

La microtomographie X au service de la lutte contre la contrefaçon

Emilie Leccia, Novitom
emilie.leccia@novitom.com

La microtomographie des rayons X est une technique d'imagerie 3D de pointe, permettant d'obtenir rapidement la microstructure interne de tout type de matériaux ou produits avec un niveau de détail impressionnant. Cette technique, à la fois non-invasive et non-destructive, possède tous les atouts pour devenir une arme efficace pour lutter contre la contrefaçon.

Des contrefaçons de plus en plus difficiles à déceler

La contrefaçon d'un produit peut être très difficile à détecter et établir. En effet, les contrefacteurs ont parfois à leur disposition des moyens de production semblables à ceux utilisés par le fabricant. La qualité des produits contrefaits est alors sensiblement la même que celle du produit d'origine, ce qui rend très difficile leur identification. C'est en particulier le cas dans le domaine emblématique de l'horlogerie de luxe. Les faussaires qui se sont énormément professionnalisés maîtrisent aujourd'hui la fabrication de mouvements ultra-complexes. Les cas de saisie par les douanes de montres de haute complexité se multiplient, et l'identification de ces montres contrefaites est de plus en plus difficile. Seuls des détails permettent de repérer les imitations : il peut s'agir d'une fente de vis présentant une bavure microscopique, ou bien d'une pièce du boîtier en carbone remplacée par du plastique. Ces irrégularités sont pratiquement indécélables à l'œil nu, même par les plus grands spécialistes ou par les fabricants eux-mêmes.

Concernant la copie illégale de procédé de fabrication breveté, il est souvent extrêmement difficile également de confirmer ou réfuter une accusation de contrefaçon. Dans ce type d'affaire, les discussions portent le plus souvent sur des aspects très techniques de la conception ou de la mise en œuvre du produit. Cela peut nécessiter des expertises lourdes, faisant

appel à différentes techniques d'analyse et de caractérisation, surtout lorsque les produits ou procédés mis en cause sont de haute technologie. Souvent, seules des études menées à l'échelle microscopique sont déterminantes. Demain, étant donné l'augmentation exponentielle de l'utilisation des nano-objets dans les technologies du futur, il faudra sûrement mener ces enquêtes à l'échelle nanométrique.

La microtomographie X ou comment déceler l'indécélable

La microtomographie des rayons X est d'une grande aide pour déceler ou établir les preuves d'une contrefaçon. En effet, cette technique d'imagerie tridimensionnelle permet de révéler la microstructure interne d'un échantillon, et ceci quelle que soit sa nature et sans aucune préparation du produit à contrôler. De plus, cette technique est non-invasive et non-destructive, avantage incontestable pour la lutte anti-contrefaçon puisque les objets peuvent être observés en l'état et dans leur emballage.

Les images 3D de l'intérieur d'un objet sont obtenues en réalisant une série de radiographies 2D sous plusieurs angles de vue. Les niveaux de gris de chaque projection radiographique sont reliés au coefficient d'absorption et à l'épaisseur de l'objet sous l'angle de vue considéré. Le contraste des images obtenues est donc lié à la densité massique. Un algorithme de reconstruction permet de

recalculer, à partir de l'ensemble des projections 2D, le coefficient d'absorption de l'objet en chaque point de son volume. La taille des volumes sondés dépend de la résolution spatiale désirée : plus la résolution est élevée, plus le volume sondé est petit. Grâce à la microtomographie X, on obtient une représentation précise, quantitative et en 3 dimensions des variations de densité au sein de l'objet sans avoir besoin de démonter, d'ouvrir ou de couper l'objet. Ceci représente à la fois un gain de temps considérable par rapport à d'autres techniques d'analyse microscopique, et la certitude de ne pas dénaturer l'objet au cours de l'analyse.

La microtomographie des rayons X nécessite l'utilisation de générateurs performants de rayons X dont la longueur d'onde se situe entre 0,25 et 0,01 nm. Ces générateurs peuvent être des tubes de rayons X disponibles en laboratoire ou bien des sources synchrotron. On distingue donc les tomographes de laboratoire des tomographes synchrotron, leurs paramètres caractéristiques étant naturellement différents.

Des microscopes X disponibles en laboratoire, la 3D à portée de main

La microscopie 3D à rayons X est aujourd'hui en plein essor. Les fabricants multiplient les modèles pour mieux s'adapter à la demande, que ce soit en matière de résolution spatiale, de taille des objets pouvant être analysés, de durée d'acquisition ou de contraste. Les résolutions accessibles ne cessent de diminuer,

descendant jusqu'à 50 nm pour les systèmes les plus performants. Les tailles maximales des objets pouvant être analysés dépendent, elles, de la géométrie de la machine. Notons que l'encombrement des tomographe de laboratoire a lui aussi nettement diminué. La structure des objets étant totalement digitalisée, le volume des images à traiter est colossal, il avoisine souvent la dizaine de gigabits, ce qui nécessite des moyens informatiques conséquents. Les ordinateurs et les logiciels utilisés pour la reconstruction des volumes progressent et ne cessent de gagner en rapidité et en optimisation.

Un synchrotron pour aller plus loin dans la détection

Les qualités sans pareilles du rayonnement synchrotron en matière de brillance, de divergence, de gamme d'énergie accessible et de cohérence permettent d'obtenir les meilleurs compromis entre résolution spatiale, sensibilité aux différences de densité massique et profondeur de pénétration.

Ultra-haute résolution

En microtomographie des rayons X classique, le grossissement est lié à la géométrie conique du faisceau. Pour obtenir de hautes résolutions, il est nécessaire de travailler avec des sources de dimensions micrométriques. Dans ces conditions, les sources de rayonnement synchrotron ont un avantage incontestable sur les sources de rayons X de laboratoire : leur extrême brillance permet de travailler à très haute résolution tout en conservant un flux de photons élevé. On peut ainsi obtenir des images avec un excellent rapport signal sur bruit, et ceci même à très haute résolution.

Couplage haute énergie / haute résolution

Le rayonnement synchrotron est caractérisé par une grande brillance et une large gamme d'énergie accessible allant de l'infrarouge aux rayons X durs. En microtomographie X, les énergies utiles vont typiquement de la dizaine à la centaine de keV. Les faisceaux X les plus énergétiques sont utilisés pour sonder les pièces métalliques les plus absorbantes tout en garantissant une haute résolution et une

profondeur de pénétration conséquente. Sur les montages synchrotron les plus performants, il est par exemple possible d'atteindre une résolution inférieure à 50 μm sur des pièces allant jusqu'à 8 cm équivalent acier (figure 1), ce qui n'est pas du tout envisageable en laboratoire.

Un meilleur contraste

Pour augmenter la sensibilité aux variations de densité massique, on tire profit de la qualité exceptionnelle de cohérence spatiale de la source de rayonnement X synchrotron. On peut ainsi, via la détection de franges d'interférences, renforcer le contraste des radiographies 2D des objets peu absorbants (figure 2). Des algorithmes de reconstruction dédiés permettent de traduire les variations d'intensité des franges d'interférences en variations de densité. On obtient donc des images 3D similaires à celles obtenues en contraste d'absorption classique mais avec une limite de détection pour les faibles différences de densité ou les objets peu absorbants considérablement améliorée.

La microtomographie, un outil de plus pour lutter contre la contrefaçon

L'utilisation de la radiographie X est largement répandue au sein des services douaniers. En effet, les inspecteurs utilisent déjà cette technique pour contrôler rapidement et à distance les marchandises en transit et repérer ainsi les chargements dangereux ou illégaux. Toutefois, ces contrôles sont macroscopiques et inefficaces pour détecter les copies illégales. La technique de microtomographie des rayons X permet d'effectuer des observations aux échelles millimétrique, microscopique voire nanométrique et ainsi d'inspecter plus minutieusement les objets douteux.

Étant donné leurs performances techniques, les tomographe de laboratoire et les tomographe synchrotron n'ont pas les mêmes applications. Les tomographe de laboratoire sont par exemple bien adaptés pour contrôler rapidement la forme, les dimensions ainsi que

ANALYSEUR DE SPECTRE OPTIQUE

OSA20 NOUVELLE VERSION



Nouveaux modes d'analyse

RLT

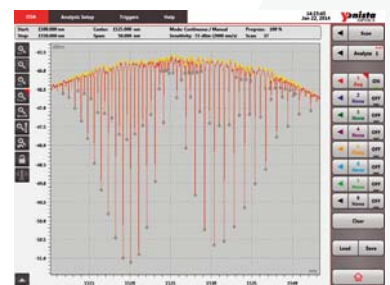
Transmission sur boucle de recirculation

PCT

Test de composant passif

Caractéristiques clés

- Plage : 1250 - 1700 nm
- Résolution spectrale : 20 pm
- Vitesse max : 2000 nm/s
- Précision λ :
 $\pm 15 \text{ pm} / 1500 - 1640 \text{ nm}$
 $\pm 25 \text{ pm} / 1250 - 1700 \text{ nm}$
- Écran tactile multipoint
- Modes d'utilisation par application et librairie de fonctions d'analyse



Cellule Acétylène

Yenista
OPTICS

Tél. : +33 (0)2 96 48 37 16
 sales-emea@yenista.com
www.yenista.com



Figure 1. Photographie et radiographie 3D d'une statuette en argent avec visualisation des détails de l'intérieur.

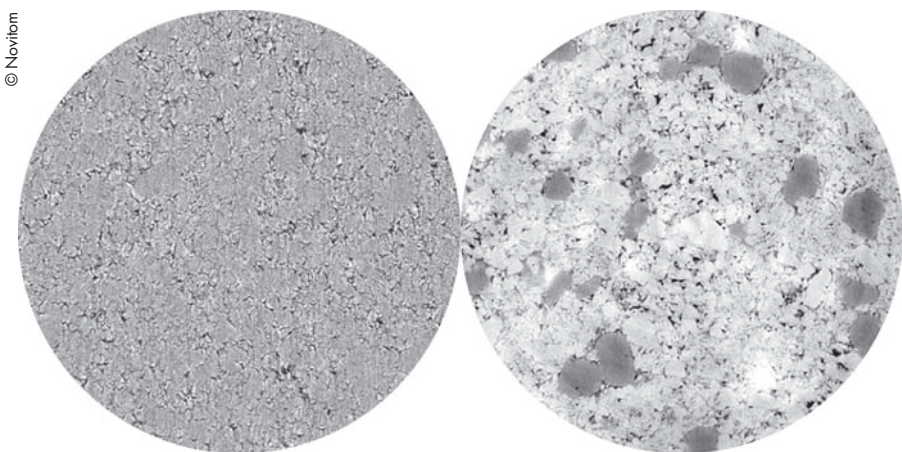


Figure 2. Section reconstruite d'un comprimé pharmaceutique obtenue en contraste d'absorption classique (à gauche) et en contraste de phase (à droite) sur synchrotron.

l'architecture interne des objets. Des algorithmes sont aussi développés pour comparer rapidement les structures 3D digitalisées des originaux et celles des produits potentiellement contrefaits. Par ailleurs, en parallèle à l'évolution technologique des tomographes de laboratoire et à leur diffusion chez les fabricants et les organismes de contrôle, les marquages 3D sont amenés à se développer. Ces codes-barres à 3 dimensions pourraient constituer la prochaine évolution des actuels QR codes à 2 dimensions, en étant encore plus difficiles à copier.

Les tomographes synchrotron, du fait de leur accessibilité plus limitée, seraient quant à eux plutôt réservés aux études plus complexes, nécessitant les meilleures performances possibles. Un champ d'application important de cette technique pourrait être l'identification des produits pharmaceutiques contrefaits. En effet, si l'on prend l'exemple d'un comprimé pharmaceutique soupçonné d'être une contrefaçon, la microtomographie synchrotron permettrait à la fois de comparer les dimensions globales des comprimés mais aussi l'épaisseur de la couche micrométrique d'enrobage, la distribution des porosités ainsi que la présence, la forme et la distribution des différents ingrédients, excipients et principe actif, grâce au mode de contraste de phase uniquement disponible sur synchrotron (figure 2). Ces caractéristiques microstructurales 3D révèlent non seulement les différences de composition, mais surtout les différences de procédés de fabrication plus difficiles à détecter et qui sont une preuve manifeste de contrefaçon. Ces contrôles sont très rapides (quelques secondes) et pourraient être automatisés.

Enfin, la microtomographie est parfois le seul recours pour juger de l'authenticité d'un objet. C'est en particulier le cas pour certains objets d'art tels que les sculptures ou les moulages, qu'il est impossible de démonter (figure 1).

Gageons que, dans les prochaines années, les atouts de la microtomographie des rayons X feront d'elle une technique de choix pour déceler et établir les preuves d'une copie illégale et ainsi lutter efficacement contre toutes les formes de contrefaçon.