HAL
open science

# Identification temps réel d'un tag THID bas coût dans le domaine THz

Florent Bonnefoy, Maxime Bernier, Frédéric Garet, Hamdi Maher, Etienne Perret, Nicolas Barbot, Romain Siragusa, David Hely

## To cite this version:

Florent Bonnefoy, Maxime Bernier, Frédéric Garet, Hamdi Maher, Etienne Perret, et al.. Identification temps réel d'un tag THID bas coût dans le domaine THz. 21èmes Journées Nationales Microondes, May 2019, Caen, France. hal-02017114

**HAL Id: hal-02017114**

**https://hal.science/hal-02017114v1**

Submitted on 5 Mar 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.

# Identification temps réel d'un tag THID bas coût dans le domaine THz

**F. Bonnefoy[1], M. Bernier[1], F. Garet[1], M. Hamdi[2], E. Perret[3], N. Barbot[3], R. Siragusa[3], D. Hely[3]**

**[1]Univ. Grenoble Alpes, Univ. Savoie Mont Blanc, CNRS, Grenoble INP, IMEP-LAHC, [1]38000 Grenoble, France**
**[2]DRT, CTRegCEA, [2]33600 Pessac, France**
**[3]University Grenoble Alpes, LCIS, [3]26000 Valence, France**
**garet@univ-savoie.fr**

**Résumé – Grâce à l'utilisation d'un spectromètre THz commercial, nous montrons que l'identification temp réel de tags bas coût dans le domaine térahertz (THz) est désormais possible. Ces tags sont conçus autour d'un empilement périodique de couches diélectriques, sans élément métallique. Ils constituent donc un codage en volume qui peut être incorporé à l'objet à identifier : il est difficile à localiser et à identifier et donc à contrefaire. Nous montrons que la lecture de l'information contenue dans le tag peut être effectuée en quelques dizaines de millisecondes, tout en conservant une fiabilité de lecture de l'identifiant binaire meilleure que 99%.**

## 1. Introduction

**L'identification de tags en utilisant des ondes THz (THz identification : THID) est un domaine très prometteur [1,3] car il permet notamment d'utiliser la capacité des ondes THz à traverser la plupart des matériaux diélectriques a contrario des ondes optiques par exemple. D'autre part, du fait de longueurs d'ondes bien inférieures à celle du domaine radiofréquences (technologie RFID), de tels tags peuvent être de taille bien inférieure. Il en résulte une capacité à concevoir des tags diélectriques de petite taille qui pourront être incorporés au produit à identifier. Ainsi, ces solutions THID se présentent comme des solutions technologiques en rupture avec celles déjà existantes et utilisent une autre gamme spectrale du spectre électromagnétique. D'un point de vue applicatif, elles viennent en complémentarité des technologies optiques et RFID déjà largement utilisées mais déjà fortement impacté par le problème de rétro-engineering [4].**

## 2. Principe du tag THID

**Le tag est composé à la base, d'un empilement périodique de couches diélectriques présentant des indices de réfraction différents. Il constitue de fait une structure à bandes interdites photoniques (BIP). Dans certaines bandes spectrales, la transmission du signal est nulle, ce dernier y étant totalement réfléchi. En perturbant la périodicité de la structure initiale, apparaissent dans ces BIP des modes de transmissions (pics) qui peuvent être utilisés pour coder une information binaire [5]. Le tag (cf. Fig. 1) est ici constitué de 19 couches alternant polyéthylène basse densité (PEBD) pur pour les couches de bas indice ($n_L$=1.51) et un mélange de PEBD (40%) et de $TiO_2$ (60%) pour les couches de haut indice ($n_H$=2.29), et d'épaisseurs respectives $e_L$ = 240 µm et $e_H$ = 85 µm. En jouant sur le rapport de $TiO_2$ dans le mélange, il est ainsi possible d'ajuster avec précision l'indice de réfraction du matériau actif de 1,51 (PE pur) à 2,3 (60% de $TiO_2$, 40% de PEBD), qui correspond au cas limite de maintien mécanique du matériau. Notons que plus le plus le matériau constituant les couches sera de faible absorption, plus les pics de transmissions seront étroits.**

**La figure 2 présente la transmission du tag précédemment décrit autour de la 1ère BIP centrée sur 310 GHz et dont les limites sont matérialisées par des traits verticaux en vert. On peut observer la présence de 2 pics de transmission dans cette 1ère BIP induits par un défaut structurel sur la couche centrale (en PEBD pur d'épaisseur $e_{défaut}$=1180µm). La transmission ici en champ et non en intensité (cercles bleus) mesurée du tag est parfaitement prédite par la théorie (trait continu noir) ; cette dernière utilisant la méthode de matrice de transfert [6].**

**Précisons que le prix d'un tel tag, fabriqué sur des machines industrielles a été évalué à moins de 0.4 €cts et peut être comparé avec les solutions technologiques existantes de type tag RFID classique (avec puce) entre 7$ et 15$ ou encore des tags RF sans puce utilisés dans les vêtements dont le coût bien moindre se situe entre 0.01$ et 0.05$, mais dont les performances en termes d'information restent limitées. L'utilisation de tags THID peut donc être envisagée à termes dans les applications d'identification de masse.**

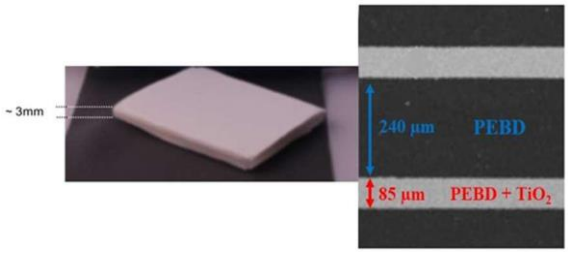


**Figure 1. a) Photographie et b) image microscope de quelques couches du tag THz.**

## 3. Méthode et capacité de codage

Afin d'évaluer la capacité de codage de ce type de tag, nous avons choisi de segmenter la BIP en canaux qui pourront respectivement être activés par la présence d'un pic et ainsi donner l'identifiant binaire du tag considéré. Ainsi, pour le cas de la figure 2, la BIP est divisée en 8 canaux. Les deux pics vont ainsi activer les canaux 3 et 6, et l'identifiant obtenu, codé sur 6 bits, vaut par conséquent : <010 101>.

La capacité de codage de ce type de tag dépend bien évidement du nombre de canaux N et du nombre de pics M utilisés pour les indexer (M pouvant varier de 1 à N). Par ailleurs, N dépend à la fois de la largeur spectrale de la BIP f, mais aussi de la largeur minimale des canaux f. Remarquons aussi que f dépend directement de la largeur des pics et/ou de la résolution fréquentielle « ultime » du lecteur. En dénombrant les différentes combinaisons (N,M) disponibles, on montre aisément que s'écrit :

$$\rho(N) = \log_2 \left( {}_M^M \, {}_0^N C_N^M \right) N \qquad (1)$$

Avec :

$$N \left| \frac{f}{\delta f} \right| \qquad (2)$$

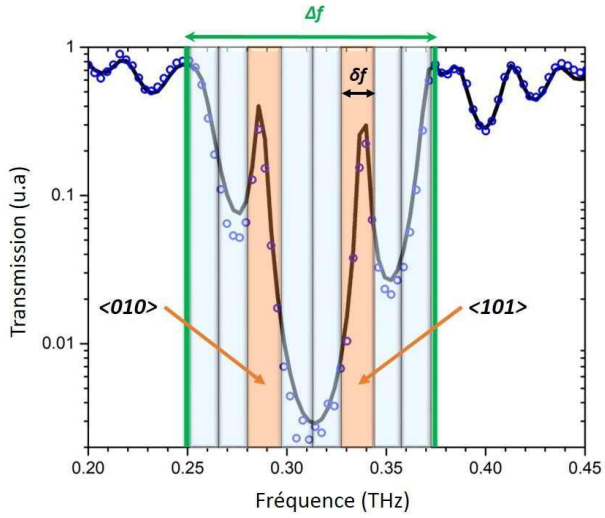


**Figure 2. Transmission du tag THz autour de la première bande interdite : mesure (cercles) et simulation (trait continu).**

Dans le cas présent, la largeur de la BIP vaut f = 130 GHz alors que la résolution du lecteur (spectromètre ADVANTEST de type TAS7500 SP) est limitée à 7.6 GHz. La largeur des canaux est donc principalement contrainte par ce dernier paramètre : elle sera fixée à f~16 GHz, car nous supposerons que deux points sont nécessaires pour avérer la présence d'un pic. Dans ce cas, il en découle une capacité de codage de =8 bits seulement. Cependant, une étude prospective basée sur l'utilisation d'une autre technologie de lecteur de type CW (Continuous Waves) [7] qui permet d'obtenir des résolutions spectrales bien meilleures (jusqu'à 100 MHz), et en considérant des largeurs à mi-hauteur de pics là encore inférieures à celles présentées en Figure 2, de 2 GHz (cf. Fig. 3) a montré que la capacité de codage pouvait atteindre 60 bits environ. Une telle largeur de pics sera obtenue en utilisant des matériaux dont l'absorption est très faible (α = 1 cm$^{-1}$), mais pour autant réalistes.

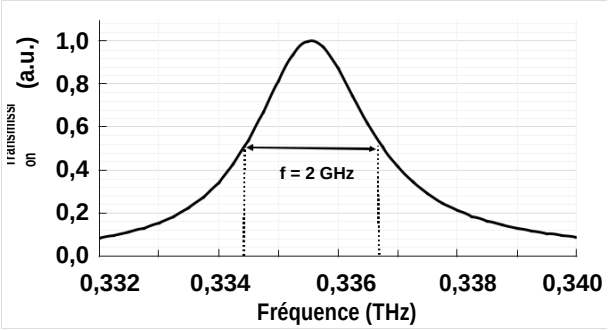


**Figure 3. Largeur d'un pic dans la 1ère BIP, simulé en considérant un matériau d'absorption α = 1 cm$^{-1}$.**

## 4. Mesure temps réel du tag

Enfin, nous avons mesuré l'identifiant binaire du tag précédemment décrit en faisant varier la rapidité de lecture du spectromètre utilisé. En effet, à la différence des systèmes de mesure THz-TDS classiques, basés sur une ligne à retard optique [7], le système utilisé dans cette étude utilise une technique d'échantillonnage optique pompe-sonde (système ECOPS) [9] qui permet d'effectuer des mesures ultra-rapides et ce sur une bande spectrale s'étendant jusqu'à 7 THz par moyennage de mesures indépendantes obtenues chacune en 8 ms.

Afin d'évaluer la performance d'identification d'un tel tag en utilisant ce système de mesure, nous avons effectué 100 mesures du tag au même endroit pour chaque temps d'acquisition de la signature allant de 8 ms à 2048 ms. Nous comparons ensuite les identifiants binaires obtenus pour chaque temps d'acquisition à l'identifiant de référence <010 101> sur la bande spectrale 0.2 – 0.45 THz. En évaluant le nombre d'identifiants binaires erronés, il est possible de calculer le taux d'erreur binaire (TEB) associé à chaque temps d'acquisition.

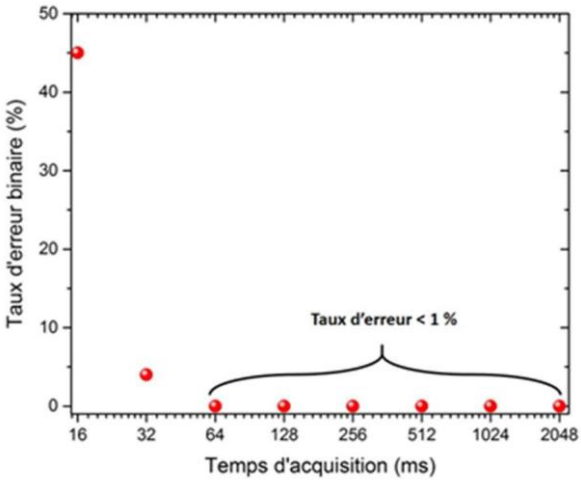


**Figure 4. Évolution du taux d'erreur binaire avec la durée de la mesure de la signature du tag THID.**

La figure 4 présente le TEB obtenu sur l'identifiant du tag, en fonction de la durée de sa mesure. On constate que le TEB devient inférieur à 1% (valeur minimale évaluable à partir des 100 mesures effectuées) pour une durée de mesure supérieure à 64 ms, permettant d'envisager l'identification en temps réel d'un tel tag avec une précision supérieure à 99%.

Le fait de moyenner la durée de la mesure permet ainsi d'abaisser le niveau de bruit dans la BIP. Afin d'assurer une détection fiable des pics, nous utilisons un algorithme de recherche des pics dans la BIP concernée. Un pic est ainsi détecté si son amplitude est supérieure à un seuil de décision donné et s'il est séparé par au moins f d'un autre, afin de s'affranchir du cas où les deux pics seraient dans un même canal, cas qui nécessite de pouvoir déterminer au préalable le nombre de pics. A tire d'exemple, nous avons représenté sur la figure 5 la réponse spectrale du tag dans la BIP pour deux temps d'acquisition, à savoir 8 ms (en bleu) et 2048 ms (en rouge) qui représentent a priori respectivement les mesures présentant le plus faible et meilleur rapport signal sur bruit, cette dernière étant par ailleurs utilisée comme mesure de référence. Nous voyons aisément que plus la durée de la mesure est longue, plus le niveau de bruit est bas et plus le contraste pic niveau de bruit est important. Les pics ressortent clairement et l'extraction du code binaire du tag est fiable.

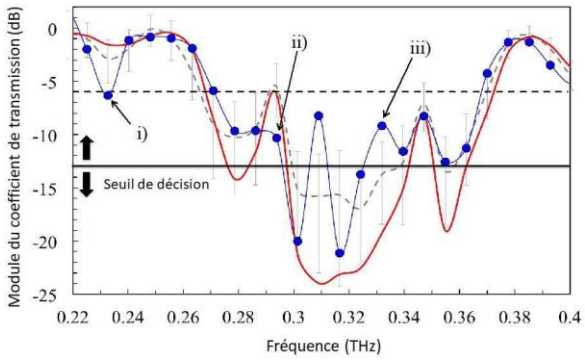


**Figure 5. Réponse spectrale du tag obtenue avec un temps d'acquisition de 8 ms (courbe bleue) comparée à la mesure de référence (courbe rouge).**

Si l'on considère une mesure rapide du tag (8 ms), le niveau de bruit est tel (barres d'incertitudes représentées en gris sur la figure 5) qu'il peut engendrer des erreurs dans l'extraction de l'identifiant binaire. Il existe 3 types d'erreurs possibles, représentées sur la figure 5 :

- i) Une valeur du coefficient de transmission en dehors de la BIP se retrouve en dessous du seuil de calcul de cette dernière, ce qui fausse la largeur réelle de la BIP et par conséquent induit une erreur sur la définition du nombre de canaux.
- ii) Un pic de défaut se trouve en dessous du seuil de décision qui n'est ainsi pas détecté. Le canal correspondant n'est pas activé.
- iii) La détection d'un pic induit par le bruit de mesure (car supérieur à la fréquence considérée au seuil de décision), ce qui a pour conséquence la fausse activation d'un canal.

On comprend ainsi aisément qu'il existe un compromis entre d'une part la durée de la mesure du tag, et d'autre part la fiabilité de lecture de l'identifiant binaire associé. Pour répondre à cette problématique, nous avons étudié l'influence du seuil de décision sur la fiabilité de lecture de l'identifiant binaire. Pour cela, nous avons calculé le TEB en faisant varier le seuil de décision appliqué au pic n°2 centré @ 0.345 THz. Le résultat étant représenté sur la Figure 6, pour deux temps d'acquisition de mesure uniquement : 8 et 1000 ms.

On remarque qu'il existe une valeur optimum du seuil de décision, qui permet de minimiser le TEB. Ainsi, un TEB de 0% est obtenu à partir de -9 dB pour un temps de mesure de 1000 ms alors que le minimum (50%) est obtenu avec un seuil de -11 dB lorsque la mesure est effectuée en 8 ms. Notons qu'un TEB de 0%, permet ainsi une fiabilité de lecture de l'identifiant binaire meilleure que 99%, l'étude ayant été réalisées sur 100 mesures. On remarquera aussi que le TEB augmente à nouveau lorsque la valeur du seuil choisie continue à diminuer du fait principalement des erreurs induites par iii).

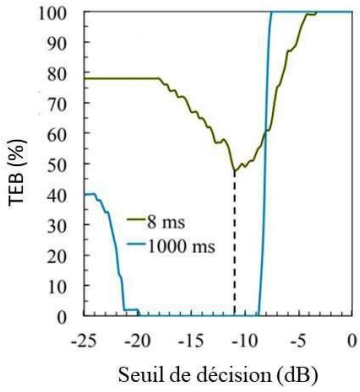


**Figure 6. Evolution du taux d'erreur binaire en fonction du seuil de décision pour deux temps d'acquisition de 8 et 1000 ms.**

Ainsi, pour un temps d'acquisition donné, le TEB est donc conditionné par le bruit intrinsèque de mesure du système de lecture utilisé. Bien que non représenté sur la figure 6, pour cause de lisibilité, les courbes obtenues pour les autres temps d'acquisition ont montré que la valeur optimale dudit seuil de décision devait être fixée à -11dB, et ce pour tous les temps d'acquisition. Notons que cette valeur est celle qui a été utilisée pour dans le cas de la Figure 4.

## 5. Conclusion

Dans cette étude, nous avons montré qu'il était possible de réaliser l'identification en temps réel d'un tag bas coût à base de matériaux diélectriques présentant une capacité de codage de 8 bits. Une fiabilité de lecture de l'identifiant binaire du tag meilleure que 99%, pour une durée de lecture de 64 ms, a été obtenue avec un spectromètre commercial ADVANTEST® TAS7500 SP, ce système ne présentant par ailleurs pas les performances optimales pour l'application visée, notamment en termes de résolution spectrale. Afin d'évaluer la performance d'un lecteur THz donné pour des applications

d'identification, l'influence du bruit de mesure du système doit également être prise en compte [10], paramètre crucial et limitant les performances pour l'identification en temps réel de tels tags. Dans le cas présent, nous avons montré que l'identification du tag était optimale pour un seuil de décision de -11 dB en considérant différents temps d'acquisition de 8ms à 2048 ms. L'utilisation d'une autre technologie de spectromètre (CW) présentant une meilleure résolution spectrale, associée avec une conception optimisée de la structure du tag devrait permettre d'envisager une capacité de codage très supérieure de l'ordre de 60 bits, tout en conservant une rapidité compatible avec des applications nécessitant une lecture temps réel.

## 6. Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche (contrat ANR-18-CE39-0002-01) et la Région Auvergne – Rhône Alpes (projet de recherche ARC6) pour avoir contribué au financement du projet, ainsi que le Dr Paul H Dallin et le Dr John Andrews de Clairet Scientific Ltd (Northampton, UK) pour la mise à disposition d'un spectromètre ADVANTEST TAS7500 SP.

## Références

[1] M. Bernier et.al., "THz encoding approach for secured chipless radio frequency identification", Appl. Opt., vol. 50, no. 23, pp. 4648-4655, 2011.

[2] Y. Guan et.al., "A concealed barcode identification system using terahertz time-domain spectroscopy", J. Infrared Millim. Terahertz Waves, vol. 36, no. 3, pp. 298–311, 2015.

[3] E. Perret, M. Hamdi, A. Vena, F. Garet, M. Bernier, L. Duvillaret and S. Tedjini, ''RF and THz identification using a new generation of chipless RFID tags" Radioengineering – Special Issue towards EuCAP 2012: Emerging Materials, Methods, and Technologies in Antenna & Propagation, vol. 20, pp. 380–386, 2011.

[4] H. Welte, "Reverse Engineering a real-world RFID payment system", 27th Chaos Communication Congress, Berlin, Germany, 2010.

[5] M. Hamdi et.al., "Identification tag in the terahertz frequency domain using low-cost and tunable refractive index materials", Ann. Telecommun., 68, 7, pp. 415–424, 2013.

[6] H. Němec, P. Kužel, F. Garet and L. Duvillaret, "Time-domain terahertz study of defect formation in one-dimensional photonic crystals", Applied Optics, vol. 43, no.9, pp. 1965-1970, 2004.

[7] J. R. Demers, et.al. "Atmospheric Water Vapor Absorption Recorded Ten Meters Above the Ground With a Drone Mounted Frequency Domain THz Spectrometer", IEEE Sensors Letters, 1, 3, June 2017

[8] P. Y. Han, and X. C. Zhang, "Free-space coherent broadband terahertz time-domain spectroscopy," Measurement Science and Technology, vol. 12, no. 11, 2001.

[9] Y. Kim and D.-S. Yee, "High-speed terahertz time-domain spectroscopy based on electrically controlled optical sampling," Opt. Lett., vol. 35, pp. 3715-3717, 2010.

[10] L. Duvillaret, F. Garet and J.L Coutaz, "Influence of noise on the characterization of materials by terahertz time-domain spectroscopy", JOSA B, 17(3), 452-461, 2000.