

Editorial

La lettre de ce mois de la rentrée met en lumière les personnes, acteurs et actrices de la recherche au GREYC, dont les idées et les tendances façonneront les mois à venir. La rubrique « nouveaux arrivants » regroupent les différentes catégories d'arrivée et le focus personne est consacré à Jean-Luc Lamotte de l'équipe **CODAG**. Le focus scientifique est consacré à une thématique de l'équipe **ELEC** : le projet BOLOTERA qui est consacré à la conception et à la réalisation d'un nouveau détecteur de rayonnement innovant. Préparez-vous à plonger dans un monde riche en nouveautés et en perspectives passionnantes. La liste des séminaires des différentes équipes est disponible sur le site du GREYC : [séminaires](#).

Collaborations

Anamaria Costache, Associate professor à Norwegian University of Science and Technology, effectue une visite du 11 au 15 septembre dans l'équipe AMACC pour une collaboration avec **Adeline Roux-Langlois**. Ses thèmes de recherche sont le chiffrement complètement homomorphe.

Équipe AMACC

Michel Seck (Enseignant-Chercheur à l'École Polytechnique de Thiès au Sénégal) effectue en septembre/octobre une visite au GREYC pour travailler avec **Adeline Roux-Langlois**.

Équipe AMACC

Projets

Deux projets impliquant l'équipe électronique ont été retenus et seront financés par la région Normandie (AAP RIN projets émergents 2023-2025). Le projet BOLOMEMS (collaboration avec le CRISMAT) a pour objectif d'étudier des bolomètres MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) résonants à base d'oxydes. Le projet MELIORATION (collaboration avec le CIMAP) étudiera quant à lui la modulation des propriétés magnétiques du LSMO ($\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$) par irradiation ionique pour des applications capteur et mémoire.

Équipe ELEC

Nouveaux arrivants

L'équipe MAD souhaite la bienvenue à **Paul Jourdan**. Paul Jourdan est **ingénieur de recherche**, sous la supervision d'**Abdel-illah Mouaddib** et **Laurent Jeanpierre**, dans le cadre du projet VITA. Il va travailler sur des problématiques de coordination multi-robot en présence de contraintes de communication, appliquées à des chaises autonomes pour les transports en milieu médicalisé.

Équipe MAD

L'équipe AMACC accueille **Hsien-Kuei Hwang** grâce à la campagne Professeurs et maîtres de conférences **invités 2022-2023**. Hsien-Kuei est « Distinguished Research Fellow » à l'Academia Sinica à Taipei (Taïwan). Ses travaux de recherche portent principalement sur l'analyse des algorithmes, la combinatoire analytique, les probabilités et l'analyse asymptotique. Il sera présent au GREYC le mois de septembre.

Équipe AMACC

Martin Pépin vient d'être recruté comme **maître de conférences** dans l'équipe AMACC au GREYC. Pour l'enseignement, il rejoint le département Réseaux-Télécoms de l'IUT. En recherche, Martin s'intéresse à la génération aléatoire de structures combinatoires et à ses applications, en particulier dans le contexte des processus concurrents.

Équipe AMACC



Cléopée Robin rejoint l'équipe AMACC dans le cadre d'un **stage postdoctoral** avec **Paul Dorbec** et **Adeline Roux-Langlois**. Durant sa thèse elle a travaillé en théorie des graphes, et plus particulièrement sur les familles héréditaires de graphes et la théorie structurelle de graphes.

Équipe AMACC



Romain Hérault a rejoint l'équipe image en tant que nouveau professeur à l'UFR, section 27. Romain était anciennement maître de conférence à l'INSA Rouen.

Équipe IMAGE

Animations

Justine Reynaud participera à la journée « [TAL envol](#) » le 6 septembre à Pornic, organisée par le [GDR TAL](#).
Équipe CODAG.

Nicolas Benguigui et **François Riout** ont discuté de leur travail autour de l'analyse de données sportives dans un article du quotidien Les Echos : « [quand le sport et la data font la paire](#) ». **Équipe CODAG.**

Nicolas Benguigui a été invité à une émission de France Culture « le meilleur des mondes » sur Data, nouvelles technologies et sport : JO, Rugby... : Comment la data transforme le sport de haut niveau, le vendredi 1 septembre 2023. Le lien du pod cast est le suivant : « [le meilleur des mondes](#) ». **Équipe CODAG.**

Adeline Roux-Langlois effectuera un cours à l'école [CIMPA](#) « Aspects mathématiques de la cryptographie post-quantique » à Rabat au Maroc du 23 octobre au 4 novembre 2023. **Équipe AMACC**

Thèses

Antoine Boiteau, ancien étudiant du Master 2 « Internet, Données et Connaissances » (IDC) va commencer en octobre 2023 une thèse intitulée « Evaluation de la qualité des annotations portant sur des structures complexes ». Celle-ci sera dirigée par **Yann Mathet** et coencadrée par **Antoine Widlöcher**. **Équipe CODAG**

Arthur Mittelstaedt commence sa thèse au sein de l'équipe AMACC avec **Gaëtan Richard** (et **Véronique Terrier**) sur le sujet « Pavages et traces : dynamique et direction ». **Équipe AMACC**

Vulgarisation scientifique

Gaële Simon (MAD) a organisé un atelier autour de l'apprentissage par renforcement au mois de juin pour des stagiaires de seconde. L'atelier s'est fondé sur la « machine débranchée qui apprend à jouer au jeu de Nim », conçue sous licence CC-BY-NC-SA par **Aline Parreau** (LIRIS) et **Éric Duchêne** (LIRIS). Merci à ces deux collègues pour leur contribution à la vulgarisation de l'intelligence artificielle.. **Équipe MAD**

Vulgarisation scientifique

Festival Interstices 2025

Dans le cadre du millénaire de la ville de Caen, l'édition 2025 du festival art-science "Interstice, rencontre des inclassables" sera l'occasion de découvrir le travail de 2 artistes [Guillaume Cousin](#) et **Nicolas Germain**. Ils bénéficient de l'accompagnement scientifique de **Laurence Méchin** et **Stéphane Flament** pour une création intitulée « l'éternel retour » par **Guillaume Cousin** et de **Jean-Marc Routoure** pour « Quels sons font les bruits » par **Nicolas Germain**. Des résidences seront organisées à Caen jusqu'en 2025 pour la création de ces 2 installations. A noter, « Soudain toujours », précédente création de Guillaume Cousin sera exposée sur le campus 2 pour la fête de la science.

Équipe ELEC

Exposition sur la microscopie

L'équipe électronique du GREYC est associée à une exposition sur la microscopie mise en place par le réseau RESITECH(#). L'exposition s'intitule « Patrimoine et microscopie. Regarder l'invisible en Normandie ». L'exposition est actuellement à l'UFR des sciences de L'université de **Rouen**. Elle sera visible à **Caen** en septembre prochain pour 2 mois environ. Parmi la vingtaine de microscopes exposés, l'aligneur de masque Suff MJB3 (qui était dans les réserves de l'équipe électronique) peut être admiré (cf. photos). Un livret a été réalisé dont un extrait est joint. Un catalogue sera édité dans le courant de l'année prochaine.

(#) RESITECH est un réseau coordonné par le CNAM qui vise à faire l'inventaire et à sauvegarder le patrimoine de recherche scientifique. L'antenne normande à Rouen est animée par **Anne-Sophie Rozay**. **Jean-Marc Routoure** est membre du conseil scientifique de [RESITECH](#).

Équipe ELEC

La microscopie et la micro-electronique

C'est avec l'invention du circuit intégré par Jack Kilby (1923-2005) en 1959, que la microscopie et l'électronique se rencontrent : les composants réalisés et interconnectés directement sur un cristal de matériau semi-conducteur deviennent de taille trop petite pour pouvoir être observés à l'œil nu.

Les circuits électroniques utilisent des composants de taille micrométrique : c'est la microélectronique

Pour quelles utilisations

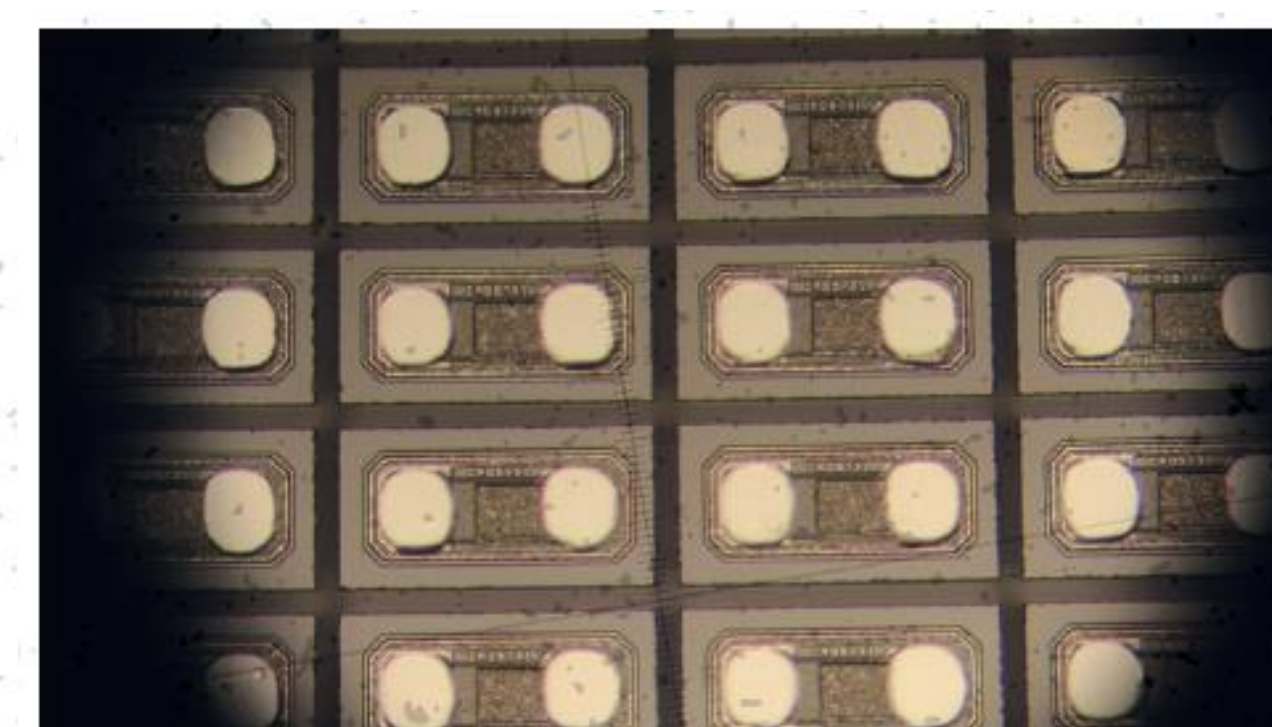
La microscopie optique est utilisée : pour le contrôle lors des différentes étapes de fabrication des circuits intégrés, pour vérifier les connexions électriques entre la puce et les appareils de test ou bien aux autres éléments du circuit électronique.

La microscopie confocale intervient dans certaines techniques avancées pour rechercher les causes de défaillance d'un circuit intégré en localisant les zones défectueuses.

L'« Optical Beam Induced Current » (OBIC) permet par reconstruction numérique de l'image suite au balayage de la surface du composant par un faisceau laser de localiser les zones défectueuses d'un composant.



Machine d'alignement de masques et d'insolation Karl Süss MJB 3
Entre 1970 et 1980 – Laboratoire GREYC
© Isabelle Lebon



Condensateurs silicium sur une plaque de silicium sciée. Photo prise par la machine de contrôle visuel (microscopie optique) 2022 – échelle : chaque composant mesure 400µm x 200µm
© Murata Manufacturing Co., Ltd.



Vue de dessus des structures en tripod faites dans le Silicium, réalisée avec un MEB- 2019 – échelle : la largeur d'un tripod est de l'ordre de 2µm
© Murata Manufacturing Co., Ltd

Actualités du GREYC Novembre 2023



Focus personnel : Jean-Luc Lamotte , équipe CODAG

Aujourd'hui, nous rencontrons Jean-Luc Lamotte, un "parisien" caennais arrivé l'an dernier au GREYC dans l'équipe CODAG (Contraintes-Ontologies-Données-Annotations-Graphes). La rédaction tient à signaler que tout acrostiche est purement fortuit.

Jean-Luc : Céline ! Qu'est-ce que tu fais là ? Je croyais que c'était Julien l'intervieweur officiel du GREYC ?

Céline : Ouais, mais il est trop occupé, il range son bureau... Du coup, c'est moi qui m'y colle. Bon, on va commencer simplement : est-ce que tu peux te présenter ?

J-L : D'accord ! Je m'appelle Jean-Luc, j'ai été parmi les premières promotions de la licence et de la maîtrise informatique à Caen. Après un DEA à Clermont-Ferrand, j'ai fait ma thèse à Caen en recuit simulé (méthode d'optimisation) pour de la restauration d'images sur des Transputers.

C : Ah ok... J'ai pas tout compris... C'est quoi des "gransputeurs" ?

J-L : Gransputeur ? Mais non, on dit "Transputer" ! C'est l'un des derniers processeurs de calcul fabriqués en Europe.

C : [...] Ah d'accord ! Et après, tu as fait quoi ?

J-L : Il y avait encore le service militaire à l'époque, du coup, changement de décor, je suis parti 16 mois en Afrique. Ensuite, j'ai fait ma carrière à Paris VI au LIP6, en tant que MCF puis Professeur. Enfin, j'ai rejoint CODAG l'an dernier, et j'enseigne à l'UFR des Sciences.

C : Sur quelles thématiques tu travailles ?

J-L : [...] J'ai étudié un truc tout petit : l'impact du dernier bit de la mantisse des nombres flottants sur le résultat des calculs. Parfois, une erreur au dernier bit peut avoir de très grosses conséquences.

C : Très grosses ? De quel genre ?

J-L : Hélas, l'ordinateur peut calculer des choses fausses lorsque des opérations s'enchaînent. Par exemple, si tu prends $x+y-x$, mathématiquement ça fait y , mais ça peut être égal à 0 pour un ordinateur si y est très petit par rapport à x . Pour traiter ça, dans l'équipe PEQUAN du LIP6, on était spécialistes en arithmétique stochastique.

C : Et du coup, comment tu t'es retrouvé dans l'équipe CODAG ?

J-L : [...] Déjà, j'ai toujours habité à Caen. Après avoir été directeur de la licence d'informatique à Paris VI, j'ai pris la direction de l'IUT à Cherbourg et, à la fin de mon mandat, j'ai commencé à travailler avec les chimistes du CERMN, le Centre d'Études et de Recherche sur le Médicament de Normandie, sur de la fouille de données sur des propriétés de molécules. Je fais donc de la chémoinformatique. C'est dans ce cadre que j'ai rencontré des membres de l'équipe CODAG avec qui j'ai commencé à travailler.

C : Bon, d'accord. Mais je ne comprends pas : comment on passe des bits aux molécules ?

J-L : Eh bien, c'est presque la même chose : c'est tout petit et il y en a beaucoup ! Pour les molécules, on a une grande masse de données qu'il faut fouiller pour trouver des structures chimiques intéressantes. Mon expertise en traitement parallèle a été d'une grande aide.

C : Super ! Tu as trouvé des choses intéressantes ?

J-L : Tout à fait : des méthodes de traitement mettant en évidence des constructions chimiques pour permettant aux chimistes de trouver des ensembles de molécules potentiels pour faire des médicaments.

C : [...] Tu te plais au GREYC ?

J-L : Totalement ! Je suis content. J'ai été très bien accueilli et l'équipe CODAG est très sympathique. Pour le transport, je suis passé du train à la trottinette, et ça roule !

C : Et sinon, qu'est-ce que tu aimes ?

J-L : A part le boulot, je suis passionné par la mer et la navigation à voiles.

C : Merci Jean-Luc pour cette interview !

Équipe CODAG

FOCUS ELEC : LE PROJET BOLOTERA



T. Quinten¹, Y. Lechaux¹, V. Pierron¹, C. Gunther¹, L. Méchin¹,
J.-F. Lampin², M. Faucher², B. Walter³ and B. Guillet¹

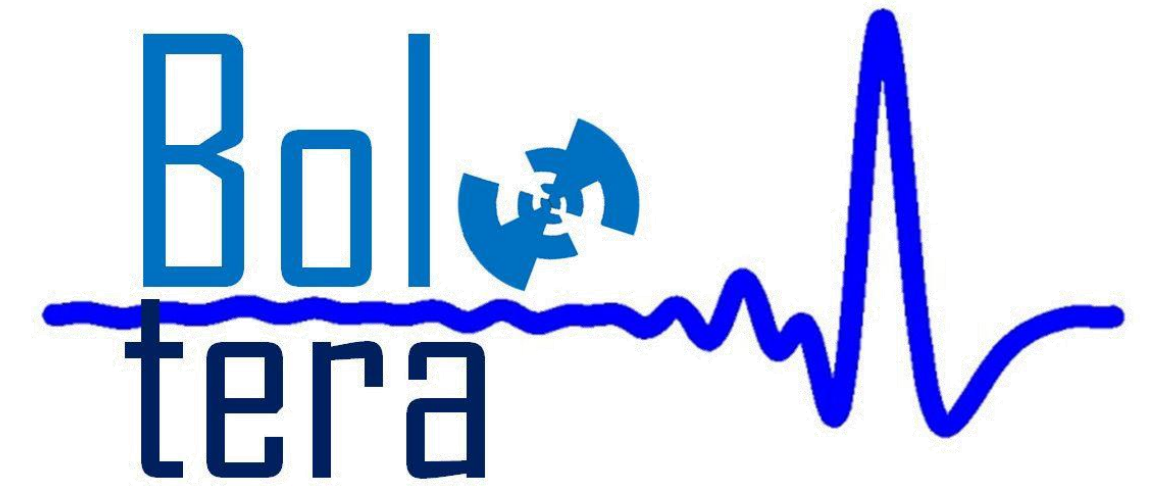
¹Normandie Univ, UNICAEN, ENSICAEN, CNRS, GREYC, 14000 Caen, France

²Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN), UMR CNRS 8520, Univ. Lille, Villeneuve d'Ascq, 59652 France

³Vmicro SAS, Avenue Poincaré, Villeneuve d'Ascq, 59650 France

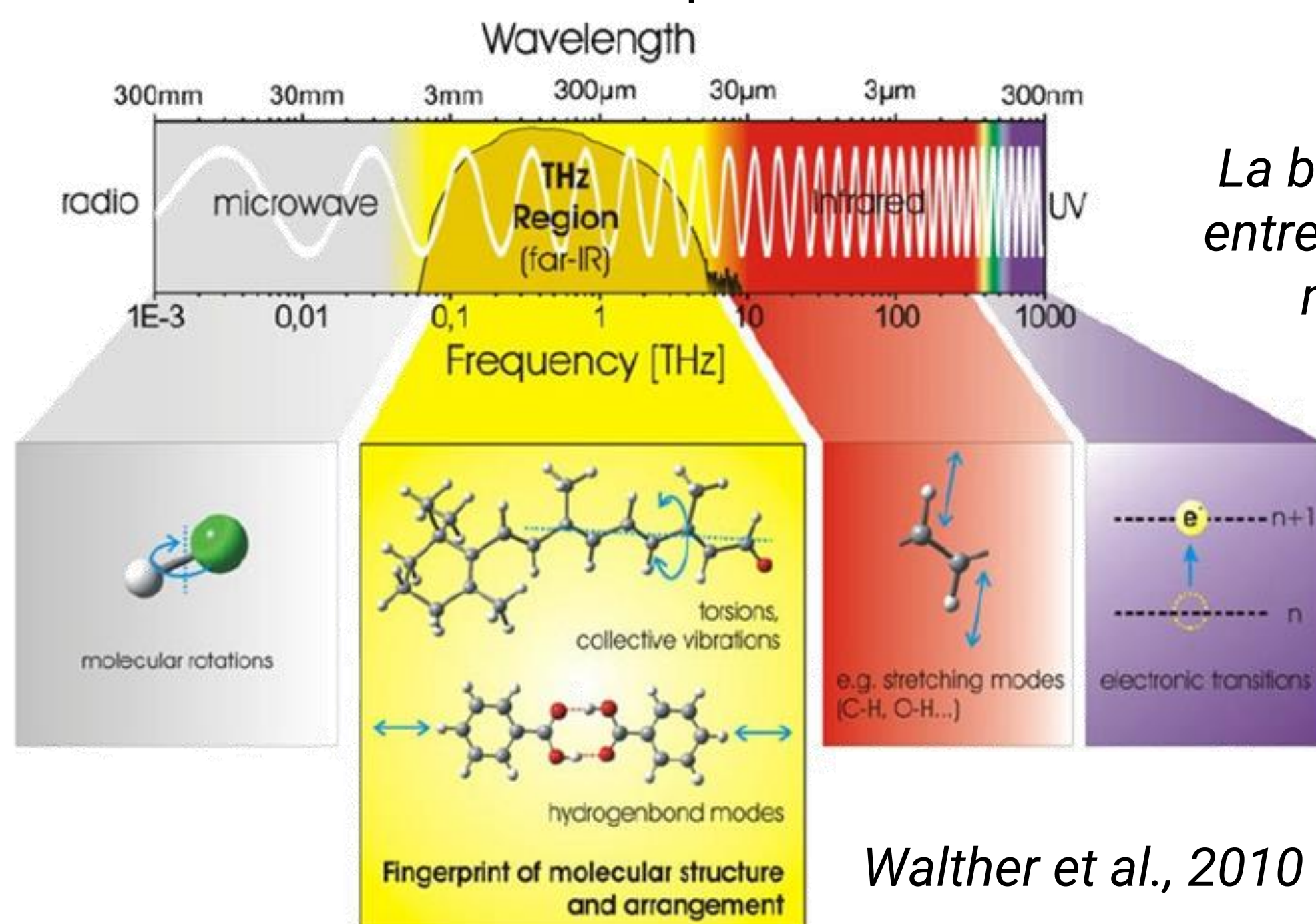
Contact : thomas.quinten@unicaen.fr, bruno.guillet@unicaen.fr

BOLOTERA est un projet financé par l'ANR pour la période 2021-2024. Il a pour objectif de lancer une nouvelle technologie de micro-bolomètres non refroidis basée sur des couches minces de $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ (LSMO) fonctionnant dans la bande THz [100 GHz – 10 THz]. Ce projet offre également l'opportunité de transférer les procédés de fabrication développés au GREYC vers des plateformes micro-électroniques semi-industrielles.



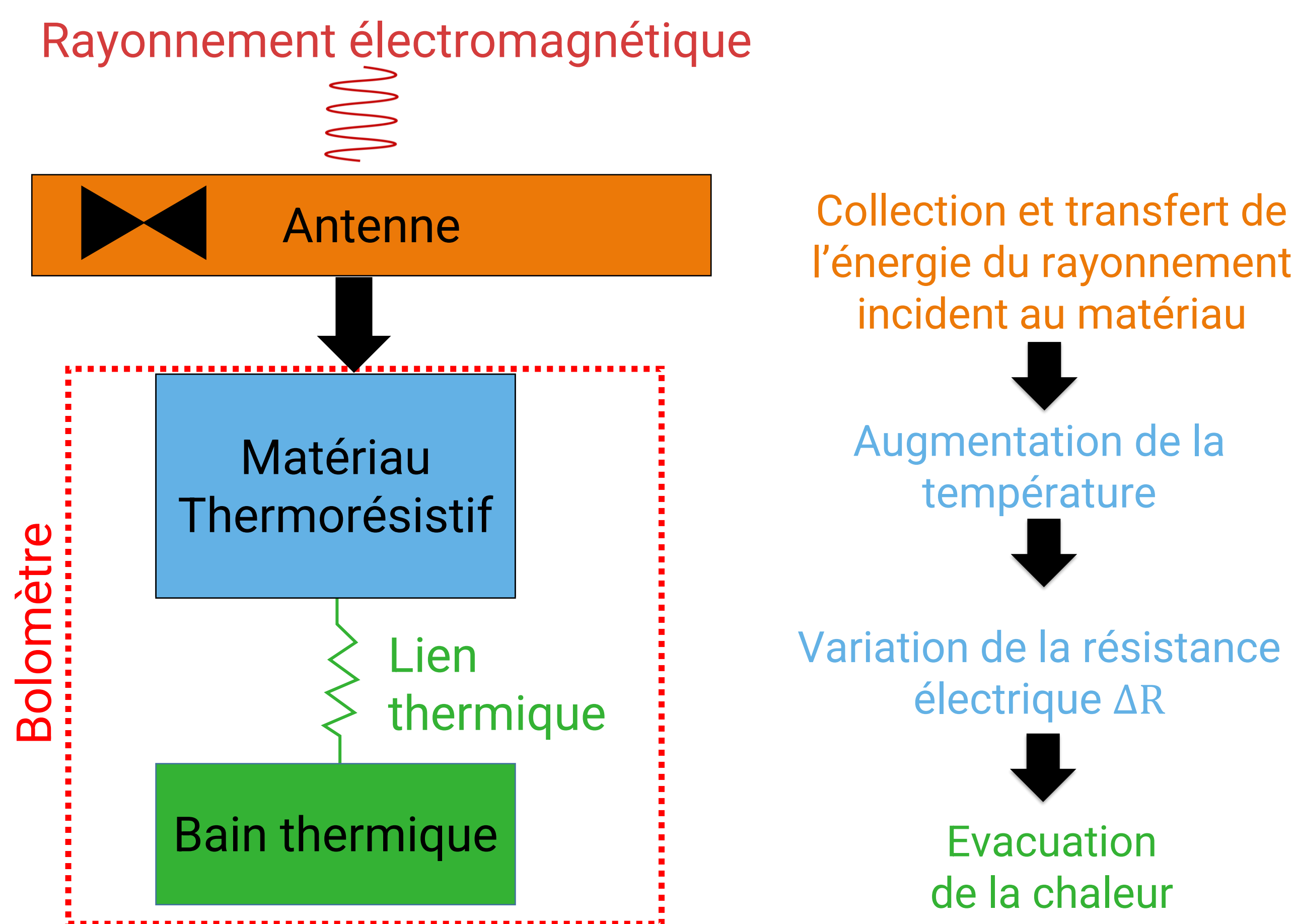
1. La bande THz

Cette bande de fréquence, autrefois peu exploitée, pourrait aujourd'hui répondre à plusieurs problèmes sociétaux importants, tels que l'étude de la pollution atmosphérique, la détection d'armes/explosifs ou encore l'identification de cancers de la peau.



2. Comment fonctionne un bolomètre ?

Un bolomètre à antenne est un type de détecteur utilisé pour mesurer des rayonnements électromagnétiques, notamment les rayonnements infrarouges et millimétriques. Le principe est résumé sur le schéma ci-dessous.



Ainsi, c'est en mesurant la variation de résistance électrique ΔR , que l'on peut déterminer l'énergie du rayonnement incident.

Pour avoir des détecteurs sensibles et rapide (une réponse de l'ordre de la milliseconde), le **matériau thermorésistif** doit avoir de très petites dimensions et présenter une forte variation de la résistance électrique (ΔR).

L'**antenne** permet donc d'augmenter la taille de la surface de détection pour atteindre les fréquences THz sans pour autant dégrader les performances du détecteur.

3. Les acteurs impliqués : chacun son expertise !

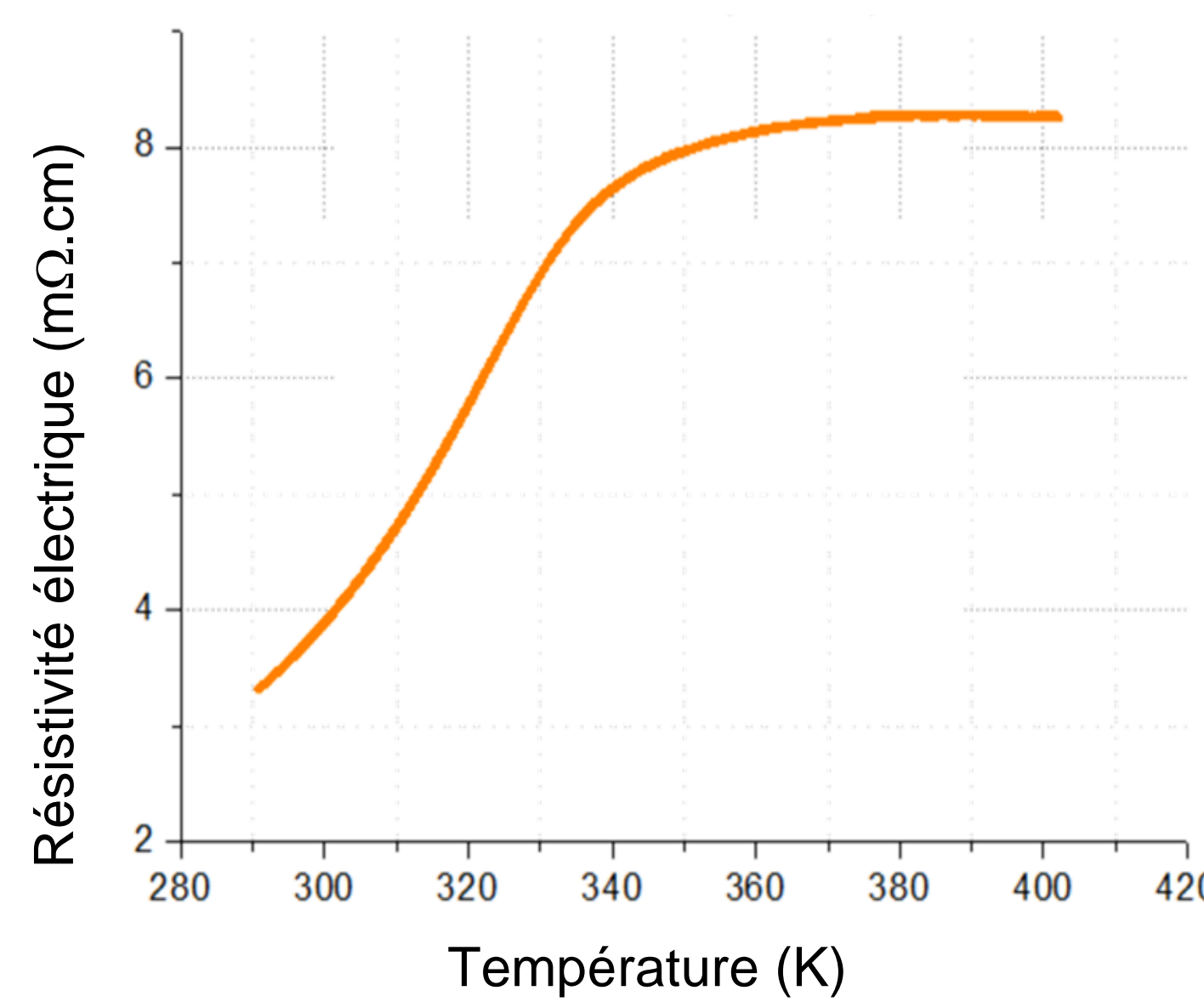
CAEN	GREYC Laboratoire de recherche en sciences du numérique	Expert des bolomètres et du LSMO
LILLE	vmicro Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie UMR CNRS 8520	Expert industriel en micro technologie
	iemn Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie UMR CNRS 8520	Expert en conception d'antenne et en caractérisation radiofréquence

4. Vous avez dit ... LSMO ?

Nos détecteurs sont constitués de couches minces (d'épaisseur 50 nm) de LSMO, un matériau de la famille des oxydes de manganèse.

Il possède d'intéressantes propriétés à température ambiante dont :

- une forte augmentation de la résistance électrique ΔR avec la température (voir graphique ci-contre)
- un très faible bruit (1/f) comparé à d'autres matériaux thermorésistifs.



Courbe de résistance en fonction de la température du LSMO

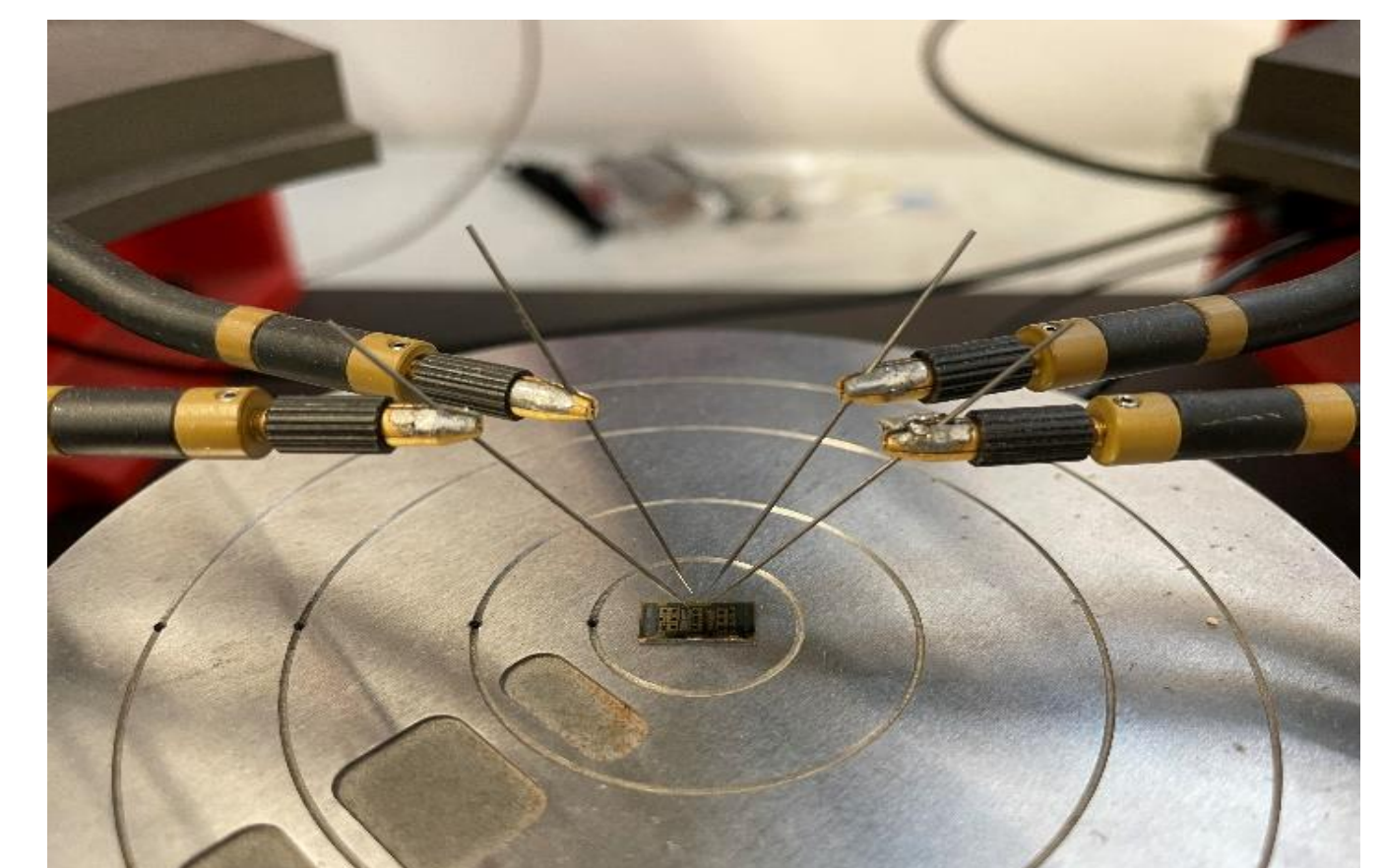
Le LSMO est déposé dans la salle blanche du GREYC par Ablation Laser Pulsée (PLD) sur des substrats de $5 \times 10 \text{ mm}^2$ jusqu'à $15 \times 15 \text{ mm}^2$ de SrTiO_3/Si .

La qualité de nos dépôts en couches minces permet de conserver les propriétés électriques et structurales des matériaux.

De la conception à la fabrication (dépôts et gravures des matériaux), en passant par les caractérisations électriques et optiques, l'équipe électronique du GREYC possède une réelle expertise dans la réalisation de détecteurs non refroidis à base de LSMO.



Dépôt du LSMO dans la salle blanche du GREYC



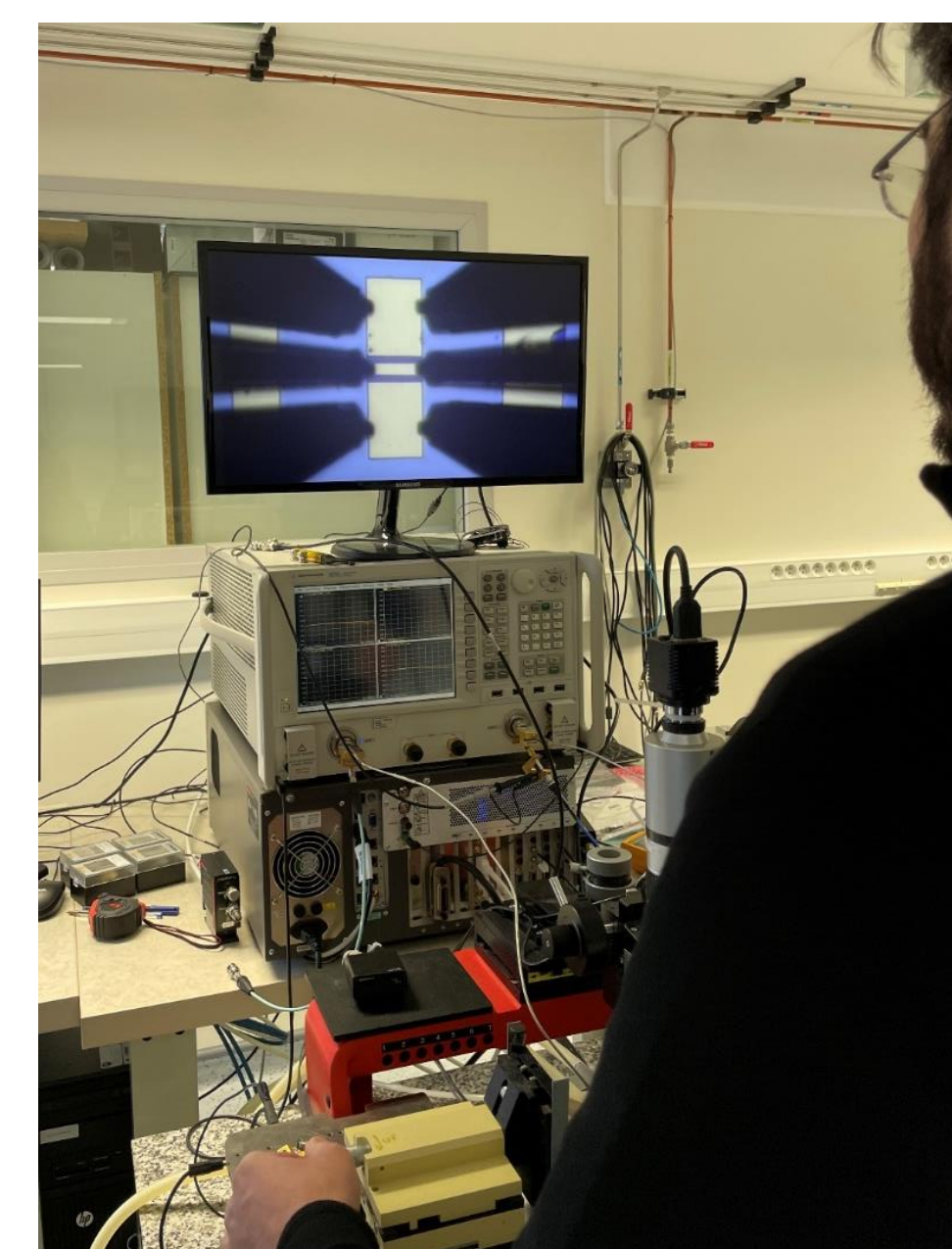
Mesures sous pointes au GREYC. Echantillon de $5 \times 10 \text{ mm}^2$

5. Où en est BOLOTERA ?

Des mesures à courant continu ont permis de caractériser le contact électrique entre l'antenne et le LSMO. Grâce à des améliorations du procédé de fabrication, de faibles résistances de contact ont pu être atteintes.

Des mesures RF (entre 250 MHz et 50 GHz) semblent montrer que l'énergie électromagnétique est correctement transférée au LSMO. Une modélisation du comportement électrique à ces fréquences a pu être mise au point.

Ces mesures ont également permis de concevoir les premiers prototypes fonctionnant entre 300 GHz et 600 GHz.



Mesures radiofréquences à l'IEMN

Le transfert technologique est en cours. La fabrication du premier lot est prévue courant septembre 2023 à Lille. Des déplacements à l'IEMN pour des campagnes de mesures sont prévues prochainement.

Quelques références

- Page web de **BOLOTERA** : anr.fr/Projet-ANR-20-CE24-0011
- S. Liu et al., J. Micromech. Microeng., 29, 065008 (2019)
- V. M. Nascimento et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 54 055301 (2021)
- T. Quinten et al., in 2022 47th IRMMW-THz (2022)
- T. Quinten et al., in 2023 48th IRMMW-THz (2023)