



# NANO, MESO, MICRO : SCIENCES ET INNOVATIONS POUR LA RADIO ET LA PHOTONIQUE.

## Communications Tag à Tag Passives en RFID UHF *UHF RFID Passive Tag-to-Tag Communications*

---

Tarik Lassouaoui<sup>1</sup>, Florin Doru Hutu<sup>1</sup>, Guillaume Villemaud<sup>1</sup>, Yvan Duroc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univ Lyon, INSA Lyon, Inria, CITI, EA3720, 69621 Villeurbanne, France, {tarik.lassouaoui, florin-doru.hutu, guillaume.villemaud}@insa-lyon.fr

<sup>2</sup>Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, INSA Lyon, École Centrale de Lyon, CNRS, Ampère, UMR5505, 69122, Villeurbanne, France {yvan.duroc}@univ-lyon1.fr

---

*Mots clés (en français et en anglais) : RFID, Profondeur de modulation, Rétro-modulation, Taux d'Erreur Binaire.*

*RFID, Modulation Depth, Backscattering, Bit Error Rate.*

---

### Résumé/Abstract

La technologie RFID (Identification par radiofréquence) en UHF (Ultra Hautes Fréquences) est aujourd'hui largement déployée mais elle ne cesse d'évoluer élargissant ses champs applicatifs et se dotant de nouvelles fonctionnalités comme la capture d'informations ou le pilotage d'actionneurs. Un indicateur significatif de cette évolution est la révision actuelle du standard EPC Gen 2 en Europe avec l'ouverture de nouvelles bandes de fréquence. Dans ce contexte général, un nouveau paradigme, appelé communication tag à tag, consiste à faire communiquer les tags directement entre eux. Le lecteur RFID (ou toute autre source RF externe) ne serait alors utilisé que comme source d'énergie pour assurer l'activation des tags passifs et comme support pour le transfert d'informations entre les tags. Ce travail présente une méthode et des métriques pour évaluer la performance des communications tag à tag. Différents scénarios sont considérés prenant en compte, d'une part, la configuration géométrique des deux tags communicants, et d'autre part, la position du lecteur. Les résultats obtenus mettent en évidence l'impact du couplage mutuel entre les tags mais aussi l'impact de l'orientation de la source sur la profondeur de modulation et le taux d'erreur binaire.

Nowadays, RFID (Radio Frequency Identification) technology in UHF (Ultra High Frequency) is widely deployed, but it continues to evolve, expanding its application fields and adding new functionalities such as sensing or actuator control. A sign of this evolution is the current revision of the EPC Gen 2 standard in Europe with the opening of new frequency bands. In this context, a new paradigm, called tag-to-tag communication, consists in making tags communicate directly with each other. The RFID reader (or any external RF source) is employed as an energy source to ensure the activation of the passive tags and as a medium for the communication between the tags. This paper presents a method and metrics to evaluate the performance of tag-to-tag communications. Several scenarios are presented, considering, on the one hand, the geometrical configuration of the two communicating tags, and on the other hand, the position of the reader. The obtained results highlight the impact of the mutual coupling between the tags but also the impact of the source orientation on the modulation depth and on the bit error rate.

### 1 Introduction

Le concept de communication tag à tag (T2T) a été proposé pour la première fois dans le domaine de la RFID (Identification par Radio Fréquence) par Nikitin [1], qui a ensuite proposé un premier démonstrateur [2]. L'idée est d'établir une communication entre un tag dit lecteur (noté RT, Reader Tag) et un tag dit récepteur (noté LT, Listener Tag) en présence d'une source radiofréquence (RF) distante, par exemple un lecteur RFID. La communication T2T est basée, comme en RFID passive, sur le principe de la rétro-modulation : le tag lecteur commute l'impédance vue par son antenne sur deux charges différentes (par exemple, un circuit-ouvert (CO) et un court-circuit (CC)) ce qui a pour conséquence de moduler l'onde continue émise par la source RF, qui est alors démodulée par le tag récepteur. Le démonstrateur [2] a montré qu'il était possible d'établir une communication entre deux tags distants de 25 mm (c'est-à-dire  $0.076\lambda$  à 915 MHz).

Les travaux présentés dans cette communication visent à évaluer la performance d'un système T2T en considérant de multiples scénarios prenant en compte différentes configurations géométriques entre les deux tags ([2] les supposaient alignés et parallèles) mais aussi en considérant la position de la source relativement aux deux tags formant le système T2T ce qui à notre connaissance n'avait pas encore été réalisé. Outre la méthode originale proposée, de nouveaux résultats sont mis en évidence concernant la diversité des scénarios envisagés et la proposition d'une analyse de type système par l'intermédiaire du taux d'erreur binaire. La section 2 présente les hypothèses considérées et les aspects méthodologiques mis en œuvre. La section 3 synthétise les principaux résultats obtenus et les discute. Enfin la section 4 conclut cette communication et donne quelques éléments de perspectives.

## 2 Méthode d'évaluation mise en place

Pour cette étude, des antennes dipôles imprimés sont considérées. Il s'agit de structures d'antennes simples sur lesquelles les tags sont habituellement basés et elles sont généralement modifiées pour miniaturisation, adaptation avec la puce, etc.). La méthode d'évaluation proposée des systèmes T2T reste toutefois valable pour tous types d'antennes.

### 2.1 Caractérisation électromagnétique du système antennaire pour les deux états de commutation

En simulation, et expérimentalement pour validation, l'impédance d'entrée du tag récepteur LT, notée  $Z_{in,ON/OFF}$ , est évaluée en fonction de la configuration géométrique entre les deux tags, et de la charge du tag lecteur RT (en CO ou en CC correspondant respectivement aux états notés ON ou OFF). De plus, la simulation permet également de déduire le gain en champ lointain du réseau formé par les deux antennes, noté  $G_{ON/OFF}$ , pour chacune des deux charges considérées.

### 2.2 Détermination de la profondeur de modulation, caractéristique de la rétro-modulation

La profondeur de modulation du signal rétro-modulé, utilisé comme métrique d'évaluation, est alors déterminée. Considérant une modulation de type ASK (Amplitude Shift Keying) sur deux états (dont les niveaux de tension sont notés  $A_{ON}$  et  $A_{OFF}$ , l'expression de la profondeur de modulation, notée  $D$ , est définie comme suit :

$$D = \frac{|A_{ON} - A_{OFF}|}{\text{Max}(A_{ON}, A_{OFF})} \quad (1)$$

$A_{ON/OFF}$  (forme condensée pour  $A_{ON}$  ou  $A_{OFF}$ ) peut être déterminée par l'expression suivante :

$$A_{ON/OFF} = A_{in} \cdot G_{ON/OFF} \left| 1 - \left( \frac{Z_{in,ON/OFF} - Z_0}{Z_{in,ON/OFF} + Z_0} \right) \right| \quad (2)$$

où  $A_{in}$  est la tension vue à l'entrée du LT (énergie délivrée par la source RF externe) et où  $Z_0$  est l'impédance de référence (ici considérée égale à  $50 \Omega$ ).

A noter que plus la profondeur de modulation (qui est comprise entre 0 et 100%) est grande, plus la différence entre les deux niveaux (CO et CC) est grande, et plus performante sera la démodulation, et par conséquent la robustesse au bruit de la communication T2T.

### 2.3 Détermination du taux d'erreur binaire du système T2T

Enfin, l'étude est complétée en considérant le système T2T complet : le taux d'erreur binaire, noté BER, est alors calculé, pour le cas classique d'un bruit blanc gaussien additif, en considérant qu'au niveau du récepteur, un démodulateur passif non-cohérent est implémenté. En fonction de la profondeur de modulation, l'expression du BER s'écrit d'après [3] comme suit :

$$BER_{NC} = \frac{1}{2} \cdot \exp \left( - \frac{A_{in} A_{ON} T_s}{8 N_0} \cdot \frac{D^4 - 2D^3 + 2D^2}{2 - D} \right) \quad (3)$$

où  $T_s$  est la durée d'un bit et  $N_0$  est la puissance du bruit.

A noter que, comme attendu, le BER est une fonction strictement décroissante à mesure que la profondeur de modulation augmente.

## 3 Résultats obtenus

La figure 1 présente les différentes configurations et scénarios envisagés, tout en définissant les paramètres géométriques qui sont pris en compte pour analyser la performance du système T2T.

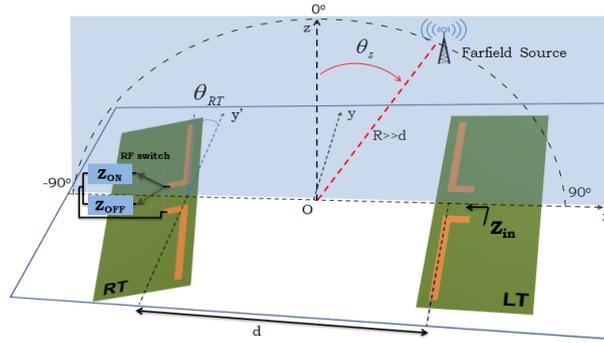


Figure 1 : Configuration géométrique des deux antennes formant le système T2T.

L'impact des paramètres suivants est plus particulièrement étudié : i) la distance ( $d$ ) entre les deux tags, qui est normalisée par rapport à la longueur d'onde  $\lambda$  dans les résultats présentés ; ii) l'alignement du RT par rapport au LT selon l'axe  $y'$  ; iii) l'orientation du RT ( $\theta_{RT}$ ) par rapport au LT ; iv) et la position ( $\theta_s$ ) de la source RF distante, supposée placée en champ lointain, par rapport au système T2T.

Les figures suivantes (figure 2 à 5) donnent un aperçu des principaux résultats obtenus.

Les figures 2 et 3 montrent l'impédance du LT (mesurée et simulée),  $Z_{in,ON/OFF}$ , en fonction de la distance entre les deux tags, supposés ici alignés, respectivement pour les cas CC et CO (états ON et OFF). Un bon accord entre simulation et mesure est observé. La même concordance simulations-mesures ; a été aussi vérifiée pour les autres configurations envisagées. Pour l'analyse en termes de profondeur de modulation et de taux d'erreur binaire, les résultats présentés sont alors exclusivement issus des données de simulation (mais ont donc été consolidées par la mesure de l'impédance  $Z_{in,ON/OFF}$ ).

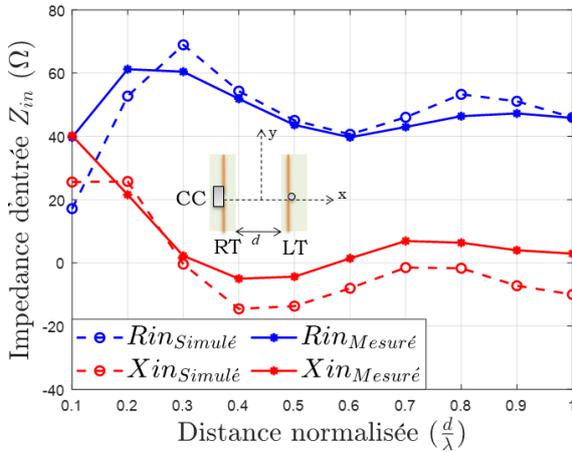


Figure 2. Impédance d'entrée du LT en fonction de la distance (normalisée par la longueur d'onde,  $\lambda$ ) entre les deux tags : RT en CC et tags alignés.

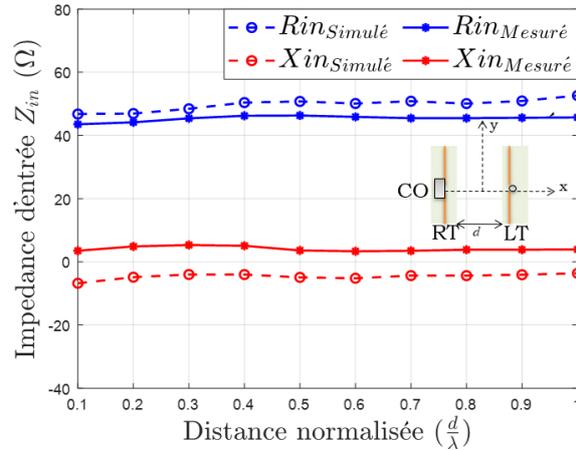


Figure 3. Impédance d'entrée du LT en fonction de la distance (normalisée par la longueur d'onde,  $\lambda$ ) entre les deux tags : RT en CO et tags alignés.

Les figures 4 et 5 montrent la profondeur de modulation ( $D$ ) pour différents scénarios. Pour la figure 4, la source distante est alignée avec le système antennaire ( $\theta_s = 0$ ) et c'est l'impact de la position relative entre les tags qui est comparé et quantifié. On peut ici observer que pour une faible distance de séparation entre les tags, l'impact de leur position relative est plus important, alors que la configuration devient moins sensible à ce facteur lorsque la distance entre les tags augmente. On remarque également que les allures de la profondeur de modulation tendent à décroître avec la distance tout en oscillant. Par exemple, lorsque les tags sont alignés,  $D$  varie de plus de 70% pour une distance normalisée égale à 0,1 à seulement quelques pourcents pour les distances normalisées 0,4 et 0,9, avec un passage à près de 30% pour une distance normalisée de 0,7.

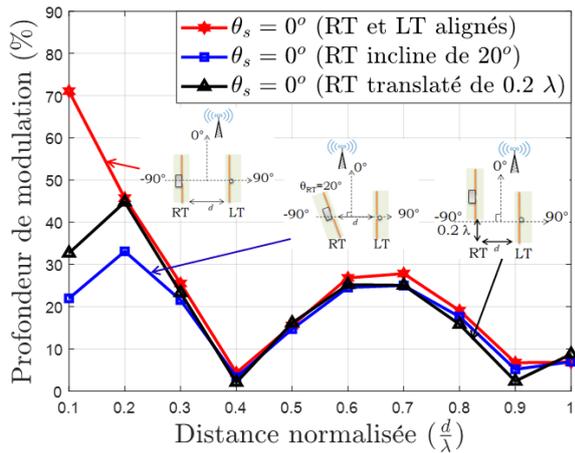


Figure 4. Profondeur de modulation du LT en fonction de la distance normalisée : trois configurations géométriques et source fixe ( $\theta_s = 0^\circ$ ).

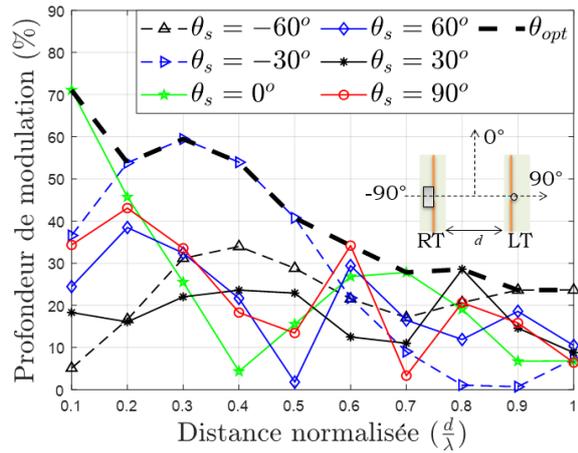


Figure 5. Profondeur de modulation du LT en fonction de la distance normalisée : tags alignés et six positions de la source ;  $\theta_{opt}$  position optimale.

Il est important de noter, qu'en plus de l'impédance d'entrée du LT, le gain  $G_{ON/OFF}$ , (bien que non représenté ici) joue aussi un rôle déterminant sur la profondeur de modulation qui est donc très difficile à « prédire ». C'est pourquoi la méthodologie présentée est particulièrement intéressante : elle permet de quantifier précisément la profondeur de modulation (et donc la performance du système T2T) pour tout type de configuration. La figure 5 complète cette démonstration en envisageant, dans le cas de tags alignés, l'impact de la position de la source distante. Ici aussi, on observe d'importantes fluctuations de la profondeur de modulation en fonction du scénario envisagé. En particulier, pour une configuration géométrique donnée des deux tags, une orientation adaptée de la source RF distante permet d'optimiser la profondeur de modulation ; et à l'inverse, pour une source RF distante donnée, il est possible de choisir une configuration géométrique adaptée qui maximise la profondeur de modulation.

Enfin, la figure 6 montre le BER (calculé avec les hypothèses mentionnées dans la section 2) dans le cas où les deux tags sont alignés et séparés de  $\lambda/10$ ,  $\lambda/4$  et  $\lambda$ , et où la source RF distante est positionnée telle que  $\theta_s = 0^\circ$ . Comme attendu, les meilleures performances sont obtenues pour la distance  $\lambda/10$  entre les tags pour laquelle la profondeur de modulation est la plus élevée. Le pire cas est obtenu pour la distance  $\lambda$  pour laquelle la profondeur de modulation est faible (comme observé sur la figure 4). L'intérêt de déterminer le BER est notamment de prendre en compte l'ensemble du système (démodulateur compris) et dans un même temps d'obtenir une métrique de performance classiquement utilisée dans le domaine des télécommunications.

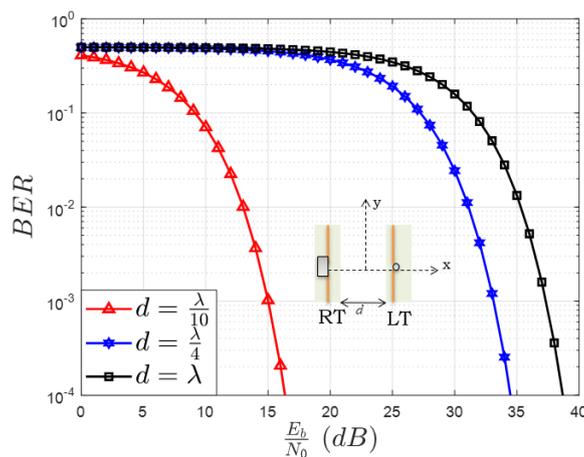


Figure 6. Taux d'erreur binaire : tags alignés, trois distances considérées et source fixe ( $\theta_s = 0^\circ$ ).

## **4 Conclusion**

Cette communication présente une méthode pour estimer la performance d'un système T2T en termes de profondeur de modulation et de taux d'erreur binaire. Les résultats obtenus montrent la forte sensibilité de la profondeur de modulation en fonction du scénario envisagé. Dans un même temps, l'étude proposée permet de mieux comprendre et d'analyser l'influence du couplage mutuel entre les tags, ainsi que l'impact de la position de la source, facteur peu mis en évidence jusqu'ici. Plus globalement, il est important de retenir que la méthodologie mise en place permet non seulement d'obtenir la profondeur de modulation pour tous types de scénarios (positions relatives des tags et positions de la source) mais aussi le taux d'erreur binaire pour ces différents scénarios avec la liberté de considérer différentes variétés de démodulateurs et de bruits.

Il est fort probable que des solutions alternatives aux systèmes de communication actuels, basées sur des systèmes de type « zéro énergie » (exploitant les ondes RF ambiantes) vont se développer intensément dans les années à venir. La méthode présentée permettra ainsi de définir précisément des spécifications et des limitations pour réaliser des systèmes de communication T2T robustes.

## **Remerciement**

Ce travail a été financé par la chaire SPIE ICS-INSA Lyon

## **Références bibliographiques**

- [1] P.V. Nikitin et al., "RFID paperclip tags," IEEE International Conference on RFID, Orlando, FL, USA, April 12-14, 2011, pp. 162-169.
- [2] P.V. Nikitin et al, "Passive tag-to-tag communication," IEEE International Conference on RFID, Orlando, FL, USA, April 3-5, 2012, pp. 177-184.
- [3] T. Lassouaoui, F. Hutu, Y. Duroc and G. Villemaud, "Theoretical BER Evaluation of Passive RFID Tag-To-Tag Communications," IEEE Radio and Wireless Symposium, San Antonio, TX, USA, January 26-29, 2020, pp. 213-216.