

aqqitiq

FABRICATION

FABRICATION

additive

3D ADEPT MAG

IMPRESSION 3D

**DOSSIER : COMPRENDRE LES COMPLEXITÉS ET
LES OPPORTUNITÉS DE LA FABRICATION ADDITIVE MULTI-LASER**

N°1 - Vol 6 / Janvier février 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

Fabrication Additive / Impression 3D



RAPPORTS



DOSSIERS



APPLICATIONS



PROMOTIONS



COLLABORATION

3D ADEPT MEDIA
All about Additive Manufacturing

www.3dadept.com

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

Email: 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

Périoricité & Accessibilité :

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

Exactitude du contenu

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

Publicités

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

Responsabilité de l'éditeur

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

Reproduction

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



Questions et 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

Editorial 04

Dossier 07

COMPRENDRE LES COMPLEXITÉS ET LES OPPORTUNITÉS DE LA FABRICATION ADDITIVE MULTI-LASER

Business 13

- LE PAYSAGE DE L'INVESTISSEMENT CHANGE. QUE DOIVENT ENVISAGER LES FONDATEURS POUR DÉVELOPPER LEUR ENTREPRISE DE FA ?

- BOOTSTRAPPING OU LEVÉE DE FONDS ? COMMENT MAKELAB NAVIGUE AVEC SUCCÈS DANS UN LABYRINTHE D'INCERTITUDES.

Matériaux 21

- DÉFIS SOULEVÉS ET RÉSOLUS PAR LES POLYMÈRES HAUTE PERFORMANCE POUR LA FA - EXEMPLES CLÉS DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE.

- PASSER À LA PHASE DE PRODUCTION EN IMPRESSION 3D AVEC DE NOUVEAUX MATERIAUX DURABLES

Post-traitement 31

COMPRENDRE LES PROCESSUS D'INFILTRATION ET DE REVÊTEMENT POUR LES PIÈCES FABRIQUÉES PAR VOIE ADDITIVE

Logiciels 35

L'IA EST-ELLE LE «MOT MAGIQUE» DESTINÉ À RENDRE LA CONCEPTION DE VOS PRODUITS MOINS ENNUYEUSE ?

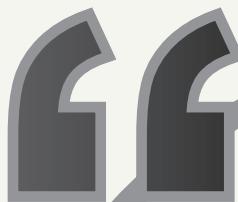
Applications 41

LA FA CÉRAMIQUE PEUT-ELLE APPORTER UNE VALEUR AJOUTÉE AUX INDUSTRIES AUTOMOBILE ET AÉROSPATIALE ? DE LA R&D AUX APPLICATIONS COMMERCIALES.

AM Shapers 45

DE L'OUTILLAGE À LA PRODUCTION DE PIÈCES D'UTILISATION FINALE : UN REGARD SUR LA STRATÉGIE QUI PERMET À GENERAL ATOMICS AERONAUTICAL SYSTEMS D'ATTEINDRE PLUS DE 75 % DE PIÈCES IMPRIMÉES EN 3D DANS UN AVION.

Bonjour & bienvenue



Rester en contact avec la réalité

Il y a eu de belles choses à célébrer en 2022 et il y en a qui nous ont enseigné des leçons.

Dans l'ensemble, j'avoue que cette année m'a laissé un goût d'inachevé quand on regarde le modèle économique des entrepreneurs, et la situation économique actuelle. Je vous le dis tout de suite : j'ai développé une sorte d'admiration pour ces personnes qui créent, et imaginent un produit ou un service qui peut améliorer le monde. Seulement, il ne faut pas se voiler la face : outre leur volonté et leur mission, il y a la réalité : celle d'être une entreprise rentable et prospère.

Alors, je me suis intéressée à eux, de manière officieuse : j'ai entendu beaucoup de rumeurs, mais pour chaque entrepreneur que j'ai rencontré, il y avait et il y a surtout beaucoup d'espoir, l'espoir de surmonter les défis et les incertitudes financières propres à leurs activités.

Avec mes collègues, nous avons voulu rendre ce sujet officiel. Qu'on soit en début d'année, milieu ou fin d'année, parler de financement est selon moi un sujet intemporel et dans ce premier numéro de 3D ADEPT Mag de 2023, nous y consacrons du temps et proposons des solutions pour deux catégories de personnes : celles qui sont dans un modèle d'autofinancement (bootstrapping) et celles qui sont à la recherche constante de fonds.

Enfin, même si le capital permet de refaire le monde (de la FA) d'une certaine façon, cela reste du gaspillage sans des concepts solides et des technologies viables.

C'est pourquoi nous avons aussi décidé de briser les stéréotypes, de retracer les contours de la réalité actuelle, et de recenser les points à améliorer de ces technologies qui sont souvent décrites comme des solutions miracles aux problèmes d'ingénierie. Ce numéro parle ainsi de fabrication additive céramique, de fabrication additive métal (et multi-laser), d'intelligence artificielle, de fabrication additive grand format, de processus d'infiltration et de revêtement, et de matériaux haute performance – chaque fois, et dans la mesure du possible, avec un accent sur les industries automobile et aérospatiale.



Kety SINDZE

Editrice-en chef chez 3D ADEPT Media

✉ kety@3dadept.com

Editorial

Significant Cost Savings on Additive Tool

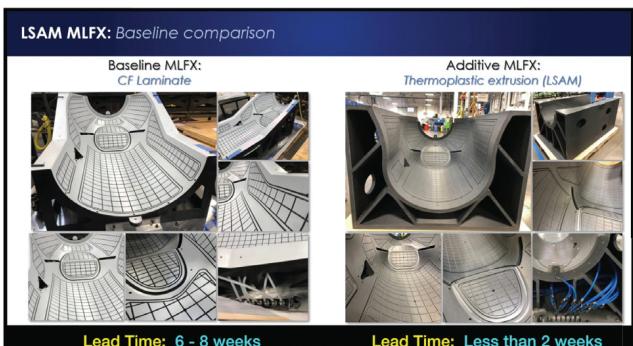
Partnership between Thermwood and General Atomics

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.

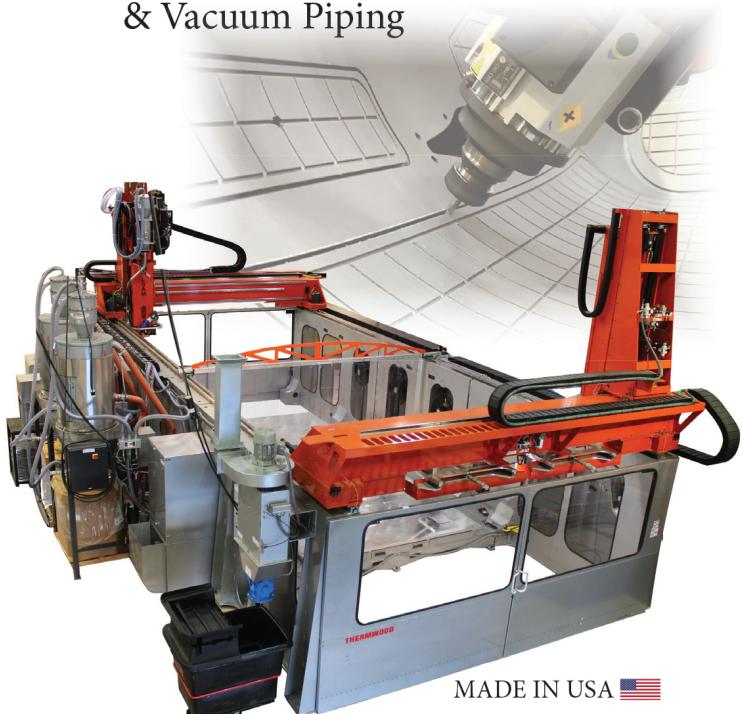


Scan QR code to view a video of the LSAM and General Atomics process.



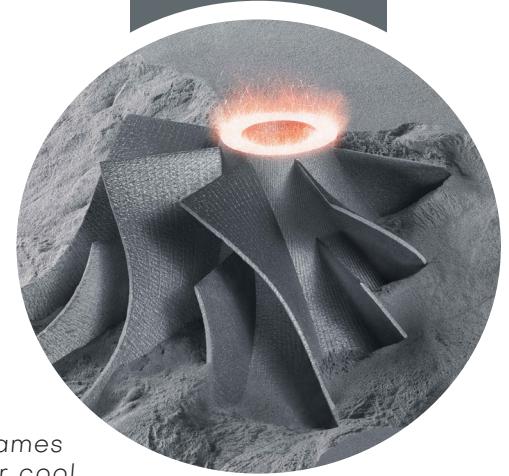
The Results

- 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



THERMWOOD
www.thermwood.com
800-533-6901

Comprendre les complexités et les opportunités de la fabrication additive multi-laser



Une chose sur laquelle les fans de Star Wars et les fans de laser games seraient probablement d'accord, c'est que les lasers sont super cool. Pourquoi ? On peut se le demander. À cause de la vitesse. Plus de lasers signifie plus d'agilité et plus de vitesse. Dans le secteur de la FA, la possibilité d'avoir plus de lasers dans une imprimante 3D industrielle semble également cool pour un grand nombre d'utilisateurs. Mais cela signifie-t-il nécessairement plus d'agilité et plus de vitesse ?

Qu'ils soient 2, 4 ou 12, les lasers restent la source d'énergie la plus efficace dans une imprimante 3D, car ils peuvent transférer instantanément une grande quantité d'énergie dans une région focale à micro-échelle pour solidifier ou durcir des matériaux dans l'air, permettant ainsi une fabrication de haute précision et à haut débit pour une large gamme de matériaux. La production (de masse) étant de plus en plus répandue dans le domaine de la FA, les fabricants de pièces étudient avec grand intérêt l'intégration de plusieurs lasers dans une imprimante 3D. Pour faciliter leur processus de décision, il est important de comprendre pourquoi et comment les machines de FA multi-laser sont utiles.

Si l'accent est généralement (et sera) mis sur les procédés de fusion sur lit de poudre (dans le cadre de ce dossier), il convient de noter que les procédés de FA basés sur la SLS, la technologie DED (Directed Energy Deposition) et la photopolymérisation peuvent également être équipés de lasers multiples.

« Dans la FA des polymères, il y a le frittage sélectif par laser (SLS) qui est également disponible avec plus d'une source laser. Il existe également des machines de stéréolithographie équipées de plusieurs lasers, mais la densité d'énergie requise pour la photopolymérisation est faible, c'est pourquoi il existe d'autres méthodes qui exposent plus d'une zone à la fois », explique le **Dr. Dominik Schmid**, ingénieur principal, chez Kennametal.

Selon **Kartik Rao**, directeur de marketing stratégique chez [Additive Industries](#), l'industrie qui nous montre probablement la voie à suivre est celle du revêtement par laser. « Beaucoup de gens travaillent avec le revêtement laser dans les industries pétrolières et gazières ; ils prennent de grands et longs arbres et les revêtent entièrement de matériaux résistants à l'usure avec plusieurs robots travaillant sur une pièce. En fin de compte, c'est probablement là que se dirige la FA »

Si chacune des technologies susmentionnées

utilise différents types de laser et de puissance laser et nécessite des faisceaux de tailles différentes sur la plaque de construction, l'objectif ultime pour les fabricants de pièces est le même : **améliorer la productivité tout en réduisant le coût par pièce**. Le problème, c'est qu'un certain nombre de défis techniques peuvent se poser lorsqu'on travaille avec plusieurs lasers dans un processus de fusion sur lit de poudre.

Quand «plus» signifie-t-il «mieux» ?

Tout d'abord, si vous cherchez à soutenir les efforts de R&D ou à réaliser des prototypes, une imprimante 3D à laser unique serait votre meilleure option.

Cependant, si vous cherchez à améliorer le débit de votre imprimante 3D, ou à réduire le coût par pièce, il y a de fortes chances que l'exploration des imprimantes 3D multi-laser soit une excellente idée. Pour les autres, il s'agit souvent de répondre à quelques questions : combien de pièces peut-on réaliser dans un seul lot – en une seule fois ? Quelle taille peut avoir une pièce dans l'enveloppe de construction ?

« Les systèmes multi-lasers ont un taux de construction plus élevé, ce qui signifie que la capacité de production est supérieure à celle des systèmes mono-lasers. D'un autre côté, ils sont plus chers que les systèmes à laser unique. Il est donc important de faire usage de cette capacité supplémentaire que les systèmes fournissent. En résumé, le facteur le plus important pour déterminer s'il est judicieux d'utiliser des systèmes multi-laser est la demande de produits à fabriquer de manière additive », souligne l'expert de Kennametal.

Mettant l'accent sur les raisons techniques pour lesquelles il est judicieux d'utiliser des lasers multiples dans les procédés de fusion à lit de poudre, l'orateur d'Additive Industries note :

« Dans la zone du lit de poudre, il est plus logique d'avoir plusieurs lasers car, en fin de compte, vous voulez que la plus grande partie possible du lit de poudre soit active. Le coût de la pièce peut être une raison à prendre en compte, de même que la taille des pièces que vous serez en mesure de fabriquer. Les pièces de très grande taille, par exemple, peuvent nécessiter l'intervention de plusieurs lasers, sinon leur fabrication peut prendre jusqu'à 30 jours, ce qui est clairement très long et ne sera pas évolutif pour votre entreprise. Cela a également du sens si vous avez de petites pièces sur un grand plateau de fabrication. »

L'exemple de **Rao** sur les grandes pièces vient du fait que, dans les processus de fusion sur lit de poudre avec plusieurs lasers, les lasers sont séparés dans l'espace pour étendre la couverture ou pour permettre aux lasers d'atteindre une plus grande zone.

Dans un autre ordre d'idées, même si on prône la productivité, **la qualité doit également faire partie de l'équation**, ce qui peut s'avérer difficile si on connaît les implications liées aux propriétés des matériaux, aux stratégies de construction et aux autres paramètres laser pertinents pour la fabrication additive.



Kartik Rao, Directeur de marketing stratégique chez Additive Industries

Paramètres laser pertinents pour les systèmes de FA multi-laser

Il est légitime de s'interroger sur les propriétés matérielles des pièces réalisées avec des systèmes de FA multi-laser – dans l'espoir qu'elles présentent les mêmes propriétés que celles obtenues avec des systèmes monolaser. La plupart du temps, vous entendrez dire que les systèmes de FA multi-laser permettent d'obtenir les mêmes propriétés matérielles homogènes dans certaines zones de la pièce que celles obtenues par les systèmes de FA monolaser. Toutefois, il faut tenir compte de quelques éléments qui sont interdépendants.

Schmid explique que **multiplier la production avec plus de sources laser n'est pas linéaire**. « Une machine équipée de quatre lasers pourrait n'être que trois fois plus rapide qu'une machine à laser unique, car le temps de recouvrement reste fondamentalement le même. La possibilité de réduire les coûts de fabrication avec des systèmes multi-laser dépend de l'application spécifique ainsi que de l'investissement nécessaire dans les machines elles-mêmes. La fabrication multi-laser entraîne des défis supplémentaires, tels que l'alignement des lasers ou la conception plus complexe du flux de gaz inerte, de sorte que le résultat idéal est d'obtenir une qualité égale à celle d'une seule machine laser », souligne-t-il.

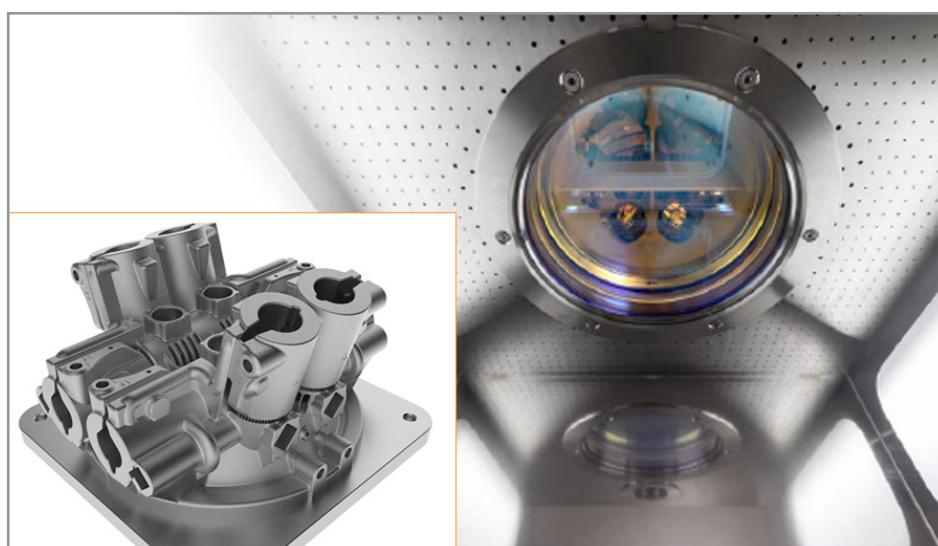


Image ci-dessus – Un bloc de montage galvo compact avec refroidissement par eau intégré (en médaillasson à gauche) permet à quatre faisceaux laser très rapprochés d'entrer dans la chambre de fabrication par une seule fenêtre optique (image principale). | Crédit de l'image : RENISHAW

Rao complète cette explication en mettant l'accent sur le fait que, **plus de lasers ne signifie pas nécessairement une production plus rapide ou de qualité**. En fait, les fabricants doivent tenir compte d'un certain nombre de problèmes susceptibles de se produire avec les systèmes de FA multi-laser – des problèmes de qualité causés par :

- le zonage/la couture des pièces
- l'interaction des lasers avec le condensat d'un autre laser actif
- le flux de gaz (gestion de la chaleur et élimination des déchets)
- l'étalonnage des lasers (absolu et relatif)

La production à l'aide de plusieurs lasers peut souvent entraîner de nombreuses projections qu'il est important de traiter efficacement. En effet, lorsqu'il n'y a pas assez d'espace entre plusieurs lasers, ceux-ci peuvent « piquer » sur la pièce, donnant ainsi des résultats imprévisibles. Pour résoudre ce problème, certains fabricants de machines ont mis au point des systèmes offrant une couverture de chevauchement raisonnable. Cela permet aux opérateurs d'affecter les lasers à la fabrication de pièces individuelles.

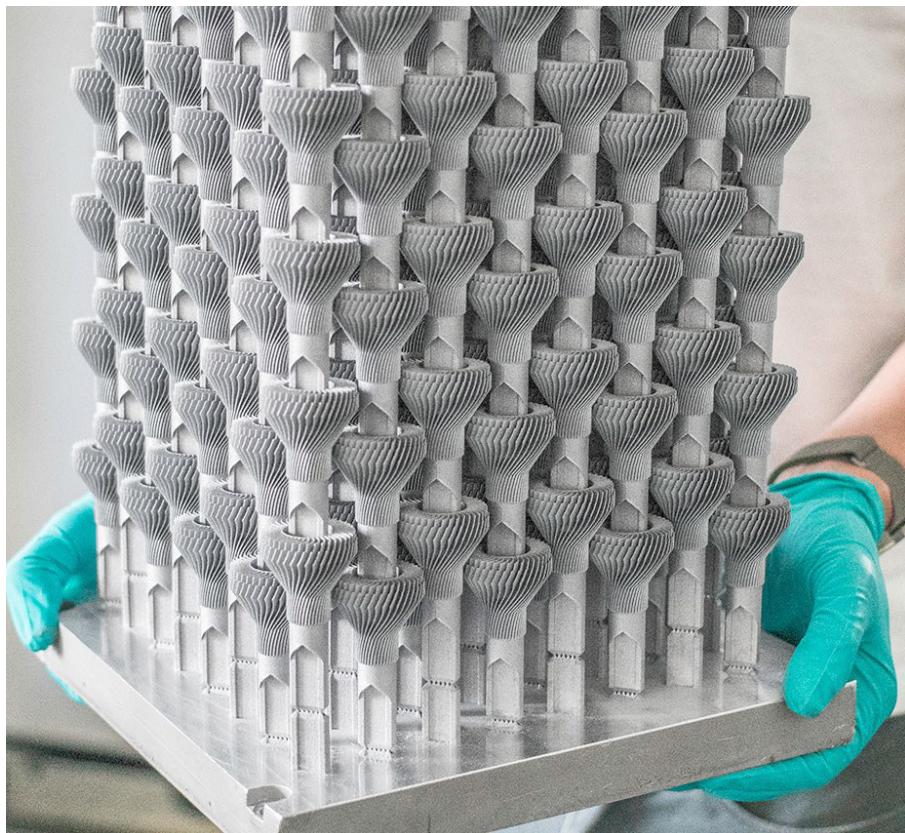
En outre, la position relative des lasers par rapport au flux gazeux est essentielle, car elle est régie par les choix d'affectation des lasers effectués lors de la préparation de la construction. Il va sans dire que les configurations du flux gazeux varient d'une machine à l'autre.

« Dans la plupart des cas, une sorte d'attribution des lasers aux pièces doit être effectuée par l'opérateur. Cela signifie que si vous avez plusieurs pièces sur la plaque de fabrication, vous devez attribuer quel laser doit travailler sur quelle pièce. Comme les machines multi-laser sont plus chères et que les temps de construction sont plus courts, la planification des constructions et des équipes devient encore plus importante pour minimiser le temps



Dr. Ing. Dominik Schmid, Ingénieur Senior chez Kennametal

improductif et maximiser la productivité et l'efficacité », commente le représentant de Kennametal. En ce qui concerne la prise en compte du flux de gaz et de la stabilité thermique, il ajoute : « Lorsqu'on utilise plus d'un laser simultanément, les fumées d'une zone de traitement ne doivent pas interférer avec le(s) faisceau(x) laser actif(s) dans une autre zone. Cela doit être résolu par la direction du flux de gaz inerte en combinaison avec la synchronisation et l'attribution locale des lasers. En même temps, plusieurs lasers apportent plus d'énergie et donc de chaleur à la chambre de construction. Une partie de cette chaleur va dans le flux de gaz, l'autre dans le châssis de la machine. Il faut en tenir compte lors de la conception de la machine. La gestion de la poudre est pratiquement indépendante du nombre de sources lasers/ optiques. »



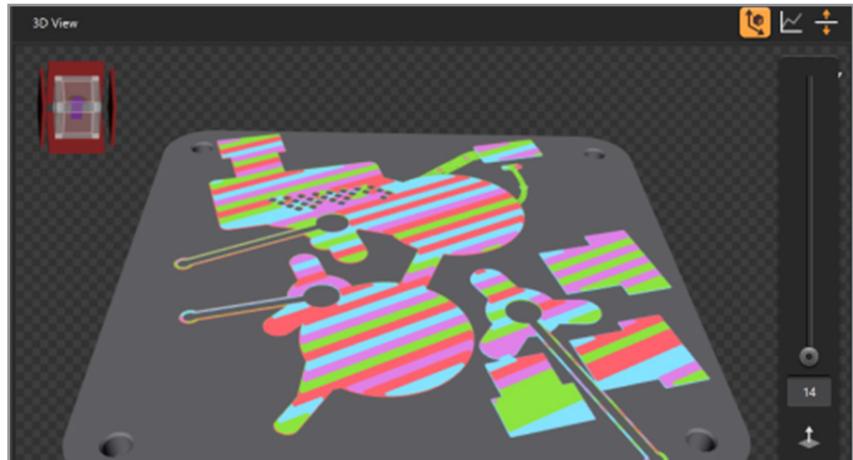
384 dissipateurs thermiques pour phares à LED en une seule construction : L'empilage complet est souvent considéré comme extrêmement difficile avec le procédé LPBF en raison des contraintes thermiques impliquées dans le processus de stratification. En concevant intelligemment la structure pour réduire les contraintes thermiques, Betatype a réussi à en faire une option viable avec une distorsion thermique minimale. Crédit : Betatype.

Alors, comment déterminer votre stratégie de fabrication ?

Si les fabricants utilisent souvent plusieurs lasers, soit pour construire simultanément un seul composant, soit pour construire des pièces individuelles avec chaque laser, ils doivent évaluer le temps d'exécution sur l'imprimante 3D, « car l'objectif reste de maximiser l'utilisation des lasers », souligne Rao.

« Quel est l'intérêt d'avoir plus de quatre lasers si vous ne tirez parti que d'un ou deux ? Au final, plus vous avez de lasers, plus le système est cher. L'augmentation des dépenses d'investissement doit être compensée par une meilleure productivité. Cependant, la productivité est également influencée de manière significative par le temps de construction et les horaires de travail [et cela dépend beaucoup de l'application que vous voulez réaliser] », poursuit-il.

Enfin, un élément qui est souvent négligé dans cette évaluation est le **logiciel** alors que, selon les explications de Rao, il joue un rôle important dans l'optimisation du processus et donc dans l'obtention de pièces de qualité. En fait, les ingénieurs effectuent et déterminent toutes les opérations laser à l'aide d'outils logiciels. Parfois, l'obtention de pièces de qualité est souvent entravée par l'absence des bons outils



L'attribution des tâches laser peut être assez flexible. | Crédit de l'image : RENISHAW

logiciels. Prenant l'exemple d'Additive Industries, il a déclaré que leur équipe a travaillé au développement de solutions logicielles dédiées à l'affectation dynamique du laser, à la qualification et à l'étalonnage d'outils multifaïsceaux et qu'ils ont également investi dans des solutions de CFD et d'analyse du monde réel.

Conclusion

De façon surprenante, les lasers jouent un rôle majeur dans une variété d'industries telles que les télécommunications, l'instrumentation, la médecine, l'informatique et le divertissement. Dans la fabrication conventionnelle, on a observé leurs applications

dans des processus tels que la découpe, le perçage, le soudage, le pliage, le gainage, le nettoyage, le marquage et le traitement thermique. Pour un outil aussi polyvalent et doté d'un portefeuille d'applications exceptionnel, sa capacité à se développer dans un secteur technologique comme la FA dépend de la capacité des utilisateurs à mieux définir leurs besoins. In fine, une analyse réfléchie du « pourquoi » et du « comment » de plusieurs systèmes de FA multi-laser peut certainement conduire à une productivité accrue, à la fabrication de pièces de grande taille et à une réduction du coût par pièce.

Quelques notes sur les entreprises participantes :

Kennametal travaille sur plusieurs types de technologies additives pour améliorer à la fois les solutions qu'elle fabrique et la manière dont elle les fabrique. Par exemple, la fusion multi-laser sur lit de poudre est le bon choix pour ses produits en acier à outils pour travail à chaud, car elle permet d'obtenir les propriétés du matériau souhaitées en combinaison avec une grande précision et une chaîne de processus simple. Dans le même temps, Kennametal applique l'impression par jet de liant pour produire des outils en carbure solide et des pièces d'usure de haute qualité, car elle peut tirer parti des capacités de poudrage et de frittage en conjonction avec cette technologie additive. Chaque technologie d'impression 3D s'accompagne de considérations uniques ; le défi consiste à faire correspondre la bonne technologie à la bonne application afin de libérer tous les avantages de la FA et de générer les plus grands bénéfices pour eux et leurs clients.

Additive Industries est un fabricant d'imprimantes 3D pour pièces métalliques de haute qualité. Il propose un système spécifiquement destiné aux marchés industriels haut de gamme et exigeants. Avec un volume de fabrication inégalé, la robustesse ainsi que la productivité, Additive Industries redéfinit l'analyse de rentabilité pour l'aéronautique, l'automobile, l'énergie et les équipements de haute technologie. Basée aux Pays-Bas, Additive Industries a des centres de démonstration et de service aux États-Unis et au Royaume-Uni et est un acteur clé mondial dans les systèmes d'impression de métaux à grand volume.

Metal powders one-stop for AM



Get to know the strongest aluminium alloy worldwide: Our patent-protected **A205** alloy and the corresponding **A20X** metal powder stand out for their exceptional mechanical properties.

With our flexible production concepts and our ability to atomize spherical powders in temperature ranges of up to 2,500° C, we are your partner of choice for DIN EN 9100:2018 certified production and customized solutions.

Learn more about our extensive portfolio of metal alloy powders – titanium, aluminium and copper based.

For further information please contact:
ECKART GmbH · Guentersthal 4 · 91235 Hartenstein · Germany
E-Mail: dominik.reuschel@altana.com · info.eckart@altana.com

www.am.eckart.net



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/ » | contact@3dadept.com

Le paysage de l'investissement change. Que doivent envisager les fondateurs pour développer leur entreprise de FA ?

« **Lever des fonds sera difficile à réaliser** ». Ces mots ont été prononcés deux fois de la même manière lors de deux entretiens distincts avec deux financiers de l'industrie de la fabrication additive. Avec une année 2022 tumultueuse marquée par l'une des plus fortes inflations jamais enregistrées et un resserrement de la politique monétaire internationale, entendre ces mots en fin de compte, n'est pas surprenant. Ces financiers ont juste exprimé tout haut ce que beaucoup de gens pensent tout bas. Alors, oui, lever des fonds ne sera pas évident, mais ce qui compte ici et maintenant, c'est la capacité du fondateur à comprendre ce paysage changeant de l'investissement et la manière dont il va s'adapter pour obtenir des fonds et développer son entreprise. Aider les dirigeants et les fondateurs à comprendre ce «*nouvel*» environnement est notre ambition à travers cette rubrique exclusive.

Il y a quelques années, juste avant le COVID-19, la presse spécialisée de notre secteur était remplie de titres annonçant que « l'entreprise X » avait levé des fonds, ce qui avait entraîné une croissance rapide, suivie d'autres levées de fonds, etc. Avec des titres pareils, il était facile de penser que nous vivions à une époque où « l'argent était facile à trouver », ce qui favorisait un état d'esprit de « croissance à tout prix » chez de nombreuses entreprises. Ces gros titres avaient en quelque sorte défini la « croissance » comme un facteur important pour être financé, tout en donnant de la crédibilité à un produit qui n'était pas toujours ou nécessairement viable.

« En me mettant à la place des investisseurs - [comprenez ici les investisseurs en capital-risque, les sociétés de capital-investissement ou les institutions publiques] - et ce qu'ils pourraient rechercher à un moment donné, je dirais que l'environnement macroéconomique actuel guide leurs décisions. Au cours des 5 à 10 dernières années, nous avons vécu dans un monde où les taux d'intérêt étaient faibles, voire nuls, où les liquidités étaient abondantes, ce qui s'est traduit par un coût du capital très faible. Souvent, les investissements à forte croissance sont favorisés dans ce type d'environnement, ce qui a poussé les investisseurs, notamment les investisseurs en capital-risque, à adopter cette mentalité de «croissance à tout prix». L'idée est la suivante : si vous développez et établissez quelque chose, vous n'avez pas à vous soucier de la rentabilité aujourd'hui, car il y aura toujours une abondance de capital à faible coût à l'avenir, au



moment où vous en aurez besoin. La rentabilité et la génération de flux de trésorerie pourraient suivre plus tard », explique **Stephen Butkow**, Directeur Général de Stifel Financial Corp.

L'année 2022 a été marquée par un changement fondamental de l'environnement macroéconomique, avec les confinements continus liés au COVID-19 en Chine, qui ont entraîné des problèmes d'offre et de demande. Ajoutez à cela la flambée des prix de l'énergie résultant de l'invasion de l'Ukraine par la Russie et la hausse rapide des taux d'intérêt, les banques centrales cherchant à endiguer une hausse persistante de l'inflation, et vous avez un mix d'éléments qui justifient la réticence constante des investisseurs au risque.

« Le problème n'est pas toujours le fait que les taux soient si élevés, mais le fait qu'ils aient augmenté si vite. Cela a provoqué une rotation massive hors des secteurs à forte croissance, comme la fabrication additive, ce qui a rendu l'environnement de levée de fonds plus difficile pour tout le monde », poursuit Butkow.

Il est intéressant de noter que le commentaire d'**Arno Held**, Managing Partner chez **AM Ventures**, complète d'une certaine manière l'explication de Butkow, car il encourage à éviter les généralisations :

« Non seulement cette mentalité de «croissance à tout prix» était surtout observée avant la crise, mais elle l'était aussi dans certaines cultures/zones. Dans divers secteurs, certains investisseurs en capital-risque recherchaient des fondateurs ayant ce type de mentalité pour financer des start-ups. Cependant, aujourd'hui, le changement de paradigme dans le processus d'analyse des sociétés de capital-risque et d'autres sociétés de financement met en avant le fait qu'il existe des objectifs plus importants à atteindre au sein d'une start-up et que ces objectifs (durabilité, revenus sains, par exemple) sont souvent ceux qui font pencher la balance en faveur d'un investissement - ce qui fait que la mentalité de «croissance à tout prix» appartient progressivement au passé ».



Arno Held,
Managing Partner chez AM Ventures



Alexander Schmoekel,
Associé chez AM Ventures



Stephen Butkow, Managing
Directeur Général de Stifel Financial Corp

« La mentalité de croissance à tout prix partait du principe que le capital resterait toujours facilement disponible et bon marché. Une quantité invisible d'argent de capital-risque est donc entrée dans l'écosystème, modifiant l'appréciation de la valeur et du risque des investisseurs dans l'ensemble de l'écosystème du capital-risque. Avec les macro-tendances actuelles, cette situation a changé, ce qui a conduit les investisseurs à se concentrer sur la croissance durable. Mais surtout, croissance et rentabilité ne doivent pas s'exclure mutuellement », ajoute **Alexander Schmoekel**, Associé chez **AM Ventures**.

Outre les tours de table, les **fusions et acquisitions** (M&A – abréviation de l'anglais Mergers & Acquisitions) restent le moyen le plus utilisé par les start-up du secteur de la FA pour obtenir des ressources financières. Pour rappel, nous avions enregistré **plus de 53 acquisitions** (y compris les SPACs) tout au long de l'année 2021 – le plus grand nombre jamais enregistré depuis que la FA a été reconnue comme une véritable industrie – et plus de **21 acquisitions signalées en 2022**. Le fait est que, contrairement à 2021 où le besoin de plus de ressources financières était le principal moteur de ces fusions & acquisitions, les acquisitions rapportées en 2022 ont soulevé un certain nombre de questions concernant la stratégie réelle des acheteurs et des vendeurs.

Le vendeur est-il uniquement à la recherche de capitaux ? Le vendeur cherche-t-il seulement à faire croître son entreprise jusqu'à ce qu'elle soit prête

à être acquise ? L'acheteur a-t-il une stratégie plus réfléchie à l'esprit ? L'acheteur veut-il simplement acheter pour tuer l'entreprise de son concurrent ?

En fin de compte, pour qui exactement les fusions et acquisitions constituent-elles une stratégie de croissance, pour l'acheteur ou le vendeur ?

Pour les représentants d'AM Ventures et de Stifel interrogés, ce sont des questions intéressantes mais très compliquées qui nécessitent absolument de regarder les deux côtés de l'histoire : l'**acquéreur** et le **vendeur**.

« Si cela est bien fait, cela peut être une histoire de croissance pour tout le monde », souligne **Held**. « L'acquisition en elle-même est un investissement en capital. Maintenant, les raisons de l'acquéreur varient toujours d'une entreprise à l'autre. L'acquisition peut servir une stratégie de croissance très spécifique : [développement de produits – nouveaux produits sur les marchés existants –, pénétration du marché – produits existants sur les marchés existants –, développement du marché – produits existants sur les nouveaux marchés – et diversification]. C'est une décision très rationnelle qui implique une analyse approfondie allant au-delà des ressources financières pour englober le calendrier et les capacités de mise sur le marché », déclare-t-il.

Butkow, pour sa part, met l'accent sur le côté vendeur de l'équation et son analyse met en évidence 4 éléments qui, à mon avis, devraient toujours être analysés ensemble : la **force du management** (sens des affaires ou sens de la technologie), la **capacité d'extension**, le **coût d'accès au marché cible**, la **definition du succès ou de l'accomplissement** – c'est-à-dire jusqu'où ils veulent étendre l'entreprise. Il explique :

« Nous nous entourons d'un grand nombre de personnes brillantes qui sont généralement des ingénieurs en fabrication mécanique, des ingénieurs en informatique ou un mélange de tout cela, qui ont développé et transformé d'excellents produits en entreprises commerciales. Et il est très rare qu'une personne experte dans une niche soit experte en tout. Ainsi, le fait d'être un ingénieur fantastique ne signifie pas nécessairement que vous êtes un homme d'affaires fantastique. Le fait est qu'il faut un village pour réussir et développer une entreprise. Dans

cet ordre d'idées, il est presque toujours exact qu'un fondateur qui fait passer une entreprise de 0 à 10 millions d'euros de revenus n'est pas la même personne qui fait passer la même entreprise de 10 millions d'euros à 100 millions d'euros, et ainsi de suite. Il faut des compétences différentes pour chaque étape. C'est pourquoi il y a très souvent un changement de direction à chaque fois qu'une entreprise franchit une étape importante. La qualité de la gestion est donc tout aussi importante que la technologie. Elle ne peut pas être négligée.

Dans un autre ordre d'idées, notre secteur a échoué à de nombreuses reprises parce que les fondateurs avaient réussi à développer une technologie viable mais n'avaient pas de modèle commercial solide. Par conséquent, ils se sont retrouvés dans une position où ils doivent soit lever constamment des capitaux pour passer à l'échelle, soit vendre leur technologie à une autre entreprise qui dispose déjà de toutes les infrastructures nécessaires pour mettre en œuvre une stratégie de mise sur le marché. À ce moment précis, le fondateur est certain que sa technologie va survivre ; elle ne survivra pas sous la forme exacte prévue initialement, mais au moins elle ne mourra pas à cause d'un manque de capital. On en revient à ce qui a été dit précédemment : le fondateur était la bonne personne pour faire passer l'entreprise de 0 à 10, mais il n'est souvent pas la bonne personne pour la faire passer de 10 à 100. »

L'explication de Butkow ouvre en quelque sorte une question plus personnelle que chaque fondateur devrait se poser : qu'est-ce qui ferait le succès de mon entreprise ? Ou comment puis-je mesurer le succès ? Je connais quelques fondateurs qui sont fiers de construire leur entreprise à partir de rien, à chaque étape du processus. Je connais également quelques fondateurs qui sont fiers d'avoir développé une technologie et de l'avoir mise à l'échelle avec le soutien d'une société mère.

Comme le note **Schmoekel**, « un entrepreneur peut définir [le succès] en fonction de l'épanouissement personnel que procure la nouvelle entreprise, tandis qu'un investisseur



considère le succès sous un angle plus financier, par exemple en se demandant si l'entreprise du portefeuille génère le taux de rendement souhaité. L'approche la plus attrayante pour mesurer le succès est celle de la rentabilité. Toutefois, les entreprises privées ne disposent pas toujours de ces données. Les différences entre les divers investissements dans le développement des produits et des marchés affectent énormément la rentabilité déclarée. En outre, les mesures de performance telles que le rendement des ventes ou le bénéfice net sont plus pertinentes pour les entreprises à un stade avancé. Les entreprises en phase de démarrage sont différentes, car elles peuvent initialement avoir peu ou pas de revenus à déclarer, et les taux de croissance ne représentent pas pleinement la valeur réelle d'une entreprise en phase de démarrage. »

Cela dit, il convient de noter que pour les sociétés de capital-risque

– ce qui n'est qu'une façon pour AM Ventures de considérer le succès –, une startup réussie est une startup qui a obtenu au moins un tour de financement de série A de capital-risque ou qui a même réussi à entrer en bourse ou à être acquise par une autre société. L'augmentation du nombre d'employés est également un indicateur direct de croissance pour les sociétés de capital-risque, car il sert d'indicateur de la complexité croissante de la gestion.

Pour cela, les fondateurs ou les dirigeants doivent être en mesure de lever des capitaux tous les « 18 et 24 mois. Ce délai devrait être l'idéal. Cela signifie que les fondateurs devraient établir des plans d'affaires qui durent environ 24 mois – sachant que l'argent va toujours plus vite que prévu », souligne Held.

Que doivent envisager les fondateurs pour développer leur entreprise de FA ?

Donc, oui, avec les projections macroéconomiques, il y a potentiellement des temps très difficiles à venir. Certaines entreprises auront du mal à lever des capitaux supplémentaires, mais cela ne signifie pas que ce sera impossible. Comme le dit **Held**, « nous devons faire attention à ne pas tomber dans un grand mouvement de «panique» ». Peu importe ce que disent les projections, « en fin de compte, les investisseurs achètent des risques. L'investissement le plus risqué au monde est une start-up. [Toutefois, les investisseurs doivent comprendre pourquoi la solution dans laquelle ils investissent doit exister. [Il doit y avoir une proposition de valeur client convaincante », déclare **Butkow**.

Je pense que nous sommes tous d'accord pour dire que la croissance pour le plaisir de la croissance sans un contrôle de l'efficacité, de la durabilité ou de la rentabilité ne mènera nulle part. Sur la base de notre conversation avec ces trois experts, nous pouvons résumer comme suit certains des points cruciaux qui pourraient nécessiter une attention particulière :

- L'investissement sur le marché privé de la FA est exploré et il existe toujours des opportunités malgré l'évolution du paysage actuel de l'investissement.
- Le financement sera probablement plus axé sur les applications que sur la technologie.
- L'adoption par les clients devrait être un domaine clé de l'attention.
- Les sociétés de capital-risque comme **AM Ventures** s'intéresseront aux entreprises qui atteignent la rentabilité dès le départ. Le fait de ne pas atteindre la rentabilité au bout d'un an ou deux ne sera pas un obstacle, mais ne faites pas d'hypothèses ridicules sur votre rentabilité.
- Les investisseurs s'intéresseront aux jeunes entreprises dotées d'une excellente équipe de direction. À mesure que le capital s'uniformise, le niveau de qualité se situe généralement du côté de la gestion. Ils s'intéresseront donc à l'équipe qui sera en mesure d'amener l'entreprise à la phase suivante. Les équipes de direction



qui seront un peu honnêtes sur leur histoire et leur orientation attireront davantage de capitaux.

- Un modèle d'entreprise qui fonctionne et une direction forte ne doivent pas se faire au détriment de la valeur ou de l'équipe qui la soutient.
- Les grandes entreprises qui sont entrées en bourse et ont fait beaucoup de promesses de croissance seront évaluées à la fois sur la croissance et la rentabilité.
- Les investisseurs reviennent presque toujours à l'essentiel. C'est un monde où les liquidités sont chères, les gens doivent être disciplinés avec leurs liquidités.
- Les investissements sont principalement réalisés dans l'espoir d'un taux de rendement basé sur une valeur future actualisée jusqu'à aujourd'hui - vaudra-t-elle plus qu'aujourd'hui dans une période de temps définie?
- La consolidation se produira pour une multitude de raisons :
- Valorisation raisonnable par rapport à 2020/2021
- Besoin / Capacité d'attirer des capitaux
- Besoin d'échelle pour atteindre la rentabilité - absence de levier d'exploitation

Quelques mots sur AM Ventures et Stifel

Si vous êtes un lecteur régulier de 3D ADEPT Media, vous connaissez probablement déjà **AM Ventures**,

cette société de capital-risque qui a décidé de faire croître l'ensemble du secteur en investissant dans des entreprises de FA spécialisées dans les domaines des matériaux, des logiciels, des machines et des applications. Avec 17 entreprises en portefeuille à travers le monde, AM Ventures insiste sur la nécessité pour les entreprises à la recherche de fonds de choisir le «bon investisseur» et de «privilégier les collaborations aux acquisitions».

Stifel est une société mondiale diversifiée de gestion de patrimoine et de banque d'investissement qui se concentre sur les petites et moyennes entreprises. Sa division de banque d'investissement fournit des conseils en matière de fusions et acquisitions, de levée de capitaux et de recherche sur les actions. Elle est l'une des banques d'investissement les plus actives dans le secteur de la FA, ayant participé à plus de 20 transactions au cours des deux dernières années, notamment en conseillant ExOne pour sa vente à Desktop Metal et 3D Hubs pour sa vente à Protolabs.

Bootstrapping ou Levée de fonds ?

Comment Makelab navigue avec succès dans un labyrinthe d'incertitudes.

Cet article est la deuxième partie d'une série consacrée à l'évolution du paysage de l'investissement dans le secteur de la FA. La première partie, présentée à la page 13 de ce magazine, traite de ce que les fondateurs – qui seront à la recherche de fonds cette année – devraient envisager pour développer leur entreprise de FA.

Beaucoup d'entre vous connaissent probablement **Christina Perla**, en tant que Co-fondatrice et CEO du bureau de services d'impression 3D **Makelab**, basé à Brooklyn, ou par son travail avec **Women In 3D Printing**. J'ai eu la chance de découvrir le courage dont elle fait preuve dans la gestion d'une entreprise de fabrication additive tout en naviguant dans un labyrinthe d'incertitudes, et c'est l'une de ces expériences authentiques qui marquent la vie de tout rédacteur.

Si vous êtes un fondateur ou un cadre dirigeant une entreprise, vous savez probablement déjà que « **lever des fonds sera difficile à réaliser** ». Les investisseurs et les financiers l'ont répété à plusieurs reprises, y compris dans cette édition de 3D ADEPT Mag. Alors que la presse spécialisée a contribué à mettre sur un piédestal les entreprises qui obtiennent continuellement des tours de financement auprès d'investisseurs et d'autres sociétés financières, la majorité des entrepreneurs (75 % à 85 %) démarrent leur entreprise par leurs propres moyens – ce qui peut être difficile à croire car aucun chiffre exact n'a encore été communiqué dans notre industrie. Cependant, il s'avère que je connais quelques entreprises de FA qui ont recours à l'autofinancement pour développer leur activité et Makelab est l'une d'entre elles.

La vérité est que, ma modeste expérience dans cette industrie m'a amenée à interagir avec les fondateurs de start-up, et a développé une sorte d'admiration pour eux – pour ceux qui ont dû mal à passer le cap et pour ceux qui prospèrent – parce qu'en

fin de compte, il faut beaucoup de courage pour poursuivre cette voie.

Avec l'évolution du paysage complexe de l'investissement, je pense que cette conversation est plus importante que jamais, car elle permet d'une certaine façon de rétablir un équilibre entre les deux parties – ceux qui choisissent la voie de l'autofinancement (ou bootstrapping) et ceux qui choisissent la voie du capital-risque. Cette conversation vise aussi à donner à ceux du premier groupe quelques options qu'ils devraient continuer à explorer dans leur aventure.

Perla et la mentalité de «croissance à tout prix».

Pour la petite histoire, Makelab a vu le jour en 2017 et, depuis lors, ne cesse d'investir des kilomètres supplémentaires pour soutenir les entreprises de tous les secteurs verticaux qui pourraient bénéficier de la DA. Selon Perla, l'entreprise est née par accident au moment où deux designers industriels pensaient créer une société de design. L'intention de Makelab était de créer une entreprise riche en liquidités qui pourrait financer la croissance de la société de conception.

« Après deux ou trois ans, Makelab a triplé son chiffre d'affaires. Nous avons trouvé un problème réel sur le marché que personne ne semblait vraiment résoudre, et mon cofondateur et moi-même avons vraiment apprécié de créer une entreprise et de simplifier une opération complexe. Nous avons constaté que la plupart des acteurs du secteur s'efforçaient de faire progresser la FA, en se concentrant sur les métaux et les nouveaux cas d'utilisation. Manny et moi comprenons cela, nous le soutenons même. Mais en tant que designers industriels, on avait l'impression que personne ne construisait vraiment une solution pour les designers comme nous, pour ceux qui travaillent dans le secteur des produits de consommation. Tout ce qui existait semblait



Christina Perla, founder and CEO of Makelab

manquer la cible, d'après nos clients », déclare-t-elle d'emblée.

La réalité est que l'entreprise a évolué dans un secteur où les titres des journaux avaient en quelque sorte défini la **«croissance» comme un facteur important** pour être financé, pour donner de la crédibilité à un produit qui n'était pas toujours ou nécessairement viable. Même si elle est convaincue qu'il faut rester centré sur le client pour ne jamais perdre de vue la véritable activité, Perla reconnaît qu'il existe de nombreuses startups/entreprises qui ont une mentalité de «croissance à tout prix» et qui n'ont pas encore trouvé l'adéquation produit-marché :

« Ces entreprises ciblent tout le monde, et ce faisant, elles ne ciblent personne. Je pense que la pression exercée par cet état d'esprit peut être préjudiciable si elle est exercée trop tôt. Lorsqu'on cherche une solution à un problème, il faut d'abord le trouver. Parfois, cela prend plus de temps que le calendrier que les VCs et autres fondateurs donnent. Mais si vous voulez construire une solution/

produit qui dure, il est bon de penser sa stratégie pendant un certain temps. »

En vous concentrant sur vos véritables objectifs, ces derniers vous permettront de valider vos produits au fur et à mesure de votre croissance, et l'argent du capital-risque ne sera qu'un outil pour vous aider à atteindre votre objectif plus rapidement. Ce n'est pas l'objectif final, et si c'est le cas, je remettrai en question le fondateur + l'entreprise », ajoute-t-elle.

Alors, comment fait-on pour se développer en s'autofinancant ?

Que son entreprise soit florissante ou non, le fondateur devra toujours payer ses factures, assurer des flux de trésorerie sains à l'avenir et, aussi alarmant que cela puisse paraître, les sources de capitaux peuvent se tarir du jour au lendemain, sans avertissement. Le bootstrapping apparaît alors comme une arme à double tranchant : d'un côté, vous ne dépendez pas des investisseurs et vous avez beaucoup de temps pour renforcer les fondations de votre entreprise, de l'autre, relever les défis et les situations impromptues qui peuvent nécessiter (beaucoup) de liquidités,

peut être frustrant, prendre du temps et ralentir le processus de construction de la voie du succès.

J'étais curieuse de savoir comment Makelab a réussi à se développer sans lever de fonds. Ont-ils décidé de ne pas lever de fonds ou n'en ont-ils pas eu l'occasion ? Et surtout, comment ont-ils surmonté les périodes les plus difficiles de la crise financière ? L'honnêteté de ses réponses s'accompagne de quelques leçons qu'elle a tirées de cette période :

« Ce n'était même pas sur notre radar avant 2020. Ce n'est que lorsque nous avons triplé notre activité que nous l'avons envisagé. La croissance est difficile lorsqu'on est autonome. C'est un jeu de gestion de trésorerie et de timing.

Au troisième trimestre de 2020, nous avons essayé de lever des fonds. Nous avons échoué la première fois. Nous avons recommencé au troisième trimestre 2021 et avons réussi. Mais il s'avère que le fonds n'avait pas de capital à déployer. En 2022, nous avons décidé de minimiser nos efforts (tout en gardant la porte entrouverte avec des relations réchauffées) et de nous concentrer sur la croissance de nos revenus



et de nos clients.

D'une certaine manière, on ne nous en a même pas donné l'occasion. Notre activité est difficile, lorsque vous nous comparez aux modèles de logiciels SaaS, la concurrence est rude. Les sociétés SaaS gagnent. En fin de compte, consacrer plus de 8 heures par jour à la collecte de fonds alors que nous n'avions que peu de succès, ne nous semblait pas être la bonne décision pour nous à ce moment-là.

Le bootstrapping n'est pas pour les âmes sensibles. C'est dur, très dur. Beaucoup de fondateurs financés parlent de la piste et de l'argent en banque qui diminue. Eh bien, dans le bootstrapping, vous ferez l'expérience de beaucoup de ces choses à plus petite échelle. La bonne chose est - si vous gagnez avec vos clients, vous avez des revenus. Si vous avez des revenus, il est plus facile de surmonter ces tempêtes de liquidités.

La plupart des principes et des tactiques de gestion de la trésorerie que j'ai appliqués pendant mon autofinancement devraient vraiment être appliqués à tous. Mais les enjeux sont différents. Avec le bootstrapping, il n'y a pas de bateau qui vient vous sauver. Aucune chance d'avoir un bateau. Il n'y a que vous. Plus vous serez prévoyant quant à l'argent qui entre et sort de votre compte bancaire, plus ce sera facile. Vous devez tout savoir, jusqu'aux dates et aux montants. A combien estimez-vous que votre compte bancaire sera dans 2 jours, 4 jours, 4 semaines, 4 mois ? »

Quels sont les conseils que les fondateurs qui choisissent l'autofinancement doivent garder à l'esprit ?

Soyons clairs : si vous

n'avez pas les moyens de financer ne serait-ce qu'une version réduite et régulière de votre entreprise/projet, alors cet article n'est pas pour vous. Vous devriez peut-être explorer d'autres alternatives financières. Toutefois, si vous décidez que le bootstrapping est le meilleur choix pour votre situation, quelques stratégies peuvent vous mettre sur la voie de la réussite :

- Choisissez judicieusement les membres de votre équipe. « Aucune entreprise, petite ou grande, ne peut gagner sur le long terme sans des employés énergiques qui croient en la mission et comprennent comment l'accomplir. »
- Soyez prêt à assumer de nombreux rôles, y compris ceux qui vous semblent subalternes.
- Veillez à externaliser ce qui est essentiel (par exemple, les services juridiques et comptables).

À ces conseils, Perla ajoute :

- « La hiérarchisation des priorités est essentielle. Vous ne pouvez pas vous attarder sur quelque chose qui 1) n'est pas encore arrivé, 2) est hors de votre contrôle. Cela ne fera que vous empêcher de voir les solutions potentielles.
- Soyez créatif. C'est là que le fait d'être new-yorkais est vraiment utile. Soyez créatif et sortez des sentiers battus. S'il existe des opportunités de capital non dilutif - subventions, micro-prêts, etc. - saisissez-les. Faites-en la demande et apprenez à les rechercher.
- Ne vous laissez pas aller à des dépenses inconsidérées. Sachez où va votre argent. Protégez-le au péril de votre vie. Faites attention à la façon dont vous dépensez, vous n'avez

pas le même luxe que vos amis financés. Trouvez des crédits, des offres et des moyens d'obtenir des mois gratuits sur des produits logiciels. Toutes ces choses s'additionnent et peuvent être d'une grande aide. »

Tout comme chaque application réalisée par FA est unique en son genre, gardez à l'esprit qu'il n'existe pas de formule de financement standard pour les start-up. Pour aller de l'avant, et en parlant de Makelab, les déclarations de Perla ici ne signifient pas que le capital-risque ou d'autres instruments d'investissement sont complètement hors de question. « Mais pour l'instant, nous choisissons de nous concentrer sur nos clients et notre activité », conclut-elle.

Enfin, quel que soit le degré de complexité du voyage, je pense que définir votre mesure de la réussite vous aidera à apprécier chaque étape du voyage à sa juste valeur.

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



Défis soulevés et résolus par les polymères haute performance pour la FA - Exemples clés dans l'industrie automobile.

Dans une industrie où la croissance de la FA est souvent mise en évidence par une forte concentration sur les métaux, les polymères restent le groupe de matériaux le plus utilisé, toutes applications confondues. Des industries telles que l'aérospatiale, l'automobile et le biomédical explorent les applications des pièces en polymères à haute température avec la FA, mais un fossé doit encore être comblé pour qu'elles puissent atteindre la production en série.

Soyons clairs : de nombreux exemples ont déjà démontré que des polymères de haute performance traités par FA ont permis la fabrication d'outillages ou d'applications finales. Le fait est que, pour que ces matériaux soient considérés comme un substitut des métaux, pour qu'ils puissent fournir des pièces de grande valeur dans des séries de production à faible quantité, ils doivent répondre à un certain nombre d'exigences.

Cet article a pour ambition de présenter les défis que les fabricants doivent encore relever lorsqu'ils adoptent les polymères haute performance dans la production en série, ainsi que ceux que ces matériaux peuvent déjà résoudre au niveau de la fabrication.

Plusieurs contributions ont été envisagées, mais **Sylvia Monsheimer**, responsable de l'impression 3D industrielle et des nouvelles technologies 3D chez Evonik, a été invitée à partager ses idées clés avec **Ralf Anderhofstadt**, responsable du centre de compétences Fabrication additive, atelier d'impression et médias chez Daimler Trucks & Buses.

Evonik Industries AG est une société allemande de produits chimiques spécialisés cotée en bourse, qui développe et commercialise l'un des portefeuilles les

plus complets de solutions matérielles dans l'industrie de la FA sous la marque **INFINAM®**. En ce qui concerne les matériaux, les poudres de polyamide 12 de haute qualité de la société sont reconnues pour leurs applications polyvalentes dans l'industrie de la FA. L'expérience de l'entreprise dans le développement de matériaux d'impression 3D à base de polymères nous permettra de nous mettre dans la peau d'un producteur de matériaux et de comprendre la complexité des polymères haute performance.

Daimler Trucks & Buses, quant à lui, apportera son expertise en tant qu'utilisateur de la FA. Pour beaucoup de gens, cette entreprise est le plus grand constructeur de véhicules commerciaux, avec plus de 40 sites de production dans le monde et plus de 100 000 personnes sur plus de 40 sites à travers le monde. Dans le domaine de l'impression 3D, le constructeur automobile bénéficie de plus de 25 ans d'expérience dans la construction de prototypes par impression 3D. Avec 50 000 pièces détachées de bus imprimables en 3D disponibles aujourd'hui, l'entreprise a surtout utilisé la FA dans la division après-vente, pour réagir rapidement et avec souplesse aux besoins urgents des clients, par exemple lorsque ceux-ci commandent des pièces rarement

Un peu moins de 40 000 pièces détachées de bus sont déjà imprimables en 3D aujourd'hui. Certaines d'entre elles sont déjà disponibles en tant que pièces de rechange imprimées en 3D après avoir subi les étapes de numérisation, les processus d'approbation et les nombreux tests de produits correspondants. Image via Daimler Buses.

demandées ou ont des demandes spéciales.

Anderhofstadt nous a confié qu'ils travaillent actuellement avec de nombreux partenaires et prestataires de services, c'est pourquoi ils testent tous les processus de production additive et vérifient s'ils sont adaptés aux séries. Pour l'instant, ils se concentrent sur la SLS, la MJF et, bien sûr, la FDM, en fonction de l'application.

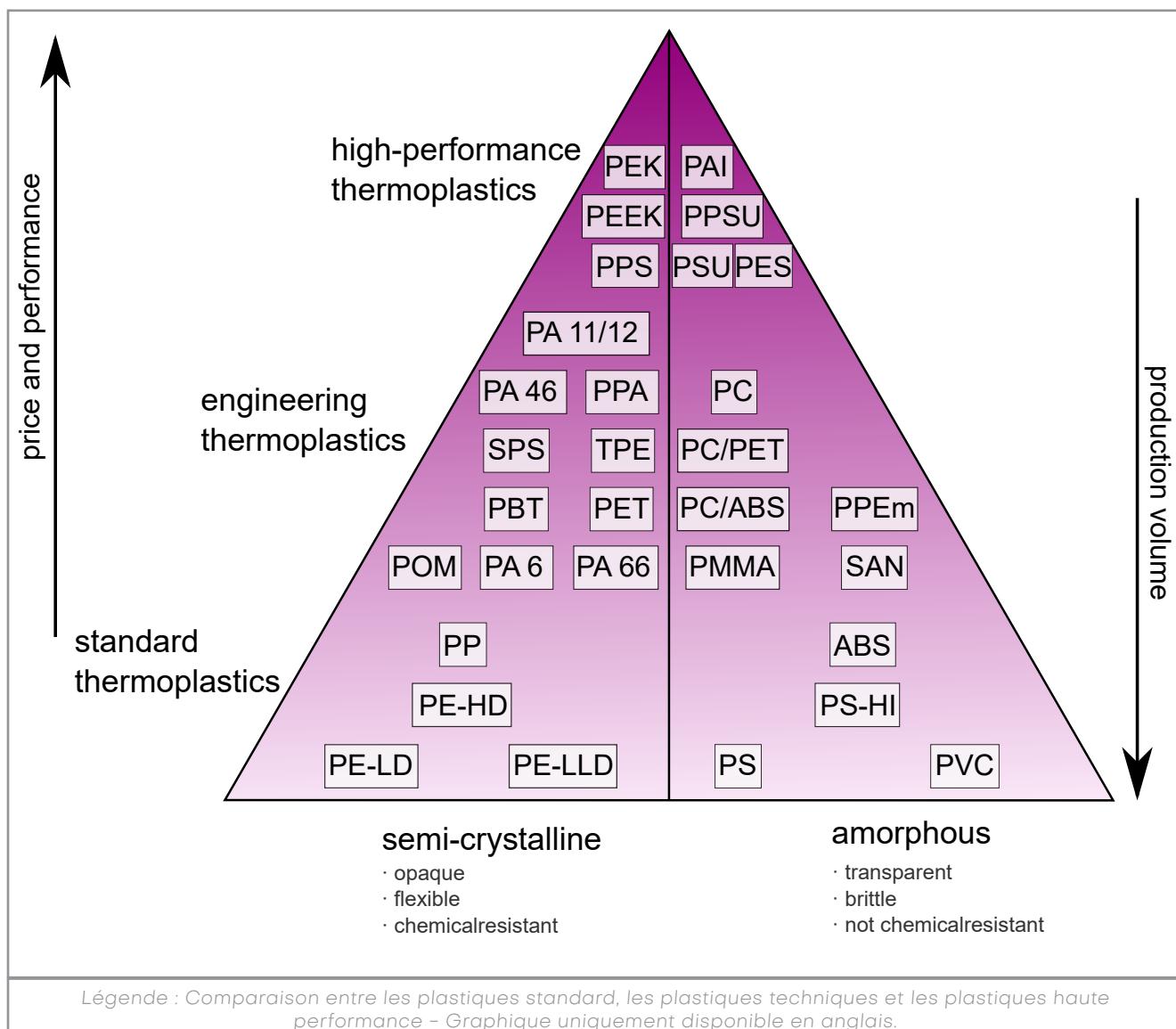
Comprendre le concept des polymères « haute performance »

Si vous êtes nouveau dans ce monde, veuillez noter que le terme «polymères» est souvent utilisé de manière interchangeable avec «plastiques». Toutefois, nous utiliserons principalement le mot «polymères» dans cet article.

D'un point de vue technique, les polymères haute

performance (HPP) sont un groupe de matériaux qui peuvent conserver leurs propriétés mécaniques, thermiques et chimiques souhaitables lorsqu'ils sont soumis à des environnements difficiles tels que des températures élevées, des pressions élevées et des produits chimiques corrosifs.

Si le terme «haute performance» est désormais naturellement utilisé dans le jargon scientifique et industriel, la vérité est qu'il ne s'agit pas d'un terme scientifique à proprement parler. Néanmoins, il permet de définir une catégorie spécifique qui se trouve à la tête d'une pyramide mettant en évidence les performances des polymères. Les polymères haute performance sont situés au sommet de la pyramide des polymères et sont directement suivis par les polymères techniques et les polymères de base/standard.



La dernière fois que nous avons vérifié, les polymères haute performance représentaient environ 700 000 tonnes, soit seulement 0,2 % de tous les polymères synthétiques. Ils sont généralement beaucoup plus difficiles à fabriquer. Comme ils sont basés sur des monomères plus complexes, ils s'avèrent assez coûteux. Cela dit, plus le matériau

polymère est complexe ou difficile à produire, plus le polymère résultant est performant.

D'une manière générale, les polymères offrent beaucoup plus d'avantages que les métaux : ils sont plus résistants aux produits chimiques, ils ne nécessitent pas (beaucoup) d'efforts de finition

après traitement, ils sont plus légers que les métaux typiques, ou ils sont naturellement absorbants pour les radars et isolants thermiques et électriques. Il est fascinant de constater que certaines de ces propriétés sont également recherchées dans les polymères haute performance développés pour la FA.

« Un avantage important réside dans la résistance aux hautes températures, raison pour laquelle ce type de matériaux est également très intéressant pour le secteur automobile. Les propriétés telles que la haute résistance à la traction et la haute résistance aux produits chimiques soulignent bien sûr cet aspect. Par conséquent, les polymères haute performance deviennent de plus en plus une alternative intéressante aux métaux », souligne l'expert de Daimler.

Fait surprenant, les propriétés qui rendent les polymères haute performance utiles sont souvent celles qui les rendent difficiles, voire impossibles à produire à l'aide des machines de FA courantes sans processus à haute température.

« Si nous parlons de production en série – des pièces qui sont produites pour une application finale – nous rencontrerons pas mal de défis : Nous ne devons pas seulement remplacer l'étape de construction d'une pièce, mais des ajustements des étapes du processus de production avant et après la construction d'une pièce doivent être envisagés et prouvés. En d'autres termes, nous

devons travailler à l'intégration dans la chaîne de processus qui est principalement axée sur les applications. Et les solutions clés en main ne sont pas disponibles dans leur ensemble. Or, ce point est toujours sous-estimé », affirme d'emblée Monsheimer.

Anderhofstadt est d'accord avec elle puisqu'il insiste sur la nécessité de processus de libération techniques et qualitatifs : « pour les pièces de série, il est bien sûr essentiel d'obtenir 100 % des propriétés de la pièce dans le contexte global afin d'atteindre les normes de qualité. C'est également la base de la reproductibilité, qui est absolument nécessaire pour la production en série. »

Ajoutez à cela la « considération des coûts », et vous faites en sorte que la conversation englobe l'ensemble de la chaîne de fabrication :

« Un autre défi à coup sûr, ce sont les coûts de la solution globale d'impression 3D. La concurrence avec le moulage par injection est imbattable pour un grand nombre de pièces simples. Les technologies de fabrication additive en général offrent des avantages si on peut utiliser la liberté de conception ou si on



Ralf Anderhofstadt
responsable du centre de compétences
Fabrication additive, atelier d'impression et
médias chez Daimler Trucks & Buses

peut réaliser des assemblages en une seule pièce. Dans ce cas, [il est nécessaire de revoir la conception de la ou des pièces en tenant compte de la FA]. Enfin, il manque encore des matériaux spéciaux pour des applications spéciales. C'est là que nous intervenons en élargissant continuellement notre portefeuille de matériaux d'impression 3D axés sur les applications », ajoute le représentant d'Evonik.



Images via Daimler Buses

Alors, de quels défis s'agit-il ?

« Défis » est un grand mot qui est régulièrement utilisé dans tous les sujets liés à la FA. Dans ce cas précis, j'aimerais les considérer comme des limitations qui ouvrent de nouvelles perspectives aux utilisateurs de la FA.

La première chose que nous retiendrons du dernier commentaire de Monsheimer est le **nombre limité de polymères à haute performance**. Il est intéressant de noter que le processus n'est pas aussi simple

que de créer des formes de polymères traditionnels utilisés dans le moulage par injection.

Le **problème de la «délamination» au niveau de la fabrication**. Selon le fabricant de machines **Orion**, les pièces qui sont spécifiquement fabriquées en PEEK souffrent souvent de ce problème. Cela signifie que les couches fusionnées qui construisent la forme finale ne sont pas correctement soudées ensemble. Ces pièces en PEEK défectueuses se comportent davantage comme une pile de tranches

vaguement connectées que comme un ensemble continu. Ces propriétés mécaniques inégales sont appelées «propriétés anisotropes» et constituent un problème courant dans les pièces imprimées de nombreux fabricants. Ils ont pu explorer une nouvelle solution à ce problème lorsqu'ils travaillaient sur la FA des CubeSats, ces satellites miniatures et légers utilisés pour la recherche spatiale, l'observation de la terre ou les télécommunications. L'équipe a utilisé son **système de chauffage par rayonnement thermique**. Développé en interne chez Orion, il fusionne les couches entre elles tout en chauffant l'ensemble de l'objet et en dirigeant le rayonnement thermique vers la couche précédente avant le dépôt du nouveau matériau. Chaque couche du matériau imprimé est moulée sur la précédente grâce à un chauffage sélectif allant jusqu'à 300 °C. Cela garantit que les couches forment une seule pièce solide et continue. Il en résulte des composants imprimés en 3D plus solides, plus isotropes et prêts à être utilisés immédiatement, explique Orion.

Comme vous pouvez le deviner, si ce problème n'est pas résolu, il entraîne souvent des limitations liées à d'importants gradients thermiques, à l'accumulation de contraintes résiduelles et à l'adhésion entre les couches, ainsi qu'à l'incapacité des imprimantes 3D à maintenir en permanence les températures de traitement élevées requises. C'est la raison pour laquelle on n'insistera jamais assez sur la nécessité de collaborer entre les fabricants de matériaux et les fournisseurs de technologies, rappelle Monsheimer avant d'ajouter :

« Un bon matériau est clé ! Cela signifie qu'il faut disposer d'un matériau pouvant être traité en toute sécurité et répondant à tous les besoins des processus d'impression 3D ou de l'application concernée, au meilleur prix. Si ce rapport entre les propriétés du matériau et les coûts est atteint, nous pouvons commencer à travailler sur d'autres défis. »

Une autre limite se manifeste **dans le type d'applications réalisées avec ces matériaux**. Par exemple, en raison de leur faible rigidité structurelle, il est difficile ou rare de réaliser des structures lourdes

avec des polymères. C'est la raison pour laquelle la plupart des applications sont présentées dans l'industrie des soins de santé, dans l'industrie de la bijouterie (Boltenstern, par exemple, offre des boucles d'oreilles ou des bracelets personnalisés en série dans différentes couleurs, fabriqués à partir du PA12 d'Evonik) ou à des fins de personnalisation dans d'autres industries. Dans l'industrie automobile, cependant, il y a de grands espoirs d'assister bientôt à quelques nouvelles applications :

« Nous procérons actuellement à des tests finaux sur des polymères à haute performance pour des applications de série. Les premières informations à ce sujet seront bientôt annoncées officiellement, car cette gamme est également très intéressante pour nous dans le secteur des camions et des bus.

Nous avons déjà installé plus de 50 000 pièces de série imprimées en 3D dans nos véhicules. Actuellement, l'accent est toujours mis sur le secteur des polymères, mais nous avons déjà mis en œuvre plusieurs applications de série en différents métaux. Outre les supports, divers couvercles et inserts de poignée dans le domaine du métal, les pièces typiques sont également des supports ou divers composants sur le système d'échappement », s'enthousiasme Anderhofstadt.

À l'avenir, et en ce qui concerne l'industrie automobile, Anderhofstadt souligne la nécessité de disposer de polymères à haute performance pour répondre à d'autres exigences :

« Je pense fortement à des propriétés telles que la **protection contre le feu et donc le retardement des flammes des matériaux**. Et bien sûr, cela doit aussi être en accord avec les objectifs de durabilité. Enfin, pour la production en série, il



Sylvia Monsheimer, responsable de l'impression 3D industrielle et des nouvelles technologies 3D chez Evonik

est essentiel que ces matériaux puissent être utilisés pour une production économique », complète-t-il.

Monsheimer ne peut le contredire sur le point de la durabilité – puisqu'elle souligne également cette préoccupation. En effet, l'empreinte carbone et/ou l'élimination peuvent être des problèmes critiques, car certains polymères ne peuvent pas être recyclés alors que tous les métaux le peuvent. Cependant, certains producteurs de matériaux ont commencé à prendre des mesures pour résoudre ce problème – et Evonik en fait partie comme vous avez pu le lire dans ce numéro de 3D Adept Mag (page 25).

« Après le prototypage, les applications constituent le prochain défi pour les matériaux, car ceux-ci doivent désormais être optimisés pour des applications particulières », conclut Monsheimer.

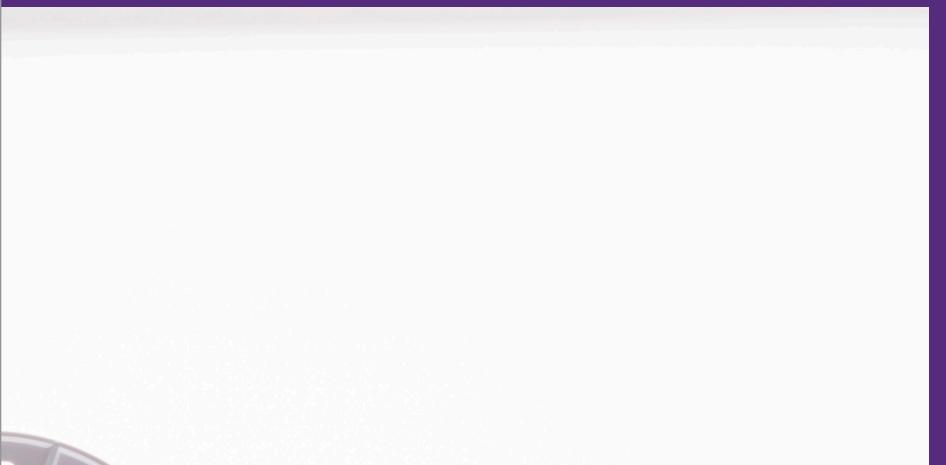
PASSER À LA PHASE DE PRODUCTION EN IMPRESSION 3D AVEC DE NOUVEAUX MATERIAUX DURABLES

Par sa nature même, la fabrication additive est considérée comme une technologie durable. Les avantages durables de l'impression 3D pourraient jouer un rôle important, voire décisif, pour les producteurs et les fabricants vers des applications de série. Pour les fabricants de matériaux comme Evonik, intégrer la durabilité n'est pas évident mais plus le parcours durable devient conscient et transparent au début de la chaîne de valeur additive, plus ces effets auront un impact dans l'application finale.

L'accent étant mis de plus en plus sur la fabrication écologique, l'évaluation de la performance environnementale des procédés de fabrication additive a gagné en importance. La fabrication additive offre plusieurs avantages durables par rapport aux autres technologies de traitement : La liberté de conception des composants 3D offre un énorme potentiel pour le développement de nouveaux produits et l'amélioration de l'efficacité et des performances des composants. Les nouvelles structures légères bioniques permettent de concevoir au mieux des éléments fonctionnels, qui sont principalement utilisés comme composants légers dans les industries aérospatiale et automobile. En raison du principe général de toutes les technologies additives, qui consiste à déposer de la matière de manière structurée au lieu de l'enlever, comme dans certains autres processus tels que l'usinage, les matériaux d'impression 3D sont utilisés très efficacement. Dans un passé récent, qui s'est malheureusement caractérisé par l'effondrement des chaînes d'approvisionnement mondiales pour plusieurs raisons, la fabrication additive a été particulièrement efficace : la production à la demande de pièces organisées de manière décentralisée est désormais une réalité. C'est pourquoi l'impression 3D est souvent considérée comme une technologie de transformation durable.

« Dans notre activité de chimie de spécialité avec des matériaux de haute performance, nous ne voyons pas les différentes technologies de traitement dans une quelconque compétition de durabilité », explique Sylvia Monsheimer, qui dirige le segment de marché de l'impression 3D industrielle d'Evonik. « Les gens ont souvent tendance à comparer le moulage par injection et l'impression 3D. Mais il y a de la place pour les deux sur le marché, et il y a de bonnes raisons de s'appuyer sur l'une ou l'autre technologie en fonction de l'application, comme l'impression 3D pour les cycles de vie plus courts des produits ou le moulage par injection pour les pièces spécialisées de grand volume. » Outre les arguments économiques, il est impossible d'imaginer aujourd'hui la production de pièces sans les aspects écologiques. Lorsqu'on se prononce pour ou contre une technologie de transformation, les influences écologiques telles que la durabilité sous ses nombreux aspects ou les différentes options de recyclabilité sont prises en compte en plus du coût par pièce.





Dr. Dominic Störkle, Responsable de la croissance et de l'innovation en matière de Fabrication Additive



“

Pour de nombreux acteurs du marché, tels que les fabricants de matériaux ou les fournisseurs de technologies, vivre de manière durable n'est peut-être pas si évident que cela. Mais plus le parcours durable est conscient et transparent au début de la chaîne de valeur de FA, plus ces effets auront un impact sur l'application finale.

En tant que société de chimie présente dans le monde entier, Evonik considère que la durabilité et le succès commercial à long terme sont les deux faces d'une même médaille. Cela se reflète dans la demande croissante des clients pour des produits et des services qui démontrent un bon équilibre entre les facteurs économiques, écologiques et sociaux. La durabilité est depuis longtemps devenue un moteur de croissance pour Evonik.

L'impression 3D durable commence par le bon matériau

Les fabricants de matériaux ont une grande responsabilité dans ce domaine, car le résultat durable d'une application dépend de la performance durable des matériaux utilisés. « La durabilité est l'élément essentiel pour réussir à l'avenir. Nous considérons la durabilité comme un moteur de croissance essentiel et la pierre angulaire de notre portefeuille de produits, de nos investissements et de notre gestion de l'innovation. Le développement durable fait donc partie intégrante de la stratégie d'Evonik », déclare **Dr Dominic Störkle**, responsable du domaine de croissance de l'innovation en matière de fabrication additive chez Evonik.

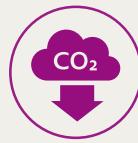
Improving reusability rates



Saving fossil resources



Reducing carbon footprint



Working on recycling concepts



Chez Evonik, les experts en polymères ont une vision globale du développement durable, qui repose sur quatre piliers principaux :

- Améliorer les taux de réutilisation
- Réduction de l'empreinte carbone
- Économiser les ressources fossiles
- le recyclage.

Outre des facteurs tels que l'efficacité de la production ou la réutilisation des matériaux, leur approche de la durabilité comprend **l'évaluation du cycle de vie total des matériaux et leur amélioration constante**. L'entreprise de produits chimiques de spécialité ne se contente pas d'examiner l'empreinte carbone, mais s'intéresse également à d'autres facteurs importants tels que la **consommation d'eau et l'utilisation des sols**. En utilisant de l'énergie verte et des

matières premières renouvelables ou recyclées pour la production, Evonik améliore considérablement l'écobilan global de ses matériaux et travaille sur les possibilités de fin de vie des polymères du groupe.

Améliorer les taux de réutilisation

Evonik propose déjà ses premiers nouveaux grades de PA12 qui peuvent être réutilisés en ne remplaçant que la poudre nécessaire aux pièces du travail précédent, ce qui évite le gaspillage de matériaux dans la production selon l'approche ZERO DÉCHET du groupe. En outre, de nouveaux matériaux en poudre sont en cours de développement pour augmenter leur taux de réutilisation au cours d'un processus d'impression 3D.

Réduire l'empreinte carbone

En octobre de l'année dernière,

Evonik a introduit une nouvelle catégorie de **poudres PA12** dont les émissions de CO2 sont considérablement réduites. Les nouvelles poudres PA12 remplaceront les anciens matériaux INFINAM® polyamide 12 pour toutes les technologies 3D courantes à base de poudre telles que SLS, HSS ou MJF. Les nouvelles poudres durables INFINAM® PA12 sont produites à partir d'énergies renouvelables dans le parc chimique de Marl, en Allemagne. Le **TÜV Rheinland** a certifié les analyses de cycle de vie associées, confirmant une amélioration de près de 50 % de la propre empreinte carbone de l'entreprise. Dans l'évaluation globale du cycle de vie, la comparaison du nouveau grade de matériau durable est positive, même par rapport aux polyamides à base d'huile de ricin de la propre gamme Terra d'Evonik.

Reducing carbon footprint



Castor oil-based PA
(INFINAM® Terra)



Renewable energy-based PA 12
(INFINAM® PA)

Économiser les ressources fossiles

Evonik travaille également à l'élargissement de sa gamme de poudres PA12 durables pour y inclure la ligne de produits INFINAM® eCO. « eCO » représente l'objectif de l'entreprise d'éviter le dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre, en utilisant des matières premières renouvelables ou circulaires via l'approche du bilan massique. Le bilan massique consiste à mélanger des matières premières fossiles vierges et des matières premières renouvelables ou circulaires dans les systèmes et processus de production existants. La quantité renouvelable est ensuite attribuée mathématiquement à des produits spécifiques et est certifiée par un tiers neutre afin de vérifier l'utilisation de ressources renouvelables ou circulaires à toutes les étapes de la production. Le bilan massique est un moyen de suivre les quantités renouvelables ou circulaires tout au long du processus et de les attribuer à des produits spécifiques. Il permet une production à grande échelle et autorise des solutions rentables qui répondent à des objectifs

environnementaux et de durabilité plus stricts. Le lancement sur le marché d'INFINAM® eCO est prévu pour cette année.

Recyclage

Enfin, Evonik travaille également sur les opportunités de fin de vie des applications 3D à base de polymères.

L'accent étant mis de plus en plus sur une fabrication respectueuse de l'environnement, l'évaluation de l'impact environnemental des procédés de fabrication additive est cruciale pour choisir au cas par cas la technologie la plus efficace et la plus durable pour la production de pièces. L'analyse du cycle de vie est un outil important pour calculer l'impact environnemental des processus d'impression 3D. En développant de nouveaux matériaux durables de haute performance, Evonik veut faire de l'impression 3D une autre technologie de fabrication importante pour la production en série, qui coexistera à l'avenir avec le moulage par injection, l'extrusion et l'usinage. Pour cela, il faut utiliser les bons matériaux dès le départ.

DOWNLOAD YOUR FREE COPY OF THE LATEST ISSUE



WWW.3DADEPT.COM



New sustainable 3D printing materials

nearly
50 percent
less CO₂

INFINAM® 

Evonik is introducing new 3D printing grade of its INFINAM® PA12 powders with significantly reduced CO₂ emissions. The new sustainable materials are produced using renewable energy—based on biomethane—and certified by TÜV Rheinland attesting an improvement in the company's own carbon footprint of almost 50 percent.

 **EVONIK**
Leading Beyond Chemistry

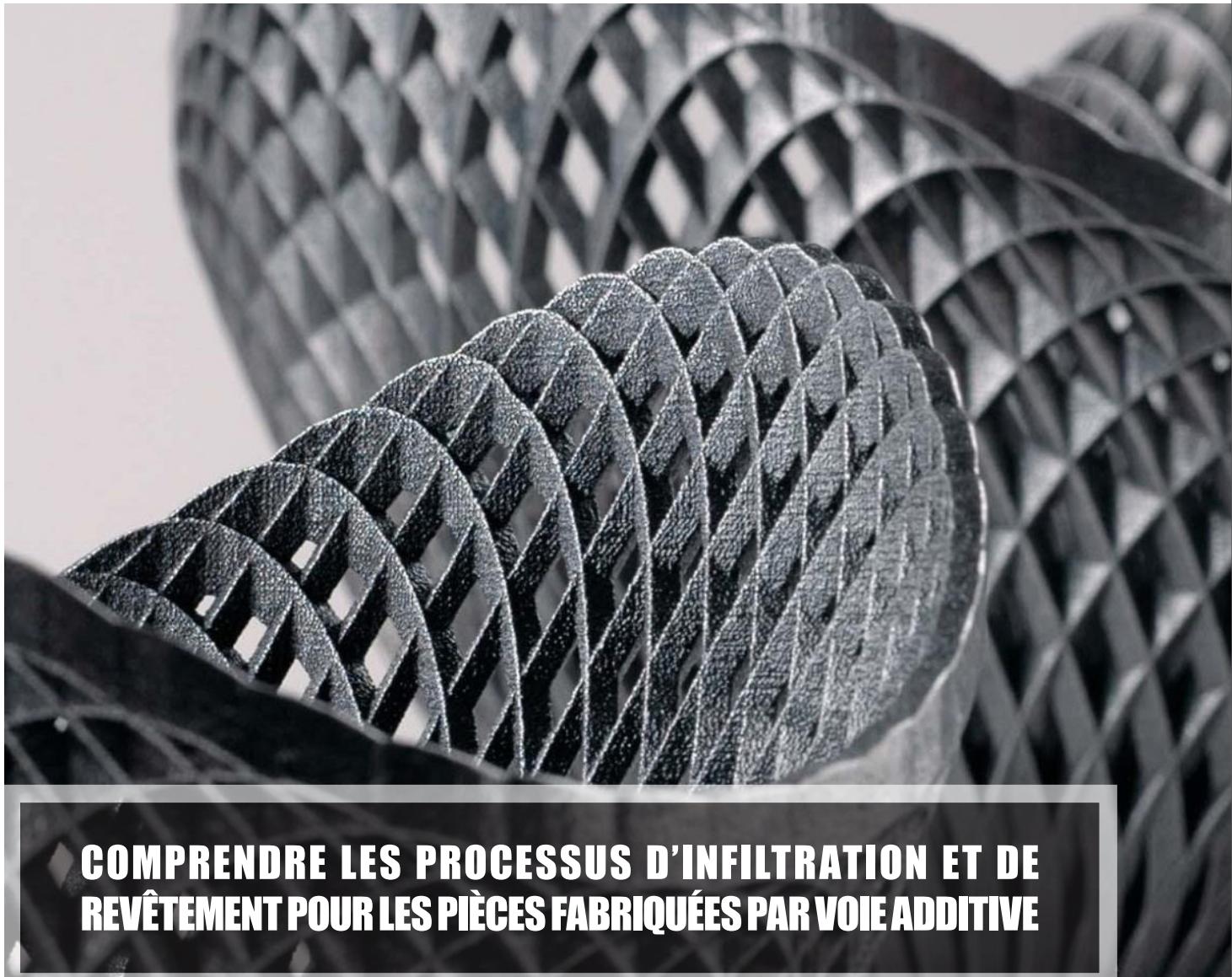
Depowdering Software SPR-Pathfinder® NEW

Automatic calculation of part
motion without any human programming



For SFM-AT800-S and SFM-AT1000-S

solukon.de



COMPRENDRE LES PROCESSUS D'INFILTRATION ET DE REVÊTEMENT POUR LES PIÈCES FABRIQUÉES PAR VOIE ADDITIVE

Qu'elle soit légère ou bon marché, une pièce imprimée en 3D apporte de la valeur lorsqu'elle est performante. Or, l'obtention de ces performances commence et se termine souvent à la surface. Assurer la bonne surface de la pièce imprimée en 3D se résume souvent à la bonne tâche de post-traitement. Dans nos efforts pour démystifier chaque tâche de post-traitement qui peut être utilisée à la fin de la production additive, nous nous concentrerons dans cet article sur les processus d'**infiltration** et de **revêtement**.

Pour rappel, le post-traitement est un terme générique qui couvre une variété d'étapes que les pièces imprimées en 3D doivent subir avant d'être utilisées pour leur usage final. Quelle que soit l'étape de post-traitement à laquelle la pièce de FA doit se soumettre, l'objectif reste le même : supprimer les propriétés indésirables qui ont été intégrées au produit final au cours du processus de fabrication additive.

Parmi les différentes tâches de post-traitement qui peuvent

être effectuées sur des pièces imprimées en 3D, nous avons déjà étudié l'utilisation des fours, le traitement thermique et l'élimination de la poudre métallique dans les éditions précédentes de **3D ADEPT Mag.**

De manière intéressante ou frustrante, lorsqu'il s'agit d'**infiltration** et/ou de **revêtement**, ce qui semble simple est pourtant d'une complexité indescriptible. L'infiltration et le revêtement sont souvent utilisés de manière interchangeable pour désigner

le même processus. Par conséquent, si vous demandez à cinq experts de définir ou d'expliquer ce qu'ils entendent par infiltration ou revêtement, il y a de fortes chances que vous obteniez cinq significations différentes.

Nous avons fait nos devoirs, nous avons parlé à des experts du secteur et nous avons mené des recherches pour clarifier chacun de ces termes et la façon dont ils doivent être utilisés dans une production par fabrication additive.

Le revêtement

Le revêtement est un mot largement utilisé en FA : Revêtements de surface, revêtements pour la fabrication additive, revêtements des pièces imprimées en 3D, revêtement par poudre sèche, revêtement par projection à froid, etc. En termes simples, un revêtement est une couche d'une substance ajoutée à une surface pour la protéger et en améliorer l'aspect.

« Selon notre compréhension, [il] s'agit d'un procédé de fabrication permettant d'affiner les pièces métalliques fabriquées de manière conventionnelle ou additive. L'objectif d'un revêtement est de protéger une pièce contre les dommages causés par les caractéristiques de son environnement d'exploitation (par exemple, température élevée, humidité élevée, présence de produits chimiques, contraintes mécaniques, etc. » **Dr. Tobias Stittgen**, directeur général de ponticon explique. Le fabricant de machines développe une technologie qui permet de revêtir et d'imprimer des objets à un rythme rapide. La technologie DED à grande vitesse de l'entreprise peut être appliquée pour revêtir tout composant métallique imprimé en 3D. La plus grande flexibilité du matériau est obtenue en faisant passer le matériau de revêtement par une buse, ce qui permet d'obtenir des propriétés adaptées à l'application avec une



Une pièce en cours d'impression 3D et de revêtement sur le système DED à grande vitesse de Ponticon. Crédit de l'image : Ponticon

productivité sans précédent.

En général, pour affiner les pièces métalliques, les opérateurs appliquent souvent une couche de matériau sur le substrat pour améliorer les propriétés de surface des pièces. Comme l'indique Stittgen, le choix d'un revêtement dépend souvent de ce qui est affecté dans l'environnement d'exploitation. Il dépend également de la durée de vie, de la compatibilité du matériau du substrat, de la forme et de la taille de la pièce, et bien sûr du prix.

En outre, si le revêtement peut être utilisé avec tous les procédés de FA métal, il convient de noter que « les propriétés protectrices sont mieux obtenues avec des matériaux qui diffèrent du

matériau de la pièce réelle. Comme les matériaux de revêtement ont souvent une valeur élevée, la fabrication de la pièce entière n'est pas viable économiquement », note Stittgen.

Dans cet esprit, pour catégoriser les différents types de revêtements, **les opérateurs examinent souvent la manière dont le matériau de revêtement est déposé sur la surface du substrat**. Quatre méthodes de dépôt du matériau de revêtement ont été identifiées : le dépôt atomique, le dépôt particulaire et le revêtement en vrac ou le gainage. Chacune de ces méthodes comprend un large éventail de sous-processus et est compatible avec des opérations spécifiques :

Dépôt atomique	Dépôt électrolytique	Dépôt physique en phase vapeur (PVD = Physical vapour deposition)	Dépôt par plasma	Dépôt chimique en phase vapeur (CVD)
Particulate deposition	Pulvérisation thermique	Placage par impact	Émaillage	Electrophorèse
Revêtement en vrac ou le gainage	Peinture et trempage	Revêtement au laser	Recouvrements de soudure	Collage de rouleaux
Modification de surface	Anodisation	Conversion électrolytique		

Tableau créé par [TWI Global](#).

Dans un autre ordre d'idées, les méthodes de modification de surface utilisées pour la fabrication additive des métaux comprennent beaucoup plus de procédés : grenaillage, sablage au rouleau, traitement de surface au laser, traitement par friction-malaxage, traitement thermique par roulement de surface par ultrasons, traitement cryogénique ou traitement mécanique de surface par attrition.

Ces méthodes sont souvent les moins mises en

avant dans la fabrication additive d'une pièce – probablement parce que certaines d'entre elles sont encore explorées au niveau de la recherche. Cependant, il est important que les fabricants gardent trace de leur influence sur la qualité de surface des composants imprimés 3D afin de mieux évaluer les innovations au niveau de la production et des performances.

Infiltration

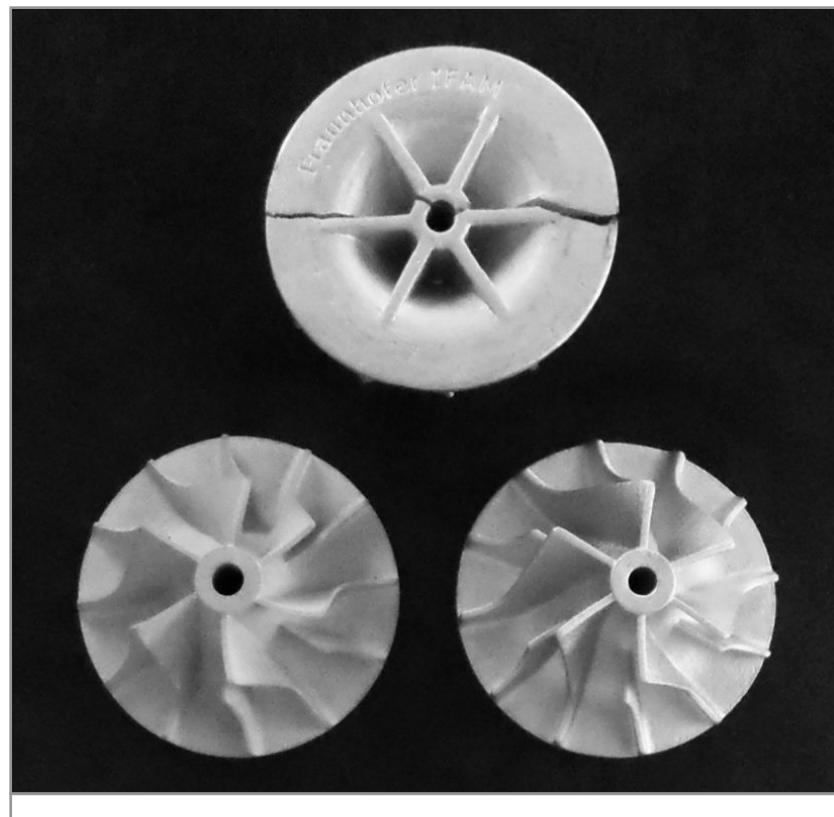
L'infiltration est l'une des opérations qui n'est réalisée qu'avec des procédés de FA spécifiques - dans ce cas, le **jet de liant** ou le **frittage laser**. La FA par jet de liant est l'un des procédés de FA qui nécessite le plus souvent cette tâche de post-traitement. Après le processus d'impression, les pièces fabriquées par jet de liant (ou Metal Binder Jetting) sont souvent soumises à un processus d'infiltration ou de frittage.

Comme nous l'expliquons dans notre dossier sur [l'utilisation des fours](#), au cours du processus de frittage, « les pièces vertes (une combinaison de poudre métallique et de liant) sont d'abord chauffées à une température à laquelle le liant évolue et est retiré des pièces. Le four monte ensuite en puissance jusqu'à la température de frittage du métal, qui est juste inférieure à la température de fusion du matériau, ce qui permet de fusionner les particules de métal. Une fois le frittage terminé, il ne reste que peu ou pas de traces des particules de poudre d'origine, du processus de fabrication et les pièces ont une très faible porosité ».

Selon les mots de **Matt Petros**, CEO de 3DEO, l'infiltration entre en jeu pour deux raisons principales : « la densification complète n'est pas possible uniquement par le frittage et le frittage à haute température peut introduire une distorsion dimensionnelle extrême de la pièce - [le but ultime étant d'améliorer la densité de la pièce] ». Au cas où vous ne les connaîtriez pas, 3DEO est un fabricant de machines et un producteur de pièces qui fournit des services de fabrication basés sur une [technologie brevetée Intelligent Layering®](#). Nous suivons cette société depuis quelques années maintenant et son expertise nous a permis de comprendre plus d'une fois les nombreuses règles qu'enfreint la FA. Dans ce cas précis, 3DEO n'utilise pas l'infiltration comme étape de consolidation. Dans leur procédé Intelligent Layering®, les pièces sont frittées à pleine densité.

Mais, comment fonctionne le processus d'infiltration ?

Une fois la fabrication terminée, la pièce est placée dans un four où le liant est brûlé, laissant des vides. La densité de la pièce sera réduite à environ 60 %. L'opérateur peut ensuite remplir les vides laissés par la pièce avec du bronze ou un autre métal à basse température de fusion jusqu'à ce qu'elle atteigne une densité d'au moins



Roues de turbine fabriquées par projection de liant, partie supérieure brisée en raison des taux de refroidissement élevés après le frittage ; partie inférieure gauche présentant une distorsion importante ; partie inférieure droite présentant une distorsion moindre. Image via Fraunhofer IFAM.

90 %.

À propos d'un processus spécifique appelé "infiltration de métal liquide", qui peut être utilisé comme étape de post-frittage pour produire une pièce entièrement dense, le CEO de 3DEO explique « qu'après l'élimination du liant, une étape de frittage à basse température est réalisée pour initier le colmatage des particules de métal. Cette pièce légèrement frittée servira de cadre pour le remplissage par le métal liquide. Un infiltrant à température de fusion plus basse est fondu et diffusé dans le réseau poreux de la pièce par capillarité. »

L'un des avantages de ce procédé, selon Petros, est qu'il permet d'éviter « les distorsions dimensionnelles extrêmes de la pièce après le frittage à haute température. Tous les pores ouverts de la pièce sont remplis, ce qui renforce ses propriétés mécaniques et son intégrité structurelle ».

En outre, les pièces infiltrées sont relativement solides et présentent de bonnes propriétés mécaniques, mais elles seront environ 2 % plus petites après infiltration.

« L'un des principaux inconvénients de l'infiltration est la nature hétérogène des pièces métalliques infiltrées. Les pièces métalliques infiltrées présenteront des propriétés difficiles à prévoir, car la pièce est un composite de deux matériaux différents. Parmi les autres inconvénients, citons

l'augmentation du temps de traitement en raison des étapes supplémentaires requises pour l'infiltration », ajoute Petros.

Ceux qui souhaitent explorer d'autres méthodes de densification jusqu'à la pleine densité peuvent opter pour un additif de frittage. Selon Petros, ce dernier peut aider à friter les particules à une température plus basse tout en maintenant la précision dimensionnelle. « Le pressage isostatique à chaud (HIP) est un autre procédé de consolidation populaire pour atteindre une densité presque théorique », note-t-il.

Si l'infiltration est surtout mise en avant dans la fabrication de pièces par jet de liant métallique, cette étape de post-traitement a une signification et une compréhension différentes pour ceux qui travaillent avec l'impression 3D SLS.

Pour ces producteurs de pièces, l'infiltration permet une meilleure protection de la surface et donne plus de "stabilité" aux pièces imprimées en 3D. Les pièces sont donc protégées des contaminants car elles sont plus résistantes à la pression, et imperméables.

Tracy Beard du bureau de services d'impression 3D Quickparts explique que cette méthode de post-traitement est principalement utilisée pour



Pièce frittée, cassée pendant l'enlèvement de poudre en raison de la faible résistance de la pièce verte. Image via Fraunhofer IFAM.

sceller ou colorer les pièces SLS. Pour ce faire, ils utilisent un processus d'imprégnation sous vide lorsque les pièces doivent être étanches. Lorsqu'une couleur autre que la couleur naturelle de la poudre SLS est requise, ils infiltrent ou imprègnent les pièces avec un colorant.

Le processus d'infiltration continue d'être étudié en conjonction avec divers traitements thermiques pour augmenter la résistance et diminuer la teneur en substances volatiles des pièces. Comme nous l'avons vu avec le revêtement, la mise en évidence de leur influence sur la qualité de surface des pièces imprimées 3D permettra de mieux évaluer les innovations au niveau de la production et des performances.

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

WWW.3DADEPT.COM

Logiciels



l'IA est-elle le “mot magique” destiné à rendre la conception de vos produits moins ennuyeuse ?

Dans [notre récapitulatif de l'année 2022](#), nous avons observé que les entreprises technologiques n'ont cessé de travailler sur des solutions logicielles plus robustes pour l'ensemble du flux de fabrication ; des solutions logicielles qui peuvent rationaliser les flux de travail et s'intégrer aux solutions d'entreprise existantes, des logiciels qui peuvent faciliter la tâche des ingénieurs pour concevoir une pièce directement pour la fabrication additive plutôt que de devoir concevoir cette pièce deux fois. Dans cet esprit, les solutions logicielles sont de plus en plus développées en intégrant l'intelligence artificielle (IA). Le problème, c'est que les éditeurs de logiciels ont tendance à vanter les mérites des «produits logiciels miracles» dont l'IA est le principal argument de vente. Les concepteurs de produits doivent être prudents. L'IA est-elle devenue un «mot magique»

destiné à rendre un produit plus sophistiqué, plus puissant, plus performant ou simplement moins «ennuyeux» ? Quand est-il vraiment judicieux de dire «ce logiciel alimenté par l'IA fait vraiment des merveilles» ? Comment éviter le battage médiatique autour de cette technologie qui semble encore complexe à apprivoiser ? Ce dossier vise à apporter une compréhension réfléchie de l'intégration de l'IA dans les solutions logicielles dédiées à la FA et à évaluer le fossé qui reste à combler entre la théorie et la pratique.

ChatGPT étant la dernière innovation d'IA en vogue chez les ingénieurs, les entrepreneurs et de nombreux utilisateurs de médias sociaux, nous avons trouvé intéressant de commencer nos recherches sur ce sujet en lui posant notre question principale. Voici comment s'est déroulée notre conversation :



Is AI the magic word designed to make your product design less boring?



No, AI is not a "magic word" that automatically makes product design more interesting or less boring. AI can be a tool to enhance product design, but its impact on the final product depends on how it is used and integrated into the design process. Ultimately, the creativity, vision, and skills of the product designer play a key role in determining the success and impact of the design.



You only say that because your system is based on AI, right?



Yes, as a language model developed by OpenAI, my responses are generated through AI algorithms. However, I strive to provide objective and accurate information, regardless of the source.



Alright, we'll also ask the same questions to AM industry insiders to see if they have a different perspective.



That sounds like a good idea. Gathering multiple perspectives and opinions is always a good way to gain a more comprehensive understanding of a subject.



Légende : Une conversation entre 3D ADEPT Media (en jaune) et ChatGPT (en vert) – uniquement disponible en anglais.

Les réponses de ChatGPT sont logiques, mais elles ne sont pas totalement exactes - nos questions aussi, me diriez-vous.

La première étape pour discuter de ce sujet serait de comprendre comment les gens perçoivent l'IA. Si vous êtes ingénieur, votre compréhension de l'IA se résume probablement au fait qu'il s'agit d'un domaine scientifique visant à construire des ordinateurs et des machines capables de raisonner, d'apprendre et d'agir d'une manière qui nécessiterait normalement l'intelligence humaine ou qui implique des données dont l'échelle dépasse ce que les humains peuvent analyser.

Le problème est qu'il existe une différence entre la définition généralement acceptée de l'IA et ce que les gens en pensent réellement.

« Quand les gens pensent à l'IA, ils pensent à la machine intelligente introduite par la culture populaire, ils pensent à Star Trek, HAL 9000 de 2001 ou Ultron d'Avengers. Il se peut que nous mettions au point une technologie capable de faire tout cela, mais ce que nous avons aujourd'hui, c'est une avancée substantielle des mathématiques statistiques et un pouvoir perturbateur qui réduit le coût de la prédiction et la rend largement disponible », a déclaré **Omar Fergani** à 3D ADEPT Media. Fergani est le cofondateur et le CEO de **1000 Kelvin GmbH**, une société de logiciels qui développe **AMAIZE**, une solution alimentée par l'IA qui utilise l'apprentissage automatique pour prédire tous les problèmes qui pourraient survenir pendant le processus d'impression de géométries complexes et optimise le fichier machine exécutable afin d'éliminer les rebuts, d'accélérer le rythme de la qualification et surtout de libérer le temps des ingénieurs pour des tâches plus importantes. Cette solution logicielle se situe à l'intersection de l'IAO et de la FAO, que Fergani définit comme

la « fabrication générale ».

En analysant de grandes quantités de données, l'IA serait un outil précieux qui transforme la façon dont les produits sont conçus, de l'étincelle d'inspiration initiale à l'optimisation finale pour le marché. Il convient de noter qu'il existe différentes catégories de solutions logicielles dans le secteur de la FA : **La conception (CAO), la simulation (IAO), le traitement (FAO), le flux de travail (ERP/MES), la conception générative (par la fusion de la CAO et de l'IAO) et l'assurance qualité et la sécurité**, pour n'en citer que quelques-unes. Alors, laquelle de ces catégories est susceptible d'être alimentée par l'IA ?

« Toutes les catégories citées peuvent être alimentées par l'IA », déclare d'emblée **Daniel Büning**, CEO et cofondateur du studio de production nFrontier. Étant donné qu'elles dépendent de la prédiction ou sont par essence des outils prédictifs, elles peuvent être transformées par l'IA et offrir au client des capacités de décision améliorées ou être totalement remplacées par l'IA, ajoute Fergani.

Pour comprendre comment l'IA peut affecter chacune de ces catégories, le fondateur de 1000 Kelvin recommande d'utiliser le cadre du **professeur Agrawal**, l'un des principaux économistes de l'IA :

« Il existe trois façons d'analyser l'impact de l'IA : solution ponctuelle, solution applicative et solution système. Pour illustrer l'impact d'une solution ponctuelle, prenons par exemple le logiciel de qualité dans la fabrication additive. Les systèmes de reconnaissance d'images basés sur l'apprentissage



Dr. Omar Fergani
Cofondateur et le CEO de 1000 Kelvin GmbH

profond sont aujourd'hui capables de prédire avec précision les défauts pendant le processus d'impression que même les humains les plus expérimentés ne peuvent pas voir. Par la suite, les entreprises peuvent apporter des améliorations substantielles à leurs indicateurs clés de qualité et réaliser d'importantes économies grâce à l'IA.

Un excellent exemple d'application de l'IA est ce qui se passe dans le domaine de l'IAO (ingénierie assistée par ordinateur). Les récentes avancées dans le développement des réseaux de neurones graphiques (Graph Neural Networks = GNN) changent la façon dont les entreprises envisagent leur flux de travail d'IAO. Les logiciels de simulation vont devenir des générateurs de données fiables à l'arrière et sont alimentés par des modèles basés sur l'IA, ce qui rend le flux de travail différent de ce que nous connaissons aujourd'hui. Ces algorithmes génèrent des résultats précis en quelques secondes au lieu des heures et des jours nécessaires aux simulations traditionnelles par éléments finis. Cela aura un impact considérable sur les processus d'ingénierie au sein des grandes organisations d'ingénierie. Dans ce cas, l'IA réduit considérablement le

temps de mise sur le marché du produit. Les équipementiers automobiles qui ont adopté cette technologie ont considérablement réduit le temps d'itération entre leur équipe de conception et leur équipe d'ingénierie. Dans le cas notoire d'un fournisseur d'échangeurs thermiques, le temps d'itération est passé de 12 heures à 15 minutes au total. La prédition rapide et précise permise par l'IA ouvre la porte à une optimisation et une prise de décision plus rapides. L'un des impacts les plus intéressants de l'IA dans ce domaine est la fusion attendue de la CAO et de l'IAO pour créer de véritables conceptions génératives. Des entreprises comme Navasto sont en tête du peloton et je suis impatient de voir les développements dans les mois à venir.

Enfin, les solutions système sont généralement les plus perturbatrices. Lorsque la décision pilotée par l'IA fait partie d'un système, l'adoption de l'IA peut nécessiter une refonte organisationnelle donnant naissance à un système totalement nouveau. Je pense qu'il y aura un moment où la puissance de l'IA perturbera les logiciels traditionnels de gestion du cycle de vie et créera des systèmes d'exploitation spécifiques à l'industrie (ISOS). Qu'est-ce que cela signifie pour l'industrie de la FA ? Les logiciels intelligents seront capables à l'avenir d'aider les entreprises à prendre des décisions de bout en bout. Il s'appuiera sur des algorithmes génératifs pour trouver les conceptions optimales en fonction d'exigences complexes en matière d'ingénierie, de coûts et de délais. L'IA sera également capable de créer automatiquement des instructions de fabrication pour les machines et de prendre des décisions sur l'ordonnancement jusqu'au rapport final de qualité. Ces ISOS basés sur l'IA et leurs avantages ne seront pas faciles à mettre en œuvre comme des solutions ponctuelles et applicatives. Cependant, ils offriront un pouvoir économique substantiel à ceux qui les adoptent chez les fabricants. »

En théorie, cette explication semble passionnante et très prometteuse. En pratique, à quoi cela ressemble-t-il ? Alors que les capacités de l'IA sont chantées aux quatre coins de l'industrie, il y a en fait très peu d'exemples d'entreprises qui soulignent où exactement elles tirent profit de ces capacités.

Büning, de nFrontier, a déclaré qu'ils travaillent actuellement avec l'aide de l'IA dans leur projet actuel - en particulier dans le domaine du design :

« Nous utilisons l'IA en tant que front-end pour développer des itérations de conception à l'aide d'outils d'IA ouverts comme pointe, qui produisent une image sur la base d'une saisie de texte (appelée « prompt » (lire en anglais)) uniquement. Aujourd'hui, le passage d'une image créée dans le voyage



Daniel Büning,
CEO & Co-Founder nFRONTIER

de l'esprit à un système de CAO comme Rhino (Grasshopper) est un processus expérimental tranquille - nous écrivons nos propres petits programmes pour le faire. Cela ouvre une dimension totalement nouvelle en termes de vitesse de création et de variation des idées de conception.

Du côté de l'IAO, le potentiel de traitement d'un grand ensemble de données d'images pour trouver la meilleure solution à un problème est énorme. Dans le cas de la conception générative, qui produit une grande quantité de résultats, le fait d'alimenter un processeur d'images ouvre d'énormes possibilités.

[Ceci étant dit, les solutions actuelles alimentées par l'IA, comme le logiciel de conversion de texte en image pointe ou DALLE, permettent déjà de créer une quantité infinie d'images (résultats) en un rien de temps. Le grand nombre de résultats doit être vérifié, validé et trié. Le travail du designer consistera non seulement à alimenter l'IA avec les bonnes données, mais aussi à évaluer et à choisir un résultat qui corresponde à son style préféré. À mon avis, le travail d'un designer va évoluer vers le rôle d'un conservateur, qui sélectionne le bon résultat pour la tâche à accomplir, plutôt que de dessiner quelque chose. Étant donné qu'un résultat peut être transmis à plusieurs IA, le designer doit savoir laquelle utiliser dans une situation donnée. »

Donc, l'IA change la conception des produits, oui. Mais quelles sont les perspectives positives possibles et les menaces à surveiller ?

Les concepteurs de produits disposent d'un large éventail d'options lorsqu'ils souhaitent intégrer l'IA dans leur flux de travail. La technologie peut les aider à identifier un problème ou un défi, à analyser les données, à créer des concepts, à tester et simuler, voire à optimiser leurs conceptions existantes.

Toutefois, ils doivent être prudents, car **l'intégration de l'IA dans leur processus de décision ne signifie pas nécessairement une diminution du travail** pour eux. Plus les frontières sont repoussées pour les technologies alimentées par l'IA, plus les concepteurs de produits doivent être attentifs et faire de leur mieux pour ne pas laisser de côté leurs capacités de brainstorming créatif.

« L'esprit créatif derrière l'écran aura un rôle différent – créateur vs conservateur. J'aimerais voir un outil qui crée des pièces imprimables (manufacturables) en quelques secondes, indépendamment de l'entrée, par exemple un dessin manuel, une photo, un texte, une image ou une combinaison de tous ces éléments », souligne le cofondateur de nFrontier.

Outre les questions esthétiques à surveiller, un défi crucial dans la conception de produits aujourd'hui est la **diversité et l'inclusion** – qui n'est pas (toujours) au cœur des solutions alimentées par l'IA. Dans un article publié par [D3D](#), la chroniqueuse SJ a raconté son expérience récente avec un oxymètre de pouls, qui montre bien qu'un manque de pensée inclusive dans la conception de produits peut avoir des conséquences dévastatrices.

La vérité est qu'il existe diverses formes de biais de l'IA, et que certaines d'entre elles peuvent être préjudiciables. Outre les biais liés aux données et aux algorithmes (les seconds pouvant renforcer les premiers), l'IA est développée par des humains – et les humains sont intrinsèquement biaisés. Le défi va donc au-delà du sexe et de la race, pour englober les personnes handicapées. Pour le concepteur de produits qui utilise des outils alimentés par l'IA, il s'agit d'oser penser aux problèmes mondiaux dans leur ensemble.

Du point de vue de la fabrication, Fergani met l'accent sur le fait que les solutions logicielles alimentées par l'IA peuvent aider les concepteurs, les architectes et les ingénieurs à relever certains des défis les plus pressants de la société, et ce sous

deux aspects :

« Aujourd'hui, le thème de la 'légèreté des produits' n'est pas encore beaucoup abordé à grande échelle, mais l'IA pourra aider à la conception et à l'ingénierie de structures légères. Par exemple, l'industrie sidérurgique est à l'origine de plus de 8 % des émissions totales de CO2 dans le monde. Il s'agit d'un chiffre considérable, et une petite diminution pourrait contribuer à l'effort de réduction des émissions. L'utilisation de l'IA pour alléger les structures des bâtiments et réduire la demande d'acier est une application intéressante que cette technologie peut permettre. Ces efforts peuvent être étendus à de nombreux autres efforts de réduction des matériaux, par exemple, pour concevoir des bouteilles en plastique légères et circulaires qui sont consommées par des milliards de personnes chaque jour. Ainsi, mon espoir est de voir l'adoption rapide de l'IA lorsqu'il s'agit de concevoir des produits plus durables. Mais cela ne s'arrête pas là : les nouvelles conceptions de produits doivent pouvoir être fabriquées, et l'IA peut aider à combler le fossé entre l'IAO et la FAO et ainsi repousser les limites de ce qui peut être fabriqué. »

Un regard au-delà du buzz marketing

L'IA est actuellement utilisée comme principal argument de vente par de nombreux fournisseurs de logiciels et il y a de fortes chances que la plupart de ces produits ne tiennent pas leurs promesses. Pour dépasser ce buzz marketing, le CEO de 1000 Kelvin recommande de se pencher sur deux exigences principales : l'accès à une source de données riche et une application ou une expertise sectorielle.

« Si nous parlons spécifiquement de notre secteur, la réalité est que la plupart des solutions logicielles des opérateurs historiques n'ont historiquement pas accumulé de données précieuses qui pourraient être utilisées pour construire de puissants outils de prédiction basés sur l'IA. En effet, on utilise beaucoup de mots à la mode, et il faut être attentif.

La bonne nouvelle est que de plus en plus d'entreprises et de start-ups en particulier ont intégré ces exigences en matière d'IA dans l'ADN de leur modèle commercial. Elles sont pour la plupart dans le nuage et ont la capacité d'accéder à de riches bases de données ou d'en créer. Ce que je considère comme l'évolution la plus intéressante, c'est que de plus en plus de clients hésitent moins à fournir des données aux fournisseurs de services, car ces données en retour contribuent à améliorer la prédiction et

donc l'efficacité de leur travail », souligne-t-il.

En parlant d'AMAIZE, et de son objectif d'aider les ingénieurs à réduire considérablement la complexité des processus de fusion sur lit de poudre pour les rendre accessibles et faciles à utiliser, Fergani souligne que la solution logicielle peut non seulement prédire les problèmes, mais aussi les corriger et générer un fichier prêt à l'emploi pour le client en un temps record et sans aucune infrastructure nécessaire. C'est la combinaison d'une prédiction très rapide grâce aux algorithmes d'apprentissage automatique, de l'évolutivité du cloud et de la facilité de déploiement et d'utilisation.

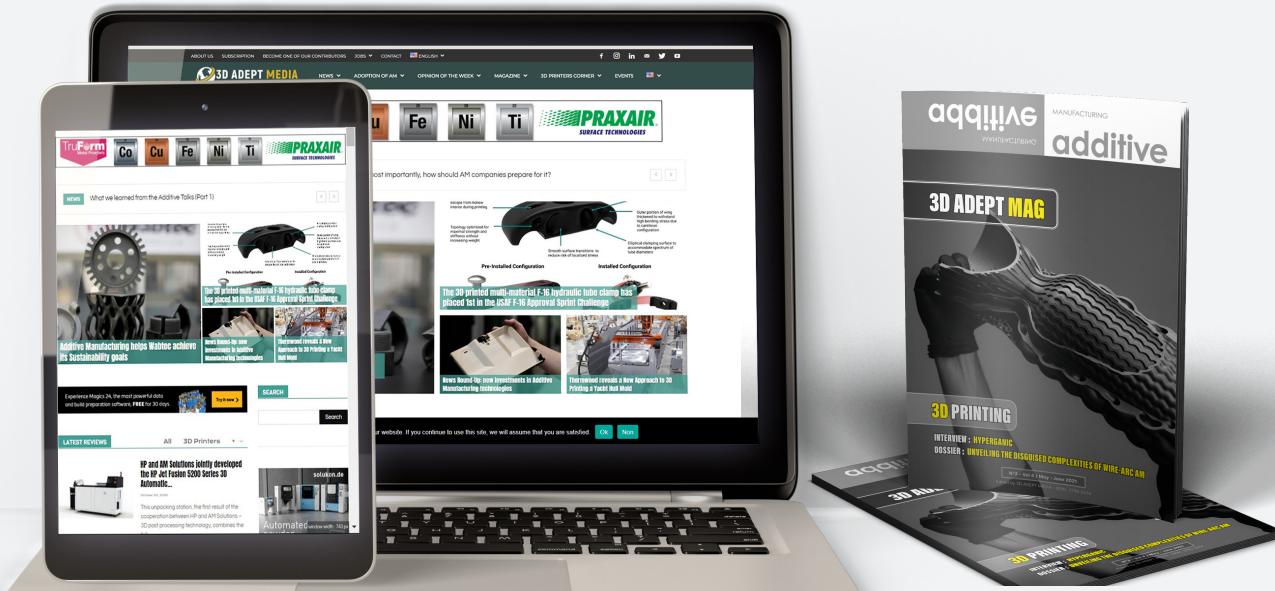
Pour Büning, il s'agit enfin d'apporter une valeur ajoutée inédite jusqu'à présent :

« Cela signifie que la conception résultante doit être impossible à créer avec les logiciels « standard » existants. Le Chat GTP d'Open AI crée un texte complet avec des informations sur les mots à la mode à un niveau tel qu'il est difficile pour un humain de vérifier si c'est une IA qui l'a créé ou non. La vitesse de ces développements est vraiment rapide – les IA s'améliorent de façon exponentielle en quelques semaines plutôt qu'en mois ou années. Chez nFrontier, nous croyons à la magie de ce que nous appelons la «convergence». Cela signifie que les processus d'innovation sont de plus en plus accélérés par les avancées technologiques dans différents domaines et leur combinaison. Par exemple, combiner l'IA (conception) avec la RV (visualisation/preuve) et la fabrication additive (matérialisation) pour aboutir à un nouveau produit perturbateur ».

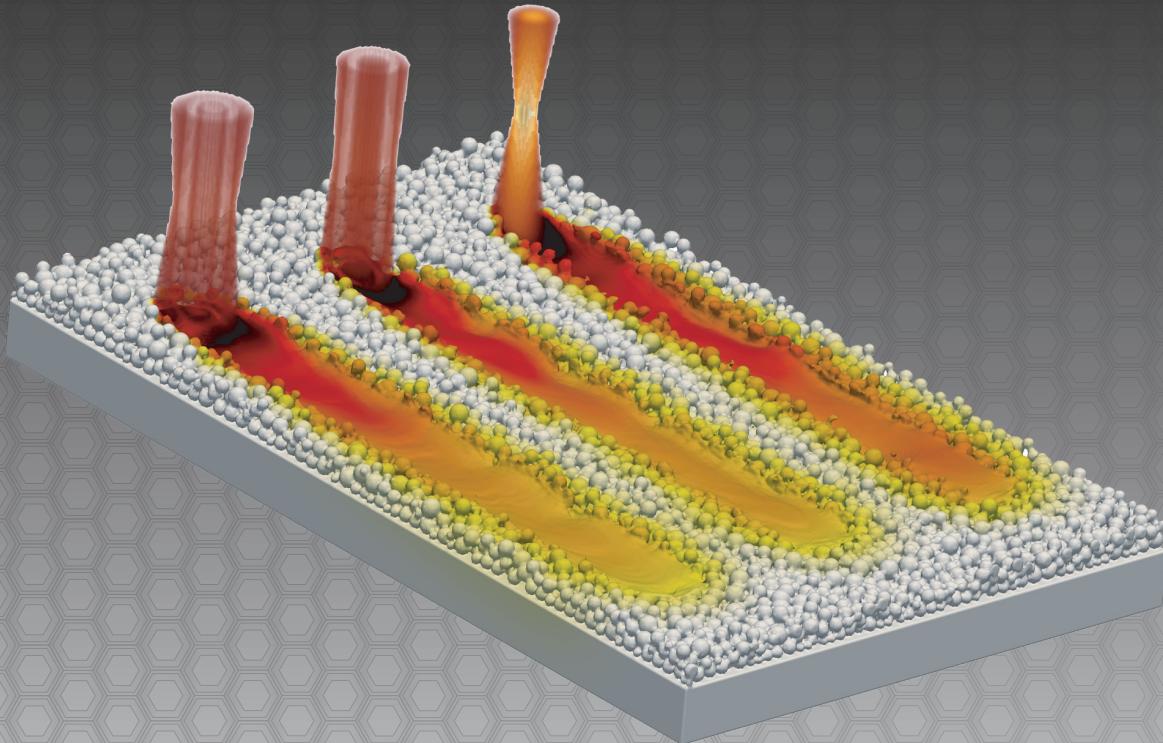
Remarques finales

Les lignes ci-dessus démontrent que l'IA dans la conception de produits va (et doit aller) au-delà d'un simple « module » pour accélérer les processus. En effet, intégrer l'IA à votre flux de travail de développement de produits ne signifie pas nécessairement que vous obtiendrez les résultats escomptés. Un état d'esprit axé sur la stratégie des données est certainement nécessaire, mais les concepteurs de produits doivent toujours garder à l'esprit les pièges/limites du biais algorithmique, car il est essentiel au développement de produits diversifiés et inclusifs.

Our online media covers a lot more information on a daily basis. Stay informed about the latest news on the Additive Manufacturing industry. Make sure you follow us on [LinkedIn](#), [Twitter](#) and [Facebook](#).

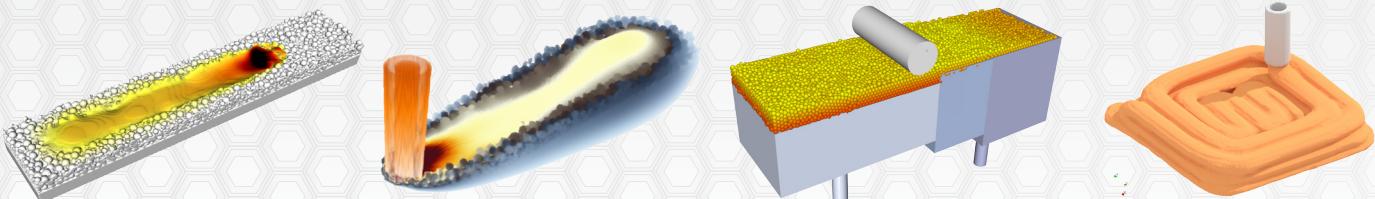


CFD Simulations for Additive Manufacturing



FLOW3D.COM/AM

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



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

La FA céramique peut-elle apporter une valeur ajoutée aux industries automobile et aérospatiale ? De la R&D aux applications commerciales.

Lorsqu'on parle de FA céramique, un secteur vertical où son potentiel de croissance est assuré est celui de la santé. Ce n'est pas une surprise quand on sait que ce secteur vertical est le plus important et le premier à être desservi par la FA en général ([SmarTech](#)). L'aérospatiale et l'automobile se situant respectivement aux deuxième et troisième rangs des industries verticales les plus desservies par la FA, il est logique de discuter de la valeur ajoutée de la FA céramique au sein de la vaste gamme de procédés de FA actuellement utilisés sur ces marchés.

La conversation autour de ce sujet découle d'une observation : la plupart du temps, les entreprises des secteurs de l'aérospatiale et de l'automobile font les gros titres avec des applications réalisées à l'aide de l'impression 3D FDM, de la FA métal, de la résine ou du polymère. Avec la multitude de procédés de FA qui apparaissent chaque jour - et en tenant compte de ceux qui sont déjà commercialisés -, [notre évaluation de la FA céramique](#) révèle un potentiel tout à fait sous-estimé - ou inconnu ? Difficile à dire, en toute franchise. Néanmoins, nous nous demandons si ce manque de communication est dû à un écart entre la reconnaissance et l'utilisation de la technologie ou s'il s'agit simplement d'une question de politique de confidentialité entre les sous-traitants et les entreprises des industries aérospatiale et automobile ?

L'écart entre la reconnaissance et l'utilisation de la technologie pose la question de la perception de la technologie par les utilisateurs potentiels. Considèrent-ils la FA céramique comme une technologie perturbatrice ou comme une technologie émergente ? La vérité est que les mots

«émergent» et «perturbateur» sont souvent utilisés de manière interchangeable lorsqu'il s'agit de technologie, alors qu'en réalité, ils sont très différents. Comme l'a expliqué le [Dr Johannes Gartner](#), professeur adjoint à l'université Johannes Kepler d'Autriche, les technologies émergentes décrivent des innovations susceptibles d'avoir un effet perturbateur, mais les véritables perturbations ne se produisent que lorsqu'une technologie émergente est utilisée pour résoudre un problème non résolu ou pour résoudre un ancien problème de manière plus efficace.

Cela signifie que si les utilisateurs de la FA considèrent la FA céramique comme une technologie émergente, le manque d'applications dans les domaines de l'automobile et de l'aérospatiale peut être compréhensible car les utilisateurs investissent rarement dans les technologies émergentes (par crainte de ne pas obtenir de retour sur investissement).

Selon [Isabel Potestio](#), directrice des ventes et du marketing de [Lithoz](#), « le principal obstacle auquel se heurte actuellement la FA céramique est que les fabricants ne sont pas encore pleinement conscients du niveau

auquel ce processus se trouve désormais. La technologie a considérablement évolué en tant que technique de fabrication au cours des dernières années. En d'autres termes, si de nombreux fabricants ont commencé à utiliser la FA céramique pour le prototypage, beaucoup sont passés à la production complète. Ils ont fait l'expérience des avantages de la FA céramique en termes de performance et de flux de travail et sont passés à l'étape suivante. Aujourd'hui, nous voyons des clients produire des millions de pièces en céramique imprimées en 3D par an, qui ne sont pas économiquement viables pour le moulage par injection ou l'usinage. »

En outre, lorsqu'on discute des applications dans le paysage de la FA céramique, il est important de garder à l'esprit qu'il existe des technologies de FA conçues pour les céramiques techniques et des technologies de FA conçues pour les céramiques traditionnelles. Les premières conduisent souvent à la production de pièces de haute performance qui ne pèsent généralement que quelques grammes, tandis que les secondes permettent de produire des moules et des noyaux de fonderie de grande taille qui pèsent plusieurs kilogrammes.



3D printed ceramic rocket nozzles printed on the FLUX CORE printer with Low Shrink Aluminum Silicate (LS-AS) resin. Image via [Fortify](#).

Le large éventail d'applications des céramiques techniques et traditionnelles rend souvent difficile la compréhension des spécifications relatives aux technologies et aux matériaux. Toutefois, l'intérêt croissant pour les céramiques techniques nous amènera à nous concentrer sur cette partie du marché dans le cadre de ce dossier.

« L'usinage de la céramique est très difficile. Par exemple, par rapport à l'usinage du métal, le risque d'endommagement de la surface, d'écaillage et d'usure de l'outil est beaucoup plus important, et la précision dimensionnelle est beaucoup plus difficile à atteindre. La fabrication additive représente donc un progrès encore plus important dans le domaine de la céramique que dans les domaines établis de la FA métal et polymère. Avec les propriétés uniques des céramiques, telles que la résistance, l'isolation, etc., il existe un énorme potentiel d'expansion des applications de céramique technique », commente **Guy Zimmerman**, directeur du marketing chez [Xjet](#), fabricant d'imprimantes 3D pour la FA métal et céramique.

Les lignes ci-dessous ont pour ambition de discuter des défis et du potentiel de la FA céramique dans les industries automobile et aérospatiale.

Où se situent les défis et les opportunités dans l'aérospatiale et l'automobile ?

Que nous discutions des applications dans l'automobile ou l'aérospatiale, les défis et les opportunités se reflètent à deux niveaux principaux :

- Les matériaux
- La décision « haute valeur vs. haut volume ».

Les matériaux

En général, les céramiques techniques sont connues pour leur contribution à un large éventail d'applications dans l'industrie automobile. Qu'elles soient entièrement électriques ou hybrides, les pièces à haute performance des voitures, bus, camions et trains électriques peuvent être produites à l'aide de céramiques techniques, ce qui permet d'améliorer l'économie, le confort et la sécurité. Le seul problème est que la plupart de ces applications sont rendues possibles par le moulage par injection de métal et céramique.

Pour ce qui est de la FA, on constate que les céramiques techniques sont une excellente solution dans les applications critiques où les matériaux conventionnels comme les métaux ou les plastiques à haute performance ne sont pas performants. Avec [8 principaux types de procédés de FA céramique](#) identifiés, le choix d'une technologie d'impression 3D céramique dépend principalement des caractéristiques souhaitées à atteindre - caractéristiques liées aux propriétés du matériau ou à la résolution.

« La majorité des principales applications mécaniques de la céramique dans l'automobile sont encore réalisées avec des procédés traditionnels de CIM et d'usinage. Les procédés



Casting core. Photo courtesy: Lithoz.

de FA qui commencent à apporter une valeur ajoutée dans l'automobile sont la DLP et le jet direct de matériau. La raison en est l'exigence d'une précision, d'une répétabilité et d'un coût total par pièce élevés, ce qui nécessite un débit élevé et des processus de fabrication automatisés », souligne Zimmerman.

Cependant, un large éventail d'applications est susceptible d'apparaître plus rapidement dans l'industrie aérospatiale. En réduisant l'assemblage manuel et le poids des aéronefs grâce à des conceptions développées par modélisation, la FA céramique peut être un excellent candidat à la production pour améliorer l'efficacité et les performances. En fait, nous avons déjà assisté à la production de **tuyères, de propulseurs, de capteurs et d'antennes** par impression 3D céramique.

Dans un autre ordre d'idées, si des altitudes de croisière et des vitesses de vol plus élevées permettent d'améliorer l'efficacité et la portée, cela se fait au prix d'environnements extrêmes endurés par les matériaux des pièces. Outre leur capacité à résister à des environnements aussi rigoureux, les matériaux céramiques offrent une résistance accrue à la corrosion, une plus grande rigidité, une plus faible densité et, dans certaines applications, des propriétés multifonctionnelles.

« Les céramiques sont le matériau de choix dans les environnements extrêmes où les autres matériaux échouent, et c'est donc dans ces applications que les céramiques sont vraiment commercialisées. Les noyaux en céramique imprimés en 3D pour les applications aérospatiales en sont un exemple. Le changement climatique étant le principal défi auquel le monde est confronté aujourd'hui, les fabricants de tous les domaines cherchent à être plus durables en construisant des pièces plus efficaces pour économiser les ressources.

L'impression 3D offre un niveau de liberté de conception impossible à atteindre avec les techniques de fabrication conventionnelles, ce qui permet de produire des modèles plus économies en carburant », explique Potestio.

Le problème est que la difficulté qui accompagne la création de matériaux céramiques denses limite les applications dans ce secteur au stade de l'exploration. Malheureusement, cette dernière dépend des investissements que les utilisateurs sont prêts à faire au niveau de la recherche. Or, si la recherche n'est pas effectuée en collaboration avec les acteurs des industries verticales visées, elle est de toute façon réalisée en interne par les fabricants de machines et les producteurs de matériaux.

Prenant l'exemple de leurs solutions, Potestio de Lithoz explique que chacune de leurs technologies (LCM, LIS et LSD-print) répond à des demandes différentes pour des applications dans une variété de domaines. Par exemple, la technologie LIS de Lithoz est plus adaptée aux composants larges, aux grandes épaisseurs de paroi et aux matériaux sombres.

Et si une opportunité résidait dans la capacité à relever un défi qu'un autre procédé de FA n'a pas pu satisfaire ?

La plupart des applications rendues possibles par la FA relèvent en général les défis posés par les technologies issues des procédés de fabrication conventionnels. C'est la raison pour laquelle vous êtes susceptible de voir la comparaison avec un type donné de procédé de fabrication traditionnel. Dans ce cas, pour que la FA céramique se développe, il pourrait être intéressant d'explorer sa capacité à relever un défi qu'un autre procédé de FA ne parvient pas à résoudre.

Vincent POIRIER, CEO du bureau de services d'impression 3D céramique Novadditive, pense que tous les types de procédés de FA céramique peuvent créer de la valeur dans les industries automobile et/ou aérospatiale. Selon Poirier, la FA céramique offre un moyen unique de créer des formes «irréalisables» avec des propriétés améliorées. Cela dit, l'expert affirme que la différenciation ne doit pas être une comparaison entre les procédés de FA, mais plutôt le choix du bon matériau technique.

Parmi les critères importants que les fabricants doivent prendre en compte pour choisir la céramique technique idéale pour la production, on note les **propriétés mécaniques et thermiques, la rigidité et la densité ainsi que le CTE**.

La réalité liée à une production « haute valeur vs haut volume »

Il ne s'agit pas de choisir entre «qualité» et «quantité», car la qualité doit toujours faire partie de l'équation. Il s'agit plutôt de discuter



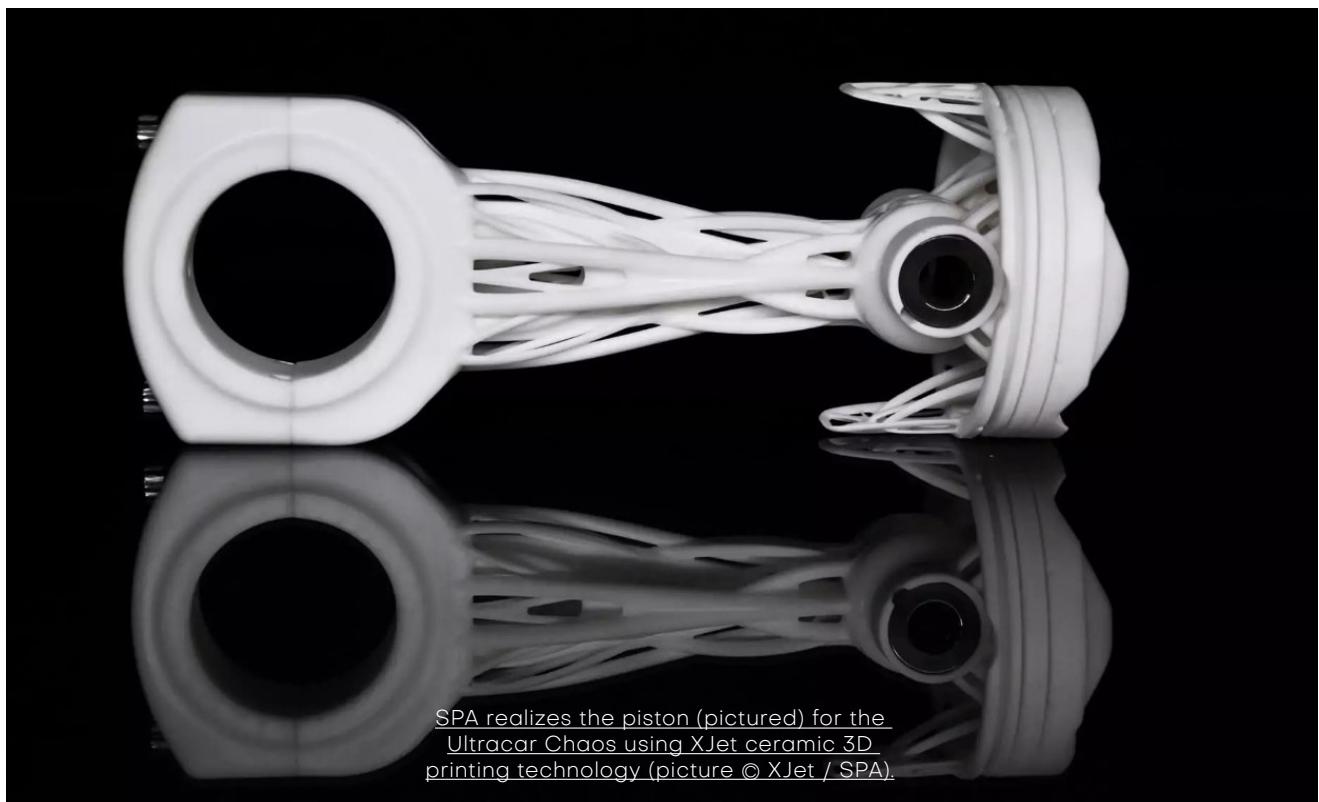
Moondust (regolith) – Photo courtesy: Lithoz

de l'endroit où la valeur ajoutée est la plus visible.

Dans l'industrie automobile, par exemple, les composants exigent une grande précision et des performances égales. Ils doivent offrir une excellente résistance pour un faible poids, supporter des températures élevées et être résistants à l'usure pour obtenir des performances élevées à un prix rentable. **La FA céramique pourrait éventuellement répondre à ces exigences pour une pièce mais n'est pas encore prête pour une production à grande échelle.** Le piston en céramique imprimé en 3D qui a été produit par **Spyros Panopoulos Automotive** (SPA) en utilisant le matériau XJet Alumina pour son Chaos Ultracar en est un excellent exemple. Cependant, la fabrication en masse de pièces en alumine sur le terrain n'a pas encore eu lieu.

Potestio note que, dans l'industrie automobile, il existe un potentiel d'innovation certain dans les applications où la miniaturisation et les niveaux extrêmes de complexité permettraient d'accroître considérablement l'efficacité. Dans de tels exemples, la FA céramique peut réellement soutenir le développement de solutions puissantes pour l'e-mobilité et les futurs systèmes sans fil.

Dans la même veine, l'industrie aérospatiale regorge d'exemples étonnantes de cas d'application qui démontrent les capacités des différents procédés de FA céramique. La fabrication d'un lanceur spatial est un



SPA realizes the piston (pictured) for the Ultracar Chaos using XJet ceramic 3D printing technology (picture © XJet / SPA).

moyen brillant de démontrer le potentiel et la grande valeur d'un produit, mais sa production en série avec la même technologie est une autre paire de manches. En réalité, les pièces en céramique résistantes à la chaleur dont ils ont besoin sont extrêmement difficiles à fabriquer. Ces pièces doivent résister à des températures allant jusqu'à 2 700 degrés Celsius et à des forces de traînée de centaines de kilogrammes rencontrées à des vitesses de Mach 5 et plus, comme sur les cônes de nez, les bords d'attaque des ailes et les entrées de moteur.

En fin de compte, les pièces en céramique imprimées en 3D doivent pouvoir être produites en masse à un prix abordable, ce qui signifie que les ingrédients initiaux doivent être choisis en tenant compte du coût. Si ce n'est pas le cas, il faut alors explorer des solutions pour supprimer toute étape inutile.

Enfin...

Notre dossier sur le [paysage actuel de la fabrication additive céramique](#) a révélé qu'avec 8 principaux types

de procédés, le marché de l'impression 3D céramique est en train de surmonter ses jours de battage médiatique pour se concentrer sur la façon dont il répondra aux besoins des différentes industries. Cette conversation est importante car la croissance des technologies de FA dépend d'une perspective économique qu'il ne faut pas négliger : «Plus il y aura d'applications, plus il y aura de matériaux à développer et plus il y aura d'imprimantes qui évolueront ou seront introduites sur le marché». Sur le marché de l'impression 3D céramique en particulier, comprendre l'écart entre la reconnaissance de la technologie et son utilisation peut faire toute la différence et ouvrir toute une série de nouvelles applications sur ce marché de niche.

DE L'OUTILLAGE À LA PRODUCTION DE PIÈCES D'UTILISATION FINALE : UN REGARD SUR LA STRATÉGIE QUI PERMET À GENERAL ATOMICS AERONAUTICAL SYSTEMS D'ATTEINDRE PLUS DE 75 % DE PIÈCES IMPRIMÉES EN 3D DANS UN AVION.

Avec des millions de dollars déjà économisés en outillage, General Atomics Aeronautical Systems, Inc. (GA-ASI) partage les leçons apprises de son aventure dans la FA industrielle. Un exemple significatif de leur histoire est lié à la production d'une fixation de laminoir réalisée en collaboration avec Thermwood, qui a permis de réaliser 50 000 dollars d'économies.

Lorsque vous êtes un journaliste spécialisé dans l'industrie de la fabrication additive, l'une des étapes importantes que vous êtes impatient de voir chez les utilisateurs est l'installation d'une pièce de production dans leurs opérations. À ce moment-là, vous vous dites : « Nous atteignons un point de basculement. Nous y arrivons, lentement mais sûrement. C'est un rêve qui devient réalité». Nous avons assisté à ce moment pour General Atomics Aeronautical Systems, Inc. (GA-ASI) en 2019, lorsque l'entreprise a fait voler avec succès son premier composant métallique imprimé en 3D ; une entrée NACA en titane Ti6Al4V sur un avion piloté à distance (APR) MQ-9B Sky Guardian. Même s'il s'agit de l'une des premières étapes dont nous ayons été témoins, il s'avère que les activités de l'entreprise en matière de FA ont débuté il y a près de dix ans et il a fallu une conversation avec **Steve Fournier** pour comprendre tout le cheminement qui y a mené.

Si vous êtes nouveau dans cet espace, sachez que General Atomics (GA) est une entreprise de défense et de technologies diversifiées qui développe une large gamme de produits tels que des systèmes énergétiques et des systèmes d'avions sans pilote. Même si la FA est utilisée dans plusieurs divisions de FA, l'adoption de la technologie est largement encouragée par GA-ASI. GA-ASI est un maître d'œuvre du ministère américain de la défense (DoD), et est surtout connu pour la conception et la fabrication de véhicules aériens sans pilote et de systèmes radar. Steve Fournier, qui partage aujourd'hui l'expérience de l'entreprise en matière de FA, est directeur principal du centre d'excellence de GA-ASI pour la conception et la fabrication additive.

L'aventure de GA-ASI dans le domaine a commencé au début des années 2010, lorsque l'entreprise a décidé d'explorer l'utilisation de la FA pour les applications RPA. Avant d'investir dans une technologie de FA spécifique, les équipes d'ingénieurs de l'entreprise ont travaillé sur différents projets menés en collaboration avec des fabricants de machines et des services de bureau. De cette façon, ils ont pu en apprendre

davantage sur les capacités de chaque technologie et de chaque matériau avant de les intégrer dans leur entreprise. Ils ont embarqué leur premier système de FA en 2011, une technologie Polyjet de Stratasys. Au fur et à mesure que sa courbe d'apprentissage progressait, ils ont enrichi leur portefeuille d'applications de développement avec un large éventail de procédés de FA qui ont suivi une progression typique en passant par les technologies FDM, SLS puis de FA métal.

Utilisant aujourd'hui plus de sept modalités différentes de processus de FA pour de multiples applications, GA-ASI continue d'investir dans plusieurs éléments essentiels à la croissance de la FA pour servir les produits et les clients de GA-ASI. Plus précisément, GA-ASI a investi beaucoup de ressources dans les infrastructures des installations, dans une équipe d'experts en la matière (PME) en pleine croissance, dans les équipements de FA ainsi que dans la R&D afin de réduire les risques à plusieurs niveaux liés aux matériaux, aux processus et aux applications.

Cela signifie, par exemple, qu'à des fins de **prototypage rapide** (hors vol), GA-ASI a développé de multiples ressources en interne, y compris le groupe de FA qui soutient l'ingénierie et exploite la plupart des technologies de FA, tandis que pour les opérations de fabrication des pièces de développement et de production de produits prêts pour le vol, FDM, SLS, métal-LPBF, DED-W, BJT et LSAM/BAAM seront plus indiqués. Il va sans dire que ces technologies sont complétées par des capacités de conception technique (DfAM), des équipements de post-traitement, des infrastructures de conditionnement et de test des matériaux, d'inspection ou de métrologie.

« Avec près de 7 000+ pièces imprimées en 3D par an, nous avons plus de 320 UGS différentes qui volent aujourd'hui sur plusieurs de nos plateformes d'avions, ce qui représente plus de 300 000 heures de vol cumulées. Cela représente un mélange de pièces en polymère, en composite et en métal. Le marché des APR militaires,

avec son modèle à forte mixité et à faible volume, est un secteur parfait de l'industrie aéronautique pour introduire la FA. Dès 2011, nous avons commencé à mettre en place nos infrastructures et à introduire nos premières imprimantes, etc. À l'époque, il s'agissait principalement d'applications de prototypage pour nous aider à explorer les matériaux et les domaines potentiels de ses applications sur nos produits.

En 2016/2017, les dirigeants de GA-ASI ont reconnu la valeur et la nécessité de constituer une équipe d'experts en la matière pour chaque procédé de FA, et en 2018, un département officiel a été créé. Nous avons commencé avec seulement quatre personnes, et maintenant, nous avons 14 personnes dédiées aux technologies de FA. L'un de nos principaux domaines d'intervention était de développer la structure

de notre feuille de route stratégique composée d'un écosystème de technologies de FA pour nous aider à passer du prototypage à une opération prête pour la production et aider à piloter sa mise en œuvre dans toute l'organisation afin d'aller chercher de multiples applications. Le procédé LSAM de Thermwood n'est qu'une des nombreuses technologies qui nous permet d'atteindre cet objectif », raconte Fournier.



Après avoir mis en place une équipe et une stratégie de FA solides, GA-ASI a ensuite ouvert le centre d'excellence de conception et de fabrication additive (AD&M CoE) de la société en 2021. Le centre se concentre sur la fabrication à réaction rapide au service de la gamme de systèmes d'aéronefs sans pilote (UAS) de GA-ASI en utilisant des applications de fabrication additive (FA) entièrement fonctionnelles et prêtes à voler. En outre, ils soutiennent la recherche et le développement **à des fins de réduction des risques appliqués liés à l'outillage à grande échelle, au matériel de vol existant et de prochaine génération.**

Même si GA-ASI mène un large éventail d'activités de production récurrentes dans son centre d'excellence AD&M, Fournier souligne le fait que la demande de fabrication interne à réaction rapide et à faible cadence pour les programmes de développement du cycle de vie en phase initiale a obligé l'entreprise à s'appuyer sur une solide chaîne d'approvisionnement de fabrication additive pour la production excédentaire de pièces complexes en thermoplastique et en métal.

En parlant des objectifs que ces infrastructures servent à travers leur centre d'excellence de 790 m², Fournier explique :

« Nous tirons parti des capacités de fabrication rapide pour répondre à des demandes de faible à moyen volume sur des pièces métalliques, composites et thermoplastiques entièrement fonctionnelles (forme, ajustement et fonction). Il existe une distinction entre le prototypage et la fabrication rapide dans la profondeur des efforts de qualification requis pour les deux différents types d'utilisation de FA. Dans ce dernier cas, il faut qualifier les matériaux, la technologie et réduire tous les risques liés à l'application par une justification technique.

Le deuxième domaine d'intérêt est la R&D. Nous investissons dans les matériaux et les processus afin de qualifier les applications pour chaque technologie de FA d'intérêt. Par exemple, au cours des dernières années, nous avons investi d'importantes ressources dans la R&D pour qualifier les applications d'outillage utilisant la technologie

de fabrication additive à grande échelle (LSAM), qui fait désormais partie de notre portefeuille de production. La R&D est réellement axée sur les applications et nous surveillons de près le retour sur investissement (ROI) à court et moyen terme.

Le troisième aspect de notre travail concerne la production récurrente. Nous fabriquons des pièces en plastique et en métal qui vont directement sur les avions après un processus d'assurance qualité approfondi. Nous conservons entre 15 et 30 % de notre demande de production en interne afin de maintenir nos processus et nos compétences au niveau de la production, et nous faisons appel à nos fabricants sous contrat qualifiés pour nos besoins de production excédentaire. Et cette production externalisée ne cesse d'augmenter. Notre principal objectif est de parvenir à une fabrication à réaction rapide en utilisant plusieurs technologies de FA, de faire

passer les applications d'un niveau «ponctuel» à un niveau récurrent, et de fortifier notre chaîne d'approvisionnement pour soutenir notre croissance dans le domaine. »

Un portefeuille d'applications rendues possibles par la FA

Même si notre intérêt pour l'adoption de la FA par GA-ASI a été suscité par un cas d'utilisation réalisé avec la technologie LSAM de Thermwood, notre conversation avec le représentant de l'entreprise révèle comment ils ont développé plusieurs familles d'applications avec les technologies de FA.

Ces familles d'applications comprennent par exemple : des structures conformes, des conduits et des collecteurs de gestion de l'air, des couvercles et des panneaux, des composants de moteur et d'échappement, des montages de laminoir, des structures ultralégères, des outils de laminage, des composants OML et des échangeurs de

chaleur. Celles sont là que quelques exemples que nous avons retenus de notre conversation avec Fournier. De nombreux autres sont actuellement à l'étude.

Quelle que soit l'application, l'équipe de GA-ASI a toujours gardé à l'esprit trois choses :

- Il est primordial de **s'assurer de la validité de l'analyse de rentabilité** avant de se lancer dans la technique («imprimer parce que nous devons le faire, pas parce que nous le pouvons») ;

- Les **objectifs de fabrication prévus** (s'agit-il de prototypage ou de production ? Il est essentiel de faire la distinction entre ces deux objectifs, car ils nécessiteront des efforts de qualification différents) ;

- et les **exigences techniques** qui déterminent le choix de la bonne combinaison de matériaux, de processus et d'approche de la conception.

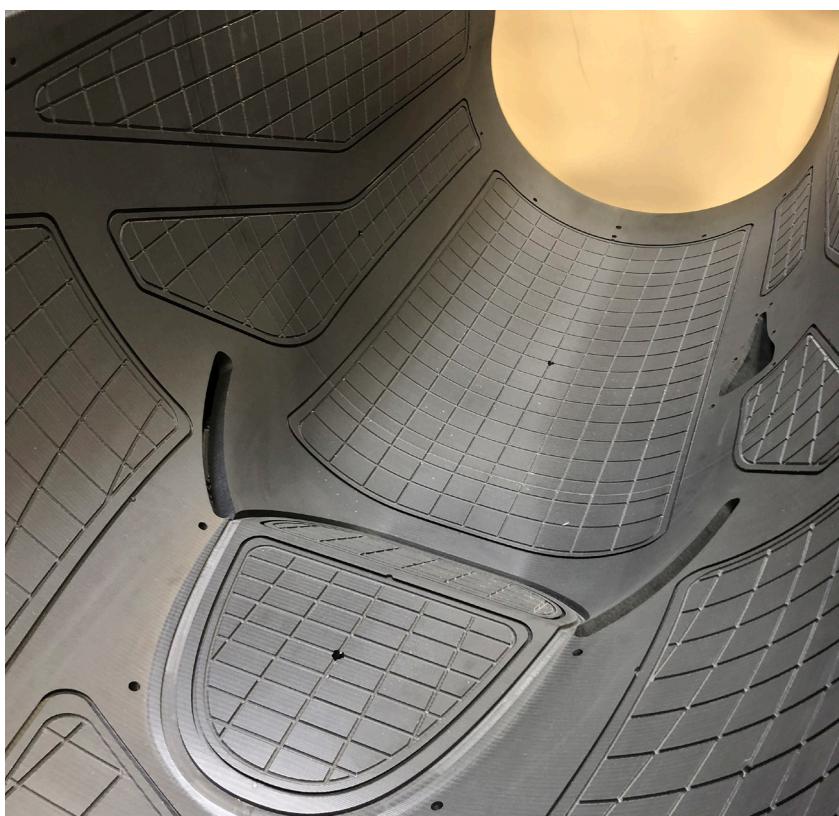
Le cas de la production d'accessoires de laminoir réalisée en collaboration avec Thermwood

Si vous êtes un lecteur régulier de 3D ADEPT Media, vous savez probablement que **Thermwood** est l'une des rares entreprises à fournir du matériel et des services d'impression 3D très grand format avec des matériaux composites hachés en granulés de polymère renforcé de fibres (FPR).

Avec un portefeuille croissant de machines, la société s'associe à un large éventail de producteurs de matériaux, d'industriels dans des secteurs verticaux adoptant la FA et d'universitaires pour explorer les applications qui pourraient déboucher sur des cas commerciaux viables pour sa technologie de fabrication additive à grande échelle (LSAM).

À propos de l'outil/support de découpe CNC, **Scott Vaal**, chef de produit LSAM chez Thermwood, explique qu'il « est généralement utilisé pour maintenir une pièce en plastique ou en composite de fibre de carbone formée en 3 dimensions pour des opérations de découpe secondaires telles que la forme finale du périmètre, les trous et les découpes. Les pièces sont généralement maintenues sur le dispositif à l'aide du vide ou d'une combinaison de vide et d'autres moyens de maintien mécaniques. Plusieurs méthodes traditionnelles [sont souvent] utilisées pour fabriquer

des outils/fixations d'ébarbage CNC, comme le collage de blocs de divers matériaux et leur usinage, le coulage d'un matériau de type coulé sur la face arrière d'une des pièces non ébarbées, et les structures de support en métal ou même en bois



utilisées seules ou en conjonction avec la méthode des blocs coulés ou collés », ajoute-t-il.

Selon Fournier, le développement d'un outil de fixation de laminoir utilisant des procédés de FA vient du fait qu'ils voulaient explorer la faisabilité technique de la fabrication d'un tel outil moins cher et plus rapide :

« Nous avons commencé en 2017/2018 par sélectionner quelques projets de R&D liés à ce type d'outil (montages de laminage à température ambiante). Le principal défi à l'époque était de trouver un outilleur qui disposait de la technologie nécessaire pour explorer cette application. Même si nous avons commencé par travailler directement avec l'équipe d'application de Thermwood, nous avons commencé peu après à travailler et à qualifier les outilleurs qui utilisent la technologie de Thermwood. »

Compte tenu du prix de l'imprimante 3D, il était risqué pour GA-ASI de commencer par investir dans une technologie sans avoir la certitude qu'elle permettrait de réaliser les analyses de rentabilité qu'elle souhaitait mettre en place. Sans compter qu'une fois l'imprimante 3D obtenue, il faut disposer d'une main-d'œuvre qualifiée capable de faire fonctionner la machine, de tout l'équipement de pré- et post-traitement qui pourrait aider à livrer la pièce désirée, ainsi que des installations adéquates pour accueillir ce type d'équipement de grande taille.

« Compte tenu de tout cela, la plupart des entreprises ont besoin de beaucoup de capitaux pour se lancer dans cette technologie. C'est pourquoi notre stratégie n'a pas consisté à acheter une imprimante tout de suite, mais plutôt à développer nos partenaires de la chaîne d'approvisionnement. Le développement et la qualification de l'application nous ont aidés à créer le «signal de demande» pour les applications qui pourraient être satisfaites en internalisant potentiellement cette technologie à un coût d'infrastructure et de ressources important. Après nous être convaincus que les exigences techniques pouvaient être



satisfaites pour les applications d'outillage de fixation d'usine, nous avons depuis étendu notre utilisation de la technologie LSAM au-delà des cas d'utilisation d'outillage, et nous poursuivons notre investissement dans notre chaîne d'approvisionnement », explique Fournier.

La période d'exploration de ce dossier commercial a duré environ 2 à 3 ans. Elle a été marquée par de nombreux tests et essais de fabrication avant de conclure qu'il s'agissait d'un outil viable pour la production. Le processus d'impression 3D du dispositif de fixation de la fraise a pris environ 16 heures et a nécessité l'utilisation d'une **Thermwood LSAM 1200 qui a traité un matériau ABS** (chargé de 20 % de fibre de carbone). Le processus de post-usinage des surfaces critiques de l'outil a pris beaucoup plus de temps. Dans l'ensemble, le processus a permis d'obtenir un **outil final pesant 540 kg (1190 lbs)**.

« Le procédé LSAM est disponible en plusieurs modèles, tailles et configurations pour répondre à une variété de besoins. Chaque LSAM est équipé du même système unique et breveté Melt Core qui peut traiter et imprimer une grande variété de matériaux pouvant être utilisés pour des applications à température

ambiante jusqu'à des matériaux à haute température pouvant être utilisés pour l'outillage d'autoclave aérospatial qui doit dépasser 350 degrés Fahrenheit [177 °C]. À ce jour, nous ne connaissons pas de matériau pratique que le LSAM ne puisse traiter et imprimer », rappelle **Vaal** avant de commenter la production : « Cette pièce était assez simple du point de vue de l'impression et s'est très bien prétée au processus. Le seul véritable défi se situait du côté de la toupie CNC à 5 axes. Le dégagement de la tête de la fraiseuse n'était pas suffisant pour usiner des rainures d'étanchéité sur une bride d'environ 2 pouces de large à une extrémité de la pièce. Nous avons donc fini par diviser et imprimer la section de la bride séparément pour pouvoir usiner facilement la bride et les rainures, puis la coller à la section principale avec précision en utilisant des trous de positionnement de goujons pour terminer la pièce. »

Il est intéressant de noter que cette application aurait permis à GA-ASI de réaliser des économies d'environ 50 000 \$ (46 192 €) par rapport aux méthodes traditionnelles.

Le calcul de ces économies peut être assez simple de nos jours : « Pour les applications d'outillage, par exemple, il est possible d'obtenir des devis de plusieurs fournisseurs pour les options conventionnelles et additives, et de faire la comparaison à partir de là. Cependant, l'aspect conception du travail peut parfois faire une différence significative dans le processus d'établissement du devis. Au fil du temps, vous accumulez suffisamment de statistiques sur les géométries de plusieurs outils pour commencer à obtenir une mesure du coût par surface de la feuille de surface de l'outil. Il s'agit d'une mesure typique utilisée dans l'industrie de l'outillage. Il est important de noter que ces analyses de rentabilité peuvent être très différentes selon la géométrie des outils. Tous les outils ne sont pas les mieux adaptés à la technologie LSAM. Les fabricants de machines, quant à eux, ont une méthode de calcul différente, car ils doivent tenir compte de l'amortissement de la machine, du personnel nécessaire, des matériaux, etc. mais ils se résument essentiellement à un dollar par livre ou par pied carré », souligne Fournier.

Avance rapide jusqu'à aujourd'hui : le LSAM de Thermwood permet d'aller au-delà des montages en usine.

Aujourd'hui, GA-ASI a développé une équipe interfonctionnelle d'experts en la matière au sein de plusieurs fonctions d'ingénierie, de qualité, d'approvisionnement et de fabrication, et continue d'investir dans cette technologie afin de réduire les défis techniques et commerciaux supplémentaires rencontrés au fur et à mesure qu'elle élargit l'espace d'application de cette technologie.

« Aujourd'hui, nous faisons à la fois de l'outillage pour de grands montages d'usine à température ambiante, en explorant des applications à plus haute température, et aussi des pièces d'utilisation finale pour de très grandes structures. Chaque application comporte son lot de défis », souligne Fournier.

« Nous poussons également notre recherche du côté des températures plus élevées, avec un outil de laminage. Pour de telles applications, l'un des défis importants et limitatifs de cette technologie est le CTE », note-t-il. **[Le coefficient de dilatation thermique (CTE)]** décrit comment la taille d'un objet change en fonction de la température. En d'autres termes, cette propriété matérielle indique dans quelle mesure un matériau se dilate lorsqu'il est chauffé]. En termes simples, et sans trop creuser dans les détails techniques, la nature anisotrope des propriétés du matériau imprimé crée des problèmes d'application de lamination. Par



Crédit photo : Thermwood ; impression de sections d'un outil de fixation de fraise à grande échelle par une imprimante LSAM.

exemple, l'expansion thermique le long de l'axe XY est très différente de celle mesurée le long de l'axe Z. Cela entraîne des problèmes de stratification potentiellement importants. Cela entraîne des problèmes de laminage potentiellement importants sur l'intégrité de l'outil et de la pièce, en fonction des plages de température et des géométries de la face de l'outil.

« En raison des propriétés anisotropes, pour certaines géométries d'outils de laminage, la technologie LSAM pose des défis importants dans la conception de l'outil pour pré-compenser et contrôler la forme de l'outil pendant le cycle thermique, ainsi que pour le processus de démolage qui peut avoir un impact sur l'intégrité de la pièce laminée elle-même. Au final, les risques techniques DOIVENT être mis en balance avec les avantages apportés par la technologie de fabrication utilisée. Cette technologie particulière est bonne et bénéfique pour les applications à température ambiante. Même à température ambiante, l'espace d'application est limité à une certaine catégorie de géométries d'outils et de structures d'utilisation finale. Avec l'aide de nos partenaires de la chaîne d'approvisionnement, nous repoussons maintenant les limites de l'espace d'application pour voir ce qui peut être bénéfique - d'un point de vue commercial », complète-t-il.



Crédits d'image : Composants de grande taille à usage final utilisant la technologie LSAM.



Crédits d'image : GA-ASI. Les structures fonctionnelles à grande échelle repoussent les limites de l'espace d'application de la technologie AM thermoplastique à grande échelle.

L'aventure continue

La mise en œuvre des technologies de FA dans l'industrie de l'aviation et de la défense est un long voyage qui se poursuit «une application à la fois». Au cours de ses 15 années d'expérience avec la FA, Fournier a partagé quelques-uns de ses apprentissages :

- Chaque industrie, et chaque utilisateur au sein d'une industrie donnée, a des ensembles d'applications spécifiques, et il est important/critique d'identifier les avantages commerciaux au niveau global pour aider à motiver l'investissement de capital et de ressources pour amener la FA au niveau où ces avantages peuvent être réalisés.

- De nombreuses technologies de FA ont atteint un niveau industriel et peuvent être utilisées pour des applications prêtes à la production avec des contrôles appropriés et suffisants. D'autres nécessitent la poursuite de la mise en place d'éléments de l'écosystème de la FA, tels que des normes et une meilleure ingénierie des équipements. Mais la FA ne doit pas être l'objectif final. La FA est un outil puissant qui fait partie d'une vaste boîte à outils qu'elle combine également avec des technologies conventionnelles. La clé du succès consiste à trouver les bonnes applications pour la

FA.

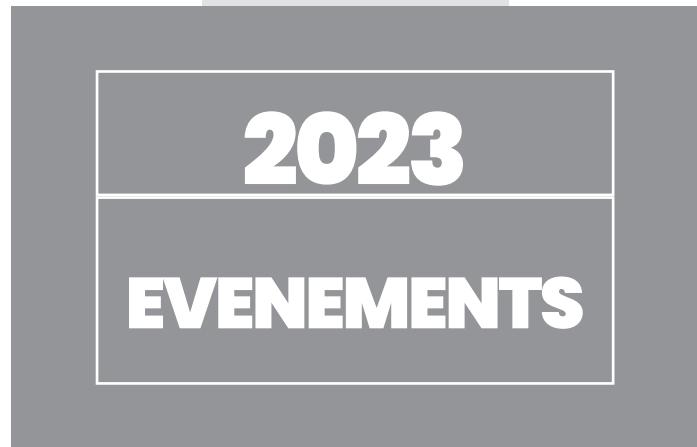
- Il a été bénéfique pour GA-ASI d'investir dans la constitution d'une équipe d'experts en la matière avant d'investir dans l'infrastructure et l'équipement, afin de construire une feuille de route solide pour l'écosystème de la FA et d'établir ses propositions de valeur.

- Les cas d'utilisation de la FA peuvent être résumés, par ordre croissant de proposition de valeur, comme suit : a) substitution de pièces pour obtenir des avantages au niveau des composants ; b) consolidation de pièces pour éviter les assemblages et les coûts associés, ce qui conduit à c) des solutions de conception pour la FA (DfAM) nouvelles et uniques, qui peuvent atteindre le niveau du sous-système. De même, il ne faut pas sous-estimer les solutions de soutien dans la dernière phase du cycle de vie de nos produits.

« En général, je décris la FA comme une technologie analogue à celle des «voitures de luxe»... Lorsque nous envisageons de nouvelles applications pour la FA, nous nous demandons toujours : pourquoi la FA ? L'utilisation d'une technologie de niveau «voiture de luxe» nécessite de trouver une application et des avantages équivalents de haut niveau. Cela signifie pour nous, chez GA-ASI, plus d'intégration de pièces,

des conceptions encore plus performantes et une réduction des coûts de fabrication. Pour y parvenir, il faut généralement créer de nouvelles conceptions plus complexes dont le coût et les exigences en matière d'outillage augmentent avec les procédés de fabrication conventionnels, alors que l'AM est en mesure de gérer ces conceptions complexes avec une différence de coût minime, voire nulle, et souvent sans avoir besoin d'outillage. Il s'agit d'utiliser la FA pour les bonnes raisons », conclut Fournier.

GA-ASI a déjà été en mesure d'économiser des millions de dollars en outillage non récurrent et d'économiser des coûts récurrents très importants sur ses plateformes d'aéronefs. En continuant à repousser les limites de l'applicabilité des diverses technologies de la FA et en explorant de nouvelles applications, GA-ASI prévoit de pouvoir intégrer davantage de pièces et, à terme, d'augmenter le pourcentage de contenu de la FA sur ses plates-formes d'aéronefs de <1% à 75% selon la classe de l'aéronef et son niveau de survie, d'éviter l'outillage lorsque cela est possible dans le processus de fabrication de ses composants, et de contribuer à apporter de nouvelles solutions d'outillage de la FA lorsque cela est nécessaire.

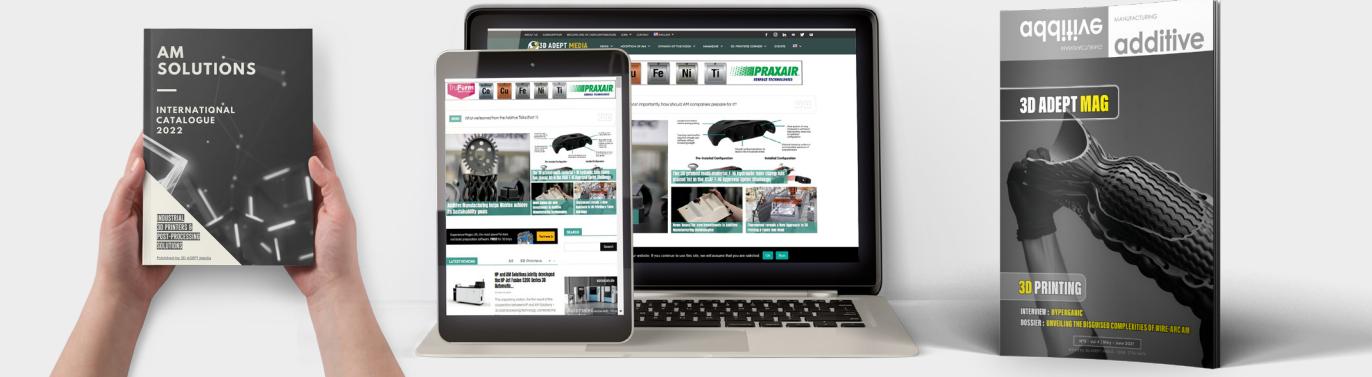


Vous pouvez récupérer votre exemplaire imprimé de notre magazine lors des événements de la fabrication additive qui se tiendront durant l'année 2023

ALLEMAGNE	USA	GB
AM MEDICAL DAYS DATES TBC	7TH ANNUAL MILITARY ADDITIVE MANUFACTURING SUMMIT 1-2 FEVRIER, 2023	AM FOR AEROSPACE & SPACE 21-23 FEVRIER, 2023
EBAM CONFERENCE 22-24 MARS, 2023	ADDITIVE MANUFACTURING STRATEGIES 2023, 7-9 FEVRIER, 2023	TCT 3SIXTY 7-8 JUIN, 2023
HANNOVER MESSE 17-21 AVRIL, 2023	AMUG CONFERENCE MARS 19 – 23, 2023, HILTON CHICAGO	THE ADVANCED MATERIALS SHOW 28-29 JUIN, 2023
RAPID.TECH 3D 9-11 MAI, 2023	RAPID + TCT 2-4 MAI, 2023	VEHICLE ELECTRIFICATION EXPO 28-29 JUIN, 2023
ESPAGNE	ESPAGNE	PAYS-BAS
AM FORUM BERLIN 4-5 JULIET, 2023	ADDIT3D 6-8 JUIN, 2023	3D DELTA WEEK 27-31 MARS, 2023
EMO HANNOVER 18-23 SEPTEMBRE, 2023	METAL MADRID 15-16 NOVEMBRE, 2023	
AMTC, DATES TBC	PORTUGAL	FRANCE
FORMNEXT 2023 7-10 NOVEMBRE 2023	EURO PM2023 1- 4 OCTOBRE, 2023	GLOBAL INDUSTRIE 7-10 MARS, 2023
MEDTECLIVE 2023 23-25 MAI, 2023	AM SUMMIT 2023 COPENHAGEN	PARIS AIR SHOW 19-25 JUNE, 2023

D'AUTRES ÉVÉNEMENTS SERONT AJOUTÉS PLUS TARD !

WWW.3DADEPT.COM





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

Fabrication Additive / Impression 3D



RAPPORTS



DOSSIERS



APPLICATIONS



PROMOTIONS



COLLABORATION

3D ADEPT MEDIA
All about Additive Manufacturing

www.3dadept.com

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

Email: contact@3dadept.com



ADDITIVE MANUFACTURING USERS GROUP
Hilton Chicago
Chicago, Illinois USA

2023 AMUG CONFERENCE MARCH 19-23

AMUG PROVIDES THE OPPORTUNITY

To get the most out of your time at the conference, adjust your expectations, alter your daily schedule and plan to engage with other users from morning through evening, Sunday through Thursday.

YOU CREATE THE EXPERIENCE



EDUCATION

General, Technical and Panel Sessions



TRAINING

Hands-on Workshops and Training Sessions



NETWORKING

A LOT OF Networking from Breakfast to Lunch to Dinner



ACCESS

Content and Proceedings
Accessible Beyond the Conference



AMUG
*For Users.
By Users.*

DON'T MISS THE AM EVENT EVERYONE WILL BE TALKING ABOUT

Additive Manufacturing Users Group hosts this global education and training conference open to owners and operators that have direct ownership of commercially available additive manufacturing equipment.

AMUG

REGISTER NOW!
www.amug.com
#AMUG2023