans l'environnement. De plus, en utilisant (7), nous pouvons voir que la distance de lecture est indépendante de la puissance utilisée par le lecteur.

La Fig. 2 présente le signal reçu lorsqu'un tag chipless [4] est placé devant l'antenne à une distance de 20 cm, en environnement réel. Les mesures ont été effectuées avec une antenne Satimo QH2000 à double accès et à double polarisation connectée respectivement au port 1 et au récepteur B du port 2 du VNA Agilent N5222A. Notez que les courbes ne correspondent plus au paramètre S_{21} puisque le signal reçu n'est plus divisé par la référence R mais est au contraire directement proportionnel à la puissance reçue. Les résultats montrent que les signaux reçus sont identiques à un facteur près (*i.e.*, avec un offset sur une échelle logarithmique). De plus, les composantes du tag (*i.e.*, à la résonance) et de l'environnement résiduel (*i.e.*, hors résonance) sont aussi augmentées du même facteur. En conséquence, la performance en terme de distance de lecture ne dépend pas de la puissance émise. Ainsi, cette distance ne peut pas être augmentée en augmentant la puissance transmise.

Comme il a été montré dans la section 2., la distance de lecture du système RFID sans puce est directement liée à la fonction de transfert de l'environnement résiduel $\epsilon(f)$. Ainsi, estimer cette quantité est essentiel pour comprendre les performances d'un système RFID sans puce.

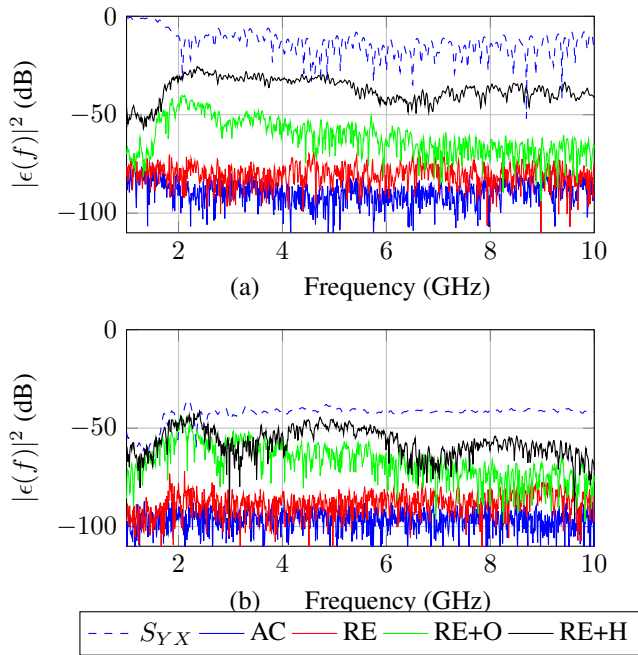


Figure 3. Différents environnements résiduels obtenus en chambre anéchoïque (AC), environnement réel (RE), environnement réel avec objets en mouvement (RE+O) et environnement réel avec la main devant l'antenne (RE+H) en (a) co-polarisation et (b) en cross-polarisation.

Pour les lecteurs capable de fournir directement une réponse fréquentielle normalisée (*e.g.*, comme un VNA), l'environnement résiduel peut être simplement estimé par :

$$|\epsilon(f)|^2 = |S_{YXe_1} - S_{YXe_2}|^2 \quad (8)$$

où S_{YXe_n} sont deux mesures du paramètre S considéré sans le tag. Remarquons enfin que l'estimation basée sur (8) ne prend pas en compte le couplage entre le tag et l'environnement (ou les antennes).

Fig. 3 présente l'environnement résiduel obtenu à partir d'une mesure au VNA et compare la performance d'une lecture en co-polarisation et cross-polarisation. On peut voir que, même si S_{11} (*i.e.*, polarisation) et S_{21} (*i.e.*, cross-polarisation) diffère de plus de 20 dB, leurs environnements

Tableau 1. Environnement résiduel moyen $|\epsilon(f)|^2$ de différents objets mesurés à une distance de 20 cm avec un lecteur basé sur VNA.

Objects	Co-polarization	Cross-polarization
AC	-82 dB	-81 dB
Tronbonne	-46 dB	-55 dB
Pièce 1\$	-40 dB	-62 dB
Main	-37 dB	-48 dB
Carton vide	-48 dB	-56 dB
Operateur à 1 m	-55 dB	-57 dB

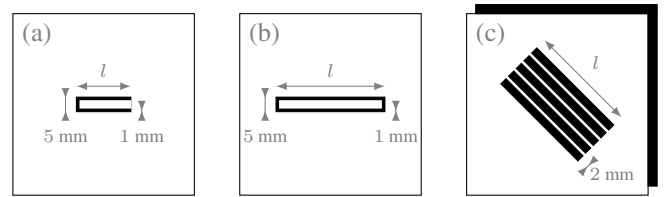


Figure 4. Résonateurs utilisés dans l'étude : (a) résonateur en C, (b) boucle rectangulaire et (c) dipole avec plan de masse. La longueur l varie de 4 to 79 mm. Le substrat est un Rogers RO4003C d'épaisseur 0.8 mm.

ment résiduel associé sont semblables autour de -80 dB en chambre anéchoïque. Aussi, et seulement dans ce cas, l'environnement résiduel est limité par le plancher de bruit de l'instrument. En environnement réel, on observe une dégradation pour les deux polarisations autour de -60 dB. De plus, lorsque des objets sont ajoutés entre les deux mesures, l'environnement résiduel est augmenté de manière significative.

Enfin, le tableau 1 présente l'environnement résiduel moyen de différents objets mesurés à une distance de 20 cm par un VNA entre 3 et 8 GHz. Dans un environnement anéchoïque, l'environnement résiduel moyen peut être aussi bas que -80 dB cependant, lorsque des objets sont ajoutés ou déplacés, l'environnement résiduel peut être considérablement augmenté même par une légère modification ou variation de l'environnement. Par exemple la simple présence d'un trombone ajoute une contribution de 36 dB en co-polarisation et de 26 dB en cross-polarisation. Aussi, mesurer un tag en le tenant avec la main ajoute une contribution supérieure à 30 dB qui peut être plus importante que la réponse du tag lui-même. Ces résultats affectent directement la distance de lecture du système sans puce.

L'étude finale présente la distance de lecture des résonateurs classiques sans puce *i.e.*, en forme de C, boucle rectangulaire et dipôles avec plan de masse [4]. Les dimensions sont données dans la Fig. 4. Afin de déterminer le RCS de chaque résonateur, une simulation a été effectuée pour estimer l'amplitude du pic en fonction de la longueur du résonateur l . Le RCS maximum pour chaque résonateur peut alors être utilisé pour déterminer la distance de lecture de chaque tag en utilisant (7) (lorsque la lecture est effectuée par un Satimo QH2000). Les résultats sont tracés sur la Fig. 5, les mesures en environnement réel sont également présentées avec des marqueurs pour tous les résonateurs. Notez que les distances de lecture mesurées ont été obtenues en utilisant une seule mesure à vide et sans utiliser de technique de post-traitement. De plus, la distance de lecture proposée prédit avec précision celles mesurées pour tous les résonateurs et à toutes les fréquences avec une différence inférieure à 20 cm. Notez que la différence peut être expliquée par la réflexion quasi-optique du tag elle-même et le couplage avec un autre objet à proximité du tag qui augmente également l'environnement résiduel.

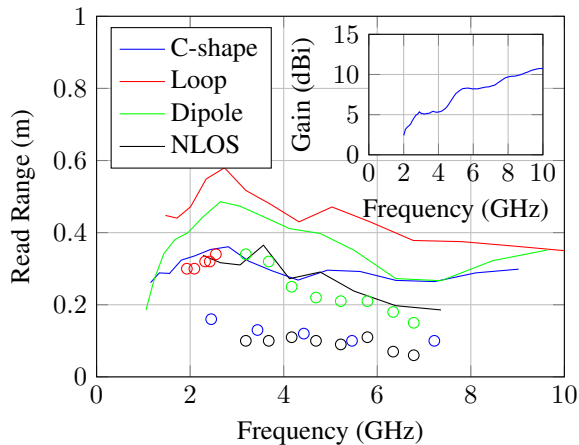


Figure 5. Distance de lecture des résonateurs sans puce classiques obtenue à partir de (7) pour un environnement résiduel de $|\epsilon(f)|^2 = -50$ dB et en considérant l'antenne Satimo QH2000. Les marques correspondent à la plage de lecture mesurée pour les résonateurs correspondants. Encart : Gain de Satimo QH2000 en fonction de la fréquence.

4. Perspectives

L'impact de la linéarité sur la technologie sans puce a été largement sous-estimé. En fait, la RFID sans puce est le seul cas de transmission de données basé sur des transpondeurs linéaires invariants dans le temps (ce qui rend cette technologie très différente par rapport aux systèmes de communication classiques *e.g.*, RFID). Cette propriété a également deux conséquences directes sur les caractéristiques de tout tag sans puce. Tout d'abord, cela garantit de réduire le coût du tag qui peut être aussi bas que 0.4 centimes puisqu'aucune modulation (ou effet non linéaire) n'est effectivement réalisé par le tag. La totalité des applications ciblées par cette technologie nécessitent et dépendent de ce coût. Deuxièmement, et en raison de cette même propriété de linéarité, un tag sans puce a également le même comportement que tout autre objet présent à l'intérieur de l'environnement. Comme nous l'avons vu, ce résultat limite fortement la distance de lecture de la technologie RFID sans puce, qui ne peut être compensée en augmentant la puissance transmise ou la sensibilité du lecteur. Il est important de noter que ces deux conséquences sont étroitement liées et ne peuvent pas être facilement séparées pour la plupart des tags sans puce. Néanmoins, la distance de lecture peut être augmentée en brisant la propriété de linéarité. Dans ce cas précis, la distance de lecture est extraite de l'équation radar modifiée basée sur le delta RCS. Cette borne dépend de la puissance transmise et peut atteindre des dizaines de mètres si le système sans puce ne peut pas être modélisé comme un système linéaire invariant dans le temps.

Ce résultat ne peut être atteint que par deux méthodes. La première consiste à ajouter un élément non linéaire au tag sans puce (comme une diode Schottky) pour générer une puissance aux multiples de la fréquence fondamen-

tale. A noter que ce procédé n'est pas compatible avec les technologies d'impression classiques. La deuxième méthode consiste à briser la propriété d'invariance pour générer une puissance autour de la fréquence porteuse (en modulant le signal rétrodiffusé comme dans la RFID UHF). Pour les tags sans puce, cette méthode nécessite une action externe pour modifier la réponse du tag dans le domaine temporel comme le déplacement ou la rotation. Dans les deux cas, ces transpondeurs sont significativement différents du paradigme original sans puce.

5. Conclusion

L'article présente une borne en distance pour la technologie RFID sans puce dans les environnements qui ne sont pas parfaitement isolés. Cette borne correspond à seulement 3% de l'équation du radar classiquement utilisée pour déterminer la distance de lecture de la technologie RFID semi-passive.

Références

- [1] N. Barbot *et al.*, "Classical RFID versus chipless RFID read range : Is linearity a friend or a foe?" *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 69, no. 9, pp. 4199–4208, Sep. 2021.
- [2] S. Preradovic *et al.*, "Multiresonator-based chipless RFID system for low-cost item tracking," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 57, no. 5, pp. 1411–1419, May 2009.
- [3] H. El Matbouly *et al.*, "Chipless sensing system compliant with the standard radio frequency regulations," *IEEE RFID J.*, vol. 3, no. 2, pp. 83–90, Jun. 2019.
- [4] A. Vena *et al.*, "A depolarizing chipless RFID tag for robust detection and its FCC compliant UWB reading system," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 61, no. 8, pp. 2982–2994, Aug. 2013.
- [5] M. Garbati *et al.*, "High performance chipless RFID reader based on IR-UWB technology," in *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Lisbon, Portugal, Apr. 2015, pp. 1–5.
- [6] R. Tavares de Alencar *et al.*, "Practical comparison of decoding methods for chipless RFID system in real environment," in *2019 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA)*, Pisa, Italy, Sep. 2019, pp. 207–211.
- [7] A. Vena *et al.*, "Chipless RFID tag using hybrid coding technique," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 59, no. 12, pp. 3356–3364, Dec. 2011.
- [8] F. Costa *et al.*, "A chipless RFID based on multiresonant high-impedance surfaces," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 61, no. 1, pp. 146–153, Jan. 2013.
- [9] M. Khaliel *et al.*, "Long reading range chipless RFID system based on reflectarray antennas," in *2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Paris, France, Mar. 2017, pp. 3384–3388.