



**HAL**  
open science

## Instrument de spectroscopie terahertz du volatilome des microorganismes des sols

François Bondu, Ludovic Frein, Cyril Hamel, Anthony Carré, Guillaume Ducournau, Jean-Francois Lampin, Françoise Binet, Goulc'Hen Loas

► **To cite this version:**

François Bondu, Ludovic Frein, Cyril Hamel, Anthony Carré, Guillaume Ducournau, et al.. Instrument de spectroscopie terahertz du volatilome des microorganismes des sols. OPTIQUE Dijon 2021 - Colloque PAMO (Physique Atomique, Moléculaire et Optique) / SFP, Jul 2021, Dijon, France. hal-03290108

**HAL Id: hal-03290108**

**<https://hal.science/hal-03290108>**

Submitted on 7 Oct 2021

**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.

# INSTRUMENT DE SPECTROSCOPIE TERAHERTZ DU VOLATILOME DES MICROORGANISMES DES SOLS

**François Bondu<sup>1</sup>, Goulc'hen Loas<sup>1</sup>, Ludovic Frein<sup>1</sup>, Cyril Hamel<sup>1</sup>, Anthony Carré<sup>1</sup>,  
Guillaume Ducournau<sup>2</sup>, Jean-François Lampin<sup>2</sup>, Françoise Binet<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Institut FOTON - UMR 6082, CNRS, Univ Rennes, 35000 Rennes, France*

<sup>2</sup> *IEMN – UMR 8520, Université de Lille, 59491 Villeneuve d'Ascq, France*

<sup>3</sup> *ECOBIO - UMR CNRS 6553, Univ Rennes, 35000 Rennes, France*

francois.bondu@univ-rennes1.fr

## RÉSUMÉ

L'identification des molécules volatiles issues du métabolisme des microorganismes dans leur environnement peut être réalisée par la spectroscopie (sub) millimétrique. Nous mettons au point un instrument transportable à ondes continues. Nous montrons les performances de la synthèse de fréquence.

**MOTS-CLEFS :** *spectroscopie ; microbiologie ; synthèse optique ultra-stable de fréquences*

## 1. INTRODUCTION

La détection des gaz volatils du métabolisme des microorganismes engage des enjeux importants en biologie et en sciences de l'environnement. Les microorganismes présentent une grande diversité. Ils sont impliqués dans les grands cycles biogéochimiques dont celui du carbone. Une de leurs contributions majeures est de maintenir la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments dans les écosystèmes [1]. Certaines lois d'échelle en écologie indiqueraient qu'on ne connaîtrait qu'une espèce sur 100 000 [2]. Les molécules du processus de « détection de quorum » [3] identifieraient des espèces particulières. L'identification de molécules pourrait constituer une signature spécifique d'un type de microorganisme ou de situations sanitaires particulières (détection de pathogènes). En écologie des sols, elle pourrait permettre de clarifier le rôle des microorganismes dans le fonctionnement des sols – encore une boîte noire pour une très large part – et éclairer leur potentiel pour accompagner l'agroécologie.

## 2. SPECTROSCOPIE TERAHERTZ A ONDES CONTINUES

Les largeurs de raie réduites (quelques centaines de kHz) dans la gamme des ondes submillimétriques et térahertz, à basse pression, permettent des détections de molécules très spécifiques de molécules. En effet, pour une masse de molécule et une température données, la largeur Doppler est proportionnelle à la fréquence de résonance : la résolution est donc 1000 fois meilleure en ondes (sub-) millimétrique qu'en proche infra-rouge. La spectroscopie à ondes continues, avec une source d'ondes ultra-stable, permet une détection synchrone et permet de concentrer l'énergie sur une partie du spectre de quelques dizaines de Hz : la détection de traces ne dépend pas de la puissance absolue de l'onde émise, mais de son bruit d'amplitude. Contrairement à la chromatographie en phase gazeuse associée à la spectroscopie de masse, la spectroscopie térahertz ne fragmente pas les grosses molécules. La spectroscopie sur une très large gamme de fréquence, par exemple 100 GHz-1 THz, et très résolue en fréquence permet de faire face à la grande variété de molécules et donc de microorganismes responsables des émissions.

## 3. INSTRUMENT A ONDES CONTINUES

La source (sub-) millimétrique est obtenue sur la base de photomélange, avec des composants lasers fibrés pour les télécommunications optiques. Nous pouvons accorder la fréquence sur environ

850 GHz. Les diodes lasers 1 et 2 sont stabilisées sur deux résonances d'une cavité optique, en polarisations orthogonales ; leur écart de fréquence est donc un multiple de l'intervalle spectral libre de la cavité, 1 GHz. Les diodes lasers 2 et 3 sont stabilisées par une boucle à verrouillage de phase avec un intervalle de fréquence accordable entre 5 et 10 GHz ; cet effet vernier permet l'accord continu de la fréquence entre les lasers 1 et 3. Les diodes accordables sont bruyantes : nous avons dépassé ce verrou avec une électronique spécifique de stabilisation ultra-rapide (45 MHz de bande passante). En figure 1, nous montrons les performances de la stabilisation de fréquence que nous avons pu mesurer au laboratoire [4]–[6] : la largeur de raie équivalente de 30 Hz est très largement suffisante. L'amplitude des lasers sera stabilisée à un niveau d'intensité relative de -150 dBc/Hz. Nous pensons pouvoir obtenir une exactitude sur la fréquence absolue de l'ordre de 100 kHz. Une photodiode UTC et une antenne convertiront le battement en rayonnement THz en espace libre en amont de la cavité de spectroscopie, qui présente une longueur effective de 50 cm. Pour la détection, le rayonnement térahertz induit une biréfringence dans un cristal ; un faisceau laser bi-fréquence bi-polarisation mesurera cette biréfringence de façon synchrone : on mesurera donc l'amplitude du champ térahertz ; le contraste d'amplitude sur une résonance sera proportionnel à l'abondance de l'espèce moléculaire recherchée.

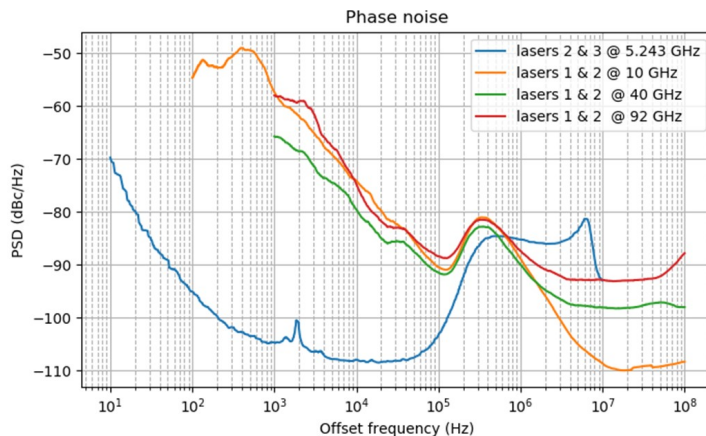


Fig. 1 : Bruit de phase du battement laser accordable sur une très large plage de fréquences.

## CONCLUSION

La source de fréquence (sub-) millimétrique en cours de montage présente déjà une excellente résolution de fréquence. Nous montons un instrument transportable utile pour des applications en microbiologie des sols. Le projet est financé par la MITI du CNRS.

## REFERENCES

- [1] P. Nannipieri, J. Ascher, M. Ceccherini, L. Landi, G. Pietramellara, et G. Renella, « Microbial diversity and soil functions », *European journal of soil science*, vol. 54, n° 4, p. 655-670, 2003.
- [2] K. J. Locey et J. T. Lennon, « Scaling laws predict global microbial diversity », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, n° 21, p. 5970-5975, mai 2016, doi: 10.1073/pnas.1521291113.
- [3] M. Whiteley, S. P. Diggle, et E. P. Greenberg, « Progress in and promise of bacterial quorum sensing research », *Nature*, vol. 551, n° 7680, p. 313-320, nov. 2017, doi: 10.1038/nature24624.
- [4] A. Hallal, S. Bouhier, et F. Bondu, « Frequency Stabilization of a Laser Tunable Over 1 THz in an All Fibered System », *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 28, n° 11, p. 1249-1252, juin 2016, doi: 10.1109/LPT.2016.2532119.
- [5] A. Hallal, S. Bouhier, et F. Bondu, « Synthesis of a 30-Hz Linewidth Wave Tunable Over 500 GHz », *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 65, n° 4, p. 1367-1371, avr. 2017, doi: 10.1109/TMTT.2016.2635639.
- [6] F. Bondu *et al.*, « An optical instrument for the submillimeter spectroscopy of the volatile metabolome », Paris, sept. 2019, p. 3.