

Interaction terahertz / matière biologique : état des lieux

Jean-Paul Guillet , Patrick Mounaix

University of Bordeaux, IMS UMR CNRS 5218, 33400 Talence, France

patrick.mounaix@u-bordeaux.fr, jean-paul.guillet@u-bordeaux.fr

Dans le spectre électromagnétique, les ondes terahertz (THz) ou ondes submillimétriques sont situées entre l'infrarouge et les micro-ondes. Le découpage issu de la norme ISO 20473:2007 considère que la bande terahertz (THz) s'étale de 60 GHz à 6 THz, correspondant à une longueur d'onde de 5 mm à 0.05 mm. Ce sont des rayonnements de très faible énergie ($1 \text{ THz} \equiv 4,13 \text{ meV}$) qui ont la propriété enthousiasmante d'être très pénétrants dans les matériaux diélectriques ou peu conducteurs. Cette propriété permet d'obtenir des informations (chimiques ou physiques) sur les matériaux qui interagissent avec l'onde terahertz, que ce soit leur composition par spectroscopie ou bien leur aspect et la présence de défauts par des techniques d'imagerie.

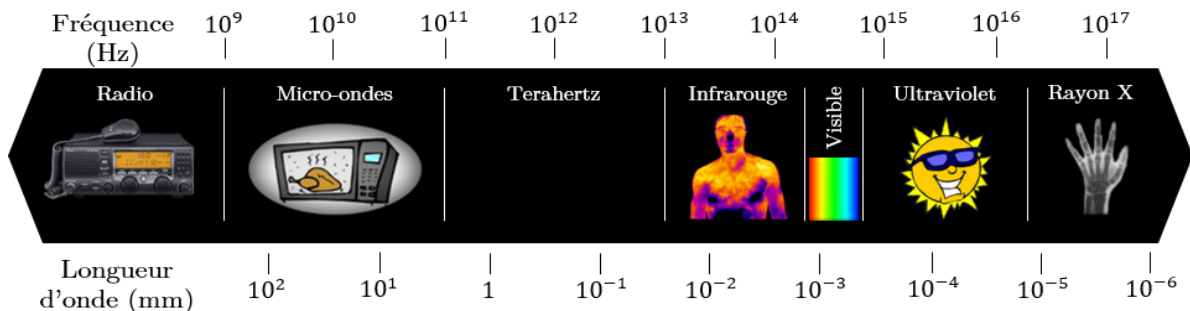


Figure 1 : Gamme terahertz dans le spectre électromagnétique

Le rayonnement terahertz interagit avec la matière par des modes collectifs de vibration et de rotation des molécules [1]. La spectroscopie terahertz d'absorbance permet d'obtenir des informations sur la nature des matériaux lorsqu'ils possèdent des signatures spectrales particulières ou des variations d'absorbance importantes. La technique de spectroscopie à domaine temporel [2][3] par exemple, est capable de fournir un spectre d'absorption sur une bande de 0.1 à 4 THz avec une résolution spectrale de quelques GHz.

Une autre propriété très intéressante de la bande terahertz est sa longueur d'onde submillimétrique pour l'imagerie. En effet, une longueur d'onde plus faible que les microondes implique une meilleure résolution spatiale. A la limite de diffraction en champ lointain, la résolution est d'environ 10 mm dans la partie basse du spectre et peut descendre jusqu'à 100 micromètres dans la partie haute ; cela permet d'obtenir des images d'objets de taille centimétrique voire millimétrique avec une résolution suffisante pour pouvoir les étudier. Associé à la transparence de certains matériaux, le rayonnement terahertz montrent alors tout son intérêt applicatif pour le contrôle non destructif (CND) des matériaux composites [4], ou encore dans le domaine de la sécurité, afin de détecter la présence d'objets illicites cachés (drogues, explosif, armes) [5].

Bien que démontré depuis une vingtaine d'années dans le domaine de la recherche, ces rayonnements restent sous exploités en raison de difficultés à appliquer l'imagerie et la spectroscopie terahertz au domaine industriel. La première origine réside dans le manque de systèmes d'imagerie rapides, compacts et à des coûts acceptables par les industriels. En effet les technologies existantes présentent des limites en puissance maximale des émetteurs et

en sensibilité des détecteurs. L'autre raison est la forte absorption des ondes terahertz dans l'atmosphère sur certaines bandes de fréquence qui en limite la portée que ce soit pour les

communications ou pour tout autre application nécessitant une propagation libre dans l'atmosphère. Actuellement, on observe un très fort regain d'intérêt des technologies millimétriques et submillimétriques comme :

- la sécurité avec la détection d'objets illicites [6]
- le CND avec l'inspection des soudures plastiques [7]
- la biologie végétale [8]
- la santé avec la discrimination entre tissus cancéreux et tissus sains [9][10]
- l'agroalimentaire pour le contrôle qualité de denrées alimentaires [11]
- La télécommunication très haut débit.

Ce regain d'intérêt pousse de nombreux groupes scientifiques à étudier les conséquences de l'interaction d'un faisceau très haute fréquence avec les milieux biologiques.[12] [13] Outre un intérêt particulier pour la biologie, le fait que les protéines répondent au rayonnement THz peut avoir des implications pour l'exposition humaine. Au-delà des effets thermiques à forte puissance connus, on en sait très peu sur les effets du rayonnement THz sur les systèmes biologiques et sur les dommages potentiels qui pourraient être induits après l'absorption de ce rayonnement par ces systèmes. Tester les quantités de sources rayons T seraient nécessaires et à ce jour les chercheurs n'ont trouvé aucune indication claire de la présence de dommages permanents.

Dans cet exposé, nous allons faire un point de l'état de l'art des sources THz disponibles pour les scientifiques. Les différentes technologies et performances seront abordées et mises en perspectives avec les seuils réglementaires d'exposition, pour des signaux impulsionnels et continus. Nous rapporterons les derniers résultats sur l'emploi des ondes THz dans le domaine de l'imagerie biomédicales. Enfin nous évoquerons quelques perspectives comme, la détection et la manipulation de la méthylation de l'ADN à l'aide du rayonnement terahertz qui peuvent constituer une nouvelle méthode novatrice dans l'étude du cancer. La méthylation de l'ADN a été directement observée par spectroscopie terahertz à environ 1,65 THz et ce changement chimique épigénétique pourrait être manipulé à l'état de déméthylation en utilisant un rayonnement terahertz de forte puissance.

Références

- [1] J. L. Coutaz, *Optoélectronique terahertz*. 2008.
- [2] D. H. Auston, "Picosecond optoelectronic switching and gating in silicon," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 26, no. 3, pp. 101–103, 1975.
- [3] T. Yasui, E. Saneyoshi, and T. Araki, "Asynchronous optical sampling terahertz time-domain spectroscopy for ultrahigh spectral resolution and rapid data acquisition," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 87, no. 6, pp. 67–70, 2005.
- [4] F. Ospald, J. Guillet, and R. M. Edo, "Aeronautics composite material inspection with a terahertz time-domain spectroscopy system," 2014.
- [5] J. B. Sleiman, J. Bou, and S. Imagerie, "Terahertz Imaging and Spectroscopy: Application to Defense and Security : Application to Defense and Security," 2016.
- [6] J. Bou-Sleiman, "Imagerie et spectroscopie térahertz : application aux problématiques de défense et de sécurité," 2016.
- [7] I. Hochfrequenztechnik, T. U. Braunschweig, and S. K. Skz, "Inspection of plastic weld joints with terahertz imaging," vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2007.
- [8] A. Society, B. Engineers, and P. Rico, "Terahertz (THz) Applications in Food and Agriculture: A Review," *Trans. ASABE*, no. April 2013, pp. 1213–1226, 2013.
- [9] P. C. Ashworth *et al.*, "Terahertz pulsed spectroscopy of freshly excised human breast cancer," *Opt. Express*, vol. 17, no. 15, pp. 12444–12454, 2009.
- [10] A. Al-Ibadi *et al.*, "Terahertz biomedical imaging: From multivariate analysis and detection to

- material parameter extraction," *Prog. Electromagn. Res. Symp.*, vol. Part F1343, pp. 2756–2762, 2017.
- [11] C. Jansen *et al.*, "Terahertz imaging: applications and perspectives," *Appl. Opt.*, vol. 49, no. Section 3, pp. E48–E57, 2010.
- [12] A. Ramundo Orlando and G. P. Gallerano, "Terahertz radiation effects and biological applications," *J. Infrared, Millimeter, Terahertz Waves*, vol. 30, no. 12, pp. 1308–1318, 2009.
- [13] F. S. Barnes, "Radio Microwave interaction with biological materials" *Health Physics* vol. 56, no. 5, pp. 759–766, 1989.