

# ααα!ι!λ€

FABRICATION

FABRICATION

# additive

## 3D ADEPT **MAG**

## IMPRESSION **3D**

**IMPRESSION 3D MÉDICAL - BIO-IMPRESSION 3D**  
**MICRO-IMPRESSION 3D - LOGICIELS - MATÉRIAUX**

N°3 - Vol 5 / Mai - Juin 2022

Edité par 3D ADEPT MEDIA - ISSN : 2736-6626



## L'actu FA

Chaque jour, nos rédacteurs fournissent aux lecteurs des nouvelles, des rapports et des analyses sur l'industrie de la fabrication additive. Pour naviguer dans cette mine d'informations, nous avons défini une liste de sections et de sous-sections qui pourraient vous aider à trouver ce qui est important pour vous.

**AVEZ-VOUS DES INFORMATIONS RELATIVES À L'IMPRESSIION 3D OU UN COMMUNIQUÉ DE PRESSE À PUBLIER?**

Envoyez un email à [contact@3dadept.com](mailto:contact@3dadept.com)

 NEWS
  RAPPORTS
  PROMOTIONS
  COLLABORATION



[contact@3dadept.com](mailto:contact@3dadept.com)

[www.3dadept.com](http://www.3dadept.com)

+32 (0)4 86 74 58 87

Rue Borrens 51, 1050 Bruxelles - BELGIQUE

Edité par **3D ADEPT MEDIA**

### Création graphique

Martial Y., Charles Ernest K.

### Rédaction

Kety S., Yosra K.

### Correction

Jeanne Geraldine N.N.

### Publicité

Laura Depret

[Laura.d@3dadept.com](mailto:Laura.d@3dadept.com)

### Périodicité & Accessibilité :

3D ADEPT Mag est publié tous les deux mois sous forme de publication numérique gratuite ou d'abonnement imprimé.

### Exactitude du contenu

Même si nous investissons des efforts supplémentaires et continus pour garantir l'exactitude des informations contenues dans cette publication, l'éditeur décline toute responsabilité en cas d'erreurs ou d'omissions ou pour toute conséquence en découlant. 3DA Solutions décline toute responsabilité pour les opinions ou les affirmations exprimées par les contributeurs ou les annonceurs, qui ne sont pas nécessairement celles de l'éditeur.

### Publicités

Toutes les publicités et publications sponsorisées commercialement, en ligne ou imprimées, sont indépendantes des décisions éditoriales. 3D ADEPT Media ne cautionne aucun produit ou service marqué comme une publicité ou promu par un sponsor dans ses publications.

### Responsabilité de l'éditeur

L'éditeur n'est pas responsable de l'impossibilité d'imprimer, de publier ou de diffuser tout ou partie d'un numéro dans lequel figure une publicité acceptée par l'éditeur si cette impossibilité est due à un cas de force majeure, à une grève ou à d'autres circonstances indépendantes de la volonté de l'éditeur.

### Reproduction

Toute reproduction totale ou partielle des articles et iconographies publiés dans 3D Adept Mag sans l'accord écrit de la société éditrice est interdite. Tous droits réservés.



### Questions and feedback:

3D ADEPT SPRL (3DA)

VAT: BE0681.599.796

Belgium - Rue Borrens 51 - 1050 Brussels

Phone: +32 (0)4 86 74 58 87

Email: [contact@3dadept.com](mailto:contact@3dadept.com)

Online: [www.3dadept.com](http://www.3dadept.com)

## Sommaire

**Editorial** .....04

**Dossier N°1**.....07

LE MONDE MINUSCULE DES TECHNOLOGIES DE MICRO-IMPRESSIION 3D

**Dossier N°2** .....15

LES DIFFÉRENTS CHEMINS QUI MÈNENT À UNE BIO-IMPRESSIION 3D EFFICACE

**Focus on YOU Series | LITHOZ**.....23

QUELS SONT LES FACTEURS À CONSIDÉRER POUR L'UTILISATION DES CÉRAMIQUES TECHNIQUES DANS L'IMPRESSIION 3D MÉDICALE ?

**Matériaux** .....29

UTILISATION DES MÉTAUX DURS DANS LA FABRICATION ADDITIVE : POURQUOI ? COMMENT ? ET QUELS SONT LES POINTS À AMÉLIORER ?

**Post-traitement** .....33

LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES INDISPENSABLES D'UN SYSTÈME D'ENLÈVEMENT DE POUDDRE AUTOMATISÉ

**Logiciels** .....37

JUMEAUX NUMÉRIQUES DANS LES ENVIRONNEMENTS DE FABRICATION (ADDITIVE) : QUELS SONT LES PRINCIPAUX DÉFIS À RELEVER ?

**Start-up AREA** .....41

COMMENT METSHAPE UTILISE LA FA INDIRECTE « LMM » POUR L'IMPRESSIION 3D MÉDICALE ET PLUS ENCORE.

# Bonjour & bienvenue

## Un jour, c'est certain.

Même si leurs pourcentages de croissance varient souvent, les sociétés d'analyse de marché s'accordent pour dire que l'impression 3D est de plus en plus adoptée dans le secteur des soins de santé. Les tendances croissantes peuvent conduire à la nécessité de développer l'impression 3D dans les hôpitaux, mais pour de nombreuses raisons, nous sommes encore loin d'une utilisation quotidienne de ces technologies. Cela peut certainement s'expliquer par le fait que l'impression 3D s'entremêle avec plusieurs technologies, et parfois, cette complexité est décuplée dans un secteur vital comme la médecine.

À ce jour, les parties prenantes concentrent leurs recherches, leurs investissements et leur attention sur quatre piliers principaux : la préparation et l'exécution de la chirurgie, les implants et la bio-impression, les orthèses et les prothèses, ainsi que les aspects réglementaires. Si tous ces piliers méritent d'être abordés – en fait, nous avons abordé la plupart d'entre eux dans cette édition –, j'aimerais attirer l'attention des spécialistes des soins de santé et des fournisseurs de technologies sur le fait qu'ils ne doivent pas seulement fournir des efforts supplémentaires pour développer des technologies de pointe, mais aussi pour les rendre accessibles. Car, parfois, en cours de route, on se rend compte que les avantages de ces technologies peuvent largement dépasser les coûts, tant pour les hôpitaux que pour les patients. Et, parfois, ceux qui ont le plus besoin de ces solutions n'ont pas toujours les moyens de payer la facture.

Alors, comment pouvons-nous résoudre ce problème ? Un jour, j'en suis sûre, le marché sera prêt à débattre ouvertement de cette question.

En attendant, voici les dernières tendances, réflexions et analyses sur la manière dont les technologies d'impression 3D font progresser et façonnent en permanence le secteur des soins de santé.



**Kety SINDZE**  
Editrice-en chef chez 3D ADEPT Media  
✉ ketys@3dadept.com

Editorial

# Significant Cost Savings on Additive Tool

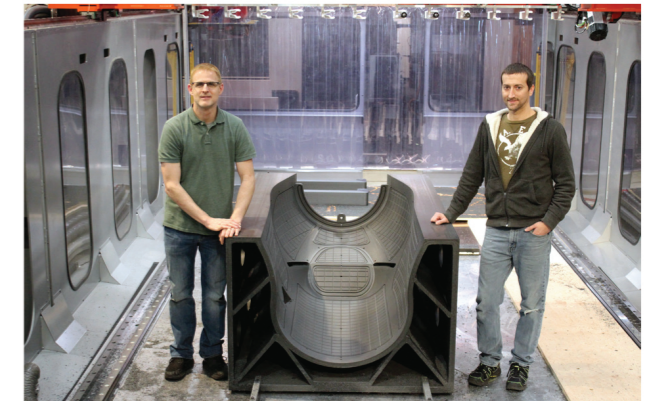
Partnership between Thermwood and General Atomics

## The Details

Using a Thermwood LSAM 1020, the tool was printed from ABS (20% Carbon Fiber Filled) in 16 hours. The final part weighing 1,190 lbs was machined in 32 hours.

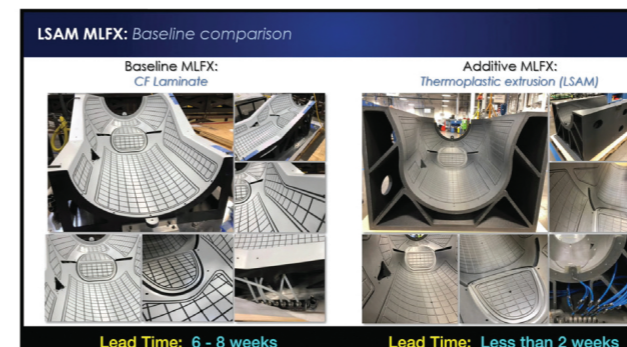
**Cost Savings of around \$50,000 vs traditional methods**

Total lead time for the part decreased from 6-8 weeks to less than 2 weeks by utilizing the powerful LSAM system.



## The Results

- Cost Reduction: 2-3 times
- Faster Development: 3-4 times
- Production Capable Tool
- Vacuum Integrity
- Suitable for Large, Deep 3D Geometries, Backup Structures & Vacuum Piping



Scan QR code to view a video of the LSAM and General Atomics process.

**THERMWOOD**

www.thermwood.com

800-533-6901



MADE IN USA

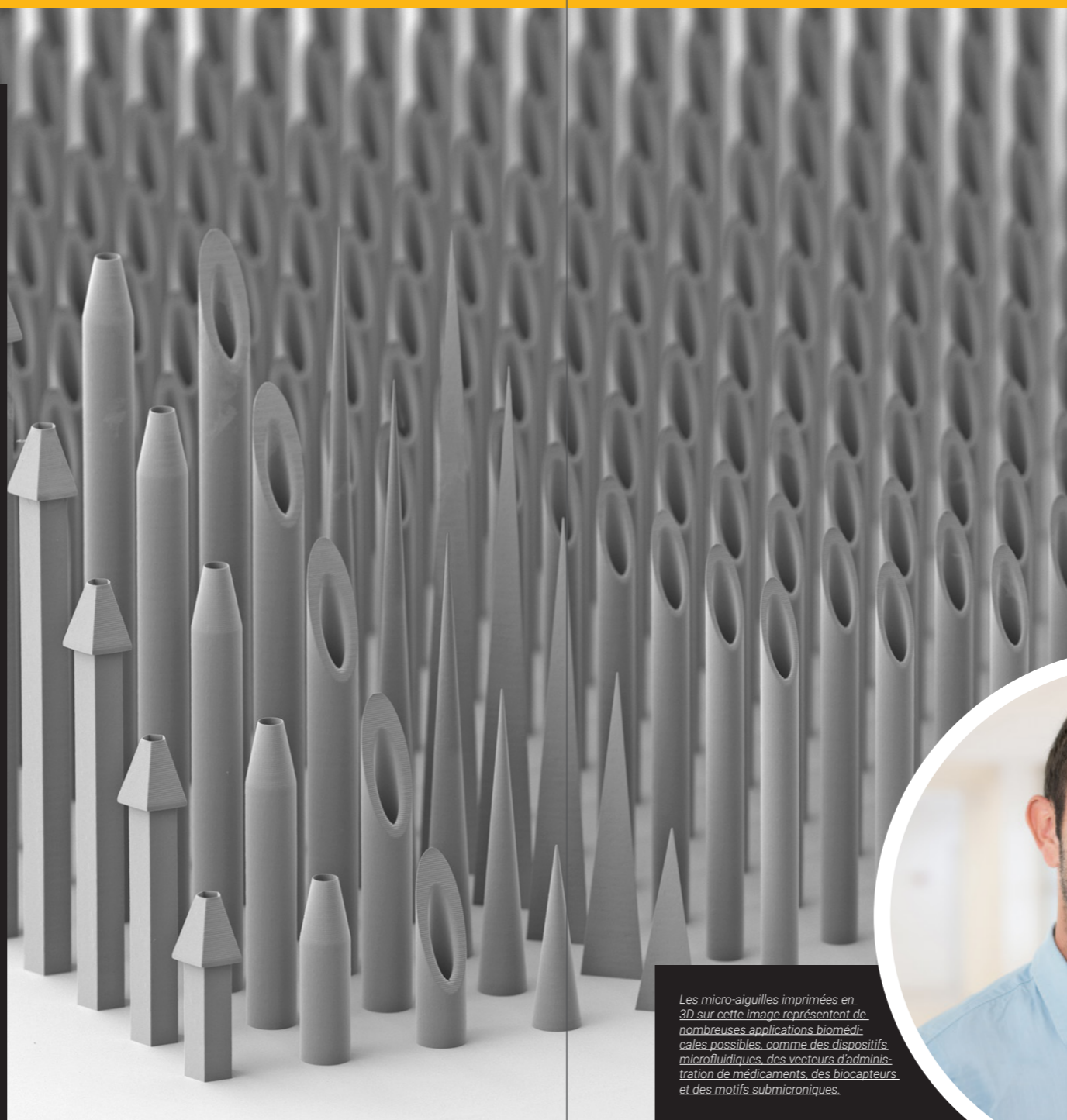
# Le monde minuscule des technologies de micro-impression 3D

Dans l'industrie manufacturière en général, la plupart des innovations évoluent autour de la capacité à produire de grandes pièces imprimées en 3D. Cependant, avec la demande croissante de dispositifs miniaturisés dans les domaines de l'électronique, de la biotechnologie, de l'automobile et de l'aérospatiale, les technologies de micro-fabrication additive suscitent un intérêt croissant. Alors, quelle est l'importance du marché des petites pièces ?

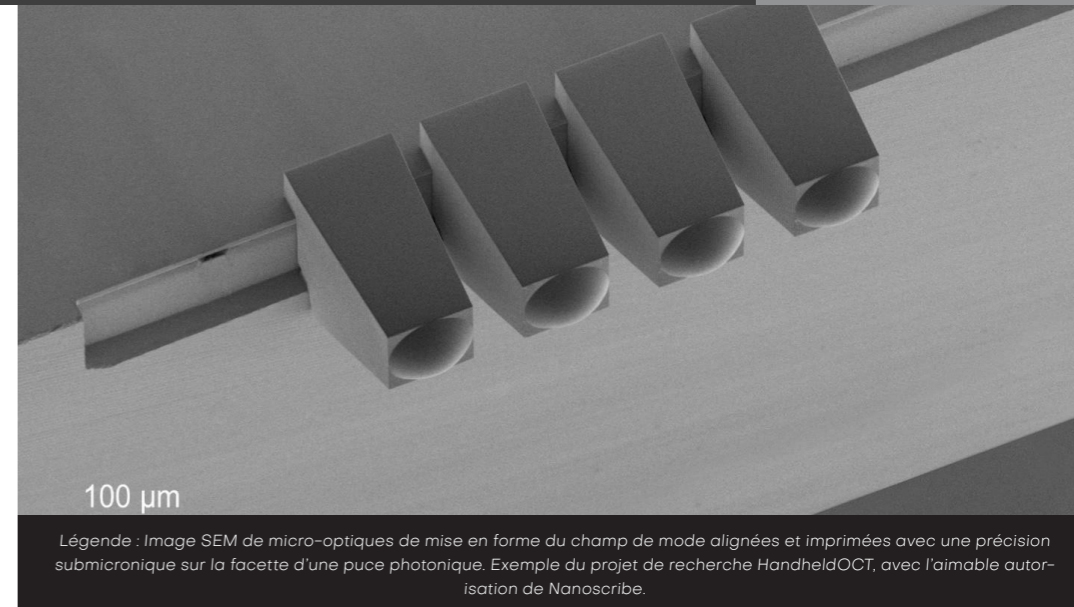
Le terme micro-fabrication additive est souvent utilisé de manière interchangeable avec microfabrication 3D, micro-impression 3D ou encore la fabrication additive de haute précision, alors qu'en réalité, il ne s'agit pas à proprement parler de synonymes exacts. Il est juste de dire que la micro-fabrication additive ne peut être utilisée que de manière interchangeable avec la micro-impression 3D et la différence entre les deux termes révèle que la FA se réfère à un contexte de fabrication industrielle alors que l'impression 3D se réfère à un environnement de "maker/prototyping".

« La micro-impression 3D est un terme général qui décrit toutes les méthodes. La majeure partie de ce monde proviendrait de la fabrication en salle blanche, comme les méthodes de lithographie qui sont très courantes et largement utilisées dans la fabrication des 'MEMS' (il s'agit d'un énorme marché bien établi et les méthodes sont très matures). Il existe un tas d'autres méthodes de microfabrication 3D, par exemple les méthodes utilisées pour la microfluidique, les méthodes numériques basées, par exemple, sur la lithographie par faisceau d'électrons, et bien d'autres encore. La FA de haute précision n'est probablement pas bien définie et quelqu'un qui a une résolution de 100 microns la commercialiserait comme de la haute précision, donc cela dépend beaucoup du contexte », déclare d'emblée **Jon Donner**, le directeur général de Fabrica, une société de Nano Dimension.

Pour situer la place des technologies de micro-fabrication additive, disons qu'en impression 3D, une pièce est d'abord construite et décrite numériquement par un réseau de points, où un point, c'est-à-dire un voxel, représente une unité d'impression minimale. La taille du voxel va de l'échelle nanométrique à l'échelle macroscopique. Les procédés de micro-impression 3D nécessitent donc l'utilisation d'un voxel à l'échelle micrométrique ou sub-micrométrique, ce qui est essentiel pour la fabrication de microproduits. Le terme "micro-impression 3D" fait donc référence à la fabrication de pièces minuscules de très haute précision dans des formes qui ne peuvent pas être réalisées par des procédés de moulage par micro-injection et d'autres types de procédés de fabrication traditionnels.



Les micro-aiguilles imprimées en 3D sur cette image représentent de nombreuses applications biomédicales possibles, comme des dispositifs microfluidiques, des vecteurs d'administration de médicaments, des biocapteurs, et des motifs submicroniques.



100  $\mu\text{m}$

Légende : Image SEM de micro-optiques de mise en forme du champ de mode alignées et imprimées avec une précision submicronique sur la facette d'une puce photonique. Exemple du projet de recherche HandheldOCT, avec l'aimable autorisation de Nanoscribe.

Le présent dossier exclusif a pour ambition d'examiner les différentes façons dont la micro-fabrication additive remet en question le statu quo de la fabrication traditionnelle. Il fera la lumière sur :

- Les principes fondamentaux et les différents types de technologie de micro-fabrication additive.
- Les principaux avantages et les points à améliorer qui peuvent aider ce marché à progresser.
- La place de ces procédés dans les industries verticales, et dans les industries médicales et de santé en particulier.

## Principes fondamentaux et différents types de technologie de micro-fabrication additive

Un élément essentiel que nous examinons, lorsque nous parlons de FA à l'échelle microscopique, est le "**micron**". Les microns sont l'un des éléments qui permettent de déterminer si le processus fait référence à la micro-impression 3D ou à la simple impression 3D. Il va sans dire que le niveau de microns qu'on peut atteindre, varie d'une technologie à l'autre.

Lorsqu'une pièce est mesurée en microns à un chiffre jusqu'à une épaisseur de couche de 5 microns et une résolution de 2 microns, nous avons affaire à un processus de micro-fabrication additive. Il est intéressant de noter que certains procédés de micro-fabrication additive peuvent fabriquer des pièces mesurables en nanomètres (nm), ce qui est 1 000 fois plus petit qu'un micron. Pour mieux visualiser

ces mesures et imaginer à quel point les pièces peuvent être petites, on garde souvent à l'esprit que la largeur moyenne d'un cheveu humain est de 75 microns et qu'un brin d'ADN humain a un diamètre de 2,5 nanomètres.

« C'est difficile à dire, mais en général, nous considérons que 10 microns et moins sont des facteurs pris en compte en micro-fabrication additive. Plus précisément, on peut parler de la taille des pixels, de la hauteur des couches, de la tolérance ou de la répétabilité. Il est certain que si tous ces éléments se situent dans une fourchette de 1 à 3 microns ; il s'agit donc de micro-fabrication additive », explique Donner.

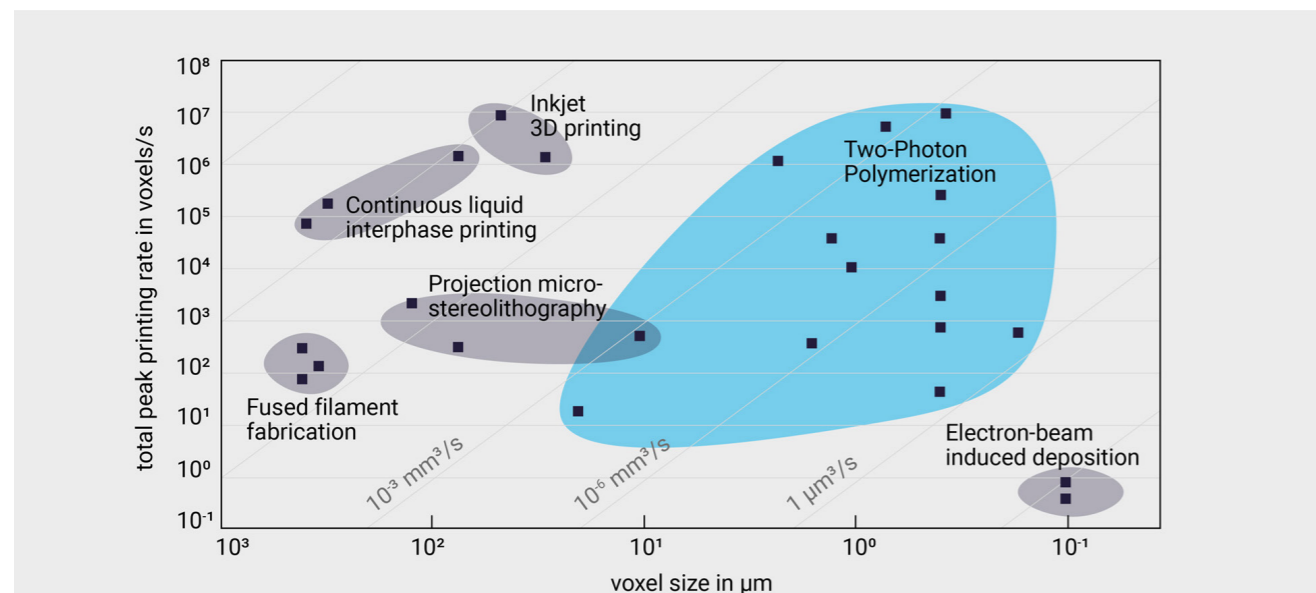


Tout comme il existe plusieurs types de procédés de FA, il existe également plusieurs types de procédés de micro-fabrication additive, notamment : le dépôt de filaments fondus, l'écriture directe à l'encre (DIW), le dépôt par énergie directe (DED), la projection directe de lumière (DLP), la fabrication d'objets laminés (LOM), l'impression redox électrohydrodynamique (EHDP), la fusion sur lit de poudre (PBF), l'impression 3D par photopolymérisation (P3DP) et le dépôt chimique en phase vapeur par laser (LCVD). (La signification de leur abréviation en anglais est : fused filament deposition (FFD), direct ink writing (DIW), direct energy deposition (DED), direct light projection (DLP), laminated object manufacturing (LOM), electrohydrodynamic redox printing (EHDP), powder bed fusion (PBF), photopolymerization-based 3D printing (P3DP), and laser chemical vapor deposition (LCVD).)

Le tableau ci-dessous présente un résumé des procédés de micro-impression 3D en termes de matériau, de procédé, de vitesse de fabrication et de résolution (*Aucune traduction en français n'a été fourni pour ce tableau.*)

| Approach | Feedstock Material  | Process  | Printing Rate (mm <sup>3</sup> / h)        | Resolution (μm) | Potential Applications                 |
|----------|---|--|--|-----------------|--|
| FFD      | Polymer filament  | Heat treatment   | $2 \times 10^3 - 5 \times 10^3$            | 200-400         | Prototyping, advanced composite        |
| DIW      | Liquid with dispersion of particles                             | Coagulation, thermal curing, gluing                    | $2 \times 10^{-3} - 4 \times 10^3$         | 0.268-610       | Biomedicine                            |
| DED      | Metal, alloy  | Focused ion/electron beam/arc/laser                    | $7.2 \times 10^{-10} - 3.6 \times 10^{-5}$ | 0.008-40        | Aerospace, retrofitting, biomedicine   |
| LOM      | Polymer, ceramics, metal, alloy, paper                          | Laminating   |  | 30              | Electronics, smart structures          |
| EHDP     | Metal, alloy  | Application of voltage                                 | $7.2 \times 10^{-6} - 3.60 \times 10^{-4}$ | 0.07-3          | Retrofitting, biomedicine, electronics |
| PBF      | Fine powder of polymer, ceramics, metal, alloy                  | Illumination of focused laser spot                     | $4.5 \times 10^6$                          | 80-250          | Biomedicine, lightweight structures    |
| P3DP     | Resin (polymer, hybrid polymer-ceramic, functionalized polymer) | Illumination of focused laser spot or optical patterns | $6.9 \times 10^{-7} - 5.0 \times 10^6$     | 0.052-200       | Prototyping, biomedicine               |
| LCVD     | Gaseous reactants   | Illumination of focused laser spot                     | $3.15 \times 10^{-1}$                      | 40              | High purity/quality crystals           |

Les procédés de micro-impression 3D à base de résine sont actuellement les plus reconnus sur le marché en raison de leur force en termes de résolution, de qualité, de reproductibilité et de vitesse. En outre, les procédés DED et EHDP permettent d'atteindre une résolution plus élevée. Néanmoins, le coût élevé et le faible taux de fabrication associés à ces procédés limitent leurs applications.



Several AM technologies' voxel sizes compared to the printing rate over eight orders of magnitude. This shows historical data of 2PP's evolution and state-of-the-art 2PP in scientific labs and commercial products. Source: This plot is an adaptation of the work in V. Hahn et al., Adv. Funct. Mater. 2020, 30, 26, (CC BY 4.0). The plot shows two instead of four scales and six instead of ten AM technologies. See [1]

Image partagée par Nanoscribe. (*Aucune traduction en français n'a été fourni pour cette image*)



Jörg Smolenski

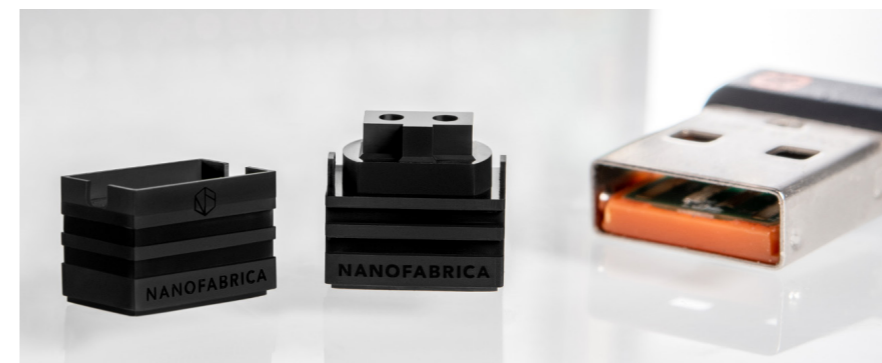
« La polymérisation à deux photons permet d'obtenir des caractéristiques de très petite taille, de l'ordre du submicromètre. Cela dépasse les capacités des technologies d'impression 3D conventionnelles. Par exemple, le procédé de filament fondu (FDM) ou le frittage sélectif par laser (SLS) sont généralement limités dans leur résolution verticale et latérale. La taille des éléments obtenus est de l'ordre de plusieurs centaines de micromètres. Les technologies de réticulation de la résine, telles que la stéréolithographie (SLA) et le traitement numérique de la lumière (DLP), atteignent une précision légèrement supérieure à celle des technologies de FA susmentionnées (de l'ordre de 5 à 10 micromètres). Cependant, elles sont encore limitées dans la réalisation de petites pièces ou structures de haute précision en raison de leur résolution limitée. Contrairement à ces méthodes, la technologie 2PP permet de fabriquer des éléments de taille minimale, jusqu'à 100 nanomètres. La vitesse d'impression des procédés d'impression 3D à base de 2PP est au moins concurrentielle avec la stéréolithographie par projection de lumière numérique (DLP). Une métrique générale pour la vitesse d'impression se réfère au taux en voxels imprimés par

seconde et est un indicateur de la façon dont l'information numérique est convertie en matériau solidifié » ajoute Jörg Smolenski, Business Development Manager chez Nanoscribe.

Selon les recherches, le développement de nouvelles méthodes optiques a permis de faire progresser les procédés de micro-fabrication additive, en particulier les procédés d'impression basés sur la photopolymérisation. Selon les experts, l'utilisation d'une source de lumière avec des longueurs d'onde plus courtes, par exemple, un faisceau UV, et un objectif avec une ouverture numérique plus élevée permet d'atteindre une résolution plus élevée - qui est souvent l'un des défis les plus importants à surmonter dans la micro-impression 3D.

La méthode optique permet d'obtenir une connexion plus solide des voxels adjacents, contrairement aux autres approches basées sur le traitement thermique et la stratification. L'étape de post-traitement, telle que la photopolymérisation, contribue également à la qualité des pièces imprimées en 3D. Enfin, le point laser ou le motif optique qui traite la matière première facilite la stabilité et la reproductibilité en raison de l'approche sans contact entre la zone de traitement et le système d'éclairage, peut-on lire dans le rapport.

Cela dit, les procédés de micro-impression 3D les plus connus sont la DLP, la microstéréolithographie (μSLA), la microstéréolithographie par projection (PμSL), la polymérisation à deux photons (2PP ou TPP), la fabrication de métaux par lithographie (LMM), le dépôt électrochimique et le frittage laser sélectif à micro-échelle (μSLS).



### Technologie de projection de lumière directe (DLP)

La technologie DLP permet d'atteindre des niveaux de résolution répétables de l'ordre du micron en combinant la DLP avec l'utilisation d'optiques adaptatives. L'une des principales différences avec la SLA, dont on dit souvent qu'elle est très similaire, est que la SLA nécessite l'utilisation d'un laser pour tracer une couche, tandis que la DLP utilise une source de lumière projetée pour polymériser toute la couche en une seule fois.

### Microstéréolithographie (μSLA)

Également basée sur une fabrication par empilement de couches induites par la lumière, la microstéréolithographie (MPμSLA) est utilisée pour construire des composants physiques en exposant une résine photopolymère à un laser ultraviolet. Si vous êtes familier avec l'utilisation d'une imprimante 3D à résine, l'utilisation d'une machine μSLA ne devrait pas poser de problème.

### Microstéréolithographie par projection (PμSL)

La PμSL est une technologie d'impression 3D haute résolution (jusqu'à 0,6 μm) basée sur la photopolymérisation déclenchée par projection de surface, et capable de fabriquer des architectures 3D complexes couvrant plusieurs échelles et avec plusieurs matériaux. On dit souvent que les machines basées sur ce procédé combinent les avantages des technologies DLP et SLA. Ce procédé évolue rapidement en raison de son prix abordable, de sa précision, de sa rapidité et de sa capacité à traiter des polymères, des biomatériaux et des céramiques.

### Lithography-based Metal Manufacturing

Comme décrit en détail à la page 43 de cette édition de 3D ADEPT Mag (Startup Area), ce procédé permet de fabriquer de minuscules composants métalliques en utilisant certains des mêmes principes que la photopolymérisation. Après une dispersion homogène dans une résine photosensible, la poudre métallique est ensuite polymérisée sélectivement par exposition à la lumière bleue. Les pièces vertes doivent subir un processus de frittage dans un four avant d'être prêtes à l'emploi.

### Polymérisation à deux photons (2PP ou TPP)

On dit souvent que ce procédé offre la plus grande précision parmi les micro-imprimantes 3D. La technologie de fabrication consiste à utiliser un laser femtoseconde pulsé pour tracer des motifs 3D dans la profondeur de la cuve de résine photosensible spéciale. Jörg Smolenski, de Nanoscribe, explique plus en détail ce processus

« La technologie 2PP est au croisement de la lithographie sans masque et la fabrication additive de haute précision. Ce procédé appartient à une famille de technologies de fabrication additive, dans laquelle la lumière est utilisée pour polymériser une photo-résine liquide afin de créer une structure définie numériquement. La combinaison de la technologie 2PP avec un flux de travail d'impression 3D robuste permet de multiples scénarios de fabrication. La technologie 2PP est une approche d'écriture directe au laser qui permet d'éviter la création coûteuse de masques et le recours à de multiples étapes lithographiques pour les microstructures 3D et 2,5D. La technologie 2PP fait progresser la micro-fabrication de pièces sur des substrats plats au niveau des plaquettes, mais permet également d'imprimer directement des structures complexes sur des motifs et des topographies préexistants, par exemple sur des fibres optiques, des puces photoniques et à l'intérieur de canaux micro-fluidiques étanches. La technologie 2PP nécessite des matériaux d'impression polymères et des photo-résines dédiées pour une manipulation aisée et une précision optimale de la résolution et de la forme, ainsi que pour une adaptation aux différentes applications. Cela permet de bénéficier de caractéristiques submicroniques, d'éléments en surplomb, de surfaces de qualité optique, d'une fabrication à grande vitesse à l'échelle méso, d'une biocompatibilité ou d'un indice de réfraction élevé. L'impression 3D de haute précision basée sur la polymérisation à deux photons est idéale pour le prototypage rapide de

conceptions d'applications afin de réaliser des dispositifs biomédicaux, des micro-optiques, des systèmes micro-électromécaniques (MEMS), des dispositifs micro-fluidiques, des emballages photoniques (par ex. PIC), des projets d'ingénierie de surface et bien d'autres encore. Les capacités de manipulation des plaquettes rendent le traitement par lots et la production en petites séries de micro-pièces 3D plus faciles que jamais. »

#### Dépôt électrochimique

Le dépôt électrochimique est l'une des rares technologies de micro-impression 3D qui ne nécessite aucun post-traitement. Le processus fonctionne avec une petite buse d'impression appelée "iontip" – terme anglais –, et qui est immergée dans un bain d'électrolyte de support. Une pression d'air régulée pousse un liquide contenant des ions métalliques à travers un micro-canal à l'intérieur de l'iontip. À l'extrémité du micro-canal, le liquide contenant les ions est libéré sur la surface d'impression. Les ions métalliques dissous sont ensuite électro-déposés en atomes métalliques solides. Ces derniers se développent ensuite en blocs de construction plus grands (voxels) jusqu'à ce que la pièce soit formée.

#### Frittage sélectif laser à micro-échelle (μSLS)

Également appelée frittage sélectif laser (SLS) à l'échelle micro, cette fabrication additive basée sur la fusion de lits de poudre consiste à recouvrir un substrat d'une couche d'encre de nanoparticules métalliques et à le sécher pour générer une

couche de nanoparticules homogène. Ensuite, une lumière laser qui a été modelée à l'aide d'un réseau de micro-miroirs numériques fritte les nanoparticules selon les motifs souhaités. Le processus est ensuite répété jusqu'à ce que la pièce soit créée.

#### Quels sont donc les facteurs décisifs à prendre en compte pour choisir une technologie plutôt qu'une autre ?

Une recherche rapide sur les acteurs du marché développant des procédés de micro-fabrication additive révèle que le marché est encore naissant. En fait, nous constatons généralement que seuls un ou deux acteurs développent chaque procédé.

Néanmoins, certains des éléments clés susceptibles de faire pencher la balance en faveur d'une technologie peuvent être les matériaux (évidemment), la robustesse, la vitesse, la qualité et la taille.

« Tout d'abord, les matériaux que permet chaque technologie sont des facteurs clés dans tout choix. Le deuxième facteur est la robustesse et la précision du système, et plus particulièrement la vitesse et les tolérances que vous pouvez atteindre. Un autre facteur essentiel est la taille que vous pouvez imprimer dans le rectangle de délimitation. Enfin, le débit et la répétabilité sont des points de décision essentiels », commente Jon Donner.

Il va sans dire que chaque procédé ne peut offrir les mêmes avantages ni avoir les mêmes limites. Parfois, le choix de l'utilisateur se basera sur les avantages recherchés pour une application donnée ou les limites à éviter pour une autre.

Par exemple, « la polymérisation à deux photons est une nouvelle technologie connue dans le contexte industriel principalement pour sa qualité et sa grande précision. Semblable à la DLP, elle utilise la lumière pour réticuler une résine photosensible afin de fabriquer des structures à l'échelle nanométrique, micro et mésométrique, mais elle ne le fait que dans un très petit volume, nettement inférieur à 1 micromètre de diamètre. On dit que le procédé 2PP est lent lorsqu'il s'agit de structures à micro- et méso-échelle. Cela a changé récemment avec l'avancée de nouvelles technologies de traitement telles que la lithographie en échelle de gris à deux photons (2GL®) et la

combinaison de lasers de plus grande puissance qui sont arrivés sur le marché et de matériels améliorés tels que les platines et les scanners. D'autres technologies de FA conventionnelles telles que la DLP, la SLA et la micro-stéréolithographie par projection (μSL) ne peuvent fabriquer que des structures plus grandes avec des détails moins filigranes de l'ordre de plusieurs micromètres. Ces technologies sont clairement adaptées à certaines tâches de micro-fabrication. Cependant, elles rencontrent des limites géométriques lorsqu'il s'agit de micro-fabrication 3D à haute résolution (<1 micromètre). La résolution et la géométrie de conception sont limitées en raison de l'illumination directe inhérente avec la lumière UV. Le procédé 2PP offre la liberté d'une conception 3D complète pour fabriquer des géométries 3D de forme libre, poreuse et même organique avec une excellente précision de forme dans la gamme submicrométrique à millimétrique. Les limitations géométriques inhérentes aux méthodes soustractives sont surmontées avec le procédé 2PP grâce à l'approche additive», déclare Smolenski, en réfléchissant aux avantages et aux limites de certaines des technologies susmentionnées.

D'une manière générale, voici les principaux avantages et les points à améliorer que nous garderons à l'esprit lorsque nous explorerons les technologies de microimpression 3D :

| Avantages  | Points à améliorer   |
|--|--|
| Faible coût : par rapport aux procédés de moulage par micro-injection, l'utilisation d'un procédé de micro-impression 3D reste abordable pour ceux qui cherchent à réaliser des prototypes ou une production en série. | Matériaux : comme dans les technologies traditionnelles de FA, les matériaux restent un obstacle qui nécessite des progrès constants.<br>« Au fur et à mesure que de nouveaux matériaux sont développés, que les rendements augmentent, nous verrons de nombreux nouveaux domaines où la micro-FA sera appliquée », commente Donner.   |
| De plus grandes possibilités de conception : Comme tout procédé d'impression 3D, la micro-impression 3D permet à son utilisateur de bénéficier d'une liberté de conception.  | « Un défi dans les domaines de l'intégration photonique, de l'informatique optique et des communications de données consiste à faire progresser l'alignement et le conditionnement des composants photoniques. Des solutions d'impression spécialisées, basées sur la matière et des logiciels, peuvent à leur tour permettre un couplage micro-optique efficace. C'est pourquoi nous avons récemment introduit et continuerons à développer l'impression 3D à alignement précis sur les fibres optiques et les puces photoniques », ajoute Smolenski. |
| Rapidité : il est assez captivant de voir à quelle vitesse on peut fabriquer une petite pièce par rapport à la même pièce fabriquée par des procédés de fabrication traditionnels.                                     | Le temps : la micro-impression 3D est un produit relativement nouveau sur le marché et, comme pour toute nouvelle technologie, il faut du temps pour convaincre les entreprises de l'utiliser.   |

#### La place de ces procédés dans les industries verticales, et en particulier dans le secteur médical et de la santé.

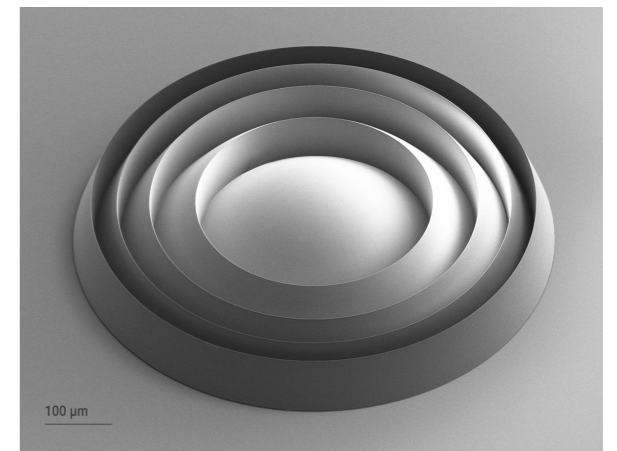
Comme indiqué dans le tout premier paragraphe, la micro-impression 3D a d'abord été utilisée dans l'industrie électronique. Avec les progrès des micro-produits miniaturisés, la technologie se positionne de plus en plus comme la voie à suivre pour d'autres applications.

À ce jour, « toutes les industries qui traitent des pièces de petite taille et de précision sont concernées. La fabrication traditionnelle de petites pièces a toujours été coûteuse, et la micro-impression 3D propose désormais des solutions beaucoup moins chères et accessibles. En matière de miniaturisation, le contrôle du facteur de forme est essentiel et permet d'atteindre un «niveau supérieur» de miniaturisation. Plus précisément : l'électronique, l'optique, les semi-conducteurs, les dispositifs médicaux, l'outillage médical, le moulage par micro-injection, la micro-fluidique, les capteurs, et puis ces applications

se retrouvent bien sûr dans l'automobile, l'aérospatiale, les biens de consommation, etc. » souligne l'expert de Fabrica.

Par ailleurs, la recherche sur les dispositifs médicaux est le domaine le plus fort où la micro-impression 3D peut révéler son potentiel (avis de Fabrica).

« Comme la micro-fabrication additive est un domaine «nouveau», elle n'est actuellement utilisée que pour le prototypage. Mais nous voyons de nombreuses opportunités. Quelques exemples sont les micro-aiguilles, les pièces pour les petits vaisseaux sanguins comme l'outillage pour les caillots sanguins, l'outillage pour l'ophtalmologie, et bien d'autres encore. Nous voyons également de nombreux dispositifs médicaux miniaturisés », note Donner.



Légende : Les lentilles de Fresnel permettent une qualité optique élevée même pour les optiques planaires. La lithographie intégrée à deux photons en échelle de gris (2GL®) de Quantum X de Quantum X et sa technologie sous-jacente de réglage des voxels permettent de fabriquer des microstructures 2,5D avec une précision de forme submicronique.



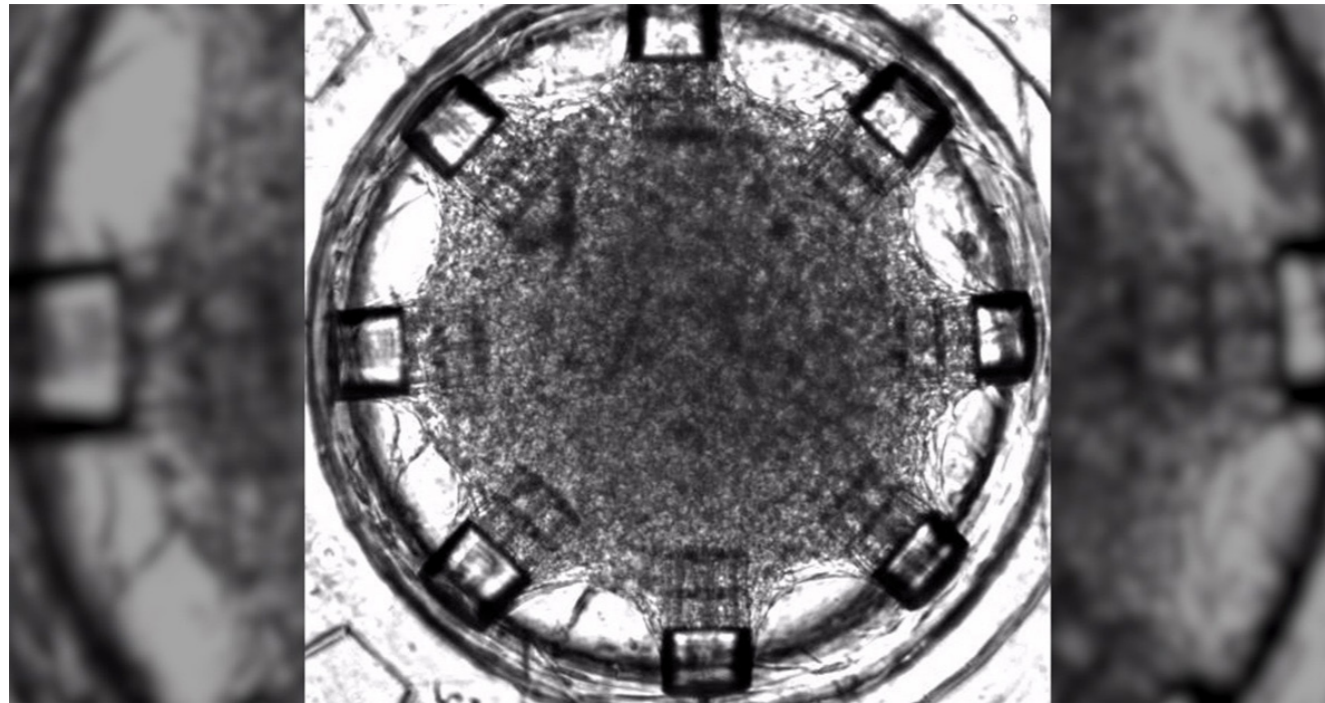
Nanoscribe va plus loin et met en avant le fait qu'elle a récemment rendu le 2PP accessible à la bio-impression 3D de haute précision : « La bio-impression 3D de haute précision permet de créer des microenvironnements avancés pour l'ingénierie tissulaire, des échafaudages personnalisés pour l'étude des cellules et de nombreuses autres applications biomédicales innovantes où la précision, la vitesse, la diversité des matériaux et la stérilité sont importantes. Dans les applications de culture ou d'ensemencement cellulaire, les microstructures sont d'abord imprimées à l'aide d'un matériau tel que les hydrogels ou l'une des photo-résines IP biocompatibles de Nanoscribe. Après l'impression, les structures sont rincées et les cellules sont ensemencées sur les structures. Généralement, les substrats sont conservés dans des incubateurs afin de surveiller le comportement des cellules au fil du temps. L'ensemencement cellulaire est la technique la plus courante pour combiner la micro-fabrication 2PP avec la recherche cellulaire. En outre, la bio-presseuse de

haute précision Quantum X bio couvre les applications biomédicales telles que les éléments micro-fluidiques personnalisés, les réseaux de micro-aiguilles ou les micro-robots pour l'administration de médicaments. En reliant le monde micro au monde macro, les structures 3D peuvent être placées intuitivement et avec la plus grande précision dans des canaux ou des puits micro-fluidiques par simple pression sur l'écran tactile de la machine. »

Enfin, la microfabrication 3D peut rapprocher la recherche en sciences de la vie du concept de médecine régénérative pour la guérison des maladies dans ce domaine.

Par exemple, les scientifiques de l'université de Boston ont contribué à cet objectif avec une plateforme micro-fluidique de cœur sur puce fabriquée par polymérisation à deux photons (2PP). L'équipe de recherche a mis au point une plateforme de culture cellulaire souple et mécaniquement active pour étudier le tissu du muscle cardiaque dans un microenvironnement 3D personnalisable.

Cette boîte à outils multifonctionnelle permet de cultiver le tissu cardiaque dans un environnement 3D et d'observer son auto-assemblage aux sites de fixation des cellules sur les parois verticales de la puce. Un capteur électronique intégré mesure les forces générées par les contractions des cellules cardiaques cultivées. En outre, les chercheurs ont intégré un actionneur mécanique dans la puce pour étirer passivement le tissu cultivé. Avec cet actionneur, les scientifiques ont étudié l'influence d'une contrainte mécanique constante et dynamique sur le tissu cardiaque. L'échelle du tissu biologique et la résolution submicronique de l'impression 3D à base de 2PP sont parfaitement adaptées pour imiter l'environnement naturel. Si on ajoute à cela le développement de matériaux biocompatibles pour l'impression 3D à base de 2PP, on peut s'attendre à de nombreuses autres applications intéressantes dans le domaine de l'ingénierie tissulaire, de la biologie cellulaire et de la médecine régénérative, conclut l'expert de Nanoscribe.



Légende : Vue supérieure microscopique de la plateforme de cœur sur puce avec huit sites de fixation de cellules chargés de tissu cardiaque. Le tissu s'aligne avec les microstructures imprimées et synchronise ses contractions spontanées avec un battement stimulé. Vidéo : Çağatay Karakan, Université de Boston

## Conclusions

La capacité de la micro-fabrication additive à résoudre de «petits» problèmes peut sans aucun doute avoir un impact important sur les industries. Il pourrait y avoir plusieurs procédés d'impression 3D à l'échelle microscopique, mais la polymérisation à deux photons, la projection  $\mu$ SL et la DLP seraient actuellement les plus prometteurs. Ce domaine d'activité est actuellement confronté à certains des principaux défis que nous avons observés avec les procédés traditionnels de FA, et comme observé sur ce marché, l'un des moyens les plus rapides de faire progresser ce marché de niche est d'améliorer l'efficacité des procédés afin que les méthodes permettent davantage d'applications, et évidemment de mettre les machines au travail par le biais de collaborations.

## Resources

Ce dossier exclusif a été rédigé grâce à plusieurs ressources externes et aux principales contributions des acteurs du secteur. Des entretiens exclusifs ont été menés avec Fabrica, une société de Nano Dimension, ainsi qu'avec **Nanoscribe**.

**Fabrica 2.0** de Nano Dimension, est une solution matérielle et logicielle de pointe pour la micro-AM, qui permet de réaliser des couches additives de 1 à 5 microns pour des pièces miniatures de haute précision. Fabrica 2.0 permet le prototypage de pièces en interne sans avoir à recourir à un outillage et à une configuration coûteuse, en livrant des pièces en quelques heures grâce à une technologie de protection contre la lumière numérique. Fabrica 2.0 fonctionne actuellement avec le matériau Precision N-800 de type ABS et le matériau composite renforcé Performance N-900 pour les environnements difficiles et à haute température.

**Nanoscribe** travaille en étroite collaboration avec des entreprises de haute technologie et des partenaires issus d'instituts de recherche et d'universités pour faire progresser continuellement la micro-fabrication 3D, façonnant ainsi des domaines de recherche et des industries pionniers. Avec le Quantum X align récemment introduit, Nanoscribe offre ainsi une nouvelle solution industrielle pour le packaging photonique par l'impression 3D alignée avec précision sur les fibres optiques et les puces photoniques. Cela permet de réduire les pertes par couplage en adaptant le champ de mode au niveau du composant plutôt qu'au niveau de la puce. L'impression 3D de haute précision avec alignement automatique en nano-précision permet de fabriquer des composants micro-optiques directement sur les puces photoniques et les cœurs de fibre. L'orientation spatiale des cœurs de fibre ou des puces photoniques est automatiquement détectée, et les composants micro-optiques de forme libre ou les éléments optiques diffractifs (DOE) sont imprimés directement en place, facilitant le couplage optique optimisé sur les plateformes photoniques. La lithographie en échelle de gris à deux photons (2GL<sup>®</sup>), propriété de Nanoscribe, accélère considérablement la micro-fabrication de haute précision de structures 2,5D pour les applications optiques, telles que le prototypage ou la maîtrise de micro-optiques de forme libre, de réseaux de microlentilles et d'éléments optiques diffractifs multiniveaux avec la plus grande précision de forme et des surfaces de qualité optique ( $R_a \leq 5$  nanomètres). Pour augmenter encore la production, la combinaison de la maîtrise 2GL avec les technologies de réplication entre en jeu. Avec la lithographie par nanoimpression (NIL) et le moulage par injection (IM), Nanoscribe a déjà piloté deux stratégies de réplication fiables et éprouvées avec [EV Group](#) et [kdg opticomp](#).

Cela permet de bénéficier des cycles courts d'itération de conception du processus de fabrication additive 2GL et ensuite, via la réplication, de faire passer la fabrication de micro-optiques de qualité optique à la production de masse.

[Projection micro stereolithography based 3D printing and its applications](#), IOP Publishing Ltd – Au nom du IMMT.

Bert Huis in 't Veld, [Micro additive manufacturing using ultra short laser pulses](#)

Wei Lin, Dihan Chen, and Shih-Chi Chen, [Emerging micro-additive manufacturing technologies enabled by novel optical methods](#)

V. Hahn, P. Kiefer, T. Frenzel, J. Qu, E. Blasco, C. Barner-Kowollik, & M. Wegener (2020). Rapid Assembly of Small Materials Building Blocks (Voxels) into Large Functional 3D Metamaterials. *Advanced Functional Materials*, Vol. 30, June 2020, 1907795.

Notre média en ligne, c'est beaucoup plus que de simples informations quotidiennes. Restez connectés à l'industrie à travers notre newsletter et suivez-nous sur [LinkedIn](#), [Twitter](#) et [Facebook](#).



[WWW.3DADEPT.COM](http://WWW.3DADEPT.COM)

## LES DIFFÉRENTS CHEMINS QUI MÈNENT À UNE BIO-IMPRESSION 3D EFFICACE



Lorsqu'un article met en avant des organes imprimés en 3D, on peut facilement être tenté de penser que ces organes peuvent déjà être implantés dans un corps humain, mais la réalité montre qu'il existe un écart important entre les capacités et les limites rencontrées avec la bio-impression 3D.

La bio-impression 3D est une technologie émergente dans laquelle des biomatériaux ou des biomatériaux combinés avec des cellules sont déposés selon des modèles prédéfinis, couche par couche, en utilisant une approche d'assemblage ascendante pour créer des constructions 3D qui sont des tissus 3D fonctionnels.

Ce type de fabrication additive est véritablement unique en son genre. Fascinante pour de nombreuses raisons, notamment pour les promesses qu'elle fait pour les organes de transplantation, l'industrie alimentaire et sa capacité à remplacer les animaux dans les tests de produits cosmétiques, chimiques et pharmaceutiques, la bio-impression 3D pourrait produire n'importe quoi, du tissu osseux et des vaisseaux sanguins aux tissus vivants.

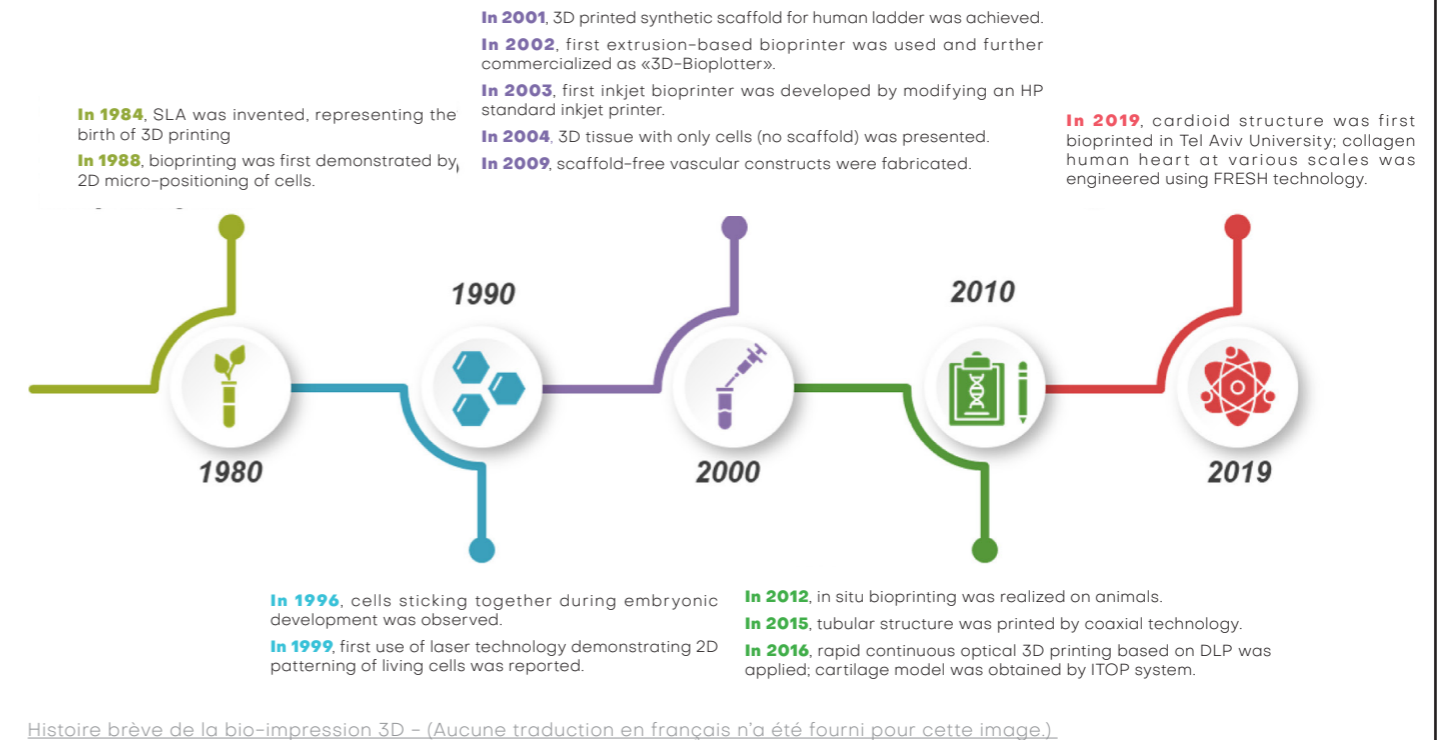
« L'un des objectifs ultimes de la bio-impression 3D est de mettre au point une solution viable qui permettra de réaliser des organes complexes fonctionnels en 3D, mais il y a plus que cela. La recherche sur la bio-impression 3D a évolué et a commencé à s'orienter vers des applications industrielles. L'un des objectifs clairs de la bio-impression 3D est le remplacement d'organes et de tissus. L'autre est de créer des découvertes cellulaires complexes pour améliorer la médecine et la rendre plus rapide », le Dr Simon Mackenzie, CEO de REGENHU, déclare à

3D ADEPT Media.

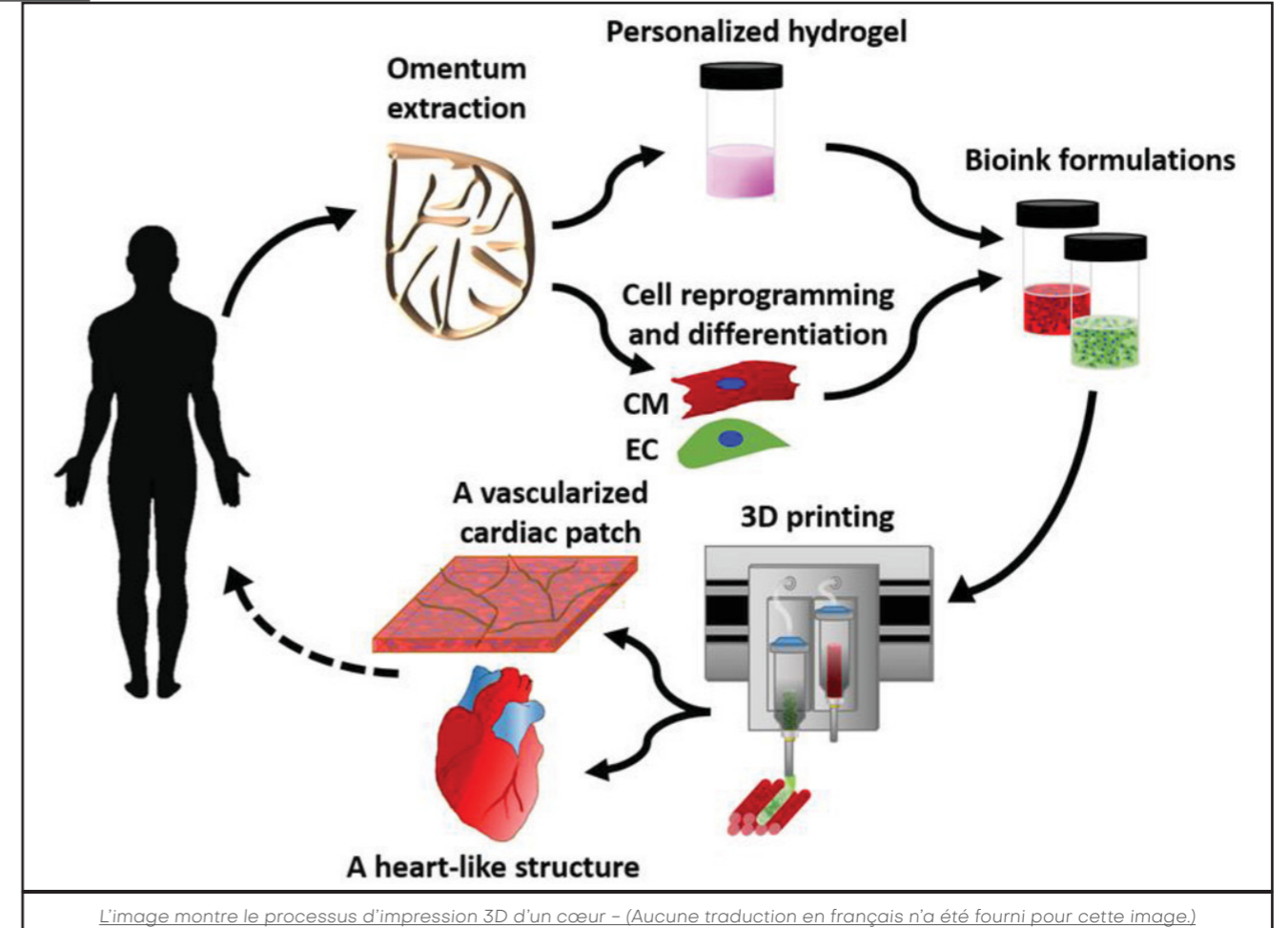
Pourtant, la vérité, selon Stephen Gray, cofondateur d'Ourobionics, est que « nous devrions arriver à une solution où nous fusionnons les tissus humains avec la bioélectronique et les biocapteurs pour améliorer ou essayer de créer des modèles pour la découverte de médicaments. À terme, nous devrions être en mesure de développer une électronique humaine qui pourrait être utilisée pour des implants ou d'autres dispositifs médicaux. De manière réaliste, l'impression d'un organe est un sujet dont nous pourrions discuter [objectivement] dans plus de 10 ans, mais explorer les options du tissu humain avec la bioélectronique et les capteurs est quelque chose que nous pouvons faire maintenant ; c'est quelque chose qui peut conduire à des améliorations tangibles dans des segments tels que la découverte de médicaments. »

« Cela signifie que le premier domaine d'intérêt actuel se situe à l'extérieur du corps et que la deuxième étape consistera à remplacer [ou transférer] les applications à l'intérieur du corps », ajoute John Zandbergen, CEO d'Ourobionics.

In fine, les avancées significatives survenues au cours de la dernière décennie ont donné une certaine légitimité à la bio-impression 3D.



Si cette décennie a été celle de la prise de conscience, nous vivons actuellement une ère où les principaux acteurs s'efforcent de prendre des mesures pour faire progresser cette technologie encore qualifiée de «futuriste». Où se dirige le marché actuel de la bio-impression 3D ? Quelles sont les limites actuelles de ces technologies et quel devrait être le prochain domaine d'intérêt ? Telles sont quelques-unes des questions auxquelles ce dossier exclusif entend répondre.





## Comment fonctionne la bio-impression 3D ?

Lorsque nous examinons les processus de bio-impression 3D, la manière dont la bio-impression 3D est définie et décrite, on peut se laisser dire que la bio-impression 3D a bénéficié de plusieurs technologies telles que l'ingénierie tissulaire, la biologie synthétique, la micro/nanofabrication et la production de biomatériaux de bio-traitement. Étonnamment, parmi les technologies les plus citées, l'impression 3D ne figure pas souvent dans cette liste, alors que cette technologie devrait être en tête de liste.

La vérité est que « le monde de l'impression 3D a résolu de nombreux problèmes ; nous avons appris [et nous continuons à apprendre] beaucoup de ces entreprises. Elles peuvent penser que ce n'est pas leur voie, mais elles ont tort. Nous avons simplement de nombreuses années de retard sur elles », souligne Mackenzie.

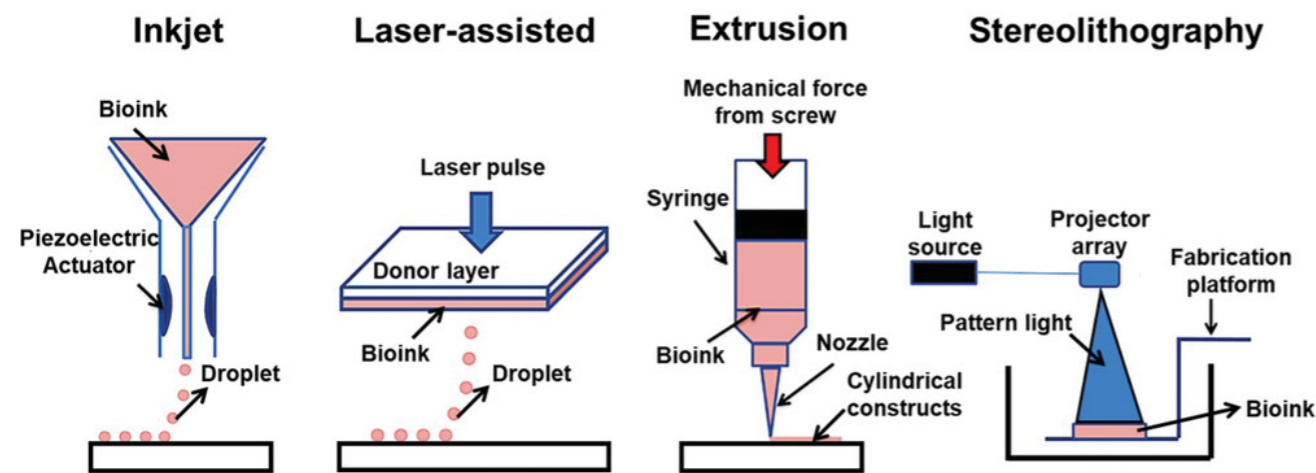
L'une des premières leçons que le monde de l'impression 3D a inspirées est un processus de fabrication qui suit les étapes que vous connaissez probablement déjà : préparation (imagerie 3D, modélisation 3D, préparation de la bio-encres), processus d'impression, post-impression (réticulation, maturation).

Tout commence par le modèle d'une structure qui peut

provenir de n'importe où : un scanner ou une IRM, un programme de conception assistée par ordinateur (CAO) ou un fichier téléchargé sur internet. Une fois que le fichier du modèle 3D est introduit dans une machine à découper, celle-ci génère une série de fines couches, ou tranches, qui, empilées verticalement, forment la forme du modèle original. Les tranches sont ensuite transformées en données de parcours, stockées sous forme de fichier de code G, qui peuvent être envoyées à une biopresseuse 3D pour être imprimées. Le tissu construit peut ensuite être post-traité dans un bioréacteur pour recréer l'environnement in vivo nécessaire au maintien de la viabilité du tissu pendant la période de maturation.

Il va sans dire que ces étapes peuvent varier en fonction du type de procédé de bioimpression 3D utilisé par l'opérateur et, comme pour les procédés de fabrication additive classiques, il existe également plusieurs types de procédés de bioimpression 3D.

Actuellement, les scientifiques semblent s'accorder sur ces quatre grandes catégories : La bioimpression 3D par microextrusion, la bioimpression 3D par jet d'encre, la bioimpression 3D assistée par laser (LAB) et la bioimpression 3D basée sur la stéréolithographie (SLB).



**Legende:** Techniques de bioimpression 3D. Le jet d'encre dépose l'encre à l'aide d'un actionneur piézoélectrique ; dans la méthode assistée par laser, le laser stimule une couche donneuse absorbant l'énergie et recouverte d'encre, ce qui crée des bulles à l'interface de la couche d'encre et entraîne son dépôt sous forme de gouttelettes ; dans l'extrusion, la force mécanique est utilisée pour déposer l'encre, et dans la stéréolithographie, une résine photodurcissable est exposée à une source précise.

Chaque procédé de bio-impression 3D comporte son lot d'avantages et de limites :

| Procédés de bioimpression 3D   | Description   | Avantages  | Limites   |
|--|---|--|---|
| Bio-impression 3D par micro-extrusion  | Distribution continue de la bio-encres par une buse actionnée par une méthode pneumatique ou mécanique (à piston ou à vis) et contrôlée par un bras robotique informatisé.                                | Possibilité d'imprimer de la bio-encres à haute viscosité en ajustant la pression d'entraînement ;<br>Possibilité d'imprimer des tissus avec des densités cellulaires très élevées et de la bio-encres sans échafaudage ;<br>Offre une bonne intégrité structurelle grâce au dépôt continu de filaments. | La dépose sous pression entraîne une forte contrainte de cisaillement sur les cellules, ce qui affecte considérablement la viabilité des cellules ;<br>Résolution limitée : impossibilité de construire un réseau micro-capillaire. |
| Impression 3D à jet d'encre (Inkjet 3D printing)                                       | Des gouttelettes de bio-encres contenant des cellules (chacune contenant 10000-30000 cellules) sont formées par une buse sans contact.  | Sans contact, ce qui réduit les risques de contamination ;<br>Possibilité d'intégrer des têtes d'impression multiples pour des structures tissulaires hétérogènes ;<br>Fabrication d'une structure semblable à une vasculature ;<br>Impression à grande vitesse  | Taille non uniforme des gouttelettes ;<br>Nécessite une bio-encres à faible viscosité (<0,1 Pa s-1).  |
| Bio-impression 3D assistée par laser (en anglais, Laser-assisted 3D bioprinting - LAB) | Une impulsion laser focalisée crée une bulle et des ondes de choc qui forcent les cellules à se transférer vers le substrat collecteur. Cette étape est répétée pour créer des structures 3D prédéfinies. | Haute précision et résolution des structures imprimées, ce qui rend possible la bio-impression de peptides, d'ADN et de cellules micro-modèles avec une résolution unicellulaire ;<br>Capacité d'imprimer des tissus avec des densités cellulaires très élevées ;<br>Aucune limitation de la viscosité.  | La chaleur générée par l'énergie laser peut affecter la viabilité des cellules.   |
| Bio-impression par stéréolithographie (SLB)  | Une lumière UV ou un laser est dirigé selon un motif sur un polymère photopolymérisable ou une bio-encres, ce qui entraîne la réticulation des polymères en une couche durcie pour former un tissu 3D.    | Haute résolution ; pas de colmatage pendant le processus d'impression  | Nécessite un rayonnement intense pour la réticulation ;<br>Processus lent   |

Ce tableau est basé sur la recherche «3D Bioprinting at the Frontier of Regenerative Medicine, Pharmaceutical, and Food Industries».

Les experts s'accordent à dire que la bioimpression 3D par microextrusion et la bioimpression 3D par jet d'encre sont les procédés les plus populaires, la microextrusion étant le procédé le plus facile à fabriquer. Chacun de ces procédés comprend souvent un large éventail de sous-procédés, qui ont leurs propres spécifications. Sans compter que les nouveaux procédés émergents qui ont été mis au point ces dernières années n'ont pas encore trouvé de catégorie définie. Certains d'entre eux sont classés dans la catégorie

des technologies hybrides car ils reposent sur de multiples innovations technologiques. C'est le cas, par exemple, de la technologie "3D Electrohydrodynamic Jet Bioprinting" - bioimpression 3D par jet électrohydrodynamique (qui associe les technologies de biofabrication 3D électrique, magnétique et microfluidique à la technologie cyborg) et de l'écriture électrofondue. Parmi les autres technologies qui n'ont pas forcément de lien direct avec les processus susmentionnés, citons la culture cellulaire 3D magnétique,

l'assemblage acoustique, le réseau de micro-aiguilles ou l'encastrement réversible de formes libres d'hydrogels en suspension.

« Ces autres procédés qu'on ne retrouve pas souvent dans les catégories principales sont des technologies de niche. Elles sont souvent combinées avec l'extrusion et le jet d'encre pour créer de meilleurs processus », explique le CEO de REGENHU.

En fin de compte, la plupart de

ces procédés (si ce n'est tous) semblent essayer de résoudre un problème central au cours du processus d'impression :

« L'un des principaux problèmes de la bio-impression 3D est que tout est endommagé au cours du processus. Pour créer du tissu humain, il faut quelque chose qui maintienne les cellules en vie, sinon elles ne forment pas le tissu recherché. Avec la bioimpression par extrusion, vous pouvez obtenir des structures de base, mais vous ne pouvez pas passer au niveau supérieur », a déclaré Stephen Gray, cofondateur d'Ourobionics, à 3D ADEPT Media.

Un autre aspect à prendre en compte est le niveau de complexité, selon Zandbergen. « Vous ne pouvez pas créer différents types de complexité avec le même tissu. Chaque tissu présente son lot de limitations en fonction de son objectif. Le niveau de complexité que vous êtes en mesure de créer à l'intérieur de la structure 3D détermine le niveau de fonctionnalité du tissu que vous fabriquez. Ne vous attendez pas à un niveau de complexité énorme en ce qui concerne la profondeur du tissu lorsque vous utilisez des procédés de bio-impression de base », souligne-t-il.

#### Quels sont donc les principaux critères qui peuvent conduire au choix d'un processus plutôt qu'un autre ?

Étant donné la nature relativement « naissante » de ce domaine d'activité, la plupart des critères susceptibles d'aider les scientifiques à opter pour un processus plutôt qu'un autre dépendent souvent de plusieurs expériences recueillies auprès de différents utilisateurs. Dans ce cas précis, nos entretiens et nos recherches révèlent que quelques critères ont tendance à revenir dans le processus de décision des scientifiques.

Le premier est celui des cellules. Comme l'ont dit les intervenants d'Ourobionics, le but ici est de garder les cellules en vie tout en travaillant sur elles.

L'impression de tissus nécessite un grand nombre de cellules. « C'est un problème très crucial car on ne peut pas créer un tissu humain si tout meurt dans le processus. L'une des améliorations récentes dans ce domaine a été d'ajouter un principe volumétrique au processus d'impression de certaines technologies. Les technologies basées sur la lumière sont également en train d'atteindre un niveau légèrement meilleur, mais le problème reste ici à l'intérieur de la résine - qui, à mon avis, ne peut pas fournir un organe fonctionnel », souligne Zandbergen.

Un autre critère est la vitesse/le temps. D'après l'explication de Mackenzie, nous comprenons rapidement qu'il est également lié aux cellules, car il explique que lorsqu'elles n'ont pas la vitesse idéale, certaines technologies peuvent détruire des cellules pendant le processus d'impression. En fait, les structures créées peuvent changer de morphologie au fil du temps lorsqu'elles sont en contact avec certains stimuli (eau, chaleur et lumière), mais les cellules intégrées peuvent également proliférer, migrer et se différencier au fil du temps, formant ainsi des tissus plus matures présentant une plus grande ressemblance avec le tissu naturel.

Quel que soit le nombre de critères que nous mentionnerons, l'un d'entre eux, qui ne doit jamais être sous-estimé, est l'objectif final. En fin de compte, chaque procédé de bio-impression 3D a son lot d'avantages et d'inconvénients - et certains fonctionnent bien pour certains objectifs. Les imprimantes de bureau basées sur l'extrusion qui intègrent de petites seringues, par exemple, ne peuvent être utilisées que pour déposer de la bio-encre et des hydrogels avec une précision incroyable (jusqu'à 1 µm), tandis que les machines qui combinent différentes méthodes de dépôt de bio-impression en une seule technologie peuvent être dédiées à la production de tissus humains artificiels pour la recherche et le développement.



Rendu 3D d'une structure cellulaire – Image: Unsplash

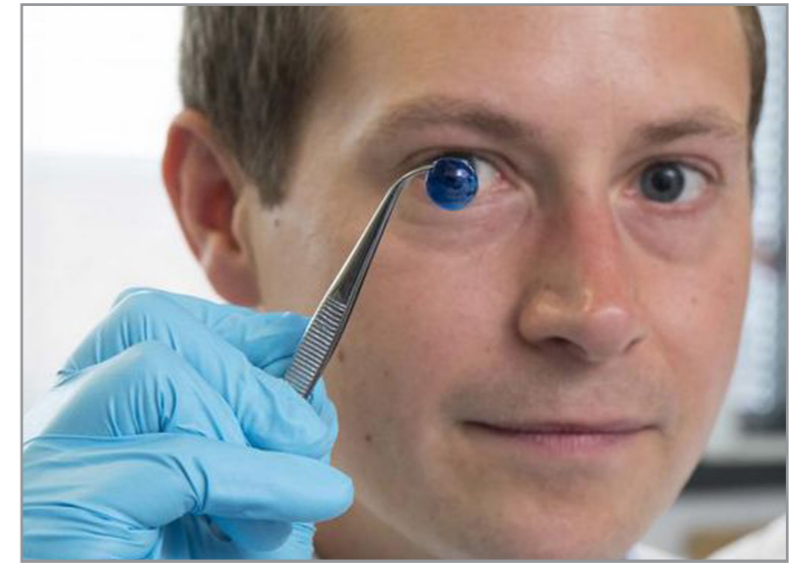
#### Applications et domaines à améliorer

« Si de nombreuses technologies touchent au remplacement d'organes et de tissus, nous sommes encore très loin des applications commerciales. Sur le marché actuel, la biologie cellulaire prend de l'ampleur, en particulier les modèles cellulaires complexes, qui visent à réduire la nécessité d'utiliser des animaux pour tester les produits. Parmi les applications qui seront prochainement sur le marché, citons l'impression de cellules bêta pour le diabète », souligne Mackenzie.

La bio-impression ouvre la voie à la création de structures et d'environnements biomimétiques qui permettent des interactions cellule-cellule et cellule-matrice in vivo avec des tissus vascularisés à haute résolution. À cet égard, les tissus issus de la bio-impression représenteraient des outils puissants pour fournir des modèles d'organes humains in vitro physiologiquement pertinents pour les essais de toxicité des médicaments et la modélisation des maladies, qui reproduisent fidèlement les aspects physiologiques clés de l'homme complexe.

Une autre application prometteuse pour l'avenir est la bioimpression in situ, qui pourrait permettre d'imprimer de la peau bicouche directement dans une plaie.

Enfin, des applications déjà commercialisées sont visibles dans l'industrie alimentaire avec



La première cornée humaine imprimée en 3D tenue par le Dr Steve Swioklo - Image : Université de Newcastle

la viande cultivée. La viande alternative est actuellement à la mode dans le secteur de l'impression 3D, car les gens sont de plus en plus conscients des problèmes éthiques et environnementaux liés à l'élevage conventionnel des animaux. Quelques entreprises comme MeaTech ou Redefine Meat, qui ont consacré leur activité principale à ce marché, ont déjà commencé à commercialiser leur viande alternative dans certains restaurants en Europe.

Cependant, il reste un certain nombre de limitations à résoudre pour aider le marché à progresser efficacement :

| Domaines à améliorer       | Pourquoi ?   |
|----------------------------|--|
| <b>Complexité</b>          | Il y a un processus complexe pour réunir les instruments et les cellules. Et l'établissement de protocoles peut prendre beaucoup de temps.   |
| <b>Biomatériaux</b>        | Les matériaux imprimables actuellement disponibles ne sont pas capables d'imiter complètement les compositions natives de l'ECM pour soutenir la structure cellulaire. Il est donc crucial de développer de nouveaux biomatériaux imprimables qui peuvent être imprimés avec des cellules vivantes et qui possèdent des propriétés mécaniques adéquates pour la manipulation des cellules.                             |
| <b>Biomatériaux</b>        | Beaucoup d'entre eux ne sont pas encore optimaux. Le matériel est capable de beaucoup plus que les biomatériaux ne le sont aujourd'hui.  |
| <b>Logiciels</b>           | Les logiciels sont assez complexes et il n'y a pas de zone de contrôle comme on pourrait en voir pour des structures complexes.  |
| <b>Modèles/fichiers 3D</b> | Chacun utilise ses propres fichiers. Il y a un besoin urgent de normalisation.   |
| <b>Prix</b>                | Une technologie aux objectifs aussi ambitieux doit être accessible pour pouvoir les atteindre. L'ingénierie tissulaire est un marché plus vaste et le manque d'accessibilité au matériel ne permet pas à certains instituts de faire progresser cette technologie. Ils n'ont accès qu'à une extrusion de base à des fins éducatives, ce qui n'est pas la bonne voie à suivre pour relever les défis qui se présentent. |

Tableau : Limitations soulignées sur la base des entretiens réalisés avec REGENHU et Ourobionics

## Réflexions finales

Notre expérience dans le secteur nous a enseigné une leçon : il existe de nombreuses technologies qui promettent beaucoup et ne donnent pas grand-chose. C'est pourquoi nous n'avons pas l'habitude de mettre en avant ou de discuter d'une technologie qui n'est pas encore commercialisée ou qui n'a pas démontré d'applications commerciales viables. Pourtant, la plupart des technologies de bio-impression 3D sont actuellement utilisées à des fins de recherche – pour l'instant.

Quand on sait que chaque jour, 17 personnes meurent en attendant une greffe d'organe qui pourrait leur sauver la vie et qu'un nouveau nom est ajouté à la liste d'attente de greffe toutes les 9 minutes ; actuellement, plus de 100 000 personnes attendent une seconde chance, sans parler de celles qui souffrent de problèmes chroniques dus aux effets néfastes à long terme de l'immunosuppression post-transplantation.

Lorsqu'on sait cela, et qu'on réalise que la bio-impression 3D peut être la solution alternative que ces personnes attendent, lorsqu'on sait que la technologie peut faire plus que cela, on ne peut s'empêcher de mettre en évidence les domaines d'amélioration qui devraient être la prochaine priorité des entreprises (de bio-impression 3D) – en espérant que cela puisse inciter certaines d'entre elles à explorer de nouvelles solutions et d'autres à poursuivre la bataille.

### Ressources et contributeurs :

**REGENHU** a démarré en 2007 avec l'objectif de créer et de développer des technologies de bio-impression qui auront un impact positif sur de nombreux domaines médicaux. Le R-GEN 100 et le R-GEN 200 de la société consolident 14 années de technologie de bioimpression et de développement basé sur l'incorporation des connaissances de l'industrie, l'intégration des commentaires des utilisateurs et la réponse aux demandes du marché.

**Ourobionics** est une startup qui fusionne une technologie avancée de biofabrication 3D électrique, magnétique et microfluidique avec une nouvelle technologie cyborganique pour créer des tissus et des organes à haut débit avec de la bioélectronique, des biocapteurs et des agents thérapeutiques intégrés. L'entreprise a pour ambition de permettre des applications de nouvelle génération dans le domaine de la médecine régénérative, des dispositifs médicaux et des interfaces homme-machine

### Recherches consultées, disponible en langue anglaise :

3D Bioprinting at the Frontier of Regenerative Medicine, Pharmaceutical, and Food Industries, Front. Med. Technol., 28 January 2021 | <https://doi.org/10.3389/fmedt.2020.607648>

Development of 3D bioprinting: From printing methods to biomedical applications, [research](#), Asian Journal of Pharmaceutical Sciences

3D Bioprinting of Lignocellulosic Biomaterials, <https://doi.org/10.1002/adhm.202001472>

## VESTAKEEP® PEEK Biomaterials for medical 3D printing

Evonik has been the world's leading manufacturer of high-performance polymers for additive manufacturing technologies for more than 20 years. The specialty chemicals company offers the industry's most extensive portfolio of 3D-printable biomaterials for medical technology, which can be used to manufacture medical device parts designed for temporary and permanent body contact.

[www.evonik.com/additive-manufacturing](http://www.evonik.com/additive-manufacturing)

VESTAKEEP®



|                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| VESTAKEEP® i4 3DF-T     | Test and development grade    |
| VESTAKEEP® i4 3DF       | Implant grade                 |
| VESTAKEEP® iC4800 3DF   | Osteoconductive implant grade |
| VESTAKEEP® Care M40 3DF | Medical care grade            |

 **EVONIK**  
Leading Beyond Chemistry



Stock Code: 688333

STAR Market in China

# BRIGHT LASER TECHNOLOGIES

## Metal 3D Printing Specialist

BLT can provide a integrated technical solution of metal additive manufacturing and repairing for customers, including customized products, equipment, raw materials, software and technical service.

### BIGGER THAN BIGGER

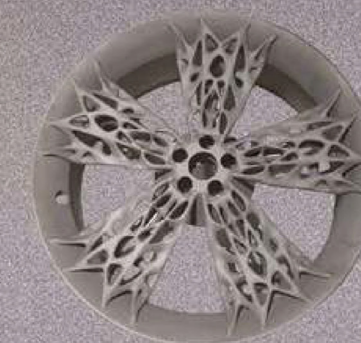
BLT-S500: 400X400X1500mm (Forming Size)  
BLT-S600: 600X600X600mm (Forming Size)



Irregular Shaped Tube  
1100mm



Fan Blade Bordure  
1200mm



Wheel  
φ485X210mm



BLT Brand Metal AM Equipment

### Supporting Materials:

Titanium Alloy, Aluminum Alloy, Copper Alloy, Superalloy, Stainless Steel, High-strength Steel, Die Steel, Tungsten Alloy

### Powder Production:

BLT-TA1, BLT-TA15, BLT-TC4

No.1000 Shanglinyuan Seven Road, Hi-tech Zone, Xi'an City, Shannxi Province, P.R. China  
+86 029-88485673 sales@xa-blt.com/marketing@xa-blt.com e.xa-blt.com

## QUELS SONT LES FACTEURS À CONSIDÉRER POUR L'UTILISATION DES CÉRAMIQUES TECHNIQUES DANS L'IMPRESSION 3D MÉDICALE ?

Et pourquoi elles conviennent bien aux applications dentaires.

Dans la foulée d'un dossier qui met en lumière « le paysage actuel de la fabrication additive céramique et le modèle économique qui anime les applications industrielles » (édition mars/avril de 3D ADEPT Mag - pp 6-12), il semble évident de se concentrer sur une industrie verticale où il reste encore beaucoup de chemin à parcourir pour que les professionnels de l'industrie exploitent pleinement le potentiel de l'impression 3D céramique : les industries de la santé et du médical.

Il existe des dizaines de publications et de recherches qui ont analysé et prévu les taux de croissance de l'utilisation de la fabrication additive dans l'industrie de la santé ou les taux de croissance du marché de l'impression 3D céramique dans son ensemble, mais il est difficile de trouver le poids de la fabrication additive céramique seule dans l'industrie de la santé. Pourtant, nous savons que les céramiques font partie intégrante du domaine médical, et compte tenu de la gamme d'applications et de processus associés aux produits médicaux les plus personnalisés, elles peuvent en être la meilleure partie.

En effet, les propriétés exceptionnelles de la céramique sont idéales pour un certain nombre d'applications dans le secteur des soins de santé. Parmi les exemples d'applications déjà réalisées, citons, sans s'y limiter, les implants médicaux (oreille, implant de tête fémorale pour le remplacement de la hanche, implants pour la neurologie), les tomodesitogrammes, les stimulateurs cardiaques, les composants pour la cardiologie, les outils à main, les valves et les filtres, les capteurs de pression, les tubes à rayons X, la chirurgie laser et reconstructive et, évidemment, les applications dentaires.

En outre, les céramiques sont également idéales pour aider à diagnostiquer les maladies. Les centres médicaux et les laboratoires font confiance utilisent des outils en céramique et en verre pour les analyses chimiques et les composants électroniques.

En réalité, les diverses utilisations de la céramique évoluent en permanence avec l'apparition de nouvelles technologies. Aussi, les applications et les avantages de la céramique sont souvent mis en avant au détriment de leurs limites et des solutions pour les surmonter, encore plus, au détriment des éléments clés que les professionnels de l'industrie devraient prendre en compte lorsqu'ils utilisent la FA céramique pour les dispositifs médicaux et les applications de soins de santé. Et ce sont là quelques-uns des domaines clés que ce dossier exclusif entend aborder.

### Utilisation de la FA dans le secteur de la santé : impression 3D céramique ou autres procédés de FA ?

La plupart des applications réalisées avec succès grâce à la FA sont généralement décrites et mises en évidence à travers l'objectif des processus de fabrication conventionnels comme principal angle de comparaison. Au fil du temps, avec les progrès des technologies de FA et leur capacité à répondre aux exigences de production de plusieurs industries, nous voyons de plus en plus les avantages de certaines technologies de FA mises en évidence pour certaines applications. C'est également le cas dans le secteur des soins de santé, où nous avons vu des applications rendues possibles par différents types de procédés de FA métal ou d'impression 3D polymère.



« Habituellement, lorsque nous parlons des applications d'impression 3D céramique, la comparaison est facilement faite avec les processus de fabrication conventionnels tels que le moulage par injection et le fraisage », souligne d'emblée le Dr Daniel Bomze, directeur des solutions médicales chez Lithoz.

« Toutefois, si on considère le large éventail de procédés de fabrication additive qui peuvent répondre aux exigences de production de diverses industries, les céramiques sont susceptibles de rivaliser avec des métaux tels que le titane, le chrome cobalt qui est utilisé dans les applications orthopédiques et dentaires, et les polymères à haute performance comme le PEEK qui peut être imprimé en 3D de différentes manières et les matériaux résorbables. Le choix d'un matériau de fabrication additive dépendra donc de l'endroit où on veut apporter une solution. Dans les applications résorbables par exemple, les métaux ne seront pas le choix idéal en termes de matériaux, alors que du côté des polymères, il existe déjà des matériaux qui sont résorbables », poursuit-il.



Dr. Daniel Bomze



Image de Lithoz – Applications dans les industries médicale et dentaire



**Lithoz** est l'une des entreprises qu'on rencontre facilement lorsqu'on s'intéresse un tant soit peu à l'impression 3D céramique. Cette société de FA dont le siège est en Autriche est connue pour sa gamme complète de solutions (machines, logiciels et matériaux) pour l'impression 3D de céramiques de haute performance. Au cœur de cette expertise se trouve un procédé exclusif de fabrication de céramique par lithographie ; un procédé de fabrication dans lequel les particules de céramique sont dispersées dans une résine photosensible et cette dispersion est ensuite solidifiée par la lumière, couche par couche, pour former une pièce. La pièce est ensuite soumise à un processus de frittage pour développer ses propriétés céramiques et peut être utilisée pour son usage final.

Comme indiqué lors d'une conversation avec le **Dr Johannes Homa**, CEO et cofondateur de **Lithoz**, la technologie de l'entreprise a été validée dans trois principaux secteurs verticaux : le secteur médical, l'aérospatiale et l'énergie. Cependant, les applications médicales rendues possibles par l'impression 3D de céramique sont celles qui ont toujours attiré le plus mon attention. Et pour cause, l'utilisation de la céramique dans les dispositifs médicaux évolue rapidement car le développement de ce marché est principalement lié à celui des céramiques techniques. Cela incite les professionnels de la santé à prêter davantage attention aux facteurs changeants qui peuvent influencer leur processus de décision lorsqu'ils explorent la FA céramique pour des applications spécifiques aux patients.



Le développement des céramiques techniques dans les applications médicales et de santé est assez moderne. Pour faciliter la compréhension des utilisateurs, les céramiques techniques ont été classées en quatre groupes principaux : les céramiques oxydées, les céramiques non oxydées, les biocéramiques et d'autres types de matériaux qui ne se trouvent pas dans les trois catégories susmentionnées.

Les céramiques oxydées ont popularisé l'impression 3D céramique grâce à leur coût abordable et à leur capacité à être facilement transformées. Classées dans la catégorie des matériaux minéraux non métalliques, elles ne contiennent pas plus de 15 % de silice et peu ou pas de phase vitreuse. Ces oxydes binaires comprennent par exemple l'alumine et la zircone. Connus pour les applications qu'ils permettent dans le domaine des implants médicaux et de la dentisterie – en dehors de la FA –, ils sont rapidement devenus l'un des matériaux d'impression 3D céramique les plus populaires du marché.

Les biocéramiques sont une classe de céramiques avancées qui suscitent de plus en plus

l'intérêt des professionnels de la santé en raison de leur capacité à être utilisées dans le corps. Elles sont souvent employées dans des applications médicales et dentaires, principalement comme implants et prothèses. Non seulement pour leur biocompatibilité, mais aussi pour leur capacité à aider le corps à se réparer. Des applications prometteuses de la biocéramique sont donc envisagées en chirurgie reconstructive. Selon **Bomze**, l'un de leurs principaux avantages est leur disponibilité illimitée. Pour les chirurgies reconstructives où une greffe osseuse est nécessaire, il peut arriver que le chirurgien ait besoin d'une grande zone d'extraction pour obtenir de meilleurs résultats. Dans ce cas, le tissu osseux peut nécessiter une procédure distincte, ce qui signifie une double opération et des risques accrus de complications pour le patient et le chirurgien. Alors que les os artificiels créés à l'aide de biocéramiques peuvent conduire à des solutions imprimées en 3D spécifiques au patient tout en « supprimant la nécessité d'autres opérations chirurgicales. » Même s'ils peuvent entraîner une plus grande fragilité car ils n'ont pas l'élasticité des tissus osseux, Bomze souligne qu'« avec

les os artificiels, la composition chimique est exactement la même que la fraction minérale de l'os. » Enfin, leur utilisation permet également de réduire « la durée de l'intervention en salle d'opération et une meilleure expérience pour le patient. »

Même si elles ne suscitent pas tellement notre intérêt dans ce dossier, notons que les céramiques non oxydées, comme le **nitru de silicium** (disponible pour la technologie LCM) et le **nitru de l'aluminium**, sont utiles dans les environnements extrêmes en raison de leur grande résistance à la chaleur et à la corrosion. Toutefois, par rapport aux céramiques oxydées, elles sont assez coûteuses et difficiles à imprimer.

Il est intéressant de noter que Lithoz a acquis une grande expertise dans le développement de matériaux pour ces trois catégories. Pour le directeur des solutions médicales chez Lithoz, le premier critère à évaluer lorsqu'on explore les céramiques techniques dans l'impression 3D médicale, ce sont les **propriétés du matériau choisi pour une application donnée** :

« Les céramiques ont des propriétés exceptionnelles et dans

certain cas, elles peuvent être la seule option pour des applications et des exigences spécifiques. Cependant, comme tous les matériaux, elles ne peuvent pas être la solution à tous les problèmes. Ce qui est vraiment important ici, c'est de comprendre d'abord les exigences du client et de sélectionner les matériaux qui répondent le mieux à ces exigences. Dans les applications industrielles, par exemple, le nitru de l'aluminium peut être la céramique idéale, mais vous ne l'utiliserez probablement pas pour créer une couronne – une pièce dentaire – car il est plus fragile que la zircone.

Et si vous ne regardez pas d'abord du côté des matériaux lorsque vous explorez l'impression 3D céramique, je vous recommande alors d'évaluer d'autres détails. Presque tous les fournisseurs de technologies cherchent à imprimer la pièce qui ressemble à première vue à la géométrie demandée par le client – cette pièce est souvent appelée « pièce verte » –. Cependant, ce n'est qu'après le frittage que vous pourrez dire si vous pouvez vous fier aux propriétés de la pièce, ou si la machine dans laquelle vous avez investi peut produire des pièces vertes, vous ne pourrez jamais fabriquer des pièces en céramique d'un trait car il y aura des fissures, et d'autres problèmes liés à la taille et aux dimensions.

Par conséquent, avant d'investir dans une technologie de production, il est important de comprendre toutes les conséquences qui peuvent résulter de chaque type de production et les détails qui sont souvent les moins mis en évidence. »

L'argument de **Bomze** est assez intéressant dans la mesure où il met en avant le fait que nous ne parlons pas assez des limites des technologies et/ou des matériaux de FA et de la manière dont elles peuvent être résolues dans la fabrication. Cela s'applique aux céramiques techniques qui sont généralement mises en avant pour leur capacité à fournir des performances que les autres matériaux ne peuvent tout simplement pas fournir, ce qui est vrai. En fait, elles sont robustes et peuvent survivre à des contraintes et des températures extrêmes, aux radiations nucléaires ou à des produits chimiques hautement agressifs. Mais ce n'est pas tout car la plupart des céramiques sont généralement fragiles. C'est pourquoi elles ne sont pas toujours autosuffisantes.

« Selon moi, on peut directement trouver une solution à la fragilité des céramiques en développant de nouveaux types de céramiques. Chez Lithoz, nous avons développé une expertise solide dans le développement de nouveaux types de matériaux céramiques imprimables qui ont conduit nos clients à développer diverses formes d'objets 3D. Lithoz travaille également en étroite collaboration avec les fabricants de poudre céramique afin de proposer sur le marché des matériaux céramiques nouvellement développés pour la fabrication additive. De plus, avec les progrès réalisés dans l'impression 3D multi-matériaux, nous avons réalisé que la combinaison de différents types de matériaux permet de remédier à la plupart des inconvénients soulevés par les céramiques techniques.

Prenons l'exemple de deux types de céramiques : les **matériaux biorésorbables** – des **matériaux ostéoconducteurs** qui facilitent la régénération osseuse – et l'**oxyde de zircone**, une céramique haute performance. La combinaison de ces matériaux permet de répondre aux exigences d'un effet de taille critique dans les implants corporels porteurs.

Dans certaines applications, par exemple, on peut combiner la zircone avec certains types de métaux afin de bénéficier des propriétés élastiques d'un métal avec, par exemple, certaines propriétés de résistance à l'usure des céramiques. Les céramiques pourraient être utilisées comme couverture pour protéger la pièce et les métaux comme élément conducteur d'électricité. Au final, la pièce créée bénéficie de la combinaison de chaque matériau sélectionné.

Une autre solution qui mérite d'être mentionnée pourrait être **d'opter pour des céramiques non frittées**. Si vous utilisez, par exemple, un matériau polymère résorbable hautement chargé avec une certaine céramique, vous n'obtiendrez pas une céramique pure au final, mais plutôt un matériau composite qui pourrait remédier



Le matériau LithaCore – Silica  
– Image de Lithoz

à la fragilité des céramiques.

Chez Lithoz, nous avons également essayé la combinaison de la fibre de verre et de la fibre de carbone, qui fonctionne bien. Cependant, elle pourrait avoir certaines limites et notre équipe de R&D y travaille actuellement », explique Bomze.

Le représentant de Lithoz a également attiré notre attention sur le fait que les limites des céramiques techniques peuvent également dépendre de la technologie de fabrication que vous utilisez pour les traiter.

« Pour chaque procédé de fabrication utilisé pour les dispositifs médicaux, vous devez adapter vos processus. À première vue, cela peut sembler un travail supplémentaire, mais si cela vous permet de bénéficier de la liberté de conception de la FA, alors vous devez le faire correctement. Dans ce cas, par exemple, il est **crucial de comprendre les règles de conception de FA** céramique pour connaître exactement tous les avantages et les inconvénients qui peuvent résulter d'une application donnée. Je pense que la compréhension de ces règles de conception est essentielle pour tirer le meilleur parti de cette technologie », ajoute-t-il.

**Focus sur les applications : dentisterie numérique**

La technologie de Lithoz a beau avoir fait ses preuves dans divers domaines de l'industrie médicale et de la santé, les avancées les plus marquantes sont actuellement observées dans les applications dentaires. Pour rappel, cela fait un moment que l'entreprise travaille au [développement d'implants dentaires en céramique imprimés en 3D aux côtés du Dr Jens Tartsch](#), fondateur et président de la Société européenne d'implantologie céramique (ESCI) et de Metoxit, une entreprise suisse de céramique technique qui développe des céramiques d'oxyde.

Aujourd'hui, l'entreprise est fière de sa capacité à produire en masse des implants de forme complexe basés sur des modèles spécifiques aux patients, grâce à la technologie de fabrication de céramique par lithographie (LCM). Dans son portefeuille, les matériaux qui peuvent permettre des productions dentaires imprimées en 3D comprennent la **zircone, l'ATZ** et le **ZTA**.

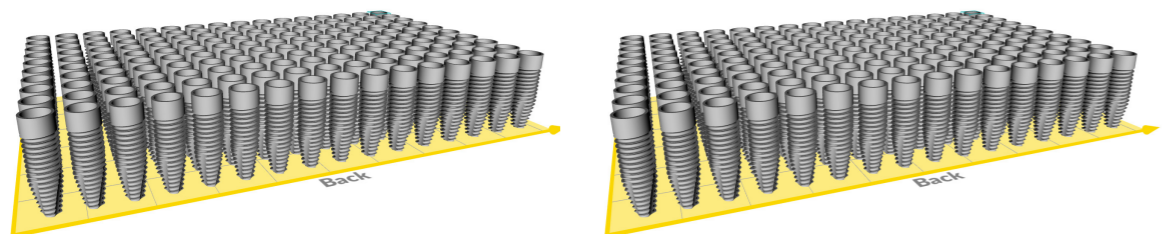
« La zircone (3 % molaire d'oxyde d'yttrium partiellement stabilisé) offre une excellente résistance sans avoir à faire de grands compromis sur l'esthétique. Un autre

matériau récemment apparu dans ce contexte est le nitrure de silicium. Il offre une combinaison exceptionnelle de biocompatibilité, d'antibactérien et de hautes performances mécaniques. Un autre avantage de l'utilisation du nitrure de silicium pour les implants est la bonne nano-rugosité de la surface, qui facilite fortement la fixation de l'os. En traitant ce matériau avec la technologie LCM, il est possible de faire varier la micro-rugosité en utilisant différentes hauteurs de couche et de contribuer à produire un implant sur lequel les cellules osseuses peuvent s'ancrer et se développer. Les matériaux tels que l'ATZ (zircone durcie à l'alumine) et le ZTA (alumine durcie à la zircone) conviennent également aux applications dentaires. Contrairement aux métaux, il n'y a pas de problème de libération d'ions ou de corrosion et ces matériaux présentent une stabilité à long terme dans les tissus mous et durs », souligne l'entreprise.

Dans les applications dentaires en particulier, la technologie LCM permet d'augmenter facilement la production par rapport au fraisage, sans compter que le fait que la plateforme utilise 95 % du matériau, n'empêche pas la reproductibilité des couches.

|                                   | CF System S65 | 4 x CF System S65 |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|
| Implants par cycle                | 153           | 612               |
| Temps de production               | 5,6 heures    | 5,6               |
| Temps de construction par implant | 3 min         | 0,5 min           |
| Implants produits en 24h          | 656           | 2624              |

Légende : le tableau ci-dessous révèle la productivité du CeraFab System S65 (103x64x320 mm<sup>3</sup>) (autonome et modulaire) pour la production d'implants dentaires et montre comment on peut facilement passer du prototypage à la production en série.



Cela dit, les implants dentaires sont peut-être les applications les plus en vue de la dentisterie numérique, mais il convient de noter que la technologie LCM peut également convenir parfaitement aux restaurations dentaires ([bruxisme](#), terme médical qui décrit un état dans lequel une personne grince, grince des dents ou les serre).

Dans ce cas, contrairement aux procédés de fabrication conventionnels, la FA présente l'avantage unique de réaliser des facettes fines, avec une précision sans précédent.

« Le processus commence par un scan de la dent, à partir duquel un modèle numérique est créé. Ce modèle est ensuite imprimé en 3D avec précision et efficacité, ce qui minimise la consommation de matériaux par rapport au fraisage ou à la thermopression. Une fois débridée et frittée, la restauration est prête à être installée, évitant ainsi le

retrait du matériau de la dent saine et répondant donc aux principes de traitement invasif minimal et de satisfaction maximale du patient », peut-on lire dans un rapport de Lithoz.

**Et maintenant... ?**

L'utilisation des céramiques techniques dans les applications de fabrication additive médicale est assez fascinante. En tant que société de technologie d'impression 3D en céramique qui a construit son succès sur ses collaborations étroites avec des universitaires, je ne suis pas surpris d'entendre Lithoz parler sincèrement des avantages et des inconvénients de l'utilisation des céramiques techniques et, surtout, de la façon dont les limites pourraient être résolues. Néanmoins, j'aimerais garder à l'esprit les différentes façons dont cette conversation a mis en lumière la capacité de la céramique technique à fournir des solutions spécifiques aux patients.

Que ce soit par la combinaison de

la technologie LCM et des implants biomatériaux dans les applications de régénération osseuse ou par l'utilisation de la LCM pour les implants dentaires et les restaurations dentaires, Lithoz coche toutes les cases en abordant les obstacles les plus importants qui ralentissaient l'utilisation de la céramique technique dans le domaine des soins de santé, ouvrant ainsi des possibilités qui ont conduit à une utilisation confiante de cette technologie. Même si des progrès continueront certainement à être réalisés dans ce domaine, la prochaine étape urgente pourrait être du côté des professionnels de la médecine et des soins de santé. Une étape qui consiste à expérimenter largement les capacités de ces procédés afin de témoigner de leur véracité.

Ce contenu a été créé en collaboration avec [Lithoz](#).



# Matériaux



## Utilisation des métaux durs dans la fabrication additive : Pourquoi ? Comment ? Et quels sont les points à améliorer ?

Plus de 75 % des 118 éléments du tableau périodique sont constitués de métaux. Il existe de très nombreux types de métaux, selon qu'ils sont des éléments, des composés ou des alliages. Dans la liste non exhaustive de ces matériaux, seul un petit groupe se paie le luxe d'être traité par les technologies de fabrication additive. Parmi eux, les métaux durs semblent avoir du mal à se tailler une place sur ce marché de niche.

Souvent appelés carbures cimentés ou carbures frittés, – souvent écrits "métaux durs", les « hardmetals » sont des matériaux composites constitués d'une phase dure noyée dans une matrice métallique. Leur développement dans la sphère de la fabrication additive est un sujet tendance en ce moment et avant de nous plonger dans ses avancées techniques, il nous semble juste de préciser que leur appellation varie souvent d'une région à l'autre. « Aux États-Unis, les termes "carbures cimentés" et "cermets" sont souvent les plus répandus, tandis que les métaux durs ou « hardmetals » sont les termes préférés en Europe », nous dit d'emblée le **Dr Johannes Pötschke**, chef de groupe hardmetals et cermets au **Fraunhofer IKTS**.

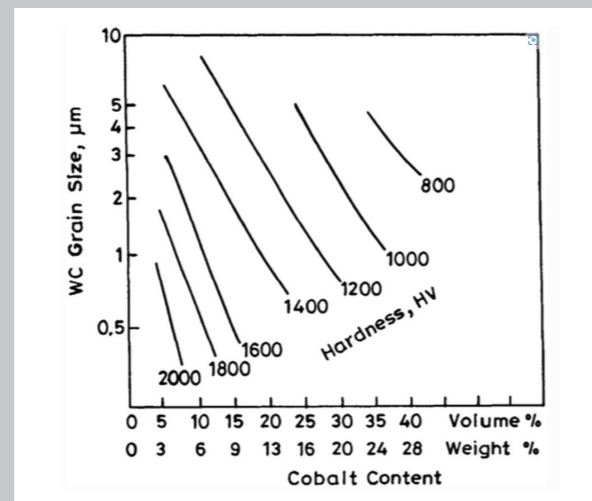
Quoi qu'il en soit, ces matériaux pionniers de la métallurgie des poudres désignent une catégorie de matériaux frittés, durs et résistants à l'usure. Ils sont basés sur les carbures d'un ou plusieurs des éléments suivants : tungstène, tantale, titane, molybdène, niobium et vanadium, liés à un métal de point de fusion inférieur, généralement le cobalt. Dans ce domaine, le carbure de tungstène-cobalt (**WC-Co**) reste le métal dur le plus utilisé. « C'est un alliage d'une phase céramique dure, le carbure de tungstène (WC), et d'une phase métallique ductile, le cobalt (Co). En d'autres termes, ce composite à matrice métallique est constitué de particules de cobalt noyées dans une matrice de carbure de tungstène », ajoute Pötschke.

Comme leur nom l'indique, ce qui peut susciter l'intérêt pour un métal dur spécifique plutôt qu'un autre, c'est le niveau de dureté qu'il présente – contrairement aux métaux « tendres » qui se caractérisent par leur faible dureté et leur

ductilité, et qui deviennent donc des matériaux de choix pour réduire la friction et améliorer la capacité anti-usure, ainsi que pour augmenter la durée de vie des équipements.

La dureté est une propriété essentielle des métaux durs. Elle définit leur capacité à résister à une déformation permanente ou plastique localisée, à la pénétration, aux rayures ou à la flexion. Cela signifie qu'un matériau présentant un niveau élevé de dureté fournira une pièce qui présentera une forte résistance à l'usure. Les autres propriétés clés pour lesquelles ils sont connus sont la ténacité et la résistance.

Les recherches révèlent qu'une dureté élevée peut atteindre jusqu'à 20 GPa, une résistance à la flexion élevée jusqu'à 5000 MPa et des valeurs élevées de ténacité à la rupture jusqu'à 20 MPa\*m<sup>1/2</sup>. Il convient également de noter que ces propriétés ne peuvent être obtenues que si les trois éléments (tungstène, carbone et cobalt) sont présents dans l'état biphasé de l'alliage de carbure de tungstène et de cobalt (WC-Co) et non dans un état de phase quelconque. Le chemin pour y parvenir est donc une question entièrement différente.



La figure montre la relation entre la dureté des échantillons WC-Co et la taille de la distance WC et la teneur en Co.

Cela dit, les métaux durs ont souvent été la voie à suivre dans la fabrication traditionnelle. Ils ont l'habitude d'être traités par un processus de mise en forme standard de la métallurgie des poudres qui fournit d'abord des pièces vertes, qui doivent subir un post-traitement avant d'obtenir la pièce souhaitée. (Le processus de fabrication est similaire pour certaines céramiques techniques utilisées en FA).

En outre, lorsqu'ils traitent les métaux durs par pressage conventionnel, les opérateurs ne peuvent pas réaliser des pièces aux géométries complexes,

et le processus de fabrication nécessitera toujours un certain post-traitement tel que l'usinage. Dans tous les cas, il y a souvent une chance que l'opérateur se retrouve avec une pièce qui présente une faible porosité.

En revanche, le potentiel de la FA n'a pas encore été exploité, mais compte tenu des possibilités offertes par cette technologie dans divers domaines d'activité, les organisations explorent actuellement diverses voies susceptibles de déboucher sur des applications viables des métaux durs.

## Types de procédés de FA pouvant traiter les métaux durs – carbure de tungstène-cobalt en particulier.



Buse en carbure cimenté – Image: Sandvik.

Il est facile de parler de la FA en général car les mêmes avantages ont tendance à revenir. Ce qui rend la conversation sur la FA captivante, ce sont les nuances qui peuvent survenir lors de l'utilisation d'un processus de FA spécifique avec un certain matériau, ou pour une application donnée.

Les métaux en général sont traités par **fusion laser sélective (SLM), fusion sélective par faisceau d'électrons, dépôt de poudre par laser, impression 3D par jet de liant et fabrication additive par arc électrique (WAAM)**, pour n'en citer que quelques-uns. Si les aciers inoxydables, les alliages de nickel, les alliages de titane et certains métaux réfractaires et alliages d'aluminium sont souvent les plus mis en avant dans les applications de FA des métaux, il convient de noter que le carbure de tungstène-cobalt reste encore très difficile à traiter par les technologies de FA en raison de sa température de fusion très élevée.

Selon le **Dr Johannes Pötschke**, de nombreux projets sont actuellement menés sur le sujet, et la plupart d'entre eux portent sur l'utilisation des métaux durs WC-Co dans l'impression 3D par jet de liant et dans les processus de FA basés sur le frittage en général.

Il est intéressant de noter qu'avec l'impression 3D par jet de liant, la « pièce verte » obtenue juste après le processus de fabrication peut avoir suffisamment de résistance pour

supporter l'étape de déliantage au cours de laquelle le liant polymère sera retiré avant de passer à un processus de frittage qui formera une pièce plus solide et dense. Seulement, étant donné que le **procédé de fabrication nécessite une étape d'étalement de la poudre, la fluidité est essentielle à la réussite de l'opération d'impression.**

D'autres procédés de fabrication additive ont également été étudiés pour traiter les métaux durs **WC-Co**. Il s'agit de la technologie SLM, de la fusion par faisceau d'électrons, de l'impression 3D par gel et du procédé FFF. Même si chacun d'entre eux présente son lot d'avantages et d'inconvénients, une chose que nous garderons à l'esprit est qu'il reste un large éventail de problèmes de propriétés mécaniques à résoudre pour fournir des pièces imprimées en 3D en WC-Co viables.

En effet, dans une production de FA qui implique du WC-Co, la densité est un indicateur primaire de qualité. D'autres indicateurs sont liés aux principales propriétés des métaux durs mentionnées plus haut : la **dureté, la résistance à la rupture et la résistance à la flexion.**

« Les défauts presque inévitables, tels que les microfissures et les porosités, et le manque de précision dimensionnelle, empêchent les procédés de FA d'être largement utilisés pour la production de pièces en WC-Co dans l'industrie. Des

traitements ultérieurs, tels que le traitement thermique, le pressage isostatique à chaud (HIP), l'infiltration et l'usinage, sont souvent nécessaires, ce qui entraîne des délais et des coûts supplémentaires », peut-on lire dans une [recherche](#) sur « la fabrication additive des métaux durs WC-Co ».

Actuellement, plusieurs producteurs de matériaux et équipementiers ont mis au point des solutions exclusives pour résoudre ces problèmes mécaniques. Le producteur de matériaux Sandvik est l'un d'entre eux. L'expert en matériaux durs a récemment introduit le [carbure cimenté imprimé en 3D](#), développé à l'aide d'un processus breveté. D'autre part, la société est également impliquée dans le programme Binder Jet Beta de GE Additive afin de faire progresser le système beta H2 du fabricant vers des lignes pilotes. Dans le même ordre d'idées, la dernière entreprise à avoir rejoint ce programme est le fournisseur de [technologie industrielle Kennametal](#), qui fera progresser les capacités d'impression Binder Jet dans le carbure de tungstène cimenté.

En attendant que ces annonces débouchent sur des résultats fructueux, nous pouvons d'ores et déjà partager les divers avantages et inconvénients auxquels nous pourrions être confrontés lors du traitement des métaux durs WC-Co avec d'autres procédés de FA.

| Procédé de FA  | Avantages  | Inconvénients  |
|--|--|--|
| Fusion sélective par laser (SLM), également connue sous le nom de fusion laser sur lit de poudre (L-PBF).                      | Haute dimensionnalité<br>Précision<br>Grande liberté géométrique<br>Moins d'étapes<br>Dureté élevée  | Contrainte résiduelle élevée<br>Microstructure irrégulière<br>Perte de carbone et évaporation du Co. |
| Fusion sélective par faisceau d'électrons (SEBM), également appelée fusion sur lit de poudre par faisceau d'électrons (E-PBF). | Haute précision dimensionnelle<br>Précision<br>Grande liberté géométrique<br>Moins d'étapes<br>Dureté élevée<br>Vitesse de balayage élevée | Contrainte résiduelle élevée<br>Microstructure irrégulière<br>Besoin de vide                         |
| Impression 3D par jet de liant   | Microstructure uniforme<br>Haute ténacité<br>Faible coût<br>Faible contrainte résiduelle<br>Pas de perte de matière première               | Retrait élevé<br>Faible dureté   |
| Impression 3D par gel  | Faible contrainte résiduelle<br>Microstructure uniforme<br>Faible besoin en poudre<br>Pas de perte de matière première                     | Rétrécissement important<br>Faible dureté  |
| Fabrication par filament fondu   | Faible contrainte résiduelle<br>Microstructure uniforme<br>Faible besoin en poudre<br>Pas de perte de matière première                     | Rétrécissement important<br>Surface rugueuse   |

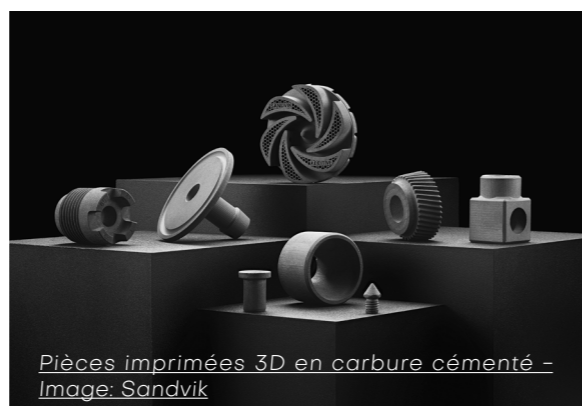
Le tableau montre les techniques de fabrication additive qui peuvent être explorées pour imprimer les métaux durs WC-Co.

« En résumé, les cinq procédés de fabrication additive ci-dessus peuvent être divisés en deux types : le procédé de fusion sélective et le procédé de façonnage-décollement-frittage (SDS). Les procédés de fusion sélective comprennent le SLM et le SEBM, qui fabriquent des pièces en faisant fondre de la poudre avec une source de chaleur. Ce type de procédé est très simple et permet un moulage en une seule étape. Mais un post-traitement est parfois nécessaire pour éliminer les contraintes et les défauts. Le procédé SDS comprend l'impression 3D Binder Jet, 3DGP et FFF. Les procédés de type SDS se caractérisent par la formation d'une pièce verte avec des composés organiques comme liant, puis par le frittage. Par rapport au procédé de fusion sélective, le procédé SDS est plus compliqué. Comme le SLM, le SEBM et le BJT contiennent tous une étape d'étalement de la poudre, ces trois procédés exigent que la poudre ait une bonne fluidité. Alors que l'impression 3D par gel et le procédé FFF préparent les poudres sous forme de boue et de filament pour l'impression, la fluidité de la poudre n'est pas nécessaire. L'application de la fusion sur lit de poudre par faisceau d'électrons est limitée par son coût d'équipement très élevé. Le SLM souffre d'une microstructure inégale, de la perte de carbone et de l'évaporation du Co », souligne la recherche.

**Qu'en est-il des applications ?**

« Il n'existe actuellement aucune application commerciale rendue possible par la FA et les métaux durs. La plupart des projets sont actuellement menés à des fins de prototypage ou de recherche. Une avancée notable est que les procédés de FA basés sur le frittage ont une longueur d'avance car ils peuvent répondre aux exigences strictes des métaux durs [à condition que les opérateurs sachent comment gérer les problèmes posés par la composition du matériau, la vitesse de production, la précision et la taille de la pièce souhaitée] », a déclaré Pötschke à 3D ADEPT Media.

Cela dit, le manque actuel d'applications est révélateur du long chemin à parcourir pour faire du carbure de tungstène-cobalt une **application commerciale viable avec la FA**. Cela est d'autant plus important que, lorsqu'ils sont utilisés avec des procédés de fabrication conventionnels, les métaux durs sont essentiels à divers secteurs tels que l'agriculture, le textile, la métallurgie, la mécanique, l'exploitation minière, l'aéronautique et l'aérospatiale et le médical. Ils sont souvent le meilleur choix pour fabriquer des vannes, des rouleaux, des cylindres, des plaques, des axes,



Pièces imprimées 3D en carbure cémenté - Image: Sandvik

des lames, des buses ou des engrenages, etc. Plus important encore, dans le secteur médical et des soins de santé, Pötschke nous a dit que les métaux durs sont principalement utilisés avec des procédés de fabrication conventionnels :

« Étant donné qu'ils offrent le [compromis idéal entre la ténacité et la dureté], les métaux durs



Jan Philippe Grage

sont parfaits pour la fabrication d'outils de coupe. Dans l'industrie médicale, ils peuvent servir à des applications en dentisterie et pour l'usinage des tissus osseux. »

Il ne s'agit peut-être pas du carbure de tungstène-cobalt (WC-Co), mais un petit nombre d'entreprises utilisent du tungstène pur pour des applications médicales d'impression 3D. [DUNLEE](#) est l'une d'entre elles.

Si vous êtes un lecteur régulier de 3D ADEPT Media, vous avez peut-être déjà découvert cette entreprise dans notre rubrique [Opinion de la semaine](#). Dans ce dossier exclusif, nous avons demandé à **Jan Philippe Grage**, responsable du développement des produits et des activités d'impression 3D chez DUNLEE, de répondre à une courte liste de questions qui pourraient nous aider à comprendre à quelle vitesse ce marché de niche évolue.

**3DA : Dunlee a-t-il seulement exploré l'utilisation du tungstène pour les grilles antidiffusion (ASG = anti-scatter grids) ? Existe-t-il d'autres applications ?**

Notre activité principale se focalise sur les grilles antidiffusion et c'est également ce qui sera le moteur de nos développements à l'avenir. Cependant, Dunlee fournit aussi activement des composants pour d'autres applications médicales telles que des fenêtres de protection ou des collimateurs pour les tubes à rayons X. Pour aller plus loin, nous travaillons également sur de nouvelles applications en dehors de la médecine, comme la fusion nucléaire, l'aérospatiale, l'automobile ou même l'industrie minière. Ceci est dû au fait que le tungstène a :

- i. un point de fusion élevé qui le rend idéal pour les environnements à température extrême
- ii. une densité élevée qui le rend idéal pour l'absorption des rayonnements ou comme contrepoids dans des

géométries petites ou complexes.

iii. une longue durée de vie et résistance à la corrosion

**3DA : Si la fabrication additive avec du tungstène présente de nombreux avantages, il existe des obstacles à la mise à l'échelle de cette technologie pour la production de masse. Dans la plupart des cas, la fabrication de pièces prend plus de temps et est plus coûteuse. Comment pouvons-nous résoudre ce problème ?**

Il existe en effet des cas où la fabrication additive n'est tout simplement pas adaptée en termes de prix, d'évolutivité ou même de performances. Pourtant, il existe encore de nombreuses opportunités inexploitées où la fabrication additive peut soutenir la production de composants en volume. Il faut trouver la bonne combinaison, depuis l'évaluation et la conception des pièces jusqu'au post-traitement. Cela demande du temps et des efforts, mais, comme on peut le constater avec notre principale application, les ASG, cela en vaut la peine. Par conséquent, les entreprises qui se lancent dans ce type de développement doivent fixer les bonnes attentes et comprendre que des retards, voire une enquête infructueuse, peuvent en résulter. Pour ce qui est de la mise à l'échelle, je pense qu'un élément important à prendre en compte ici est le choix des bons partenaires. Il est essentiel de nouer des partenariats dans le domaine de la FA, car de nombreux développements et potentiels n'ont pas encore été débloqués. Vous avez donc besoin de partenaires dans votre chaîne de valeur qui cherchent constamment à se développer et à investir le temps nécessaire pour s'améliorer en permanence.

**3DA : Y a-t-il d'autres métaux durs que la société a explorés pour des applications d'impression 3D médicale ?**

Jusqu'à présent, notre stratégie consiste à nous concentrer sur le tungstène pur et à développer cette industrie de niche. Bien sûr, nous recevons des demandes pour d'autres métaux réfractaires, mais soit nous avons réussi à développer l'application avec le tungstène, soit nous avons jugé que la relation entre cette application et nos capacités ne correspondait pas. Nous avons toutefois inscrit à notre agenda d'évaluer chaque nouvelle opportunité de matériau qui se présente à nous pour voir s'il y a une correspondance.

**3DA : Y a-t-il autre chose que vous aimeriez partager concernant l'utilisation du tungstène avec la FA ?**

Pour ceux qui s'intéressent à la FA de pièces en tungstène pour la première fois, sachez que ce n'est pas encore une tâche facile. Nous pouvons produire des centaines de milliers de pièces par an, mais chaque nouvelle application a ses propres défis et de nouveaux développements peuvent être nécessaires. N'ayez donc pas peur d'entendre ce qui doit être développé en premier lieu, le potentiel du tungstène dans la FA peut vous faire économiser des coûts, augmenter les performances du système ou même une combinaison des deux. Ce que l'on voit de plus en plus sur le marché, c'est la possibilité de devenir plus durable qu'avec la fabrication traditionnelle. Avec la FA, il est possible d'avoir des chaînes d'approvisionnement beaucoup plus petites et de fermer la boucle sur l'utilisation et le gaspillage des matériaux. À l'heure actuelle, où la pression sur les chaînes d'approvisionnement est élevée et où tout le monde est confronté à des pénuries de matériaux, le recyclage et les économies circulaires deviennent de plus en plus importants.



New Challenge Best Quality



## Gas-Atomized Titanium Powder

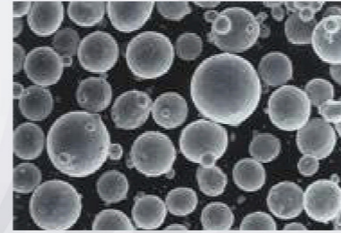
# TILOP

## Titanium Low Oxygen Powder

OTC has been producing titanium powder since 1991. The manufacturing process employs the gas atomization method, which is the most suitable for mass production. As one of the largest manufacturers of aerospace grade titanium sponge, we provide a stable supply high quality titanium powder that meets all your requirements.



Appearance



### Possible powder for production

- CP Titanium
- Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V ELI
- Trially produced other alloys (e.g. Ti-Al Alloys, Ti-6Al-7Nb)

### Markets & Applications

- Additive Manufacturing (AM)
- Metal powder Injection Molding (MIM)
- Hot Isostatic Pressing (HIP)
- Others

OSAKA Titanium technologies Co.,Ltd.

URL <https://www.osaka-ti.co.jp/>

Contact Address High-performance Materials Sales and Marketing Group  
Tokyo Office / Sumitomo Hamamatsucho Building 8F, 1-18-16 Hamamatsucho, Minato-ku, Tokyo 105-0013, Japan  
Tel:+81-3-5776-3103, Fax:+81-3-5776-3111 E-mail: [TILOP@osaka-ti.co.jp](mailto:TILOP@osaka-ti.co.jp)



Credit: Solukon Maschinenbau GmbH

# POST - TRAITEMENT

## LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES INDISPENSABLES D'UN SYSTÈME D'ENLÈVEMENT DE POUDRE AUTOMATISÉ

**Avec des exemples clés sur l'impression 3D médicale.**

La plupart du temps, lorsque nous discutons avec un utilisateur de la fabrication additive, l'un des défis qui revient sans cesse est l'étape du post-traitement - le retrait de la poudre en particulier. Qu'il s'agisse de l'industrie aérospatiale, des biens de consommation ou de l'industrie médicale, les utilisateurs veulent être en mesure d'effectuer le retrait de la poudre facilement et parfaitement. L'ironie de la chose, c'est que lorsque la fabrication additive n'était pas encore assez mature, les utilisateurs se plaignaient de devoir effectuer cette tâche manuellement - ce qui, au final, prenait trop de temps et coûtait cher - mais avec la maturité actuelle de la technologie, les utilisateurs ont compris la nécessité d'une machine qui peut le faire pour eux, mais continuent de se plaindre. Le défi actuel réside-t-il dans le manque de caractéristiques techniques appropriées dans ces machines ? Disons-le ainsi : quelles sont les caractéristiques techniques qui permettront à une machine d'enlèvement de poudre de bien faire son travail ?

L'enlèvement de la poudre est probablement la première étape la plus critique de la chaîne de post-traitement d'une pièce finie, en particulier pour les métaux. En effet, les pièces de FA en métal subissent souvent un traitement thermique et toute poudre résiduelle est frittée à l'extérieur ou, pire encore, à l'intérieur de la pièce elle-même. Une fois que cela se produit, il est pratiquement impossible de réparer la pièce et elle sera mise au rebut. Pour les pièces médicales et autres pièces à usage critique, la dernière chose que l'on souhaite est une poudre résiduelle frittée sur les pièces.

Comme vous pouvez le deviner, cette étape de la fabrication a soulevé un certain nombre de défis que les OEMs ont fait (et font) de leur mieux pour surmonter. Il est intéressant de noter qu'à mesure que ces défis sont relevés, les solutions trouvées contribuent à positionner la FA comme un processus de fabrication sérieux pour l'industrialisation, et les régulateurs, les responsables de l'assurance qualité et les unités juridiques sont plus désireux de prêter attention aux autres risques qui peuvent survenir.

Ces défis sont surtout mis en évidence dans les machines de fusion laser sur lit de poudre, qui sont aussi les procédés de FA métal les plus utilisés dans les industries. Rappelons que, même s'ils sont souvent mentionnés à d'autres étapes de la production de FA, les problèmes de sécurité et de santé sont les plus préoccupants lors du processus de «dépoudrage», où les opérateurs peuvent être en contact direct avec les poudres. Les risques d'explosion, les coûts, la récupération de la poudre, la qualité du nettoyage et la répétabilité du processus complètent cette liste et expliquent l'évolution vers la réglementation et la normalisation. Ceci étant dit, nous devons reconnaître que l'exposition humaine aux poudres métalliques est un risque que la plupart des organisations ne peuvent encore gérer. Les normes actuellement disponibles ne répondent pas toujours à tous les problèmes de sécurité. La plupart du temps, il incombe à l'utilisateur de cette norme d'établir des pratiques appropriées en matière de sécurité, de santé et d'environnement et de déterminer l'applicabilité des limitations réglementaires avant l'utilisation d'une machine de poudrage.

engineered and made in Germany

**solukon**

**SFM-AT350** **NEW**

The new standard for automated depowdering of medium sized metal parts with Smart Powder Recuperation SPR®.

[solukon.de](http://solukon.de)

**Quelles sont donc les caractéristiques techniques qui permettront à une machine de dépoudrage de bien faire son travail ?**

La première chose qu'il faut comprendre ici est que l'enlèvement de poudre peut être une tâche très méticuleuse, et lorsqu'il est effectué manuellement, il peut impliquer de multiples étapes pour vérifier et inspecter continuellement la pièce.

L'automatisation du processus peut offrir de nombreux avantages à cet égard. En fait, un processus automatisé est un très bon support vers la possibilité de valider un processus d'enlèvement de poudre. Il assure la cohérence et un meilleur contrôle.

Il s'agit d'un besoin particulier pour les industries réglementées telles que le secteur des dispositifs médicaux. En ayant une étape de la chaîne d'approvisionnement permettant une reproductibilité opérationnelle, vous obtiendrez une bonne base pour évaluer avec précision la performance de votre dépose de poudre.

En fin de compte, une fois qu'un processus a été défini pour une pièce particulière, il peut être répété de manière fiable à l'infini avec un haut niveau de confiance dans le fait que le résultat sera le même.

En ce qui concerne les caractéristiques, il est intéressant d'évaluer la capacité de la machine d'enlèvement de poudre non seulement à éliminer les résidus de manière efficace, mais aussi à appliquer différentes stratégies si nécessaire. Une paramétrisation claire du processus devrait permettre d'obtenir des résultats optimaux sur le long terme.

Nous n'insisterons jamais assez sur

Image via SMS Group



ce point : les systèmes d'enlèvement de poudre doivent être en mesure de respecter les directives strictes en matière de santé et de sécurité associées à la manipulation de poudres fines. À cet égard, ils doivent être équipés d'une chambre de travail fermée. L'utilisation de gaz inertes pour le contrôle de l'atmosphère est également une caractéristique importante.

En ce qui concerne l'opération proprement dite, une technique très simple qui a été utilisée avec beaucoup d'efficacité lors de l'enlèvement manuel de la poudre consiste simplement à peser la pièce. La possibilité de contrôler le poids de la pièce en comparant le poids calculé avec celui de l'équipement serait donc une fonction clé.

Cependant, tout équipement automatisé doit avoir une configuration flexible car il devra travailler avec de nombreuses géométries de pièces différentes. La possibilité d'ajouter des outils à la robotique en bout de bras et la capacité de programmer le mouvement de la pièce à l'intérieur de la chambre sont également essentielles.

Avec la possibilité d'une poudre piégée à l'intérieur des pièces, il est très important d'étudier le chemin optimisé dans l'espace de mouvement de l'équipement qui permettra à cette poudre de s'écouler librement et de trouver un point de sortie. Pour cela, les systèmes capables d'interagir avec les modèles de CAO en 3D et d'interpréter la trajectoire optimale constituent d'excellentes solutions. Parfois, un effort supplémentaire est nécessaire et l'utilisation d'outils à pointe fine, d'injecteurs de gaz et d'autres outils qui se fixent sur des bras robotisés serait très souhaitable, en particulier lorsqu'il s'agit de pièces médicales dont la surface peut comporter des structures maillées favorisant la croissance osseuse.

Avec seulement une poignée d'entreprises proposant des machines de dépoudrage automatisées, nous nous sommes rendu compte que certaines fonctions sont de plus en plus demandées par les opérateurs.

| Les caractéristiques les plus recherchées dans un système de dépoudrage | Description/remarques  |
|---|--|
| Taille de la table  | Varie d'un système à l'autre   |
| Vibration de la plaque de construction                                  | Fréquence de vibration réglable et/ou programmable   |
| Accès aux grandes pièces (facultatif)                                   | Chargement facile par grue depuis le haut de la machine/entrée arrière pour l'intégration d'un système de chargement de robot.     |
| Rotation de la plaque de construction                                   | La liberté de rotation permet d'atteindre et de nettoyer la poudre coincée dans les structures de support ou les canaux internes ; |
| Capacité de gaz inerte  | Prévient les risques d'explosion   |
| Programmabilité et automatisation                                       | Permet d'obtenir des résultats de nettoyage prévisibles et reproductibles.   |
| Système de ventilation par air comprimé ou gaz.                         | Cela permet d'éviter l'éjection de particules dans l'atmosphère. Empêche les fenêtres de s'empoussiérer                            |
| Accès au gant / pistolet à souffler                                     |  |
| Unité d'ionisation  | Réduit l'électricité statique  |
| Cyclone   | Nettoyage des médias par soufflage   |
| Bac à poussière étanche   | Collecte la poussière du filtre  |

Il va sans dire que chaque application est unique et peut donc avoir ses propres exigences ; c'est pourquoi nous vous recommandons d'examiner les tenants et aboutissants de votre projet : l'environnement, l'équipement approprié et même l'objectif final après l'élimination des poudres.

**Qu'en est-il des économies ?**

La question des coûts revêt de plus en plus une importance capitale dans un contexte de durabilité. Cela soulève plusieurs autres considérations concernant [la production, l'achat et la viabilité de la poudre](#) que nous avons abordées dans un précédent dossier.

À l'heure actuelle, il est difficile d'attribuer une valeur réelle au facteur « coûts » car tout dépend si l'on considère la réduction du temps nécessaire pour traiter un nombre donné de pièces, de manière cohérente et fiable, par rapport à une opération manuelle équivalente, ou si l'on veut également prendre en compte la réduction de la probabilité d'avoir des pièces rejetées en aval de la chaîne de traitement. Une seule pièce rejetée en raison de poudres piégées non visibles peut entraîner des coûts associés qui se chiffrent en dizaines de milliers de livres/euros/dollars. En outre, un système automatisé introduirait des coûts dans toutes les opérations en raison de l'investissement en capital, des coûts d'exploitation et des frais généraux, y compris la maintenance, et ceux-ci doivent être pris en compte dans toute analyse de réduction des coûts.

Si l'on considère les pièces médicales imprimées en 3D, par exemple, on peut rapidement observer qu'un dépoudrage performant évitera les problèmes tout au long des étapes suivantes de la chaîne d'approvisionnement, comme le traitement thermique, le post-usinage ou le traitement de surface. Cela diminuera également les risques liés à la contamination de la poudre sur les dispositifs finaux. En outre, il n'est pas facile de quantifier les économies réalisées en cas d'infection d'un patient due à des résidus de poudre sur des implants. Il est cependant clair que nous devons faire tout ce qui est en notre pouvoir pour réduire ce risque.

**Conclusions**

Les solutions d'élimination des poudres restent relativement nouvelles, d'où le petit nombre d'équipementiers qui proposent actuellement des solutions à cet égard. (Vous pouvez consulter le [Catalogue international des solutions de FA 2022](#) pour découvrir certaines des dernières solutions disponibles sur le marché pour cette tâche). Quoi qu'il en soit, nous sommes tous d'accord sur le fait qu'il n'existe pas encore de lignes directrices définies pour l'utilisation de l'enlèvement de poudre. La raison en est que les expériences holistiques sont souvent la façon dont l'industrie apprend le plus sur cette étape de la fabrication. Cela signifie que chaque projet doit être évalué séparément pour obtenir un résultat optimal. La considération la plus importante doit être de savoir

si'il est judicieux ou non d'employer ces solutions, car l'utilisation de l'automatisation pour certaines pièces peut s'avérer excessive et n'apporter aucun avantage réel à l'entreprise.

En ce qui concerne les spécifications, le monde de la FA est un secteur en pleine évolution et il existe une liste toujours plus longue de projets de spécifications et de spécifications approuvées pour tout régir, de la sélection des poudres en passant par la qualification des équipements jusqu'à la certification des pièces finales. Dans l'industrie médicale en particulier, la norme ASTM F 3335-20 donne de bonnes indications pour l'élimination des résidus. Enfin, tous les aspects de la biocompatibilité doivent être évalués conformément aux normes ISO 10993.



**Auteurs**

La rédaction de cet article exclusif a été dirigée par **Kety Sindze**, éditrice en chef chez [3D ADEPT Media](#). Deux autres experts aux parcours différents ont participé à la préparation et à la rédaction de cet article.

**Nicolas Bouduban**, CEO et fondateur de [Swiss m4m Center AG](#), un centre de fabrication additive pour les applications médicales qui promeut le développement et l'utilisation de l'impression 3D en se concentrant sur tout le savoir-faire du processus dans un environnement validé.

Coordonnées de contact :

E : [nicolas.bouduban@swissm4m.ch](mailto:nicolas.bouduban@swissm4m.ch)

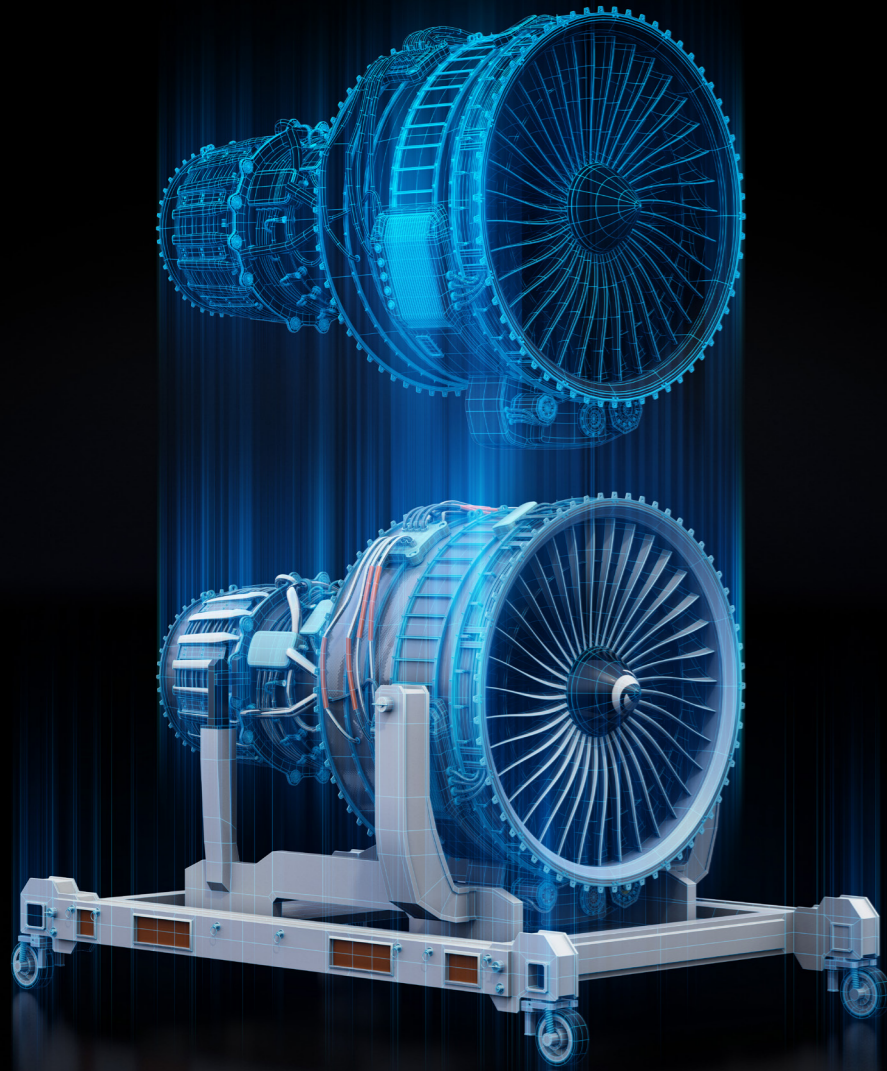
T : +41 79 601 32 38

**Martin McMahon**, consultant en fabrication additive qui apporte plus d'une décennie d'expérience dans presque tous les aspects du secteur de la fabrication additive métal, de la chaîne d'approvisionnement à la fabrication de pièces en pleine production.

Coordonnées de contact :

T : +44 7923 475565

E : [Martin.McMahon@MAMSolutions.uk](mailto:Martin.McMahon@MAMSolutions.uk)



## LOGICIELS

**Jumeaux numériques dans les environnements de fabrication (additive) : quels sont les principaux défis à relever ?**

Malgré les capacités de la fabrication additive, produire des pièces en se contentant d'une approche par essais et erreurs reste chronophage et coûteux. En effet, vous ne saurez jamais le nombre de productions par lots que vous allez lancer avant d'obtenir les pièces souhaitées. De plus, il existe tellement de raisons pour lesquelles une erreur peut se produire, des erreurs qui vont au-delà de la simple conception et fabrication des pièces, qu'il est devenu crucial d'assurer des conditions de processus optimales au sein des machines, des processus et plus encore. La technologie **Digital Twin (DT)** pourrait être une solution potentielle pour surmonter de nombreux problèmes dans la fabrication additive, mais le manque de compréhension approfondie du **concept DT**, du cadre et des méthodes de développement constituent des facteurs clés qui ralentissent le développement et l'intégration de cette technologie dans les environnements de production de FA.

Le manque de compréhension du jumeau numérique peut souvent provenir de l'assimilation aux technologies de simulation. En réalité, il s'agit de bien plus qu'une simple «simulation». Un processus de simulation reproduit ce qui pourrait arriver à un produit pendant le processus de fabrication, tandis qu'un jumeau numérique reproduit ce qui arrive à un produit spécifique réel dans le monde réel. Il est intéressant de noter que le concept de jumeau numérique va au-delà de ce qui peut arriver à un **produit physique**, pour englober la prédiction de la **production** et des **performances** dans des environnements spécifiques. Le jumeau numérique fait donc référence à une représentation virtuelle d'un produit ou d'un processus physique basée sur un programme informatique. Ce dernier utilise des données du monde réel pour créer des simulations permettant de prédire les performances d'un produit ou d'un processus.

Dans le domaine de la fabrication, un jumeau numérique est une copie virtuelle d'un composant du monde réel dans le processus de fabrication. Cela signifie qu'elle utilise les entrées d'un composant du monde réel pour reproduire l'état, la fonctionnalité et/ou l'interaction de la pièce réelle avec d'autres dispositifs.

Dans le domaine de la fabrication additive en particulier, la **plus grande adoption des «jumeaux numériques» serait liée à la phase de conception et de fabrication**, selon **Duann Scott**, consultant et fondateur de **Bits to Atoms**. « Je n'ai vu les performances que dans les tests pendant la phase d'itération de la conception, moins dans les performances d'une pièce fabriquée au fil du temps », affirme-t-il.

Même si toute industrie qui fabrique des produits soit susceptible d'utiliser la technologie des jumeaux numériques à un moment donné, nous nous attacherons ici à comprendre comment le concept est appliqué dans un environnement de production de FA. Pour ce faire, la première étape consiste à comprendre le potentiel de cette technologie et son cadre.

### Quel cadre s'applique à l'utilisation du jumeau numérique dans la fabrication ?

Quel que soit le processus de fabrication utilisé, la première étape requise pour intégrer une technologie de jumeau numérique consiste à créer ou à donner accès à des représentations virtuelles des produits, des machines et des environnements que les organisations conçoivent, fabriquent ou exploitent.

Cette intégration repose donc sur l'incorporation d'outils de CAO ou de modélisation 3D, de dispositifs IoT/Connectés, de moteurs de jeu, de contrôle de version, de simulation multiphysique, d'analyse de données et de capacités d'apprentissage automatique pour démontrer l'impact des modifications de conception, des scénarios d'utilisation, des conditions environnementales et d'autres variables ; **le but ultime étant de supprimer le besoin de prototypes physiques, de diminuer le temps de développement et d'améliorer la qualité du produit ou du processus finalisé.**

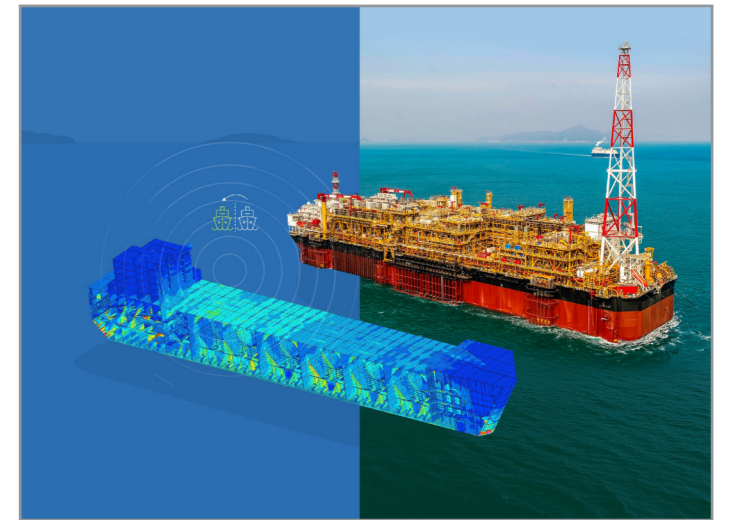
« Pour garantir une modélisation précise tout au long de la durée de vie d'un produit ou de sa production, les jumeaux numériques utilisent des données provenant de capteurs installés sur des objets physiques pour déterminer les performances en temps réel de ces objets, leurs conditions de fonctionnement et leurs changements au fil du temps. À l'aide de ces données, le jumeau numérique évolue et se met à jour en permanence pour refléter tout changement apporté à son homologue physique tout au long du cycle de vie du produit, créant ainsi une boucle fermée de rétroaction dans un environnement virtuel qui permet aux entreprises d'optimiser en permanence leurs produits, leur production et leurs performances à un coût minimal », ont déclaré les experts de **Siemens Digital Industries Software**.

En outre, la convergence de ces technologies indique les différentes façons dont le jumeau numérique peut être utilisée dans les environnements de fabrication :

- Comme expliqué au début, pour éviter de passer par un processus d'essai et d'erreur, pour tester un nouveau produit, les jumeaux numériques peuvent être exploités pour tester les configurations mises à jour tout en réduisant le risque d'erreurs de calcul coûteuses. **Ingersoll Machine Tools a exploré le concept** de jumeau numérique de cette manière pour atteindre de meilleurs objectifs de retour sur investissement.

- En planifiant et en testant de nouvelles lignes de production à l'aide du jumeau numérique, les opérateurs peuvent facilement trouver les problèmes potentiels et les zones à optimiser avant de créer la ligne de production physique. Dans ce cas, le jumeau numérique permet d'améliorer la conception d'un système. C'est exactement ce qu'a fait **Shell pour son site de production de Pulau Bukom à Singapour**. Cette utilisation du jumeau numérique s'observe progressivement dans des domaines tels que la maintenance, la réparation, les révisions, etc. **Decision Lab Ltd** et **Siemens** ont développé un jumeau numérique, **ATOM**, qui émule les opérations mondiales de maintenance, de réparation et de révision (MRO) de la division des turbines à gaz aérodérivatives de Siemens. Le modèle **ATOM (Agent-based Turbine Operations & Maintenance)** est piloté par des données en direct déjà disponibles dans la chaîne d'approvisionnement. Il permet de visualiser les opérations de la flotte et des installations de maintenance, de saisir et de prévoir les indicateurs clés de performance (ICP) du système, et même d'exécuter rapidement un décor virtuel et détaillé pour aider à prendre une décision d'investissement.

- Étant donné la quantité d'informations vitales que les opérateurs recueillent souvent sur leurs machines - informations relatives à l'humidité, aux mouvements, aux vibrations, etc. - l'utilisation combinée d'appareils



connectés IoT et de jumeaux numériques peut faciliter leur incorporation dans une vue complète d'un système, avec des données en temps réel. Ainsi, si un composant commence à développer un comportement inattendu, l'équipe de fabrication en sera informée avant qu'il n'ait la possibilité d'arrêter la production ou de devenir un danger. À ce stade, compte tenu des spécifications de chaque machine de fabrication pouvant être utilisée dans un environnement de production, il est souvent plus facile pour chaque OEM de développer des solutions de jumeau numérique susceptibles de répondre aux besoins spécifiques de leur technologie. C'est ce qu'a fait le fabricant de machines **Solkon avec le développement de son outil Digital Factory Tool** - qu'il améliore suite à un partenariat avec Authentise.

- Selon l'éditeur de logiciels **Perforce**, avec la technologie de jumeau numérique, les fabricants peuvent fournir des programmes de réalité augmentée (RA) aux techniciens de maintenance. Grâce aux lunettes de réalité augmentée, les techniciens peuvent visualiser les modèles les plus récents de la machine par-dessus celle qu'ils ont devant eux. Ils sont ainsi assurés de toujours disposer des bonnes lunettes au moment où ils en ont besoin.

Plusieurs projets - qui ont pour ambition de démontrer comment le concept de jumeau numérique peut servir l'industrie de FA - sont actuellement en cours. En outre, l'incorporation des technologies susmentionnées (outils de CAO ou de modélisation 3D, dispositifs connectés/ Intranet, moteurs de jeu, contrôle de version, simulation multiphysique, analyse de données et capacités d'apprentissage automatique) a certainement un rôle à jouer dans la construction d'un jumeau numérique du matériel, des logiciels et des technologies connexes à la FA, mais il n'y a pas encore de consensus sur les bonnes technologies à exploiter pour chaque dispositif de fabrication. D'autre part, la plupart de ces technologies soulèvent leur lot de défis à relever.

## Principaux défis à surmonter pour créer un jumeau numérique de FA dirigé par des systèmes d'application dynamiques pilotés par les données

Le concept de jumeau numérique est un défi à différents niveaux et, comme il est généralement logique de le déployer à grande échelle, le premier obstacle auquel les équipes de FA sont souvent confrontées est celui des **données**.

Selon Scott, « *l'aspect le plus difficile de la mise en œuvre et du déploiement d'un jumeau numérique est que les données doivent généralement transiter par différents fournisseurs de logiciels et de matériel, ce qui en fait moins un jumeau numérique qu'un quintuplet numérique, à moins qu'il n'existe un format de fichier unifié répondant aux besoins de chaque logiciel. Faire collaborer des entreprises parfois concurrentes au nom du client pour s'assurer que les données sont communiquées sans perte ou fragilité due à des mises à jour de logiciels ou de micrologiciels peut être très difficile et prendre beaucoup de temps.* »

Il est intéressant de noter que d'autres enjeux majeurs naviguent souvent autour de ce problème de données. Ils comprennent une représentation numérique en temps réel du domaine physique dans la fabrication additive, la base de données et les modèles, l'IoT et l'apprentissage machine (machine Learning).

Pour réaliser le jumeau numérique en temps réel dans la FA, il est crucial d'obtenir le transfert de chaleur et la distribution thermique, la solidification du bain de fusion, la contrainte résiduelle et la distorsion, les structures et les propriétés des pièces imprimées en 3D ainsi que les conditions de fonctionnement des machines. Normalement, les capteurs appropriés peuvent obtenir certaines données telles que la distribution de la température.

« *De nombreuses informations doivent être calculées et simulées, ce qui prend beaucoup de temps compte tenu des capacités informatiques actuelles. Actuellement, la prédiction de la distribution de la température à l'intérieur d'une pièce imprimée 3D qui est fabriquée avec des modèles d'éléments finis basés sur des mailles non propriétaires prendra au moins plusieurs heures, voire des jours, peut-on lire dans une recherche.* »

En outre, le jumeau numérique en FA a besoin de beaucoup de données pour entraîner le modèle et améliorer

sa précision. Ces données peuvent provenir d'expériences, de capteurs et de simulations numériques. Cependant, il est difficile de collecter et de classer un volume suffisamment important de données utiles. En général, les concepts de l'Internet des objets (IoT) et de l'informatique en nuage peuvent être nécessaires. À ce jour, dans la production réelle, les big data obtenues à partir du cycle de vie d'un produit sont encore isolées, fragmentées et stagnantes car la convergence entre l'espace physique et l'espace virtuel du produit fait défaut, ce qui rendait difficile l'utilisation des données, explique la même recherche.

Néanmoins, une nuance est apportée pour les environnements de FA qui impliquent la **modélisation**. Un tel environnement nécessite beaucoup de modèles, donc trop de données pour les vérifier. Cependant, pour réduire la «charge de calcul», il y a un besoin de base de données des propriétés thermophysiques en fonction de la température pour les alliages d'ingénierie couramment utilisés.

Dans un autre ordre d'idées, pour adopter un jumeau numérique en FA, un système efficace d'Internet des objets est d'une importance capitale pour que chaque partie du système soit reliée. Comme on l'a vu avec [l'usine numérique de Solukon](#), une connexion intelligente pour les capteurs, les équipements et le système doit être réalisée efficacement. Les quantités massives de données dans le processus additif joueront également un rôle clé dans la création d'un jumeau numérique qui interagit avec le domaine cybernétique au moyen de l'Internet des objets. Pour que cette opération se déroule sans heurts, les équipementiers doivent s'assurer qu'il existe un lien entre les systèmes brownfield existants et leurs données.

Quant à l'apprentissage automatique, cette technologie est importante car le jumeau numérique dépend du concept de conduite des données.

Grâce à l'apprentissage basé sur les données recueillies à partir de diverses ressources telles que la simulation, les expériences, la littérature, l'apprentissage machine pourrait faire des prédictions fiables sur la microstructure, les propriétés et les défauts. Cette technologie pourrait extraire des informations et des relations utiles à partir des données au lieu d'un guidage phénoménologique ou d'une programmation explicite ; et la résolution d'équations complexes à partir de problèmes physiques

et mathématiques basés sur une compréhension phénoménologique pourrait être évitée. Ainsi, les calculs sont rapides. La recherche met l'accent sur la qualité et le volume des données qui décideront de la précision des prédictions. La bonne nouvelle est qu'il n'est pas difficile de créer des programmes d'apprentissage automatique une fois que nous disposons d'algorithmes bien testés, conviviaux et fiables.

## Alors, comment favoriser l'adoption du jumeau numérique dans les environnements de production de FA ?

C'est vraiment bizarre à dire, mais la technologie du jumeau numérique peut être à la fois complexe et simple. Sa complexité réside dans les défis à relever – dont la plupart tournent autour des données –, tandis que sa simplicité réside dans l'éventail des possibilités qu'elle offre pour la prédiction des produits, de la production et des performances.

Parmi la courte liste de sociétés/collaborations logicielles qui développent et commercialisent actuellement des solutions de jumeau numérique pour l'industrie de la FA, on peut citer Siemens NX, Autodesk (l'extension Additive Simulation Extension disponible dans Netfabb et Fusion 360), Authentise et Nebumind, Intellegens & Ansys ainsi que Vertex.

À l'avenir, « *le moyen le plus rapide d'adopter la numérisation du processus de fabrication est de donner à ceux qui travaillent dans l'usine les moyens de mettre en œuvre la connectivité et d'analyser les résultats. Nous assistons à de nouvelles vagues d'outils numériques qui rendent cette mise en œuvre possible, en faisant moins appel aux départements informatiques et aux responsables de l'information qui peuvent ralentir les choses pour obtenir l'adhésion. On dit souvent que chaque fois qu'une décision doit remonter la chaîne, vous avez deux fois moins de chances qu'elle soit comprise ou approuvée. En permettant aux personnes les plus proches de créer et de se connecter, le temps et le coût d'adoption sont plus faibles, et la possibilité de régler la connectivité rapidement [permet d'exploiter les données de la manière la plus efficace possible dans le cadre] du processus de fabrication* », conclut Scott.

## Événements

### DISTRIBUTION

**rapid.tech**  
3D CONFERENCE  
EXHIBITION  
NETWORKING

**ADDIT3D**

THE  
**Advanced Materials**  
SHOW

**CERAMICS**  
UK

 **6th Additive Manufacturing  
Forum Berlin 2022**

**WORLD**  
**PM2022**  
CONGRESS & EXHIBITION

**AM**  
**advanced**  
**manufacturing**  
madrid22

 **AM Medical Days 2022**  
Berlin

**formnext**

**Am** | **Additive Manufacturing**  
for Aerospace & Space

**ADDITIVE**  
**MANUFACTURING**  
STRATEGIES



**Vous pouvez récupérer votre exemplaire imprimé du AM Solutions catalogue 2022 lors des événements partenaires suivants :**

**Rapid.Tech 3D - Conference +  
Exhibition,**  
17-19 Mai 2022 | Allemagne

**Addit3D,** 13-17 Juin, Bilbao, Espagne

**Advanced Materials Show UK,**  
29-30 Juin, NEC, Birmingham, UK

**Ceramics UK,**  
29-30 Juin, NEC, Birmingham, UK

**Additive Manufacturing Forum,**  
5-6 Juillet, Berlin, Allemagne

**World PM2022 Congress &  
Exhibition |** 9-13 Octobre 2022 |  
France

**Metal Madrid – part of Advanced  
Manufacturing Madrid**  
19-20 Octobre 2022 | Espagne

**AM Medical Days**  
19-20 Octobre 2022 | Allemagne

**Formnext**  
15-18 Novembre 2022 | Allemagne

**7th Military Additive  
Manufacturing Summit**  
Février 2023 | USA

**Additive Manufacturing for  
Aerospace and Space Conference**  
Février 2023 | Allemagne

**Additive Manufacturing  
Strategies |** Q1 2023 – Date à  
confirmer – | USA



# Startup AREA

COMMENT **METSHAPE**  
UTILISE LA FA INDIRECTE  
« LMM » POUR L'IMPRESSION 3D  
MÉDICALE ET PLUS ENCORE.

Fondée en 2019, **MetShape** a désactivé le mode furtif lorsqu'elle a obtenu un **financement d'amorçage d'AM Ventures**. La levée de fonds a fait l'objet d'un grand battage médiatique car il s'agissait de la première annonce publique faite par AM Ventures depuis que la société avait ouvert un **fonds de capital-risque de 100 millions d'euros** pour soutenir davantage les

entreprises de FA. L'histoire raconte que l'aventure de MetShape a commencé à la **Hochschule Pforzheim** dans le cadre d'un projet axé sur le recyclage des aimants. Même si les résultats n'étaient pas ceux escomptés, le projet a révélé le potentiel de la technologie **LMM** - le procédé de fabrication utilisé dans le cadre du projet - pour la production de composants métalliques

de haute précision avec de très bonnes surfaces. Aujourd'hui, MetShape opère en tant que prestataire de services d'impression 3D dans le secteur, et parmi le large éventail de prestataires de services dont regorge le secteur, MetShape est vraiment unique en son genre.

La société est jusqu'à présent l'une des rares entreprises à avoir consacré son activité principale à la prestation de services avec un seul procédé de fabrication : la fabrication de métaux par lithographie (LMM - **en anglais lithography-based metal manufacturing**). Le **procédé LMM a été développé par Incus GmbH**, une spin-off de Lithoz, tandis que MetShape est une spin-off de l'Institut des métaux précieux et technologiques de l'université de Pforzheim.

« Nous sommes spécialisés dans la production de composants métalliques imprimés en 3D à l'aide de la technologie LMM et nous sommes devenus des experts

en frittage. En plus de la production de prototypes et de petites séries, nous offrons un service complet de développement d'applications et développons de nouveaux matériaux pour la FA basée sur le frittage. Cela nous qualifie en tant que spécialiste de la production industrielle de petits et micro composants métalliques de haute précision », déclare d'emblée **Mike Schimmelpfennig**, Business Developer chez MetShape.

Cette expertise en matière de post-traitement thermique est cruciale ici, car le processus de traitement thermique est très connu dans les processus de fabrication, mais son utilisation dans les processus de FA n'a pas toujours été satisfaisante. Pour reconnaître le potentiel de cette étape de fabrication pour MetShape, il est essentiel de comprendre pourquoi la technologie LMM est décrite comme un processus de FA

indirecte.

## LMM, une approche indirecte de la FA

La fabrication de métaux par lithographie (LMM) est un procédé de fabrication qui permet de créer des modèles, des prototypes et des pièces de production en métal avancé en utilisant le principe de la **photopolymérisation**, où la poudre de métal est dispersée de manière homogène dans une résine photosensible et polymérisée de manière sélective par exposition à la lumière. Ce qui donne à ce procédé de fabrication son appellation indirecte est donc un processus en deux étapes :

« Dans la première étape, la partie verte est imprimée à partir d'un système de liant photopolymérique fortement chargé en poudre métallique. Dans un deuxième temps, la pièce verte est déboulonnée et frittée. Cela signifie que les polymères, qui ne sont nécessaires que comme liant temporaire à des fins d'impression, sont ensuite éliminés par solvant ou par la chaleur et le «compact brun» résultant est ensuite fritté à haute température pour fusionner les particules de poudre.

L'impression précise des pièces vertes est essentielle pour la production d'une pièce entièrement fonctionnelle, mais c'est le processus de frittage qui détermine si cette pièce est dimensionnellement précise et de haute qualité. C'est pourquoi nous accordons également une grande importance au processus de frittage et nous sommes devenus des experts dans ce domaine », explique **Schimmelpfennig**.

Selon **Incus GmbH**, une imprimante 3D industrielle s'appuyant sur cette approche transforme les fichiers 3D en prototypes et en production à petite échelle de composants en qualité MIM (moulage par injection de métal), un processus de fabrication qui garantit que cette qualité inclut une résolution des caractéristiques, une esthétique de surface et des propriétés mécaniques supérieures pour des tailles de pièces <200 g.

« Nous sommes convaincus des possibilités et des nombreux avantages qu'offre la technologie LMM et nous y voyons donc un grand potentiel pour de nombreuses applications industrielles. De plus, nous pouvons offrir une expertise extraordinaire, car nous avons été activement impliqués dans le processus de développement de la technologie au sein de notre réseau de partenaires.

À l'avenir, notre savoir-faire unique dans la technologie de déliantage et de frittage, qui est le savoir-faire de base dans tous les processus de fabrication additive indirecte, offre la base idéale pour nous permettre d'étendre notre portefeuille technologique pour la production de composants métalliques précis », ajoute le représentant de la société.

## Applications rendues possibles par le procédé LMM

Les domaines de la médecine et de la recherche ont été les premiers verticaux où nous avons découvert l'expertise de MetShape. Pour rappel, l'entreprise a soutenu les travaux de recherche du CIC nanoGUNE - le centre de recherche coopératif basque en nanosciences - en imprimant en 3D un modèle de virus de haute précision.

Il convient de noter que les applications médicales impliquent souvent la fabrication de petits et micro composants métalliques de haute précision, ce qui peut être réalisé avec le procédé additif basé sur le frittage - des composants qui peuvent être produits en petites et moyennes quantités de production annuelle (jusqu'à 10.000).

« L'utilisation appropriée des technologies de fabrication additive est liée à certaines caractéristiques et contraintes des composants qui sont remplies par un grand nombre de produits de technologie médicale car ils ont souvent besoin de géométries complexes, d'une grande individualisation et d'une précision qui est généralement associée à de faibles volumes de production. En outre, les composants métalliques utilisés dans la technologie médicale sont parfois difficiles à usiner. Cette combinaison propose un champ d'application parfait pour la technologie



Mike Schimmelpfennig

LMM et les applications pour lesquelles le procédé LMM est adapté sont nombreuses. La FA par frittage avec la technologie LMM peut être utilisée pour fabriquer des outils et des instruments complexes et filigranes, des implants individuels et même des fils peuvent être imprimés de manière fonctionnelle. En outre, je tiens à préciser qu'il existe plusieurs applications qui ne peuvent être produites d'une autre manière avec la même qualité et la même précision. Nous imprimons également de nombreux prototypes pour des entreprises qui développent des instruments chirurgicaux, des outils ou même des implants. Le grand potentiel et le caractère unique de notre technologie sont confirmés par le fait que nous avons été contactés par plusieurs partenaires pour la même pièce parce qu'ils n'ont trouvé aucun autre fournisseur capable de produire la pièce demandée », souligne Schimmelpfennig.

Lorsqu'on lui demande si le procédé LMM présente plus d'opportunités pour le domaine médical que pour toute autre industrie verticale, Schimmelpfennig rappelle que l'utilisation de l'impression 3D dépend naturellement avant tout de l'ouverture des entreprises aux nouvelles technologies. En outre, il ajoute que, outre les applications médicales, la technologie LMM peut également convenir à d'autres secteurs tels que la bijouterie, la mobilité et la sécurité, ainsi que la technologie à haute fréquence.

## Quelle est la prochaine étape pour l'entreprise ?

La technologie LMM est peut-être le seul procédé de FA utilisé par MetShape pour le moment. Toutefois, à l'avenir, nous pouvons nous attendre à ce que l'entreprise exploite d'autres technologies de FA qui seront basées sur la technologie de frittage. « Ces technologies offrent de nombreuses possibilités et permettent d'obtenir des résultats précis que les procédés de FA directes ne sont pas en mesure d'atteindre, en raison par exemple de l'effet d'escalier. Ce qui est formidable avec les technologies basées sur le frittage, c'est qu'elles suivent toutes le même schéma », conclut l'orateur.

**ASSUREZ-VOUS DE VOUS INSCRIRE À NOTRE NEWSLETTER POUR RECEVOIR LES DERNIÈRES NOUVELLES DE L'INDUSTRIE ET LES AVANCÉES EN MATIÈRE DE FABRICATION ADDITIVE.**



3D Adept est une société de communication dédiée à l'industrie de l'impression 3D. Nos médias fournissent en anglais et en français, les dernières tendances et analyses de l'industrie de l'impression 3D. 3D Adept Media comprend un média en ligne et un magazine bimestriel, 3D Adept Mag. Tous les numéros de 3D Adept Mag peuvent être téléchargés gratuitement. Notre mission est d'aider toute entreprise à développer ses services et activités dans le secteur de l'impression 3D.

# 3D ADEPT MAG

Le Magazine de la Fabrication Additive

**GET IT!!!**



**6 numéros par an**



**Contact us !!!**

[contact@3dadept.com](mailto:contact@3dadept.com)

[www.3dadept.com](http://www.3dadept.com)

+32 (0)4 89 82 46 19

Rue Borrens 51,1050 Brussels - BELGIUM

[www.3dadept.com](http://www.3dadept.com)

2  
0  
2  
2  
▼

# RECEVEZ LE MAG CHEZ-VOUS !

Vous pouvez aussi recevoir gratuitement par email la version digitale du magazine. L'abonnement au magazine digital vous donne aussi un accès exclusif à notre newsletter hebdomadaire. Pour toute information, n'hésitez pas à nous envoyer un mail.



ABONNEZ-VOUS À NOTRE NEWSLETTER ET  
RECEVEZ LES DERNIÈRES NOUVELLES DE LA F.A

[WWW.3DADEPT.COM](http://WWW.3DADEPT.COM)