

TECHNOLOGIE // Désormais plus faciles à émettre et à analyser, ces ondes électromagnétiques permettent d'effectuer des contrôles non invasifs dans l'industrie, le médical et l'art. Et vont peut-être bouleverser les télécommunications sans fil.

La révolution des térahertz

Jacques Henno

Le tableau du XVII^e représente une jeune femme rousse. Avant sa restauration, il a été scanné à l'aide de térahertz, des ondes qui, comme les micro-ondes, peuvent traverser de nombreux matériaux, mais qui, comme les infrarouges, ne sont pas destructives. Des logiciels ont ensuite permis d'ôter virtuellement les différents vernis et peintures qui recouvraient le tableau, jusqu'à montrer les bulles d'air qui s'étaient formées à l'arrière. « La peinture était décollée par endroits de son support, ce qui constituait des points de fragilité », explique Jean-Paul Guillet, du laboratoire IMS (Intégration du Matériau au Système) à Bordeaux, qui a réalisé cette campagne de mesures.

Remplacer les rayons X

Les progrès techniques qui se sont succédés depuis une quarantaine d'années (lire ci-contre) ont permis à des chercheurs du monde entier de découvrir le potentiel des THz (térahertz). « Ces ondes peuvent traverser la plupart des milieux diélectriques – ceux qui ne peuvent pas conduire le courant électrique –, comme le verre, les plastiques, les vêtements, la céramique, les peintures, le bois, les papiers et cartons, l'air... » détaille Eric Freysz, responsable de l'équipe "photonique et matériaux" au Loma (Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine). En revanche, elles sont réfléchies par le métal et absorbées par l'eau. »

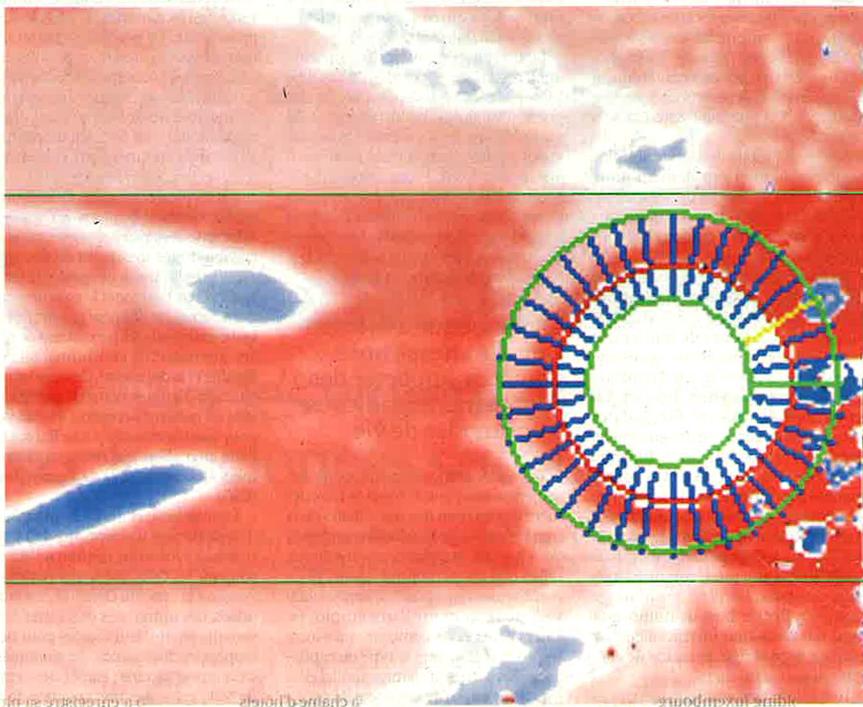
Les THz pourraient remplacer, en moins cher, plus rapide et plus précis, les rayons X et les ultrasons dans l'industrie ou le médical, les scanners corporels à ondes millimétriques dans les aéroports... « L'engouement actuel pour les térahertz correspond également à l'arrivée d'une nouvelle génération de spécialistes, formés par les premiers chercheurs qui, comme moi, ont commencé à travailler sur ces fréquences dans les années 1980 et 1990 », ajoute Hartmut Roskos, professeur de physique à l'université de Francfort. « A lui seul, notre groupe de recherche "Nanodispositifs pour le térahertz et moyen infrarouge" rassemble 250 personnes issues de plus de 20 laboratoires académiques ou de R&D, comme Thales », calcule Juliette Mangeney, responsable de ce groupe de recherche, et qui travaille, au sein du laboratoire de physique de Normale sup, sur un projet de lasers THz compacts à base de graphène.

La « killer application », celle qui permettra aux THz de devenir une technologie professionnelle voire grand public, pourrait survenir dans trois domaines : les contrôles non invasifs, le médical et les télécommunications.

Des technologies matures

Les contrôles non invasifs semblent les plus prometteurs. Pour deux raisons. D'abord les domaines d'application sont très nombreux, de l'industrie, avec la vérification des pièces finies ou en cours de fabrication, aux contrôles de sécurité et à la lutte antipollution, en passant par l'alimentaire. « Je ne m'imaginai pas, même en étant à Dunkerque, travailler un jour sur du poisson », sourit Gaël Mouret, professeur de physique à l'université du Littoral-Côte-d'Opale et directeur du Laboratoire de physico-chimie de l'atmosphère : avec des collègues de Gand (Belgique) et de Lille, il a utilisé les THz pour suivre la quantité de sulfure d'hydrogène émise par du saumon vendu à l'étalage, afin de garantir sa fraîcheur.

Second motif d'espoir : les technologies sont matures. De nombreuses sociétés, comme TeraView en Angleterre, Becker Photonik en Allemagne, INO au Québec, i2S à Bordeaux, Imagine Optic à Orsay... fournissent des équipements de contrôle. La liste s'allonge régulièrement. Uli Schmidhammer a cofondé en 2017 la société Teratronics à Orsay (91) pour exploiter la technique qu'il a co-inventée en 2007 au sein du Laboratoire de chimie physique, à l'université Paris-Saclay. « Jusqu'ici les systèmes de contrôle à impulsions térahertz, très perfor-



L'analyse permise par les THz permet de cibler des anomalies de densité dans des pièces manufacturées, comme ici, représentées par des taches bleues. Photo Teratronics

Des ondes connues depuis près d'un siècle et demi

● Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, grâce à ses travaux sur l'électromagnétisme, le mathématicien et physicien écossais James Clerk Maxwell démontre l'existence des ondes THz (térahertz).

● Fin des années 1980, des chercheurs d'IBM et des AT & T Bell Laboratories génèrent des THz utilisées à des fins de spectroscopie, c'est-à-dire la décomposition d'un phénomène physique en quantité d'énergie, de longueur d'onde ou de fréquence.

● En 1995, deux chercheurs des AT & T Bell Laboratories appliquent la spectroscopie par THz à la visualisation de l'intérieur des lettres et colis et à l'analyse chimique de leurs contenus.

● En 2001, sur la base de recherches menées au sein du laboratoire Toshiba Research Europe, des chercheurs britanniques créent la société TeraView, qui produit des équipements de contrôle non invasif pour les industries pharmaceutiques et électroniques. Les THz sont émises et détectées à l'aide de semi-conducteurs.

● En 2009, le Japonais Tadao Nagatsuma, chercheur à l'université d'Osaka, réalise une première liaison de télécommunication THz dans la bande des 120 GHz.

maint en termes de précision et de probabilité de détection de défauts, nécessitaient plusieurs centaines d'impulsions, ce qui prenait trop de temps, explique-t-il. Notre technologie n'a besoin que d'une seule impulsion pour analyser un point de l'objet à contrôler, ce qui divise par 10.000.000 la durée de mesure. »

Détecter les tumeurs cancéreuses

L'objet inspecté par des THz peut être un composant plastique, céramique, composite..., un assemblage réalisé par collage ou soudure. Mais aussi de la peinture de voiture ou d'avion. « Dans les usines d'automobiles qui se construisent actuellement en Chine, la mesure sans contact des cinq couches de peinture déposées à la suite sur les carrosseries sera la routine... » constate Patrick Mounaix, directeur de recherche au CNRS et membre du laboratoire IMS.

Les spécialistes du THz visent aussi le médical. En théorie, ces ondes pourraient être utilisées pour analyser l'air que nous expirons de nos poumons, mais aussi détecter les diabètes ou les tumeurs cancéreuses. Avec douze collègues australiens ou britanniques, Alessia Portieri, chercheur chez TeraView, a publié en 2017 une étude sur l'intérêt d'utiliser un système d'imagerie THz portable pour mieux distinguer les tissus sains des tissus malins lors des opérations du cancer du sein. « Nous avons mis au point de nouvelles méthodes de diagnostic du diabète humain et des cancers en utilisant des appareils de térahertz innovants et, comme marqueurs, des protéines particulières contenues dans le sang », affirme Olga Smolyans-

kaya, professeure associée à l'université Itmo (Technologie de l'information, mécanique et optique) de Saint-Petersbourg. Ces techniques sont actuellement testées au Centre national de la recherche médicale Almazov, à Saint-Petersbourg.

Les THz pourraient remplacer, en moins cher, plus rapide et plus précis, les rayons X et les ultrasons.

Enfin, à très long terme, les THz pourraient être utilisés dans les télécommunications, comme n'importe quelle onde électromagnétique. « En ville, dans un rayon de 500 mètres autour d'une antenne-relais, il peut facilement y avoir 1.000 personnes, rappelle Guillaume Ducourtau, professeur à l'université de Lille, qui a réalisé en 2017 une transmission télé haute définition dans la bande des 300 GHz. « Or avec la 5G, on promet un débit d'un gigabit par seconde pour chacune de ces personnes. Il faudra donc amener 1.000 fots un gigabit par seconde à chaque antenne-relais, soit un téra-bit par seconde. Des liaisons sans fil THz entre antennes permettraient d'atteindre ces débits », poursuit le chercheur. Etape encore plus lointaine et incertaine : utiliser les THz pour diffuser un téra-bit d'information par seconde... directement à chacune des personnes se trouvant près de l'antenne ! ■

Recharger son smartphone grâce aux térahertz ?

Sans le savoir, nous sommes entourés d'ondes THz (térahertz). Tous les appareils envoyant un signal wi-fi, ainsi que tous les objets et corps rayonnant de la chaleur émettent des ondes térahertz. Grâce, en partie, à des financements de l'armée américaine, trois chercheurs, Hiroki Isobe et Liang Fu, du MIT (Massachusetts Institute of Technology), ainsi que Suyang Xu, de l'université Harvard, ont démontré qu'il était possible de convertir ces THz en électricité. Ils prévoient d'utiliser un morceau de graphène posé sur du nitrure de bore et inséré à l'intérieur d'une antenne destinée à capter et concentrer les THz. Leurs calculs viennent d'être publiés dans la revue « Sciences Advances ». Des discussions sont en cours pour fabriquer un prototype. Un tel système permettrait de recharger smartphones et ordinateurs portables, mais également les implants médicaux fonctionnant sur batterie.