

# Contrôle structurel de matériaux composites par imagerie polarimétrique THz

A. GUILLE<sup>a</sup>, B. MOULIN<sup>a</sup>, M. TRIKI<sup>a</sup>, J.B. BLUMENFELD<sup>b</sup>, T. ANTONINI<sup>a</sup>

a. Terahertz Waves Technologies  
Cap oméga, Rond-point Benjamin Franklin CS 39521  
34960 Montpellier Cedex 2  
b. Technocentre RENAULT  
1 avenue du Golf  
78084 Guyancourt Cedex

## Résumé :

*L'usage des matériaux composites s'est accru dans de nombreuses industries. Cependant, la possibilité d'utiliser ce type de matériau pour réaliser des pièces de structure dépend de la capacité à détecter d'éventuels défauts pouvant avoir des implications en termes de sécurité et ce sur des pièces de grandes dimensions et sur des volumes importants. Dans ce cadre, l'imagerie THz (TéraHertz) est une technique prometteuse car les ondes THz sont pénétrantes dans les matériaux non conducteurs et très sensibles aux variations de composition. Dans ce travail, nous présentons des résultats obtenus par imagerie THz en amplitude et en polarisation de l'onde sur des matériaux composites.*

## Abstract :

*In many industrial sectors, composite materials are of growing interest. However, the possibility to use that type of material to build structural mechanical parts depends on the capacity to detect defects that represent security issues. In that perspective, THz imaging is a promising technique as THz waves can penetrate easily through non conductive materials and are sensitive to light variations of composition. In this study, we present results obtained with THz imaging on composite materials, using amplitude and polarization of the wave.*

**Mots clefs : TéraHertz, Contrôle non destructif, Matériaux Composites, Anisotropie**

## 1 Introduction

L'intérêt pour les matériaux composites s'est considérablement accru dans de nombreux domaines technologiques. Auparavant leur usage était limité à certaines pièces de renforts, mais ils sont de plus en plus utilisés pour réaliser des pièces de structure pour lesquelles une rupture mécanique aurait de sérieuses implications en termes de sécurité.

Différents types de défaut peuvent affecter le comportement mécanique des matériaux composites. Ces défauts peuvent être dus à une mauvaise manipulation lors de la fabrication comme un mauvais alignement d'un feuillet de composite tissé ou une contraction des fibres due à un retrait au séchage. D'autre part la mise en forme ou les perçages peuvent aussi affecter les renforts et avoir un impact sur les performances mécaniques [1]. Dans le cas de matériaux réalisés par injection ou par moulage de fibres pré-imprégnées, on peut observer des défauts d'imprégnation des fibres ou bien des anomalies d'orientation [2].

Ainsi, il existe un besoin de technologies de contrôle non destructif pour les matériaux composites [3]. Parmi les techniques classiques en contrôle non destructif, plusieurs techniques permettent de repérer certains défauts. Celles-ci apparaissent de fait comme complémentaires les unes des autres [4].

Dans ce cadre, l'imagerie THz présente elle aussi un grand intérêt. Les ondes THz sont un rayonnement électromagnétique non ionisant présentant une grande capacité de pénétration dans nombre de matériaux diélectriques ainsi qu'une forte sensibilité à la composition. Elle peut être mise à profit pour la détection de défaut et la caractérisation de propriétés de matériaux composites selon différentes approches [5]. La technologie TDS THz (THz Time Domain Spectroscopy) permet de générer et de mesurer des impulsions THz et ainsi de détecter des délaminations de façon similaire aux technologies ultrasons [6]. La variation de l'état de polarisation d'une onde THz lors de la traversée d'un matériau peut aussi permettre d'obtenir des informations sur son anisotropie. Ce type de mesure a d'abord été proposé par Rutz *et al.* [7]. Ils ont déduit des informations concernant l'orientation des fibres dans un matériau composite en faisant varier l'orientation de la polarisation dans le cadre d'une mesure TDS THz. Jordens *et al.* ont aussi utilisé une mesure par TDS THz pour calculer une direction préférentielle d'orientation et un taux d'alignement dans un échantillon de matériau composite réalisé par injection [8].

La société TeraHertz Waves Technologies a développé une technologie d'imagerie d'amplitude et de polarisation pour la caractérisation des propriétés de matériaux composites en milieu industriel. Dans cette étude, nous expliquons tout d'abord le principe de la mesure, puis nous présentons des résultats obtenus sur des problématiques industrielles.

## 2 Imagerie THz

L'imagerie polarimétrique THz permet de réaliser une cartographie 2D de l'anisotropie optique d'un échantillon. Le principe de la mesure en transmission est présenté sur la Figure 1. Une source émet une onde THz qui traverse un système permettant de la placer dans un état de polarisation connu. Cette onde traverse ensuite l'échantillon. L'anisotropie optique de l'échantillon modifie l'état de polarisation de l'onde lors de la traversée. La comparaison de l'état de polarisation de l'onde transmise avec l'état initial permet de déterminer l'anisotropie optique de la matière traversée.

Le déplacement de l'échantillon dans le faisceau de l'onde THz permet de réaliser une cartographie de son amplitude ou de son anisotropie optique.

L'imagerie d'amplitude fonctionne de façon analogue en comparant l'amplitude de l'onde transmise à celle de l'onde incidente.

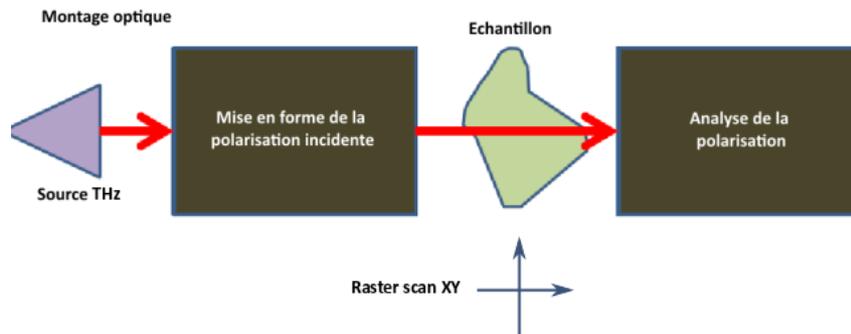


Figure 1 : Schéma du principe de mesure par imagerie polarimétrique THz en transmission.

### 3 Résultats

#### 3.1 Imagerie THz de pièces à renforts tissés

Nous avons étudié une pièce en matériau composite à renforts tissés par imagerie THz en amplitude. Une photographie de la zone imagée est présentée Figure 3a. L'image obtenue à partir de l'intensité transmise est présentée Figure 3b. Nous observons distinctement la trame des renforts tissés. Cette technique peut être utilisée pour le contrôle de l'orientation des feuillets suite à la fabrication ou bien pour la détection de délaminations.

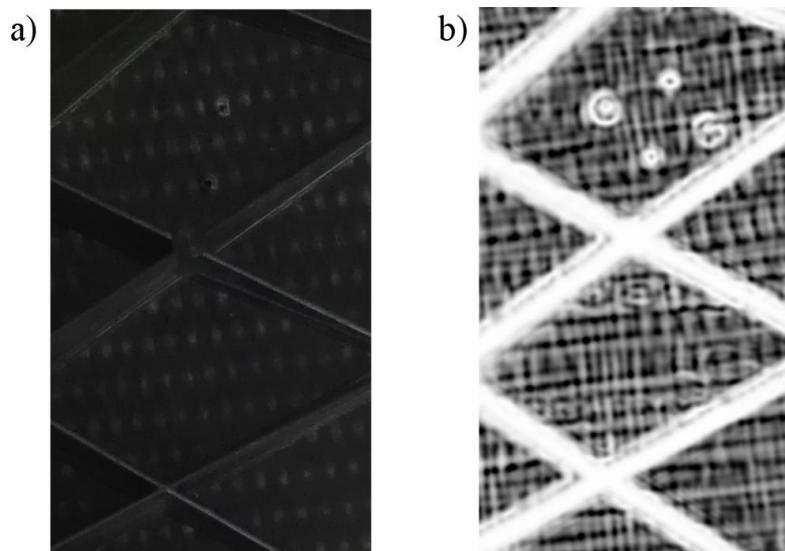


Figure 3 : Pièce composite à renforts tissés issue de l'industrie. a) Photographie de la zone imagée. b) Image de l'intensité THz transmise.

#### 3.2 Plaques réalisées par injection

Nous présentons ici les résultats obtenus sur une plaque de 5mm d'épaisseur en polypropylène renforcé avec des fibres de verre longues (PPGFL) réalisées par injection. Le taux de renfort est de 40%.

Une coupe obtenue par tomographie par rayons X est présentée Figure 1a. On observe les variations locales de taux de renfort consécutives à l'injection. Ces variations s'observent aussi sur la figure 1b

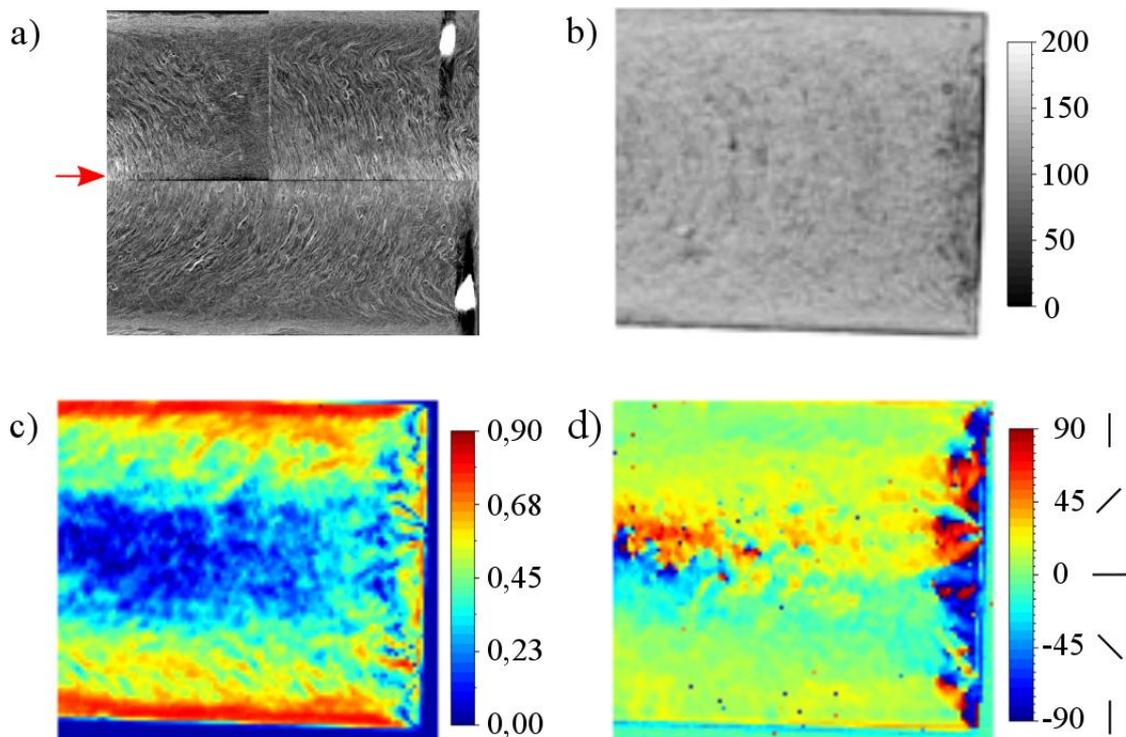
qui donne l'intensité de l'onde THz transmise. Cela indique que l'intensité transmise est sensible à la densité locale de fibre.

Les figures 2c et 2d donnent une cartographie de l'anisotropie mesurée. La figure 2c donne la magnitude de l'anisotropie. Cette dernière est définie à partir du rapport des grands axe et petit axe de l'ellipse de polarisation de l'onde THz transmise par la formule suivante :  $M=1-b/a$ , avec  $M$  la magnitude de l'anisotropie,  $a$  le demi-grand axe et  $b$  le demi-petit axe. La figure 2d donne l'orientation du grand axe de l'ellipse de polarisation.

Nous observons, figure 2c, des variations de la magnitude de l'anisotropie en fonction de la position dans la plaque. En particulier, celle-ci est faible à proximité du point d'injection et élevée sur les bords de la plaque.

Compte tenu de l'aspect anisotrope des fibres de verre, nous pouvons considérer qu'une anisotropie faible traduit le fait que les fibres sont orientées des façon aléatoire et qu'une anisotropie élevée traduit une direction préférentielle d'orientation marquée. Dans ce cadre, la figure 2d donne une cartographie de l'orientation de la direction préférentielle des fibres. En effet, celle-ci sont ainsi orientées longitudinalement ou perpendiculairement à la direction du grand axe. Compte tenu de la position du point d'injection, nous pouvons supposer que la direction du grand axe donne la direction des fibres. Nous observons en particulier que la cartographie d'orientation respecte la symétrie axiale visible dans les images 2a, 2b et 2c.

Ainsi cette technique permet de quantifier l'anisotropie dans une pièce de matériau composite réalisée par injection. Il convient toutefois de noter que l'état de polarisation de l'onde THz est affecté sur l'ensemble de la traversée de la pièce et que, par conséquent, la valeur mesurée concerne la pièce dans sa profondeur.



**Figure 2 : Résultats plaque de PPGFL 40% sur une zone d'observation de 210mm\*190mm : a) Coupe par tomographie par rayons X dans la veine centrale. La flèche rouge représente la position du point d'injection. b) Intensité THz transmise (mV). c) Magnitude de l'anisotropie optique. d) Orientation du grand axe de l'anisotropie optique (degrés).**

## 4 Conclusion

L'imagerie THz est une technique prometteuse pour le contrôle de pièces fabriquées à partir de matériaux composites. L'amplitude et la polarisation de l'onde transmise peuvent être analysées pour obtenir une image d'un échantillon.

L'imagerie en amplitude permet de contrôler les échantillons composites à renforts tissés. En effet, la visualisation de la trame de tissage permet de s'assurer de l'orientation des plis et de détecter d'éventuels défauts d'alignement consécutivement à la fabrication.

L'imagerie polarimétrique permet d'analyser l'orientation des fibres dans une pièce réalisée par injection de matériaux renforcés avec des fibres coupées. Elle permet de caractériser l'anisotropie et l'orientation de l'état de polarisation de l'onde transmise. Ces paramètres sont liés respectivement au taux d'alignement et à la direction préférentielle d'orientation des fibres. Cette technique complémentaire à la tomographie par rayons X pourrait permettre de vérifier rapidement que les conditions d'injections permettent d'obtenir le résultat prévu par simulation.

## Références

- [1] R.A.M. Santos, P.N.B. Reis, M.J. Santos, C.A.C.P. Coelho, Effect of distance between impact point and hole position on the impact fatigue strength of composite laminates, *Composite Structures* 168, 2017, pp. 33–39
- [2] S. H. Kim, C. H. Park, Direct impregnation of thermoplastic melt into flax textile reinforcement for semi-structural composite parts, *Industrial Crops and Products* 95, 2017, pp. 651–663
- [3] M.E. Ibrahim, Nondestructive evaluation of thick-section composites and sandwich structures, *Composites: Part A* 64, 2014, 36–48
- [4] I. Amenabar, A. Mendikute, A. López-Arraiza, M. Lizaranzu, J. Aurrekoetxea, Comparison and analysis of non-destructive testing techniques suitable for delamination inspection in wind turbine blade, *Composites: Part B* 42, 2011, pp. 1298–1305
- [5] I. Amenabar, F. Lopez, A. Mendikute, An introductory review to THz non-destructive testing of composite matter, *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves* 34, 2013, pp. 152-169
- [6] J. Dong, B. Kim, A. Locquet, P. McKeon, N. Declercq, D.S. Citrin, Nondestructive evaluation of forced delamination in glass fiber-reinforced composites by terahertz and ultrasonic waves, *Composites Part B* 79, 2015, pp. 667-675
- [7] F. Rutz, M. Koch, S. Khare, M. Moneke, H. Richter, and U. Ewert, Terahertz quality control of polymeric products, *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves* 27, 2007, pp. 547–556
- [8] C. Jördens, M. Scheller, S. Wietzke, D. Romeike, C. Jansen, T. Zentgraf, K. Wiesauer, V. Reisecker, M. Koch, Terahertz spectroscopy to study the orientation of glass fibres in reinforced plastics, *Composites Science and Technology* 70, 2010, pp. 472–477