



**HAL**  
open science

## Mise au point d'une mesure locale de la teneur en eau par onde TéraHertz

Alain Sommier

► **To cite this version:**

Alain Sommier. Mise au point d'une mesure locale de la teneur en eau par onde TéraHertz. 7ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Jan 2016, Saint-Nazaire, France. hal-01280221

**HAL Id: hal-01280221**

**<https://hal.science/hal-01280221>**

Submitted on 29 Feb 2016

**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.

# Mise au point d'une mesure locale de la teneur en eau par onde Térahertz

Laura Rodriguez, Alain Sommier, Christophe Pradere, Denis Bruneau et Jean-Rodolphe Puiggali

*I2M-TREFLE, UMR CNRS 5295, Esplanade des Arts et Métier 44305 Talence*

[Alain.sommier@ensam.eu](mailto:Alain.sommier@ensam.eu)

## **Abstract** *Terahertz Imaging of water content in porous materials*

This study describes a multispectral Terahertz imaging method in order to measure water content of porous materials. We describe the device and highlight the method used to calibrate water content measurement. Finally we make an imbibition of a cellulose sample by water. Water content is measured and shows clearly gradient in the material.

## **1. Introduction**

Le bois est un tissu végétal qui dans le contexte actuel du développement durable, suscite un intérêt croissant. Il possède des avantages techniques considérables, une bonne résistance mécanique, un module élastique élevé, une faible densité, des propriétés isolantes, un caractère renouvelable et un coût peu élevé. Il présente certains défauts liés notamment à son anisotropie, sa photosensibilité et son caractère hydrophile qui génère des problèmes tels que les attaques d'insectes, de champignons ou de tenue mécanique (e.g. retraits, fentes, déformations ...). Le séchage du bois permet de limiter ces phénomènes et lui confère une certaine durabilité. Les approches classiques du séchage se limitent souvent à un suivi global de la masse du produit et des conditions thermiques et hydriques de l'air de séchage. Dans ce travail nous proposons une méthode de suivi à l'échelle locale en utilisant une technique de spectroscopie Térahertz. Dans un premier temps nous décrivons le dispositif puis nous nous intéressons à la caractérisation de l'un des composants du bois, la cellulose dont nous étudions l'atténuation Térahertz en fonction de son épaisseur et de sa teneur en eau.

## **2. Matériel**

### **2.1 Le Bois**

Le bois est principalement composé de trois polymères naturels. La cellulose (hydrophile), l'hémicellulose (faiblement hydrophile) et la lignine (hydrophobe) dans des

proportions différentes en fonction de l'espèce. On peut aussi considérer le bois comme un matériau composite naturel car composé d'un renfort (fibres résistantes) noyé dans une matrice moins résistante mécaniquement. La cellulose joue le rôle de la fibre de renfort, la lignine celui de la matrice et l'hémicellulose sert d'interface qui rend ces deux précédents matériaux compatibles. La forte hétérogénéité du matériau rend la compréhension des mécanismes de sorption ou désorption d'eau difficile.

## 2.1 Notion d'activité de l'eau

La première grandeur qui caractérise l'état d'hydratation d'un produit est sa teneur en eau (X), exprimée en kg d'eau par kg de matière sèche, qui mesure la quantité totale d'eau dans le matériau.

Dans les faits un solide n'est jamais isolé ; il est entouré d'une atmosphère contenant de la vapeur d'eau, avec laquelle il échange des molécules d'eau. L'intensité de ces échanges dépend de l'écart à l'état d'équilibre thermodynamique entre les deux phases. Cet état d'équilibre est caractérisé par la notion d'activité de l'eau ( $a_w$ ), qui représente la capacité du solide à retenir l'eau dans sa structure et à la maintenir pendant l'application des forces extérieures. La présence et l'état de l'eau dans les solides graphiquement représentés par les isothermes de sorption.

On considère fréquemment que l'eau existe dans un matériau sous forme d'eau « libre » ou d'eau « liée ». La première est une eau retenue dans les espaces interstitiels et les pores par des forces de capillarités liées à la tension superficielle du liquide ; elle correspond à l'état capillaire et présente des propriétés semblables à celles de l'eau libre ( $a_w = 1$ ) [1].

## 3. Méthode

Le rayonnement TéraHertz (THz) se réfère aux ondes électromagnétiques dont les fréquences sont comprises entre 0.15 et 5 THz, correspondant à des longueurs d'onde allant de 2  $\mu\text{m}$  à quelques millimètres. Un des avantages de ces ondes est de pouvoir traverser des matériaux isolants thermiques et généralement opaques au visible comme : le bois, les vêtements, les plastiques, le papier, le plâtre, etc. Enfin, les ondes TéraHertz sont plutôt absorbées par l'eau et réfléchies par les métaux.

Nous avons développé un banc à spectroscopie [2] (Cf. figure 1) TéraHertz point par point permettant la caractérisation de matériaux hétérogènes. Il se compose :

- d'une source THz (émetteur monochromatique, fréquence de 110 GHz, puissance de 20 mW),
- d'un obturateur : le faisceau est modulé avec un chopper à une fréquence de 16 Hz
- de lentilles en téflon (transparentes au TéraHertz) qui servent à focaliser les rayons.
- d'un capteur ponctuel bolométrique multispectral permettant de mesurer l'intensité du signal transmis au travers de l'échantillon.

L'objet à analyser est placé sur une platine motorisée permettant de le déplacer en X - Y. A chaque déplacement, une mesure du signal transmis au travers du matériau d'étude est réalisée.

L'échantillon atténue le signal émis selon une loi classique de Beer-Lambert (1)

$$I = I_0 e^{-\alpha L} \quad (1)$$

où  $I_0$  est l'intensité du rayonnement incident,  $I$  est l'intensité du rayonnement sortant,  $\alpha$  est le coefficient d'absorption (en  $\text{mm}^{-1}$ ) et  $L$  est la longueur du trajet optique (en mm).

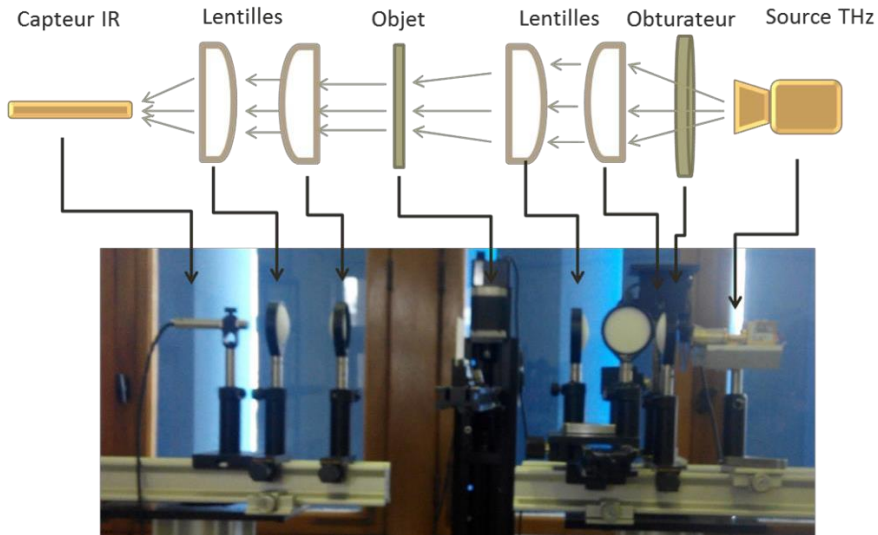


Figure 1 : Banc d'imagerie TéraHertz point par point

### 3.1 Résultats et discussions

Les premiers essais ont été réalisés sur du papier buvard (composé à plus de 99% de cellulose). La zone explorée est un carré de 20 mm x 20 mm, avec un point de mesure tous les millimètres. Les feuilles sont empilées afin d'obtenir les épaisseurs suivantes : 0.2 mm, 2 mm, 4 mm, 6 mm, 10 mm, 12 mm.

La figure 2 présente l'intensité transmise ( $I$ ) du faisceau en fonction de l'épaisseur de l'échantillon ; il est intéressant de noter que pour de faibles épaisseurs (0.2 à 2 mm), cette intensité n'est pas uniforme sur la surface testée. Cela indique une hétérogénéité du matériau soit en terme d'épaisseur soit en terme de compactage des fibres. La figure 3 présente la valeur d'absorbance  $A$  (2), obtenue par moyenne spatiale sur les 20 x 20 pixels de mesure, pour une épaisseur donnée d'échantillon.

$$A = -\ln(I/I_0) \quad (2)$$

L'absorbance augmente de manière exponentielle avec l'épaisseur. Sa valeur est de l'ordre de  $0,2 \text{ mm}^{-1}$ . La fraction de flux que traverse l'échantillon diminue au fur et à mesure que l'épaisseur de l'échantillon augmente. Ceci est en accord avec la loi de Beer-Lambert.

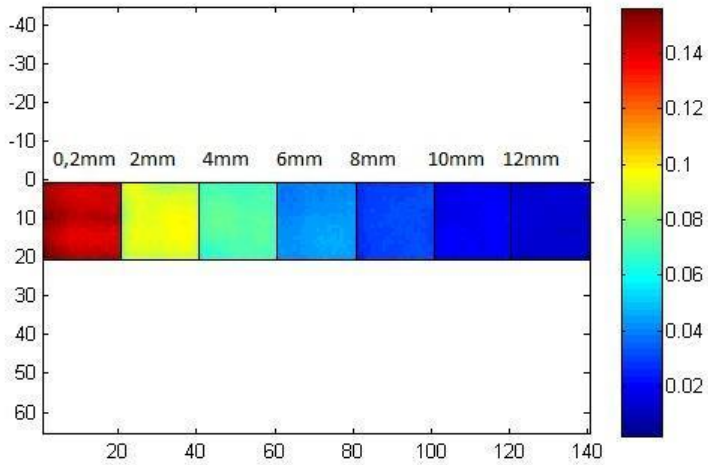


Figure 2 : Relation entre l'atténuation du faisceau avec l'épaisseur des échantillons la barre de couleur présente la valeur de  $I/I_0$ .

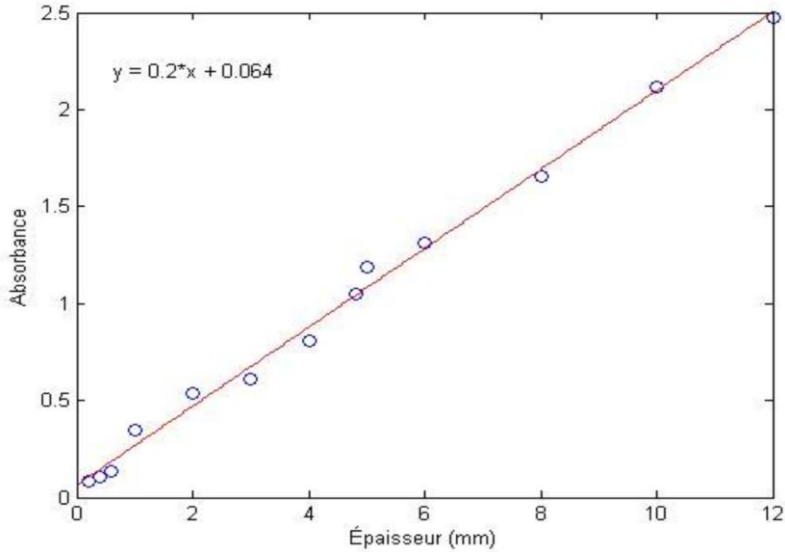


Figure 3 : Absorbance du buvard en fonction de l'épaisseur

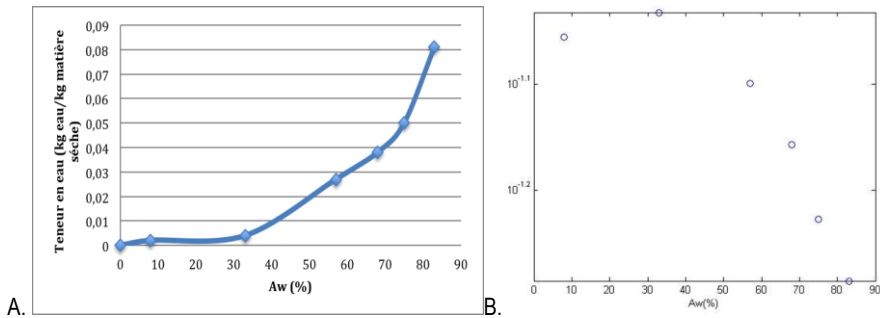


Figure 4 : A. Courbe de sorption du papier buvard (épaisseur 3 mm) B. Moyennes des intensités( $I/I_0$ ) après traversée des échantillons en fonction de l'activité de l'eau

Notons que, travailler sur des échantillons d'au moins 3 mm permet de s'affranchir de problèmes d'hétérogénéité spatiale ; ainsi, ce sont des blocs de 3 mm qui ont été mis en équilibre pour différentes activités d'eau ( $a_w$ ) grâce à des solutions salines (8, 33, 57, 68,75, 83 %) afin de construire l'isotherme de sorption (Cf. Figure 4.A).

La figure 3.B présente l'atténuation du signal en fonction de l'activité de l'eau. En dehors du premier point ( $a_w=0,08$ ) pour laquelle l'eau présente l'est sous la forme d'eau fortement liée, on note une très grande sensibilité de la mesure aux variations de l'activité de l'eau, et donc aux variations de la teneur en eau. L'association des courbes de sorption (Figure 4.A) et des courbes d'atténuation (Figure 4.B) nous permet par la loi d'atténuation de Beer-Lambert d'effectuer des mesures de teneur en eau.

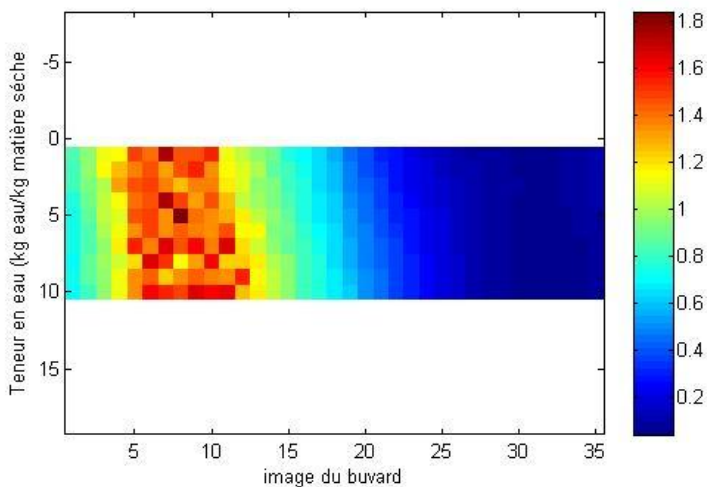


Figure 5 : teneur en eau d'un buvard imbibé d'eau dans la partie gauche.

La figure 5 présente un exemple de mesure réalisée sur un morceau de papier buvard de 10\*35 mm. Il a été imbibé avec de l'eau dans la partie gauche de l'image, la méthode mise au point permet de mesurer de manière précise la teneur d'eau de manière locale. On note que le produit présente jusqu'à 1,8 fois sa masse sèche dans la zone la plus humide. Le gradient de teneur en eau est également particulièrement visible.

## 4. Conclusions

La méthode décrite permet d'envisager une mesure précise de la teneur en eau ou de l'activité de l'eau d'un matériau à l'échelle locale (image avec résolution de 1x1 mm par pixel) grâce à l'extinction du faisceau Téraherz. Cette technologie Téraherz couplée à des acquisitions d'images rapide nous permet, également, d'envisager un suivi de la teneur en eau dynamique que ce soit pour des phénomènes d'imbibition ou le séchage de matériaux fortement hétérogènes.

## Bibliographie

- [1] J.J BIMBENET, A. DUQUENOY, G. TRYSTRAM « Génie des procédés alimentaires. Des bases aux applications » Edition DUNOD 2002, ISBN 100044354.
- [2] M. BESSOU, B. CHASSAGNE, J.-P. CAUMES, C. PRADERE, P. MAIRE, M. TONDUSSON, E. ABRAHAM, (2012), "Three-dimensional terahertz computed tomography of human bones", Applied optics, ISSN: 0003-6935, vol 51, n°28, pp. 6738-6744.