

La revue des technologies et applications de contrôles  
pour les laboratoires et l'industrie  
N°74 • Février 2021 • 25 €



Cartographie corrosion  
Scanner MATRYX XY - EKOSCAN  
Sonde multi-éléments Dual Linear Array - EKOSCAN  
Logiciel GIVA Analyse - EXTENDE

ACTUALITÉS **AnotherBrain** réinvente la détection de défauts intelligente **18** CONTRÔLES NON DESTRUCTIFS **Corrosion** : une JT pour en parler et trouver des solutions **62** MÉTROLOGIE Un CIM 2021 renforcé et augmenté **79** CREATIVE METROLOGY IloT, des défis à relever pour la métrologie **85** TEST & MESURES L'amplificateur de Rohde & Schwarz grimpe à 20 GHz **94** OPTIQUE Détection in vivo du cancer du sein par fluorescence à l'aide d'une aiguille fibrée **102**

[www.controles-essais-mesures.fr](http://www.controles-essais-mesures.fr)

FOCUS TECHNIQUE

## Détection de défauts

Le contrôle non destructif par ondes térahertz

# Détection de défauts

## Le contrôle non destructif par ondes térahertz

Les systèmes exploitant les ondes du domaine des térahertz (THz) font assurément partie des technologies de contrôle non destructif (CND) émergentes prêtes à être déployées dans l'univers industriel. Ils ne prétendent pas remplacer les nombreuses solutions CND existantes, telles que les contrôles par ultrasons ou par rayons X qui ont fait la preuve de leur efficacité pour de nombreuses applications. Ils viennent surtout compléter la palette des techniques CND disponibles sur le marché en adressant des domaines spécifiques. Les ondes THz, se situant dans le spectre électromagnétique entre les micro-ondes et les infrarouges, traversent la plupart des matériaux électriquement isolants, tout en garantissant un bon contraste pour l'imagerie. Les systèmes THz peuvent donc détecter des défauts masqués à l'intérieur de certains matériaux et peuvent également mesurer de fines épaisseurs.

Propos recueillis par Youssef BELGNAOUI



**Thierry ANTONINI**  
Président de TeraLab,  
Directeur des projets et services



**Vincent AUBERTIN**  
Directeur commercial chez  
Opus Laser



**Jacques COCHARD**  
Chargé de développement de  
TeraLab chez Tomatec



**Jean-Claude LENAÏN**  
Président de C-7 Laser, membre  
du Conseil scientifique de la  
Cofreud et président du Groupe  
de travail térahertz, comité de  
niveau européen de TeraLab



**Frédéric TEPPE**  
Directeur de recherche au CNRS,  
responsable "Spectre térahertz"  
TeraLab LJC UNB 528,  
CNRS-Université de Montpellier,  
directeur de l'IRP TeraLab



**Gabrielle THÉRIAULT**  
Directrice du marketing  
chez Genes 60

### Le contrôle non destructif par ondes térahertz

### en 8 questions

1. Quel est le principe de fonctionnement des techniques CND par ondes térahertz ? **50**
2. Quels sont les principaux avantages de cette technologie ? **51**
3. Quels sont les matériaux pour lesquels cette technologie est adaptée ? **52**
4. Quels sont les défauts typiques que les systèmes de contrôle THz peuvent détecter ? **52**
5. Quelles sont les applications de prédilection ? **53**
6. Est-il possible de réaliser des mesures dimensionnelles ? **54**
7. Les systèmes THz peuvent-ils être employés sur le terrain et en production ? **55**
8. Quels sont les progrès et les évolutions attendus ? **55**

1.

Quel est le principe de fonctionnement des techniques CND par ondes térahertz ?



**Thierry Antonini** : Parmi les technologies existantes de contrôle non destructif, les technologies THz se distinguent par leur dualité à plusieurs niveaux. En premier lieu, de par leur situation dans le domaine électromagnétique, entre deux mondes, celui des radiofréquences et celui de l'optique, elles empruntent au premier le caractère pénétrant dans les matériaux diélectriques et au deuxième la capacité de focalisation et d'accès à une certaine résolution spatiale submillimétrique. En deuxième lieu, elles présentent des fortes aptitudes à l'imagerie pénétrante tout en proposant une pertinence spectroscopique.

Nos systèmes, dotés d'une haute sensibilité de détection et d'un haut pouvoir de résolution, sont basés sur un principe actif associant une source d'émission térahertz et un capteur de mesure de signal térahertz. L'onde émise se propage dans la matière. Elle est ensuite récupérée par le capteur mesurant son amplitude, sa phase et sa polarisation. Ces trois grandeurs nous informent sur les propriétés internes de la matière traversée. Le contrôle d'une pièce peut être réalisé en transmission ou en réflexion. Mais bien souvent, dans le domaine industriel, le contrôle par réflexion s'impose, car la pièce à inspecter n'est accessible que d'un seul côté.

Il existe deux grandes familles de sources émettant dans la bande des THz. La première est issue du monde de l'optique. Ces sources exploitent notamment des lasers à cascade quantique qui émettent dans la partie haute de la bande de fré-

quences THz. La seconde provient du domaine de l'électronique. Ce sont des sources micro-ondes qui émettent dans la bande inférieure des fréquences THz. Il existe des capteurs monopoint qui sont relativement limités du point de vue industriel, car pour obtenir une image de la pièce à contrôler, il faut procéder à un balayage. La procédure de contrôle, qui peut prendre quelques minutes, n'est donc pas adaptée aux exigences de rapidité de contrôle en production. Les capteurs multipoints, à l'instar des caméras, peuvent quant à eux prendre des images d'une zone ou de l'ensemble de la pièce à contrôler.

Cependant, les sources THz présentent de faibles puissances (de l'ordre du mW) contre plusieurs Watts pour les infrarouges. L'énergie disponible est donc faible. Afin de l'exploiter de manière optimale, cela réclame une expertise spécifique de la part du fournisseur du système de contrôle afin de mettre en place le dispositif approprié pour bien maîtriser la propagation des ondes et ne pas perdre d'énergie. Les ondes THz se situent entre celles du domaine des micro-ondes et celles de l'optique, la transmission des signaux peut donc être réalisée par une combinaison des technologies de formation de faisceau optique et des composants de transmission micro-ondes tels que des cornets ou des guides d'ondes.



**Jacques Cochar** : Les ondes térahertz peuvent détecter, localiser et caractériser des défauts par spectroscopie résolue en temps. Mais elles peuvent également effectuer de l'imagerie 3D par temps de vol ou par tomographie. Ces ondes sont sans danger pour la santé tout en présentant un important pouvoir pénétrant dans certains matériaux. Les propriétés de ces ondes à mi-chemin entre les ondes

radioélectriques et la lumière peuvent être mises à profit par des systèmes de contrôle non destructif. Ces systèmes mettent en œuvre une source d'ondes THz et un capteur afin de procéder à l'analyse d'une pièce en transmission ou en réflexion. Le mode d'analyse en réflexion est globalement le plus utilisé. Bien que les ondes THz présentent des caractéristiques intéressantes pour les applications de contrôle non destructif, elles demeurent particulièrement délicates à générer. Il existe des sources basées sur des techniques optiques qui peuvent émettre à partir de 2,5 THz et des sources reposant sur des composants électroniques micro-ondes avec lesquels il est possible d'atteindre des fréquences de 300 à 500 GHz.



**Frédéric Teppe** : Il existe diverses techniques expérimentales utilisant les ondes THz et permettant d'effectuer du CND. Ce qui les relie entre elles est bien entendu la nature même de ces ondes THz. Elles peuvent en effet pénétrer un grand nombre de matériaux, tels que les plastiques, les matériaux composites, les textiles et bien d'autres, tout en garantissant un bon contraste d'image. La principale technique employée dans le CND en THz est en effet l'imagerie, qui permet donc de cartographier certains types de défauts à l'intérieur de matériaux opaques à l'œil nu. Mais la spectroscopie est également à considérer puisqu'elle permet, par exemple, d'identifier la présence d'éléments non souhaités au cœur d'un matériau à analyser. Enfin, une autre technique dite résolue en temps (TDS), permet aussi de mesurer des épaisseurs de couches minces (peintures, revêtements/coatings...), et donc d'évaluer la présence éventuelle de délaminations ou d'écrasements par exemple.



**Jean-Claude Lennin** : Le domaine des fréquences térahertz s'étend de 100 GHz à 30 THz environ. Dans le spectre électromagnétique, il se situe entre l'infrarouge et les micro-ondes. Les ondes THz peuvent être employées pour des contrôles non destructifs afin de détecter d'éventuels défauts à l'intérieur d'un matériau ou d'un objet. Les systèmes de contrôle

**« Les technologies THz présentent des fortes aptitudes à l'imagerie pénétrante tout en proposant une pertinence spectroscopique. »**

Thierry ANTONINI