



HAL
open science

La spectroscopie THz et ses applications dans les domaines analytiques

Jeyan Bichon, Nouredin Osseiran, Sophie Eliet, Romain Peretti

► **To cite this version:**

Jeyan Bichon, Nouredin Osseiran, Sophie Eliet, Romain Peretti. La spectroscopie THz et ses applications dans les domaines analytiques. OPTIQUE Normandie 2024, Jul 2024, Rouen, France. hal-04633379

HAL Id: hal-04633379

<https://cnrs.hal.science/hal-04633379>

Submitted on 4 Jul 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

La spectroscopie THz et ses applications dans les domaines analytiques

Jeyan Bichon, Nouredin Osseiran, Sophie Eliet & Romain Peretti

Univ. Lille, CNRS, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 IEMN - Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France

romain.peretti@cnrs.fr

RESUME

La gamme TéraHertz en général, et la spectroscopie TéraHertz en particulier, sont des domaines en pleine expansion et largement exposés. Dans cette conférence, nous présenterons les bases expérimentales de cette spectroscopie et son contexte, tant fondamental qu'applicatif, en soulignant ses liens et ses différences avec l'optique et la photonique.

MOTS-CLEFS : *TéraHertz; spectroscopie, Time Domain Spectroscopy,*

1. INTRODUCTION

Avant les années 90, la spectroscopie TéraHertz (0,1-10 THz) était essentiellement effectuée par des spectromètres infrarouges à transformée de Fourier. Elle était donc limitée par des sources et détecteurs peu performants. Depuis, des progrès technologiques en optique (lasers) et électronique ont permis de développer de nouvelles techniques et d'augmenter le nombre d'applications dans divers domaines [1].

Dans cette conférence nous aborderons d'une part les dispositifs de spectroscopie THz, leurs qualités et leurs limites, et d'autre part les questions fondamentales et appliquées auxquelles peuvent répondre la spectroscopie TéraHertz.

2. LA SPECTROSCOPIE THZ DANS LE DOMAINE TEMPOREL

Différents dispositifs électroniques, à toujours plus haute fréquence, ou opto-électroniques permettent aujourd'hui des mesures de spectroscopie TéraHertz performantes. En particulier, la naissance puis l'accessibilité des lasers femtoseconde ont permis le développement de la spectroscopie dans le domaine temporel (TDS). Cette technique, qui a une quarantaine d'années, exploite l'effet photoconducteur ou l'optique non linéaire pour convertir l'enveloppe temporelle d'une impulsion laser dans la gamme THz. Puis il l'échantillonne dans le domaine temporel grâce à une ligne à retard, permettant d'enregistrer le champ électrique en fonction du temps à une échelle sub-picoseconde.

Avec sa diffusion, de nouveaux besoins en traitement du signal [2, 3], en analyse d'incertitude [4] et donc de bruit [5, 6] et aussi de standardisation [7] ont été adressés. Ils ont en particulier permis de montrer que la limite de résolution habituelle pouvait en réalité être dépassée [8] ce qui en fait un outil très intéressant pour l'analyse et la détection d'échantillon gazeux multi espèces.

3. SONDER LES PHONONS DES CRISTAUX MOLECULAIRES EN SPECTROSCOPIE THZ

D'un point de vue plus fondamental, la spectroscopie THz sonde différentes transitions dans différents états de la matière : gazeux, solide liquide et même plasma. À l'état solide, nous parlerons en particulier des transitions vibrationnelles. En effet, la gamme THz est à plus basse fréquence que l'infrarouge et nous sondons donc des vibrations qui s'étendent à des échelles nanométriques. À titre d'exemple, nous avons

récemment démontré que dans les cristaux moléculaires polymorphes dont la maille mesure environ 1 nm, le spectre change radicalement avec la structure du cristal, bien que la composition soit la même [9]. Cette propriété rend la spectroscopie THz particulièrement attrayante pour l'industrie pharmaceutique [10, 11] dont les médicaments et leurs liants sont souvent des cristaux moléculaires.

4. CONCLUSION

Pour conclure, nous présenterons les défis que rencontre et rencontrera la spectroscopie THz par exemple pour l'étude d'échantillons de petite taille [12], mais surtout les opportunités d'applications, par exemple à l'état gazeux pour la santé [13] et l'étude de l'atmosphère [14].

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été supporté par l'ERC-2022-COG grant TUSCany #101089040.

REFERENCES

- [1] S. Houver, S. E. Barois, P. Roy, and R. Peretti, "La spectroscopie térahertz: électrons et vibrations," *Photoniques*, no. 121, pp. 36–41, 2023.
- [2] R. Peretti, S. Mitryukovskiy, K. Froberger, A. Mebarki, S. Eliet, M. Vanwolleghem, and J. Lampin, "THz-tds time-trace analysis for the extraction of material and metamaterial parameters," *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 1–1, 2018.
- [3] U. Tayvah, J. A. Spies, J. Neu, and C. A. Schmuttenmaer, "Nelly: A user-friendly and open-source implementation of tree-based complex refractive index analysis for terahertz spectroscopy," vol. 93, no. 32, pp. 11243–11250.
- [4] J. S. Dodge, L. Mohtashemi, P. Westlund, P. Mousavi, and D. G. Sahota, "A maximum-likelihood analysis framework for terahertz time-domain spectroscopy," in *2020 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)*, IEEE, 2020, pp. 1–1.
- [5] C. Muller, M. Lavancier, J. Bichon, T. Hannotte, J.-F. Lampin, S. Eliet, and R. Peretti, "Beyond the "dynamic range" approach in noise evaluation for terahertz time domain spectrometers," in *2021 46th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz)*. IEEE, pp. 1–2.
- [6] E. Denakpo, T. Hannotte, M. Lavancier, S. E. Barois, and R. Peretti, "Noise analysis, noise reduction and covariance estimation for time domain spectroscopy," in *IRMMW 2022*. IEEE.
- [7] J. Lee, C. K. Leung, M. Ma, J. Ward-Berry, S. Santitewagun, and J. A. Zeitler, "The dothz project: A standard data format for terahertz time-domain data," vol. 44, no. 11, pp. 795–813.
- [8] S. Eliet, A. Cuisset, F. Hindle, J.-F. Lampin, and R. Peretti, "Broadband super-resolution terahertz time-domain spectroscopy applied to gas analysis," *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 75–80, 2021.
- [9] S. Mitryukovskiy, D. E. P. Vanpoucke, Y. Bai, T. Hannotte, M. Lavancier, D. Hourlier, G. Roos, and R. Peretti, "On the influence of water on thz vibrational spectral features of molecular crystals," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 24, no. 10, pp. –, 2022.
- [10] E. F. Plinski, N. Paka, and S. Plinska, "Applications of terahertz atr spectroscopy to pharmacology." *Acta Poloniae Pharmaceutica*, vol. 78, no. 4, pp. 467–474, 2021.
- [11] A. Moradikouchi, A. Sparén, S. Folestad, J. Stake, and H. Rodilla, "Terahertz frequency domain sensing for fast porosity measurement of pharmaceutical tablets," *Inter Jour. of Pharma.*, vol. 618, 2022.
- [12] R. Peretti, F. Braud, E. Peytavit, E. Dubois, and J.-F. Lampin, "Broadband terahertz light-matter interaction enhancement for precise spectroscopy of thin films and micro-samples," *MDPI photonics*, vol. 5, no. 2, p. 11, 2018.
- [13] V. Vaks, E. Domracheva, M. Chernyaeva, V. Anfertev, A. Maslennikova, A. Zheleznyak, T. Knyazeva, M. Rodionov, and A. Maiorov, "Application of a high-resolution terahertz gas spectroscopy method to compositional analysis of thermal decomposition products of human fluids (urine)," *Journal of Optical Technology*, vol. 89, no. 4, pp. 243–249, 2022.
- [14] A. D'Arco, D. Rocco, F. P. Magboo, C. Moffa, G. Della Ventura, A. Marcelli, L. Palumbo, L. Mattiello, S. Lupi, and M. Petrarca, "Terahertz continuous wave spectroscopy: A portable advanced method for atmospheric gas sensing," *Optics Express*, vol. 30, no. 11, pp. 19005–19016, 2022.