

# CONTRÔLES ET MESURES

## UN NOUVEL ENJEU POUR LA FABRICATION ADDITIVE



**Principale interrogation liée à la fabrication additive, la normalisation est au cœur du débat. Il est difficile, aujourd'hui, de prédire dans le temps la fiabilité de pièces produites par impression 3D. Le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) a entre autres pour mission le développement de méthodes de mesures. La fabrication additive passe aussi sous contrôle.**

Par **Anne-Françoise Obaton** du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE).

**L**a fabrication additive regroupe les procédés permettant de fabriquer des pièces, à partir de matière première brute transformée, couche après couche, suivant un modèle numérique. En conséquence, outre la nécessité de contrôler la machine de fabrication et la pièce finie, il faut aussi contrôler le matériau mais également la matière première. Et ceci pour chaque couche en temps réel ! Un défi énorme mais essentiel ! Par ailleurs, l'un des avantages de cette technologie est son approche économique et écologique, en recyclant la matière première non transformée au cours du processus de fabrication. Il faudra donc prévoir, en plus, des contrôles sur la matière première recyclée.

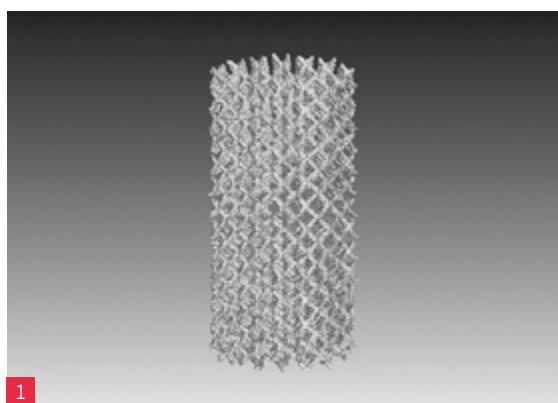
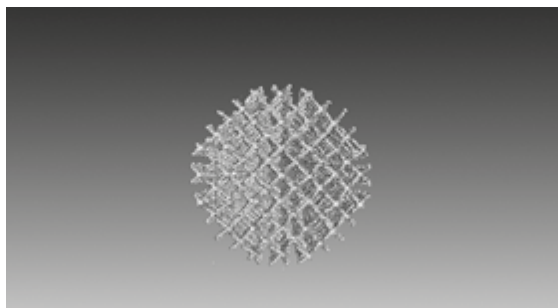
### Identification des besoins en contrôle et mesure

**Les contrôles de matière première**, aujourd'hui, concernent essentiellement les poudres neuves et recyclées. Ils portent notamment sur la taille, la forme, la distribution en taille et en forme, la forme cristallographique, la composition chimique, l'homogénéité chimique, la masse volumique et la coulabilité.

**Les contrôles de matériau**, eux, portent généralement sur les propriétés mécaniques réalisées sur des éprouvettes. Ils sont, notamment, nécessaires pour étudier le post-traitement thermique de la pièce, qui sert à éliminer les contraintes résiduelles dans le matériau.

**Les contrôles de machine** permettent d'évaluer quantitativement les performances de la machine. Deux méthodes sont possibles : des contrôles directs et individuels des différentes composantes et caractéristiques de la machine ou le contrôle d'un échantillon témoin. La première méthode peut se révéler compliquée car elle nécessite l'instrumentation de la chambre de fabrication avec des capteurs appropriés, ce qui n'est pas toujours possible. En revanche, la deuxième méthode est beaucoup plus simple à mettre en œuvre et présente les avantages suivants :

- évaluation des limitations de la machine et de ses possibilités (quantification de son exactitude, identification des sources d'erreurs...);
- combinaison de toutes les erreurs de la machine ;
- comparaison des machines entre elles ;
- vérification des performances de la machine.



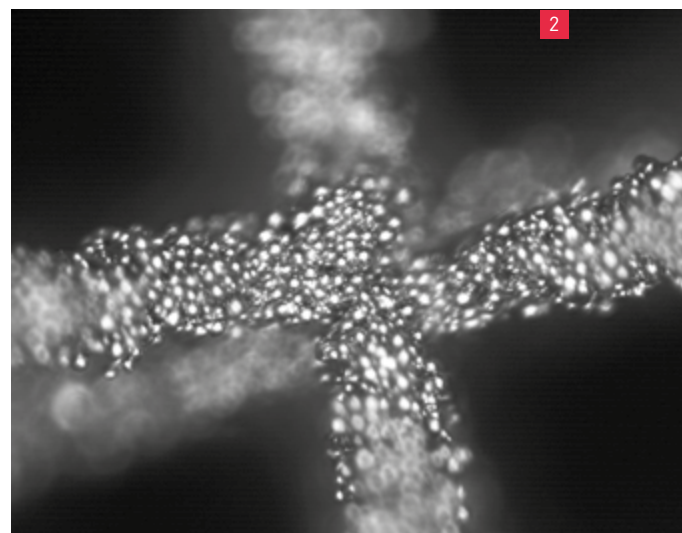
1  
IMAGES NUMÉRIQUES D'UNE STRUCTURE  
LATTICE PAR TOMOGRAPHIE À RAYONS X  
METROTOM 800 DE ZEISS.

## Contrôle par tomographie à rayons X

Un des principaux intérêts de la fabrication additive réside dans la possibilité de réaliser des pièces extrêmement complexes, irréalisables par des techniques traditionnelles. Parmi celles-ci figurent les structures lattices qui permettent d'alléger les pièces. Ces structures sont très utilisées dans les domaines de l'aéronautique et l'aérospatiale. Elles sont également intéressantes pour le secteur médical qui réalise des implants dont l'intégration dans le corps humain est améliorée. La fabrication additive permet également la réalisation de pièces contenant des cavités internes ou des canaux. Pour de telles pièces, les techniques de contrôle de surface ne vont plus être suffisantes. Il faut envisager **des techniques 3D volumiques**, des techniques permettant de contrôler la structure interne des pièces. La plus généralisée d'entre elles est la **tomographie à rayons X** qui consiste à faire des clichés de la pièce tout en lui faisant subir une rotation sur 360°. Ensuite, à partir de ces clichés expérimentaux, l'objet est reconstruit numériquement. Nous avons entrepris, en collaboration avec la société Zeiss, de contrôler des structures lattices élaborées par la société Medicea spécialiste dans la fabrication de cages intervertébrales (figure 1). Ces mesures nous permettent de valider la géométrie externe et interne des pièces par comparaison avec le dessin numérique initial. Par ailleurs, elles rendent aussi possible la recherche de poudre non fusionnée qui pourrait,

ultérieurement, se détacher de la pièce (figure 2). Des déchets qui se répartiraient dans le corps humain en cas de pièces implantées. Tous les défauts doivent être détectés, sans exception. Toutefois, la tomographie à rayons X, essentiellement utilisée jusqu'à aujourd'hui pour la détection de défauts, nécessite d'être qualifiée métrologiquement pour la mesure dimensionnelle. Le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) va coordonner un projet (MetrAMMI), financé par la métrologie européenne, qui étudiera notamment cet aspect pour le secteur médical utilisant la fabrication additive. Il est aussi impliqué dans le projet I-AM-SURE financé par le Fonds unique interministériel (FUI) et coordonné par le fabricant français de machines d'impression 3D, BeAM. Ce projet approfondira également cet aspect pour le secteur de l'aéronautique (DCNS, Thalès, Airbus). D'autre part, il abordera le contrôle in situ et en temps réel de la fabrication de chaque couche par ultrasons laser (CEA-List) et par émission acoustique (Cetim).

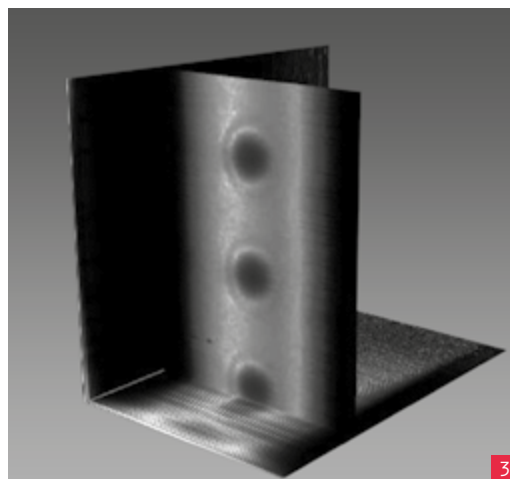
IMAGE OPTIQUE RÉALISÉE  
AVEC LA MACHINE O-INSPECT  
322 DE ZEISS.



### Autres méthodes de contrôle

Si la tomographie à rayons X est incontestablement la plus aboutie des techniques existantes, elle n'en demeure pas moins coûteuse pour du contrôle quotidien. En conséquence, le LNE concentre aussi son travail de recherche sur l'exploration de méthodes alternatives à la tomographie à rayons X, pour des contrôles métrologiques élaborés mais moins chers afin de favoriser les mesures régulières. Dans ce contexte, le laboratoire a entrepris des **mesures de masse volumique avec un pycnomètre à gaz**, en collaboration avec la société ForS Instruments. Cette technique est particulièrement adaptée aux structures lattices quel que soit le matériau. En parallèle, la LNE réalise des **mesures par ultrasons (US)** avec la société Altra permettant d'évaluer l'homogénéité de matériaux élaborés en fabrication additive par le prestataire de service Volum-e. Ces matériaux sont homogènes si les signatures ultrasons (US) mesurées en différents points d'une éprouvette d'épaisseur constante sont équivalentes.

La comparaison des signatures est aisée dès lors que la fréquence ultrason est adaptée aux matériaux et a été identifiée. Cette technique est particulièrement appropriée pour les matériaux métalliques. En ce qui concerne les matériaux polymères et céramiques, la **tomographie térahertz** est plus adaptée. Le principe de cette technique est similaire à la tomographie à rayons X avec une résolution spatiale moins fine. Cependant, les ondes térahertz ne sont pas ionisantes et peuvent donc être utilisées sans danger dans n'importe quel environnement. En collaboration avec le laboratoire IMS de l'Université de Bordeaux, nous évaluons des matériaux polymères et céramiques (figure 3).



PHOTOGRAPHIE (EN HAUT) ET IMAGE (EN BAS) PAR TOMOGRAPHIE TÉRAHERTZ À 2 THZ D'UNE ÉPROUVETTE CÉRAMIQUE.

La fabrication additive est une technologie extrêmement prometteuse. Cependant, si nous souhaitons pouvoir l'utiliser et, principalement, pour de la production, il faut persévérer à investiguer des méthodes de contrôles fiables. Des protocoles de mesures et des guides de bonne pratique pour valider les pièces réalisées seront aussi nécessaires. Les groupes de normalisation nationaux et internationaux UNM920, CEN/TC 238 et ISO/TC 261 s'efforcent d'œuvrer en ce sens.



LA MACHINE METROTOM 800 DE ZEISS (À GAUCHE) PERMET LE CONTRÔLE PAR TOMOGRAPHIE À RAYONS X, TANDIS QUE LA MACHINE O-INSPECT 322 DE ZEISS (À DROITE) PERMET UN CONTRÔLE OPTIQUE.