



**HAL**  
open science

## Diversité spatiale pour l'augmentation de la robustesse de détection des tags RFID sans puce

Raymundo de Amorim, Romain Siragusa, Nicolas Barbot, Etienne Perret

► **To cite this version:**

Raymundo de Amorim, Romain Siragusa, Nicolas Barbot, Etienne Perret. Diversité spatiale pour l'augmentation de la robustesse de détection des tags RFID sans puce. XXIIèmes Journées Nationales Microondes, Jun 2022, Limoges (France), France. hal-04042514

**HAL Id: hal-04042514**

**<https://hal.science/hal-04042514v1>**

Submitted on 23 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.

## Diversité spatiale pour l'augmentation de la robustesse de détection des tags RFID sans puce

Raymundo de Amorim Jr<sup>1</sup>, Romain Siragusa<sup>1</sup>, Nicolas Barbot<sup>1</sup>, Etienne Perret<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes, 50 rue Barthélémy de Laffemas 26902 Valence (raymundo.de-amorim-junior, romain.siragusa, nicolas.barbot, etienne.perret)@lcis.grenoble-inp.fr

**Résumé** — Une technique de diversité spatiale pour l'amélioration de la robustesse de détection des tags RFID sans puce est introduite. L'idée est d'extraire le maximum de signal utile (relatif aux informations ou à l'identification du tag) du signal total en utilisant une configuration de lecture bistatique dédiée. D'abord, une preuve de concept est évaluée en simulation, puis l'étude d'un tag sans puce composé d'un réseau de dipôles est réalisée à des fins d'identification. Des mesures en environnement anéchoïque et réel sont évaluées en tenant compte de la présence d'objets selon différentes configurations.

### 1. Introduction

Les besoins en matière d'identification et de saisie d'informations physiques sont parmi les principaux sujets d'étude des sociétés modernes. L'identification par radiofréquence (RFID) est l'une des principales technologies dans le domaine de l'identification. Cette technique est utilisée pour récupérer automatiquement l'identifiant d'un tag à distance. Les tags RFID peuvent être classés selon la présence ou non d'une puce électronique [1]. Parmi les systèmes RFID, la RFID UHF a connu une large implantation, chaque tag étant composé d'une antenne qui rétrodiffuse un signal modulé par une puce. Comparé à la RFID UHF, les tags RFID sans puce sont moins coûteux car ils n'utilisent pas de puce. Comparé aux codes à barres, la RFID sans puce permet une lecture sans visibilité directe grâce aux propriétés des signaux RF. Ainsi, la technologie RFID sans puce est vue comme une technologie intermédiaire entre les codes-barres et la RFID classique [1].

Les informations codées dans les systèmes sans puce sont directement liées à la géométrie des motifs métalliques qui composent le tag. Dans le cas d'un tag basé sur le codage en fréquence, les résonances du tag se matérialisent par l'apparition de creux/pics dans le spectre du signal rétrodiffusé. La récupération de l'identifiant du tag consiste donc dans ce cas à déterminer précisément la position en fréquences de ces creux/pics. De nombreuses applications au-delà de l'identification ont été rapportées comme un capteur d'angle insensible aux variations de distance [2], des tags RFID sans puce fonctionnant en bande millimétrique pour des applications d'authentification [3].

L'un des principaux défis des systèmes RFID sans

puce est l'amélioration de la robustesse de la lecture. L'enjeu majeur consiste à récupérer de manière fiable l'identifiant du tag dans un environnement réel qui introduit des signaux d'une amplitude, le plus souvent, bien supérieure à celle du tag. La technique proposée exploite l'angle entre les antennes du lecteur en configuration bistatique. En choisissant correctement cet angle, il est possible de supprimer le mode quasi-optique du signal rétrodiffusé.

### 2. Principe de fonctionnement

La Figure 1 montre le schéma de principe sur lequel est basé l'approche de diversité spatiale d'un système RFID sans puce. Le lecteur transmet un signal large bande à polarisation verticale qui arrive au tag. Le signal reçu est principalement composé des réponses quasi-optiques provenant d'environnement. En revanche, à  $\beta = \phi^\circ$ , les réflexions quasi-optiques sont considérablement réduites, et la majorité du signal reçu provient donc du mode résonnant du tag. Il est donc clair que l'angle bistatique permet d'améliorer la relation entre le mode résonnant et le mode quasi-optique. Comme l'information n'est codée que dans le mode résonnant de la réponse du tag, l'addition complexe du mode quasi-optique avec le mode résonnant peut empêcher la détection de l'identifiant, les pics peuvent ainsi complètement disparaître du spectre de fréquence du fait de la présence du niveau du bruit de fond.

Dans cette étude, nous allons montrer qu'il est possible de trouver un angle  $\beta = \phi^\circ$  (Figure 1) pour lequel les ré-

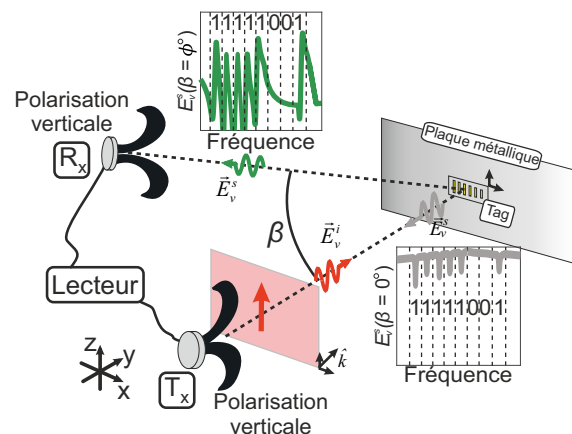


FIGURE 1. Principe de la diversité spatiale d'un système RFID sans puce en tenant compte des différents signaux et polarisations associés.

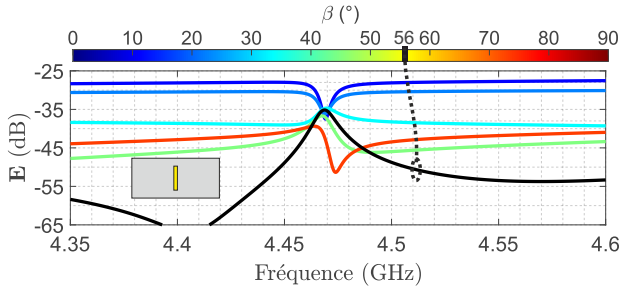


FIGURE 2. Amplitude du champ électrique rétrodiffusé en fonction de la fréquence pour différents angles  $\beta$ .

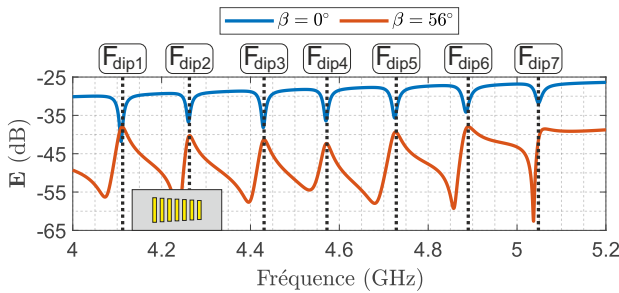


FIGURE 3. Réponse fréquentielle en co-polarisation du champ E d'un tag à 7 résonateurs pour deux angles  $\beta$ .

flexions quasi-optiques sont considérablement réduites par rapport au mode résonnant du tag permettant alors la lecture de l'identifiant. La Figure 2 montre le champ rétrodiffusé par un dipôle sur plan de masse en fonction de la fréquence pour différents angle  $\beta$ . Pour un angle  $\beta = 0^\circ$ , la réponse présente un creux relativement faible, ce qui décrit la prépondérance du mode quasi-optique sur le mode résonnant alors que pour  $\beta = 56^\circ$ , le mode de résonance du dipôle est clairement visible. Nous montrons que cet angle permet de maximiser le rapport entre le mode résonnant et la contribution quasi-optique. Il s'agit donc de l'angle le plus favorable pour éliminer la contribution de l'environnement et donc pour récupérer l'identifiant du tag.

La Figure 3 montre une forme caractéristique de résonateurs du second ordre pour  $\beta = 56^\circ$  qui prouve que dans cette configuration seul le mode résonnant est récupéré. Les réflexions quasi-optiques sont fortement atténuées.

Par la suite, un tag composé d'un réseau de 7 dipôles avec un plan de masse est simulé et fabriqué. Les longueurs des dipôles qui composent le tag sont données dans la Figure 4, chaque dipôle a une largeur  $W_{dip} = 1.5$  mm. Le substrat est du Rogers 4003C avec une permittivité relative  $\epsilon_r = 3.38$  une tangente de perte  $\tan \delta = 0.0027$  et une épaisseur de 0.81 mm. Un plan de masse de dimensions  $L = 25$  mm et  $W = 70$  mm est utilisé. Les fréquences du tag sont distribuées dans la bande de 4.25 GHz – 5.5 GHz. La simplicité du tag utilisé permettra une évaluation facile de la technique.

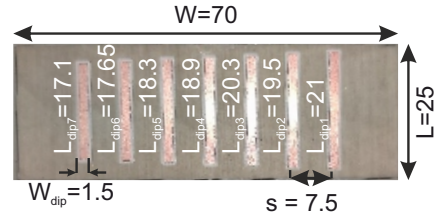


FIGURE 4. Tag fabriqué avec 7 résonateurs et un plan de masse, toutes les dimensions sont en millimètre

### 3. Banc de mesure et résultats dans l'environnement anéchoïque

Les mesures sont réalisées avec un PNA Agilent N5222A (0.01 GHz – 26.5 GHz). Un réseau de probes distribué de manière circulaire (StarLab de MVG) est utilisé pour mesurer le diagramme de rayonnement. Cela est équivalent à un système sphérique multi-probes. Comme le montre la Figure 5(a), l'ensemble du dispositif est entouré de matériaux absorbants, qui reproduisent les conditions d'espace libre. Le système sphérique sont composés de deux réseaux de probes installés sur une arche de 45 cm de rayon. Le réseau de probes est destiné aux mesures sur une gamme de fréquences de 0.65 GHz – 6.0 GHz. Chaque probe possède deux antennes à polarisation croisée linéaire,  $(R_\phi, R_\theta)$ , respectivement [voir la Figure 5(a)]. Une rotation de l'arche permet d'effectuer des mesures le long de la rotation  $\phi$ . D'ailleurs, seule la probe numéro 3 a été utilisée, les mesures sont effectuées dans une plage angulaire de  $[48.75^\circ, 63.75^\circ]$ , comme le montre la Figure 5(b), ce qui permet dans notre cas de couvrir l'angle optimal.

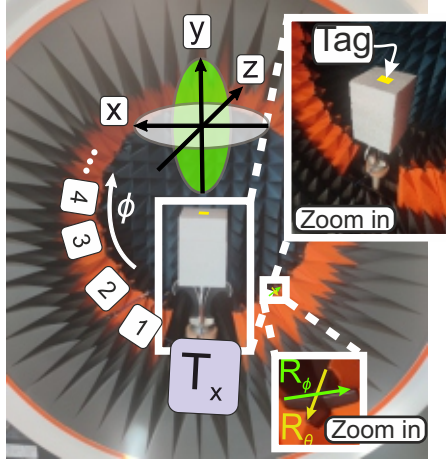
Trois configurations de mesure d'antenne sont évaluées à des fins de comparaison dans une chambre anéchoïque (StarLab-MVG) :

- $S_{11}$  : Mesure mono-statique. L'antenne d'émission (QH800), reçoit le signal.
- $S_{21}(\beta = 2.5^\circ)$  : la configuration bistatique avec  $\beta \approx 0^\circ$ , où l'isolation entre les antennes est supérieure à 20 dB. Une antenne est la QH800 et l'autre est la probe numéro 1.
- $S_{21}(\beta = 60^\circ)$  : la configuration bistatique à  $\beta \approx 56^\circ$ . Dans ce cas, l'antenne QH800 et la probe numéro 3 sont utilisées.

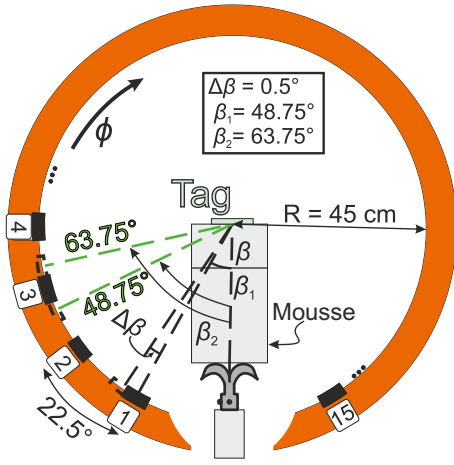
Une méthode classique de calibration a été utilisée pour extraire les fréquences de résonance du tag  $(f_1, \dots, f_7)$ . Ainsi, la connaissance exacte des fréquences de résonance exactes est assurée. Les fréquences obtenues sont indiquées par des lignes pointillées verticales dans les figures. Ceci sera utile à des fins de comparaison.

#### 3.a. Évaluation des mesures brutes

Les mesures sont évaluées sans aucun post-traitement. Si l'on considère les mesures mono-statiques  $|S_{11}|$ , comme représenté dans la Figure 6, la réponse en fréquence ne présente pas de résonances marquées. Par conséquent, le faible rapport signal à bruit (RSB) (dû au niveau élevé d'amplitude du mode quasi-optique présent dans la réponse du tag) fournit un signal dans lequel les informations du tag ne sont pas lisibles. Dans la confi-

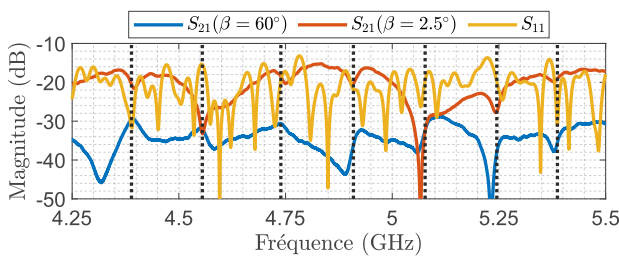


(a)



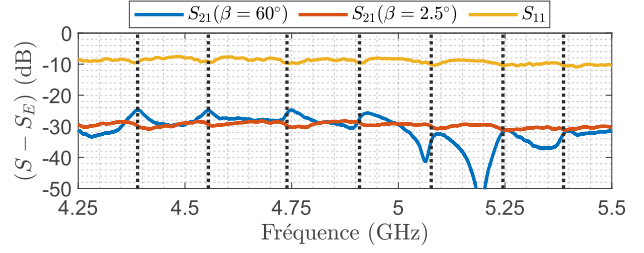
(b)

**FIGURE 5. (a) Le dispositif de mesure sphérique à balayage électronique et mécanique, (b) la configuration géométrique du dispositif sphérique.**



**FIGURE 6. Mesures brutes de la réponse dans le domaine fréquentiel pour la configuration mono-statique  $|S_{11}|$  et les configurations bistatiques  $|S_{21}(\beta = 2.5^\circ)|$  et  $|S_{21}(\beta = 60^\circ)|$ . Les fréquences de résonance ( $f_1, \dots, f_7$ ) ont été caractérisées en chambre anéchoïque en utilisant une technique de calibration.**

guration bistatique  $|S_{21}(\beta = 2.5^\circ)|$ , une réflexion élevée est mise en évidence, principalement due à la réflexion du plan de masse, mais quelques résonances visibles par les creux dans la réponse fréquentiel sont visibles sur la Figure 6, cela indique que la configuration bistatique améliore le RSB. Ensuite, le signal  $|S_{21}(\beta = 60^\circ)|$  est évalué ;

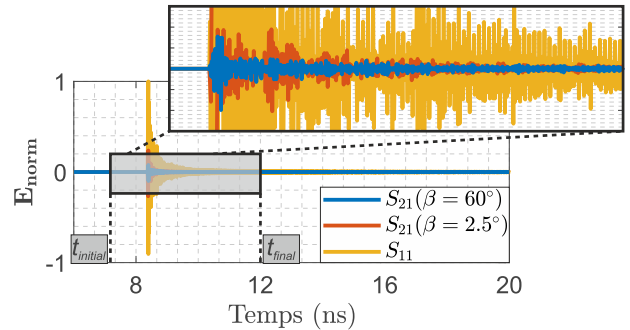


**FIGURE 7. Soustraction des mesures brutes avec la mesure d'environnement pour la configuration mono-statique  $|S_{11}|$  et les configurations bistatiques ( $|S_{21}(\beta = 2.5^\circ)|$ ;  $|S_{21}(\beta = 60^\circ)|$ ) en considérant des objets.**

il est possible d'identifier des pics et des creux importants, qui n'étaient pas notables pour les autres configurations ( $|S_{11}|$  et  $|S_{21}(\beta = 2.5^\circ)|$ ). Notez que même sans post-traitement (comme du filtrage dans le domaine temporel), l'information encodée par le tag peut être récupérée dans cette configuration. Comme le tag est analysé à différentes fréquences, le diagramme de radiation re-rayonnement du tag change principalement en raison de l'influence du plan de masse. Ensuite, pour certaines fréquences, le RSB est maximal. Cependant, pour certaines d'entre elles, principalement  $f_7$ , le RSB a un impact négatif, la même situation est mise en évidence précédemment dans la Figure 3. Figure 3.

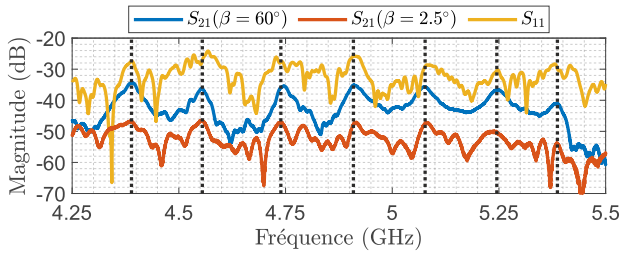
### 3.b. Évaluation des mesures brutes en présence des objets

Certains objets sont placés à proximité du tag. La présence de l'objet augmente considérablement le mode quasi-optique, et une réponse en fréquence plate peut être observée sur la Figure 7, dans le cas de la configuration mono-statique  $|S_{11}|$  et bistatique  $|S_{21}(\beta = 2.5^\circ)|$ . Sur la mesure  $|S_{21}(\beta = 60^\circ)|$ , les pics et les creux sont évidents. Cependant, en raison du niveau élevé du mode quasi-optique, pour plusieurs fréquences (à l'exception de  $f_1$ , et  $f_2$ ), la réponse présente des pics ou des creux décalés. Par conséquent, la technique du filtrage temporel doit être réalisée pour accéder aux fréquences de résonance exactes. Notez que pour améliorer les résultats en



**FIGURE 8. Signaux filtrés dans le domaine temporel dans les configurations mono-statique et bistatique en considérant la présence d'un objet. Le temps de départ ( $t_{initial} = 6.82$  ns) et le temps d'arrêt ( $t_{final} = 12$  ns) de la fenêtre de filtrage temporel pour les signaux analysés.**





**FIGURE 9. Signaux dans le domaine fréquentiel en considérant le filtrage temporel dans les configurations mono-statique et bistatique en présence d'un objet.**

cas de présence de l'objet, les courbes présentées dans la Figure 6 sont obtenues à partir de la soustraction de l'environnement ( $S_E$ ) de la mesure du tag. La mesure d'environnement est effectuée sans la présence de l'objet et du tag. Il faut noter que cette opération de post-traitement est indépendante du scénario, et peut toujours être utilisée dans des applications pratiques. Cette soustraction *a posteriori* permet de supprimer l'effet de désadaptation de l'antenne.

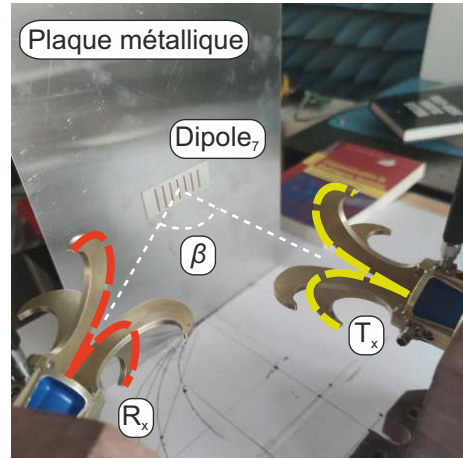
### 3.c. Évaluation des mesures en présence des objets et filtrage temporel

Comme on le voit clairement sur les Figures 6 et 7, certains pics et creux sont décalés par rapport aux fréquences de résonance attendues, ce qui peut affecter de manière significative la robustesse de la lecture. Par conséquent, une étape de post-traitement du signal est nécessaire pour corriger le processus de lecture. Une façon classique d'éliminer partiellement les contributions inattendues de la réponse du tag est de filtrer les signaux dans le domaine temporel [4], [5]. Pour cela, une fenêtre temporelle est positionnée après la réflexion principale du premier objet ( $t_{initial}$ ) jusqu'à un temps donné qui permet d'extraire précisément la réponse résonante ( $t_{final}$ ), en supprimant ainsi le mode quasi-optique au début du signal [5]. Après le filtrage dans le domaine temporel, le signal temporel est converti dans le domaine fréquentiel. Il est important de souligner que tous les signaux traités utilisent la même longueur de fenêtre rectangulaire (la première forte contribution quasi-optique est retirée des signaux). De plus, la soustraction de l'environnement a été effectuée avant l'opération de filtrage temporel.

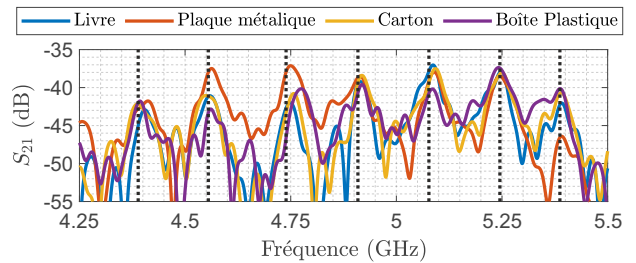
L'amplitude des signaux dans le domaine fréquentiel, après filtrage dans le domaine temporel, est représentée sur la Figure 9. En effet, le  $|S_{21}(\beta = 60^\circ)|$  présente des fréquences de résonance, bien marquées même en présence de l'objet. Nous constatons que pour  $|S_{21}(\beta = 2.5^\circ)|$  et  $|S_{11}|$  cette tendance n'est pas observée du fait de la présence importante de la partie quasi-optique.

## 4. Banc de mesure et résultats dans l'environnement réel

Afin d'évaluer l'efficacité de l'approche proposée, le tag à 7 résonateurs précédemment présentée a été mesuré dans un environnement réel. Deux antennes en polarisation verticale (QH2000) en configuration bistatique



**FIGURE 10. Banc de mesure en environnement réel avec une plaque métallique, les antennes sont co-polarisées suivant un angle  $\beta = 60^\circ$ .**



**FIGURE 11.  $S_{21}(\beta = 60^\circ)$  des signaux co-polarisés dans le domaine fréquentiel après le filtrage temporel en considérant différents objets.**

avec un angle  $\beta = 60^\circ$  et sur une bande de fréquence 4.25 GHz – 5.5 GHz ont été utilisées. Le tag a été placée à une distance de 15 cm des antennes. Le banc est représenté sur la Figure 10. Pour évaluer la robustesse de la méthode, le tag a été placé sur différents objets : un livre, une plaque métallique, une boîte en carton et une boîte en plastique.

Comme la majeure partie du mode quasi-optique est réduite par la diversité spatiale, la réponse du tag présente approximativement les mêmes caractéristiques quel que soit les objets placés à proximité. Cependant, le mode quasi-optique a un impact direct sur les positions des pics de fréquence. Ainsi, une simple étape de filtrage temporel permet d'extraire les fréquences de résonance en éliminant le reste du mode quasi-optique. Les réponses en fréquence après filtrage temporel sont présentées sur la Figure 11. Pour chaque objet, les fréquences obtenues correspondent parfaitement avec l'identifiant attendu.

## 5. Conclusion

Un tag constitué d'un réseau des dipôles a été simulé et mesuré pour évaluer la performance de l'approche bistatique proposée. L'approche est basée sur une mesure en co-polarisation du tag en fonction de l'angle entre les antennes d'émission et de réception ( $\beta$ ). La prédominance du mode de résonance est clairement visible par la présence de pics/creux directement reconnaissables sur la réponse en fréquence, ce qui signifie une perturbation

moindre de l'environnement de mesure. Par conséquent, les sommets des pics peuvent être récupérés et comparés avec les fréquences de résonance attendues du tag. Ceci est obtenu malgré la caractéristique hautement réfléchissante des objets utilisés dans l'environnement réel.

## 6. Remerciements

Ce travail a été financé par l'ANR dans le cadre du projet AUSTRALE (ANR-18-CE39-0002) ainsi par le conseil européen de la recherche (ERC) dans le cadre du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne (ScattererID) sous la subvention N 772539. Les auteurs voudraient également remercier l'UGA pour son soutien.

## Références

- [1] E. Perret, *Radio Frequency Identification and Sensors : From RFID to Chipless RFID*. John Wiley & Sons, Dec. 2014.
- [2] N. Barbot *et al.*, "Angle Sensor Based on Chipless RFID Tag," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 2, pp. 233–237, 2020.
- [3] R. de Amorim *et al.*, "Millimeter Wave Chipless RFID Authentication Based on Spatial Diversity and 2-D Classification Approach," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 9, pp. 5913–5923, Sep. 2021.
- [4] D. Girbau *et al.*, "Time-coded chipless RFID tags : Design, characterization and application," in *2012 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)*, Nov. 2012, pp. 12–17.
- [5] A. Ramos *et al.*, "Temporal Separation Detection for Chipless Depolarizing Frequency-Coded RFID," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 64, no. 7, pp. 2326–2337, Jul. 2016.