

## THÈSE

Pour obtenir le grade de

### DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : Optique et Radiofréquences

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

**Maher HAMDİ**

Thèse dirigée par « Lionel DUVILLARET »  
codirigée par « Frédéric GARET »

préparée au sein du Laboratoire IMEP-LAHC  
dans l'École Doctorale E.E.A.T.S.

## Conception de tags d'identification sans puce dans le domaine THz

Thèse soutenue publiquement le « 01 octobre 2014 »,  
devant le jury composé de :

**Monsieur, Patrick, MOUNAIX**

Directeur de recherche au CNRS, Université de Bordeaux 1 (Rapporteur)

**Monsieur, Philippe, PANNIER**

Professeur, Université d'Aix-Marseille (Rapporteur)

**Monsieur, Gaël, MOURET**

Maître de conférences, Université du Littoral (Membre)

**Monsieur, Etienne, PERRET**

Maître de conférences, ESISAR de Valence, (Membre)

**Monsieur, Guy, EYMIN-PETOT-TOURTOLLET**

Directeur unité scientifique et technique, Centre Technique du Papier  
Grenoble (Membre)

**Monsieur, Frédéric, GARET**

Maître de conférences, Université de Savoie (Co-encadrant de thèse)

**Monsieur, Lionel, DUVILLARET**

Professeur, Institut National Polytechnique de Grenoble (Directeur de thèse)

*Université Joseph Fourier / Université Pierre Mendès France /  
Université Stendhal / Université de Savoie / Grenoble INP*



Titre : Soutenance de thèse Maher HAMDI

Lieu : Le Bourget du Lac, Amphi. Vanoise

Quand : mercredi 1er octobre - 10h

Organisateur : Maher HAMDI

Intitulé : Conception de Tags d'identification sans puce dans le domaine THz

## RÉSUMÉ

**C**E travail de thèse a été réalisé dans le cadre d'un contrat avec l'ANR (ANR-09-VERS-013 « THID ») et porte sur le développement d'une nouvelle génération de tags Chipless à bas coût fonctionnant dans le domaine THz, pour des applications d'identification et/ou authentification unitaire des articles commerciaux, des papiers d'identités, des personnes pour le contrôle d'accès... Les structures proposées, constituées d'un empilement périodique de couches diélectriques d'indices de réfraction différents, utilisent les propriétés particulières des cristaux photoniques 1D de présenter une réponse électromagnétique entrecoupée de bandes interdites photoniques (BIP). Toute perturbation de la périodicité de la structure engendre des pics dans les bandes interdites qui sont utilisés pour coder une information binaire. Cette structuration particulière des matériaux permet donc de manipuler précisément une signature électromagnétique. Pour des raisons liées à l'industrialisation (facilité de fabrication en masse) et aussi de coût, nous avons retenu des matériaux de base déjà couramment utilisés dans l'industrie papetière : le papier et le polyéthylène. Le choix de ces matériaux, qui doivent allier contraste d'indice élevé et faible absorption, représente une étape cruciale dans ce travail. Ainsi, à partir des résultats expérimentaux obtenus par spectroscopie THz dans le domaine temporel (THz-TDS) sur un grand nombre de matériaux, nous avons pu concevoir deux familles de tags sur la base de ces différents matériaux. Par ailleurs, nous avons développé deux méthodes de codage d'une information binaire, toutes deux basées sur l'absence ou la présence de pics dans une BIP, pics dont la position et le nombre dépendent bien évidemment des défauts de périodicité introduits. Pour des applications liées à l'identification, des capacités de codage de près de 20 bits ont été démontrées. Nous avons aussi montré que la richesse d'information contenue dans la réponse électromagnétique de ces Tags THz peut être utilisée pour les applications liées à l'authentification unitaire, en utilisant comme critère de discrimination le coefficient d'autocorrélation. Nous avons ainsi pu évaluer les performances d'un test d'authentification basé sur ce critère dans différents domaines d'analyse : temporel, fréquentiel et temps-fréquence. Nous avons montré qu'une étude du spectrogramme (combinant temps et fréquence) est ainsi bien plus pertinente qu'une étude dans les seuls domaines temporel ou fréquentiel.

**Mots clés : Tags Chipless à bas coût, Identification, Authentification unitaire, Cristal photonique 1D, Spectroscopie THz dans le domaine temporel (THz-TDS), Industrie papetière**

---

## ABSTRACT

**T**HIS thesis work deals with the development of a new generation of low-cost Chipless tags operating in the THz frequency domain, it has been supported by the french national agency for research (ANR-09-VERS-013 « THID »). It covers a wide area of applications such as the identification and/or unitary authentication of commercial items, identity papers, access control...To manufacture these tags, we proposed to use a periodic stack of dielectric material layers with different refractive index and whose thickness is of the order of the wavelength, commonly known as a one dimensional photonic crystal. The electromagnetic signature of such a structure exhibits photonic bandgaps (PBG), i.e. frequency windows in which light propagation is prohibited. We suggested modifying the periodicity of the crystal to create defect levels (peaks) for example in the 1st PBG to encode binary information. This particular structure allows to precisely tune an electromagnetic signature. To ensure a mass and cost effective industrialization, we retained basic materials which are widely used in the pulp and paper industry: paper and polyethylene. The choice of these materials, which must combine high index contrast and low absorption, represents the first and a crucial step in this work. We characterize a wide range of materials using classical THz time domain spectroscopy (THz-TDS) and we propose two families of tags based on paper and polyethylene. Furthermore, we developed two methods to encode binary information, both based on the absence or presence of peaks in a PBG, peaks whose number and position depend on the introduced defects of periodicity. In a real identification test, a coding capacity of nearly 20-bit has been demonstrated. We also showed that the information contained in the electromagnetic response of these THz tags can be used for other applications related to the unitary authentication and by using the correlation coefficient as criterion for discrimination of the different signatures. Therefore, we evaluate the performance of an authentication test based on this criterion in various analysis domains: time, frequency and time-frequency. We showed that a study of the spectrogram (combining time and frequency representation) is much more relevant than a study in the only time or frequency domain.

**Key words: Low-cost Chipless tags, identification, unitary authentication, 1D photonic crystal, THz Time Domain Spectroscopy (THz-TDS), Pulp and paper industr**