



**HAL**  
open science

## RCS Différentiel de Tags Modulés

Nicolas Barbot, Olivier Rance, Etienne Perret

► **To cite this version:**

Nicolas Barbot, Olivier Rance, Etienne Perret. RCS Différentiel de Tags Modulés. XXII èmes Journées Nationales Microondes, Jun 2022, Limoges, France. hal-04033696

**HAL Id: hal-04033696**

**<https://hal.science/hal-04033696>**

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.

## RCS Différentiel de Tags Modulés

N. Barbot<sup>1</sup>, O. Rance<sup>1</sup>, E. Perret<sup>1</sup>

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

**Résumé** — Le RCS différentiel caractérise l'aptitude d'un tag à moduler la puissance rétrodiffusée et est classiquement estimé en fonction des variations des voies en phase et en quadrature dans le domaine temporel. Cet article présente les résultats détaillés dans [1] qui introduit une généralisation du RCS rétrodiffusé par un tag et une nouvelle définition du RCS différentiel dans le domaine fréquentiel. La méthode de mesure associée est comparée à la mesure classique dans le domaine temporel. Les résultats montrent un bon accord avec les différentes approches avec une erreur inférieure à 0.5 dB et ne sont qu'à 3.5 dB de la borne théorique.

### 1. Introduction

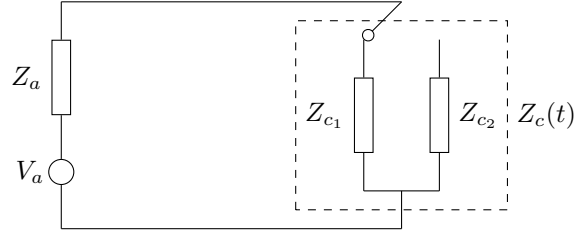
Le RCS différentiel (ou delta RCS) d'un tag UHF RFID a été introduit dans [2] et caractérise l'aptitude d'un tag à moduler la puissance rétrodiffusée. Au fil des ans, plusieurs approches ont été développées pour mesurer cette quantité [2, 3]; cependant, toutes les méthodes fonctionnent sur les variations temporelles du signal rétrodiffusé.

Cet article résume les résultats présentés dans [1] qui introduit une nouvelle approche pour le calcul et la mesure du delta RCS. Sur la base de ces résultats, la méthode proposée permet de mesurer le delta RCS de n'importe quel tag dans le domaine fréquentiel à l'aide d'instruments de laboratoire classiques (*i.e.*, un générateur de signaux vectoriels et un analyseur de spectre). Contrairement à [2], la méthode ne nécessite pas de synchronisation de phase entre les instruments. De plus, la précision de la méthode est améliorée par rapport à [3] puisque le delta RCS est calculé sur toute la fenêtre d'acquisition de l'instrument.

### 2. Formulation Analytique

Comme dans [2], le modèle du tag RFID est basé sur une antenne à "diffusion minimale" chargée. Ces antennes peuvent être décrites par un simple circuit série où  $V_a$  est la tension produite par l'antenne en circuit ouvert,  $Z_a$  est l'impédance de l'antenne et  $Z_c$  l'impédance de la puce. Le circuit est présenté sur la Fig. 1.

Notez que, pour ces antennes, la puissance rétrodiffusée correspond à la puissance dissipée dans  $R_a$  (qui est la partie réelle de  $Z_a$ ). Lorsque le tag module le signal rétrodiffusé, la valeur de  $Z_c$  est commutée entre les deux états d'impédance complexe  $Z_{c1}$  et  $Z_{c2}$  et de coefficients de réflexion associés  $\Gamma_1$  et  $\Gamma_2$  (avec les probabilités respectives



**Figure 1. Circuit équivalent d'une antenne à diffusion minimale chargée par une puce RFID.**

$p$  et  $1-p$ ) et devient fonction du temps. Ainsi, l'enveloppe complexe du courant circulant dans  $R_a$  peut s'écrire :

$$I(t) = \frac{V_a}{Z_a + Z_c(t)} = \frac{V_a}{2R_a} [1 - \Gamma(t)] \quad (1)$$

où  $\Gamma(t)$  est le coefficient de réflexion de la charge sur l'antenne :

$$\Gamma(t) = \frac{Z_c(t) - Z_a^*}{Z_c(t) + Z_a} \quad (2)$$

Notez que,  $\Gamma(t)$  peut toujours être décomposé en une partie constante  $\Gamma_s$  et une partie variable  $\Gamma_d(t)$  avec  $\Gamma(t) = \Gamma_s + \Gamma_d(t)$  avec :

$$\Gamma_s = p\Gamma_1 + (1-p)\Gamma_2 \quad \text{et} \quad \Gamma_d(t) = \Gamma(t) - \Gamma_s \quad (3)$$

où  $\Gamma_s$  est une constante et  $\Gamma_d(t)$  est un processus aléatoire à temps continu et amplitude discrète, centré qui dépend des données transmises et de la modulation utilisée par le tag. Fig. 2 présente une représentation graphique des différentes quantités.

En passant dans le domaine fréquentiel, la Densité Spectrale de Puissance (DSP) du courant  $I(f)$  peut être exprimée à partir de (1) par :

$$S_I(f) = \frac{V_a^2}{4R_a^2} [\delta(f) + S_{\Gamma}(f)] \quad (4)$$

$$= \frac{V_a^2}{4R_a^2} [|1 - \Gamma_s|^2 \delta(f) + S_{\Gamma_d}(f)] \quad (5)$$

où  $S_{\Gamma}(f)$  et  $S_{\Gamma_d}(f)$  sont les DSP de  $\Gamma(t)$  et  $\Gamma_d(t)$  respectivement et  $\delta(f)$  la distribution de Dirac.

La puissance rétrodiffusée reçue par le lecteur peut être obtenue depuis (5) en estimant la puissance dissipée dans  $R_a$  :

$$P_{bs} = \frac{V_a^2 G}{8R_a} \int_{-\infty}^{+\infty} |1 - \Gamma_s|^2 \delta(f) + S_{\Gamma_d}(f) df \quad (6)$$

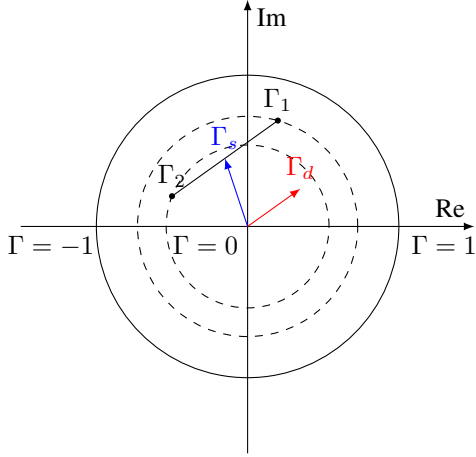


Figure 2. Abaque de Smith du RCS différentiel pour  $p = 1 - p = 0.5$ .

Aussi, (6) peut être séparée comme suit :

$$P_{bs} = \frac{V_a^2 G}{8R_a} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \left[ \int_{-\epsilon}^{+\epsilon} |1 - \Gamma_s|^2 \delta(f) df + \int_{-\infty}^{-\epsilon} S_{\Gamma_d}(f) df + \int_{+\epsilon}^{+\infty} S_{\Gamma_d}(f) df \right] \quad (7)$$

$$= \frac{V_a^2 G}{8R_a} [ |1 - \Gamma_s|^2 + p(1-p)|\Gamma_1 - \Gamma_2|^2 ] \quad (8)$$

$$= P_{bs_s} + P_{bs_d} \quad (9)$$

Ce résultat ne dépend pas de la modulation et des données transmises par le tag. De plus, (9) montre que la DSP rétrodiffusée est composée d'une partie discrète située en  $f = f_0$  et d'une partie continue en  $f \neq 0$ . Indépendamment, la tension en circuit ouvert aux bornes de l'antenne est liée aux caractéristiques de l'antenne par :

$$\frac{V_a^2}{8R_a} = S \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (10)$$

où  $S$ , et  $\lambda$  sont respectivement la densité de puissance reçu par le tag et la longueur d'onde. En considérant le RCS définit par :

$$\sigma = G \frac{P_{bs}}{S} \quad (11)$$

et en réinjectant (9) et (10) dans (11), le RCS (total) d'un tag modulé peut être exprimé par :

$$\sigma = \frac{\lambda^2 G^2}{4\pi} [ |1 - \Gamma_s|^2 + p(1-p)|\Gamma_1 - \Gamma_2|^2 ] \quad (12)$$

$$= \sigma_s + \sigma_d \quad (13)$$

où l'on peut voir que le RCS total correspond en fait à la somme d'un RCS statique et d'un RCS différentiel. Le RCS statique correspond à la réponse d'un système linéaire à temps invariant car la puissance est localisée uniquement en  $f_0$  alors que le RCS différentiel est obtenu à partir de la puissance qui n'est pas localisée en  $f_0$ . De plus, ces deux quantités peuvent être facilement séparées par filtrage dans le domaine fréquentiel.

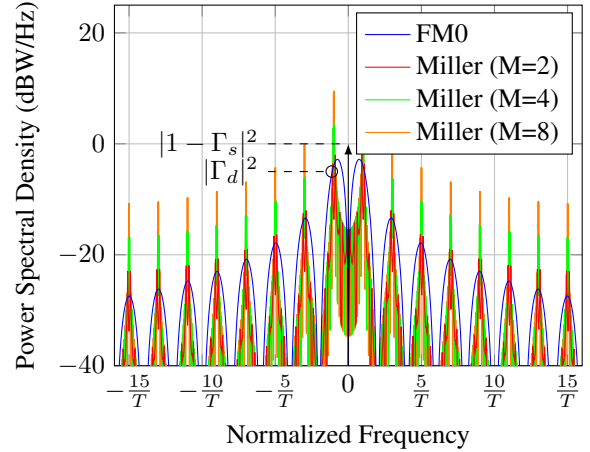


Figure 3. Densité spectrale de puissance du signal rétrodiffusé par un tag UHF Gen2 [4].

Il est aussi intéressant de remarquer que le delta RCS est maximum pour  $p = 1/2$  (qui est le cas pour toutes les modulations définies par le standard [4]), mais serait réduit dans le cas contraire. De plus, quand le tag rétromodule avec  $p = 1/2$ , (13) se réduit à :

$$\sigma_s = \frac{\lambda^2 G^2}{4\pi} |1 - \Gamma_s|^2 \quad \text{et} \quad \sigma_d = \frac{\lambda^2 G^2}{4\pi} |\Gamma_d|^2 \quad (14)$$

où  $\Gamma_s$  et  $\Gamma_d$  correspondent, dans ce cas, à la demi-somme et la demi-différence du coefficient de réflexion du tag sur l'antenne. Remarquons qu'il est pas possible d'annuler la partie statique du RCS pour un tag modulé car  $|\Gamma_i| \leq 1$ . A 915 MHz, (14) prédit un RCS maximum pour des tags UHF passif (*i.e.*,  $\{\Gamma_1 = 0; \Gamma_2 = -1\}$ ) et semi-passifs (*i.e.*,  $\{\Gamma_1 = +1; \Gamma_2 = -1\}$ ) de  $-22$  dBsm ( $63 \text{ cm}^2$ ) et  $-16$  dBsm ( $250 \text{ cm}^2$ ) respectivement.

Les caractéristiques exactes de la DSP dépendent du codage des données utilisé par le tag lors de la communication. La norme UHF RFID [4] définit deux modulations différentes pour le tag qui sont FM0 et Miller (avec des séquences de sous-porteuses différentes). La formule analytique de la DSP pour FM0 est connue et est égale à l'encodage Manchester [5]. Pour les modulations de type Miller, la formule analytique est également connue [6], mais sans tenir compte des séquences de sous-porteuses. Fig. 3 présente la DSP des signaux en bande de base correspondant aux différentes modulations utilisées par le tag en supposant  $\Gamma_i = \pm 1$ . Pour FM0, la PSD a été obtenue en utilisant la formule analytique alors que, pour les modulations de Miller, les résultats ont été obtenus en faisant la moyenne la transformée de Fourier de la fonction d'auto-corrélation d'un signal modulé aléatoirement [7]. Comme indiqué précédemment, même si les DSP sont différentes et dépendent de la modulation, leur puissance associée (l'aire sous les courbes) sont exactement les mêmes et sont proportionnels au RCS différentiel du tag (la puissance située à  $f_0$  ou 0 sur la Fig. 3 correspond à la puissance statique rétrodiffusée et ne participe pas au delta RCS).

### 3. Conservation de l'énergie

Les résultats présentés précédemment diffèrent de [2] puisque la puissance rétrodiffusée est 4 fois plus importante dans ce dernier cas.

Cependant, les puissances impliquées doivent satisfaire la loi de conservation de l'énergie qui stipule que la puissance totale reçue par un tag RFID (en supposant une antenne sans perte) ne peut être dissipée que dans  $Z_c(t)$  ou rétrodiffusée dans l'environnement. En gardant les mêmes hypothèses et en considérant le tag comme une antenne à diffusion minimale, la puissance dissipée dans la puce peut s'exprimer, en utilisant la Fig. 1, comme :

$$P_{Z_c} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{V_a^2 G}{8TR_a} \int_{-T/2}^{+T/2} 1 - |\Gamma(t)|^2 dt \quad (15)$$

$$= \frac{V_a^2 G}{8R_a} E[1 - |\Gamma_i|^2] \quad (16)$$

La puissance rétrodiffusée vers le lecteur qui correspond à la somme de  $P_{bs s}$  et  $P_{bs d}$  a été calculée en (9) et est rappelée ici :

$$P_{bs} = \frac{V_a^2 G}{8R_a} [|1 - \Gamma_s|^2 + p(1-p)|\Gamma_1 - \Gamma_2|^2] \quad (17)$$

La puissance totale reçue par le tag est de deux sortes, la première correspond à la puissance reçue délivrée à la charge et est proportionnel à l'aire effective de l'antenne  $A$ . La seconde est la puissance rétrodiffusée dans l'environnement et est proportionnel au RCS du tag  $\sigma$ . Ainsi la puissance reçue lorsque le tag module peut être obtenue par :

$$P_r = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{S}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} A(t) + \frac{\sigma(t)}{G} dt \quad (18)$$

$$= S \times E \left[ A_i + \frac{\sigma_i}{G} \right] \quad (19)$$

En remplaçant  $A_i$  et  $\sigma_i$  par leurs expressions dans le cas général [8, 9], conduit à :

$$P_{r_i} = p_i S \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \left( \frac{4R_a R_{c_i}}{|Z_a + Z_{c_i}|^2} + |1 - \Gamma_i|^2 \right) \quad (20)$$

$$= p_i S \frac{\lambda^2 G}{4\pi} (1 - |\Gamma_i|^2 + |1 - \Gamma_i|^2) \quad (21)$$

où  $p_i$  est la probabilité d'être dans l'état  $i$ .

Enfin, nous pouvons vérifier que :

$$P_{Z_c} + P_{bs s} + P_{bs d} = P_r \quad (22)$$

qui respecte la loi de conservation de l'énergie. Notez que ce résultat ne peut pas être satisfait si  $P_{bs d}$  est multiplié par 4 [2] (cette constante a été cependant suggéré ultérieurement par les mêmes auteurs). Ce résultat implique de nombreuses conséquences sur les performances des tags RFID en terme de distance de lecture.

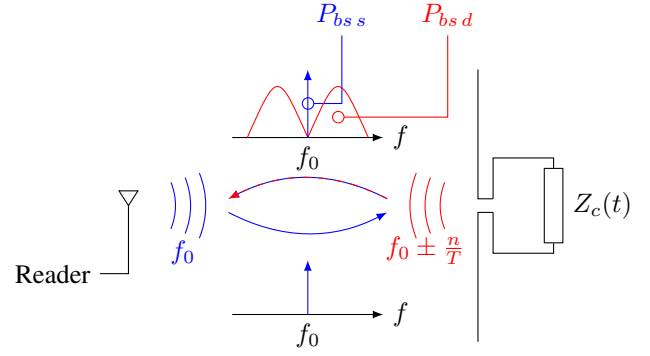


Figure 4. Signal rétrodiffusé d'un tag RFID activé. Delta RCS  $\sigma_d$  est calculé à partir de  $P_{bs d}$ .

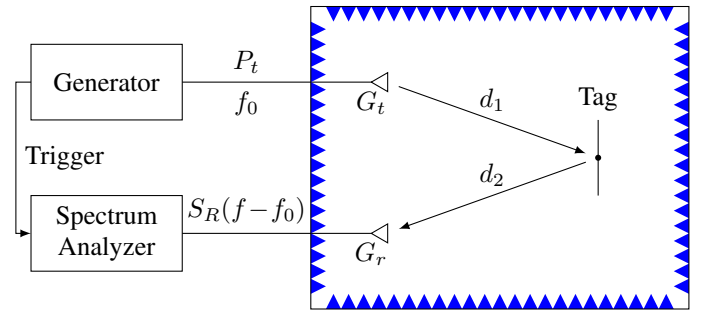


Figure 5. Banc de mesure utilisé pour estimer le delta RCS d'un tag UHF dans le domaine fréquentiel.

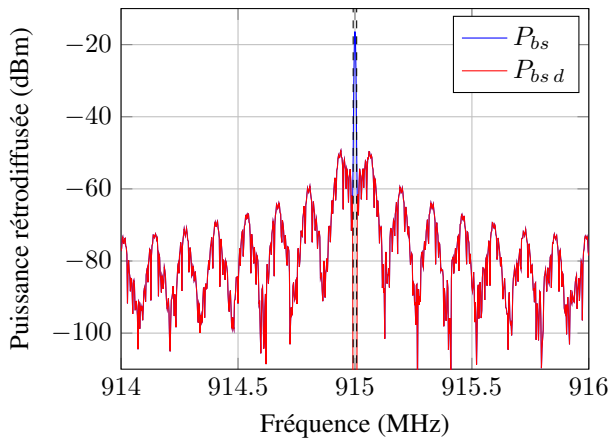
### 4. Mesures

La Section 2. permet d'estimer le RCS différentiel d'un tag en fonction de la densité spectrale de puissance reçue  $S_R(f)$  et l'équation radar classique :

$$\sigma_d = \frac{(4\pi)^3 d_1^2 d_2^2}{P_t G_t G_r \lambda^2} \times \left[ \int_{f_0 - \epsilon}^{f_0 + b} S_R(f - f_0) df + \int_{f_0 + \epsilon}^{f_0 + b} S_R(f - f_0) df \right] \quad (23)$$

où  $2b = 2$  MHz est la bande d'acquisition et  $2\epsilon = 150$  kHz une constante utilisée pour séparer la composante statique du signal reçu. Notez également que (23) est non nul que lorsque le tag est en train de moduler, et est valide pour tout type de modulation et données transmises. Enfin, cette estimation de delta RCS est différente de celle définie en temps dans [2, 3].

Le banc de mesure est composé d'un générateur de signaux vectoriels (Agilent N5182A) et d'un analyseur de spectre (Tektronix RSA 3408A). Les deux instruments sont connectés respectivement aux antennes d'émission et de réception (A.H. Systems, inc. SAS-571). Le générateur transmet une CW à une fréquence  $f_0$  et à une puissance  $P_t$  données, et une modulation d'amplitude est utilisée pour réaliser une commande "Query". Le banc complet est présenté sur la Fig. 5. Le tag (Smartrac Dogbone) a été placé à 1 m des antennes pour satisfaire les conditions de champ



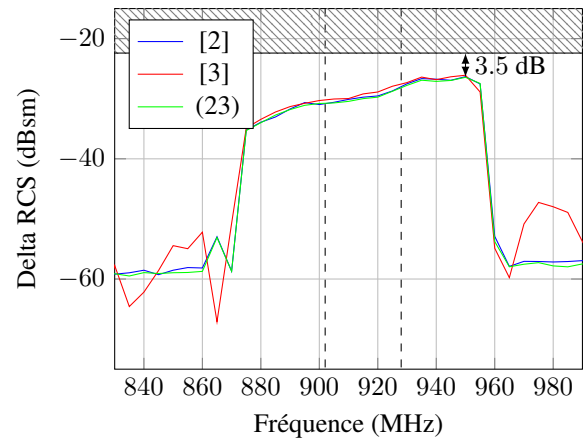
**Figure 6. Densité spectrale de puissance du signal rétrodiffusé par le tag dans le domaine fréquentiel. Delta RCS  $\sigma_d$  est calculé à partir de  $P_{bs,d}$ .**

lointain. L'acquisition de l'analyseur de spectre est déclenchée par le générateur et est réglée pour observer le RN16 rétrodiffusé par le tag. Enfin, notez que les deux instruments utilisent des oscillateurs locaux indépendants et ne sont pas verrouillés en phase.

La puissance rétrodiffusée modulée  $P_{bs,d}$  est d'abord calculée à partir de la puissance totale du signal rétrodiffusé  $P_{bs}$  en supprimant la puissance située à  $f_0$  (voir Fig. 6). Cette puissance rétrodiffusée modulée est ensuite injectée dans (23) pour obtenir le delta RCS du tag à une fréquence  $f_0$  et à une puissance  $P_t$  données. Les résultats sont présentés dans la Fig. 7 et comparés aux méthodes classiques [2, 3]. On voit que toutes les courbes présentent un plateau lorsque le tag est activé. Dans ce plateau, les méthodes en temps et en fréquence fournissent des résultats similaires et sont situées à 3.5 dB en dessous du delta RCS théorique maximum obtenu par (14). La comparaison avec [2] montre un très bon accord puisque l'erreur moyenne et maximale sur la plage activée est respectivement de 0.19 dB et 0.46 dB. Enfin, étant donné que la méthode proposée et [2] calculent le delta RCS sur toute la longueur du RN16, une meilleure précision par rapport à [3] est obtenue (car la valeur est extraite à partir de seulement deux échantillons complexes). De plus, étant donné que la méthode proposée et [3] ne repose pas sur la synchronisation de phase entre le l'émetteur et le récepteur, la mise en œuvre peut être facilement réalisée à l'aide d'instruments indépendants.

## 5. Conclusion

L'article fournit un résumé des résultats de [1]. La définition fréquentielle du delta RCS est présentée. De plus, la valeur théorique montre une différence notable par rapport à l'expression classique, alors que celle introduite satisfait le principe de conservation de l'énergie.



**Figure 7. Delta RCS d'un tag Smartrac Dogbone. La borne en noire représente le delta RCS maximum d'un tag obtenu par (14).**

## Références

- [1] N. Barbot *et al.*, "Differential RCS of modulated tag," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 9, pp. 6128–6133, Sep. 2021.
- [2] P. V. Nikitin *et al.*, "Differential RCS of RFID tag," *Electron. Lett.*, vol. 43, no. 8, pp. 431–432, Apr. 2007.
- [3] D. R. Novotny *et al.*, "A reference modulated scatterer for ISO18000-6 UHF tag testing," *IEEE Electromagn. Compat.*, vol. 1, no. 3, pp. 103–106, Nov. 2012.
- [4] ISO/IEC 18000-6:2004 Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6 : Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz.
- [5] J. G. Proakis and M. Salehi, *Digital communications*. McGraw-Hill, 2001.
- [6] M. Hecht and A. Guida, "Delay modulation," *Proceedings of the IEEE*, vol. 57, no. 7, pp. 1314–1316, Jul. 1969.
- [7] R. H. Morelos-Zaragoza, "Power spectral densities of baseband signals in EPC Class-1 Gen-2 UHF RFID systems," *San Jose State University*, 2012.
- [8] C. Tai, "On the definition of the effective aperture of antennas," *IRE Trans. Antennas Propag.*, vol. 9, no. 2, pp. 224–225, Mar. 1961.
- [9] R. B. Green, "The general theory of antenna scattering," Ph.D. dissertation, The Ohio State University, 1963.