

# aqqitiq

FABRICATION

FABRICATION

# additive

## 3D ADEPT MAG

## IMPRESSION 3D

FABRICATION ADDITIVE GRAND FORMAT :  
MATERIAUX, LOGICIELS ET COÛTS

N°3 - Vol 6 / Mai - Juin 2023

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



# 3DADEPT.COM

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'impression 3D ou un communiqué de presse à publier ?**

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

## Fabrication Additive / Impression 3D



RAPPORTS



DOSSIERS



APPLICATIONS



PROMOTIONS



COLLABORATION

**3D ADEPT MEDIA**  
All about Additive Manufacturing

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

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

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

Édité par **3D ADEPT MEDIA**

#### **Création graphique**

Marzial Y., Charles Ernest K.

#### **Rédaction**

Kety S., Yosra K.

#### **Correction**

Jeanne Geraldine N.N.

#### **Publicité**

Laura Depret

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.

#### **Image de couverture : Sciaky**



#### **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

Online: www.3dadept.com

## **Sommaire**

---

<b>Editorial</b>	04
------------------	----

---

<b>Dossier</b>	07
----------------	----

---

- FABRICATION ADDITIVE GRAND FORMAT : MATERIAUX, LOGICIELS ET COÛTS

<b>Applications</b>	15
---------------------	----

---

- L'IMPRESSION 3D ROBOTISÉE : CE QUI RALENTIT L'ADOPTION À GRANDE ÉCHELLE

<b>Focus</b>	19
--------------	----

---

- FOCUS : THERMWOOD DONNE DE L'ESPOIR POUR L'AVENIR DU RECYCLAGE ET DÉMONTRE LA QUALITÉ SUPÉRIEURE DES PIÈCES IMPRIMÉES GRÂCE À « L'AUTOMATISATION DE LA COUCHE DU CAPTEUR THERMIQUE ».

<b>Post-traitement</b>	21
------------------------	----

---

- QU'EST-CE QUE LA GALVANOPLASTIE ET QUAND FAUT-IL L'UTILISER POUR LES PIÈCES IMPRIMÉES EN 3D ?

<b>FA Metal</b>	27
-----------------	----

---

- QUEL EST LE DISPOSITIF DE RECOUVREMENT POUR VOTRE PROCÉDÉ DE FA MÉTAL ?

<b>Logiciels</b>	31
------------------	----

---

- WHAT ARE THE DIFFERENT DESIGN TOOLS IN THE DFAM TOOLBOX?

<b>Materiaux</b>	35
------------------	----

---

- KEY CONSIDERATIONS TO TAKE INTO ACCOUNT FOR THE PRODUCTION OF 3D PRINTABLE STAINLESS STEEL POWDERS

<b>Interview du mois</b>	39
--------------------------	----

---

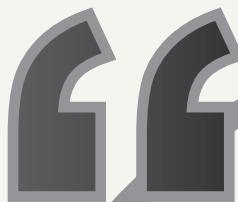
- POURQUOI L'ADOPTION DE LA FABRICATION ADDITIVE PAR FAISCEAU D'ÉLECTRONS N'EST PAS ENCORE ASSURÉE.

<b>Espace Startup</b>	41
-----------------------	----

---

- ADVANCE SUR LA CONVERGENCE DU LEAN MANAGEMENT ET DE LA FABRICATION ADDITIVE DANS UNE CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT PERTURBÉE

# Bonjour & bienvenue



## La taille compte

Oui, la taille est importante. Mais pas de la manière qui vient à l'esprit au premier abord. Dans le domaine de la fabrication additive, le mythe dominant est qu'elle ne peut imprimer que des pièces petites et complexes. Pourtant, ces pièces ne sont généralement pas essentielles lorsqu'il s'agit de construire des pièces pour les industries terrestres, maritimes ou aériennes, l'architecture ou la construction, l'aérospatiale et l'espace.

Le fait est que la fabrication additive à grande échelle / fabrication additive grand format est un créneau qui exige de repenser tout, des matériaux au processus de conception en passant par les ajustements potentiels de l'installation de production. Pour ceux d'entre vous qui pensent que «c'est aussi le cas pour les autres procédés de fabrication additive», laissez-moi vous dire ceci : nous avons trouvé une douzaine de raisons qui justifient notre argument.

Le passage de l'impression 3D petit format à l'impression 3D grand format s'accompagne d'un certain nombre de défis qui vont au-delà des capacités techniques de la technologie et englobent les ressources financières et humaines. Ces défis semblent être exacerbés lorsqu'il s'agit d'augmenter la production, ce qui souligne l'importance capitale de ce Graal de la FA, quelle que soit la technologie utilisée.

Néanmoins, il existe un marché pour les pièces imprimées en 3D de très grande taille, et cette édition de 3D ADEPT Mag tente de démontrer sa diversité et son impact.



**Kety SINDZE**

Editrice-en chef chez 3D ADEPT Media

[kety@3dadept.com](mailto:kety@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.



LSAM MLFX: Baseline comparison

Baseline MLFX: CF Laminate	Additive MLFX: Thermoplastic extrusion (LSAM)
Lead Time: 6 - 8 weeks	Lead Time: Less than 2 weeks

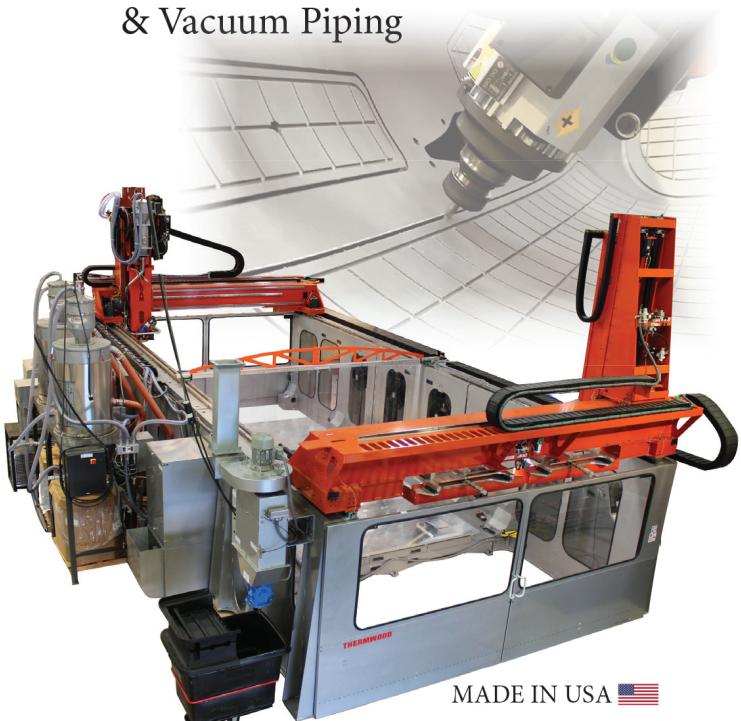


Scan QR code to view a video of the LSAM and General Atomics process.



## 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



MADE IN USA

**THERMWOOD**  
[www.thermwood.com](http://www.thermwood.com)  
800-533-6901

# Fabrication Additive Grand Format : Matériaux, logiciels et coûts

La plupart des adeptes de la fabrication additive (FA) partagent le même rêve : être en mesure de réaliser une production évolutive (en grand volume). Pour que ce rêve devienne réalité, la plupart des industriels envisagent souvent d'utiliser des machines dont les volumes de construction avoisinent les  $600 \times 300 \times 600$  mm (23,62 × 11,81 × 23,62 pouces). Alors que la fabrication additive grand format (LFAM ou Large Format Additive Manufacturing) gagne du terrain, nous sommes en droit de nous demander comment et si elle peut également être considérée comme un candidat viable pour la production.

Si tout le monde s'accorde à dire que la fabrication additive grand format (LFAM) à grande échelle est une question de **taille**, les spécifications de la taille des applications ont toujours été sujettes à interprétation. Comme vous l'avez peut-être vu ci-dessus, nous avons déjà disqualifié des machines dont les volumes de construction avoisinent les  $600 \times 300 \times 600$  mm (23,62 × 11,81 × 23,62 pouces), car nous cherchons à explorer la candidature à la production de machines capables de produire des moules de coque de yacht, des outillages pour autoclave, des torches massives imprimées en 3D comme [celle-ci](#), des meubles grande nature, des bateaux ou même des maisons. L'élément de mesure clé est donc **la capacité de l'imprimante 3D à produire des composants de grande taille en une seule fois**, par opposition à la production de plusieurs pièces qui doivent être assemblées.

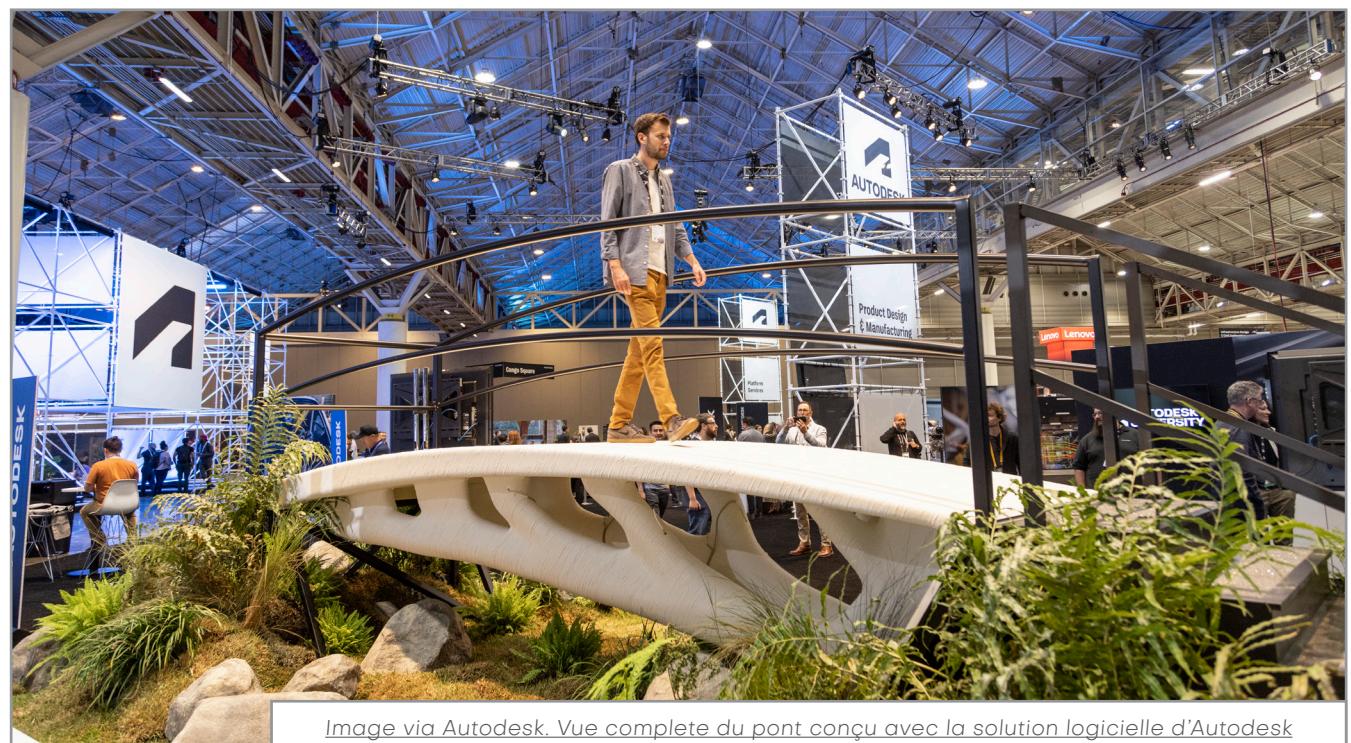
La question de la taille évacuée, rappelons que comme toute technologie de fabrication qualifiée pour un environnement d'industrie 4.0, la LFAM vise également à mettre à l'échelle les opérations de fabrication tout en prenant en compte la vitesse, la précision, la résistance mécanique, la facilité de personnalisation, etc. Pour qu'une telle industrialisation se produise, les fournisseurs de technologies doivent fournir des indications claires sur la façon de relever les défis qui ralentissent

l'adoption de la technologie. Parmi le large éventail de processus techniques susceptibles de déboucher sur des applications à grande échelle, on se rend compte que les principaux défis à relever tournent souvent autour de trois aspects clés : les **logiciels**, les **matériaux** et les **coûts**.

Le dossier ci-dessous vise à aider les industriels à :

- Comprendre les principales différences entre la conception pour la FA grand format et la conception pour un « processus de FA standard »
- Les principales considérations relatives aux matériaux qui pourraient ouvrir la voie à de (nouvelles) applications de fabrication additive à grande échelle.
- Comprendre les pièges courants de la fabrication additive à grande échelle et où se situe exactement la considération du coût au milieu de tout cela.

Pour aborder ce sujet, nous nous sommes appuyés sur l'expertise de **Justin Ferguson**, ingénieur principal en solutions chez [Autodesk](#) pour la partie logicielle, de **Kyle Calvert**, ingénieur en applications composites chez [Ingersoll Machine Tools](#) pour les points de vue des matériaux et des coûts, ainsi que d'**Andy R. Bridge**, directeur du développement commercial chez [Additive Engineering Solutions, LLC](#) pour le point de vue de l'utilisateur.



## Concevoir pour la FA grand format

Comme indiqué dans notre Catalogue international des solutions de FA 2023, nous avons identifié trois types de technologies de FA à grande échelle - chacune d'entre elles ayant une large gamme de sous-processus :

- Les **technologies basées sur l'extrusion**, où l'on trouve les procédés d'extrusion de matériaux en granulés (FGF) et d'extrusion de matériaux en filaments (FFF),
- Les **procédés à base de poudre**, une catégorie qui comprend les approches de fusion sur lit de poudre, les procédés de projection de liant et de matériau et même les procédés de pulvérisation à froid,
- Et les **procédés de dépôt d'énergie dirigée** (DED) où nous avons identifié la fabrication additive par faisceau d'électrons (EBAM), le soudage par dépôt de laser (LDW) et la fabrication additive par arc électrique (WAAM).

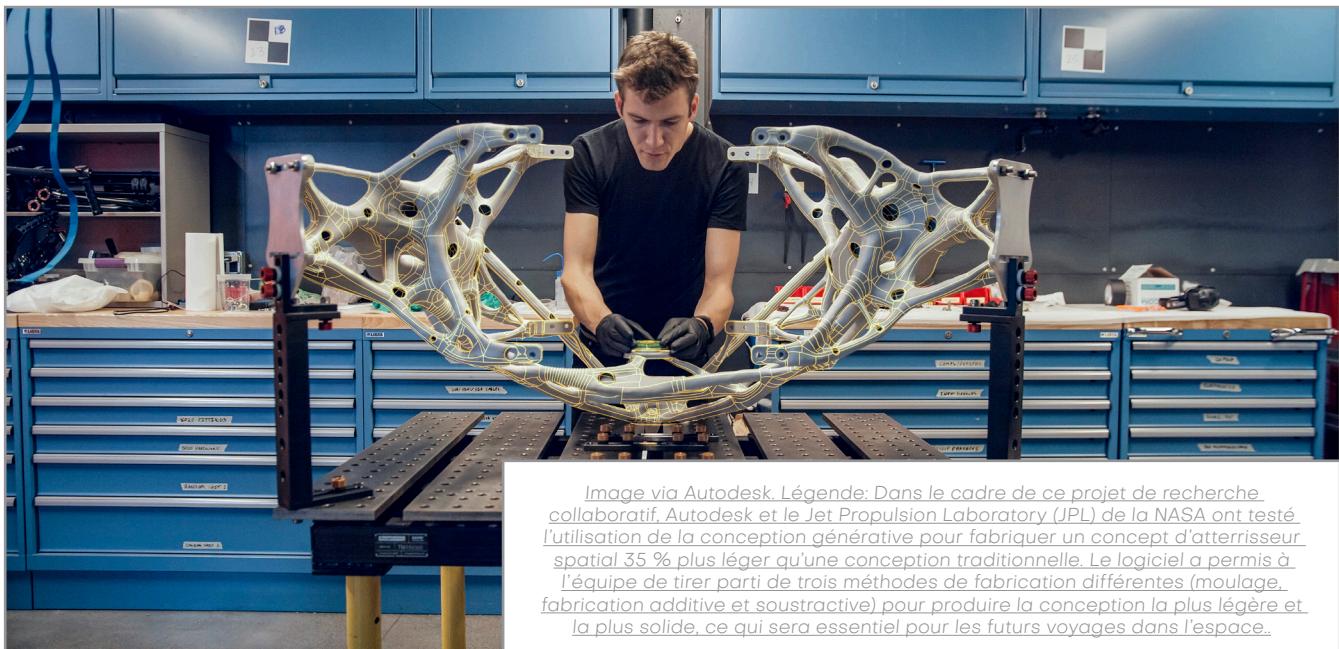
Il est intéressant de noter que même si certains procédés de fusion sur lit de poudre peuvent fabriquer des pièces de plus d'un mètre cube, en utilisant plusieurs lasers et un lit de poudre plus grand et multizone, les plus grandes percées

en termes de taille proviennent de l'adoption croissante des procédés DED et, en particulier, des procédés basés sur la WAAM.

En ce qui concerne la conception, connaître les différents outils de conception de la boîte à outils DfAM - **comme expliqué dans le PP 30-32 de ce numéro** - est une chose, les utiliser à bon escient en est une autre, surtout si l'on sait que chaque processus de FA et chaque machine comporte son lot de défis.

Tout en reconnaissant les particularités de chaque machine et de chaque processus, **Justin Ferguson** d'Autodesk souligne « qu'une tâche universellement difficile, indépendamment du processus, consiste à reconnaître les zones (pendant le processus de conception) où il peut y avoir une collision entre le matériel d'impression et des sections déjà imprimées ou des éléments non imprimés ».

La bonne nouvelle, c'est que lorsqu'on utilise un processus LFAM, on a la possibilité d'imprimer en 3D en une seule pièce, ce qui élimine le travail d'assemblage, accélère la production et augmente l'intégrité structurelle parce qu'il n'y a pas de joints ou de coutures.



*Image via Autodesk. Légende: Dans le cadre de ce projet de recherche collaboratif, Autodesk et le Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA ont testé l'utilisation de la conception générative pour fabriquer un concept d'atterrisseur spatial 35 % plus léger qu'une conception traditionnelle. Le logiciel a permis à l'équipe de tirer parti de trois méthodes de fabrication différentes (moulage, fabrication additive et soustractive) pour produire la conception la plus légère et la plus solide, ce qui sera essentiel pour les futurs voyages dans l'espace.*

## Comment élaborer une stratégie pour augmenter l'échelle de votre impression 3D en toute sécurité ?

**Ferguson** identifie cinq points essentiels qui peuvent aider le concepteur à différencier la conception pour la LFAM de la conception pour un « processus de FA standard » : **la machine elle-même, le rétrécissement de la taille de la pièce pendant ou après l'impression, la dépendance de la force par rapport à la direction d'impression, la division en sections planaires séparées ainsi que la nécessité d'insérer des matériaux non imprimés.**

Il explique ci-dessous le

raisonnement qui sous-tend chacune de ces considérations et donne quelques conseils pour résoudre des problèmes tels que le rétrécissement pendant et/ou après le processus d'impression :

« Selon le procédé LF-AM, les métaux (DED, Directed Energy Deposition), les plastiques (FFF, Fused Filament Fabrication/FGF - Fused Granule Fabrication), les agrégats (argile et béton) et autres, différentes stratégies de conception deviennent cruciales à adopter.

1- Dans la fabrication additive à

petite échelle, nous disposons normalement d'une machine fixe avec un système de coordonnées unique et une enveloppe de fabrication fixe. À grande échelle, nous pouvons utiliser un système robotisé ou imprimer sur une autre pièce, mais en général, nous n'avons pas de système de coordonnées fixe ni de volume de construction fixe. Alors que les imprimantes de bureau ne se déplacent souvent que sur trois axes, les imprimantes à grande échelle ont souvent plus d'axes de mouvement, qu'il s'agisse de se déplacer sur un rail ou d'incliner

la tête de l'outil. Ces processus grand format réalisés avec des machines multi-axes permettent de créer des caractéristiques qui ne dépendent pas de l'angle de surplomb. Cela nous permet de sortir du «processus de FA normal» de la conception pour la fabrication additive (DFAM). Par exemple, il devient possible de construire et de concevoir sans structures de support, mais cela peut introduire de nouvelles complexités telles que la manière de découper, la préparation de la surface (lors de la construction de caractéristiques sur des caractéristiques), etc.

2- La plupart des procédés LF-AM verront une réduction de la taille des pièces pendant ou après l'impression en raison de conditions telles que le refroidissement des métaux et des thermoplastiques ou le séchage/la polymérisation des agrégats et des thermodurcissables. En outre, lorsque les impressions LF-AM augmentent en taille, les couches supérieures «écrasent» les couches inférieures si elles ne sont pas refroidies ou durcies de manière adéquate.

Si, par conception, il y a un arrêt pendant l'impression puis un redémarrage, par exemple pour imprimer une nouvelle caractéristique ou pour permettre un refroidissement adéquat, la taille et la forme de la pièce sont susceptibles de changer avant que nous ne continuions.

Au centre technologique Autodesk de Birmingham, nous utilisons une extrudeuse de granulés thermoplastiques montée sur un robot à poignet sphérique Kuka à 6 axes. Au cours d'un projet, nous avons déterminé que la meilleure façon de continuer avec précision était de surimprimer, puis de découper à une hauteur connue à l'aide d'une broche de fraisage, avant de reprendre l'impression. Il s'agit d'une différence majeure pour la LF-AM, car la séparation du modèle en sections d'impression, la détermination des quantités de surimpression, puis la quantité d'usinage, tout cela doit être pris en compte dans le processus de conception. Si la fabrication hybride (additif et soustractif dans la même configuration) n'est pas une option, la quantité de rétrécissement des

sections d'impression est très importante, de même que la détermination de l'endroit où s'arrêter et de la durée de l'arrêt, de sorte que le rétrécissement soit prévisible et compensable.

3- Un autre domaine dans lequel la FA grand format est très différente de la « FA ordinaire » est celui de la résistance qui dépend de la direction de l'impression. Dans une machine de type lit de poudre laser, par exemple, le modèle que le laser sintérise peut modifier la structure du grain et la résistance qui en résulte. L'un de nos clients, qui utilise une machine laser à poudre, a constaté qu'il pouvait obtenir une meilleure structure de grain si l'ensemble de la pièce était créé dans une trajectoire continue. La structure de grain souhaitée peut se propager continuellement avec une vitesse et une chaleur constantes.

4- Lors de la création de géométries complexes telles qu'un tube cintré ou d'autres formes complexes, il peut être décidé de diviser la pièce en sections planes distinctes, chacune ayant une direction de construction différente – comme pour la construction d'un tube avec des sections en forme de coin. Un ingénieur peut aussi décider de changer la direction de construction sur chaque couche et de moduler la vitesse, l'alimentation ou d'autres paramètres du processus pour obtenir une forme de couche non plane.

5- Si on considère certaines des plus grandes impressions, telles que les maisons, il est nécessaire d'insérer des matériaux non imprimés. Les fenêtres, les portes, les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, les installations électriques, les poteaux, les poutres et d'autres éléments doivent être pris en compte dans le processus DFAM. Si les matériaux non imprimés font partie intégrante de la structure, comme les poteaux ou les poutres, déterminer quand arrêter l'impression pour les insérer et s'assurer qu'ils ne provoqueront pas de collisions avec l'équipement de dépôt par la suite sont des étapes nécessaires qui sont propres à ce cas d'utilisation la LFAM ».

## Que se passe-t-il lorsque votre pièce est tout simplement trop grande pour la plus grande des machines ?

Il va sans dire que plus la pièce finale est grande, plus l'impression est difficile. La seule option à ce stade consiste à diviser votre modèle en composants imprimables en 3D que vous assemblerez par la suite. Diviser votre modèle directement dans votre logiciel de CAO est une excellente idée, car vous pouvez directement concevoir des aides à l'alignement, éviter les coupes qui traversent directement des zones spécifiques et sélectionner des coupes qui ne sont pas situées dans des zones fragiles de l'impression.

Pour Ferguson, « la physique commence vraiment à jouer un rôle lorsque les pièces deviennent plus grandes. Par exemple, la structure d'un mur devra être conçue différemment si votre perle mesure 1 cm de large contre 15 cm de large. Pensez au poids de la pièce à mesure que les couches augmentent. Pour le procédé DED et d'autres procédés,

les couches inférieures peuvent s'écraser ou les structures murales peuvent même se déformer sous l'effet du poids considérable des grandes pièces.

Dans le cas des procédés FFF/FGF, si l'impression n'est pas verticale ou plane, il est possible que les couches subissent des compressions et des tensions à mesure que le poids augmente. Cela peut entraîner des défaillances dans les impressions et doit être pris en compte dans le processus de conception, ce qui est beaucoup plus difficile à mesurer que la taille des pièces augmente.

Enfin, déterminer si des structures de soutien sont nécessaires et comment



*Image via Autodesk. Légende : Lightning Motorcycles fabrique les motos électriques les plus performantes et les plus avancées au monde. L'équipe de Lightning a optimisé le bras oscillant de ses motos en utilisant la technologie de conception générative d'Autodesk, la CGF et la fabrication additive.*

elles doivent être appliquées devient vraiment une question de conception assez difficile avec des pièces finales de grande taille, comme l'impression de bâtiments ou de fusées. S'il y a des supports, ils ont généralement été conçus de manière très spécifique. »

## Principales considérations sur les matériaux pour les applications LFAM

Les matériaux et les coûts ont toujours été mentionnés comme le plus grand défi de la FA, quelle que soit la technologie utilisée. Ces défis sont les mêmes, voire exacerbés, pour LFAM, car les applications couvrent différentes technologies.

En ce qui concerne les matériaux, la rugosité de la surface, la tolérance aux dommages, la résistance à la fatigue et à la traction inférieure, etc. sont autant de problèmes qui peuvent affecter une impression 3D. Ces problèmes sont souvent liés à une incohérence dans les propriétés des matériaux. **Quel que soit le processus utilisé, ces problèmes peuvent toujours survenir lors de la fabrication d'applications grand format.**

« Il peut toujours y avoir un défaut. Parfois, lors de l'impression, il est difficile de voir où se trouve le défaut. Pour un grand nombre de pièces que nous fabriquons - la plupart de nos pièces sont destinées à l'industrie aérospatiale -, nous fabriquons un moule ou un outil de fromage à chaud ; ces pièces qui permettront au client de créer la pièce d'utilisation finale. Et lorsque ces problèmes surviennent, nous ajoutons un facteur de sécurité. Ainsi, même si un défaut altère les propriétés du matériau, la pièce finale est suffisamment solide ; nous combinons cela avec des essais non destructifs », déclare **Calvert**, ingénieur des applications composites chez Ingersoll Machine Tools. Selon l'expert d'Ingersoll, il existe un **certain degré de déflection admissible dans un moule** au cours du processus de pose des fibres, qui permet de produire une pièce de haute qualité. Étant donné que le procédé d'impression vise à remplacer l'outillage métallique par un outillage polymère grand format fabriqué de manière additive, le procédé de fabrication doit résister aux forces du processus de stratification sans dévier (changer temporairement de forme) au-delà d'une certaine valeur. Cette déviation peut être mesurée afin de quantifier si l'outil répond aux exigences



requises pour cette méthode de fabrication.

« Par ailleurs, il est également possible d'identifier ces défauts au fur et à mesure qu'ils se produisent en suivant les paramètres du processus à l'aide de systèmes thermiques et de vision. Toutefois, comme il s'agit d'une technologie très récente, la plupart des fabricants de machines dans ce domaine en sont encore à la phase de collecte des données. À mesure que nous obtenons plus de données sur ce qui se passe pendant le processus d'impression, nous pourrions utiliser l'apprentissage automatique pour identifier les paramètres qui doivent être adaptés et résoudre le problème afin de prédire les erreurs futures », ajoute Kyle Calvert.

N'oublions pas que Calvert partage son expertise ici en pensant aux polymères, en particulier aux granulés utilisés pour la technologie d'extrusion de polymères d'Ingersoll dont le volume de construction est supérieur à un mètre cube.

Il va sans dire que les solutions pour remédier à l'incohérence des matériaux varient d'un fabricant à l'autre et d'une technologie à l'autre.

**Additive Engineering Solutions, LLC** utilise actuellement la LFAM pour la production en série. Même s'il n'a pas précisé le type de LFAM qu'il utilise, **Andy R. Bridge** explique qu'il s'appuie actuellement sur un **contrôle du processus basé sur les statistiques pendant le processus d'impression, suivi d'inspections dimensionnelles**

et parfois d'inspections de l'intégrité du vide, afin de remédier à ces incohérences.

À l'avenir, les matériaux qui apporteront un avantage substantiel en termes de performance et de résistance (aux UV et à l'eau en particulier) ouvriront probablement de nouvelles applications dans le segment de la LFAM. À ces éléments, Calvert ajoute des matériaux moins coûteux et des matériaux présentant de meilleures propriétés isotropes. L'ingénieur en applications composites insiste sur le fait que certaines de ces exigences peuvent être plus strictes pour certains utilisateurs, comme les fabricants de pièces pour l'aéronautique.

« Pour les fabricants de pièces aéronautiques, le coefficient de dilatation thermique (CDT) n'est pas aussi bon que celui des métaux, car le matériau est un polymère. Lorsque vous essayez de mettre le moule dans un processus d'autoclave, il travaille plus que le métal. Plus ces polymères techniques s'améliorent, plus nous nous rapprochons du remplacement des métaux dans la fabrication des moules », note Calver.

Outre ces exigences techniques, il convient de noter que les formats de matériaux recyclés/réutilisés/upcyclés sont les prochains domaines d'intérêt que les fabricants aimeraient voir se développer.

## Une période difficile pour les plastiques en général

« Les plastiques en général ont du mal à rester à l'extérieur », souligne l'expert d'Ingersoll. « Les experts en matériaux ont travaillé sur l'ajout d'additifs dans le plastique afin qu'il puisse mieux résister aux UV et à l'eau, mais tant que nous ne disposerons pas d'un plastique capable de durer plusieurs années à l'extérieur, sous le soleil ou la pluie, il sera plus difficile d'adopter la LFAM à grande échelle. »

En outre, le **coût** est un autre élément clé qui empêche une plus grande adoption de la LFAM. Pour notre expert, les fabricants de machines dans ce segment de niche sont actuellement **en concurrence avec les processus de fabrication conventionnels, le bois** ou d'autres **méthodes de prototypage** bon marché pour la fabrication de pièces.

Cela signifie que :

- Si la production augmente et que le prix des matériaux baisse,
- Si de nouvelles pièces d'ingénierie dotées de meilleures propriétés matérielles permettent de fabriquer des pièces d'utilisation finale et pas seulement des moules ou de l'outillage, il y a de fortes chances que les fabricants de machines de ce segment de niche soient en mesure d'améliorer leur compétitivité,

Il y a de fortes chances que davantage d'industries adoptent les technologies LFAM à base de granulés.

## Matériaux utilisés dans d'autres processus

Si nous n'avons pas identifié de particularités pour d'autres procédés, c'est simplement parce qu'il n'y a pas de problèmes spécifiques que l'utilisateur d'un procédé de FA standard ne connaisse pas déjà. Comme ces matériaux sont généralement les mêmes, mais utilisés à plus grande échelle, les principaux problèmes qui nécessitent une attention particulière sont généralement observés au niveau de la conception et/ou du processus d'impression.

À cet égard, Ferguson d'Autodesk prévient que « la tendance est aux machines à lit de poudre de plus grand format, ce qui nécessite une plus grande attention lors de la préparation de la construction, du parcours de l'outil et des étapes de simulation, car plus les pièces imprimées sont grandes, plus le coût de l'échec augmente de façon spectaculaire ». Anticiper les problèmes potentiels avant de commencer l'impression est donc important. « Netfabb permet par exemple de simuler des parcours d'outils DED pour l'analyse thermique et mécanique. Cela permet aux utilisateurs d'observer la température interne de l'ensemble du modèle pendant qu'il est imprimé, et les aide à décider quand ajouter des pauses dans le parcours de l'outil pour le refroidir. Il est même possible de prédire à quoi ressemblera la forme déformée finale », ajoute Ferguson.

Cela dit, Fusion 360 dispose d'autres outils qui peuvent également contribuer à une bonne impression avec la LFAM, pour les plastiques et d'autres matériaux qui peuvent avoir des motifs de remplissage complexes. Le fournisseur de logiciels a récemment introduit le Volumetric Lattice, un outil qui permet aux utilisateurs de créer des structures de remplissage qui peuvent apporter de la résistance tout en utilisant moins de matériau, répondant ainsi aux exigences en matière de coût, de poids et/ou de durabilité.



Légende : Un habitat lunaire analogique qui a été conçu, construit et installé en 9 mois. La technologie d'Ingersoll a été utilisée au niveau de la fabrication.



Légende : Pour ce projet MOnACO - une expérience d'aviation propre - le nombre de pièces dans un assemblage a été réduit de plus de 100 à une seule pièce. (La conception générative Fusion 360 a été utilisée pour optimiser la conception de la structure et de l'écoulement des fluides dans le cadre de ce projet).

## Les pièges courants de la fabrication additive à grande échelle et autres considérations relatives aux coûts

Les pièges courants de la fabrication additive à grande échelle et autres considérations relatives aux coûts

Tout comme la FA en général a conduit de nombreux industriels à avoir une appréciation erronée de la technologie, les processus LFAM peuvent souvent induire des attentes déguisées pour ceux qui ne sont pas familiers avec les différentes technologies.

Sur la base des informations fournies par **Ferguson, Calvert** et **Andy R. Bridge**, nous pouvons d'ores et déjà signaler les pièges ci-dessous :

- La LFAM ne remplace pas les processus de FA existants, elle les complète. Pour les grandes pièces, il ne s'agit pas de remplacer d'autres formes de FA ; il s'agit de remplacer la fabrication manuelle des pièces à partir de zéro ou les processus soustractifs traditionnels.

- Étant donné que la plupart des procédés LFAM comportent une fonction robotique, les gens pensent souvent qu'il s'agit de systèmes prêts à l'emploi. Les opérateurs doivent toujours être bien formés. Plus les processus seront automatisés, plus le processus de formation sera rapide.

- Des grandes impressions et plus de matériaux signifient qu'il

est coûteux d'avoir un défaut d'impression. Analysez les impressions d'essai pour bien comprendre votre processus, essayez de connaître vos problèmes avant qu'ils ne surviennent. Déterminez si les sections défectueuses peuvent être coupées et/ou réparées.

- La plupart des machines LFAM de plus d'1 m x 1 m x 1 m ne sont pas des machines produites en série. Il s'agit généralement de systèmes sur mesure ou en phase de démarrage, qui peuvent donc être difficiles à utiliser et nécessiter un logiciel sur mesure.

- Ne pas connaître suffisamment bien un processus peut être considéré comme un piège, qui coûte plus cher (gaspillage), introduit des points de concentration de stress, une sous-impression ou une surimpression, etc. Le débit de matériau sortant d'une buse, par exemple, ajoute sa propre difficulté et n'est pas spécifique à un processus. Dans de nombreux cas, il n'est tout simplement pas possible d'interrompre ou de modifier la vitesse d'extrusion à la volée, ou alors c'est une perte de temps considérable.

- Il convient de garder ceci à l'esprit : outre les coûts d'investissement pour l'équipement d'impression grand format, il y a de nombreux autres



© 3D ADEPT MAG

domaines de coûts à prendre en considération. Il s'agit notamment des logiciels, de l'expertise en matière de polymères, de l'expertise en matière de conception, du contrôle des processus, de l'investissement en ingénierie et de la formation. Certains produits finaux, comme l'outillage pour l'aéronautique, nécessitent également des fraises CNC de précision à grande échelle.

- Enfin, parfois, ce ne sont pas les coûts qui comptent, mais les délais.

À ce jour, l'industrialisation reste un objectif à atteindre pour ceux qui explorent l'utilisation des technologies LFAM. Les cas d'utilisation déjà développés avec les processus vont des **prototypes à la production de petites séries dans les secteurs de l'aéronautique, de la marine et de la construction**.

Ce que nous trouvons le plus intéressant, c'est cette tendance dans l'industrie de la construction - où il y a un besoin de réduire les heures de travail. Par ailleurs, les applications dans ce domaine révèlent que l'impression 3D béton n'est pas toujours le seul candidat à la production qui peut être utilisé pour atteindre cet objectif.

## Quelques mots sur les entreprises participantes

[Additive Engineering Solutions \(AES\)](#) est une entreprise de fabrication avancée qui fournit des solutions de fabrication additive polymère grand format (LFAM). Qu'il s'agisse d'imprimer en 3D des outils et des moules de grande taille pour l'industrie aéronautique et de la défense ou d'imprimer des pièces d'utilisation finale de grande taille pour les marchés des véhicules aériens autonomes, AES a l'ambition de démontrer sa capacité à fabriquer une variété de produits avec plus d'efficacité et de personnalisation que les méthodes traditionnelles. L'entreprise envisage d'explorer les matériaux vitrifiés dans un avenir proche pour les applications LFAM.

[Autodesk](#) est un éditeur de logiciels qui propose plusieurs solutions susceptibles d'aider le LFAM, allant du simple tranchage 2,5D au tranchage multiaxe et non plan, à la capacité de piloter des machines de bureau, des machines hybrides et des robots, et à la possibilité de simuler des empreintes métalliques afin de détecter les problèmes éventuels avant d'entrer dans la machine. Autodesk propose des logiciels qui couvrent la majeure partie de l'espace additif, y compris le LFAM. L'un des problèmes rencontrés dans tous les secteurs d'activité est l'idée que les données sont séparées, généralement programmées dans un logiciel distinct de celui de la conception. Dans le cas de la fabrication additive, et en particulier du LFAM, le fait de devoir passer d'un logiciel de conception et d'un logiciel de programmation à l'autre pour modifier la conception signifie beaucoup d'exportations et d'importations. Les solutions logicielles de l'entreprise sont conçues pour éliminer ce problème et permettre un flux de travail plus transparent.

[Ingersoll](#) construit de grandes imprimantes 3D à polymères et des machines automatisées de placement de fibres. Le portefeuille de l'entreprise comprend des imprimantes à portique et des imprimantes 3D robotisées. Toutes les machines sont hybrides et peuvent être équipées de fonctions d'impression, de fraisage, de placement automatisé de fibres (AFP) ou de pose automatisée de bandes (ATL). Ingersoll propose également des services d'impression par contact pour l'outillage aéronautique, l'industrie maritime ou les applications de meubles grandeur nature.



# AMSC 2023

## The International Catalogue of AM Solutions

Although additive manufacturing is hundreds of years old, the last five years have been marked by the rise of a number of industrial revolutions and awareness on the technology potential by professionals.

The only thing is that, once you've decided that Additive Manufacturing/3D Printing is right for your project/business, the next step might be quite intimidating. In their quest for the right technology, be it by email or during 3D printing-dedicated events, professionals ask us for advice or technical specifications regarding different types of 3D printing technologies & post-processing solutions that raise their interest. Quite frequently, these technologies are not provided by the same manufacturer.

The International Catalogue of Additive Manufacturing Solutions comes to respond to this specific need: be the portal that will provide them with key insights into valuable AM & post-processing solutions found on the market.

More importantly, an important focus is to enable potential users to leverage the latest developments in Additive Manufacturing. Companies can now feature the strengths of their AM Machine / Material offerings.

Please note that the International Catalogue of AM Solutions is distributed in all industry events where 3D ADEPT is a media partner and to our subscribers at home/in offices

## Additive Manufacturing / 3D Printing



AM SYSTEMS



3D PRINTERS



MATERIALS

More info at « [www.3dadept.com/contact-us/](http://www.3dadept.com/contact-us/) » | [contact@3dadept.com](mailto:contact@3dadept.com)

 KUMOVIS

a 3D Systems company



Download  
white paper!

## Enhance patient recovery with new biomaterials for individual 3D printed implants

### VESTAKEEP®

No other market segment showcases the benefits of additive manufacturing as evident as today's medical technology. **EVONIK** and **KUMOVIS, a 3D Systems company**, have explored the infinite possibilities of additive manufacturing in medical technology for enhanced patient recovery.

 **EVONIK**  
Leading Beyond Chemistry

# L'impression 3D robotisée : ce qui ralentit l'adoption à grande échelle

Si vous souhaitez fabriquer des pièces mesurant jusqu'à 30 mètres en une seule opération d'impression, si vous voulez que cette production soit automatisée et répétée avec précision, il y a de fortes chances que l'impression 3D robotisée soit votre candidat idéal à la production. Sur le papier, une telle combinaison de robotique et d'impression 3D est ce que la plupart des industries considèrent comme l'évolution idéale vers la fabrication intelligente. Dans la pratique, certaines contraintes cachées empêchent l'adoption à grande échelle de cette forme de fabrication.



Image: avec l'aimable autorisation de Massive Dimension

Lorsqu'on parle d'impression 3D robotisée, il peut être facile de se laisser emporter par les solutions robotiques qui sont de plus en plus développées dans les industries pour soutenir ou remplacer les tâches humaines. Notez que cet article n'a rien à voir avec cela. Toutefois, si vous

souhaitez en savoir plus sur la combinaison de la robotique et de l'impression 3D utilisée dans la fabrication de pièces, restez avec nous.

La robotique et l'impression 3D peuvent être combinées de deux manières principales.

L'une des techniques les plus utilisées consiste à **combiner une tête d'imprimante 3D qui extrude des matériaux avec un bras robotique multi-axes**. Cette technique offre un niveau de liberté que les « imprimantes 3D conventionnelles » n'offrent généralement pas. C'est souvent la technique la plus utilisée car elle est directement liée à la fabrication proprement dite. Cette forme de fabrication – qui constitue l'objet de cet article – est appelée **impression 3D avec bras robotisé**, fabrication additive robotisée (ou simplement «RAM» de l'anglais Robotic Additive Manufacturing) et peut être intégrée à différents types de technologies de FA (FDM,

métaux, céramiques, béton, etc.). Il ne faut pas confondre avec un système de portique pour l'impression 3D. (Un système de portique se déplace sur trois axes alors qu'un bras robotisé se déplace sur six axes).

« Il existe de nombreux types d'outils en bout de bras pour les robots destinés à une application d'impression 3D. [Ils vont du thermoplastique au moulage par injection de métal, en passant par la céramique et les systèmes en béton [et plus encore]. [Ils peuvent être optimisés et construits spécifiquement pour les applications d'impression additive et robotique », explique **Tyler McNaney**, fondateur et directeur général de Massive Dimension.

« Les robots sont très personnalisables et polyvalents. Un seul robot peut être placé sur un socle statique et l'impression peut bouger, ou le robot peut être déplacé et la pièce est stationnaire. Dans les deux cas, la conception par FA peut être modifiée en fonction du processus. Prenons par exemple le flambage qui peut se produire lors de l'impression verticale d'une grande pièce : il peut être nécessaire de créer des caractéristiques d'atténuation du



Image: Crédit de Massive Dimension

flambage sur la pièce. Si la pièce peut être imprimée sur le côté ou à l'envers, la physique de la gravité sur la pièce peut avoir un impact sur la nécessité ou la conception de ces caractéristiques.

En outre, les robots peuvent très facilement être configurés avec des effecteurs multiples, ce qui permet de réutiliser très facilement un robot. Cela signifie que quelqu'un qui commence avec un effecteur à arc métallique peut conserver le même robot et passer à un processus de poudrage au laser. Imaginez que vous puissiez faire la même chose avec une machine à lit de poudre !

Cela nous permet également d'envisager l'impression de plusieurs matériaux différents sur une même cellule, comme un plastique ou un élastomère sur un métal - ce qui se ferait normalement avec un processus d'injection plastique.

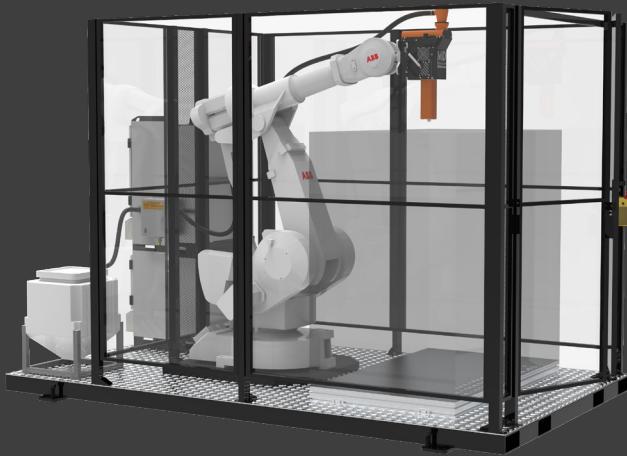
Les robots ne sont pas aussi précis que ce que nous considérons comme la norme en matière de FA, à savoir les machines à lit de poudre ou les machines SLA. Il est nécessaire de reconnaître cette imprécision au niveau de la conception et de savoir qu'un traitement post-impression sera nécessaire », ajoute **Justin Ferguson**, ingénieur principal en solutions chez Autodesk.

Par ailleurs, l'impression 3D et la robotique peuvent également se compléter lorsqu'on cherche à mettre en place **une solution intégrée tout au long du processus de fabrication**. Dans ce cas, un robot industriel peut remplacer une étape manuelle du processus de fabrication. Il peut s'agir de remplacer la plaque de construction d'une imprimante 3D ou d'effectuer les étapes de lavage, de durcissement et de finition en post-traitement à l'aide de bras robotisés.

« Une solution d'impression additive robotisée est très flexible en termes de personnalisation ; la configuration initiale de l'impression peut être personnalisée au-delà de ce qu'elle était censée produire à l'origine. Par exemple, une imprimante robotisée peut avoir un volume de travail sur une surface fixe, dans un autre endroit, un positionneur rotatif peut être ajouté, et des zones de construction supplémentaires peuvent être installées pour des exigences de construction de pièces spécifiques. Au cours du processus d'impression, divers outils de dépôt peuvent être ajoutés à l'extrémité du bras robotisé, ainsi que des outils de post-traitement tels que des fraises, desponceuses ou d'autres outils de finition », explique McNaney.

### Une arme à double tranchant

Comme mentionné ci-dessus, la nécessité de fabriquer des pièces à grande échelle est souvent le premier argument qui joue en faveur de la RAM. La RAM amplifie également la liberté de créer des formes complexes que permet déjà la FA. La raison en est très simple : grâce à leurs articulations, les bras robotiques peuvent facilement se déplacer le long et autour de plusieurs axes. Dans le même ordre d'idées, un lit d'impression robotisé qui peut tourner offre également une plus grande liberté. Cela permet de fabriquer des pièces sans structures de support



et de réduire l'utilisation de matériaux. Ces structures de support peuvent même être complètement évitées lorsque la plate-forme de construction se déplace, ce qui permet de réorienter le modèle.

Ces avantages peuvent être une arme à double tranchant, car avec autant de pièces mobiles, la machine a besoin d'instructions informatiques détaillées pour répondre aux exigences de fabrication. En effet, une planification et un contrôle inadéquats peuvent influer sur la qualité de l'impression ou conduire le bras à heurter la pièce imprimée, ce qui l'endommagerait. Sans oublier que les systèmes de contrôle des mouvements du robot peuvent également influencer la qualité de la pièce ou l'efficacité du processus d'impression.

« Là où une imprimante XYZ conventionnelle ne peut que construire vers le haut, un système de mouvement robotique peut atteindre le bas après avoir construit un objet ; le système robotique peut être rapidement adapté à une gamme de méthodes d'impression telles que l'impression non planaire, multiplanaire et angulaire », souligne McNaney avant d'attirer l'attention sur les considérations de conception qui doivent être prises en compte : « Les caractéristiques doivent être conçues en fonction de la taille du diamètre de la buse et ne doivent pas dépasser les capacités de l'imprimante ou des matériaux, comme c'est le cas pour l'impression de bureau. »

À ce jour, il n'existe pas de normes reconnues pour le transfert d'informations entre le système de CAO et le bras, ce qui conduit de **nombreux fabricants de machines à créer leur propre flux de travail** pour simplifier le processus de fabrication à l'aide d'une solution logicielle de programmation robotique.

Cela dit, on n'insistera jamais assez sur l'importance de la solution logicielle 3D utilisée dans le cadre du processus de fabrication. Le mouvement du bras robotique et donc la distribution du matériau dépendent de cette solution logicielle. Le logiciel 3D idéal doit être capable de modéliser avec précision la pièce en cours de développement au fur et à mesure qu'elle est construite, de veiller à ce que le bras robotisé n'entre pas en collision avec la pièce au fur et à mesure qu'elle grandit et de prévenir les problèmes de rétrécissement potentiels qui peuvent survenir au cours du processus d'impression.

## Applications et marché actuel

Les bateaux, les pare-chocs de voiture, les grands moules, les fixations et tout autre objet de l'industrie du rotomoulage peuvent être produits grâce à l'impression 3D robotisée.

D'un point de vue technologique, le marché ne déborde pas vraiment de centaines de fabricants d'imprimantes 3D, étant donné la nature spécialisée de l'impression 3D assistée par robot. Le marché de la FA robotisée comprend une liste exhaustive d'entreprises qui fournissent des logiciels d'impression 3D robotisée, des têtes d'impression et des extrudeuses en bout de bras, des bras robotisés et des imprimantes 3D robotisées.

Le tableau ci-dessous présente quelques noms que vous pouvez trouver sur ce marché – il ne prend pas en compte les entreprises qui fournissent des services d'impression 3D robotisée :

Logiciel d'impression 3D robotisée	Têtes d'impression et extrudeuses en bout de bras	Bras robotisés	Imprimantes 3D robotisées
ADAXIS	Weber Additive	Comau	CEAD AM Flexbot
AiBuild	Massive Dimension	ABB	MX3D M1
Robotmaster	Dyze Design	Stäubli	Caracol
Octopuz OLRP	Rev3rd	KUKA	Continuous Composites
RoboDK	Bloom Robotics	Vertico (for concrete)	Orbital Composites
		Twente AM (for concrete)	
		Hyperion Robotics (for the construction industry)	

D'un point de vue commercial, l'exploitation d'une solution d'impression 3D robotisée en interne nécessite une analyse de rentabilité solide. En effet, en plus de l'équipement connexe qu'un processus de FA standard peut nécessiter, une solution d'impression 3D robotisée personnalisée peut nécessiter un bras robotisé, une solution logicielle d'impression 3D robotisée si elle n'est pas déjà intégrée dans la solution d'impression, et la tête d'impression. La plupart du temps, ces solutions ne proviennent pas du même fournisseur, ce qui rend le coût global de l'investissement assez élevé.

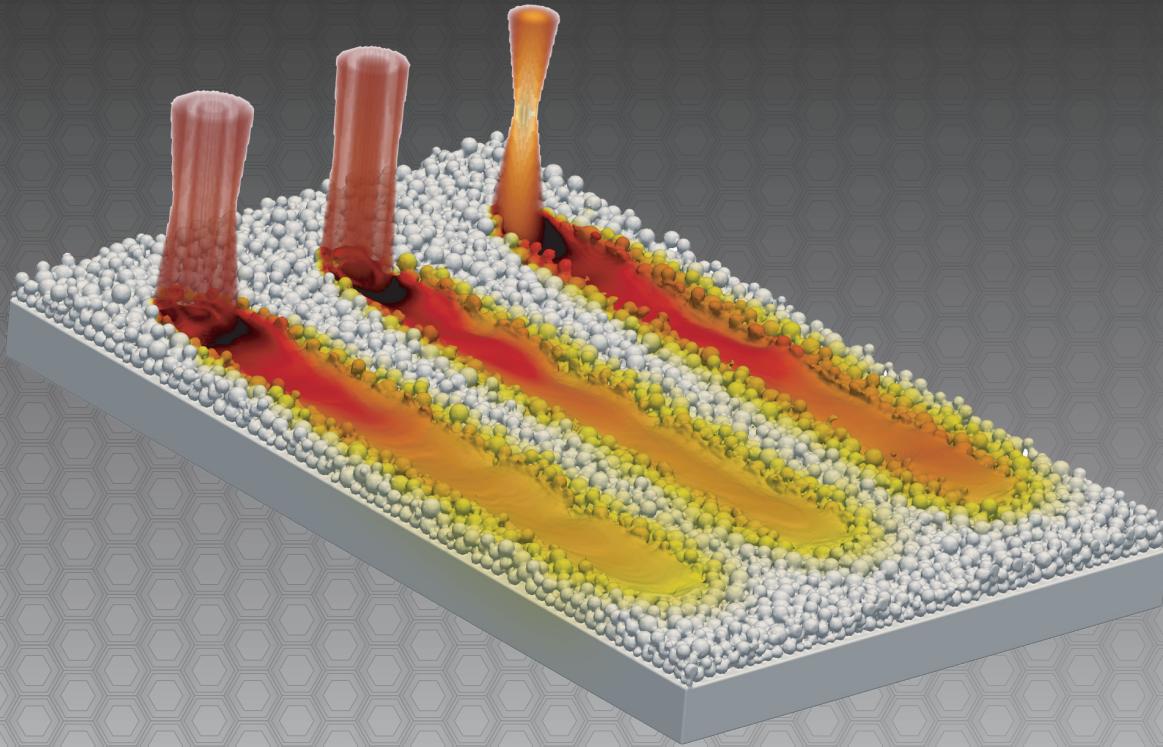
L'intégration de certaines plateformes et l'adoption de solutions d'impression 3D robotisée à grande échelle posent des problèmes, qui peuvent tous être résolus grâce à des collaborations entre les principaux fournisseurs de technologie.

## Contributeur clé

**Massive Dimension** est un équipementier pour les cellules d'imprimantes robotisées d'impression 3D additive. La société fabrique ses systèmes d'extrusion, construit des cellules et fournit ces produits à l'échelle mondiale. En tant que fournisseur de vannes ABB, elle a accès à toutes les ressources nécessaires pour installer et mettre en service avec succès les cellules robotisées de la gamme de robots ABB. Elle dispose également d'options de compatibilité robotique universelle permettant de transformer n'importe quel robot en machine d'impression 3D grand format.

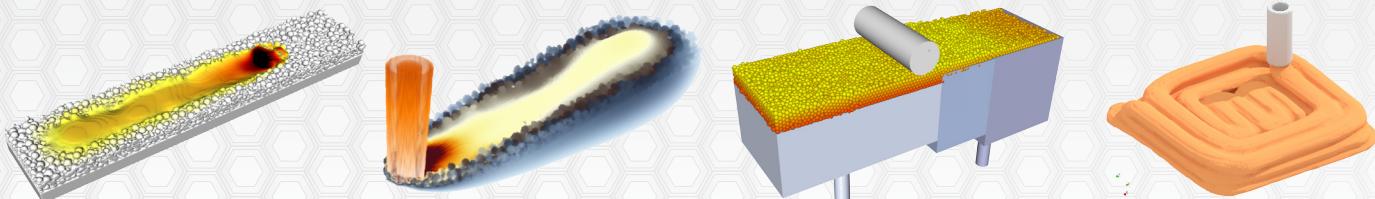
# FLOW-3D® AM

## CFD Simulations for Additive Manufacturing



**FLOW3D.COM/AM**

LASER POWDER BED FUSION - DIRECTED ENERGY DEPOSITION - FUSED DEPOSITION MODELLING - MATERIAL EXTRUSION



Contact us at [info@flow3d.com](mailto:info@flow3d.com) or +1 (505) 982-0088 to learn how **FLOW-3D AM**'s multiphysics capabilities can improve your Additive Manufacturing process.

**FLOW** Science®

## Thermwood donne de l'espoir pour l'avenir du recyclage et démontre la qualité supérieure des pièces imprimées grâce à "l'automatisation de la couche du capteur thermique".

L'événement [Rapid + TCT de cette année](#), qui s'est tenue à Chicago, a présenté toute une série de machines et de pièces, depuis les énormes machines robotisées de FA jusqu'aux pièces métalliques imprimées presque microscopiques utilisées pour les prothèses auditives. Cependant, une installation s'est démarquée des autres. [Thermwood](#) y présentait sa machine LSAM AP510

**S**i vous êtes un lecteur régulier de 3D ADEPT Media, vous connaissez [certainement Thermwood](#). Le fabricant de machines a fait de la fabrication additive à grande échelle (LSAM) son cœur de métier, car il souhaitait proposer une alternative à l'approche de l'impression 3D à base de polymères, largement répandue. Sa gamme de produits commence par l'AP510, avec un lit de 5 pieds par 10 pieds, et va jusqu'à la LSAM 1540, qui imprime sur une vaste plate-forme de 15 pieds par 40 pieds. Pour les lecteurs américains, c'est à peu près la longueur d'un bus scolaire. Comme nous l'avons expliqué dans un article récent, cette approche était difficile à mettre à l'échelle pour les grandes pièces de forme presque nette, d'où l'importance accordée au développement de systèmes dédiés.

Notre conversation avec le vice-président exécutif de Thermwood, **Jason Susnajara**, nous a donné l'occasion de confirmer que l'entreprise, dont le siège se trouve dans l'Indiana, aux Etats-Unis, est en train de passer à l'action sur un certain nombre de sujets dont nous discutons depuis plusieurs années.

Pour information, Thermwood a présenté son expertise en matière de LSAM lors de divers salons professionnels [européens](#) et américains. Parmi les nombreux salons où nous avons eu l'occasion de rencontrer les représentants de l'entreprise, Rapid+TCT nous a permis d'apprécier une démonstration en direct de la technologie de l'entreprise. Comme l'a dit l'ecclésiastique anglais Thomas Fuller : « Voir, c'est croire, mais sentir, c'est être sûr ».

Pendant que nous parlions avec Jason Susnajara, un mastodonte orange s'affairait à imprimer une chaise en plastique verte.

### Un espoir pour l'avenir du recyclage

Selon Susnajara, les possibilités d'impression 3D à grande échelle résident dans le fait que les fabricants peuvent économiser sur les coûts de main-d'œuvre et de matériaux. Thermwood a montré le côté durable de l'AP510 en imprimant en 3D la chaise avec des granulés de polymère fabriqués à partir de bouteilles en plastique recyclées.

Vous vous souvenez quand nous avons discuté des arguments qui joueraient en faveur du LSAM en matière de développement durable ? Les matériaux recyclés étaient le deuxième argument

mentionné dans la «catégorie environnementale» pour aider les organisations à s'engager sur la voie du développement durable. Nous savions que les machines LSAM de Thermwood pouvaient traiter des matériaux composites recyclés en granulés de polymères renforcés de fibres (FRP), améliorant ainsi l'efficacité des matériaux et réduisant les déchets de matériaux. Lors du salon Rapid+TCT, nous avons eu l'occasion d'en apprendre davantage sur l'un de ces matériaux.

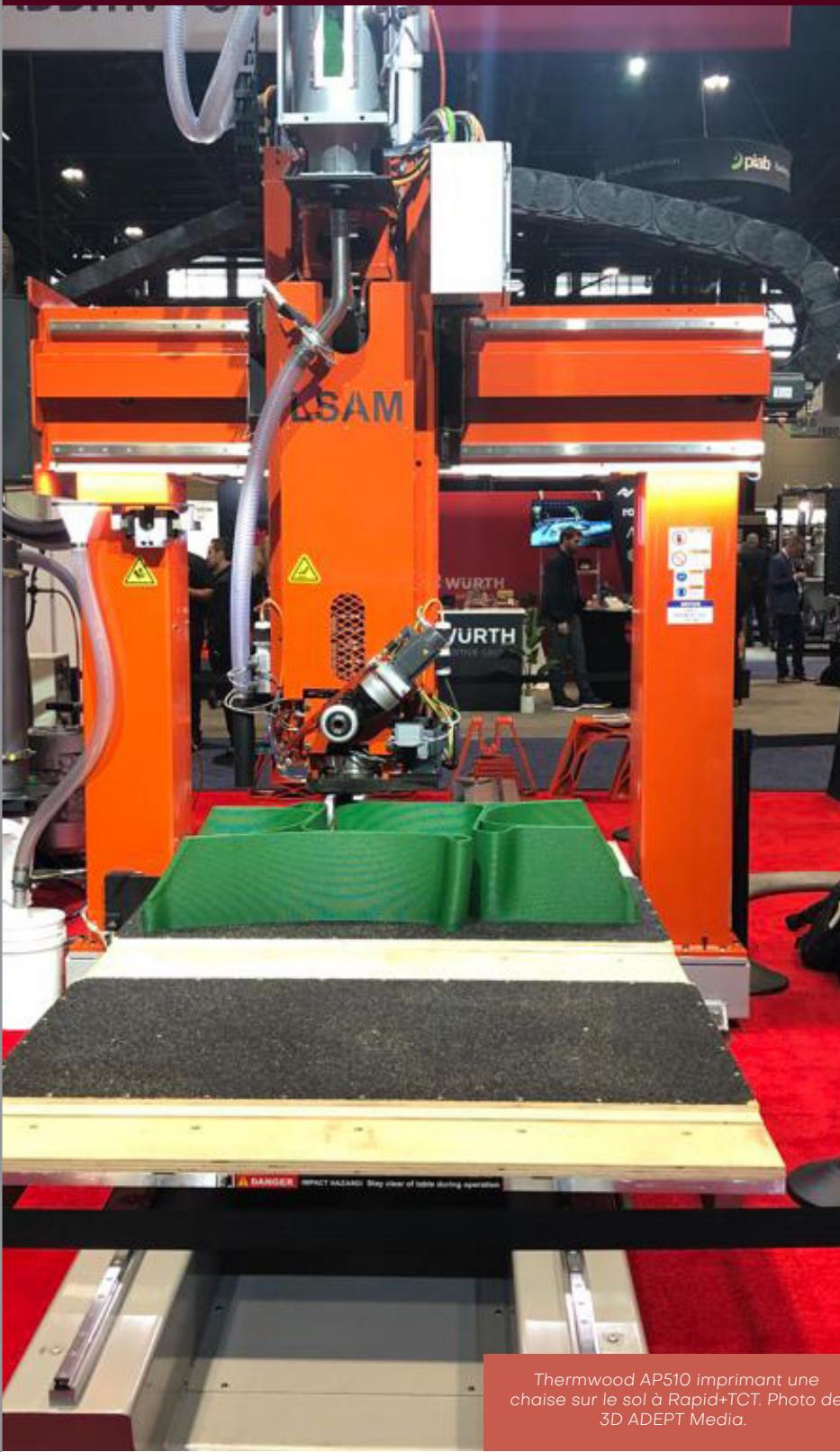
L'imprimante 3D AP510 traitait un matériau **LNP™ ELCRIN™ WF0061BiQ**, développé par **SABIC**, une entreprise de produits chimiques spécialisés qui est également active dans l'industrie de la FA. Ce matériau provient de bouteilles d'eau en PET que SABIC a transformées en résine de polybutylène téréphthalate (PBT) afin de créer des polymères dotés de nouvelles propriétés compatibles avec la FA. Le matériau nouvellement développé offre la même résistance et la même qualité que la résine PBT vierge.

Nous n'avons pas demandé si ces matériaux pouvaient être utilisés pour réaliser des applications industrielles avec la technologie LSAM. Nous pensons que c'est possible, compte tenu de la résistance des chaises imprimées et des propriétés du matériau traité. Néanmoins, nous espérons poursuivre cette conversation sur d'autres points centraux qui pourraient aider à démontrer comment le triple bilan est respecté au niveau de la fabrication.

Pendant la démonstration en direct, une sorte de caméra surveillait le processus d'impression au fur et à mesure qu'il se déroulait. Grâce à cette caméra, on pouvait voir comment la température d'une couche imprimée était mesurée juste avant l'ajout d'une nouvelle perle, ce qui permettait à l'imprimante de réguler automatiquement la vitesse d'alimentation. Selon Susnajara, l'idée est de trouver l'équilibre parfait entre le froid et le chaud afin d'obtenir la forme souhaitée. Avec cette option de temps de couche, on peut aller suffisamment lentement pour que le processus d'impression soit à la température parfaite, ou très proche de celle-ci, nécessaire pour obtenir la meilleure fusion possible entre les couches. D'après ce que nous avons vu, la machine imprimait 200 livres/heure (90 kg de granulés/heure).



L'AP510 avait une présence imposante sur le plancher d'exposition de Rapid + TCT. Susnajara nous a confié que quatre chaises ont été imprimées pendant les trois jours du salon. Les visiteurs s'arrêtaient et inclinaient la tête vers le haut pour admirer la machine dans son ensemble. Les chaises que nous avons vues à Rapid+TCT étaient solides et si lourdes (environ 20 kg) qu'elles semblaient incassables. Après le salon, elles retourneront à l'usine de Sabic.



## Applications industrielles rendues possibles par le LSAM de Thermwood

En ce qui concerne le marché de ces imprimantes, Susnajara explique que les machines LSAM de Thermwood sont utilisées pour des applications telles que les moules d'autoclave. Ces composants nécessitent généralement un moule rigide qui définit la forme finale de la pièce composite, afin de fabriquer une pièce finale qui doit présenter des propriétés de haute performance et résister à des environnements austères. Pour rappel, Thermwood a récemment partagé la façon dont elle a fabriqué [un outillage autoclave de 1150 mm x 760 mm](#) en utilisant le composé LNP™ THERMOCOMPTM AM EC004XXAR1 de SABIC, un matériau en résine ULTEM™ chargé de 20 % de fibres de carbone. Le processus d'impression de cet outil a nécessité huit heures et ils ont eu besoin de 12 heures supplémentaires pour l'usinage à l'aide de l'imprimante LSAM®.

Parmi les autres applications industrielles de Thermwood qui méritent d'être rappelées – et qui ont été partagées publiquement, on peut citer [Meander, une grande sculpture](#) qui met en évidence l'empreinte de la Missouri River au KANSAS, [la torche massive imprimée en 3D](#) dans le nouveau stade de Las Vegas ou un [moule de coque de yacht](#). Ces applications démontrent qu'avec un peu d'imagination et d'ingénierie créative, il est possible de réaliser de grandes structures, même sur le plus petit des systèmes de fabrication additive de Thermwood.

L'évaluation du composite LSAM pour l'outillage se poursuit afin de s'assurer que la base industrielle est en mesure de répondre aux besoins futurs en matière de fabrication. Compte tenu des étapes et des applications qu'il a déjà réalisées depuis son arrivée sur le marché, Thermwood reste un acteur à suivre dans ce secteur.

# Qu'est-ce que la galvanoplastie et quand faut-il l'utiliser pour les pièces imprimées en 3D ?



Comparaison de la résistance SAMPE du treillis à topologie optimisée à partir de résine SLA imprimée, de résine électrodéposée et d'une technologir basée sur l'IA – Crédit : avec l'aimable autorisation de RePliForm Inc.

**C**omme un grand nombre de tâches de post-traitement utilisées pour les pièces imprimées en 3D, la **galvanoplastie** vise à améliorer les propriétés physiques de la pièce en augmentant la résistance à l'usure, la protection contre la corrosion ou l'attrait esthétique, ainsi que l'épaisseur. Le problème, c'est que très peu de personnes dans l'industrie savent exactement ce qu'est le processus, comment il fonctionne et comment il peut être appliqué aux pièces imprimées 3D. Cet article a pour objectif de lever le voile sur ce concept.

Également connue sous le nom d'**électro-déposition** ou de **dépôt électrochimique**, la galvanoplastie est un procédé de revêtement de surface électrochimique qui utilise un courant électrique pour réduire les cations métalliques dissous à la surface d'une électrode, appelée cathode, et former une fine couche de métal cohérente. En d'autres termes, ce procédé permet de réduire les ions métalliques sur la surface d'une pièce conductrice afin d'y appliquer un revêtement métallique.

Il existe un grand nombre de métaux pouvant faire l'objet d'une galvanoplastie, mais les plus couramment utilisés sont le cuivre, le nickel, le chrome, l'étain, le plomb, le zinc, le laiton (un alliage de Cu et de Zn), l'or, l'argent et le platine. En termes simples, le processus vise à répondre à deux objectifs principaux : **décoratif** et **fonctionnel**.

Par exemple, la galvanoplastie décorative est souvent utilisée dans l'industrie automobile, où un revêtement chromé décoratif peut être reconnu sur des éléments en plastique tels que les grilles, les pare-chocs, les jantes ou les poignées de porte. On peut également utiliser la galvanoplastie décorative pour le dépôt de métaux précieux (par exemple, l'or et l'argent) sur des articles de luxe tels que les montres ou les bijoux en général. En outre, la plupart des gens utilisent la galvanoplastie pour donner à leurs pièces en plastique l'aspect de pièces métalliques polies.

Le processus de galvanoplastie fonctionnelle vise à obtenir un revêtement métallique qui, entre autres propriétés, empêchera la corrosion des matériaux du substrat cible. Dans l'industrie aéronautique, par exemple, où les métaux les plus courants sont le cadmium, le chrome dur, le zinc, le zinc-nickel, le platine, l'étain-zinc, etc., quelques exemples de pièces pouvant être revêtues par galvanoplastie sont les trains d'atterrissement, les turbines de

moteur ou les roulements.

Ce but fonctionnel peut également impliquer plusieurs autres objectifs : la nécessité d'augmenter la capacité de température de l'impression, le blindage EMI, l'amélioration des propriétés mécaniques (rigidité et résistance), une meilleure durabilité, un revêtement barrière pour arrêter le dégazage (c'est-à-dire un environnement sous vide) ou empêcher l'attaque de produits chimiques sur les substrats de résines imprimées. Il peut également réduire l'inflammabilité et les fumées toxiques provenant de la combustion. Cela signifie qu'une pièce imprimée en 3D qui a subi une galvanoplastie peut également servir de pièce de remplacement pour un composant donné qui avait une fonction spécifique dans un assemblage.

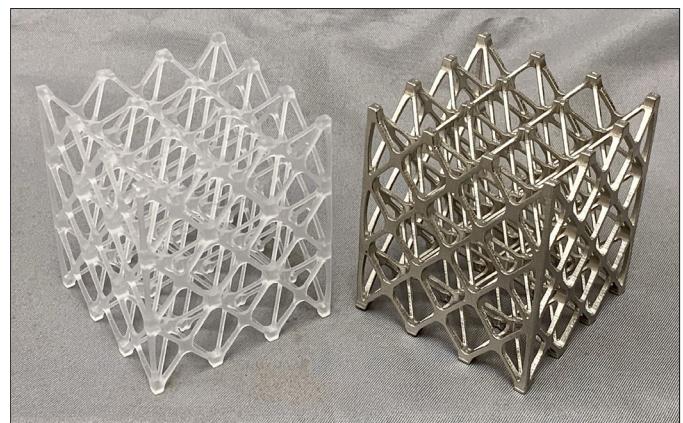
Dans le post-traitement des pièces imprimées en 3D, la **galvanoplastie n'est qu'un moyen de finition de surface, tout comme l'impression 3D n'est qu'un outil de fabrication**. Pour réussir à obtenir un revêtement métallique sur une pièce imprimée en 3D par le processus de galvanoplastie, il faut savoir à quel type de matériau de substrat on a affaire, s'il s'agit d'une pièce en plastique ou d'une pièce à base de métal, et quelle est la fonction de la couche métallique déposée, décorative ou fonctionnelle, et nous sommes prêts à commencer.

### Avec quelle technologie d'impression 3D peut-on utiliser la galvanoplastie ?

En général, la technologie d'impression 3D utilisée pour la fabrication des pièces n'a pas vraiment d'impact sur la tâche d'électrodepositio. Cependant, on se rend compte que **les pièces imprimées en 3D en photopolymère, en poudre fusionnée/frittée ou en filament peuvent être plaquées**. Les pièces photopolymères sont les plus faciles à revêtir, mais elles doivent être nettoyées et bien durcies. La complexité des pièces fusionnées/frittées réside dans le fait qu'elles peuvent présenter une certaine porosité et que les surfaces peuvent être rugueuses. La plupart des imprimantes 3D peuvent être configurées pour rendre la peau extérieure de la pièce étanche, mais il peut y avoir une certaine variabilité dans les lots. La rugosité de la surface peut améliorer l'adhérence, mais il est plus difficile d'obtenir une finition brillante. Le procédé de fabrication FDM reste le plus difficile à traiter via la galvanoplastie, car la pièce présente presque toujours une porosité et la taille des pores peut être très importante dans certaines parties de la pièce. Les pièces doivent être scellées avant la métallisation, ce qui augmente le coût du traitement.

Cela dit, quel que soit le procédé de FA utilisé pour la fabrication des pièces imprimées en 3D, ce qui compte vraiment, c'est le matériau du substrat dont la pièce est faite et sa géométrie : les pièces métalliques ne posent guère de problèmes par rapport aux pièces en plastique, pour lesquelles l'opérateur doit s'assurer que le matériau utilisé pour la fabrication peut résister au bain chimique qui sera utilisé pour le processus de galvanoplastie.

En outre, plus la géométrie de la pièce est complexe, plus la non-uniformité du métal déposé sur sa surface est importante. Cela rend le processus



Comparaison de la résistance SAMPE d'un treillis à topologie optimisée à partir d'une résine SLA imprimée, d'une résine électrodepositée – Crédit : RePliForm Inc.

d'électrodepositio difficile à contrôler, et il n'est pas toujours possible d'obtenir une distribution uniforme de la couche de métal sur toutes les surfaces actives à électrodepositer sans développer des stratégies d'atténuation spécifiques.

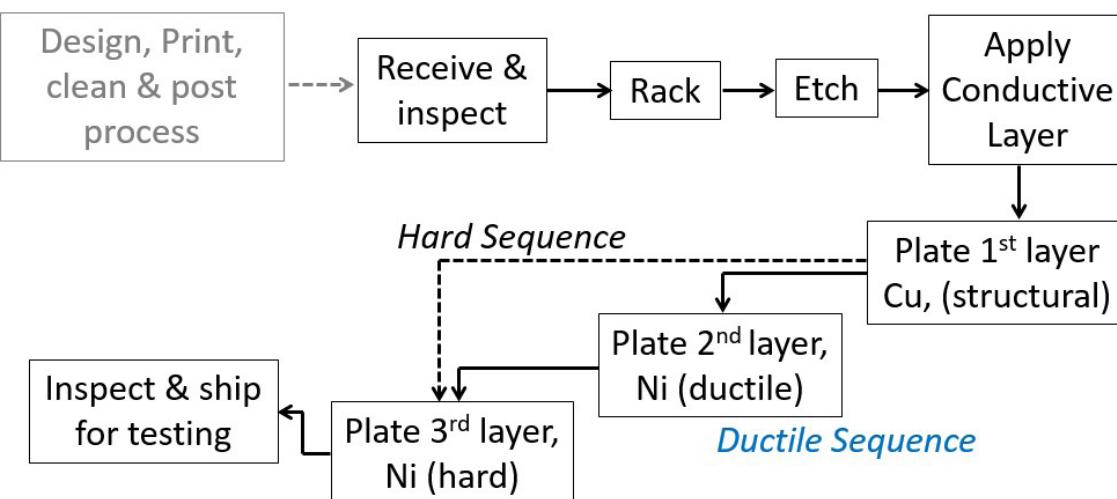
Les pièces imprimées en 3D étant généralement complexes, il est souvent recommandé d'utiliser une **approche d'ingénierie assistée par ordinateur pour la galvanoplastie**. Une telle approche vise à assurer l'analyse du processus en amont afin de reconnaître les zones de surface sous-plaquées et sur-plaquées. De cette manière, il est possible de prévoir la distribution de l'épaisseur de la couche de métal sur la pièce imprimée en 3D avant que le processus de galvanoplastie ne soit exécuté. Cela donne à l'opérateur la possibilité d'optimiser le réglage du processus et de s'assurer que la pièce est plaquée correctement du premier coup et qu'elle est conforme aux spécifications requises en matière d'épaisseur de la couche métallique.

### Comment appliquer la galvanoplastie sur des pièces imprimées en 3D ?

La galvanoplastie sur les pièces imprimées en 3D est assez similaire aux procédés de galvanoplastie utilisés pour les pièces en plastique ou en métal. Il faut commencer par des pièces non contaminées, puis graver la surface, appliquer une couche conductrice avec du nickel ou du cuivre autocatalytique, puis appliquer une séquence de métallisation pour obtenir la fonctionnalité souhaitée.

De plus, pour les pièces en plastique imprimées en 3D, il est important de s'assurer que la pièce est métallisée au préalable afin que la surface puisse conduire le courant. Comme le montre l'image ci-dessus, cette étape de métallisation est généralement réalisée par un dépôt chimique et après une préparation adéquate de la surface, composée d'un certain nombre d'étapes de prétraitement : nettoyage, prétrempage, gravure, neutralisation, pré-activation, activation et accélération. Une fois le prétraitement de la surface effectué, on peut passer à l'étape de la galvanoplastie.

# Electroplating Process for Plastics



- Processes generally follow this sequence.
- Numerous ways to do many of these steps.

Ce graphique est uniquement disponible en Anglais



Déterminer comment la galvanoplastie modifie les propriétés mécaniques des pièces imprimées en 3D

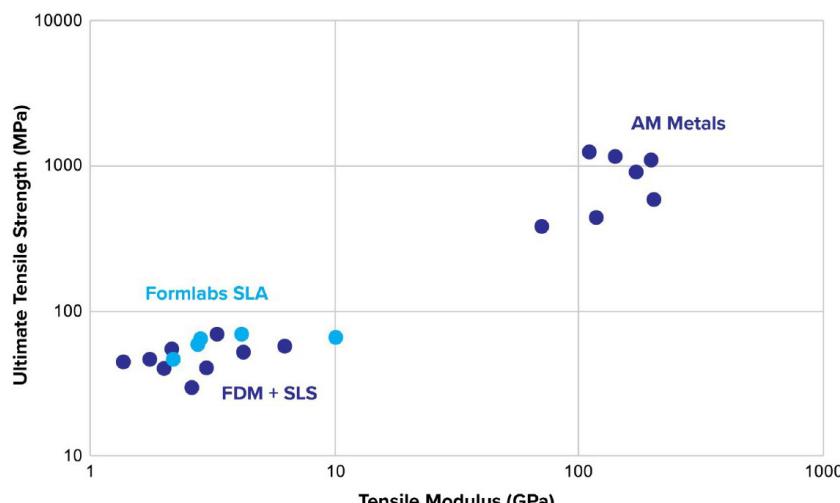
Par ailleurs, pour déterminer comment la galvanoplastie modifie les propriétés mécaniques des pièces imprimées en 3D, il faut comprendre plusieurs mécanismes. L'électrodéposition sur des plastiques imprimés en 3D, par exemple, permet de créer un composite renforcé et d'ajouter une fonctionnalité métallique à des métaux non conducteurs. Pour créer un composite métal-résine à partir du procédé SLA et d'une galvanoplastie, par exemple, il faut déterminer si un plastique plaqué peut combler un vide entre le métal imprimé et le plastique, comprendre la règle des mélanges pour estimer les propriétés de traction à partir des constituants ou apprendre à faire de

la place pour le revêtement lorsque l'on a déjà la conception.

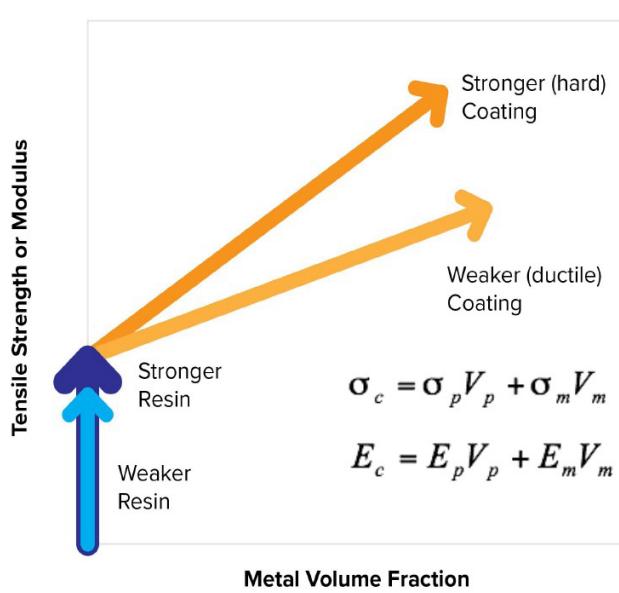
Pour comprendre ce type de mécanique et bien d'autres, des entreprises comme **RePliForm Inc.** travaillent avec de nombreux fournisseurs de systèmes et fabricants de résine pour tester la résistance à la traction et à la flexion. En effet, lorsque les propriétés de la résine changent, celles du revêtement changent également, ce qui influe sur la façon dont la conception de la pièce change.

Cela dit, en ce qui concerne la création d'un composite métal-résine, il s'avère que traiter la pièce plaquée comme un composite et utiliser la règle des mélanges – une équation très basique utilisée pour estimer la résistance des pièces composites – fonctionne étonnamment bien.

## Bridging AM Plastics and Metals



## Rule of Mixtures – estimate tensile properties from constituents



Resin	UTS (MPa)	Tensile E (GPa)	
Tough 2000	46	2.2	
<b>Clear</b>	<b>65</b>	<b>2.8</b>	
High Temp	51	3.6	
Rigid 4000	69	4.1	
Rigid 10K	65	10	
Metal Coating	UTS (MPa)	YS (MPa)	Tensile E (GPa)
Cu (structural)	370	264	90
Ni (Ductile)	860	650	140
Ni (Hard)	1558	1288	146
Equal Proportions	929	<b>734</b>	<b>125</b>
Cu 10% + Hard Ni 90%	1439	<b>1185</b>	<b>140</b>

Ce graphique est uniquement disponible en Anglais

### Améliorer la galvanoplastie grâce à une approche d'ingénierie assistée par ordinateur

L'amélioration de la galvanoplastie via une approche d'ingénierie assistée par ordinateur est importante alors que nous naviguons dans l'ère de l'industrie 4.0 et des concepts de fabrication intelligente, dont l'impression 3D et le jumeau numérique font tous deux partie.

L'approche de l'ingénierie assistée par ordinateur repose sur **la reconnaissance des performances du processus de galvanoplastie et sur son optimisation ultérieure avant tout passage au mouillé réel**.

Cela peut se faire en créant une représentation virtuelle (jumeau numérique) de l'installation réelle du procédé de galvanoplastie dans un environnement informatique. Ce jumeau numérique est basé sur les informations techniques provenant du site de traitement réel, en tenant compte de l'infrastructure de la ligne de placage, des paramètres de fonctionnement du processus de placage, des performances électrochimiques du bain de placage utilisé, des caractéristiques géométriques du composant à revêtir et d'une disposition spécifique du rack

que nous avons envisagée.

Grâce à cette approche, il est possible de prévoir la densité du courant et la répartition de l'épaisseur de la couche métallique sur toutes les surfaces actives à revêtir, en reconnaissant les problèmes de risque de surface en termes de sur- et de sous-revêtement. Une fois cette connaissance acquise, il est possible de concevoir et d'évaluer une stratégie d'atténuation appropriée, adaptée à la configuration du processus et aux spécificités de la géométrie de la pièce. Ceci est extrêmement important dans le cas de pièces géométriquement complexes telles que les pièces imprimées en 3D, pour lesquelles ni la modification de l'agencement du bâti ni l'ajustement des paramètres du processus ne permettront d'obtenir une couverture de revêtement homogène.

Pour ces pièces complexes, la configuration du processus devra être améliorée et un concept d'outillage dédié devra être développé et testé. Dans la vie réelle des procédés, l'évaluation des risques et l'élaboration d'une stratégie d'atténuation appropriée, y compris les essais, nécessitent des mois et des mois de travail acharné et de ressources gaspillées. L'approche de l'ingénierie

assistée par ordinateur nous permet de le faire en quelques minutes, en éliminant un nombre excessif d'essais humides et en économisant ainsi du temps, de l'argent et des ressources de toutes sortes. En utilisant l'ingénierie assistée par ordinateur, nous améliorons notre connaissance du processus et nous contrôlons ses performances, ce qui nous permet d'obtenir la meilleure qualité possible, à chaque fois.

## Electroplating process analysis

### Digital twin concept



Physico-chemical data gathering  
(lab experiments)



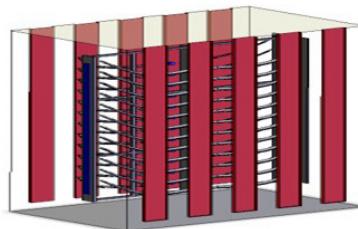
Infrastructure configuration  
(CAD)

Operating parameters	Operating conditions
Temperature	42 – 56 °C
Deposition time	18 – 27 min
Voltage	2.2 – 3.5 Volts
Agitation	Air agitation
Deposition condition	Bright plating

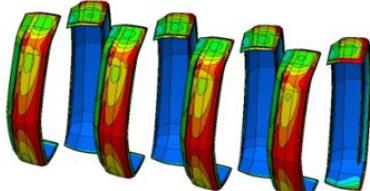
Process parameters



Part/structure model  
(CAD)



Visualization of a digital twin of the plating tank infrastructure.



As-is results of the electroplating process performance – red mapping: overplated surfaces, blue mapping underplated surface.



### Alors... ?

Le processus de galvanoplastie est sans aucun doute une tâche puissante en matière de post-traitement. Même si une approche IAO peut contribuer à accélérer le processus, il convient de noter qu'il ne semble pas y avoir de méthode populaire pour automatiser les étapes du processus. Comme on l'a vu avec l'enlèvement de poudre, il faudra beaucoup de collaboration entre les fabricants de machines et de matériaux et les experts en galvanoplastie pour faire progresser les étapes du processus et favoriser son utilisation dans les applications d'impression 3D industrielle.

## Auteurs

Ce dossier exclusif a été co-écrit par **Sean Wise**, président de [RePliForm Inc.](#) et **Agnieszka Franczak**, responsable de la division Surface Finishing chez [Elysca N.V.](#).

**RePliForm** est un expert de la galvanoplastie des plastiques imprimés en 3D ainsi que d'autres matériaux non conducteurs. Dans le but d'aider ses clients à créer une pièce composite qui peut élargir l'enveloppe de ce qui est possible avec un plastique imprimé en 3D, RePliForm adapte continuellement les processus de galvanoplastie à une variété de matériaux et de géométries complexes. L'entreprise a récemment mis au point un moyen inattendu de fabriquer un composite renforcé et d'ajouter une fonctionnalité métallique à des matériaux non conducteurs grâce à l'électrodéposition de plastiques imprimés en 3D. Vous pouvez contacter l'entreprise ici pour plus d'informations sur le sujet : [info@RePliFormInc.com](mailto:info@RePliFormInc.com).

**Elysca** est spécialisée dans l'électrochimie et les solutions d'ingénierie assistée par ordinateur. L'électrodéposition, qui est l'un des processus électrochimiques, est l'un des principaux centres d'intérêt de l'entreprise, car elle est largement utilisée dans une variété d'applications, à travers plusieurs industries. L'équipe d'Elysca développe des solutions logicielles dédiées à l'analyse et à l'optimisation des procédés de galvanoplastie et fournit des services d'ingénierie assistée par ordinateur à ceux qui sont confrontés à des défis en matière de contrôle des procédés, de qualité des revêtements et de reproductibilité. La galvanoplastie des pièces imprimées en 3D s'inscrit donc parfaitement dans le champ d'intérêt de l'entreprise. Elysca a récemment présenté comment elle aide les industriels à faire passer les procédés de galvanoplastie au niveau supérieur grâce à une approche d'ingénierie assistée par ordinateur. Vous pouvez contacter l'entreprise ici pour plus d'informations sur le sujet : [info@elysca.com](mailto:info@elysca.com).



# Depowdering system **SFM-AT1000-S**

**NEW**

Special version for big parts up to  
600 x 600 x 660 mm (e.g. NXG XII 600)

- Advanced front-top-loading by crane
- Short rotation arm for optimal center of gravity position



# Quel est le dispositif de recouvrement pour votre procédé de FA métal ?

Il peut être facile pour les ingénieurs ou les concepteurs de penser que, parce qu'ils ne sont pas directement impliqués dans la fabrication des pièces, ils ne devraient pas être au courant de certaines complexités entourant le fonctionnement pratique des machines. Ce n'est pas le cas. Connaitre les variables et les complexités liées au fonctionnement pratique des machines permet d'assurer une communication claire avec les opérateurs et, surtout, de faire en sorte que les objectifs de conception répondent parfaitement aux attentes de la fabrication. L'une de ces complexités consiste à comprendre **l'importance des dispositifs de recouvrement (souvent appelés 'lames') pour la fabrication additive métal.**

En termes simples, un dispositif de recouvrement (plus connu sous le nom de recoater en anglais) est une barre horizontale qui étale et lisse le matériau pendant le processus de fabrication, afin de créer une couche uniforme et plane avant que le matériau de construction ne soit solidifié, fritté, fondu ou collé. Comme l'ont confirmé **Michael Wohlfart**, expert en FA chez [EOS](#), et **Thomas Spears**, PhD, directeur d'[AAAMT](#), il est généralement admis que seuls les procédés à base de poudre nécessitent un dispositif de recouvrement.

Néanmoins, la [recherche](#) montre que les recycleurs peuvent également être utilisés dans la **photopolymérisation** pour étaler le polymère liquide. Dans ces machines, la machine de photopolymérisation se compose d'une cuve de résine, d'une lame de repositionnement, d'une plate-forme de construction, d'une source lumineuse et de systèmes de contrôle. La résine photopolymère liquide est placée dans la cuve. Le dispositif de recouvrement est utilisé pour distribuer et balayer la résine liquide lorsqu'une couche est durcie. La plate-forme de fabrication fixée à un élévateur se déplace à l'envers et la pièce est fabriquée dessus.

Parlant d'exemples de machines de FA qui intègrent un dispositif de recouvrement, **Thomas Spears**, directeur d'[AAAMT](#), cite la fusion par faisceau d'électrons (comme Arcam) ou la projection de

liaint (comme ExOne). « Les nouvelles modalités que j'ai vues à Rapid+TCT étaient l'épandage d'un matériau à matrice céramique, les machines de photolithographie comme celles de 3D Systems, et les machines de frittage de plastique comme celles d'EOS », ajoute-t-il.

Cela dit, cet article se focalisera sur l'utilisation des dispositifs de recouvrement dans les **procédés de fusion laser sur lit de poudre**.

## Dispositifs de recouvrement

Si vous ne connaissez pas encore la Fabrication Additive (FA), sachez que les procédés de fusion laser sur lit de poudre (abrégé LPBF – soit laser powder bed fusion en anglais) reposent sur un principe de base : l'utilisation d'un laser ou d'un faisceau d'électrons pour faire fondre et fusionner les matériaux en poudre. Plus précisément, une couche de matériau d'une épaisseur typique de 0,1 mm est étalée sur la plate-forme de fabrication. Un laser fusionne la première couche ou la première section du modèle. **Une nouvelle couche de poudre est étalée sur la couche** précédente à l'aide d'un dispositif de recouvrement ou d'un rouleau. Le processus se répète jusqu'à ce que la pièce entière soit fabriquée.

Outre le fait qu'il dépose la poudre de manière uniforme, un dispositif de recouvrement permet de **contrôler l'épaisseur de la couche de poudre déposée**. La vitesse de recouvrement joue un rôle important dans ce processus, car elle peut influencer la morphologie de la surface du lit de poudre, ce qui peut compromettre la réussite de la fabrication de la pièce et la fiabilité de la production.

Le choix du bon dispositif de recouvrement devient donc crucial, car les opérateurs peuvent faire fonctionner leurs machines LPBF 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, avec des changements de couche toutes les minutes. C'est la raison pour laquelle les fabricants de machines font de plus en plus de leur dispositif de recouvrement un avantage concurrentiel.

## Types de dispositif de recouvrement

« Il existe de multiples variantes de technologies pour répandre la poudre dans les systèmes commerciaux à base de poudre, mais elles sont toutes désignées sous le nom de « recoaters », » précise d'emblée Michael Wohlfart.

Il va sans dire que les particularités de certaines imprimantes 3D peuvent se manifester sous la forme d'outils différents utilisés pour étaler uniformément les couches de poudre pour chaque couche d'une construction. « Certains fabricants utilisent un rouleau pour compacter la poudre et créer une densité plus importante et plus cohérente sur la surface active. Velo3D utilise un recycleur sans contact qui utilise le vide pour garantir une épaisseur de couche correcte », explique Spears.

Il existe quatre grands types de dispositifs de recouvrement. Selon Wohlfart, il y a :

- Les **dispositifs de recouvrement durs** : HSS (acier rapide), lames en céramique
- Les **dispositifs de recouvrement souples** : Différents types de brosses (fibre de carbone, métal), différents types de lames en polymère (silicone, caoutchouc NBR, autres types de polymères).
- Les **dispositifs de recouvrement à rouleaux** : ce sont des technologies de niche principalement utilisés dans les imprimantes 3D LPBF pour polymères, mais également dans des imprimantes 3D métal spécifiques qui traitent les poudres fines difficiles à étaler.
- Les **dispositifs de recouvrement sans contact** : il s'agit d'une technologie de niche dans les imprimantes 3D métal qui permet une croissance hors plan de l'application sans interruption de la fabrication, mais elle est généralement lente et limitée en termes de flexibilité (par exemple, une seule hauteur de couche spécifique). En outre, la croissance hors plan n'est pas acceptable pour de nombreuses applications en raison des tolérances dimensionnelles serrées.

Comme vous pouvez le constater dans l'industrie, les dispositifs de recouvrement durs et les dispositifs de recouvrement souples sont souvent mentionnés comme les principales technologies utilisées. C'est la raison pour laquelle l'expert AM d'EOS qualifie les deux autres de technologie de niche.

D'après ce que nous savons, les **dispositifs de recouvrement durs sont une bonne solution pour la fabrication de pièces identiques sur la même plate-forme de fabrication**. Ils entraînent souvent une faible déformation des pièces. Il est évident que si une pièce se déforme, il y a de fortes chances que d'autres pièces se déforment également.

Par ailleurs, si vous fabriquez des pièces délicates ou différentes à la fois, il est préférable d'opter pour un dispositif de recouvrement souple. Cela semble évident, non ? Dans ce cas précis, si vous manipulez un lot de pièces différentes, la déformation d'une pièce n'entraîne pas nécessairement la déformation



Aube de turbine construite avec une machine de rechargement HSS pour garantir les propriétés les plus élevées de la pièce [Source : EOS].

des autres – par conséquent, la construction ne s'interrompt pas.

Il est intéressant de noter que, parfois, ces différences ne sont pas suffisantes pour choisir entre un dispositif de recouvrement dur et un dispositif de recouvrement souple.

Certains fabricants recommanderont un dispositif de recouvrement dur pour les pièces les plus exigeantes en raison de leur capacité à obtenir une qualité reproductible, tandis qu'ils opteront pour un dispositif de recouvrement souple pour les pièces présentant des rapports d'aspect élevés et pour les productions où le délai d'exécution est plus important que le risque d'imperfections.



Cupule de hanche avec différents types de structures en treillis construites avec un dispositif de recouvrement HSS [Source: EOS]

Même si les machines qu'ils construisent sont compatibles à la fois avec les dispositifs de recouvrement durs et souples, le directeur d'AAMT reconnaît qu' « il y a une part de subjectivité [lorsqu'il s'agit de choisir le dispositif de recouvrement idéal] ».

« **Certains utilisateurs préfèrent la tolérance de la couche du dispositif de recouvrement souple, tandis que d'autres préfèrent la consistance de la couche du dispositif de recouvrement dur**, même si elle est plus susceptible de s'écraser en raison d'anomalies de la surface supérieure ou d'un décollement de la pièce. D'autres considérations liées au processus peuvent également dicter le type de vernis : le silicone, les brosses en fibre de carbone et les râteaux métalliques sont plus appropriés pour les applications nécessitant des caractéristiques très fines qui pourraient être physiquement détruites par un vernis dur entrant en contact, même de façon

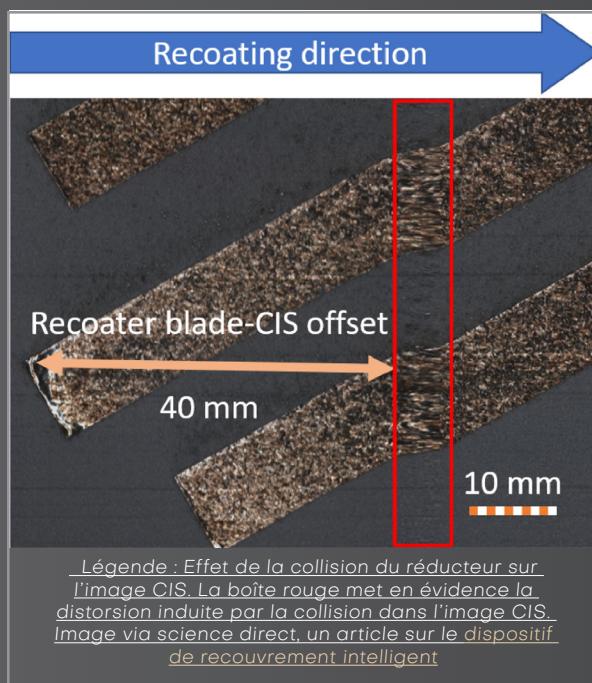
modeste, avec ces caractéristiques ».

Wohlfart, quant à lui, apporte des précisions sur le sujet :

« Les procédés des imprimantes LPBF pour métaux et polymères sont fondamentalement différents et il n'existe pas de machines sur le marché qui puissent traiter les deux matériaux dans le même système. Cependant, il existe encore des différences entre les systèmes de réapprovisionnement qui peuvent s'expliquer par les différentes exigences en matière de matériaux/processus, mais aussi par la géométrie à imprimer qui peut avoir une influence sur le type de réapprovisionnement.

Les systèmes de polymères utilisent généralement des dispositifs de recouvrement durs ou des dispositifs de recouvrement à rouleaux, en raison de la température élevée du lit de poudre et de la nature différente des processus. La forme de la lame du dispositif de recouvrement dur est également différente de celle des dispositifs de recouvrement pour métaux, car le compactage du lit de poudre est plus essentiel pour le processus.

En ce qui concerne les dispositifs de recouvrement durs pour les systèmes LPBF pour métaux, une lame en céramique est nécessaire si le matériau est facilement magnétisable (par exemple les aciers maraging), sinon des lames HSS sont utilisées. Alors que les dispositifs de recouvrement durs assurent la meilleure répétabilité de la hauteur de couche, les dispositifs de recouvrement souples sont recommandées pour les pièces présentant un rapport d'aspect élevé. »



### Quelques conseils sur le positionnement des pièces

Pour minimiser les déformations ou les échecs de fabrication et, dans une certaine mesure, garantir l'efficacité de la lame de recharge à long terme,

l'opérateur doit prêter attention au positionnement des pièces.

Dans l'idéal, une fois que le dispositif de recouvrement a étalé une couche de poudre, la zone du composant construit ne devrait pas bouger. Dans la pratique, en fonction de nombreuses variables, la pièce peut bouger, entraînant une distorsion qui peut exercer une pression sur le dispositif de recouvrement. Cette pression peut plier ou casser le composant, ou dans le pire des cas, endommager la lame du dispositif de recouvrement.

Un positionnement correct de la pièce peut contribuer à éviter ces problèmes. Par exemple, il est possible d'éviter que le dispositif de recouvrement entre en contact avec plusieurs composants imprimés en 3D à la fois. L'opérateur peut échelonner les pièces sur la plateforme de construction pour réduire ce risque.

Un autre exemple consiste à placer les pièces les plus hautes le plus près de la machine à recouvrir. En effet, certaines imprimantes 3D peuvent nécessiter une pause dans la fabrication et l'ajout de poudre pour fabriquer des pièces de grande taille.

Par ailleurs, vous ne voudrez peut-être pas placer vos composants imprimés en 3D directement l'un derrière l'autre. La raison en est que la fabrication peut continuer si la pièce ou le réceptacle est endommagé.

Enfin, certains fabricants de pièces explorent de plus en plus l'idée d'un contrôle in situ des défauts géométriques et de surface dans la fusion sur lit de poudre afin de surveiller le processus de recouvrement et de prévenir les problèmes susceptibles d'entraîner un échec de la fabrication.

### Quelques mots sur les entreprises participantes

Open Additive est un fabricant de systèmes de fabrication additive métal (FA), de solutions de contrôle des processus et de produits et services connexes. L'entreprise fait partie du groupe Arctos, une société de R&D appliquée de premier plan qui définit la trajectoire de la prochaine génération de technologies de l'aérospatiale et de la défense. La société a récemment lancé AMSENSE Chimera with Recoat+ pour résoudre les problèmes liés au recouvrement pendant le processus de fabrication. La nouvelle offre AMSENSE Chimera with Recoat+ est spécialement conçue et réglée pour identifier les problèmes liés au processus de recouvrement sur les machines EOS M400 et M290. Elle constitue une plate-forme de détection tierce abordable qui augmentera le rendement et réduira les échecs de fabrication sur les machines LPBF les plus critiques et les plus répandues sur le marché de l'aérospatiale.

EOS fabrique des systèmes de FA pour les polymères et les métaux. L'entreprise propose une large gamme de dispositifs de recouvrement durs et souples. En fonction de la magnétisabilité, une lame HSS (standard) ou une lame en céramique (poudres magnétisables) sera utilisée. Même si elle offre à

ses clients un maximum de flexibilité et d'ouverture, l'entreprise indique que la configuration du dispositif de recouvrement dur est, dans la plupart des cas, l'option préférée. Les dispositifs de recouvrement souples sont les suivants :

- Deux types de lames pour polymères : Silicone et NBR pour différentes plages de température et exigences de rigidité.

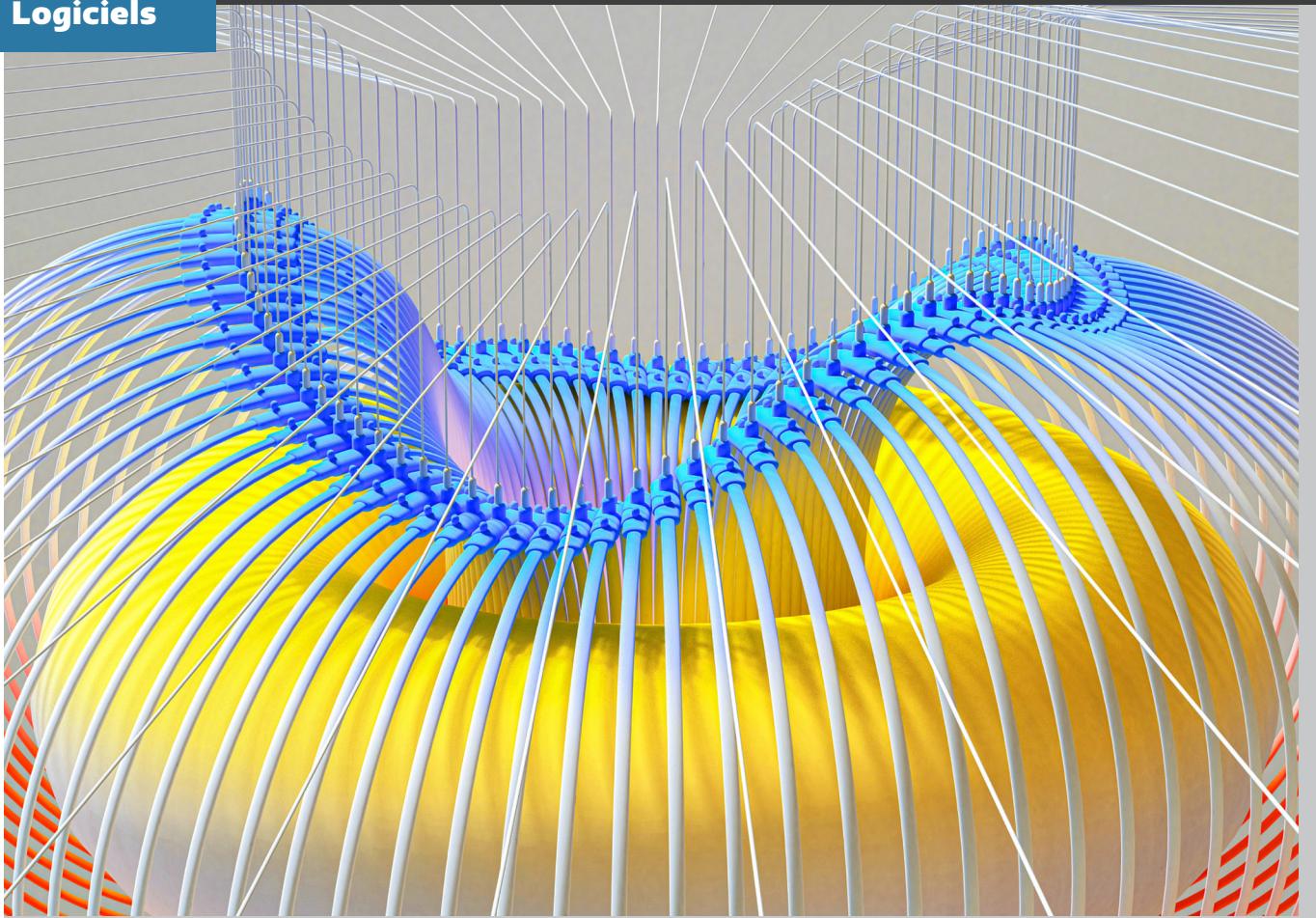
- Une brosse en fibre de carbone, qui est encore plus indulgente pour les pièces fragiles et à rapport d'aspect élevé qu'un dispositif de recouvrement souple pour polymères. Toutefois, si la brosse est endommagée par des arêtes saillantes ou une croissance hors plan due à des contraintes internes, il est également plus coûteux de remplacer ce type de dispositif.

Sur la base d'études détaillées des différents types de dispositifs de recouvrement, l'entreprise recommande la bonne configuration en fonction du cas d'utilisation.

## TELECHARGEZ LES DERNIERS NUMÉROS DE VOTRE MAGAZINE



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



## Quels sont les différents outils de conception dans la boîte à outils "DfAM" ?

I y a quelques années, pour comprendre comment « repenser la conception » en tenant compte des capacités des technologies de FA, nous avons abordé la [transition de la conception pour la fabrication \(DfM\) à la conception pour la fabrication additive](#) (DfAM = Design for Additive Manufacturing). Le dossier que nous avons publié abordait la véritable définition de la conception pour la fabrication additive et mettait en lumière une chose : lorsqu'elle est bien réalisée, la conception pour la fabrication additive peut réellement augmenter la valeur de la pièce. Aujourd'hui, on se rend compte que la boîte à outils « DfAM » reste un mystère pour de nombreux ingénieurs et concepteurs, et l'une des raisons qui peut expliquer cette énigme est le fait que cette boîte à outils se limite la plupart du temps à deux principes : **La conception générative** et **l'optimisation de la topologie**.

L'article ci-dessous vise à servir de point d'entrée pour aider les concepteurs et les ingénieurs à comprendre les différents outils de conception inclus dans la boîte à outils DfAM, ceux qui peuvent permettre la production et l'industrialisation (forces et limites), ainsi que ceux que nous devrions garder à l'œil au fur et à mesure que le domaine continue de progresser. À l'avenir, chaque outil de conception fera l'objet d'un examen approfondi dans des articles spécifiques.

Donc, oui, la conception générative (GD = Generative Design) et l'optimisation topologique (TO = Topology Optimization) sont souvent les techniques de conception les plus mises en avant lorsqu'il s'agit de concevoir pour la FA. Selon **Tim W. Simpson**, professeur de génie mécanique et industriel à [l'université d'État de Pennsylvanie](#), cela peut s'expliquer par le fait qu'elles « existent depuis longtemps et

présentent souvent des avantages immédiats en termes de gain de poids et d'augmentation de la valeur lors de l'utilisation de la FA ». En réalité, la FA étant une technologie dont l'histoire s'écrit encore, de nombreux concepts ne sont pas universellement normalisés, et la DfAM en fait partie. C'est la raison pour laquelle une **compréhension approfondie de chaque concept nécessite une combinaison d'informations provenant à la fois du monde universitaire et de l'industrie**.

Dans ce cas précis, nous avons décidé de nous appuyer sur l'expertise de Tim Simpson, qui est l'auteur de plusieurs articles publiés sur ce sujet.

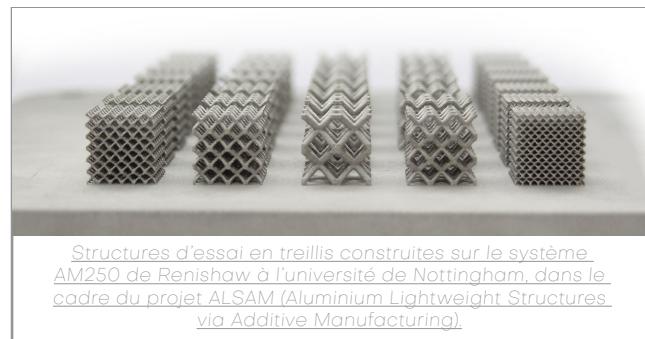
Selon notre expert, les autres techniques comprennent :

- Les **structures en treillis**, un moyen de réduire le poids ou d'augmenter la rigidité. On parle souvent de « conception de structures multi-échelles », telles que les structures en treillis ou les structures cellulaires.
- La **bio-inspiration**, une approche souvent assimilée aux algorithmes de conception générative, mais beaucoup plus large.
- La **consolidation des pièces** ou « unitisation », utilisée pour réduire le poids et les coûts d'assemblage, tout en augmentant l'intégrité structurelle d'une pièce obtenue par FA.
- Inversement, on peut aussi utiliser la FA pour fabriquer des **structures intentionnellement poreuses**, qui offrent de nombreux avantages en matière de gestion des fluides et de la chaleur, par exemple.
- **L'intelligence artificielle (IA)** permet toutes sortes de nouvelles approches informatiques en matière

de DFAM.

« Une bonne vieille conception «intelligente» peut également s'avérer très utile dans le cadre de la DFAM. Nous sommes tellement habitués à concevoir des pièces en CAO que nous avons tendance à nous limiter à ce qui est facile à faire en CAO : se déplacer dans les dimensions X, Y, Z, extruder, balayer, tourner, etc. La FA vous libère de ces contraintes, ce qui nécessite de libérer votre esprit de la façon dont vous pensez souvent lorsque vous créez un modèle en CAO, ce qui implique souvent de soustraire de la matière à des géométries plus grandes qui sont combinées pour créer des formes complexes. En bref, les concepteurs doivent penser «de l'intérieur vers l'extérieur» plutôt que «de l'extérieur vers l'intérieur» lorsqu'ils utilisent la CAO pour la fabrication assistée par ordinateur. C'est une façon de commencer à changer l'état d'esprit pour la FA, et c'est vraiment ce que la conception générative et l'IA font – inspirer les concepteurs à penser différemment sur la façon de créer des géométries uniques qui peuvent maintenant être construites avec la FA », ajoute le professeur Simpson.

Outre ces outils, de nombreux experts considèrent souvent la personnalisation de masse comme une technique de conception. S'il ne s'agit pas d'une méthode à proprement parler, nous pensons qu'elle en est une, car la production d'un moule différent pour chaque ajustement de produit demandé demande généralement beaucoup de temps, mais ce temps



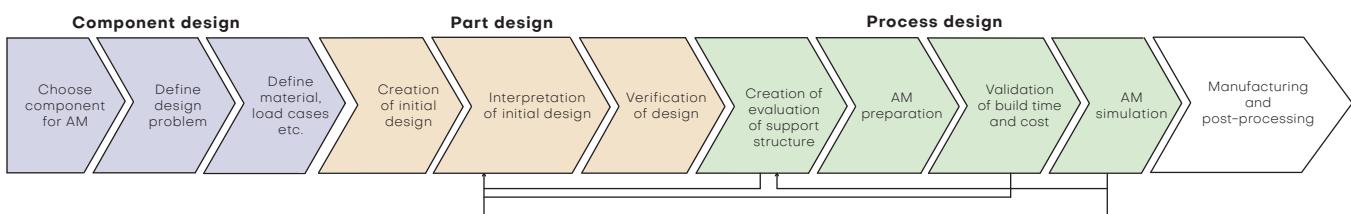
Structures d'essai en treillis construites sur le système AM250 de Renishaw à l'université de Nottingham, dans le cadre du projet ALSAM (Aluminium Lightweight Structures via Additive Manufacturing).

est réduit grâce à un fichier 3D facile à modifier qui permet la personnalisation.

Cela dit, quelle que soit la méthode choisie, le concepteur gardera toujours à l'esprit la forme, la fonction, l'esthétique et, aujourd'hui, de plus en plus, les éléments de durabilité de la conception d'un produit.

## Stratégies de conception et techniques de conception

Il est inutile de connaître toutes ces techniques de conception si l'on ne sait pas où et comment utiliser chacune d'entre elles. Il va sans dire que le choix d'une technique de conception exige avant tout une compréhension approfondie des étapes du processus de conception : la **conception du composant**, la **conception de la pièce** et la **conception du processus**.



Légende : Différentes étapes de conception dans le processus de fabrication. Image via Emerald.

Pour faciliter la prise de décision concernant les produits ou les composants qui devraient être fabriqués avec la fabrication additive (FA), une étude de **Christoph Klahn**, chef du groupe [Design for New Technologies à l'ETH Product Development Group](#), mentionne quatre points pour lesquels la technologie de FA offre des possibilités d'ajouter de la valeur au produit par rapport aux méthodes de fabrication conventionnelles.

Le premier est **la conception intégrée**, où l'accent est mis sur la réduction du nombre de pièces dans le système. Le deuxième est **la possibilité d'individualiser les produits ou les composants**. Le troisième point est que la méthode de fabrication permet une **conception plus légère** par rapport à la fabrication conventionnelle. Le quatrième point est **la possibilité de créer des conceptions plus efficaces**, basées sur le fait qu'une pièce plus

complexe n'est pas plus chère à fabriquer qu'une pièce simple.

À ces éléments, Klahn ajoute la perspective de l'analyse de rentabilité, qui peut être motivée par la fabrication (production rapide, personnalisation potentielle, sans besoin d'outils ou de moules spécifiques – donc possibilité de modifier le processus de fabrication à d'autres étapes du développement du produit) ou la **fonction** (tirer pleinement parti de la forme libre de la conception offerte par l'AM ; peut être lié à une technique de FA spécifique et peut-être même à une machine spécifique).

En plus d'aider à choisir la stratégie de conception idéale à suivre pour une application donnée, ils aident également à décider des outils de conception à utiliser. Tim W. Simpson répond à cette question :

« Malheureusement, les outils et les techniques de conception sont souvent limités – ou

dictés – par les logiciels dont l'utilisation est approuvée au sein d'une entreprise. Il existe d'innombrables start-ups et outils logiciels basés sur le cloud, par exemple, qui sont maintenant disponibles pour la DFAM, mais ils ne figurent souvent pas sur la liste d'approbation ou ne sont pas accessibles à travers le pare-feu de l'entreprise. Les étudiants et les universitaires ont beaucoup plus de flexibilité et de liberté dans ce qu'ils peuvent utiliser, ce qui pourrait éventuellement contribuer à transformer les outils et les logiciels de DFAM utilisés dans l'industrie.

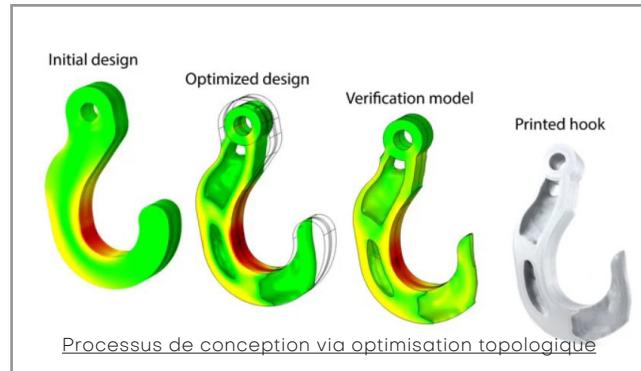
L'impact de toute technique de conception est évalué en fonction de l'efficacité et de l'efficience avec lesquelles le logiciel peut aider les concepteurs à mettre au point une solution qui répond aux exigences, qui existent toujours pour tout ce qui est conçu, quelle que soit la manière dont le produit est fabriqué. Ainsi, la recherche de

conceptions plus légères, par exemple, peut servir de base à la comparaison de deux solutions, à condition que toutes les autres exigences soient satisfaites ».

## Principales spécifications des méthodes de conception

Soyons clairs : cette partie de l'article n'a pas l'ambition de dire qu'une technique de conception spécifique est meilleure qu'une autre. Cependant, plus on analyse le processus de fabrication des pièces imprimées en 3D, plus on se rend compte que certains avantages peuvent jouer en faveur de certaines techniques de conception, selon qu'elles aident la pièce imprimée en 3D à offrir une valeur économique, écologique ou d'expérience.

Par exemple, l'optimisation topologique est une technique principalement utilisée pour alléger la conception de pièces structurelles (-valeur d'expérience/fonctionnelle). Cela signifie qu'elle peut aider à créer une conception qui a été optimisée pour l'intégrité structurelle sur la base de critères existants, alors que la conception générative peut aider à créer plusieurs conceptions de manière évolutive.



« Les outils d'optimisation topologique ont certainement une longueur d'avance, étant donné l'ancienneté de ces outils logiciels et de ces algorithmes. Les outils de conception générative rattrapent rapidement leur retard, et nous voyons beaucoup plus de conceptions basées sur des treillis maintenant, étant donné la disponibilité de meilleurs outils logiciels pour générer des géométries de treillis complexes. Les outils basés sur l'IA commencent à exploser autour de nous, et nous verrons certainement toutes sortes d'approches nouvelles dans les deux ou trois prochaines années.

En fin de compte, la pièce obtenue par FA doit répondre aux exigences et être plus rentable que toute autre option de fabrication ; sinon, pourquoi une entreprise voudrait-elle utiliser la FA ? Il est vrai qu'il existe de nombreuses façons de rendre une pièce imprimée 3D plus rentable, au-delà d'une simple comparaison directe des coûts des matériaux et de la fabrication, mais cela reste essentiel pour permettre la production et l'industrialisation des pièces et des produits de FA », souligne le professeur Tim W. Simpson.

Par ailleurs, la conception computationnelle (qui comprend la conception paramétrique, la conception générative et la conception algorithmique) évolue de plus en plus à mesure que des normes sont établies dans ce domaine. Cependant, il faut garder à l'esprit ce que **Matthew Shomper** nous a dit dans l'édition de mars/avril de 3D ADEPT Mag (segment logiciel | pp -35-36) : « La conception computationnelle est

un outil formidable pour les structures complexes. [...] Mais ce n'est] pas pour les âmes sensibles. Les outils sont plutôt inaccessibles (avec des courbes d'apprentissage importantes) et ils nécessitent généralement une double connaissance de la conception pour les exigences et l'esthétique en même temps. »



Selon Simpson, le problème réside dans le fait que la confiance dans les résultats de l'analyse reste un défi pour de nombreuses entreprises. Par exemple, il est très facile de générer des structures en treillis complexes avec certains des nouveaux outils logiciels, mais l'analyse des treillis avec une précision suffisante pour comprendre comment ils peuvent échouer dans la pratique augmente l'incertitude et donc le risque, ce qui peut souvent faire dérailler un projet. De même, les différences entre la pièce imprimée et la pièce conçue peuvent être source d'incertitude et accroître encore la perception du risque en matière de FA. Enfin, un manque de compréhension et de prise de conscience de ce dont la FA est aujourd'hui capable peut entraîner une résistance à l'utilisation de la FA et de tout outil de conception computationnelle.

Enfin, toute technique de conception alimentée par l'IA soulèvera un certain nombre de questions à ce jour. Alors que nous assistons de plus en plus à l'apparition d'un certain nombre de solutions basées sur l'IA, on peut dire que nous passons progressivement de l'ère de la conception pour la FA à celle de la conception pour l'IA. Alors que la plupart des concepteurs tentent encore d'évaluer les avantages et les inconvénients de ces techniques, la réalité actuelle montre que l'IA peut aider à concevoir une pièce imprimée 3D plus rapidement et mieux qu'un concepteur humain. Et pour le professeur Simpson, « la vraie victoire sera de combiner les deux dans des approches hybrides qui tirent parti de ce que les humains font bien et de ce que l'IA et les algorithmes de conception computationnelle peuvent faire correctement ».

2  
0  
2  
3

# 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

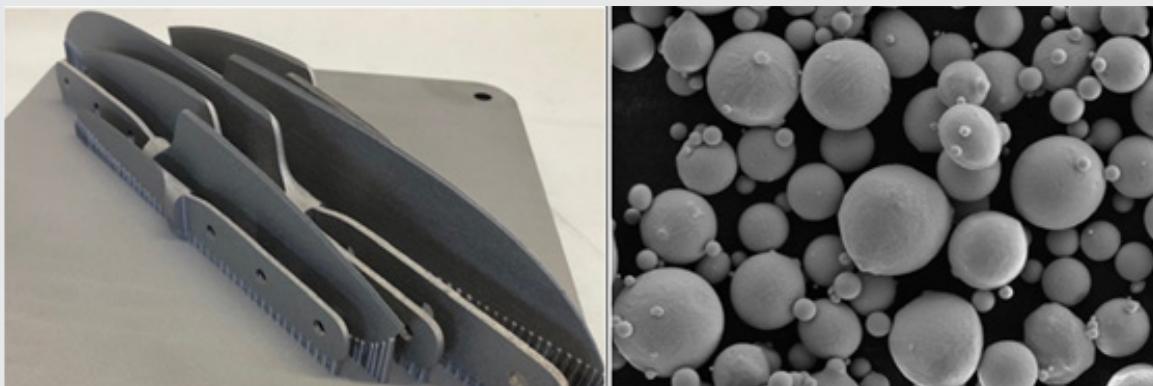
[WWW.3DADEPT.COM](http://WWW.3DADEPT.COM)

# Matériaux

**Principales considérations à prendre en compte pour la production de poudre d'acier inoxydable imprimable en 3D**



Il existe un certain nombre de raisons pour lesquelles on peut choisir l'acier inoxydable pour les processus de fabrication additive (FA), notamment ses propriétés mécaniques et de corrosion supérieures à celles d'autres types d'acier (ce qui signifie que le composant durera plus longtemps), et son caractère durable. Dans l'article ci-dessous, **Andoni Sanchez-Valverde Erice**, ingénieur commercial/R&D chez le producteur de poudres métalliques [Outokumpu](#), explique certaines des considérations techniques clés dans la production de poudres d'acier inoxydable sphériques.



**Figure 1** – Couteaux produits par impression 3D (à gauche) à l'aide de la force du métal (à droite) –  
Photographie des couteaux avec l'autorisation d'Ernst Krebs KG

Actuellement, **l'acier inoxydable est la troisième matière première préférée des industries de FA**, derrière les alliages de titane et les alliages de nickel. Toutefois, selon le cabinet de consultation AMPOWER, d'ici à la fin de 2027, l'acier inoxydable sera la matière première la plus utilisée, avec une part de marché de 33 %.

## Production de poudre d'acier inoxydable

La poudre d'acier inoxydable est produite par le **procédé d'induction sous vide et d'atomisation par gaz inert** (VIGA) illustré à la figure 2. Ce procédé permet d'obtenir des poudres métalliques hautement sphériques d'un diamètre compris entre 0 et 300 µm.



Figure 2 – Schéma du procédé VIGA

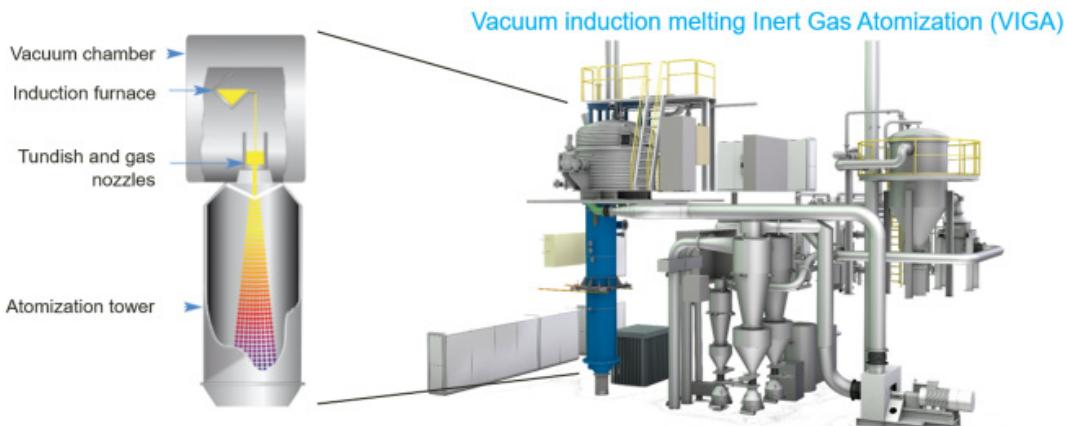


Figure 3 - Équipement du processus VIGA

**Prématériau :** Dans la plupart des cas, le pré-matériau est constitué de déchets provenant de la transformation de produits plats. Le matériau est ensuite découpé en petits morceaux adaptés au processus - généralement 25 x 25 x 1~4 mm. Ces petits morceaux sont ensuite placés dans le creuset du four.

**Fusion :** Elle s'effectue sous vide afin d'éviter une éventuelle contamination par l'oxygène et la combustion d'éléments importants de la matière fondu. Il est possible de mesurer et de contrôler tous les paramètres importants du processus, tels que la température, la pression et le vide. La matière fondu peut également être analysée chimiquement pour vérifier si un alliage supplémentaire est nécessaire pour obtenir la bonne composition. Lorsque la matière fondu est prête, le four est rincé à l'argon ou à l'azote et le processus de coulée commence.

**Atomisation :** La matière fondu s'écoule à travers le répartiteur et est atomisée en très petites gouttelettes par de l'azote ou de l'argon à haute pression et à haute température (jusqu'à 32 bars et 450 °C). Les petites gouttelettes se solidifient en forme de sphère et volent à travers les tuyaux jusqu'au cyclone. La poudre solidifiée y est séparée du gaz et recueillie dans les bacs de collecte.

**Tamisage :** La poudre est séparée en différentes fractions par un tamisage mécanique et un classificateur à air afin de cibler différentes technologies de métallurgie des poudres. Si, par exemple, un client ne souhaite pas que plus de 5 % de sa poudre ait une taille inférieure à 20 µm, le classificateur à air peut être utilisé pour séparer les poudres les plus petites du lot.

#### Pourquoi le choix du gaz d'atomisation est-il important ?

Il y a quatre raisons principales pour

lesquelles un client peut choisir l'azote (N) ou l'argon (Ar) comme gaz d'atomisation de ses poudres :

**Le prix :** L'azote est moins cher que l'argon. Cela a un impact sur le prix de la poudre finie. La poudre atomisée avec de l'argon sera plus chère.

**La morphologie :** La capacité thermique de l'argon est inférieure à celle de l'azote. Par conséquent, la poudre atomisée avec de l'argon a plus de temps pour atteindre la morphologie sphérique souhaitée avant de se solidifier. Les poudres atomisées avec de l'azote se solidifient plus rapidement et prennent une forme plus irrégulière, même si elles sont encore très sphériques.

**La proportion de poudres fines :** Lors de l'atomisation d'un lot dans les mêmes conditions de température et de pression, la proportion de poudres fines - qui sont intéressantes pour certaines technologies de FA - est plus élevée lorsque l'on utilise de l'azote. L'explication complète de ce phénomène est assez technique. La raison en est simple : les atomes d'azote sont plus petits et, à température et pression égales, il faut donc moins d'énergie pour diviser le métal en un plus grand nombre de petites gouttelettes.

**Les propriétés des poudres :** Les propriétés mécaniques et de corrosion des poudres peuvent être influencées par le gaz d'atomisation. Par exemple, l'azote peut augmenter à la fois l'usinabilité et les propriétés de corrosion des pièces imprimées.

#### Le système antisatellite fait une différence cruciale

Le système anti-satellite est une caractéristique essentielle de la production de poudres. Les satellites sont de petites gouttelettes qui adhèrent aux grosses particules sphériques (voir figure 4). Pour éviter cela, de l'argon ou de l'azote est recyclé dans la tour d'atomisation. Ce

gaz pousse les très petites gouttelettes vers le bas, ce qui réduit la probabilité de présence de satellites dans les particules en cours de solidification.

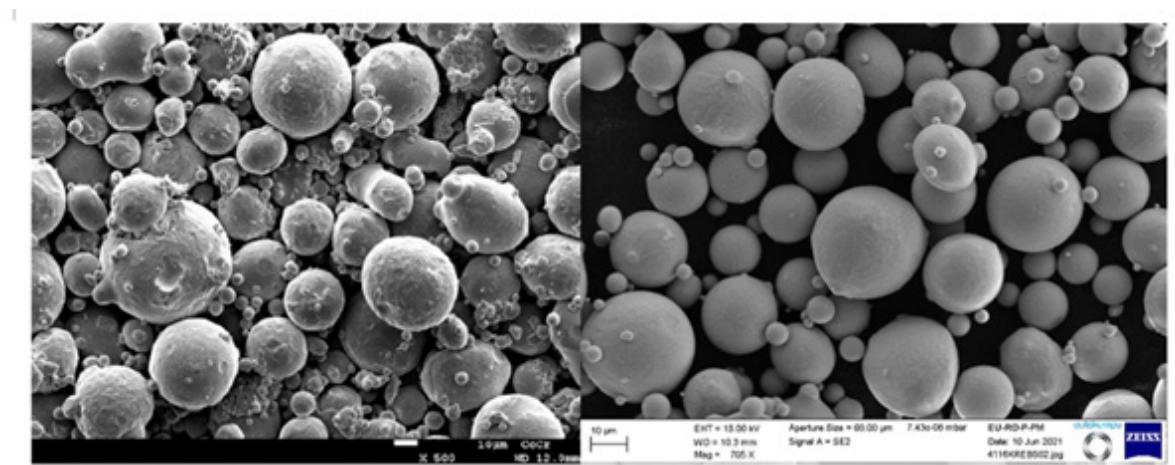


Figure 4 - a) poudre sphérique avec une grande quantité de satellites b) poudre sphérique avec une petite quantité de satellites

La présence de satellites plutôt que d'une poudre lisse et ronde aura un impact sur la qualité des composants imprimés 3D de deux manières :

**L'étalement :** L'étalement de la poudre est réduit si elle présente des satellites plutôt que des poudres parfaitement sphériques. Ceci est important pour la partie du processus où la couche de poudre suivante est étalée sur la couche de poudre existante par le recouvreur.

**La morphologie :** Les satellites réduisent la densité apparente et le tassemement de la poudre. Si la densité de la poudre est réduite, le risque d'échec dans le processus de FA est plus élevé, en raison des pores ou des espaces d'air entre les particules.

### La nécessité de disposer d'une gamme de tailles de poudre

Chaque technologie de métallurgie des poudres nécessite des poudres de tailles différentes. C'est pourquoi les poudres se différencient non seulement par leur qualité et le gaz utilisé pour l'atomisation, mais aussi par leur taille. Les poudres jusqu'à 300 µm conviennent aux technologies de FA et de métallurgie de poudres :

- Technologie de projection de liant (BJT): <20 µm
- Fusion laser sur lit de poudre (PBF-LB) : 15 à 45 µm et 20 à 63 µm
- Fusion sur lit de poudre par faisceau d'électrons (PBF-EB) : 20 à 150 µm
- Dépôt direct d'énergie (DED) : 20~45 à 150 µm

150 µm

- Moulage par injection de métal (MIM) : <20 µm
- Pressage isostatique à chaud (HIP) : 0-300 µm

### Extension du champ d'application des nuances d'acier inoxydable

À l'heure actuelle, les nuances d'acier inoxydable les plus largement utilisées dans le cadre de la FA et d'autres technologies des poudres sont le **316L** et le **17-4PH**. Toutefois, un certain nombre de nouvelles nuances d'acier deviennent disponibles pour le secteur de la FA et répondent mieux aux exigences des applications de haute performance.

Les aciers inoxydables «de base» utilisés dans les technologies de FA sont les suivants :

- **316L (1.4404)** : une alternative à faible teneur en carbone à l'acier 316. Cela minimise la précipitation de carbure à la suite d'un apport de chaleur, par exemple pendant le soudage, ce qui améliore la résistance à la corrosion intergranulaire. Le 316L/4404 convient à une grande variété d'applications dans les industries automobile, chimique, pétrochimique et médicale. Les produits typiques comprennent les brides, les vannes et les appareils médicaux.
- **17-4PH (1.4548)** : l'acier martensitique bien connu à durcissement par précipitation (PH) avec des éléments d'alliage tels que le chrome ou le nickel. Il possède de bonnes

propriétés de corrosion et d'excellentes propriétés mécaniques jusqu'à 300°C. Il est utilisé dans les industries aérospatiale, papetière et nucléaire pour des produits tels que les garnitures mécaniques, les pompes ou les pales de turbines.

Les nuances d'aciers inoxydables spéciaux à valeur ajoutée sont les suivantes :

**- 904L (1.4539) :** Nuance spéciale pour les environnements à forte corrosion. Il s'agit d'un acier inoxydable austénitique à forte teneur en nickel et en molybdène qui présente une très grande résistance à la corrosion. Développé à l'origine pour la manipulation de l'acide sulfurique à température ambiante, il est aujourd'hui utilisé dans une large gamme d'applications dans les industries pétrolières, gazières et chimiques. Les pièces typiques produites en 904L sont les pompes, les vannes et les brides.

**- 253MA (1.4835) :** Nuance spéciale pour les applications à haute température. Il s'agit d'un acier inoxydable austénitique doté d'une excellente résistance à l'oxydation et au fluage dans des conditions cycliques, qui est le mieux adapté aux températures allant jusqu'à 1150°C. Il est utilisé dans les industries du pétrole et du gaz, de l'aérospatiale et du sport automobile pour des pièces telles que les raccords et les échangeurs de chaleur.

**- 1.4116 :** Nuance spéciale qui est un acier inoxydable martensitique à haute dureté offrant une meilleure résistance à la corrosion et à l'usure que les autres aciers inoxydables martensitiques. Elle est utilisée dans les secteurs de la santé et des biens de consommation pour des produits tels que les appareils médicaux et les couteaux.

- La poudre d'acier inoxydable austénitique sans nickel (modifié 1.4678) : Cette poudre d'acier inoxydable sans nickel spécialement développée est un substitut idéal aux alliages 316L ou Co-Cr. C'est également une qualité parfaite pour éviter les réactions allergiques au nickel dans les applications de santé ou les applications de biens de consommation pour des produits tels que les montres et autres articles portés près du corps.

Des alliages à base de nickel (Ni) sont également disponibles :

**- Alliage 625 :** Pour une utilisation dans des environnements très difficiles et corrosifs à des températures élevées. L'alliage 625 combine du nickel, du chrome, du molybdène et du niobium qui lui confèrent d'excellentes propriétés de corrosion et d'excellentes propriétés mécaniques. Comparé à l'alliage

718, l'alliage 625 présente une plus grande résistance globale à l'oxydation. Il est utilisé dans les industries du pétrole et du gaz, de l'aérospatiale et de la défense pour des composants tels que les raccords, les pièces de fusée, les échangeurs de chaleur et les cuves.

**- Alliage 718 :** cet alliage à base de nickel est également utilisé dans des environnements à forte corrosion et à des températures élevées. Il contient du molybdène, du tantale, de l'aluminium et du titane qui lui confèrent une plus grande résistance et une meilleure soudabilité, ainsi qu'une meilleure résistance à la fissuration par corrosion sous contrainte (FCC) que l'alliage 625. Il est utilisé dans les industries du pétrole et du gaz, de l'aérospatiale et de la défense pour des composants tels que les raccords, les pièces de fusée, les échangeurs de chaleur et les cuves.

#### Faire passer la FA au niveau supérieur :

La disponibilité accrue des poudres d'acier inoxydable ouvrira de nouvelles possibilités aux concepteurs qui souhaitent créer des pièces par FA qui offrent une résistance à la corrosion, une durabilité et une longue durée de vie.

En tant que fabricant d'acier inoxydable, Outokumpu apporte ses connaissances à l'industrie en lançant une nouvelle activité pour soutenir la FA. Cela comprend la mise en service d'une usine d'atomisation dans notre usine de Krefeld, en Allemagne. Cette usine de poudre est en fait une grande unité de recyclage qui utilise les déchets issus des processus de production existants.



## Pourquoi l'adoption de la fabrication additive par faisceau d'électrons n'est pas encore assurée.

Sur le marché de l'impression 3D de métaux, les procédés DED et LPBF sont souvent les premières technologies qui viennent à l'esprit lorsqu'il s'agit de produire des pièces à grande échelle. Pourtant, derrière les pièces imprimées en 3D à grande échelle construites pour les industries terrestres, maritimes, aériennes et spatiales, se cache souvent une **technologie impressionnante de fabrication additive par faisceau d'électrons** (EBAM = **E**lectron **B**eam **A**dditive **M**anufacturing).

Dans ce processus, la matière première (poudre ou fil métallique) est placée sous vide et fusionnée par chauffage au moyen d'un faisceau d'électrons – contrairement à la méthode de frittage sélectif par laser où la poudre fond couche par couche. Les pièces fabriquées à l'aide d'imprimantes 3D EBAM le sont dans un environnement sous vide, à des températures extrêmement élevées

pouvant atteindre 1 000 °C. Ce procédé permet d'obtenir des pièces plus denses, généralement plus durables et ne nécessitant aucune application thermique après l'impression.

Il est intéressant de noter qu'il existe plusieurs technologies EBAM sur le marché. Toutefois, tout comme les machines LPBF, elles ne permettent pas nécessairement de produire des pièces à grande échelle. Sciaky, qui s'appuie sur son expertise en matière de soudage par faisceau d'électrons, fait partie de la liste exhaustive des fabricants proposant une technologie EBAM capable de produire des pièces de grande taille.

Créée en 1939, Sciaky a été fondée par une famille française qui a reçu le soutien du gouvernement américain pour développer son entreprise. Dans les années 1970, il a adopté la technologie de soudage par faisceau d'électrons, qu'il a progressivement

améliorée pour aider les fabricants à gagner du temps et de l'argent dans la production de grandes pièces métalliques. L'année 2009 a vu le lancement officiel du procédé EBAM (qui était alors commercialisé sous le nom de fabrication directe par faisceau d'électrons) en tant qu'option de service.

À ce jour, Sciaky est une filiale de Phillips Service Industries, qui emploie une cinquantaine de personnes au siège de Chicago et dispose de plusieurs imprimantes 3D EBAM à travers le monde. Alors que l'entreprise célèbre plus de deux décennies et demie d'utilisation de sa technologie EBAM, nous nous sommes entretenus avec **John O'Hara** pour comprendre les principales spécifications de l'EBAM pour les pièces de grande taille, la raison pour laquelle cette technologie est encore négligée et le marché commercial qu'elle représente.

## Principales spécifications d'EBAM pour les pièces de grande taille

Parmi les applications que le procédé d'EBAM de Sciaky a permis de réaliser, je me souviens d'un longeron d'aile d'avion en titane qui s'étendait sur 12 pieds de long (3,7 m) et d'une énorme pièce aérospatiale en titane qui pesait plus de 3 000 livres (1 360 kg) et dont la construction a duré 120 heures.

Une chose que nous avons rapidement apprise chez O'Hara est que la taille peut toujours être faite sur mesure. Puisqu'elle construit ses systèmes de soudage sur mesure, il était évident pour l'équipe de construire des chambres sur mesure pour ses machines EBAM. « Les machines EBAM sont généralement fabriquées sur commande, avec des enveloppes de travail allant jusqu'à 6000 mm x 2000 mm x 1800 mm pour notre plus grande machine, et notre machine la plus courante avec une enveloppe de travail de 2000 mm x 1100 mm x 1500 mm. L'EBAM est toujours réalisé dans un environnement sous vide, ce qui est idéal pour les métaux réactifs tels que le titane, le nickel et les métaux refractaires », explique O'Hara.

Pour fabriquer des pièces métalliques comparables à celles obtenues par des méthodes de fabrication traditionnelles telles que le moulage, les concepteurs et les ingénieurs doivent garder à l'esprit un certain nombre de contraintes qu'ils devront surveiller et traiter au niveau de la conception et pendant le processus de fabrication.

L'une des considérations au niveau de la conception est que le procédé « EBAM doit toujours maintenir le bain de fusion dans une orientation horizontale et doit toujours imprimer sur du métal existant. Cela réduit les possibilités d'imprimer des cavités creuses. La résolution des caractéristiques d'EBAM est au mieux de 2 mm à des taux de dépôt faibles, mais elle est généralement de 8 à 12 mm », selon O'Hara.

En ce qui concerne le matériau, grâce à l'utilisation de fils au lieu de poudres, la technologie permet de réduire les déchets et les coûts, ce qui se traduit par des économies significatives. En outre, contrairement aux matériaux métalliques en poudre qui sont assez limités en raison de leur coût élevé, les produits en fil métallique sont plus disponibles.

Comme beaucoup d'imprimantes 3D industrielles, quelle que soit leur technologie, le procédé EBAM



Un système Sciaky EBAM 100 - Avec l'aimable autorisation de Sciaky

peut également entraîner des problèmes de qualité en raison de changements potentiels dans les paramètres du processus, dans le processus de dépôt ou de réglages incontrôlés dans la chambre de construction. Pour contrôler en permanence ces paramètres et y remédier, l'entreprise a développé une fonctionnalité unique à ses machines : un système de contrôle des processus. Baptisée IRISS®, cette option, qui signifie *Interlayer Realtime Imaging & Sensing System*, est placée à l'intérieur de l'imprimante 3D. Il est capable de détecter et d'ajuster numériquement le dépôt de métal avec précision et répétabilité.

En l'absence quasi totale de post-traitement et compte tenu des caractéristiques susmentionnées, le procédé EBAM semble être le candidat idéal en matière de technologie de production. Alors, pourquoi cette technologie est-elle encore négligée ?



Cette photo montre deux étapes différentes d'un longeron supérieur arrière d'Airbus qui a été imprimé en 3D en titane avec le procédé EBAM de Sciaky. L'image de gauche montre la pièce à un stade précoce de la préforme. L'image de droite montre la pièce finie. Avec l'aimable autorisation de Sciaky.



Photo - John O'Hara

### **La raison pour laquelle elle est encore négligée et le marché commercial de cette technologie**

Pour O'hara, le principal défi consiste à financer la qualification de sa technologie métallique pour les processus de production.

« En tant que fabricant, nous cherchons toujours à réduire les coûts. Cependant, quel que soit le secteur, la fabrication d'une grande pièce reste coûteuse. **Le plus grand défi pour les machines grand format**

**est qu'elles sont très chères.** L'investissement que vous faites est assez important dans le cycle de développement et l'investissement opérationnel devrait être proportionnel au type de pièces que vous voulez produire », souligne le directeur des ventes globales.

Même si l'EBAM est loin d'être adopté par rapport au procédé LPBF, « ces deux technologies ne se chevauchent pas et ne sont pas en concurrence », ajoute-t-il. « Le procédé LPBF ne peut pas produire des pièces de la taille d'EBAM, et l'EBAM n'est pas économique à utiliser sur des pièces dont la taille est idéale pour le procédé LPBF. Le procédé LPBF est disponible depuis plus longtemps et beaucoup plus d'entreprises travaillent à l'amélioration de la technologie. »

La question à un million de dollars qui vient ensuite est la suivante : **comment faire face à cette situation?** Sensibiliser les utilisateurs au potentiel de l'EBAM pour les pièces de grande taille est certainement une étape à explorer, mais ce ne devrait pas être la seule. Une grande partie du travail réside également dans le développement d'applications qui ne sont pas toujours exploitées dans les industries aux exigences les plus strictes. En fin de compte, plus les exigences de qualification sont élevées, plus il faudra de temps pour réaliser les applications.

Par ailleurs, l'une des voies que les adoptants pourraient toujours emprunter – quel que soit leur secteur d'activité – est celle qui mène au fournisseur de services de FA.

« La plupart des gens souhaitent travailler avec des fournisseurs de services de FA. La plupart des machines que nous vendons sont utilisées pour des applications internes. Cependant, Sciaky peut prendre en charge un contrat de production. Nous aidons nos clients à justifier le coût de la machine, à développer la technologie pour leur propre usage ainsi que les propriétés des matériaux idéaux pour leurs applications », conclut O'Hara.



# Espace Start-up

## ADDVANCE sur la convergence du "Lean Management" et de la Fabrication Additive dans une chaîne d'approvisionnement perturbée

Une compréhension générale de la fabrication additive (FA) et du Lean Management (LM) permettra à la plupart des industriels de s'accorder sur ce qui semble être un fait incontestable: la FA peut facilement converger avec le Lean Management, car la première favorise l'efficacité des ressources et des coûts que la seconde fournit déjà. Le problème est que, comme la productivité a souvent constitué la base de la mesure de l'excellence opérationnelle, et donc l'objectif principal à atteindre dans la production industrielle, les petites et moyennes entreprises (PME) n'ont pas souvent réalisé que, même si les avantages de la FA sont les mêmes, des scénarios différents peuvent s'appliquer à elles lorsqu'il s'agit de réaliser une production en série avec la FA - d'une manière plus agile. Nous avons récemment rencontré **Elvira Leon**, CEO d'**ADDVANCE**, pour comprendre les erreurs qu'elles commettent souvent lorsqu'elles essaient de rendre leur entreprise plus agile grâce à la FA, et les domaines dans lesquels l'entreprise peut apporter son expertise pour les aider à atteindre cet objectif.

ADDVANCE est une entreprise espagnole fondée par trois ingénieurs ayant des dizaines d'années d'expérience dans le secteur industriel. Malgré les avantages de la FA, l'équipe



fondatrice déplorait que la technologie soit difficile à intégrer dans les environnements de production industrielle. Il y a trois ans, ils ont commencé à travailler sur le développement d'un logiciel d'entrepôt numérique et de fabrication à la demande, qui vise à garantir la traçabilité et à faciliter le processus à la fois dans la fabrication interne et avec les fournisseurs externes et les bureaux de service. L'équipe a commencé ses activités sur le marché espagnol, mais elle travaille aujourd'hui avec des clients en Europe et en Amérique.

« Notre mission est de fournir une solution complète pour fabriquer à la demande, près du point de consommation, en garantissant la qualité et la traçabilité sans compromettre la propriété industrielle des équipementiers. Une fabrication numérique et durable, qui permet la relocation de l'industrie. Nous nous concentrons sur les secteurs industriels (ferroviaire, automobile, machines et biens industriels, entre autres) en fournissant des solutions pour l'optimisation de la production et des opérations après-vente, en soutenant nos clients dans la création et l'exploitation

de leur modèle commercial de fabrication à la demande, en améliorant l'entrepôt numérique avec la fonctionnalité supplémentaire de contrôle des processus pour assurer la conformité réglementaire. Dans d'autres secteurs où les opérations de production ou de maintenance sont réparties ou éloignées (par exemple, l'énergie, le pétrole et le gaz, la maintenance des infrastructures, la marine et la défense), nous complétons notre offre avec une solution de fabrication locale, des micro-usines intelligentes déployables », explique le CEO d'ADDVANCE.

### Comment le LM et la FA peuvent s'influencer mutuellement

En ce qui concerne le Lean Management, les entreprises s'appuient souvent sur une approche intégrée comprenant des ressources humaines, des machines, des stratégies et des technologies émergentes pour maximiser les performances opérationnelles. Même s'il y a un manque de ressources sur la complémentarité entre le LM et la FA, les expériences holistiques observées jusqu'à présent révèlent que, lorsqu'elle est bien menée, la **convergence de la**



**FA et du LM permet facilement la fabrication de produits personnalisés, de plus en plus demandés dans un monde globalisé et numériquement connecté.** Cette situation est exacerbée par le fait que les attentes plus élevées des clients entraînent une augmentation de la diversité des variantes et intensifient la complexité de l'environnement de production.

Même si l'accent est mis sur la FA, il convient de garder à l'esprit que le LM peut influencer toutes les technologies et tous les processus de l'industrie 4.0 (véhicules guidés automatisés, représentation virtuelle, interaction homme-machine, informatique en nuage, big data et analyse de données).

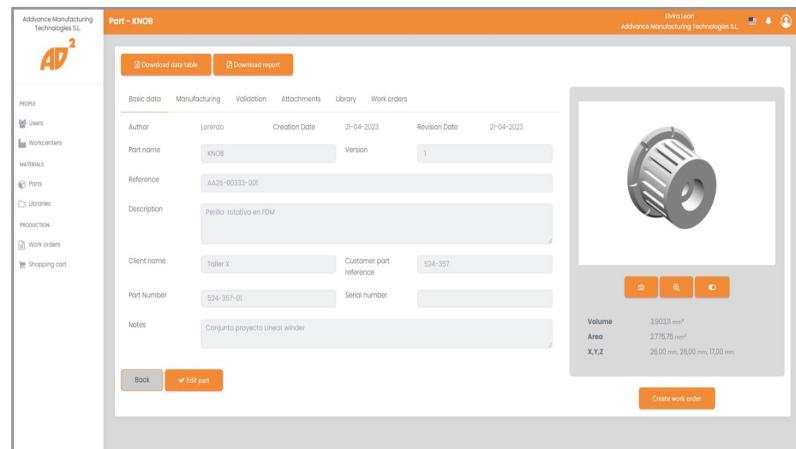
Cela étant dit, le LM est souvent considéré comme une condition préalable à l'introduction réussie de la FA ou de l'industrie 4.0 en général. Cela est étayé par le fait que les processus normalisés, transparents et reproductibles sont d'une importance capitale pour la FA, par conséquent, les dirigeants ont besoin de compétences en LM pour prendre en compte la valeur client et éviter le gaspillage. En outre, en réduisant la complexité des produits et des processus, le LM permet une utilisation efficace et économique des outils de l'industrie 4.0.

Par ailleurs, les outils de l'industrie 4.0 tels que la FA font progresser la gestion allégée car ils s'appuient sur des données en temps réel qui améliorent la transparence et la qualité de l'information ; sans oublier que notre industrie doit continuellement faire face à une demande de marché fluctuante qui est influencée par un large éventail de variables.

Selon **Elivra Leon**, lorsqu'elles cherchent à rendre leur entreprise agile, les PMEs ont souvent du mal à trouver les applications ou l'analyse de rentabilité, car elles manquent de connaissances sur les aspects économiques et organisationnels de la FA. « On a tendance à comparer le prix actuel par pièce dans la technologie conventionnelle avec le prix de la FA, et les avantages dans les étapes de pré-production ou dans la chaîne logistique ne sont pas pris en compte. Une fois les applications identifiées et la possibilité de gérer leur production par le biais d'une plateforme de fabrication à la demande, la gestion de leur entrepôt numérique en toute sécurité leur donne de la flexibilité et des économies significatives, et leur compétitivité s'en trouve multipliée », a déclaré Leon.

Cette comparaison des prix serait le principal obstacle à une intégration efficace de la technologie de FA dans la chaîne d'approvisionnement des PMEs. Leon ajoute :

« Le nirvana de la logistique est un processus dans lequel il n'y a pas de stocks et dans lequel les pièces ou les produits finis parviennent au client final, où qu'il se trouve, au moment où il en a besoin. C'est la base de l'élaboration d'une stratégie de gestion de la chaîne d'approvisionnement qui vise à rapprocher l'entrepôt du lieu d'utilisation. Dans ce scénario, la combinaison des outils d'entreposage



numérique et des technologies de fabrication additive est la solution à un nouveau modèle de fabrication à la demande, pour lequel une nouvelle chaîne d'approvisionnement agile doit être conçue. Ce modèle implique de nombreux changements dans la façon dont les entreprises travaillent aujourd'hui et nécessite la mise en œuvre de nouvelles solutions de traçabilité, mais aujourd'hui nous pouvons dire qu'il est déjà réalisable ».

Cela signifie que pour atténuer les risques spécifiques de la chaîne d'approvisionnement, la **fabrication peut être répartie géographiquement** (fabrication des produits sur plusieurs sites, souvent à proximité du point de demande), **tout au long de la chaîne de valeur** (fabrication des produits par d'autres entités, telles que les réseaux de fournisseurs ou même les clients) et **dans le temps** (étalement de la production dans le temps en quantités spécifiques pour répondre à une demande sporadique et difficilement prévisible).

Sur le long terme, la CEO d'ADDVANCE recommande aux entreprises qui cherchent encore à faire faire converger la FA et le LM de suivre quelques étapes :

« Tout d'abord, il faut réaliser une analyse de faisabilité du modèle de fabrication, en évaluant les avantages, les défis et les coûts de mise en œuvre, tant sur le plan technique qu'économique. Si le résultat de l'analyse est positif, il faut alors identifier les technologies de FA les plus appropriées pour le réaliser et envisager l'internalisation ou l'externalisation totale ou partielle, avec des fournisseurs de fabrication externes. L'essentiel est de choisir la technologie de FA optimale, car nous savons qu'il existe de nombreuses options différentes, chacune d'entre elles convenant à des applications et à des matériaux différents.

Une fois le modèle de fabrication défini, la mise en œuvre est simple. Toutefois, il est important de faire appel à des experts. Construisez un entrepôt numérique, un «jumeau numérique» de votre entrepôt physique, qui recueille toutes les informations sur les pièces et le processus de fabrication, et exploitez-le par l'intermédiaire d'une plateforme de fabrication à la demande connectée, afin d'évaluer un processus intégré, contrôlable et traçable, et de garantir la sécurité des actifs et de la propriété intellectuelle de l'entreprise ».



# Additive Manufacturing / 3D Printing



AM SYSTEMS



3D PRINTERS



MATERIALS

More info at « [www.3dadept.com/contact-us/](http://www.3dadept.com/contact-us/) » | [contact@3dadept.com](mailto:contact@3dadept.com)

# formnext

7 – 10.11.2023

FRANKFURT/GERMANY

mesago

## Reconfigure manufacturing!

Demand for increasingly complex and customized parts is rising, product cycles are becoming shorter, established supply chains are being called into question and sustainability is playing an ever greater role.

In short: Industrial production is becoming more demanding. Additive Manufacturing offers solutions to meet these challenges and inspire your customers.

**Be ahead of your competition: Visit Formnext, the international expo and convention for Additive Manufacturing in Frankfurt am Main, Germany.**

**Where ideas take shape.**

Honorary sponsor



Working Group  
Additive Manufacturing