



**HAL**  
open science

## Méthode de Conception de Tags RFID sans Puce Codés à Partir de l'Allure Globale de la SER

Olivier Rance, Romain Siragusa, Pierre Lemaitre-Auger, Etienne Perret

### ► To cite this version:

Olivier Rance, Romain Siragusa, Pierre Lemaitre-Auger, Etienne Perret. Méthode de Conception de Tags RFID sans Puce Codés à Partir de l'Allure Globale de la SER. 20èmes Journées Nationales Micro-Ondes (JNM2017), 2017, Saint-Malo, France. hal-02072884

**HAL Id: hal-02072884**

**<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-02072884>**

Submitted on 12 May 2020

**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.

## Méthode de Conception de Tags RFID sans Puce Codés à Partir de l'Allure Globale de la SER

O. Rance<sup>1</sup>, R. Siragusa<sup>1</sup>, P. Lemaître-Auger<sup>1</sup>, E. Perret<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes, 50 rue Barthélémy de Laffemas, 26902 Valence

<sup>2</sup>Institut Universitaire de France, Paris, France

olivier.rance@lcis.grenoble-inp.fr

**Résumé** – Cet article présente une méthode de conception pour une nouvelle génération de tags RFID sans puce à forte capacité de codage. Le codage est basé sur l'allure globale de la signature EM ce qui permettrait potentiellement d'atteindre une capacité de 128 bits. La conception de tags ayant une signature donnée constitue un problème inverse difficile. Les tags sont réalisés à partir de la projection de la signature objectif sur une base de motifs dont la réponse est connue par avance. L'algorithme de conception est présenté puis évalué pour une base composée de motifs fortement résonants. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et permettent d'envisager la mise en œuvre de l'algorithme pour une base de motifs large bande.

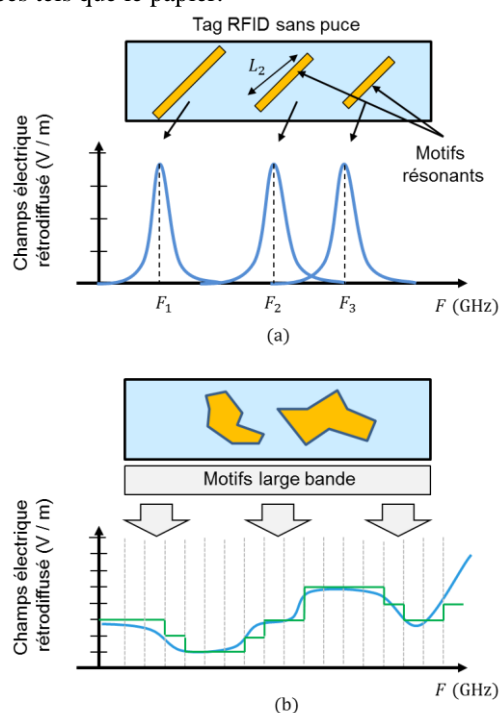
### 1. Introduction

Le marché de l'identification automatique est actuellement dominé par le code-barres optique et la RFID conventionnelle, c'est-à-dire avec une puce. Bien que combinant des avantages liés à ces deux technologies, la RFID sans puce peine à s'imposer comme une alternative sérieuse. L'un des verrous majeurs est la quantité d'information encore limitée qui est codée par les tags RFID sans puce. La capacité actuelle de mémoire ne dépasse pas la cinquantaine de bits [1] alors qu'il faudrait au minimum 128 bits pour espérer pénétrer le marché de la grande consommation.

En RFID sans puce, le codage est réalisé de façon traditionnelle par la présence ou l'absence de pics à certaines fréquences spécifiques du spectre (voir figure 1-a). Des éléments résonants sont présents au sein du tag et la fréquence de résonance est généralement réglée à partir d'un paramètre géométrique tel que la longueur d'un dipôle. Cet article présente une méthode de conception pour une nouvelle génération de tags RFID sans puce dont le codage est basé sur la forme globale de la signature électromagnétique (figure 1-b). Le codage sur l'allure globale est prometteur en termes de capacité de codage car la réponse globale d'un objet est généralement beaucoup plus riche que la présence d'un pic à une fréquence donnée. Une manière simple d'évaluer la quantité d'information contenue dans une signature d'allure quelconque est d'effectuer la conversion du signal analogique en un signal numérique (courbe verte sur la figure 1-b). Pour un signal

rétrodiffusé sur la bande UWB, une capacité de 128 bits peut être obtenue si on peut faire varier le signal sur 3 niveaux de quantification distincts en considérant un pas fréquentiel de 90 MHz.

Contrairement à l'approche classique, il est possible d'utiliser des motifs faiblement résonants pour le codage. L'approche est ainsi compatible avec la réalisation de tags faibles coûts, imprimés à partir d'une encre conductrice sur des substrats présentant des pertes élevées tels que le papier.



**Figure 1. Comparaison entre la méthode de codage classique par présence ou absence (a) et la méthode de codage sur l'allure globale du tag (b).**

### 2. Méthode de conception

La mise en œuvre de l'approche par codage sur la forme globale repose sur la possibilité de générer un tag sans puce ayant une signature EM donnée. La conception d'un tel tag revient à la résolution du problème inverse de la diffraction. Ce problème est de

manière général mal posé et trop complexe pour être résolu par une approche analytique directe.

La méthode choisie pour la conception revient à décomposer la signature de l'objectif sur une base de motifs dont la signature est connue individuellement. L'algorithme de conception est représenté schématiquement figure 2 et le formalisme utilisé pour décrire les signaux à chaque étape est également indiqué. On commence par choisir un objectif réalisable en pratique (étape A) ainsi que la base de motifs utilisés pour la décomposition (étape B). La réponse EM des éléments de la base est obtenue par simulation, ce qui permet de régulariser le problème. On effectue ensuite la projection orthogonale de l'objectif sur l'espace formé par la réponse des différents motifs (étape C). Cette approche linéaire ne tient pas compte des couplages et peut être réalisée rapidement grâce à un logiciel de calcul tel que Matlab. Les coefficients de la combinaison linéaire sont ensuite traduits en termes de manipulations géométriques sur les motifs. Le tag ainsi obtenu est simulé grâce à CST pour évaluer l'impact des couplages et du positionnement des motifs sur la réponse de la structure (étape D). L'erreur obtenue entre l'objectif de départ et la réponse du tag est prise en compte en définissant un objectif corrigé (étape E) qui est à son tour décomposé. L'algorithme peut être itéré afin d'améliorer la précision du résultat.

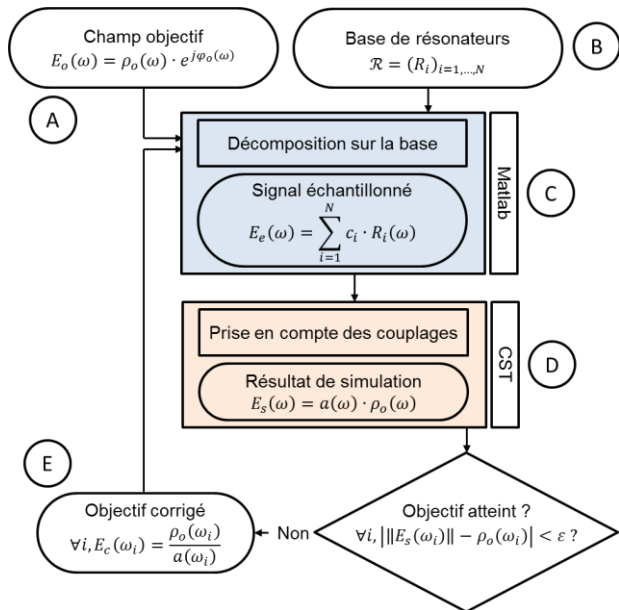


Figure 2. Algorithme de conception d'un tag ayant une signature EM donnée.

### 3. Evaluation de l'algorithme pour une base de motifs résonants

Par souci de simplicité, l'algorithme est utilisé, dans cette première étude, pour une famille de motifs résonants comportant des réponses très sélectives. Cela constitue un cadre d'étude simplifié par rapport au cas large bande pour deux raisons. D'abord un signal résonant possède en première approximation une réponse nulle en dehors de sa zone de résonance. Les éléments de la famille de décomposition peuvent donc être considérés

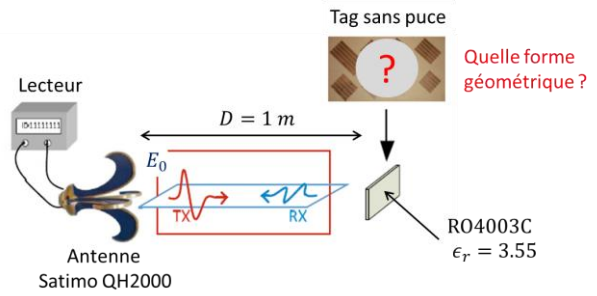


Figure 3. Configuration de mesure donnée à l'avance pour le problème de synthèse.

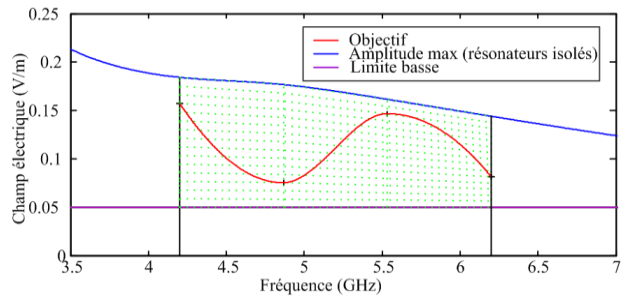


Figure 4. Champ objectif.

comme orthogonaux (à support fini et non contigu). De plus les éléments résonants présentent des couplages mutuels relativement faibles et dont l'impact peut être facilement isolé et évalué. En contrepartie, l'utilisation de motifs fortement résonants comme base de décomposition fournit une version « échantillonnée » de l'objectif.

#### 3.a. Champ objectif

Pour le problème de synthèse, les spécifications portent sur la valeur du champ électromagnétique diffracté  $E_\theta$  qui est donc supposée connue a priori. Le problème de la synthèse du tag consiste alors à déterminer la forme du tag à l'origine de cette valeur de champ diffracté. La signature « objectif » est spécifiée pour une configuration de mesure donnée (figure 3), ce qui permet de considérer uniquement des inconnues liées à la cible elle-même. On considère une configuration de mesure mono-statique en polarisation croisée afin de pouvoir séparer la réponse du tag de celle de son environnement [2]. Le tag est sous incidence normale avec une distance de lecture de  $D = 1\text{m}$  entre le tag et le lecteur. Le tag sera réalisé sur un substrat de type RO4003 ( $\epsilon_r = 3.55$ ) d'épaisseur 0.8 mm d'une dimension comparable à celle d'une carte de crédit.

L'objectif porte uniquement sur la variation en fréquence du module du champ objectif. On détermine un masque dont le rôle est de garantir que l'objectif fixé soit réalisable. La limite haute correspond à l'amplitude maximum des résonateurs isolés (en bleu sur la figure 4). On considère également une limite basse qui est fixée à 0.05 mV/m (en violet sur la figure 4) afin de ne pas intégrer de résonateurs ayant une réponse trop faible pour être mesurée avec précision. La courbe « objectif » est générée par interpolation de quatre points choisis aléatoirement à l'intérieur du masque (courbe rouge sur la figure 4).

### 3.b. Base de résonateurs

Les éléments de base utilisés sont des dipôles microstrips couplés (présence d'un plan de masse) dont la structure et la réponse sont représentées figure 5. Ces éléments se comportent comme des résonateurs demi-onde. La longueur  $L$  des dipôles est utilisée pour ajuster la fréquence de résonance. Les résonateurs sont initialement orientés à  $45^\circ$ , ce qui permet de maximiser la réponse en cross-polarisation. L'orientation  $\theta$  sera utilisée par la suite pour régler l'amplitude de chaque résonateur. La base est constituée de huit résonateurs équi-répartis sur la bande de fréquence 4.2 GHz-6.2 GHz numérotés de 1 à 8. La réponse isolée  $R_k(f)$  des éléments de la base est représentée graphiquement figure 6. La fréquence de résonance et la longueur des dipôles associée est donnée tableau 1. La forme de la base pour des éléments résonants ne permet d'obtenir qu'une version échantillonnée de l'objectif.

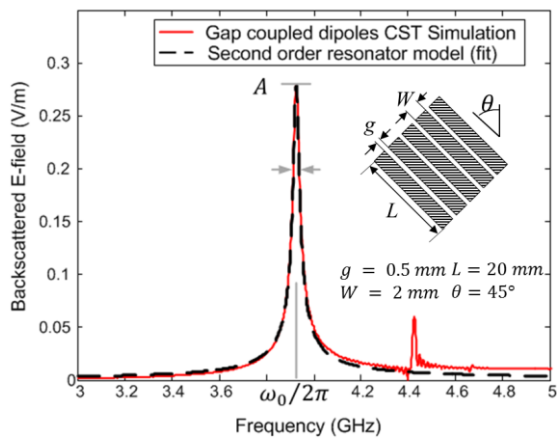


Figure 5. Réponse EM d'un « dipôle microstrip couplé » utilisé comme élément de base pour la décomposition.

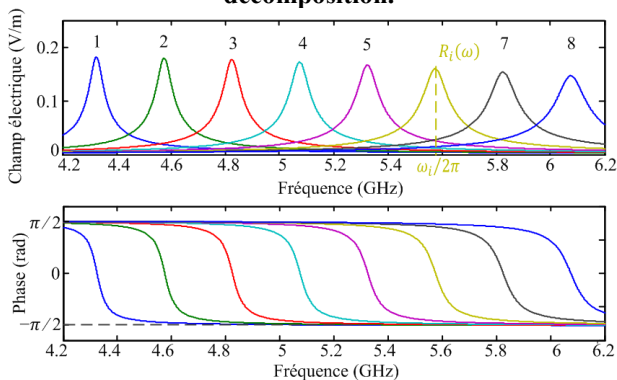


Figure 6. Base de décomposition pour 8 résonateurs microstrips.

N° du résonateur	1	2	3	4	5	6	7	8
Fréq. de rés. (GHz)	4.32	4.57	4.82	5.07	5.32	5.57	5.82	6.07
Longueur L (mm)	18.1	17.0	16.1	15.2	14.4	13.7	13.1	12.5

Tableau 1. Fréquence de résonance et longueur des dipôles de la base de décomposition.

### 3.c. Décomposition sur la base

Cette étape constitue la partie linéarisée du problème (pas de prise en compte des couplages entre résonateurs) et peut être traitée soit analytiquement, soit à l'aide d'un logiciel de calcul numérique type Matlab. On cherche à déterminer une famille de coefficients réels positifs  $(c_k)_{k \leq 8} \in \mathbb{R}_+^N$  permettant la décomposition de la courbe « objectif » sur la base formée par les 8 résonateurs. Il est souhaitable que les coefficients soient réels car la multiplication par un réel positif se traduit simplement en termes géométriques par la rotation du résonateur. Comme l'objectif porte uniquement sur le module du champ rétrodiffusé, le problème peut être formalisé par l'équation :

$$\forall i \leq N, \left| \sum_k c_k \cdot R_k(\omega_i) \right|^2 = |E_o(\omega_i)|^2 \quad (1)$$

Où  $\omega_i$  est la fréquence de résonance des résonateurs isolés. Ce problème est décomposé en parties réelles et imaginaires et résolu dans  $\mathbb{R}_+$  par une approche moindre carrée. La version échantillonnée de l'objectif obtenue grâce à Matlab est représentée graphiquement figure 7. En absence de couplage, on a une très bonne correspondance entre l'objectif et la version échantillonnée.

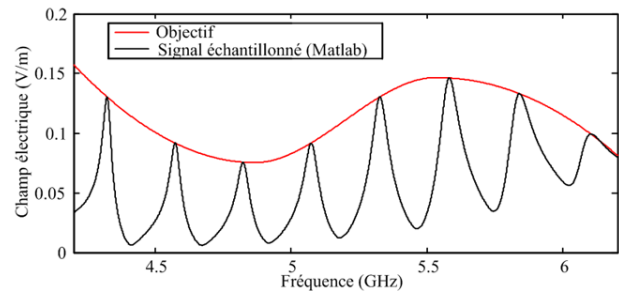


Figure 7. Résultat de la décomposition sur la base par méthode moindre carré (Matlab) pour un objectif réel et des coefficients réels.

### 3.d. Prise en compte des couplages

Une fois la famille des coefficients  $(c_k)_{k \leq 8}$  obtenue, la structure physique du tag est déterminée et simulée grâce à un logiciel de simulation full-wave type CST. Les résonateurs sont disposés sur un substrat de type RO4003C de dimension  $85.6 \text{ mm} \times 85.6 \text{ mm}$  (figure 8).

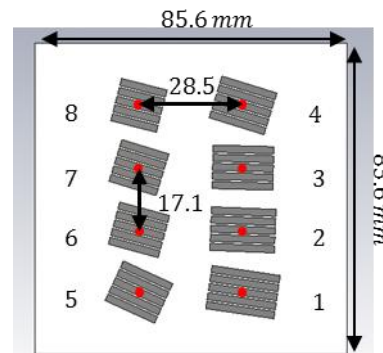


Figure 8. Tag sans puce simulé avec CST Microwave Studio 2014 (solver temporel).



L'amplitude de chaque résonateur peut être contrôlée en jouant sur la différence de polarisation entre l'onde réfléchiée par les résonateurs et celle des antennes [3]. Cela se traduit géométriquement par une rotation du résonateur vis-à-vis des antennes. L'angle de rotation  $\theta_k$  pour chaque résonateur est donné par la relation :

$$\theta_k = \arcsin(c_k)/2 \quad (2)$$

Les simulations électromagnétiques sont effectuées à l'aide du solveur temporel de CST en raison de la présence de résonances multiples réparties sur une large bande fréquentielle. Le fait de considérer des résonateurs ayant des facteurs de qualité élevés (de l'ordre de 160) impose un temps de simulation très long pour obtenir une précision suffisante sur l'amplitude des pics. Les résultats de simulations présentés ont été obtenus sur un serveur de calcul comportant 16 cœurs après une durée de calcul d'approximativement 8 heures.

Le résultat obtenu après simulation pour le tag de la figure 8 noté  $E_s$  est comparé au champ objectif figure 9 (courbe verte).  $E_s$  prend en compte l'effet des couplages ainsi que la position physique des résonateurs. Les résultats obtenus par simulation EM donnent des niveaux d'amplitudes plus importants que ceux attendus par l'approche linéaire. Les écarts les plus importants sont obtenus à partir du pic n° 5 avec un écart maximum de  $0.15 \text{ V/m}$  (110 %) pour le pic n° 7. L'effet des couplages est loin d'être négligeable et constitue en pratique la principale difficulté pour la conception. Il n'existe malheureusement pas de modèle analytique précis des couplages, ce qui permettrait de réduire le temps de calcul.

### 3.e. Itération de l'algorithme.

L'erreur obtenue entre l'objectif et le résultat de simulation est principalement due aux couplages existants entre les résonateurs. On cherche désormais à compenser cet effet des couplages en jouant sur l'orientation des résonateurs. On considère la fonction erreur définie par :

$$e(\omega) = E_o(\omega) - E_s(\omega) \quad (3)$$

qui est ensuite ajoutée à l'objectif initial, afin d'obtenir un « objectif corrigé » prenant en compte l'effet des couplages. Les étapes de décomposition (paragraphe 3.c) et de prise en compte des couplages (paragraphe 3.d) sont répétées en considérant l'objectif corrigé. Le résultat de simulation obtenu après la première itération est représenté graphiquement figure 9. Les résultats obtenus après la première itération sont plus proches de l'objectif comparés à la première simulation. On observe un écart maximum de  $0.03 \text{ V/m}$  (28 %) pour le pic n°8. A partir d'une unique itération, l'algorithme fournit un tag dont la réponse est une version échantillonnée acceptable de l'objectif de départ.

Il est possible de répéter l'algorithme aussi longtemps que le terme d'erreur diminue d'une itération à l'autre. D'un point de vue physique la première itération permet de passer de l'hypothèse selon laquelle il n'existe pas de couplages entre les résonateurs, à

l'hypothèse moins forte qui stipule que les couplages ne dépendent pas de l'orientation des résonateurs. Tant que le terme d'erreur diminue d'une itération à l'autre, les corrections angulaires appliquées aux résonateurs seront de plus en plus faibles et les couplages d'autant moins impactés. Chaque itération nécessite toutefois une simulation full-wave gourmande en temps de calcul. Par conséquent, nous limitons l'étude à la première itération qui apporte l'amélioration la plus significative.

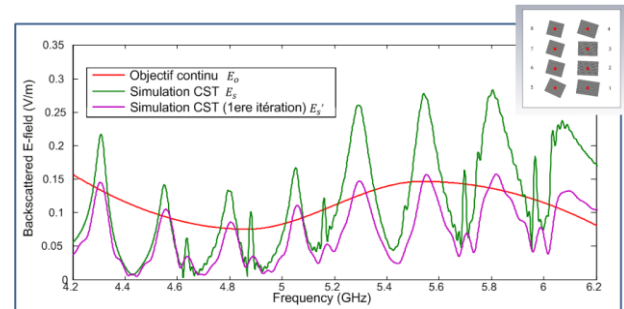


Figure 9. Comparaison entre l'objectif et les résultats obtenus sans itération et après une itération.

## 4. Conclusion

Un algorithme de conception pour des tags RFID sans puce basés sur la forme globale du signal a été présenté. L'algorithme a été évalué pour une base composée de motifs fortement résonants. Les résultats obtenus en simulation sont très satisfaisants. La suite de l'étude consistera dans un premier temps à valider les résultats en mesure, ce qui permettra d'évaluer l'effet de perturbations ainsi que l'impact de la sensibilité du lecteur en pratique. Cette étude pratique est nécessaire pour l'évaluation de la capacité de codage de tags réalisés. Les résultats préliminaires permettent d'envisager la mise en œuvre de l'algorithme pour une base de motifs large bande faiblement résonant. Dans le cas faiblement résonant, des temps de calculs de l'ordre de 5 min ont été obtenus.

## Références

- [1] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, 'High-Capacity Chipless RFID Tag Insensitive to the Polarization', *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 10, pp. 4509–4515, Oct. 2012.
- [2] A. Vena, E. Perret, and S. Tedjini, 'A Depolarizing Chipless RFID Tag for Robust Detection and Its FCC Compliant UWB Reading System', *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 61, no. 8, pp. 2982–2994, Aug. 2013.
- [3] O. Rance, R. Siragusa, P. Lemaitre-Augier, and E. Perret, 'RCS magnitude coding for chipless RFID based on depolarizing tag', in *Microwave Symposium (IMS), 2015 IEEE MTT-S International*, 2015, pp. 1–4.