



**HAL**  
open science

## La perception numérique - Projet ciblé COMPTERA: COMPosants électroniques pour l'imagerie TERAhertz

Carlo Sirtori, Laurent Dussopt, Juliette Mangeney, Stefano Barbieri, Frédéric  
Teppe, Patrick Mounaix

### ► To cite this version:

Carlo Sirtori, Laurent Dussopt, Juliette Mangeney, Stefano Barbieri, Frédéric Teppe, et al.. La perception numérique - Projet ciblé COMPTERA: COMPosants électroniques pour l'imagerie TERAhertz. Lancement et première journée scientifique annuelle du PEPR Électronique, Mar 2023, Poitiers, France. hal-04388092

**HAL Id: hal-04388092**

**<https://hal.science/hal-04388092v1>**

Submitted on 11 Jan 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.

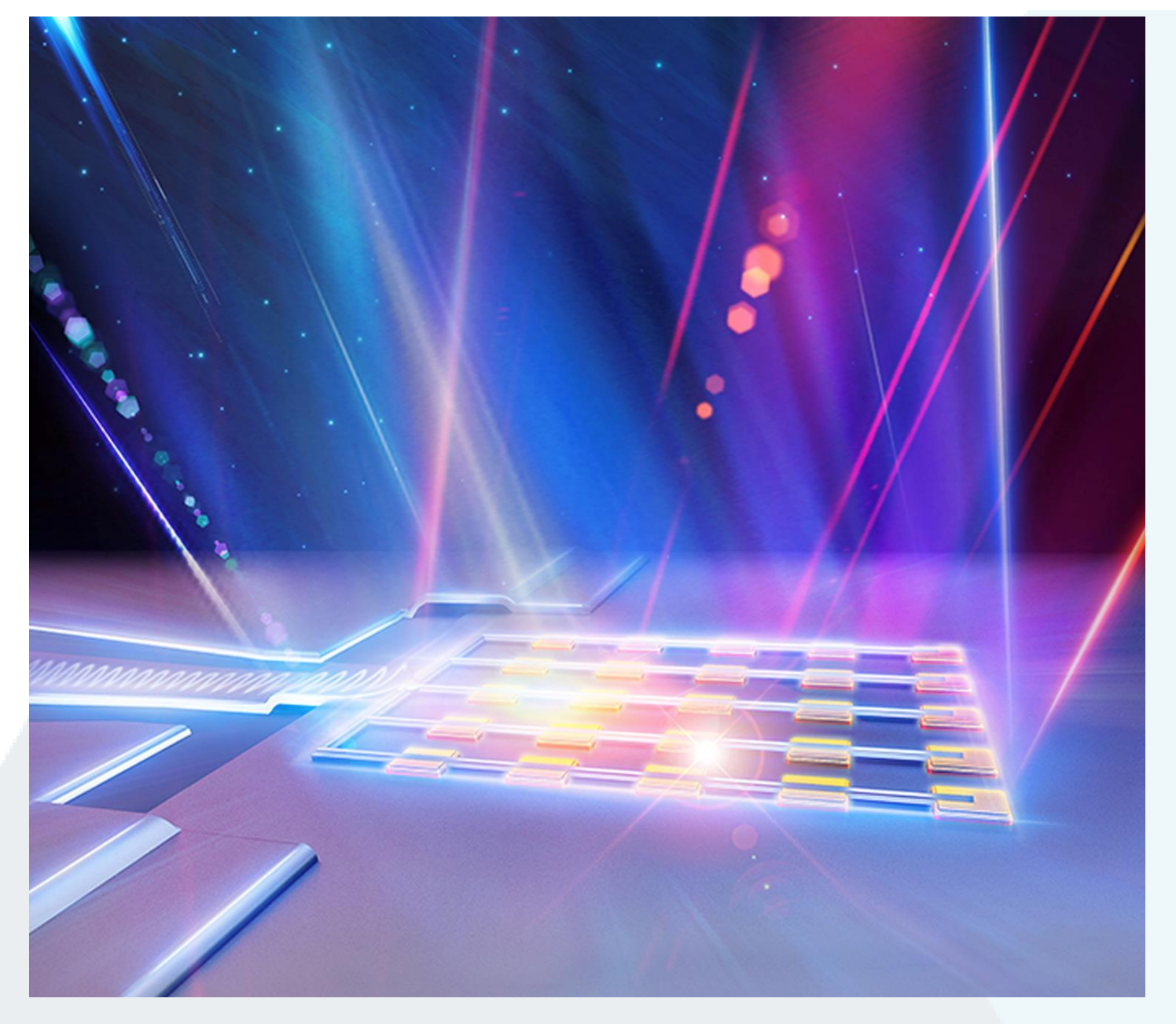


**Contacts:** Carlo Sirtori (LPENS), Laurent Dussopt (CEA-LETI), Juliette Mangeney (LPENS), Stefano Barbieri (IEMN), Frédéric Teppe (L2C), Patrick Mounaix (IMS).

**Objectif :** Faire de l'imagerie TeraHertz grâce à des composants photoniques semi-conducteurs intégrés sur silicium

**Défi :** Développer des **détecteurs à haute sensibilité** adaptés aux différentes gammes de longueurs d'onde du **domaine THz**.

**Applications:** contrôle non destructif, sécurité, détection de gaz, contrôle environnemental, environnement à visibilité réduite, etc..



**Résumé:**  
COMPTERA vise le développement de composants avancés pour les futurs systèmes d'imagerie multispectrale en gamme THz (0,3-30 THz) qui feront appel à des technologies très variées à la frontière de l'électronique et de l'optoélectronique, en particulier des détecteurs à haute sensibilité adaptés à chaque gamme de longueurs d'onde (notamment micro-bolomètres, détecteurs à effet de champ, photodétecteurs unipolaires à multi-puits quantiques). Une partie de ces capteurs ultra-sensibles sera ensuite intégrée à des systèmes d'imagerie adaptés à la démonstration de leurs performances.

|                 | Année 1 |    |      |    |      | Année 2 |    |      |    | Année 3 |     |      |     | Année 4 |     |      |  |
|-----------------|---------|----|------|----|------|---------|----|------|----|---------|-----|------|-----|---------|-----|------|--|
|                 | Q1      | Q2 | Q3   | Q4 | Q5   | Q6      | Q7 | Q8   | Q9 | Q10     | Q11 | Q12  | Q13 | Q14     | Q15 | Q16  |  |
| T0 - Coord.     |         |    |      |    |      |         |    |      |    |         |     |      |     |         |     |      |  |
| T1 - Spécif.    |         |    | ★ J1 |    | ▲ L1 |         |    |      |    |         |     |      |     |         |     |      |  |
| T2 - Détecteurs |         |    |      |    |      | ★ J2    |    | ▲ L2 |    | ★ J3    |     | ▲ L3 |     |         |     |      |  |
| T3 - Systèmes   |         |    |      |    |      |         |    |      |    |         |     |      |     | ★ J4    |     | ▲ L4 |  |

★ Jalons    ▲ Livrables

### Détecteurs et modulateurs très large bande (IEMN, LPENS) (8-10 μm – 30-37 THz)

- Bande spectrale: fenêtre atmosphérique 8-10 μm (30-37THz)
- Bande RF visée: >100GHz
- Senseur: photo-détecteur multi-puit quantique AlGaAs/GaAs
- Architecture: matrice d'antennes MIR avec accès coplanaire intégré
- Type de détection: hétérodyne
- Responsivité visée: ~1A/W à T=250K

Reponse en fréquence du détecteur à 10.3μm  
300K; 2.5V

Images MEB des dispositifs fabriqués

Bande passante du modulateur  
Rectification signal (dBm) vs Frequency (Hz)  
 $f_{-3dB} > 10$  GHz

M. Haki et al., ACS Photon. 8, 464 (2021)  
D. Palaferri et al., Nature 556 (2018)  
H. Dely, T. Bonazzi et al., Laser & Photon. Rev. 16 (2022)

### Détecteurs bolométriques THz (CEA-LETI)

- Bandes: 400 GHz et 650 GHz
- Senseur: diode silicium refroidie
- Sensibilité: < 1 pW
- Temps de réponse: < 50 ms

**Objectifs Comptera:**

- Fabrication sur la Plateforme Silicium 200 mm (Léti)
- Démonstration d'une matrice de détecteurs

Applications d'imagerie: CND, sécurité, vision en environnement dégradé, ...

Coefficient de courant en température (TCC) d'une diode silicium planaire  
Absorption d'un détecteur dans la bande 400 GHz.  
Vue 3D d'un détecteur

Ces travaux ont été initiés dans les thèses de J. Blond (2017-2021) et A. Fournol (2020-2023) (thèses CEA-DGA).  
Ref.: A. Fournol, et al., "Cooled Bolometer Design for High-Sensitivity THz Passive Imaging," IRMMW THz-2022.

### Détecteurs THz à haute pureté spectrale à base de nanocristaux (LPENS)

- Projet exploratoire : étude des propriétés THz de larges nanocristaux de HgTe, de la dynamique des porteurs chauds, du photo-transport, du couplage à une cavité THz

THz photons

Large absorption intrabande THz  
T. Apreta et al., Nanophotonics 10, 2753 (2021)

Cavité Tamm THz à Q élevé  
S. Messelot et al., ACS Photonics 7, 2906 (2020)

Collaboration: Emmanuel Lhuillier (INSP)

### Détecteurs FET (L2C)

- Bandes: 300-600 GHz
- NEP : 2 pW/Hz<sup>0.5</sup>
- Sensibilité: 3000 V/W @ T = 300K

**Insertion en environnement aqueux**

Spectroscopie

Imagerie en milieu aqueux  
Agronomie

Experimental evidence for long-distance electrodynamic intermolecular forces, M. Lechelon, Y. Meriguet, M. Gori, S. Ruffenach, I. Nardecchia, E. Fiorani, D. Coquillat, F. Teppe, S. Maiffert, D. Marguet, P. Ferrer, L. Varani, J. Sturgis, J. Torres, and M. Pettini, SCIENCE ADVANCES, 8, 7, (2022)

### Systèmes d'imagerie THz (IMS)

Traitements d'images et de données

Acquisition → Pre-processing → Raw Data → Reconstruction → Data Analysis → Post processing → Visualization/Analysis/Measures

Scanner basse fréquence multispectral

Imageur temps réel haute fréquence

"Terahertz Nondestructive Testing with Ultra-Wideband FMCW Radar", Sensors, 23(1), p. 187, 2023.

Exemples de projections (a), sinogrammes (b) et photographie (c) de la triple feuille.

Reconstruction 3D  
Restitution du squelette

Skeletonization and 3D Rendering with real time Terahertz tomography, Optics continuum, under press

**Applications**

- ✓ Non destructive testing
- ✓ Biomedical
- ✓ Defense and security
- ✓ Agrifood industry
- ✓ Art conservation

Holographie  
Diffraction imaging